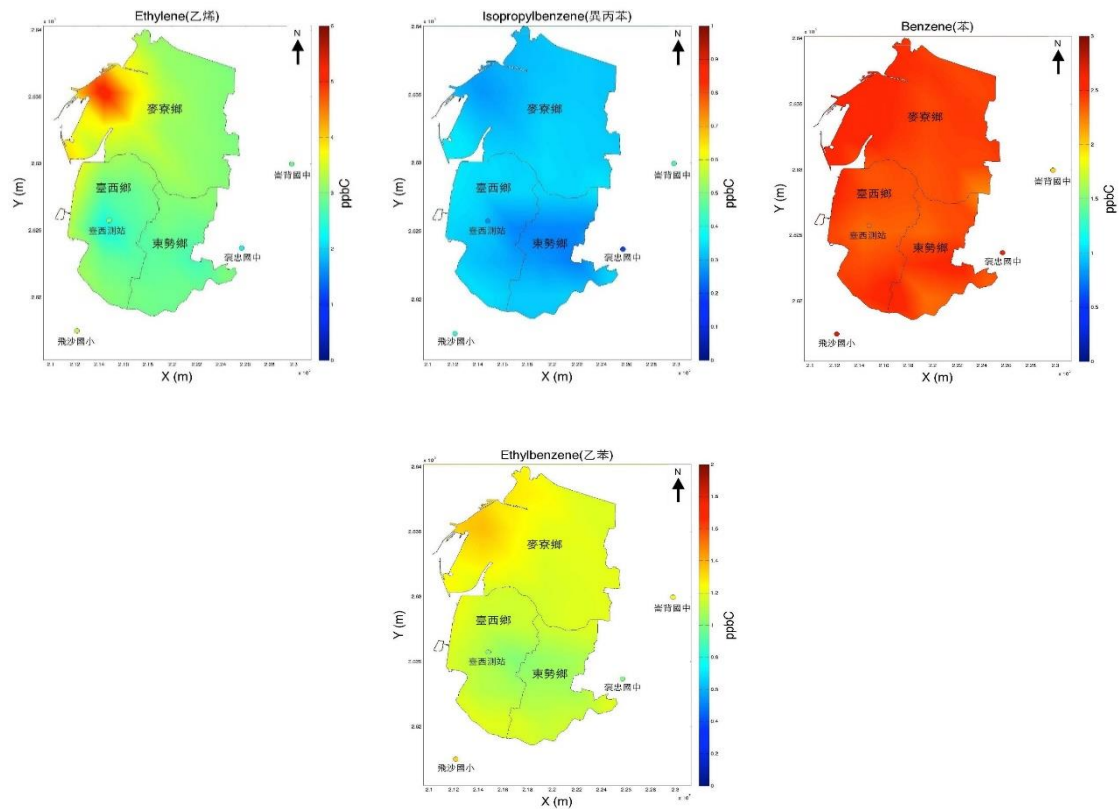


106 年度雲林縣沿海地區健康風險評估計畫

期末報告(定稿)



計畫編號：106-035

計畫執行期間：106/09/13~107/09/12

受託單位：國立台灣大學

雲林縣環境保護局編印

印製日期：108 年 7 月

「106 年度沿海地區健康風險評估計畫」

期末報告基本資料表(1/2)

甲、委辦單位	106 年度沿海地區健康風險評估計畫			
乙、執行單位	國立台灣大學生物環境系統工程學系暨研究所			
丙、年 度	106	計畫編號	106-035	
丁、專案性質	106-035 (請填寫標的分類代碼)			
戊、專案領域	勞務類			
己、計畫屬性	<input checked="" type="checkbox"/> 科技類		<input type="checkbox"/> 非科技類	
庚、全程期間	106 年 09 月～107 年 09 月			
辛、本期期間	106 年 09 月～107 年 09 月			
壬、本期經費	___億_4,020_千元			
	資本支出		經常支出	
	土地建築____千元		人事費_2645.7_千元	
	儀器設備____千元		業務費_1008.8_千元	
	其 他____千元		材料費____千元	
			其 他_365.5_千元	
癸、摘要關鍵詞（中英文各三則） 健康風險評估，資料庫建置，大氣擴散模式 <u>health risk assessment, database construction, air dispersion model,</u> <u>multimedia model</u>				
參與計畫人力資料：（如僅代表簽約而未參與實際專案工作計畫者則免填以下資料）				
參與計畫 人員姓名	工作要項 或撰稿章節	現職與 簡要學經歷	參與時間 (人月)	聯絡電話及 e-mail 帳號
余化龍	計畫主持人	台大生工系教授	12 月	02-33663454 hlyu@ntu.edu.tw
胡明哲	協同主持人	台大生工系教授	12 月	02-33663448 mchu@ntu.edu.tw
莊育權	專案助理教授	台大公衛系專案 助理教授	12 月	02-33663491 mcyc1979@gmail.com
顧尚真	專任助理	台大生工系碩士	12 月	02-33663491 ksj74208@hotmail.com

「106 年度沿海地區健康風險評估計畫」
期末報告基本資料表(2/2)

甲、委辦單位	106 年度沿海地區健康風險評估計畫			
乙、執行單位	國立台灣大學生物環境系統工程學系暨研究所			
丙、年 度	106	計畫編號	106-035	
丁、專案性質	106-035 (請填寫標的分類代碼)			
戊、專案領域	勞務類			
己、計畫屬性	<input checked="" type="checkbox"/> 科技類		<input type="checkbox"/> 非科技類	
庚、全程期間	106 年 09 月～107 年 09 月			
辛、本期期間	106 年 09 月～107 年 09 月			
壬、本期經費	__億__4,020__千元			
	資本支出		經常支出	
	土地建築____千元		人事費__2645.7__千元	
	儀器設備____千元		業務費__1008.8__千元	
	其 他____千元		材料費____千元	
			其 他__365.5__千元	
癸、摘要關鍵詞（中英文各三則） 健康風險評估，資料庫建置，大氣擴散模式 <u>health risk assessment, database construction, air dispersion model,</u> <u>multimedia model</u> 參與計畫人力資料：（如僅代表簽約而未參與實際專案工作計畫者則免填以下資料）				
參與計畫人員姓名	工作要項或撰稿章節	現職與簡要學經歷	參與時間(人月)	聯絡電話及 e-mail 帳號
周宗徹	專任助理	University of Auckland	8 月	02-33663491 ntientc@gmail.com
吳尚威	專任助理	台大機械系學士	6 月	02-33663491 shuen.wang@msa.hinet.net
莊紹榕	專任助理	台大生工系碩士	6 月	02-33663491 r03622015@ntu.edu.tw
李杰翰	兼任助理	博士候選人	6 月	02-33663491 ch198676@gmail.com
陳以容	兼任助理	博士候選人	6 月	02-33663485 r89622042@ntu.edu.tw

雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

106 年度沿海地區健康風險評估計畫

二、英文計畫名稱：

Assessing Health Risk of Residents Nearby the Coastal Area of Yunlin County

三、計畫編號：

106-035

四、執行單位：

國立台灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

五、計畫主持人（包括共同主持人）：

余化龍，胡明哲

六、執行開始時間：

106/09/13

七、執行結束時間：

107/09/12

八、報告完成日期：

107/9/12

九、報告總頁數：

179

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

106 年度沿海地區健康風險評估計畫(期末工作報告).PDF

十二、報告電子檔格式：

PDF

十三、中文摘要關鍵詞：

健康風險評估，資料庫建置，大氣擴散模式，多介質傳輸模式

十四、英文摘要關鍵詞：

health risk assessment, database construction, air dispersion model, multimedia model

十五、中文摘要

為探討離島工業區自竣工營運後至今對當地民眾健康的影響，本計畫收集過去針對離島工業區進行各種監測的數據與資料，包括環境資料如氣象資料、特殊性工業區資料、歷年石化監測車資料與多介質資料等；毒理資料如各化學物之健康效應、暴露法規標準、生物檢測、毒理動力學和作用機制等。本計畫透過文獻比對針對工業區 IARC-2B 及以上之有害化學物質，比對相關環境監測清單，選定健康風險評估的揮發性有機化合物物種包含氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、苯、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、三氯甲烷、乙基苯、異丙苯、異戊二烯、苯乙烯、1,2-二溴乙烷、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、四氯化碳共 16 種化學污染物。本計畫建構 CMAQ-SMOKE-WRF 模式進行空氣污染物擴散模擬結合 CalTOX 進行多介質暴露濃度推估，以達成暴露推估，整合相關資料同化以及多介質模式架構，對於暴露濃度模擬進行相關校正以及多介質濃度推估。本計畫推估 2016 年全年每小時 16 種關切化學物質於研究區之空氣濃度空間分布，其推估結果之全年平均值以及單小時最大值之空間分布值。進而進行多介質健康風險評估。在健康風險評估架構部份，本計畫評估沿海地區居民之量化健康風險，分別探討慢性、急性及敏感族群的健康風險。其中，慢性健康風險分別探討致癌風險與非致癌風險，而急性健康風險則探討以 24 小時暴露、8 小時暴露或是 1 小時暴露為主之非致癌風險。結果顯示，16 種化學物質之終生致癌風險之中位數範圍在 2.71×10^{-11} 到 3.02×10^{-6} 之間；終生致癌風險之第 95 百分位數範圍在 2.65×10^{-9} 到 4.13×10^{-4} 之間，整體來說，因各污染物於台西鄉之總暴露濃度相較於麥寮鄉略高，有因此健康風險中位數較高，但因計算之不確定性，因此並無顯著差異。在非致癌風險部分，以危害因子進行評估，16 種化學物非致癌 HI 評估結果之中位數介於 2.04×10^{-7} 到 2.28×10^{-2} 之間，而第 95 百分位數的範圍則介在 1.77×10^{-5} 到 2.66×10^0 之間，在對於急性非致癌風險以每小時或每天之暴露濃度估算短期危害指標，結果在麥寮與台西之 16 項化學物質之 HIst 範圍在 1.20×10^{-4} 到 8.30×10^0 之間。在敏感族群健康風險部分，主要針對台西鄉國小區域受到氯乙烯及苯暴露進行健康風險評估，其中，在致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之終生致癌風險平均值分別為 3×10^{-6} 與 4.99×10^{-7} 、第 95 百分位數分別為 5.19×10^{-6} 與 7.26×10^{-7} ；許厝分校的氯乙烯及苯之終生致癌風險平均值分別為 2.92×10^{-6} 與 5.07×10^{-7} 、第 95 百分位數分別為 5.11×10^{-6} 與 7.43×10^{-7} ，在慢性非致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之 HI 平均值分別為 1.59×10^{-2} 與 9.94×10^{-3} 、第 95 百分位數分別為 2.76×10^{-2} 與

1.45×10^{-2} ；許厝分校的氯乙烯及苯之 HI 平均值分別為 1.55×10^{-2} 與 1.01×10^{-2} 、第 95 百分位數分別為 2.70×10^{-2} 與 1.47×10^{-2} ，在急性非致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之最高濃度分別為 52.7 與 66.0、HIst 分別為 0.1 與 6.2；許厝分校的氯乙烯及苯之最高濃度分別為 46.9 與 32.0、HIst 分別為 0.1 與 3.0。而研究區內敏感族群不同國小之學童之健康風險並無顯著差異。

十六、英文摘要：

In order to evaluate the health impact of the Yunlin offshore industrial park on the local community, this project culminated relevant literatures and data regarding spatial temporal distribution of multimedia pollutants in the Yunlin vicinity. Collated observational datasets is divided into meteorological data, pollutant concentration observation and pollutant toxicity records.

Meteorological data sourced from the Central Weather Bureau, Taiwan EPA, and various meteorological data source. Observation data sources include the special industrial zone air monitoring program, Taiwan EPA monitoring station(photochemical/air quality), mobile petrochemical monitoring vehicles and other multi-media observation data in the relevant literatures. Toxicological data such as the health effects of various chemicals used in relevant exposure regulation, biological testing, toxicological dynamics and human activity pattern studies. This project compares the hazardous chemicals in the industrial zone IARC-2B and above through the literature, and compares the relevant environmental monitoring list.

16 VOC species were selected for the health risk assessment including vinyl chloride, 1,3-butadiene, and 1,2-dichloropropane, benzene, trichloroethylene, dichloromethane, tetrachloroethylene, chloroform, ethylbenzene, cumene, isoprene, styrene, 1,2-dibromoethane, 1,2-dichloroethane, 1,4-dichlorobenzene and carbon tetrachloride. This project developed a CMAQ-SMOKE-WRF-CalTOX model to estimate multi-media exposure concentration for exposure estimation in the health risk assessment. The modelling processes include assimilation of relevant observation data to approximate the real health exposure to reconstruct the spatio-temporal distribution of the exposure concentration of 2016 in Yunlin. The consequent multi-media health risk assessment assesses the quantitative health risks in Yunlin. The health risks are characterised as cancer risk and non-carcinogenic risk(acute and chronic) for sensitive

groups defined. This project assess the acute risks with 24-hour exposure, 8-hour exposure or 1-hour exposure while chronic risk are estimated with mean concentration. The estimated cancer risk(median) for the 16 targeted species ranging from 2.71×10^{-11} to 3.02×10^{-6} and the lifetime cancer risk(95th percentile) ranging from 2.65×10^{-9} to 4.13×10^{-4} generally have slightly higher risk in Taixi Township than Maiqi Township. Although, this difference is not statistically significant. In the non-carcinogenic risk component, the hazard factor was evaluated. The median number of 16 chemical non-oncogenic HI assessments ranged from 2.04×10^{-7} to 2.28×10^{-2} , while the 95th percentile range was Between 1.77×10^{-5} and 2.66×10^0 , short-term hazard indicators are estimated at hourly or daily exposure concentrations for acute non-cancer risk, resulting in a HIst range of 16.20×10^{-4} for 16 chemical substances in Mailio and Taixi. In the health risk part of sensitive population, the health risk assessment of vinyl chloride and benzene exposure is mainly targeted at the small area of Taixi Township. Among them, in the risk of cancer, the average cancer risk of small vinyl chloride and benzene in Qiaotou is 3×10^{-6} and 4.99×10^{-7} , the 95th percentile were 5.19×10^{-6} and 7.26×10^{-7} respectively; the average risk of carcinogenicity of vinyl chloride and benzene at Xufu Campus was 2.92×10^{-6} and 5.07×10^{-7} , respectively. The 95th percentiles are 5.11×10^{-6} and 7.43×10^{-7} , respectively. In the chronic non-carcinogenic risk, the average HI of vinyl chloride and benzene in Qiaotou is 1.59×10^{-2} and 9.94×10^{-3} , respectively. The 95th percentile is 2.76×10^{-2} and 1.45×10^{-2} respectively. The average HI of vinyl chloride and benzene at Xufu is 1.55×10^{-2} and 1.01×10^{-2} , respectively. The 95th percentile is respectively For 2.70×10^{-2} and 1.47×10^{-2} , in the acute non-carcinogenic risk part, the highest concentrations of vinyl chloride and benzene in Qiaotou are 52.7 and 66.0, respectively, and HIst are 0.1 and 6.2, respectively; The highest concentrations were 46.9 and 32.0, respectively, and HIst were 0.1 and 3.0, respectively. There were no significant differences in the health risks of children with different ethnic groups in the study area.

目 次

報告大綱	1
106 年度沿海地區健康風險評估計畫計畫成果摘要.....	I
（詳細版）	I
第一章、前言	1
1.1 計畫緣起與目標	1
1.1.1 計畫緣起	1
1.1.2 計畫目標	1
1.2 工作項目及工作內容	1
1.3 計畫整體執行架構	2
1.4 工作項目進度查核	3
第二章、文獻回顧.....	7
2.1 離島工業區相關文獻與計畫回顧	7
2.2 本延續性計畫歷年成果回顧	8
2.3 大氣擴散模式回顧	13
第三章、環境及毒物資料建置.....	15
3.1 研究區域背景介紹	15
3.2 資料建構流程	16
3.3 離島工業區有害物質清單相關資料	17
3.3.1 六輕工業區製程資料	17
3.3.2 Web Factor and Information Retrieval System (WebFIRE)	20
3.3.3 台灣排放資料清冊(Taiwan Emission Data System, TEDS).....	21
3.4 有害化學物質清單建立	22
3.5 毒理資料蒐集	24
3.6 環境資料蒐集	25
3.6.1 氣象資料	25
3.6.2 特殊性工業區資料建構	26
3.6.3 歷年監測車資料建構	28

3.6.5 多介質資料	34
3.7 資料庫及平台建置	40
第四章 沿海地區擴散模擬結果	43
4.1 大氣擴散模式建構	43
4.1.1 研究區氣象場建置	48
4.1.2 空氣中暴露濃度推估	54
4.2 多介質暴露模擬與評估	64
4.2.1 多介質模式介紹	64
4.2.2 多介質敏感度分析	66
4.2.3 多介質環境模擬	68
4.2.4 多介質暴露評估	75
第五章 健康風險評估結果與不確定性	79
5.1 健康風險評估架構工作流程與方法	79
5.2 風險特性化的方法與探討	81
5.2.1 暴露劑量推估	84
5.2.2 慢性健康風險	85
5.2.3 急性健康風險	86
5.2.4 敏感族群健康風險	88
5.3 沿海地區健康風險評估結果	89
5.3.1 慢性健康風險評估結果	89
5.3.2 急性健康風險評估結果	92
5.3.3 敏感族群健康風險評估結果	92
5.3.4 健康風險評估結果綜合討論	94
5.3.5 不確定性分析	96
5.4 健康風險評估結果探討	100
5.4.1 可靠性探討	100
5.4.2 不確定性探討	102
第六章 空污測站檢討與優選評估結果	107

6.1 空氣品質監測系統建構流程	107
6.2 監測站優選模式建構研究方法	108
6.2.1 資料座標系統轉換.....	108
6.2.2 監測站選址之優化模型設計	111
6.3 空氣品質監測系統測站優選建議	112
6.4 結論與建議	113
第七章、國內現行健康風險評估模式及方法比較	117
7.1 健康風險評估技術規範與建議模式	117
7.2 現行機關所使用之模式比較	119
7.2.1 排放量推估方法比較.....	119
7.2.2 大氣擴散模式比較.....	120
7.2.3 多介質傳輸模式比較.....	123
第八章、結論與建議	127
8.1 結論	127
8.1.1 環境及毒物資料建置	127
8.1.2 沿海地區擴散模擬結果	127
8.1.3 健康風險評估結果與不確定性.....	128
8.1.4 空污測站檢討與優選評估結果.....	129
8.1.5 國內現行健康風險評估模式及方法比較	129
8.2 建議	130
第九章、參考文獻.....	131
附 表	136
附表 1 氯乙烯風險評估毒理資料表.....	136
附表 2 三氯甲烷風險評估毒理資料表	140
附表 3 三氯乙烯風險評估毒理資料表	144
附表 4 1,2-二氯乙烷風險評估毒理資料表	148
附表 5 四氯乙烯風險評估毒理資料表	153
附表 6 四氯化碳風險評估毒理資料表	157
附表 7 1,3-丁二烯風險評估毒理資料表	164

附表 8 離島工業區可能排放之有害物質清單.....	169
附表 9 資料庫及平台建置介紹.....	173
附表 10 各污染物參數敏感度分析列表	175
附表 11 期末報告簡報檔.....	183
附表 12 CMAQ 反應項模擬參數選用值	223
附表 13 台灣採購公報網-歷年雲林縣環境保護招標案件檔案彙整表	250
附表 14 第一次工作進度報告初審建議回覆及委員意見回覆	259
附表 15 期中報告初審建議及委員意見回覆	265
附表 16 期末報告初審建議及委員意見回覆.....	271
附表 17 期末修訂報告再審查建議及委員意見回覆	283
附表 18 期末修訂報告再審查建議及委員意見回覆(II)	292
附表 19 期末修訂報告再審查建議及委員意見回覆(III).....	296

圖 次

圖 1	健康風險評估研究流程圖.....	VIII
圖 2	16 種化學物質推估結果之全年平均值空間分布	IX
圖 3	16 種化學物質推估結果之單小時最大值空間分布	X
圖 4	計畫執行方法架構圖	3
圖 5	資料建構流程圖	16
圖 6	排放源分類代碼等級劃分舉例(兩位數為一等級).....	21
圖 7	GTS 地表測站於台灣附近的分布情形.....	26
圖 8	特殊性工業區測項及單位.....	27
圖 9	特殊性工業區測站時空間資料展示圖.....	28
圖 10	特殊性工業區測站與監測車重要監測地點分布圖	29
圖 11	1,2-二氯丙烷各測站時間序列圖	31
圖 12	台塑石化股份有限公司麥寮三廠煙囪的一氧化碳排放.....	32
圖 13	台塑石化股份有限公司麥寮三廠煙囪的氮氧化物排放.....	33
圖 14	台塑石化股份有限公司麥寮三廠煙囪的二氧化硫排放.....	33
圖 15	土壤採樣檢測值(104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫)	38
圖 16	下水採樣檢測值(104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫)	39
圖 17	環境暴露評估工作流程圖.....	43
圖 18	放源分類代碼(SCC)排放因子解析	45
圖 19	排放量在 2015/12/01 12:00 空間分布	46
圖 20	放源分類代碼(SCC)解析排放時程可解析至小時(逸散源時變化為年總排放量的小時平均).....	46
圖 21	放源-受體敏感度示意圖	47
圖 22	計畫研究區域氣象網格範圍圖	49
圖 23	垂直式網格點垂直分布，三維網格格點.....	50
圖 24	RFDA 流程.....	52
圖 25	2016 年 WRF 模擬（綠線）與觀測資料同化 WRF 模擬（紅線）與觀測資料（藍線，鄰近氣象局測站）	53
圖 26	監測資料同化 WRF 模擬與工業區 0.4 度內觀測資料散布圖(氣壓、溫度、相對濕度、與風速)	53
圖 27	監測資料同化 WRF 模擬與工業區 0.4 度內觀測資料偏差之空間分布.....	53
圖 28	主要污染源位置圖	54
圖 29	貢獻度與敏感度空間分布.....	55
圖 30	污染物濃度觀測與其對應之模擬值	59
圖 31	16 種污染物之平均濃度空間分布圖	61

圖 32	16 種污染物之最大濃度空間分布圖	62
圖 33	16 種污染物之最大 8 小時平均濃度空間分布圖	63
圖 34	16 種污染物之最大日平均濃度空間分布圖.....	64
圖 35	健康風險評估工作流程圖.....	79
圖 36	台西居民暴露 1,2-二溴乙烷之致癌風險之反向累積次數圖	98
圖 37	麥寮居民暴露 1,2-二溴乙烷之致癌風險之反向累積次數圖	98
圖 38	台西居民暴露三氯乙烯之非致癌風險之反向累積次數圖	99
圖 39	麥寮居民暴露三氯乙烯之非致癌風險之反向累積次數圖	99
圖 40	不確定性量化比較	103
圖 41	離島工業區與鄰近三鄉鎮之地理位置圖.....	114
圖 42	優化模型之候選測站所轄面積對應網格內的覆蓋人口總數分布示意圖(單位:人)	115
圖 43	優化模型計算所得之測站位置分布圖:(A)人口權重因子 $W1 = 0.8$ 、測站差異性權 重因子 $W2 = 0.2$; (B) $W1 = 0.4$, $W2 = 0.6$; (C) $W1 = 0.1$, $W2 = 0.9$	115
圖 44	優化模型計算所得之測站位置分布圖:(A)測站總數 $N = 4$; (B) $N = 5$; (C) $N = 7$	116
圖 45	優化模型於固定權重因子、不同測站總數下之計算結果	116
圖 46	資料庫整體架構.....	173
圖 47	POSTGRESQL 連線成功介面	174
圖 48	GEOSEVER 的使用管理介面.....	175
圖 49	空間圖資透過網路地圖服務展現.....	175

表 次

表 1	雲林沿海地區之致癌風險.....	XI
表 2	雲林沿海地區之非致癌風險	XI
表 3	雲林沿海地區之急性非致癌風險	XII
表 4	雲林沿海地區之敏感族群之健康風險.....	XIII
表 5	計畫預定進度表	4
表 6	工作項目實際執行情形表.....	4
表 7	查核點時間及說明表	6
表 8	本團隊歷年計畫之研究方法	11
表 9	離島工業區一期計畫之工廠列表	17
表 10	離島工業區一期計畫之工廠製程中化學物質列表	18
表 11	WEBFIRE 資料庫重要項目	20
表 12	TEDS 9.0 點源資料重要項目	21
表 13	離島工業區有致癌風險物質的 IARC 分級.....	22
表 14	依據離島工業區有監測之項目篩選之有害化學物質	23
表 15	本計畫篩選後欲評估的有害化學物質列表	24
表 16	16 種化學物質分類表	29
表 17	101-106 年監測車重點監測座標.....	30
表 18	介質之常見暴露途徑(2012 桃園地區自來水重金屬潛在健康風險評估,黃冠智) ..	34
表 19	介質之增損關係(2012 桃園地區自來水重金屬潛在健康風險評估,黃冠智)	35
表 20	雲林縣環境保護相關計畫回顧	36
表 21	下水檢測項目分類表	38
表 22	資料蒐集成果總覽	40
表 23	MAQ 時間、空間、物理與動力系統參數	48
表 24	RFDA 時間、空間、物理與動力系統參數	50
表 25	監測值資料之資料豐富度	60
表 26	各項污染物之敏感介質	66
表 27	基礎本土參數	67
表 28	雲林縣沿海地區多介質參數表	68
表 29	CALTOX 多介質地理參數機率分布表	68
表 30	CALTOX 多介質傳輸模式使用之地理參數	70
表 31	麥寮鄉 CALTOX 模擬多介質中污染物濃度結果	72
表 32	台西鄉 CALTOX 模擬多介質中污染物濃度結果	74
表 33	台灣民眾之暴露因子	76
表 34	雲林沿海地區經多介質暴露途徑模擬之總暴露劑量	77
表 35	慢性與急性之安全劑量	82

表 36	16 種污染物之毒性參數.....	82
表 37	各單位急性劑量反應值的最小值.....	86
表 38	雲林沿海地區之致癌風險.....	90
表 39	雲林沿海地區之非致癌風險.....	91
表 40	雲林沿海地區之急性非致癌風險.....	92
表 41	雲林沿海地區之敏感族群之健康風險.....	93
表 42	敏感族群之暴露濃度差異檢定表.....	93
表 43	麥寮鄉致癌風險比較表.....	95
表 44	台西鄉致癌風險比較表.....	96
表 45	任兩測站點，苯濃度之時間序列相關係數矩陣示意表.....	109
表 46	任兩測站點，苯濃度之頻譜相關係數矩陣示意表.....	110
表 47	現行機關健康風險評估報告與模式比較.....	119
表 48	空氣品質模式評估技術規範中認可之模式與條件.....	121

報告大綱

本計畫主要目標為探討離島工業區自竣工營運後至今對當地民眾健康的影響，工作項目包含：離島工業區監測的數據與文獻資料收集並建構資料庫；發展離島工業區環境暴露模式並對排放污染物進行時空間的濃度模擬推估，進而執行附近居民的暴露濃度重建；建構離島工業區之健康風險評估架構並執行健康風險評估；規劃離島工業區環境健康監測系統並提供污染物採樣策略；分析探討本計畫發展的模式方法與國內現行相關機關使用模式方法之差異性。本計畫執行成果報告各章節撰寫內容大綱說明如下：

第一章、前言

說明本計畫之緣起、計畫目標、工作項目及內容、計畫執行架構與工作項目進度查核。

第二章、文獻回顧

回顧以往於離島工業區研究之相關文獻與報告，包含文獻所使用的監測資料、研究方法與相關成果等。並回顧說明本延續性計畫之歷年成果。

第三章、環境及毒物資料建置

說明本計畫資料建構之方法，包含資料蒐集流程、環境與毒理資料蒐集整理、資料庫及平台建置與有害化學物質清單建立等工作。

第四章、沿海地區擴散模擬結果

本章節提出本計畫所使用到的環境暴露模式發展與環境暴露時空推估流程，並實際建構環境暴露模式進行環境暴露時空推估。

第五章、健康風險評估結果與不確定性

說明健康風險評估之工作流程、慢性與急性暴露之安全劑量並分別對不同的健康風險評估對象進行風險評估，提出風險特性化後的評估與結果，同時提出健康風險評估的結果限制與探討。

第六章、空污測站檢討與優選評估結果

說明健康環境監測系統之建構流程，建構監測站優選模式並提供環境健康監測系統測站之優選建議。

第七章、國內現行健康風險評估模式及方法比較

本章節說明健康風險評估技術規範與其中建議之評估模式，並將本計畫發展之評估模式與現行機關所使用之評估模式進行比較。

第八章、結論與建議

依據執行成果條列說明之結論與建議，可供環保局參考。

第九章、參考文獻

此章節列出計畫參考之文獻。

106 年度沿海地區健康風險評估計畫計畫成果摘要 (詳細版)

計畫名稱：106 年度沿海地區健康風險評估計畫

計畫編號：106-035

計畫執行單位：國立臺灣大學

計畫主持人(包括協同主持人)：余化龍，胡明哲

計畫期程：106 年 9 月 13 日起 107 年 9 月 12 日止

計畫經費：4,020 仟元

摘要

為探討離島工業區自竣工營運後至今對當地民眾健康的影響，本計畫收集過去針對離島工業區進行各種監測的數據與資料，包括環境資料如氣象資料、特殊性工業區資料、歷年石化監測車資料與多介質資料等；毒理資料如各化學物之健康效應、暴露法規標準、生物檢測、毒理動力學和作用機制等。本計畫透過文獻比對針對工業區 IARC-2B 及以上之有害化學物質，比對相關環境監測清單，選定健康風險評估的揮發性有機化合物物種包含氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、苯、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、三氯甲烷、乙基苯、異丙苯、異戊二烯、苯乙烯、1,2-二溴乙烷、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、四氯化碳共 16 種化學污染物。本計畫建構 CMAQ-SMOKE-WRF 模式進行空氣污染物擴散模擬結合 CalTOX 進行多介質暴露濃度推估，以達成暴露推估，整合相關資料同化以及多介質模式架構，對於暴露濃度模擬進行相關校正以及多介質濃度推估。本計畫推估 2016 年全年每小時 16 種關切化學物質於研究區之空氣濃度空間分布，其推估結果之全年平均值以及單小時最大值之空間分布值。進而進行多介質健康風險評估。在健康風險評估架構部份，本計畫評估沿海地區居民之量化健康風險，分別探討慢性、急性及敏感族群的健康風險。其中，慢性健康風險分別探討致癌風險與非致癌風險，而急性健康風險則探討以 24 小時暴露、8 小時暴露或是 1 小時暴露為主之非致癌風險。結果顯示，16 種

化學物質之終生致癌風險之中位數範圍在 2.71×10^{-11} 到 3.02×10^{-6} 之間；終生致癌風險之第 95 百分位數範圍在 2.65×10^{-9} 到 4.13×10^{-4} 之間，整體來說，因各污染物於台西鄉之總暴露濃度相較於麥寮鄉略高，有因此健康風險中位數較高，但因計算之不確定性，因此並無顯著差異。在非致癌風險部分，以危害因子進行評估，16 種化學物非致癌 HI 評估結果之中位數介於 2.04×10^{-7} 到 2.28×10^{-2} 之間，而第 95 百分位數的範圍則介在 1.77×10^{-5} 到 2.66×10^0 之間，在對於急性非致癌風險以每小時或每天之暴露濃度估算短期危害指標，結果在麥寮與台西之 16 項化學物質之 HIst 範圍在 1.20×10^{-4} 到 8.30×10^0 之間。在敏感族群健康風險部分，主要針對台西鄉國小區域受到氯乙烯及苯暴露進行健康風險評估，其中，在致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之終生致癌風險平均值分別為 3×10^{-6} 與 4.99×10^{-7} 、第 95 百分位數分別為 5.19×10^{-6} 與 7.26×10^{-7} ；許厝分校的氯乙烯及苯之終生致癌風險平均值分別為 2.92×10^{-6} 與 5.07×10^{-7} 、第 95 百分位數分別為 5.11×10^{-6} 與 7.43×10^{-7} ，在慢性非致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之 HI 平均值分別為 1.59×10^{-2} 與 9.94×10^{-3} 、第 95 百分位數分別為 2.76×10^{-2} 與 1.45×10^{-2} ；許厝分校的氯乙烯及苯之 HI 平均值分別為 1.55×10^{-2} 與 1.01×10^{-2} 、第 95 百分位數分別為 2.70×10^{-2} 與 1.47×10^{-2} ，在急性非致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之最高濃度分別為 52.7 與 66.0、HIst 分別為 0.1 與 6.2；許厝分校的氯乙烯及苯之最高濃度分別為 46.9 與 32.0、HIst 分別為 0.1 與 3.0。而研究區內敏感族群不同國小之學童之健康風險並無顯著差異。

前言

為探討離島工業區自竣工營運後至今對當地民眾健康的影響，就收集過去針對離島工業區進行各種監測的數據與資料，離島工業區排放濃度污染物濃度進行時間與空間的模擬，進而可執行附近居民的暴露重建。並建構離島工業區之健康風險評估架構，進而執行健康風險評估，並與過去流行病學研究結論進行探討。過去篩

選式的風險評估結果所含不確定高，為降低不確定性，本計畫預計以數學統計方式建構暴露評估以及風險評估方法，並加上石化監測車之資訊，以期改善健康風險評估的品質。

研究方法

本計畫之健康風險評估研究流程如下圖 1，其中，在資料建構部份，本計畫分別蒐集離島工業區有害物質清單相關資料、環境資料、毒理資料與及相關之文獻，透過資料清理與數化等資料處理過程納入資料庫並展現於本計畫所建置之網頁平台。其中，有害物質清單相關資料包含 TEDS9.0 排放源清冊、WebFIRE 排放因子資料庫與離島工業區製程資料等；環境資料包含氣象資料、特殊性工業區資料、歷年石化監測車資料與多介質資料等；毒理資料則包含以毒性物質為單位，描述以人的健康為主要內容，以健康效應、暴露法規標準、生物檢測、毒理動力學和作用機制等部份去撰寫編排。本計畫建立有害化學物質清單後，選取用於健康風險評估的揮發性有機化合物包含氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、苯、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、三氯甲烷、乙基苯、異丙苯、異戊二烯、苯乙烯、1,2-二溴乙烷、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、四氯化碳共 16 種化學污染物。

在沿海地區擴散模擬結果部份，本計畫建構 CMAQ-SMOKE-WRF 模式進行空氣污染物擴散模擬結合 CalTOX 進行多介質暴露濃度推估，以達成暴露推估。以 WRF 氣象模式建置研究區域氣象場，並透過其資料同化模組 WRFDA 模式，對於區域之觀測資料進行資料同化，增進研究區之氣象場模擬與觀測資料之一致性。在排放資料前處理部分，本計畫利用 SMOKE 排放量前處理模式配合 SCC 排放源分類代碼，結合 TEDS 與過去相關排放資料文獻，解析出關切之有害污染物進行排放量資料，並進行相關格式轉換，進而提供給 CMAQ 大氣擴散模式模擬污染物暴露濃度，為了與環境監測值進行比對，本計畫透過 CMAQ 考量全台灣之排放進行空氣濃度模擬。另一方面，推估 CMAQ 大氣擴散模擬所輸出之污染物對於排放源之敏感度，進

而透過建構濃度質量平衡法進行排放量對於各主要排放源之排放量進行推估以及對於空氣擴散濃度進行相關校正。修正後之暴露濃度結果透過 CalTOX 多介質模式模擬對於台西與麥寮鄉之所關切各污染物質於不同介質中之可能有害污染濃度。其中，由於包括污染推估以及相關參數不確定性，各介質之主要濃度之不確定性分別透過平均值、標準差以及 95 百分位進行表示。結合暴露因子進而對於台西與麥寮鄉民眾對於不同污染物質之暴露評估，並以中位數以及 95 百分位來表示其不確定性。

在健康風險評估架構部份，本計畫評估沿海地區居民之量化健康風險，分別探討慢性、急性及敏感族群的健康風險。其中，慢性健康風險分別探討致癌風險與非致癌風險，而急性健康風險則探討以 24 小時暴露、8 小時暴露或是 1 小時暴露為主之非致癌風險。相關短延時暴露濃度推估主要建構在 CMAQ 模式所產生之不同時間尺度最大濃度值為計算基礎。計算致癌風險透過暴露濃度推估，結合毒理資料庫之癌症斜率資料，進行致癌風險推估，非致癌風險則根據所推估之暴露濃度與參考劑量比對，以危害因子推估進行風險表示，急性非致癌風險，則根據不同來源所蒐集之急性參考劑量資料庫，資料來源包括 IARC、IRIS、ASTDR、RAIS 等，不同危害物質的參考劑量資料來源會有差異，所估算之非致癌風險以各種延時計算中之最高值為準。以上之健康風險計算，主要是針對台西與麥寮鄉民眾分別計算。另一方面，在敏感族群部分，計算之對象主要為研究區國小學童，根據國小之所在位置，進行相對應之慢性與急性健康風險評估，其中對於慢性之暴露，以學童就學長度為準，因此非根據終身之標準來計算。

在環境健康監測系統部份，本計畫透過污染物濃度之時空分布推估結果，考量監測目的與評估指標，以居民健康做為考量的基礎，加入污染物對於健康影響之相關因子並給予其因子適當之權重。以適合之優選模式將評估指標的限制式參數化，考量目標函數搭配適合之優化演算方法，進行監測站站址空間配置的最佳化。最後，在國內現行相關機關所使用之模式分析探討中，討論行政院環

保署所公告之健康風險評估技術規範內容與其建議之模式，並探討現行機關所使用之模式與本計畫模式與方法的差異性。

結果

在暴露評估部分，本計畫推估 2016 年全年每小時 16 種關切化學物質於研究區之空氣濃度空間分布，其推估結果之全年平均值以及單小時最大值之空間分布值如下圖 2 及下圖 3 顯示，從左到右、由上至下排列之化學物質各別為：苯、異戊二烯、乙苯、苯乙烯、氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、1,2-二溴乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、異丙苯與 1,4-二氯苯，由空氣濃度分布可看出，由於盛行風為東北季風之關係，整體來說，各化學物質之平均濃度高值多集中於離島工業區下風處沿海附近，也因此，在多介質暴露分析之總暴露濃度推估成果顯現，於大部分所分析之化學物質，台西鄉民眾之總暴露濃度略高於麥寮鄉民眾之暴露。另一方面，在單小時最大值空間分布，所得到的各空間區域全年中最高單一小時之濃度值，每一個區域發生最高值之時間可能不盡相同，透過此一分析可探討各區域之急性風險。健康風險評估結果顯示 16 種化學物質之終生致癌風險之中位數範圍在 2.71×10^{-11} 到 3.02×10^{-6} 之間；終生致癌風險之第 95 百分位數範圍在 4.13×10^{-4} 到 8.04×10^{-4} 之間，其中針對各種所關切之危害物質於台西與麥寮鄉之致癌風險推估成果，詳列於下表 1。在非致癌風險部分，16 種化學物非致癌 HI 評估結果之中位數介於 2.04×10^{-7} 到 2.82×10^{-2} 之間，而第 95 百分位數的範圍則介在 1.77×10^{-5} 到 2.66×10^0 之間，對於各化學物質相關非致癌風險推估結果詳列於下表 2。對於急性非致癌風險以每小時或每天之暴露濃度估算短期危害指標，結果在麥寮與台西之 16 項化學物質之 H_{1st} 範圍在 1.20×10^{-4} 到 8.30×10^0 之間，各化學物質之急性非致癌風險推估結果，詳列於下表 3。在敏感族群健康風險部分，主要針對國小所在位置受到氯乙烯及苯暴露進行健康風險評估，結果詳細列於下表 4。結果顯示，所分析之許厝與橋頭國小之健康風

險，並無顯著差異。由健康風險評估方法將本計畫與過去「六輕石化工業區對附近學童健康影響」計畫結論進行討論，由於受限於有限的評估資料，因此目前尚無法藉由本計畫釐清造成學童尿中TdGA濃度偏高的暴露來源之特定空氣污染物。

對於前述結果之判讀，需注意健康風險評估過程所存在之不確定性。本計畫之不確定性來源，除了常見之模式及參數不確定性外，計畫中之資料不確定性也對於研究成果具有一定的影響程度。其中，本計畫所分析之16種關切化學物質之暴露濃度會受到不同物質觀測資料之豐富度所影響，由於大多數所分析之化學物質僅存在於監測車或是特殊性工業區觀測站，也因此，大部分之觀測化學物質不論在空間上或是時間上均相當有限。另一方面，在排放量推估部分，由於大多數化學物質均不存在排放量統計資料，也因此排放量係經過TEDS、WebFire以及SCC結合過去研究報告，進而結合環境觀測進行相對應之校正。也因此，化學物質觀測數值之豐富度，相當程度地影響空氣污染濃度之推估，以及增加排放量推估之不確定性。除此，由於環境濃度與排放濃度之間之高度非線性，會造成排放量反推之高度不確定性。在暴露濃度推估部分，在暴露濃度推估部分，本計畫透過CMAQ、WRF等模式結合離島工業區監測車與特殊性工業區之觀測資料進行推估，由於過程相當龐大與複雜，充滿非常多的不確性如觀測資料不足、時間不均(資料不確定性)、WRF氣象條件少量偏差(參數不確定性)以及CMAQ化學反應機制限制、極端部份之排放源敏感度計算(模式不確定性等)，也由於研究區在地之暴露因子相關資料較為有限，本計畫所使用之暴露因子主要取自於衛福部公告之台灣一般民眾暴露參數彙編。綜合以上，暴露劑量推估結果之代表性仍存有一定之不確定性。

本計畫研析所模擬之空氣濃度時空分布，考量監測目的與評估指標，以居民健康做為考量的基礎，加入污染物對於健康影響之相關因子並給予其因子適當之權重。以適合之優選模式將評估指標的限制式參數化，考量目標函數搭配適合之優化演算方法，進行監測站站址空間配置的最佳化。其結果顯示，根據不同的權重調

配，當人口權重因子擁有較大權重時，所選定的測站集中於人口稠密區，總覆蓋人口數約可達一萬八千餘人；而當測站差異性權重因子擁有較大權重時，所選定的測站差異性最大，能較完整地監測此空間範圍內污染物時空分布的情況，然而總覆蓋人口數為最低，僅有一萬一千餘人；隨著可增設的站數增加，可覆蓋之人口總數愈高、對於區域內之整體資訊的監測掌握度也愈高。

結論

本計畫發展 CMAQ-WRF-SMOKE 架構進行沿海地區健康風險評估，此一架構結合美國環保署相關排放因子資料與台灣環保署之排放物質清單，以推估可能之排放量。此一架構提供了在有限資料下之暴露濃度推估之方向，並可協助對於關切化學物質之健康風險進行一定之評估，本計畫透過環境監測資料，進行排放量校正。然而對於推估成果以及後續健康風險評估之判讀，需注意其存在之不確定性。在透過多介質暴露濃度推估及健康風險評估，結果顯示，台西與麥寮鄉民眾之各化學物質第 95 百分位致癌風險介於 4.13×10^{-4} 到 8.04×10^{-4} 之間。非致癌 HI 評估結果之中位數介於 2.04×10^{-7} 到 2.82×10^{-2} 之間、第 95 百分位數的範圍則介在 1.77×10^{-5} 到 2.66×10^0 之間，急性非致癌風險評估結果在 HIst 範圍在 1.20×10^{-4} 到 8.30×10^0 之間。其中需注意是，本計畫所使用 CMAQ 模式進行暴露濃度推估，亦即所推估之健康風險大多可視為總量風險，即所有汙染環境排放所造成研究區民眾之健康風險。

建議事項

在本計畫建構之健康風險評估架構下，其主要不確定性來源來自於環境觀測資料的侷限以及排放量觀測資料之有限，有因此後續建議整合現有 CEMS 資料，對於排放量之時間變動過程，有更精確掌握，以降低濃度時空間分布推估之不確定性。另外對於暴露因子部分，建議後續蒐集當地民眾之相關暴露因子，進而建構可考量民眾行為之多介質健康風險評估架構，以提供更精確之風險管

理建議。除此，對於多化學物質之健康風險評估，建議考慮化學物質之間之(chemical mixture)相互作用效應，以提升風險評估之精度。

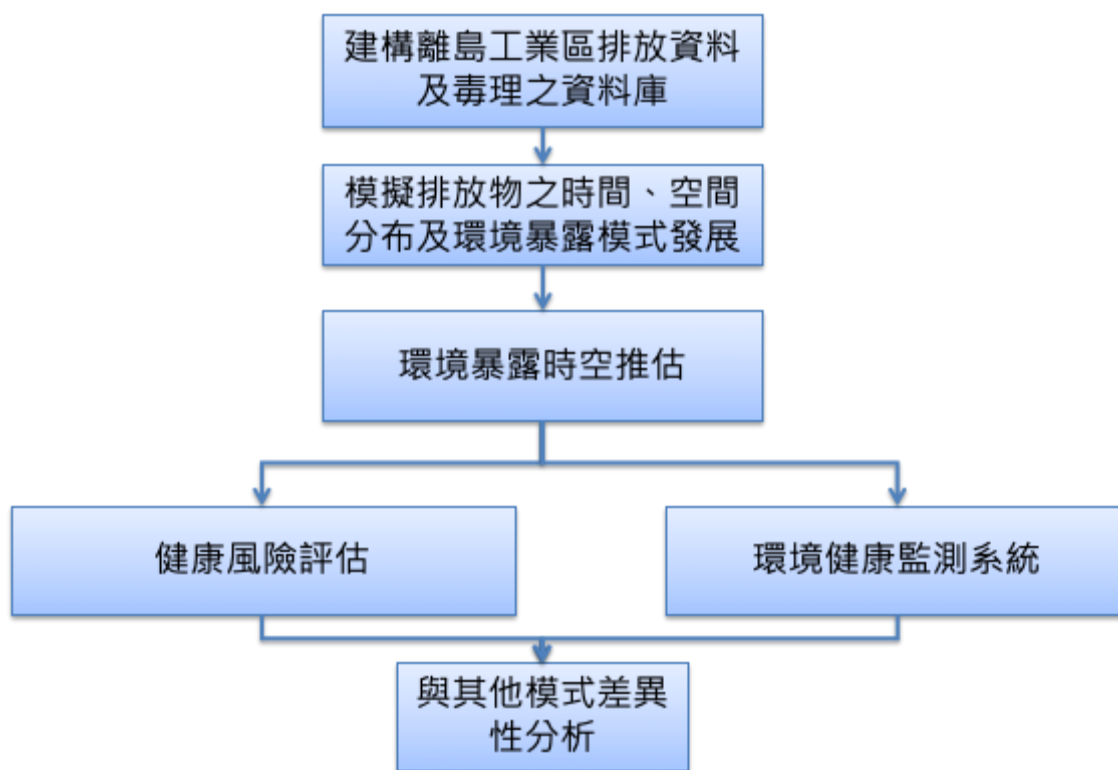


圖 1 健康風險評估研究流程圖

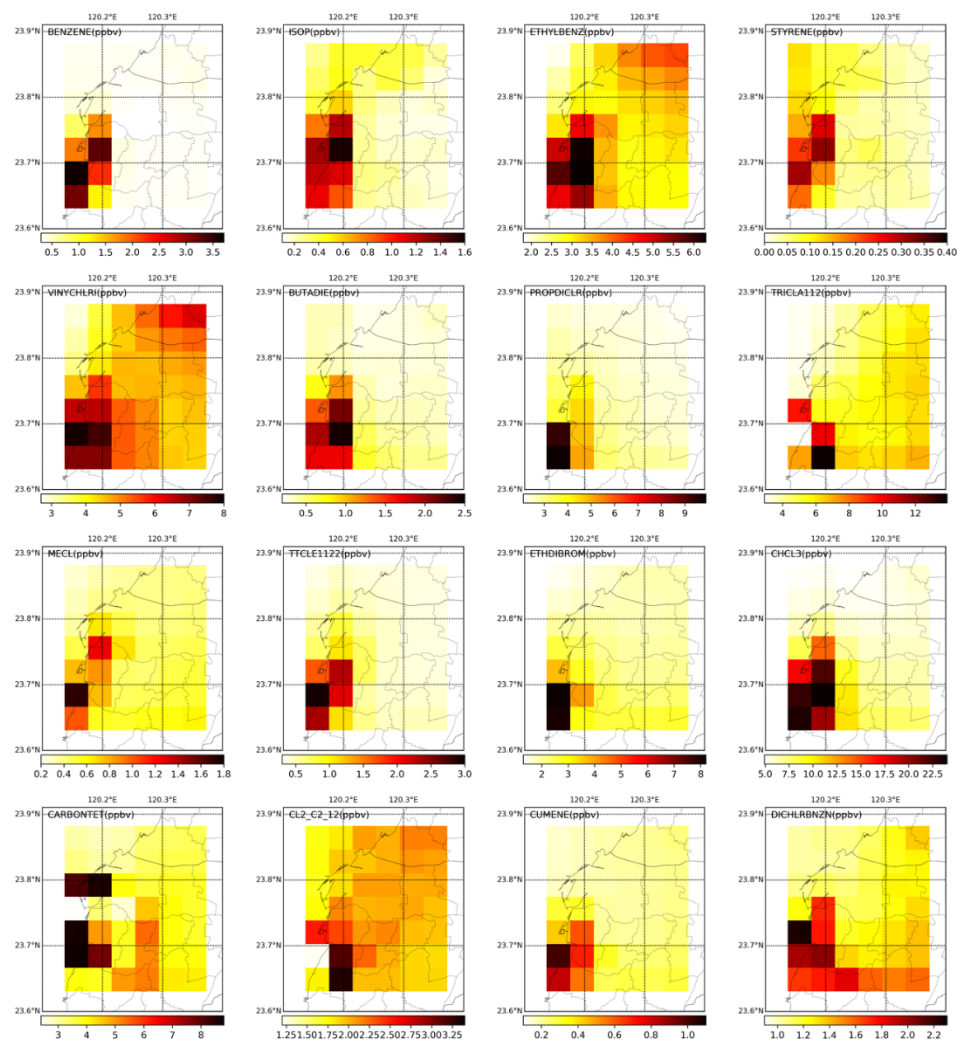


圖 2 16 種化學物質推估結果之全年平均值空間分布

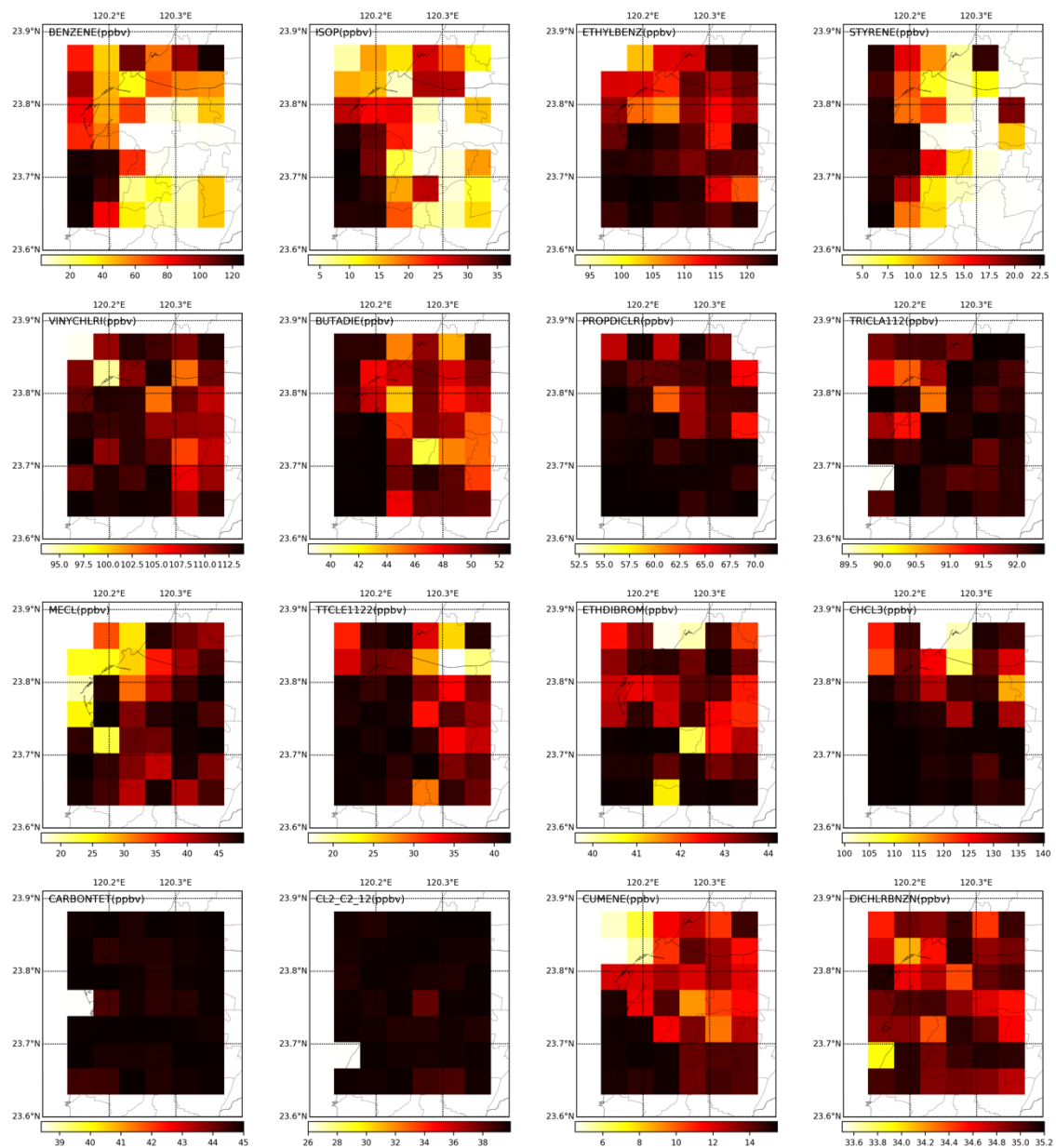


圖 3 16 種化學物質推估結果之單小時最大值空間分布

表 1 雲林沿海地區之致癌風險

	麥寮鄉致癌風險		台西鄉致癌風險	
	中位數	第 95 百分位數	中位數	第 95 百分位數
氯乙烯	7.84E-09	6.50E-07	2.70E-08	2.87E-06
1,3-丁二烯	3.10E-08	3.30E-06	4.13E-08	4.40E-06
1,2-二氯丙烷	3.89E-09	4.63741E-07	6.06E-09	7.57E-07
苯	8.90E-09	8.38E-07	1.86E-08	2.58E-06
三氯乙烯	1.17E-08	1.39E-06	2.61E-08	3.58E-06
二氯甲烷	2.71E-11	2.65E-09	4.09E-11	4.20E-09
四氯乙烯	9.13E-10	1.17E-07	2.24E-09	3.53E-07
1,2-二溴乙烷	2.79E-06	3.36E-04	3.02E-06	4.13E-04
三氯甲烷	6.08E-08	8.81E-06	1.45E-07	2.22E-05
四氯化碳	2.13E-08	2.35E-06	4.59E-08	6.58E-06
1,2-二氯乙烷	5.84E-08	6.67E-06	9.47E-08	1.08E-05
乙苯	5.56E-09	5.86E-07	8.56E-09	9.16E-07
苯乙烯	1.20E-08	1.11E-06	2.10E-08	2.89E-06
異丙苯	8.08E-09	1.03E-06	1.97E-08	3.05E-06
異戊二烯	7.70E-10	8.12E-08	2.34E-09	3.41E-07
1,4-二氯苯	9.76E-09	1.02E-06	1.21E-08	1.30E-06

表 2 雲林沿海地區之非致癌風險

	麥寮鄉 HI		台西鄉 HI	
	中位數	第 95 百分位數	中位數	第 95 百分位數
氯乙烯	2.30E-04	1.55E-02	4.50E-03	3.71E-01
1,3-丁二烯	1.10E-03	9.40E-02	1.52E-03	1.19E-01
1,2-二氯丙烷	5.08E-03	4.82E-01	7.40E-03	7.68E-01
苯	4.74E-04	3.48E-02	1.01E-03	1.01E-01
三氯乙烯	1.02E-02	1.07E+00	2.28E-02	2.66E+00
二氯甲烷	2.71E-05	2.27E-03	4.43E-05	3.91E-03
四氯乙烯	6.50E-04	7.30E-02	1.61E-03	1.92E-01

1,2-二溴乙烷	3.56E-03	3.78E-01	8.15E-03	9.40E-01
三氯甲烷	5.65E-04	6.79E-02	1.28E-03	1.78E-01
四氯化碳	2.72E-04	2.55E-02	5.73E-04	6.75E-02
1,2-二氯乙烷	6.77E-04	6.73E-02	3.93E-03	3.35E-01
乙苯	1.67E-05	1.36E-03	2.59E-05	2.09E-03
苯乙烯	2.93E-05	3.42E-04	3.86E-06	4.03E-04
異丙苯	5.06E-05	5.37E-03	1.25E-04	1.70E-02
異戊二烯	2.04E-07	1.77E-05	6.04E-07	6.82E-05
1,4-二氯苯	3.88E-05	3.33E-03	4.77E-05	4.19E-03
總和	0.02	2.32	0.05	5.75

表 3 雲林沿海地區之急性非致癌風險

	麥寮鄉		台西鄉	
	最高濃度	HIst	最高濃度	HIst
氯乙烯	59.67	1.50E-01	62.06	1.50E-01
1,3-丁二烯	50.81	1.70E-01	52.79	1.80E-01
1,2-二氯丙烷	42	8.40E-01	60.99	1.20E+00
苯	70.41	6.70E+00	88.34	8.30E+00
三氯乙烯	89.93	1.20E-03	92.37	1.20E-03
二氯甲烷	15.6	2.60E-02	24.71	4.10E-02
四氯乙烯	23.62	3.90E+00	23.29	3.80E+00
1,2-二溴乙烷	28.34	6.20E-03	31.68	6.90E-03
三氯甲烷	137.7	4.50E+00	140.2	4.60E+00
四氯化碳	28.2	9.30E-02	28.2	9.30E-02
1,2-二氯乙烷	39.88	8.10E-04	39.8	8.00E-04
乙苯	58.53	1.20E-02	57.97	1.10E-02
苯乙烯	2.45	5.00E-04	11.91	2.40E-03
異丙苯	6.2	1.20E-04	12.25	2.40E-04
1,4-二氯苯	5.63	8.70E-04	16.19	2.50E-03
總和	28.04	1.40E-02	26.07	1.30E-02

表 4 雲林沿海地區之敏感族群之健康風險

		橋頭國小		許厝分校	
		平均值	第 95 百分位數	平均值	第 95 百分位數
致癌風險	氯乙烯	3.00E-06	5.19E-06	2.92E-06	5.11E-06
	苯	4.99E-07	7.26E-07	5.07E-07	7.43E-07
HI	氯乙烯	1.59E-02	2.76E-02	1.55E-02	2.70E-02
	苯	9.94E-03	1.45E-02	1.01E-02	1.47E-02
		最高濃度	HIst	最高濃度	HIst
HIst	氯乙烯	52.7	0.1	46.9	0.1
	苯	66	6.2	32	3

專有名詞及縮寫中英文對照表

中文名稱	英文名稱	縮寫
3D-變化	three-dimensional variational	3D-Var
4D-變化	four-dimensional variational	4D-Var
年齡校正係數	age dependent adjustments factor	ADAF
平均每日暴露劑量	average daily dose	ADD
急性暴露指引值	Acute exposure guideline levels	AEGL
大氣學會/環保署監管模式改進委員會	AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee	AERMIC
大氣學會/環保署監管模式改進委員會模式	AERMIC Model	AERMOD
空氣品質監測網	Air Quality Monitor Network	AQMN
美國毒性物質及疾病登記署	Agency for Toxic Substances and Disease Registry	ATSDR
廣泛空氣品質模式	Comprehensive Air Quality Model with Extensions	CAMx
連續自動監測設施	Continuous Emission Monitoring Systems	CEMS
CMAQ DDM-3D 模式	Community Multiscale Air Quality Decoupled Direct Method in Three Dimensions v5.2	CMAQ DDM-3D
化學質量平衡	Chemical Mass Balance	CMB
致癌斜率	Cancer Slope Factor	CSF
直接去耦合方法（三維）	Direct Decoupled Method - Three Dimensional	DDM-3D
緊急移除程序值	US DOE Emergency Removal Program guidelines	ERPG
全球通信系統	Global Telecommunication System	GTS
危害指標	Hazard Index	HI
急性危害指標	short-term Hazard Index	HIst
國際癌症研究中心	International Agency for Research on Cancer	IARC
美國環保署整合風險系統	Integrated Risk Information System	IRIS
高斯類擴散模式	Industrial Source Complex Model	ISCST3
單位風險度	Inhalation Unit Risk	IUR
卡曼濾波	Kalman Filter	KF
終生平均每日暴露劑量	Lifetime average daily dose	LADD
最小風險值	ATSDR minumum risk levels	MRL

中文名稱	英文名稱	縮寫
美國國家環境預報中心 自動處理資料	National Centers for Environmental Prediction Automated Data Processing	NCEP ADP
美國國家環境預報中心 全球數據同化系統	National Centers for Environmental Global Data Assimilation System	NCEP GDAS
主成分分析	Principal Component Analysis	PCA
非負矩陣分解	Positive Matrix Factorization	PMF
參考暴露值	California EPA reference exposure level	REL
氣溶膠和沈積區域建模系統	Regional Modeling System for Aerosols and Deposition	REMSAD
參考濃度	Reference concentration	RfC
參考劑量	Reference dose	RfD
放排源分類代碼	Source Classification Code	SCC
SMOKE 模式	Sparse Matrix Operator Kernel Emissions v4.5	SMOKE
國內全國性排放清冊	Taiwan Emission Data System	TEDS
美國國家大氣研究中心	U.S. National Center for Atmospheric Research	U.S. NCAR
美國地質調查局	U.S. Geological Survey	USGS
美國環保署線上資料庫	Web Factors and Information REtrieval System	WebFIRE
WRF 模式	Weather Research and Forecasting Model	WRF
WRF 資料同化模式	Weather Research and Forecasting Data Assimillation	WRFDA
劑量反應評估	dose response assessment	
暴露評估	exposure assessment	
危害物質鑑定	hazard identification	
擬似函數	Likelihood Function	
風險特性化	risk characterization	
敏感度傳遞	Sensitivity Propogation	
美國環保署空氣排放模式 SPECIATE	SPECIATE	

第一章、前言

1.1 計畫緣起與目標

1.1.1 計畫緣起

為探討離島工業區自竣工營運後至今對當地民眾健康的影響，就收集過去針對離島工業區進行各種監測的數據與資料，離島工業區排放濃度污染物濃度進行時間空間的模擬，進而可執行附近居民的暴露重建。並建構離島工業區之健康風險評估架構，進而執行健康風險評估，並與過去流行病學研究結果進行比較。過去篩選式的風險評估結果所含不確定高，為降低不確定性，本計畫預計以數學統計方式建構暴露評估以及風險評估方法，並加上石化監測車之資訊，以期改善健康風險評估的品質。

1.1.2 計畫目標

- 一、延續收集彙整過去各單位針對離島工業區執行相關的環境污染物排放資料，進行系統性研析，並整理物質的毒理資料及相關文獻，以提供未來研究之參考。
- 二、以居民健康風險評估為基礎，由環保局目前所使用之模式更新或優化離島工業區相關環境時空間暴露評估模型，以評估民眾經由各種途徑暴露的健康風險，並分別對於成人及幼孩童進行評估。
- 三、利用上述的模式與方法，特別針對民眾關切的環境污染物進行暴露及健康風險評估。
- 四、參考國外先進國家案例，配合上述健康風險評估模式與方法，模擬建構離島工業區針對環境健康監測系統，提供政府擬訂相關管理政策參考，以維護當地居民身體健康。

1.2 工作項目及工作內容

- 一、資料建構：持續蒐集進行環境暴露模式所需之環境監測資料，資料庫包含整理離島工業區及附近環境污染物排放資料(至少包含環保署測站、特殊性工業區測站及雲林縣石化監測車監測資料)，建立離島工業區有害化學物質清單及其相關毒理資料與文獻。
- 二、環境暴露模式發展：發展以離島工業區排放為基礎之環境暴露推估模型，為降低估算的不確定性，依實測數據發展以數學統計方法為基礎，進行空氣污染物(應自行參考可得資料規畫空氣污染物種，但至少須包含以雲林縣石化監測車

所測得物種及雲林縣特殊性工業區測站中國際癌症研究署組織(IARC)所規範 2B 級以上物質，如苯、氯乙烯、1,3-丁二烯、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯等)之空氣擴散模式及多介質模式，及發展推估離島工業區污染排放量之數學統計模型。並模擬工業區附近民眾暴露模與評估健康風險，以模擬暴露濃度並評估健康風險。

- 三、環境暴露時空推估：以環境監測資料為基礎，參考毒理資料庫對民眾健康風險高之污染物進行排放量推估與模擬時空間濃度分布，並探討與不同介質濃度推估總暴露劑量，評估健康風險；另需選定須包含氯乙烯等至少 2 種化學物質，進行不同排放情境之暴露分布推估。
- 四、健康風險評估架構：建構有害污染物之健康風險評估架構，並需考量健康風險評估之不確定性，含模式與資料之不確定，進行健康風險評估(需區分敏感與一般暴露族群，及急性和慢性暴露情境之健康風險)。
- 五、環境健康監測系統：利用監測站的數據，針對物理特性，結合時空統計及多介質模式與健康風險評估方法，規劃離島工業區環境污染物採樣策略，包括採樣位置，頻率，媒介等。
- 六、與國內現行相關機關(如環保署)所使用之模式或方法進行分析探討其差異性。

1.3 計畫整體執行架構

本計畫執行架構如圖 4 所示

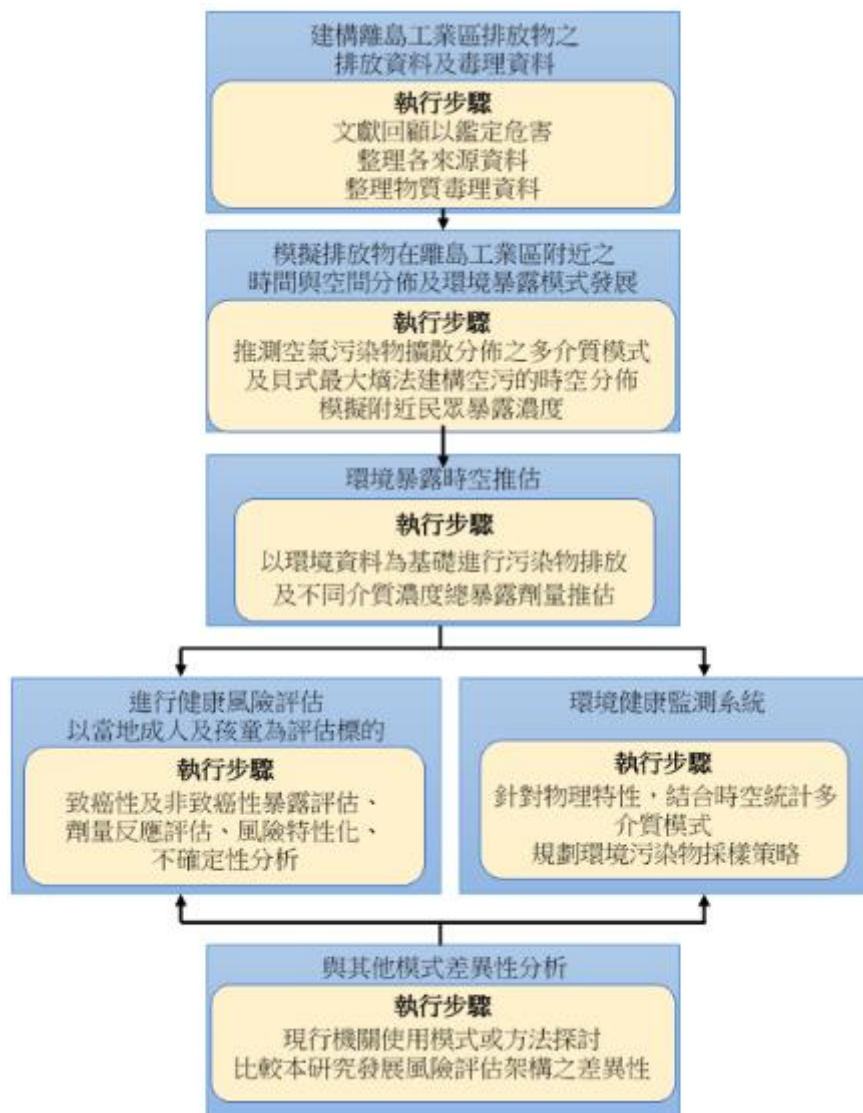


圖 4 計畫執行方法架構圖

1.4 工作項目進度查核

契約書中計畫預定進度、工作項實際執行情形與查核點時間及說明如下表 5、表 6、表 7 所示。

表 5 計畫預定進度表

月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
年別	106年度				107年度							
月份	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
一、資料建構												
1. 蒐集相關污染物之排放及毒理資料監測之資料												
2. 建構資料庫												
二、環境暴露模式發展												
1. 建構大氣擴散模式												
2. 建構多介質模式												
3. 發展推估離島工業區之排放量模型												
三、環境暴露時空推估												
1. 推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度												
四、健康風險評估架構												
1. 劑量反應評估、風險特性化及不確定性分析												
五、規畫離島工業區環境污染物採樣策略												
1. 透過二、三項結果規劃環境污染物採樣策略												
2. 建構離島工業區環境污染物有效監測系統												
3. 建構離島工業區環境污染物有效監測頻率												
六、與其他模式之差異分析												
1. 與現行相關機關使用之模式分析探討												
第1次工作報告				✓								
期中報告							✓					
期末報告初稿											✓	
期末報告定稿												✓
預定進度累積百分比(%)	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	96	100

表 6 工作項目實際執行情形表

契約書之預定進度累積百分比(%)		100%			實際執行進度(%)	100%	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析(打✓)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
第一次工作報告		✓					
蒐集彙整離島工業區相關污染物之排放及毒理資料監測之資料	已彙整可蒐集到之離島工業區相關污染物之排放及毒理資料監測之資料	✓					
建構資料庫	已建構離島工業區相關報告、毒理資料等內容資料庫	✓					
建構大氣擴散模式	已蒐集與彙整大氣擴散模式及其相關參數	✓					

建構多介質模式	已蒐集與彙整 建構多介質模 式模型與其相 關參數	√					
期中報告							
建構大氣擴散模 式	已蒐集與彙整 大氣擴散模式 及其相關參數	√					
建構多介質模式	已蒐集與彙整 建構多介質模 式模型與其相 關參數	√					
發展推估離島工 業區之排放量模 型	已進行推估離 島工業區之排 放量模型	√					
推估離島工業區 附近不同介質之 暴露濃度	已完成推估離 島工業區附近 不同介質之暴 露濃度	√					
期末報告							
劑量反應評估、 風險特性化及不 確定性分析	已完成劑量反 應評估、風險 特性化及不確 定性分析	√					
規劃環境污染物 採樣策略	已完成環境污 染採樣策略規 劃	√					
建構離島工業區 環境污染物有效 監測系統	已完成建構離 島工業區環境 污染有效監測 系統	√					
建構離島工業區 環境污染物有效 監測頻率	已完成建構離 島工業區環境 污染有效監測 頻率	√					

表 7 查核點時間及說明表

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
第 1 次工作進度報告	106/12/22	
1. 蒐集彙整離島工業區相關污染物之排放及毒理資料監測之資料	106/12/22	離島工業區相關污染物之排放及毒理資料監測之資料是否蒐集完整
2. 建構資料庫	106/12/22	資料庫是否架設完成
3. 建構大氣擴散模式	106/12/22	大氣擴散模式是否完成文獻回顧與資料收集
4. 建構多介質模式	106/12/22	多介質模式是否完完成文獻回顧與資料收集
期中報告		
1. 建構大氣擴散模式	107/3/13	大氣擴散模式完成文獻回顧與資料收集
2. 建構多介質模式	107/3/13	多介質模式完成文獻回顧與資料收集
3. 發展推估離島工業區之排放量模型	107/3/13	是否進行發展推估離島工業區之排放量模型
4. 推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度	107/3/13	是否進行推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度
期末報告		
劑量反應評估、風險特性化及不確定性分析	107/9/01	是否完成劑量反應評估、風險特性化及不確定性分析
規劃環境污染物採樣策略	107/9/01	是否完成規劃環境污染物採樣策略
建構離島工業區環境污染物有效監測系統	107/9/01	是否完成建構離島工業區環境污染物有效監測系統
建構離島工業區環境污染物有效監測頻率	107/9/01	是否完成建構離島工業區環境污染物有效監測頻率

第二章、文獻回顧

2.1 離島工業區相關文獻與計畫回顧

蘇慧貞等人(2004)彙整六輕(及中油)風險評估結果,瞭解工業區對於附近居民可能造成之健康影響,並判斷其評估範圍、內容之適切性及本計畫應進行調查分析之成分。繼而評量除空氣污染物外,是否尚有其他對於居民可能造成健康風險之污染物或途徑。再以整合型之資料庫分析模式,進行流行病學工業區及非工業區民眾之標準化死亡比及醫療就診習慣及頻率之比較,以評估當地居民可能之健康影響。研究發現,麥寮鄉居民在 85~91 年間死亡率相較全台居民而言有較高的情形,若當標準族群縮小為雲林縣時,則間接死亡率則較無顯著差異,這可能表示工業區對居民健康的影響可能不侷限於當地區居民,甚至是全縣市的影響,故當標準人口愈大時,間接標準化死亡率易較容易有顯著差異。而此發現究由何主因所致值得進一步觀察。

該研究在空氣污染評估方面原擬以 meta analysis 之資料整合方式,在經費時間限制下,以較為有效率之資料處理及分析模式,推估該地之污染物暴露情形。初步發現,90 年以來,無論就 TSP、SO_x、NO_x、VOCs 而言,大都均以 92 年之排放量較高。而該地區之 VOCs 排放主要由儲槽所致,再以各排放口比較,則發現,其主要污染物為氮氧化物,於廢氣燃燒塔之分析亦然。但是,目前該地之空氣污染資料包括模擬值及實測值資料廣為分布於各研究單位及政府機關或所屬各私人企業中,雖資料收集上已盡量尋求各單位之配合,但發現相關配合意願有限,而各研究計畫其實大多僅完成基本資料收集,尚未完成完整之模式之推估,故對該研究之結論完整性影響極大。而此過程更充分顯示該計畫後續推動完整之環境監測規劃之必要性與意義。

詹長權等人(2011)執行並整合了民國 98 年 7 月至民國 101 年 7 月期間共三年的「沿海地區空氣汙染物及環境健康世代研究計畫」結果,採用跨領域之方法來執行此計畫,工作內容包含環境監測、生物偵測、健康檢查,肺功能檢測以及問卷調查。該研究發現,當地居民暴露包括氯乙烯、苯與 1,3-丁二烯等人類確定的致癌物之下會增加癌症風險,而六輕石化工業大量的乙烯排放則可能對當地農作物成長造成衝擊。該研究也根據其過去三年的世代研究得到以下幾點結論論:(一)六輕工業區的營運確實造成鄰近地區尤其是 10 公里範圍內之區域的空氣品質下降,包括了傳統空氣汙染物(二氧化硫與氮氧化物)以及致癌性空氣汙染物(揮發性有機物、

重金屬與多環芳香烴)。(二)住在距六輕 10 公里範圍內至少滿 5 年的居民，其尿中某些石化工業的指標金屬以 III 及 1-OHP 之濃度都有增加的現象。(三)住在距六輕 10 公里範圍內至少滿 5 年的居民其肺、肝與腎功能以及血液與心血管系統都有受到影響。該研究團隊也表示，必須加強六輕工業區內所有製造工廠的污染防治以降低鄰近區域之空氣污染承載，並且建議藉由增加世代的樣本數以及檢測其血中之生物指標來擴大並深化本世代研究才能早期偵測到居住在六輕工業區附近民眾之潛在健康影響。

景丰科技股份有限公司(2015)執行 101~104 年度之「六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫」，依據健康風險評估結果，在六輕所運作之 169 種物質中，有 38 種屬 GROUP 2B 以上之致癌物質，於各鄉鎮中風險超過 10^{-6} 共 6 種，包括：1,3-丁二烯、甲醛、苯、1,2-二氯乙烷、丙烯腈、三氯甲烷等，此外，64 項物種中非致癌風險評估結果（含急性與慢性）均小於 1，符合健康風險技術規範。流行病學研究結果顯示，比較 2000 年前後之趨勢斜率，麥寮鄉之全癌症、子宮頸癌、肝癌、肺癌及結腸直腸癌年齡標準化死亡率之斜率於 2000 年後皆有趨於平緩的現象，整體來說，以 2000 年做為分界年，觀察各癌症之趨勢變化，並無足夠證據證明工廠運轉前後之癌症在各指標上有顯著的改變。

該計畫在暴露量評估部份，空氣污染擴散模式選用 ISCST3 模式，並逐年進行模式與氣象資料比對，在多介質評估部份，採用美國加州政府環境健康危害評估辦公室所發展之多介質模式並逐年更新蒙地卡羅不確定性估計參數與推估。共計完成 64 項物種 ISCST3 模式模擬、36 項致癌性物質與 18 項非致癌性物質之多介質分析。

2.2 本延續性計畫歷年成果回顧

回顧 102 年度沿海地區敏感族群健康風險評估計畫，根據離島工業區附近空間與時間環境暴露模式與資料建置，完成健康風險評估與生態風險評估。該計畫蒐集環境資料包含地表水、地下水、土壤、空氣、底泥和生態幾個部份。另外也蒐集監測車資料之監測座標、監測數據，監測井位置、空氣、交通、陸域生態、海域生態、地下水、陸域水質、河口水質、海域水質等監測數據。

該計畫藉由分析離島工業區不同廠區內原料、設備及製程，配合離島工業區附近行政院環保署臺西光化測站監測資料，篩選出可能為離島工業區所排放之揮發

性有機化合物，包含苯、乙苯、乙烯、異丙苯、間、對-二甲苯、正丁烷、鄰-二甲苯、丙烷、丙烯、苯乙烯和正丁烯共 11 種化合物，作為其工作推估之目標污染物。

該計畫使用歷年來空氣及水土污染監測資料進行污染物的時空間分析與推估，利用 AERMOD 大氣擴散模式模擬一般污染物在研究區域內之分布。另外，利用廣義線性模型進行分析一般污染物時、空間趨勢，進而校正大氣擴散模式之結果。

相較於以往許多團隊所執行的健康風險評估報告，其排放源確認的部分，多是以廠區內廢氣燃燒塔、排放管道、設備元件、儲槽、裝載設備、污水處理設施、冷卻水塔等項目做為可能排放源的假設。過去的執行方法少部份對上述之可能排放源進行實地檢測以得到化學物質的檢測時段的實際排放資料大部份使用排放參數與估計之營運量係數乘積做為化學物質單位時間排放量的估計值。但這些方法所得結果不但缺乏實時排放量與相對應實際環境濃度資料的驗證也對實際暴露。尤其是對意外洩漏的部分都沒有估計。

因此，該計畫針對這些不足處利用觀測資料同化進行補充，透過建構貝氏最大熵法結合擴散模式結果與實際觀測值，在考量不確定性下推估目標污染物在研究區域範圍內的時空分布。相較於以往大多數研究的污染物排放量推估方法為直接推估法，該計畫考量到若直接使用工廠提供之煙囪排放污染物數據，可能有其不確定性存在。進而使用污染物排放量逆推估法估算由離島工業區排放之污染物排放量，希望能夠以不同的方式詮釋污染物排放量之推估，並利用其推估結果探討沿海地區敏感族群健康風險評估與生態風險評估。

該研究之健康風險評估逐步完成 11 種揮發性有機化合物之有害物質鑑定、劑量反應關係評估、暴露評估和風險特性化。污染物的時空分布模擬結果與排放量逆推估之模擬結果各根據其對應的健康風險評估模式估算敏感族群之健康風險，最後以不確定性分析討論健康風險評估中之不確定性。該研究以 0-15 歲的孩童為敏感族群的評估對象，沿海地區敏感族群健康風險較高於以一般族群為評估對象之健康風險，主要的原因除了計算暴露評估之身高、體重、各項飲食之攝食量等暴露因子有差異外，也考慮敏感族群不同年齡層的易感性。該計畫也提出建議，若有收集到離島工業區內部之自行監測資料，則能降低健康風險評估之不確定性以提供沿海地區居民獲得更精確評估訊息。

接著，同樣的計畫團隊在 104 年度沿海地區健康風險評估計畫中，該計畫持續蒐集離島工業區相關資料，包含新增之成果報告與文獻、歷年監測車資料、氣象資

料等資料。並將前次計畫中所蒐集離島工業區的相關資料整理、清理後，依現有資料整合。在環境資料部份，該計畫依環境介質分為地表水、地下水、土壤、空氣、底泥和生態將環境部份資料 6 個類別。另外對資料中監測車之監測座標、監測數據，監測井位置、空氣、交通、陸域生態、海域生態、地下水、陸域水質、河口水質、海域水質等監測數據數化並匯入計畫所建置之資料庫，將資料歸類存放。同時，發佈資料庫至該計畫所建置之數位資料展現平台。毒理資料庫部分則以毒性物質為單位，以人的健康為主要內容，著墨於毒性物質在人類健康影響的面向系統性探討，內容完整地描述毒性物質與人之間的交互關係。主要之毒理資料分別有(一)毒理動力學(二)作用機制(三)健康效應。為了讓毒理資料敘述地更完善且易懂，將其毒理資料分為摘要版及詳細版兩種類型提供不同使用者瀏覽。該計畫蒐集離島工業環境影響評估報告中之製程描述資料、放流廢水分析、六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫中檢驗分析出之化學物質彙整出離島工業區有害化學物質清單共計 469 種，並比對雲林縣環境保護局提供監測車監測項目，篩選出 16 項可重建暴露濃度之污染物進行後續評估。篩選出 16 項之污染物中以 IARC 致癌分類為第一級致癌化學物質：苯、氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯計有 5 項；2A 級致癌化學物質：1,2-二溴乙烷、四氯乙烯、二氯甲烷計有 3 項；2B 級致癌化學物質：四氯化碳、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、乙苯、苯乙烯、異丙苯、異戊二烯、1,4-二氯苯計有 8 項。

在資料庫與平台部分，該計畫建置空間資料庫、網路地圖服務伺服器與網路型地理資訊應用服務平台。其中，網路型地理資訊應用服務平台建置在空間資料庫與網路服務伺服器之上，可將所蒐集到的資料匯入，並提供資料的關鍵字搜尋與資料的展示與下載。若有空間訊息的資料，可以空間資料格式一併匯入，即可將資料做空間展示與地圖套疊，相當方便。

該計畫利用健康風險評估中環境暴露模式發展與時空推估重建了前項工作篩選出之 16 項離島工業區污染物的排放量，由離島工業區的排放資料作為事前分布，並透過 AERMOD 空氣擴散模式推估沿海地區空氣中污染物濃度分布，利用雲林縣監測車的濃度監測資料為概似函數，以貝式統計配合馬可夫鍊蒙地卡羅法模擬離島工業區的排放參數之事後分布。再經由貝氏最大熵法整合確定性資料(雲林縣石化監測車觀測值)和不確定性資料(AERMOD 大氣擴散模式模擬結果)後，可獲得民國 101 年至 104 年在沿海地區 16 種選取化學污染物的空氣濃度年平均值，為了解

化學污染物在不同環境介質中流佈情形與暴露劑量，以台灣土地利用參數帶入 CalTOX 多介質估算各介質中化學污染物濃度與多介質之暴露劑量。結果顯示呼吸途徑的暴露劑量均占多介質暴露總劑量 90% 以上，因此可認定呼吸暴露為沿海地區暴露污染物的主要暴露途徑。

以致癌風險與非致癌風險指標來評估沿海地區居民之健康風險，該計畫評估的 16 種污染物在 IARC 列為致癌物，因此透過現有的毒理資料庫：IARC、IRIS、ASTDR、RAIS 等資料庫內容，收集明確的致癌風係數與安全劑量等相關資料，以作為風險評估計算所用；但其中六個項目，分別是 1,2-二氯丙烷、乙苯、苯乙烯、異丙苯、異戊二烯、1,4-二氯苯，於資料庫中缺乏致癌性評估，亦缺乏單位風險度，因此需另外評估其單位風險度，此六項物質缺乏人體的劑量-反應數據數據，僅有動物實驗數據，考慮其 MOA 以及最敏感效應後，將其最敏感效應之數據帶入美國環保署開發之軟體 BMDS(Benchmark Dose Software)，透過不同模式得到最佳的 BMDL(benchmark dose lower bound)，最後再經過考慮實驗暴露時間、呼吸量等，經運算得等值的連續暴露之單位風險度。沿海地區致癌風險的結果以台西鄉 1,2-二溴乙烷 95%信賴區間上限之致癌風險 1.7×10^{-6} 為最高，其餘 15 項化學物質的致癌風險的 95%信賴區間上限值界於 2.6×10^{-7} 到 2.0×10^{-12} 的區間。非致癌風險的危害指標以麥寮鄉三氯乙烯之 HI 為 0.5 是評估 16 項化學物質中最高，台西鄉則是以 1,2-二溴乙烷為最高，但個別化學污染物之 HI 均未超過 1。

環境健康監測系統將利用前項工作目標所推估出的污染物濃度值，搭配熵方法，來找出具代表性的監測位置、其配置的數量以及適合的監測頻率。所選擇的空間監測位置，位於台西、麥寮及東勢三鄉鎮來做篩選。監測位置的模擬結果在同時考量 16 種污染物濃度所找出的監測位置優先順序為台西溪頂村、麥寮中興村、台西五港村、東勢安南村四個站。監測頻率方面因為延遲時間後的監測頻率並無法捕捉到大部分原來監測頻率的濃度值，故監測頻率維持每小時濃度值之監測頻率。

本團隊歷年計畫之研究方法如下表8 所示。

表 8 本團隊歷年計畫之研究方法

	102 年沿海地區敏感族群健康風險評估計畫	104 年度沿海地區健康風險評估計畫
--	-----------------------	--------------------

資料蒐集與平台建置	<ul style="list-style-type: none"> ● 地表水、地下水、土壤、空氣、底泥和生態、 ● 監測車資料之監測座標、監測數據，監測井位置、空氣、交通、陸域生態、海域生態、地下水、陸域水質、河口水質、海域水質 ● 無平台資料庫建置 	<ul style="list-style-type: none"> ● 持續蒐集前次計畫之離島工業區相關資料 ● 發佈資料庫至該計畫所建置的數位資料展現平台 ● 毒理資料庫以毒性物質為單位，以人的健康為主要內容，著墨於毒性物質在人類健康影響的面向系統性探討
推估污染物篩選	<ul style="list-style-type: none"> ● 苯、乙苯、乙烯、異丙苯、間、對-二甲苯、正丁烷、鄰-二甲苯、丙烷、丙烯、苯乙烯和正丁烯共 11 種化合物 	<ul style="list-style-type: none"> ● IARC 致癌分類為第一級致癌化學物質：苯、氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯計有 5 項 ● 2A 級致癌化學物質：1,2-二溴乙烷、四氯乙烯、二氯甲烷計有 3 項 ● 2B 級致癌化學物質：四氯化碳、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、乙苯、苯乙烯、異丙苯、異戊二烯、1,4-二氯苯計有 8 項
環境暴露 模式與推估方法	<ul style="list-style-type: none"> ● AERMOD ● 廣義線性模型 ● 貝氏最大熵法 	AERMOD 貝式統計 馬可夫鍊蒙地卡羅法 貝氏最大熵法 CalTOX
健康風險評估 架構與方法	<ul style="list-style-type: none"> ● 有害物質鑑定 ● 劑量反應關係評估 ● 暴露評估 	<ul style="list-style-type: none"> ● 有害物質鑑定 ● 劑量反應關係評估 ● 暴露評估

	<ul style="list-style-type: none"> ● 風險特性化 ● 不確定性分析 ● 以 0-15 歲的孩童為敏感族群的評估對象 	<ul style="list-style-type: none"> ● 風險特性化 ● 缺乏人體的劑量-反應數據之污染物利用 BMDS(Benchmark Dose Software)運算 ● 環境健康監測系統來找出具代表性的監測位置、其配置的數量以及適合的監測頻率
--	--	---

2.3 大氣擴散模式回顧

在一般健康風險評估中，如行政院環保署所訂定之健康風險評估技術規範所建議之空氣品質大氣擴散模式，主要 RAM、ISC3、UAM 以及前期計畫所使用之 AERMOD 模式等。另一方面，近年來美國環保署積極發展其開源大氣擴散模式專案-CMAQ，逐漸被廣泛運用於空氣污染模式。例如，CMAQ 可以用來模擬美國淨化空氣法案中提及的 187 種危害空氣污染物(Hazardous Air Pollutants, HAPs)的濃度與沉降，對於未列於法案中的其它潛在危害污染物，CMAQ 也被設計成可彈性的將其納入探討。依據美國環保署之統計，使用 CMAQ 模式於大氣擴散暴露濃度推估已經成為學術界之主流，亦應用於相關空氣暴露濃度標準擬定與推估之用。在 2010 年後，400 篇 CMAQ 研究文獻中已有 39 篇為與健康議題有關的文獻。

CMAQ 用於模擬污染物擴散，相較於一般健康風險評估常用之 AERMOD 模式，CMAQ 模式可考慮污染物的背景值、在大氣環境下之化學反應、模擬沉降機制遵守質量守恒、考量資料不確定性等優勢。此外，AERMOD 模擬之擴散著地濃度為增量濃度，且屬於穩態 (steady) 之模擬假設，為模擬整年度之平均結果，而 CMAQ 模擬為總量濃度，且屬於非穩態 (unsteady) 之模擬假設，為模擬每日之濃度結果。AERMOD 模式所使用氣象資料的限制，模擬的結果、時間與空間解析度等，也讓 CMAQ 模式與 AERMOD 有許多本質上的不同。缺點為模式複雜因而需要大量的運算資源。然而，在現今運算資源普及的大環境中，此缺點已漸不明顯。且與使用 AERMOD 研究文獻相比，CMAQ 被引用次數超過 AERMOD 的被引用次數約 7000 次，此現象也再再顯示 CMAQ 於研究上的使用率已高於 AERMOD。

在健康風險評估方面，在 2006 年，USEPA 與 NOAA 就已經合作使用 CMAQ 推估苯(BENZENE)與甲醛(FORMALDEHYDE)呼吸暴露並結合 AERMOD 評估 CMAQ 模擬格點內變化(Isakov et al, 2006)。在 2010 年，Levy 等人將 CMAQ 模式應用於美國都市區交通擁塞的健康風險評估(Levy et al, 2010)；Zhou 等人利用 CMAQ 模式於長江三角洲模擬空氣污染以進行康健風險評估，進而制定空氣污染之管制策略(Zhou et al, 2010)。在 2011 年，Boldo 等人使用 CMAQ 模式於西班牙進行懸浮微粒暴露評估，並將暴露評估結果應用於健康風險評估(Boldo et al, 2011)。在 2016 年，Kheirbek 等人利用 CMAQ 模式模擬紐約市汽機車廢氣排放對於大眾健康之風險評估(Kheirbek et al, 2016)。在 2018 年，美國環保署發表國家空氣毒物評估(National Air Toxics Assessment, NATA)，係使用 CMAQ 模式模擬 2014 年所有空氣有毒物質污染物濃度來評估健康風險(Office of Air Quality Planning and Standards, 2018)

第三章、環境及毒物資料建置

3.1 研究區域背景介紹

雲林縣離島工業區於 1998 年開發完成並於 2007 年陸續完成離島工業區四期擴建計畫，目前已有超過 66 座工廠設立於工業區內，工廠所使用的化學物質有可能會散佈至周遭環境中，因此需鑑定出臨海工業區中有使用之化學物質以利後續健康風險評估的執行。

離島工業區位於麥寮區，為雲林縣內使用化學物質最多的區域，於民國 79 年因應基礎工業之建廠需求，及林園、大社等工業區因污染抗爭所引發之遷廠問題，與兼顧環保與生活品質等因素量開始規劃以圍堤填造海埔新生地方式設置的基礎工業區。原計畫引進石化、煉油、煉鋼、電力及相關中下游產業。

離島工業區自 1998 年起歷經 4 次擴建當中化學物質使用之情況也會隨著擴建的需求而不同。因此透過了解離島工業區中不同時期之化學物質使用狀況，可對污染物質於時間、空間的分布結果提供參考的資訊。

離島工業區一期計畫之主要目的為解決國內石化原料不足問題，其中所提出的計畫有籌建烯烴廠暨相關工業計畫、離島工業區石化工業綜合區第二期開發計畫和離島工業區石化工業綜合區公用發電機組暨輕油廠產能擴充計畫分別於 1993、1994 與 1996 年核定後開始施工，而離島工業區一期計畫完成後繼有 33 家工廠位於麥寮廠區內。

離島工業區二期計為配合生產技術提升與市場環境之變遷等因素，重新調整產品類別及部分工廠產能，並於 2001 年核定通過進行擴建。離島工業區二期擴建後工廠數量增加至 48 間，且新擴建 11 中不同製程之工廠分別為四碳廠 (MTBE/B-1)、碳纖一廠 (CF-1)、丁醇廠 (BUTANOL)、彈性纖維廠 (SPANDEX)、異壬醇廠 (INA/IDA+13 醇/LS/MS)、環氧大豆油廠 (ESO)、過氧化氫廠 (H₂O₂)、抗氧化劑廠 (AO/CPE)、苯乙烯廠 (SM-2)、己內醯胺廠 (CPL/硫酸) 和苯乙烯廠 (PS/ABS/工程塑膠)。由於擴建後新的工廠加入新的製程，因此新的化學物質如異丁烯、甲基第三丁基醚、正丁烯、丙烯腈、THC、二甲基甲醯胺、正辛烷、二甲基乙醯胺和二乙胺等均需要納入至健康風險評估之考量。

離島工業區三期計畫於 2002 年核定通過，並以提高國內石化原料供應之自主性為目標進行擴建。工廠數量增加至 55 間，當中除了軟性十二烷基苯廠 (LAB)、

柏油廠、白油廠等為新擴建之工廠外，另外有 18 間工廠調整產量進而增加原料之使用量。

離島工業區四期計畫於 2004 年獲得核定，工廠數量增加至 61 間。新擴建之工廠有高吸水性樹脂廠 (SAP)、安定劑廠、馬來酞廠(MGN)等 3 廠，而增加產量工廠共計 34 間，產量增加工廠之數量為歷次擴建計畫中最多。

本計畫將資料建構分成六個步驟進行：資料建構的流程、有害化學物質清單建立、環境資料、毒理資料的蒐集與資料庫及平台建置。以下將分節對此六個面向進行詳細說明。

3.2 資料建構流程

資料建構之流程如下圖 5 所示。從有害化學物質清單建立有毒理與環境資料分析為觀點出發，工作內容包含資料蒐集、分類、整理，以及之後的資料庫與平台建置。在資料準備齊全後，再實際進行後續的有害化學物質清單建立與毒理及環境資料分析工作項目。

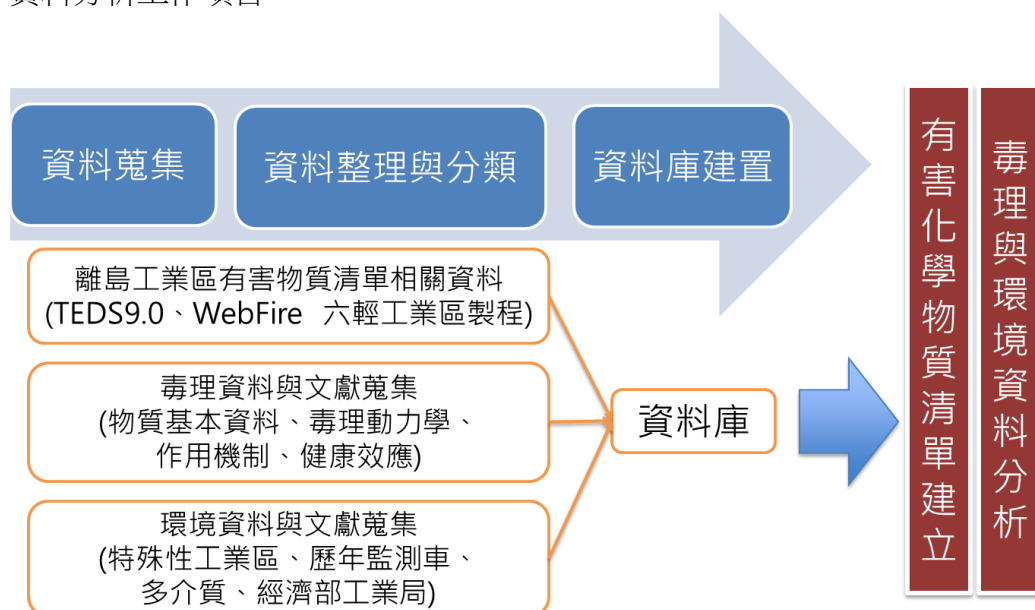


圖 5 資料建構流程圖

在蒐集資料部份，主要可分成離島工業區有害物質清單相關資料與毒理、環境的資料與文獻。所蒐集到的資料，將會利用資料整理與分類方法，將資料歸類到所屬的類別中。再經由資料清理、資料數化等過程，得到整理好之數化資料，以便放入資料庫與平台展現。以下將對於不同類型的資料建構加以描述。

3.3 離島工業區有害物質清單相關資料

離島工業區有害物質清單相關資料包含 TEDS9.0、WebFIRE 與離島工業區製程等資料。對於離島工業區有害物質清單相關資料的蒐集，本年度計畫除了延續歷年建立之有害化學物質清單外，今年嘗試以美國環保署 WebFIRE 排放因子資料庫連結 TEDS9.0 中記錄的排放源分類代碼(Source Classification Code, SCC)，找出離島工業區所有可能污染物之排放源，納入有害物質清單相關資料供參考，以加強有害化學物質清單之完整性。

3.3.1 六輕工業區製程資料

本計畫蒐集離島工業環境影響評估報告中之製程描述資料、放流廢水分析、六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫中檢驗分析出之化學物質，參考美國 SPECIATE 資料庫彙整出離島工業區有害化學物質清單共計 400 餘種，將用於建構離島工業區可能排放之有害物質清單。

以離島工業區一期計畫為例，完成後共計有 33 家工廠位於麥寮廠區內，詳細工廠之列表如表 9 所示。

表 9 離島工業區一期計畫之工廠列表

公司	工廠種類	公司	工廠種類
塑化	輕油廠 (REFINERY)	南亞	鄰苯二甲酸酐廠 (PA-1)
	輕油裂解一廠 (OL-1)		異辛醇廠 (2EH)
	輕油裂解二廠 (OL-2)		可塑劑廠 (DOP)
	公用廠 (UTILITY)		乙二醇一廠 (EG1)
麥寮汽電	發電廠		丁二醇一廠 (1,4-BG I)
台塑	丙烯腈廠 (AN)		環氧樹脂廠 (EPOXY)
	環氧氯丙烷廠 (ECH)	台化	芳香烴一廠 (AROMA-1)
	甲基丙烯酸甲酯一廠 (MMA/MAA/BMA-1)		芳香烴二廠 (AROMA-2)
	碱廠 (NaOH)		苯乙烯廠 (SM-1)

	氯乙烯廠 (VCM)		二甲基甲醯胺廠 (DMF)
	聚氯乙烯廠 (PVC)		對苯二甲酸廠 (PTA)
	丙烯酸/丙烯酸酯一廠 (AA/AE-1)		聚丙烯廠 (PP)
	高密度聚乙烯廠 (HDPE)		合成酚廠 (PHENOL)
	線性低密度聚乙烯廠 (LLDPE)		聚碳酸酯廠 (PC)
	乙烯醋酸乙烯共聚合體廠 (EVA)	台灣醋酸	醋酸廠 (HOAc)
南亞	二異氰酸甲苯廠 (TDI)	台朔重工	機械廠
	丙二酚一廠 (BPA-1)		

離島工業區一期各工廠製程之化學物質如表 10 所示，共計有 88 項。

表 10 離島工業區一期計畫之工廠製程中化學物質列表

項次	化學物質	項次	化學物質	項次	化學物質
1	1,2 丁二醇	30	三氯化鐵 ^{3/4}	59	吡咯
2	1,2-二氯乙烷	31	之酯化級丙烯酸	60	芳香烴油
3	1,4 丁二醇	32	六氫酞酐	61	苯
4	1,4-二醋酸基 2 丁烯	33	丙二酚	62	苯乙烯
5	1,4-二醋酸基丁烷	34	丙烯	63	氨
6	1-乙硫丙烷	35	丙烯酸	64	馬來酸酐
7	1-醋酸基 4-羥基丁烷	36	丙烯酸丁酯	65	氫氣
8	2,2-二甲基丁烷	37	丙烯酸異辛酯	66	異丁烷

9	2,3-二甲基丁烷	38	丙烷	67	異丁酯
10	2-甲基丁烷	39	丙烷類液化石油氣	68	異丁醇
11	2-甲基戊烷	40	丙硫醇	69	異丁醛
12	3-甲基戊烷	41	丙酮	70	異戊二烯
13	H ₂	42	四氫呋喃	71	異辛醇
14	一氧化碳	43	四氫酞酐	72	硫化氫
15	乙二醇	44	戊烷類碳氫化合物	73	硫酸
16	乙苯	45	正丁醇	74	硫酸氫銨
17	乙基環戊烷	46	正丁醛	75	酚
18	乙烯	47	正己烷	76	氯乙烯
19	乙烷	48	甲苯	77	氯化氫
20	丁二烯	49	甲基六氫酞酐	78	氯氣
21	丁二烯萃餘油	50	甲基丙烯酸	79	氰丙醇
22	丁烷	51	甲基丙烯酸丁酯	80	氰酸
23	丁醇	52	甲基丙烯酸甲酯	81	酯化級丙烯酸
24	九碳餾份油	53	甲基四氫酞酐	82	鄰二甲苯
25	二乙二醇	54	甲基異丁基酮	83	醋酸
26	二甲苯	55	甲基環戊烷	84	醋酸丁酯
27	二氧化硫	56	甲醇	85	噻吩
28	三乙二醇	57	石油腦	86	燃料油
29	三氧化硫	58	多乙二醇	87	環己烷
				88	環氧乙烷

3.3.2 Web Factor and Information Retrieval System (WebFIRE)

WebFIRE 是美國環保署之線上資料庫，裡面包含工業及非工業製程所產生之指標及危害空氣污染物之排放因子，並依法規所規定之格式提交排放因子資料用於檢視審查。

所謂的排放因子，是試圖將工廠排放到大氣中的污染物的量與該污染物的相關排放製程關聯起來的代表值。這些排放因子通常表示為污染物的重量除以排放污染物的相關製程單位重量、體積、距離或持續時間（例如，噸污染物/噸燃油）。這些排放因子有助於估算各種空氣污染源的排放量。

在大多數情況下，這些排放因子係由各同類型工廠(同排放源分類代碼)通過申報之污染物排放量中使用其排放量的平均估算而得。

排放因子也是製作排放清冊的基本工具，用於空氣品質管理決策和製定排放管制策略。排放因子常用於工廠建立其申請排放量許可時的排放量推估，以達到對此工廠於特定地點排放的適用性與管制。

WebFIRE 資料庫內重要項目如下表 11：

表 11 WebFIRE 資料庫重要項目

WebFIRE 原始欄位名稱	SCC	POLLUTANT	FACTOR _i	FACTOR _{TOC}	FACTOR _{TNMOG}
意義	排放源 分類代碼	污染物名稱	排放因子	總有機化合物 排放因子	總非甲烷 有機化合物 排放因子
舉例	10100401	Chromium	0.53	1.04	0.76

其中，在 WebFIRE 資料庫內的 SCC 欄位，全名為排放源分類代碼(Source Classification Codes, SCC)，是一組由 8~10 位數字構成之分類排放源過程之代碼，如下圖 6 所示。一組排放源分類代碼分成四個等級，等級越低者所指排放過程越廣泛，等級越高者所指排放過程越加專指。等級 1 由首兩位數字構成，通常用以代表製程的形式，如：外部燃燒、內部燃燒、工廠製程、化學揮發或廢棄物處理。本計畫將依據此排放源分類代碼進行有害化學物質清單建立。

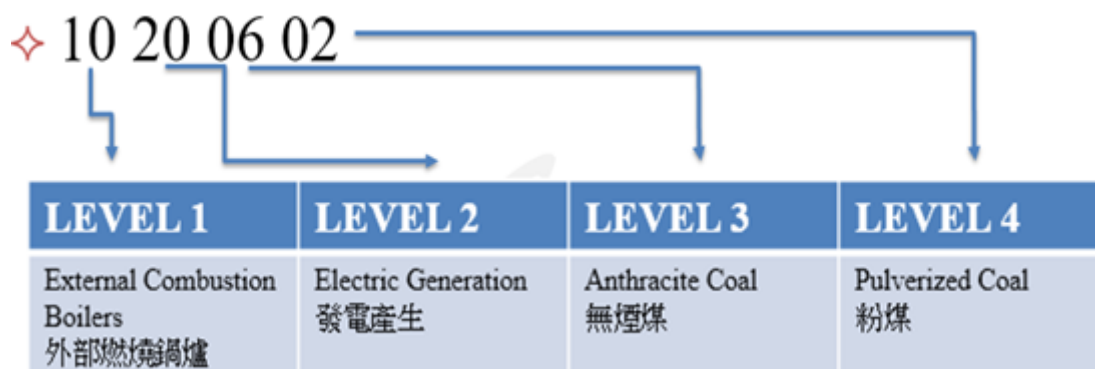


圖 6 排放源分類代碼等級劃分舉例(兩位數為一等級)

3.3.3 台灣排放資料清冊(Taiwan Emission Data System, TEDS)

排放清冊是指一個國家或區域、公司等範圍中，調查從事各種活動所產生的污染排放量，經統計與整理後成詳細登記的冊子。行政院環保署為了改善空氣污染環境與了解全臺灣之污染排放量，自 1992 年起建立了這份臺灣排放資料清冊。而為了有效掌握污染排放狀況，行政院環保署即規劃每三年進行一次全國排放量更新工作，其推估範疇包含點、線、面污染源排放之污染物。

最新的排放資料清冊為 TEDS9.0 版，係以 102 年為基準年，內容以 104 年 3 月擷取 102 年固定源排放量資料為主體，並於 105 年 11 月 1 日完成建置並公告。本計畫將使用 TEDS9.0 的排放資料，截取離島工業區內的點源污染排放資訊用於有害化學物質清單之建立。同時，也蒐集 TEDS9.0 之點、線、面源之排放資料用於大氣暴露模式推估。TEDS 9.0 點源資料內重要項目如下表 12 所示：

表 12 TEDS 9.0 點源資料重要項目

TEDS 原始欄位名稱	SCC	NO_P	THC_EMI	NMHC_EMI	COMP_NAM
意義	排放源 分類代碼	污染源 編號	總碳氫化合物 排放量	非甲烷碳氫化合物 排放量	工廠名稱
舉例	10200602	E003	0.039(公噸/年)	0.039(公噸/年)	兄弟大飯店 股份有限公司

由上表，TEDS9.0 資料欄位 SCC 為美國環保署 WebFIRE 線上資料庫之排放源分類代碼。故可利 TEDS9.0 的排放資料與 WebFIRE 資料庫進行交叉比對，找出離島工業區所有可能污染物之排放源。

3.4 有害化學物質清單建立

本計畫透過上述之流程蒐集與比對離島工業區排放物質資料以建立有害物質清單，排放物質資料來源有：

1.環境影響評估報告中之製程描述資料可鑑定出工廠中可能會接觸到之化學物質，其中包括原料、產品、製程中使用之溶劑、觸媒和反應過程之中間產物，例如參考 102 年度沿海地區健康風險評估計畫。

2.放流廢水分析，例如參考 100 年度雲林縣石油化學業新增放流水排放標準研訂計畫。

3.六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫中檢驗分析出之化學物質，例如參考 103 年度六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫報告。

並將此化學物質比對環境中之監測濃度資料以決定進行健康風險評估之化學物質。彙整的化學物質共計 469 種。詳細之化學物質清單請參考附件一附表 8。

接著，綜合本計畫統整之離島工業區可能排放之物質清單、特殊性工業區監測資料、TEDS 行政院環保署空氣污染查詢系統所彙整之清單，整理出沿海地區目前有致癌風險之物質，共 127 種。IARC 分級如下表 13 所示。

表 13 離島工業區有致癌風險物質的 IARC 分級

致癌物質	
1 級	16 種
2A 級	17 種
2B 級	43 種
3 級	51 種
總計	127 種

再依據離島工業區有監測之項目，共篩選 34 種化學物質如下表 14 所示。

表 14 依據離島工業區有監測之項目篩選之有害化學物質

1 級致癌物	
苯駢(a)芘	氯乙烯
砷	1,3-丁二烯
鉻	1,2-二氯丙烷
鉍	苯
戴奧辛	三氯乙烯
2A 級致癌物	
氯甲苯	二氯甲烷
1,2-二溴乙烷	四氯乙烯
2B 級致癌物	
丙烯腈	鉛
一溴二氯甲烷	三氯甲烷
甲基異丁酮	四氯化碳
1,1,2,2-四氯乙烷	1,2-二氯乙烷
乙酸乙烯酯	乙苯
萘	苯乙烯
順-1,3-二氯丙烯	異丙苯
反-1,3-二氯丙烯	異戊二烯
α -甲基苯乙烯	1,4-二氯苯
鎳	三氯甲烷

最後在將篩選出的 34 項有害化學物質與特殊性工業區資料比對，因特殊性工業區資料缺乏其中 18 項化學物質的監測數值，，因此本計畫欲評估的項目共 16 種，如下表 15 所列。

表 15 本計畫篩選後欲評估的有害化學物質列表

1 級致癌物
氯乙烯
1,3-丁二烯
1,2-二氯丙烷
苯
三氯乙烯
2A 級致癌物
1,2-二溴乙烷
二氯甲烷
四氯乙烯
2B 級致癌物
三氯甲烷
四氯化碳
1,2-二氯乙烷
乙苯
苯乙烯
異丙苯
異戊二烯
1,4-二氯苯

3.5 毒理資料蒐集

在有害化學物質清單建立後，毒理資料庫則以此清單做為本年度資料蒐集之重點。毒理資料庫部分則以毒性物質為單位，以人的健康為主要內容，著墨於毒性物質在人類健康影響的面向系統性探討，內容完整地描述毒性物質與人之間的交互關係。

資料庫的資料綜合引用國外權威性的資料庫，主要包括國際癌症研究中心 (IARC)、美國環保署整合風險系統(U.S EPA IRIS)、以及美國毒性物質及疾病登記

署(ATSDR)，內文則以毒性物質的健康效應、暴露法規標準、生物檢測、毒理動力學和作用機制等順序去編排。本計畫的重點毒理的部分：分別有(一)毒理動力學：以吸收、分布、代謝、排出四大部分去描述毒性物質在生物體內的過程 (二)作用機制：以細胞層級去描述毒性物質如何造成生物體功能或解剖構造上的改變 (三)健康效應：主要以長時間慢性暴露致癌性、生殖與發展效應、神經效應三大部分去描述毒性物質對人類健康的危害。

為了讓毒理資料敘述地更完善且易懂，將其毒理資料分為摘要版及詳細版兩種類型，摘要版彙整各毒性物質之流行病學研究與動物實驗研究結果，簡列出標的器官及其資料完整性的方式條列，並且有作用機制、毒物動力學、各種法規值、生物指標、資料完整性等簡述，以簡易明瞭的方式快速地呈現現有資料的全貌；另有詳細版，以表列的方式呈現現有所有的流行病學研究及動物實驗研究數據，清楚地列出有健康危害的標的器官、研究結果、物質現有毒理資料完整的論述及文獻引用，使欲更進一步瞭解的使用者，有更全方位的資料。

雖然未來每一個毒性物質皆可能會隨著研究數量的增加而有更詳盡的結果，但以上資料已蒐錄最完整且依美國 U.S EPA 及 IARC 及 ATSDR 最新公布資料為基準。

3.6 環境資料蒐集

此部分以氣象資料、特殊性工業區資料、歷年監測車資料、排放量資料及多介質資料蒐集的順序作資料介紹及呈現。

3.6.1 氣象資料

本計畫蒐集之氣象資料，包含 NCEP ADP(2008)全球表面氣象觀測資料(Global Surface Observational Weather Data)，其持續透過 GTS(Global Telecommunications System)收集地表、海面監測報告。紀錄變數包括氣壓、溫度、露點溫度、風速、風向等。監測報告根據不同的紀錄變數，有小時值與 3 小時值的記錄間隔。GTS 為世界氣象組織(WMO)所使用之資料收集系統實現實時資料交換。資料來源包括中央氣象局等國家氣象機構。因此，NCEP ADP(2008)氣象觀測資料包括中央氣象局局屬測站資料。其他資料如中央氣象局自動測站與行政院環保署測站所量測與氣象有關之資料如溫度、氣壓、相對濕度等。下圖 7 為 GTS 地表測站於台灣附近的分布情形。

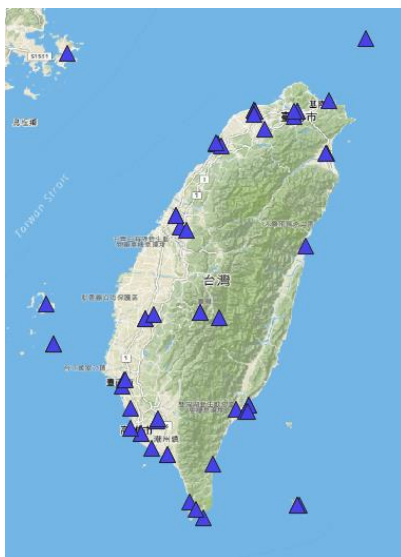


圖 7 GTS 地表測站於台灣附近的分布情形

3.6.2 特殊性工業區資料建構

特殊性工業區，指工業區內容如：金屬冶煉業、煉油工業、紙漿工業、石油化學基本原料工業、石油化學中間原料業、樹脂、塑膠、橡膠製造工業之特殊性工業等。其中石油化學工業應為本計畫主要監測對象，故相較於過往計畫，本計畫將特殊性工業區納入為觀測資料來源之一。

本計畫共蒐集到兩筆特殊性工業區資料集。以資料涵蓋之時間範圍不同做為區別，以「資料 1」及「資料 2」作為代號方便說明。

資料 1：時間從 2015 年 12 月至 2016 年 11 月的每日逐時資料，監測位置位於雲林縣內，共有 11 個特殊性工業區測站。測站名稱分別為：大城站、東石站、褒忠站、崙背站、四湖站、東勢站、土庫站、西螺站、麥寮站、台西站、台西站(光化)。各測站監測 67 種物質，監測的項目與單位如圖 8 所示，資料統計特性包含每日的最大、最小、平均值及標準差。

代號	名稱	單位	U209	1-丁烯	ppb	U232	甲基環己烷	ppb
A214	PM10	µg/m3	U210	順2-丁烯	ppb	U233	2-3-4-三甲基戊烷	ppb
A222	二氧化硫	ppb	U211	環戊烷	ppb	U234	甲苯	ppb
A223	氮氧化物	ppb	U212	異戊烷	ppb	U235	2-甲基庚烷	ppb
A224	一氧化碳	ppm	U213	正戊烷	ppb	U236	3-甲基庚烷	ppb
A225	臭氧	ppb	U214	反2-戊烯	ppb	U237	正辛烷	ppb
A227	總碳氫化合物	ppb	U215	1-戊烯	ppb	U238	乙苯	ppb
A283	一氧化氮	ppb	U216	順2-戊烯	ppb	U239	間-對二甲苯	ppb
A293	二氧化氮	ppb	U217	2-2-二甲基丁烷	ppb	U240	苯乙烯	ppb
C211	風速	m/s	U218	2-3-二甲基丁烷	ppb	U241	鄰二甲苯	ppb
C212	風向	deg	U219	2-甲基戊烷	ppb	U242	正壬烷	ppb
C213	降雨量	mm/hr	U220	3-甲基戊烷	ppb	U243	異丙基苯	ppb
C214	溫度	°C	U221	異戊二烯	ppb	U244	正丙基苯	ppb
C215	相對濕度	%	U222	正己烷	ppb	U245	間-乙基甲苯	ppb
C216	大氣	hPa	U223	甲基環戊烷	ppb	U246	對-乙基甲苯	ppb
U201	乙烷	ppb	U224	2-4-二甲基戊烷	ppb	U247	1-3-5-三甲基苯	ppb
U202	乙烯	ppb	U225	苯	ppb	U248	鄰-乙基甲苯	ppb
U203	丙烷	ppb	U226	環己烷	ppb	U249	1-2-4-三甲基苯	ppb
U204	丙烯	ppb	U227	2-甲基己烷	ppb	U250	癸烷	ppb
U205	異丁烷	ppb	U228	2-3-二甲基戊烷	ppb	U251	1-2-3-三甲基苯	ppb
U206	正丁烷	ppb	U229	3-Methylhexane	ppb	U252	間-二乙基苯	ppb
U207	乙炔	ppb	U230	2-2-4-三甲基戊烷	ppb	U253	對-二乙基苯	ppbv
U208	反2-丁烯	ppb	U231	正庚烷	ppb	U254	正十一烷	ppbv

圖 8 特殊性工業區測項及單位

資料 2：時間從 2015 年 11 月至 2017 年 6 月的每日逐時資料，記錄品保品管後自動監測數據及人工監測數據。共包含四種資料：(1)人工操作檢測資料、(2)品保品管後光化前驅物小時監測值、(3)品保品管後一般污染物小時監測值及 (4)品保品管後氣象小時監測值，當中以(2)品保品管後光化前驅物小時監測值資料內含測項與計畫最為相關。監測地點與資料 1 相同，資料涵蓋時間則較資料 1 完整。

這兩份特殊性工業區資料集與本計畫毒物清單評估重疊的項目為：苯、異戊二烯及苯乙烯。故將此三者經時間序列及空間分布分析，可得知雲林六輕附近之各特殊性工業區污染物濃度時空展現情況，以判斷個測站該物質之濃度大小關係，如圖 9 所示，為苯(U225)在大城測站(D001)苯隨時間的變化。

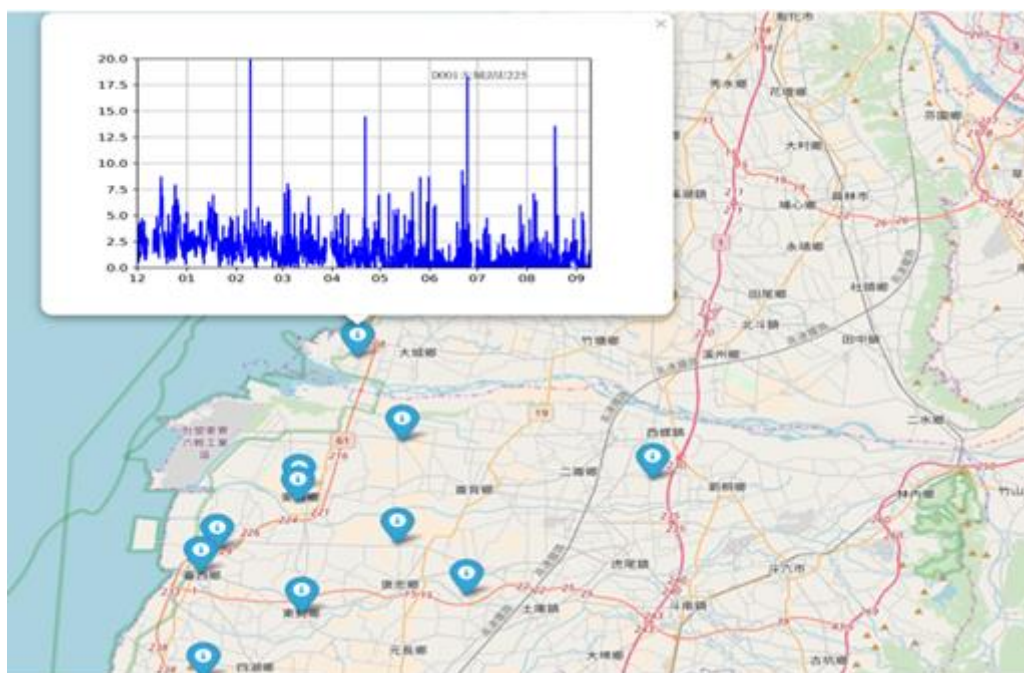


圖 9 特殊性工業區測站時空間資料展示圖

特殊性工業區中與計畫相關之污染物濃度大小，可與之後 CMAQ 推估之模擬值做相互驗證，成為除了監測車數據外，另一參考資料來源。

3.6.3 歷年監測車資料建構

雲林縣環境保護局的歷年監測車資料，其時間範圍自 2012 年 5 月至 2017 年 12 月，檢測週期為每小時回傳一筆資料。監測車資料分為兩種檔案，低碳數及高碳數。低碳數檔案內含 4 種與計畫優先考量污染物監測數據：二氯甲烷、1,3-丁二烯、氯乙烯、異戊二烯。高碳數檔案內含剩下 12 種與計畫優先考量污染物監測數據：1,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷、1,2-二溴乙烷、1,4 二氯苯、苯、四氯化碳、乙基苯、異丙苯、苯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯及三氯甲烷。此 16 種化學物質之 IARC 毒性分類及歷年監測車是否有監測情況如表 16 所示。

表 16 16 種化學物質分類表

中文	英文	101-106年 監測車是否 有偵測	IARC	中文	英文	101-106年 監測車是否 有偵測	IARC
氯乙烯	VINYLCHLORIDE	有	1	乙基苯	ETHYLBENZENE	有	2B
1,3-丁二烯	1,3-BUTADIENE	有	1	異丙苯	I-PROPYLBENZENE	有	2B
1,2-二氯丙烷	1,2-DICHLOROPROPANE	有	1	異戊二烯	ISOPRENE	有	2B
苯	BENZENE	有	1	苯乙烯	STYRENE	有	2B
三氯乙烯	TRICHLOROETHENE	有	1	1,2-二溴乙烷	1,2-DIBROMOETHANE	有	2B
二氯甲烷	DICHLOROMETHANE	有	2A	1,2-二氯乙烷	1,2-DICHLOROETHANE	有	2B
四氯乙烯	TETRACHLOROETHENE	有	2A	1,4-二氯苯	1,4-DICHLOROBENZENE	有	2B
氯仿	CHLOROFORM	有	2B	四氯化碳	CCL4	有	2B

監測車共有兩台，每個月更換一次監測地點，主要圍繞雲林離島工業區進行監測，有時會支援其他鄉鎮進行檢測，故不將臨時支援之地點視為重要監測點。重要監測地點分布圖如

圖 10 所示。



圖 10 特殊性工業區測站與監測車重要監測地點分布圖

監測車重要監測點座標如表 17 所列。

表 17 101-106 年監測車重點監測座標

項次	監測地點	座標	地址
1	四二岸巡大隊	N 23°49'16.3" E 120°12'20.9"	雲林縣麥寮鄉台塑工業園區 4 號
2	麥寮水產生產合作社	N 23°46'14.9" E 120°12'29.8"	雲林縣麥寮鄉建興新村 73 號之 1
3	蚊港安檢所	N 23°45'18.6" E 120°10'49.9"	雲林縣台西鄉新興海埔地 12 號
4	東北方民宅	N 23°48'20.6" E 120°14'06.6"	雲林縣麥寮鄉三盛村許厝 116 號
5	台塑北碼槽 (塑化碼槽處)	N 23°47'58.7" E 120°10'54.5"	六輕離島工業區內
6	橋頭國小許厝分校	N 23°47'44" E 120°13'20"	雲林縣麥寮鄉工業路 675 號
7	麥寮國小海豐分校	N 23°46' E 120°13'	雲林縣麥寮鄉海豐村忠和路 8 號
8	環保局麥寮辦公室	N 23°45'56.7" E 120°12'46.2"	雲林縣麥寮鄉中興路 123 號
9	海豐社區	N 23°46'30" E 120°12'54"	雲林縣麥寮鄉忠和路 62 號

在數據分析方面，將 16 種污染物依照 9 個重要監測地點，經資料清理轉換後，共製作 144 張時間序列圖。以 1,2-二氯丙烷為例，圖 11 是 1,2-二氯丙烷各測站的時間序列圖。

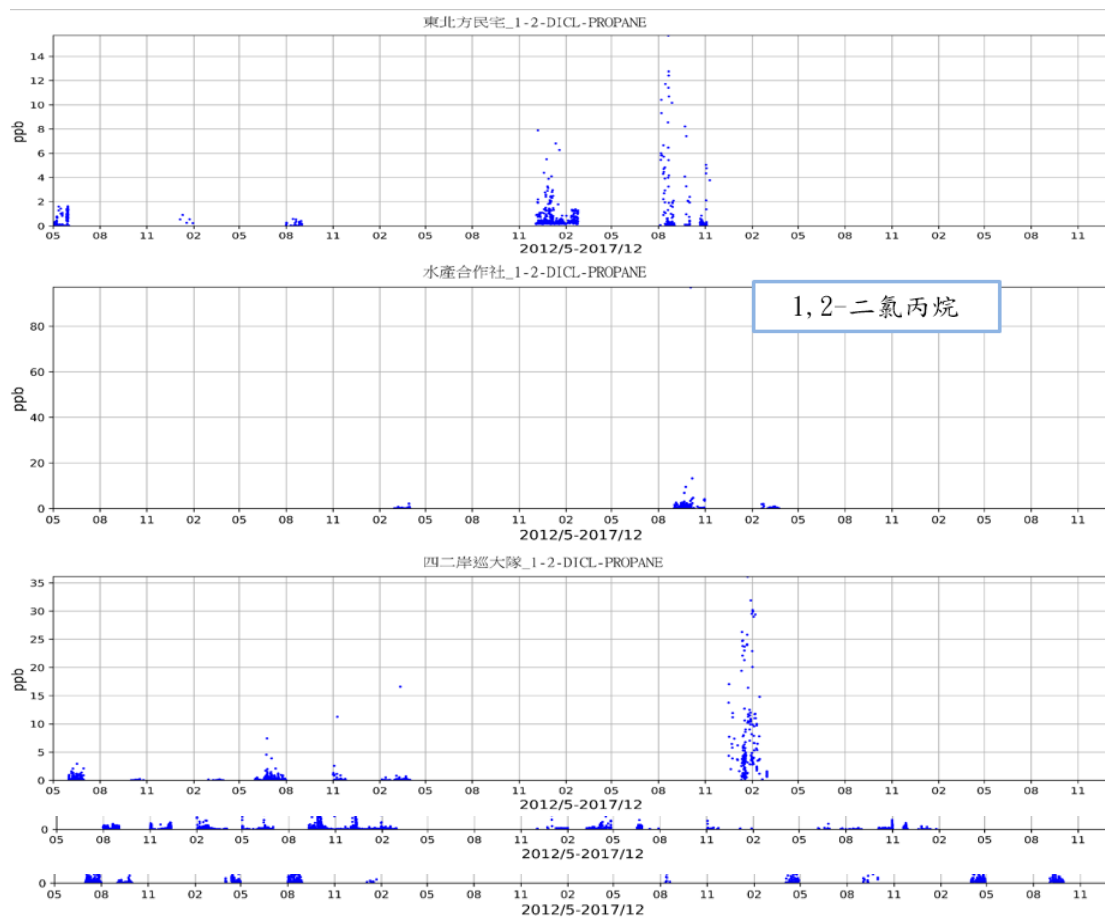


圖 11 1,2-二氯丙烷各測站時間序列圖

3.6.4 CEMS 固定污染源監測數據資料

CEMS 資料為煙道每日量測值資料，資料包括了煙囪代碼以及溫度監測設施一小時數據平均值、氮氧化物監測設施一小時數據平均值、排放流率監測設施一小時數據平均值、氧氣監測設施一小時數據平均值、二氧化硫監測設施一小時數據平均值、氯化氫監測設施一小時數據平均值、一氧化碳監測設施一小時數據平均值、二氧化碳監測設施一小時數據平均值、不透光率六分鐘數據紀錄值及揮發性有機物監測設施一小時數據平均值。圖 12-圖 14 為本計畫針對研究區域中各工廠的煙囪的排放量進行繪圖，其中以二氧化硫、一氧化碳及氮氧化物為主。

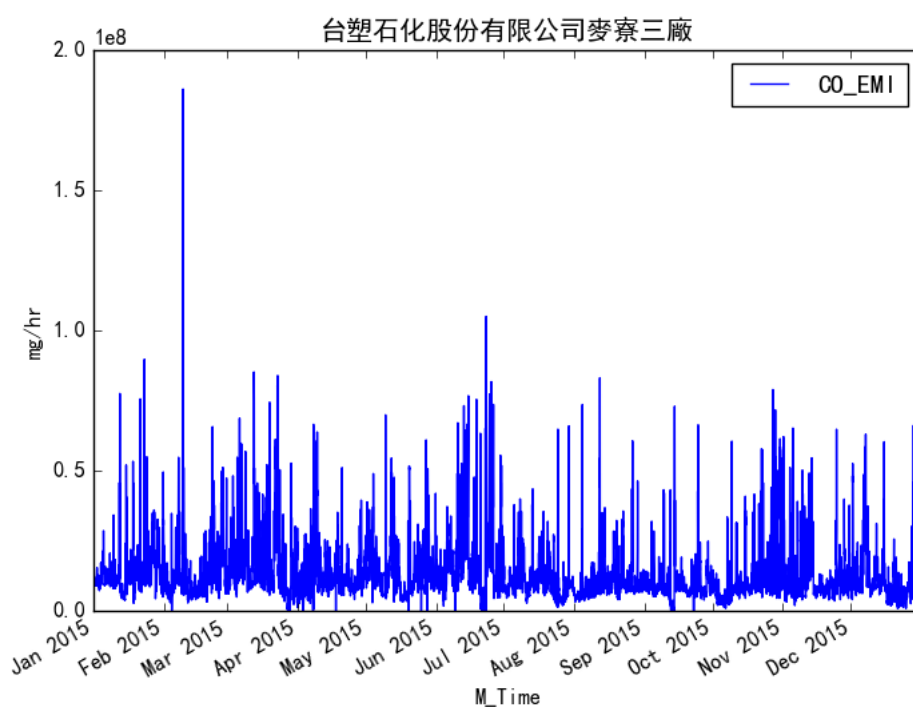


圖 12 台塑石化股份有限公司麥寮三廠煙囪的一氧化碳排放

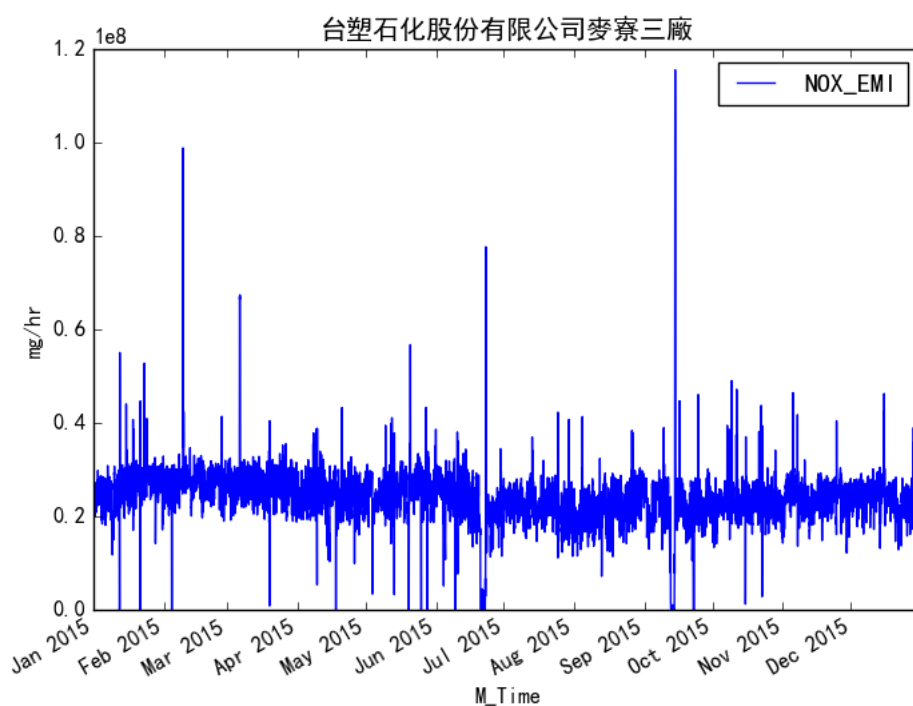


圖 13 台塑石化股份有限公司麥寮三廠煙囪的氮氧化物排放

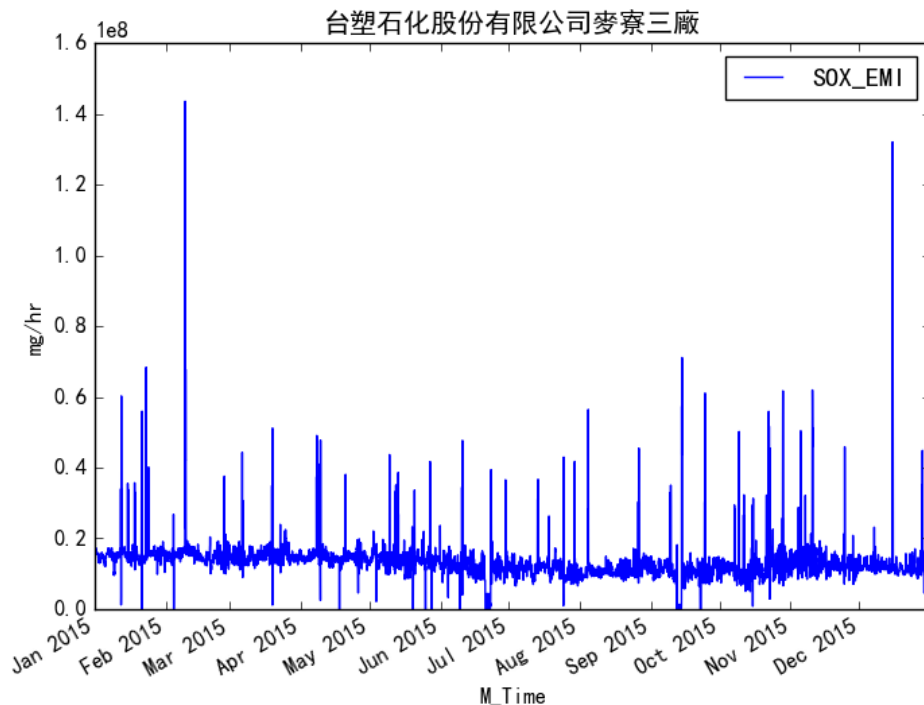


圖 14 台塑石化股份有限公司麥寮三廠煙囪的二氧化硫排放

3.6.5 多介質資料

在執行健康風險評估時其中很重要的一個環節為暴露評估，而在執行暴露評估時若只單一考慮如水中的暴露濃度，或空氣中的暴露濃度，不免考慮的不周全，而這樣的結果會導致不確定性的提高，此時便需要多介質傳輸及轉換模式，此模式的作用在於模擬介質中的排放源如何傳輸轉換到其他的介質，而在於不同的介質即會藉由不同的途徑對進入人體造成風險的存在，常見的途徑如下

表 18：

表 18 介質之常見暴露途徑(2012 桃園地區自來水重金屬潛在健康風險評估,黃冠智)

暴露途徑	媒介(介質)		
	空氣	土壤	水
	(氣體和微粒)	(地面表層土壤; 根部區土壤)	(地表水和地下水)
吸入	• 室外吸入的氣體和微粒	• 吸入從室外轉移室內的土壤蒸氣	• 在室內吸入由自來水蒸發逸散的污染物
	• 吸入從室外轉移室內的氣體和微粒	• 吸入從室外轉移室內的土壤微粒	
攝取	• 攝取遭大氣污染的水果、蔬菜與穀物	• 人體攝取土壤	• 攝取自來水
	• 攝取遭大氣污染的之植物肉品、牛奶與蛋類	• 攝取遭土壤污染的水果、蔬菜與穀物	• 攝取受污染之灌溉水種植之水果、蔬菜與穀物
	(使用遭污染之飼料餵食)	• 攝取遭土壤污染的之植物、肉品、牛奶與蛋類	• 攝取飲用遭污染水之動物肉品、牛奶、蛋類
	• 攝取遭污染的動物之肉品、牛奶與蛋類	(使用遭污染之飼料餵食)	• 攝取魚類和海鮮
	• 攝取母乳	• 攝取遭大氣污染的之植物肉品、牛奶與蛋類	• 攝取游泳池水或其他水上活動之用水
		• 攝取母乳	• 攝取母乳
皮膚接觸		• 皮膚接觸土壤	• 淋浴時皮膚接觸
			• 游泳時接觸皮膚

而在 CalTOX 傳輸模式中將介質分為七個區塊，包含空氣、植被、表面土壤、根土、滲流土、表面水以及底泥，其概述的增損關係如下表 19：

表 19 介質之增損關係(2012 桃園地區自來水重金屬潛在健康風險評估,黃冠智)

區塊	增加	減少
空氣	自土壤中擴散 自植物中擴散 自表面水中擴散 沉積土壤的再懸浮 *污 染 物 來 源	擴散到地表土壤 擴散到地表水 擴散到植物 受降雨沖刷 對流損失 沉降(deposition)至土壤 沉降至植物 沉降至表面水 物理化學變化
植被	自空氣沉降的微粒 葉面吸收 自根部區土壤吸收	自葉子表面擴散 自葉子表面被沖洗 物理化學變化
表面土壤	自空氣中擴散 自根部區土壤擴散 受降雨沖刷 乾沉降 *污 染 物 來 源	擴散到空氣 擴散到根部區土壤 平流到根部區土壤 土漿逕流 地表水侵蝕（礦物逕流） 土壤微粒的再懸浮 物理化學變化
根土	自地表土壤擴散 自地表土壤平流 *污 染 物 來 源	擴散至地表土壤 滲透（濾出）至滲流區土壤 物理化學變化
滲流土	自根部區土壤滲流 *污 染 物 來 源	自地下水滲透
表面水	自空氣中擴散 受降雨沖刷 大氣微粒沉降 土漿逕流 侵蝕（礦物逕流） 自沉積物擴散 沉積物的再懸浮 *污 染 物 來 源	沉積物沉降 氣體擴散到空氣 沉積物擴散 地表水外流 物理化學變化
底泥	自地表水擴散 沉積物沉降(從地表水)	擴散到地表水 沉積物的再懸浮 物理化學變化

由於須考慮到多種介質以及期間的相互關係，因此在本計畫的模式模擬部分，需要各物質在不同的介質下時間、空間下的分布及濃度狀態，為此在執行時回顧了雲林縣環境保護過去的相關計畫，參考其執行方法，若具有相關監測之資料亦可運用於本計畫之中，回顧之計畫如下表 20：

表 20 雲林縣環境保護相關計畫回顧

計畫名稱
中部及雲嘉南空品區污染減量推動計畫
六輕離島工業區對空氣品質之影響評估研究
加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫
加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫
固定污染源管制與查核計畫
空氣污染防治業務資訊管理系統計畫期末報告
推動離島工業區為柴油車空品淨化區計畫
移動性污染源管制計畫
雲林縣固定源管制查核計畫
雲林縣石化業專用移動式監測車監測計畫
雲林縣逸散源環境形象改造計畫
雲林縣離島工業區紅外線連續監測及有害污染物調查計畫
雲林縣離島工業區臭味物質連續監測及有害污染物調查計畫期末報告
雲林縣離島工業區揮發性有機物查核計畫
雲林縣離島工業區揮發性有機物監測及有害污染物調查計畫
環境空氣品質監測計畫
離島工業區即時環境監測及預警系統建置計畫
離島工業區空氣污染監測、檢測許可查核及總量管制計畫
離島工業區空氣污染物檢測管制計畫 離島工業區空氣污染物檢測管制計畫
離島工業區連續自動監測查核計畫
離島工業區連續自動監測設施查核計畫
六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫

台灣中部海域環境品質調查監測計畫
台灣石化產業對地方影響之分析研究—以六輕為例—
雲林縣虎尾鎮農地監督驗證計畫
雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫
雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫-場置性監測井豐水期監測成果摘要表
雲林縣六輕工業區水質監測管理計畫
雲林縣六輕工業區鄰近地區農地調查計畫
雲林縣水污染源稽查與水污費徵收查核計畫
雲林縣石油化學業新增放流水排放標準研訂計畫
雲林縣虎尾鎮農地污染改善計畫
雲林縣流域污染總量管理及點源污染削減計畫
新虎尾溪現地處理規劃細部設計及支流排水調查計畫
濁水溪揚塵改善宣導計畫

其中土壤與地下水部分，回顧雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫、六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫，其執行之內容與本計畫有相關之處，並從中找尋可運用之多介質數據，並以六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫為例，其土壤採樣及檢測方法如下：

土壤之檢驗項目為 8 項重金屬(銅、鎳、鋅、砷、鉻、鉛、鎘、汞)、揮發性有機物(VOCs)及半揮發性有機物(SVOCs)(苯、四氯化碳、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、順-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯苯、1,3-二氯苯、3,3-二氯聯苯胺、乙苯、六氯苯、五氯酚、四氯乙烯、甲苯、三氯乙烯、2,4,5-三氯酚、2,4,6-三氯酚、氯乙烯、二甲苯)、總石油碳氫化合物(TPH),採樣工作根據行政院環保署公告之「土壤採樣方法」(NIEA S102.61B),並依前述規劃之點位及數量進行。每點位擇 2 處篩測,而篩測及分析深度為 0 至 15 公分(表土)及 15 至 30 公分(裡土),共計採樣 20 組,經 XRF 及 PID/FID 進行篩測後,每點位選擇篩測值較高之 2 組樣品進行全量分析,現場採樣時均以 GPS 記錄進行座標定位及拍照,以作為後續調查追蹤之參考資料。(104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫)

上述為六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫土壤之檢驗項目，其中即包含本計畫所需 VOCs 之檢測，其監測位置在離島工業區周界，並且是一多年期計畫，因此是適合的監測資料來源，下圖 15 為報告中所附之檢測值，此檢測值即可應用在模式模擬上，對模擬之結果進行修正。

檢測項目	海豐廢水廠-2 號井			MW-10			管制標準	監測標準	查證基準建議值	單位
	台塑企業	本計畫	RPD	台塑企業	本計畫	RPD				
	103/10	104/08		(%)	103/04					
氯甲烷	ND	0.00076	200	ND	ND<0.00064	0	0.30	0.15	0.006	mg/L
氯乙烯	ND	ND<0.00063	0	ND	ND<0.00063	0	0.020	0.010	0.006	mg/L
1,1-二氯乙烯	ND	ND<0.00047	0	ND	ND<0.00047	0	0.070	0.035	0.006	mg/L
二氯甲烷	ND	ND<0.00097	0	ND	ND<0.00097	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
反-1,2-二氯乙烯	ND	ND<0.00081	0	ND	ND<0.00081	0	1.0	0.5	0.01	mg/L
1,1-二氯乙烷	ND	ND<0.00073	0	ND	ND<0.00073	0	8.50	4.25	0.085	mg/L
順-1,2-二氯乙烯	ND	ND<0.00084	0	ND	ND<0.00084	0	0.70	0.35	0.007	mg/L
氯仿	ND	ND<0.00071	0	ND	ND<0.00071	0	1.0	0.5	0.01	mg/L
1,1,1-三氯乙烷	-	ND<0.00065	0	-	ND<0.00065	0	2.0	1.0	-	mg/L
四氯化碳	ND	ND<0.00083	0	ND	ND<0.00083	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
苯	ND	ND<0.00076	0	ND	ND<0.00076	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
1,2-二氯乙烷	ND	ND<0.00065	0	ND	ND<0.00065	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
三氯乙烯	ND	ND<0.00072	0	ND	ND<0.00072	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
甲苯	ND	ND<0.00073	0	ND	ND<0.00073	0	10	5	0.1	mg/L
1,1,2-三氯乙烷	ND	ND<0.00069	0	ND	ND<0.00069	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
四氯乙烯	ND	ND<0.00073	0	ND	ND<0.00073	0	0.050	0.025	0.006	mg/L
氯苯	ND	ND<0.00076	0	ND	ND<0.00076	0	1.0	0.5	0.01	mg/L
乙苯	ND	ND<0.00075	0	ND	ND<0.00075	0	7.0	3.5	0.07	mg/L

圖 15 土壤採樣檢測值(104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫)

本計畫所需之多介質資料主要包含空氣、土壤、地下水等，而地下水的監測資料亦可參考六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫，其地下水檢測項目如表 21：

表 21 下水檢測項目分類表

一般項目	水溫、pH、導電度、溶氧、氧化還原電位、總硬度、總溶解固體物、氯鹽、氨氮、氟鹽、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮。
重金屬	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、鐵、錳
揮發性有機物	苯、甲苯、乙苯、二甲苯、萘、四氯化碳、氯苯、三氯甲烷、氯甲烷、1,4-二氯苯、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、順-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯、

	氯乙烯、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯苯、3,3-二氯聯苯胺
其他污染物	總石油碳氫化合物(TPH、TPHC6~C9、TPHC10~C40)、甲基第三丁基醚(MTBE)、總酚、三氯酚、五氯酚

(104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫)

此計畫對離島工業區周界之地下水井進行監控及採樣檢測，其檢測項目亦包含 VOCs，其檢測值如下圖 16，同土壤，此檢測值亦可運用於模式模擬之中。

檢測項目	W11	W14	W16	W18	W19	管制標準	監測標準	單位
順-1,2-二氯乙烯	ND<0.00084	ND<0.00084	ND<0.00084	ND<0.00084	ND<0.00084	0.70	0.35	mg/L
氯仿	ND<0.00071	ND<0.00071	ND<0.00071	ND<0.00071	ND<0.00071	1.0	0.5	mg/L
1,1,1-三氯乙烷	ND<0.00065	ND<0.00065	ND<0.00065	ND<0.00065	ND<0.00065	2.0	1.0	mg/L
四氯化碳	ND<0.00083	ND<0.00083	ND<0.00083	ND<0.00083	ND<0.00083	0.050	0.025	mg/L
苯	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	0.050	0.025	mg/L
1,2-二氯乙烷	ND<0.00065	ND<0.00065	ND<0.00065	ND<0.00065	ND<0.00065	0.050	0.025	mg/L
三氯乙烯	ND<0.00072	ND<0.00072	ND<0.00072	ND<0.00072	ND<0.00072	0.050	0.025	mg/L
甲苯	ND<0.00073	ND<0.00073	ND<0.00073	ND<0.00073	ND<0.00073	10	5	mg/L
1,1,2-三氯乙烷	ND<0.00069	ND<0.00069	ND<0.00069	ND<0.00069	ND<0.00069	0.050	0.025	mg/L
四氯乙烯	ND<0.00073	ND<0.00073	ND<0.00073	ND<0.00073	ND<0.00073	0.050	0.025	mg/L
氯苯	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	1.0	0.5	mg/L
乙苯	ND<0.00075	ND<0.00075	ND<0.00075	ND<0.00075	ND<0.00075	7.0	3.5	mg/L
間-二甲苯	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	-	-	mg/L
對-二甲苯	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	ND<0.00076	-	-	mg/L

圖 16 下水採樣檢測值(104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫)

另外空氣介質在環境空氣品質監測計畫、雲林縣離島工業區紅外線連續監測及有害污染物調查計畫等報告中亦有適用本計畫之監測項目，綜合以上再配合監測車之採樣檢測資料，期望能取得最好的資訊用於模式模擬上，以取得較理想之模擬結果，而多介質模式所囊括之介質種類有七種之多，在執行上難以獲得完整、全面的數據，如植被、底泥目前皆尚未找到適合的資料，土壤檢測的數據也不完整，這樣的情形即會在模擬上造成一些不確定性，數據的缺乏會導致無法與 CalTOX 的模擬結果進行適當的修正，在評估的過程中最大的難點就在於數據不足以及有許多的未知存在，這些都是造成不確定性的一環，因此在未來的計畫的執行中也會盡量找尋相關的資料對其進行補充，風險評估的特質在於以現在或過去的數據、資料，

以及目前所能獲得之知識科技，去推估未來可能的事件風險機率，在執行風險評估過程中儘管是有限的資料亦要妥善的運用適合的方法作出最適當的評估。

3.7 資料庫及平台建置

在資料庫及平台建置部份，本計畫建置空間資料庫、網路地圖服務伺服器與網路型地理資訊應用服務平台供上述蒐集到的資料匯入與展現使用。

目前所蒐集到的資料總覽摘要如下表 22 所示：

表 22 資料蒐集成果總覽

資料類別	資料蒐集成果
六輕環評相關監測資料與期末報告	報告書部份共135筆，資料部份共29筆 包含六輕營運10年總體評鑑計畫、 離島工業區即時環境監測及預警系統建置計畫成果摘要等
空氣品質、空氣污染相關監測資料	報告書部分共63筆，資料部份共14筆 加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫期末報告、 監測車五號空氣品質監測等
氣象資料	資料部份共1筆 由氣象局資料庫提供之局署、自動測站氣象資料
地下水水質、土壤重金屬監測	報告書部分共29筆，資料部份共8筆 包含行政院環境保護署地下水水質監測、六輕工業區水質監測管理計畫、 包含雲林縣六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫、 雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫期末報告等
相關生態研究	報告書部分共1筆，資料部份共6筆 包含雲林縣海洋及河川污染對環境生態影響調查及監測計畫、 陸、海域生態動植物資料等
毒理資料	報告書部分共5筆，資料部份共1筆 包含毒性化學物質稽查管制計畫、污染物毒性特徵資料等
健康風險評估文獻回顧	報告書部分共7筆 包含沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫、 雲林地區空氣污染之健康風險分析及研究規劃等

目前資料匯入資料庫成果，環境資料部份包含台灣採購公報網中所有有關雲林縣環境保護之報告檔案、六輕環評相關監測資料與期末報告、空氣污染相關監測資料、健康風險評估文獻回顧、地下水水質、土壤重金屬監測、特殊性工業區污染物排放資料、監測車相關資料等。

在毒理資料部份，目前資料庫中已蒐集化學物質之相關毒理資料以離島工業區毒物列表中 IARC 列為所規範圍第一級致癌化學物質如苯、氯乙烯、1,3-丁二烯；2A 級致癌化學物質如二氯甲烷、四氯乙烯；2B 級致癌化學物質如四氯化碳、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷，為優先彙整的對象，共計 60 種重點化學物質，化學物質的毒理資料分別有(一)毒理動力學(二)作用機制(三)健康效應(四)現有文獻。各化學物質之風險評估毒理資料表詳見電子資料庫(http://140.112.76.217/toxic_db/)。

所有資料以檔案數目計算，約有千筆資料。其中包含許多不同的檔案格式如 pdf、word、csv、excel、txt 等些檔案都必須匯入資料庫中供後續查詢與使用。詳細的資料庫及平台建置介紹請參閱附表 9。

第四章 沿海地區擴散模擬結果

本計畫在環境暴露評估工作共有兩項主要工作內容，（一）依據前述第三章內所關切的有害污染物質，建構大氣擴散模式模擬 2016 全年各有害污染物質之時間與空間分布，模擬時間尺度以小時為單位。大氣擴散模式模擬的工作內容包含研究區氣象場建置與空氣中暴露濃度推估；（二）以多介質模式整合大氣擴散模式模擬結果，以研究區域本土參數推估不同介質中之可能有害污染物質濃度。整體暴露評估工作流程如下圖 17 所示。

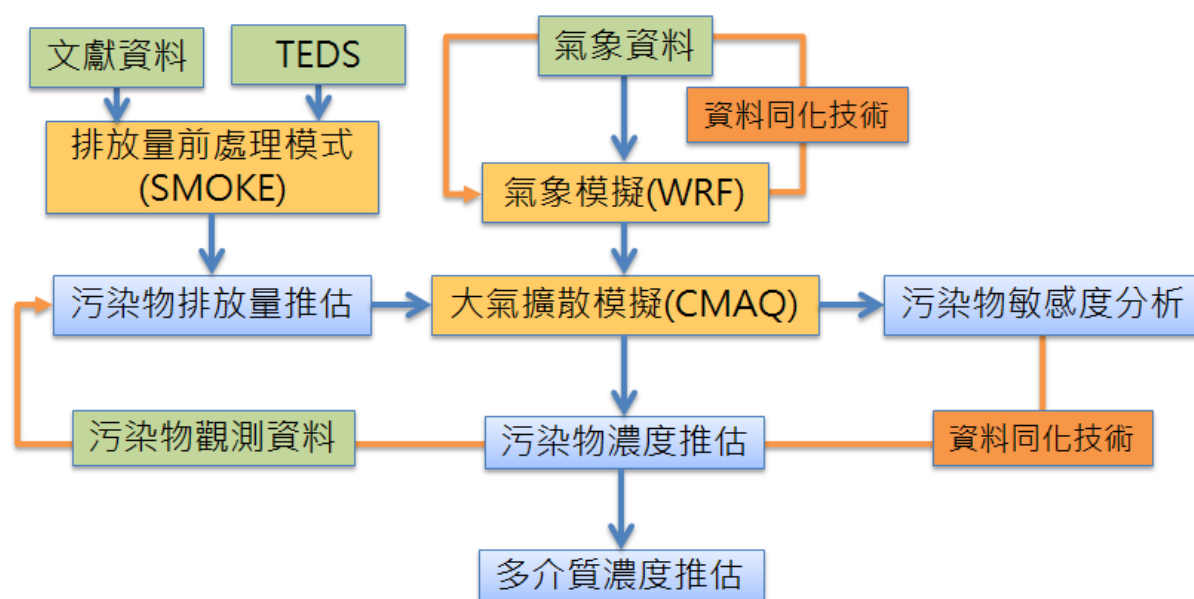


圖 17 環境暴露評估工作流程圖

4.1 大氣擴散模式建構

為了考慮空氣污染物於複雜大氣中的不同物理與化學反應過程，如光化學反應，本計畫選用 CMAQ DDM-3D(Community Multiscale Air Quality Decoupled Direct Method in Three Dimensions v5.2，以下簡稱 CMAQ)進行大氣擴散模擬工作，CMAQ 模式是由美國環境保護署(U.S.EPA)所開發的三維空氣品質模式，為網格模式的其中一種，其採用將整個大氣環境視為一體的框架，以多層次的網格對於半球(hemisphere)、區域(regional)以及城市(city)在不同尺度上對空氣污染物之間的複雜交互作用進行模擬。CMAQ 可用於多種污染物的模擬上，例如模擬對流層中臭氧和其他氧化劑的反應結果，以及氣膠的行程和酸性沉降作用等(Byun &

Schere, 2006)。CMAQ 為模擬中、大型尺度污染物擴散結果，且其對應的實際物理意義為網格內模擬輸出時間間隔內之平均濃度。而網格內之模擬結果即為小尺度濃度變化的平均，故也可用於較小尺度的模擬(USEPA, 2018)。本計畫中 CMAQ DDM-3D 的模擬網格最內層的網格空間解析度為 4 公里，共計有 9,196 個網格 (76x121)，模擬網格主要與氣象場的建置有關，詳細工作內容將於氣象場建置中描述。

在排放資料的輸入工作中，本計畫以 SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions v4.5) 進行大氣擴散模式之排放資料前處理。SMOKE 主要用途為排放處理，旨在創建網格化的小時排放資料，以輸入各種空氣質量模型，如 CMAQ，REMSAD，CAMx 和 UAM 等。模式可分別處理面源，生物源，移動源(包括道路和非道路)，以及點源排放。排放物種可以用於處理法規指標性，懸浮微粒和有毒污染物等的排放。本計畫透過 SMOKE 排放模型產生 CMAQ 模式所需之全台灣網格化排放量的時間序列資料。SMOKE 網格採用氣象場建置中所模擬的 4 km 範圍。SMOKE 模式前處理網格化除依排放源分類代碼(SCC)加入小時排放時程外，並根據 SCC 與 SMOKE 中排放因子資料自總有機污染物中解析出本計畫所關切之有害污染物種。舉例來說，在 SCC 中 30107001 代表化學產品製造業，而可自其中解析出化學產品製造業的行業平均逸散量與其比例，解析之成果如下圖 18 所示。

透過 SMOKE 可產生特定時間之排放量空間分布，以苯為例，苯在全臺灣的排放量於 2015 年 12 月 1 日 4:00 UTC 空間位置可如圖 19 所示。建構本計畫之排放資料，主要分成兩個部份。一為透過臺灣排放清冊所分離出之污染排放資料 (TEDS9.0)，在處理 TEDS9.0 時，各點源均有相對應之 SCC，意即排放源分類類別，但資料庫中面源及線源類型的排放量資料並無相對應的 SCC。因此，本計畫在排放量模擬中以 TEDS9.0 面源及線源分類中最接近的排放類型 SCC 所取代。另外，部分 TEDS9.0 點源 SCC 因 SMOKE 中 SCC 版本升級無對應污染物解析方法，本計畫亦以最接近之 SCC 取代。

在排放資料分析中，污染物排放之時間變動主要參考 SCC 排放類別中之各排放類別於日，周，及月變化之相關週期，在排放資料之排放時間建構，目前以臺灣時區(GMT+8)輸入，一般來說，SMOKE 模式設定輸出時區為格林威治標準時間 (GMT)與 CMAQ 模式同步。關於不同排放類別之排放時間變動，如圖 20 所示，其

中代碼 30107001、30501107 與 30900204 分別代表化學產品製造業、水泥工廠裝卸高儲存槽水泥與石榴石研磨排放源之排放類型。

。另外，TEDS9.0 面源及線源為網格化資料以逸散性點源輸入 SMOKE 模式。最後，SMOKE 依氣象資料與 TEDS9.0 所載之排放參數(如煙囪高度、排放流量、溫度等)計算初始煙流高度並在各模擬網格上輸出排放量時間序列。本計畫透過 TEDS9.0 所分析出污染排放資料包括苯、異戊二稀與苯乙烯等，而在 TEDS9.0 所無法分析得到之污染物種，本計畫透過加入文獻記載的排放推估資料做為假設之逸散排放源以補充 TEDS9.0 之不足，對於所加入逸散源之排放時程，一般來說，SMOKE 假設逸散源排放之時間序列變化為一定值。

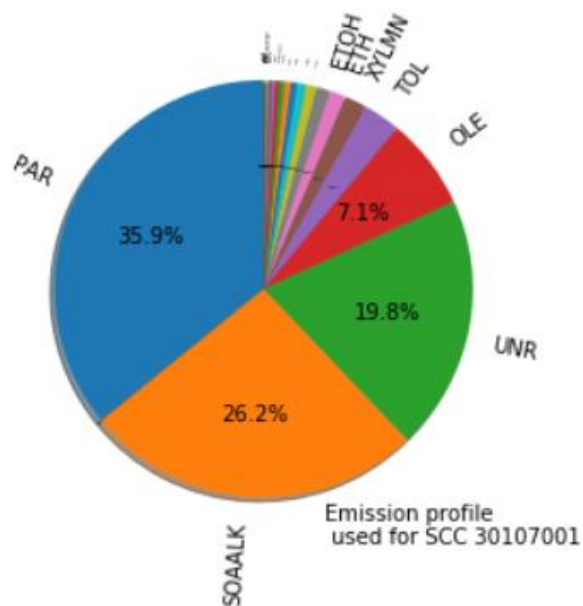


圖 18 放源分類代碼(SCC)排放因子解析

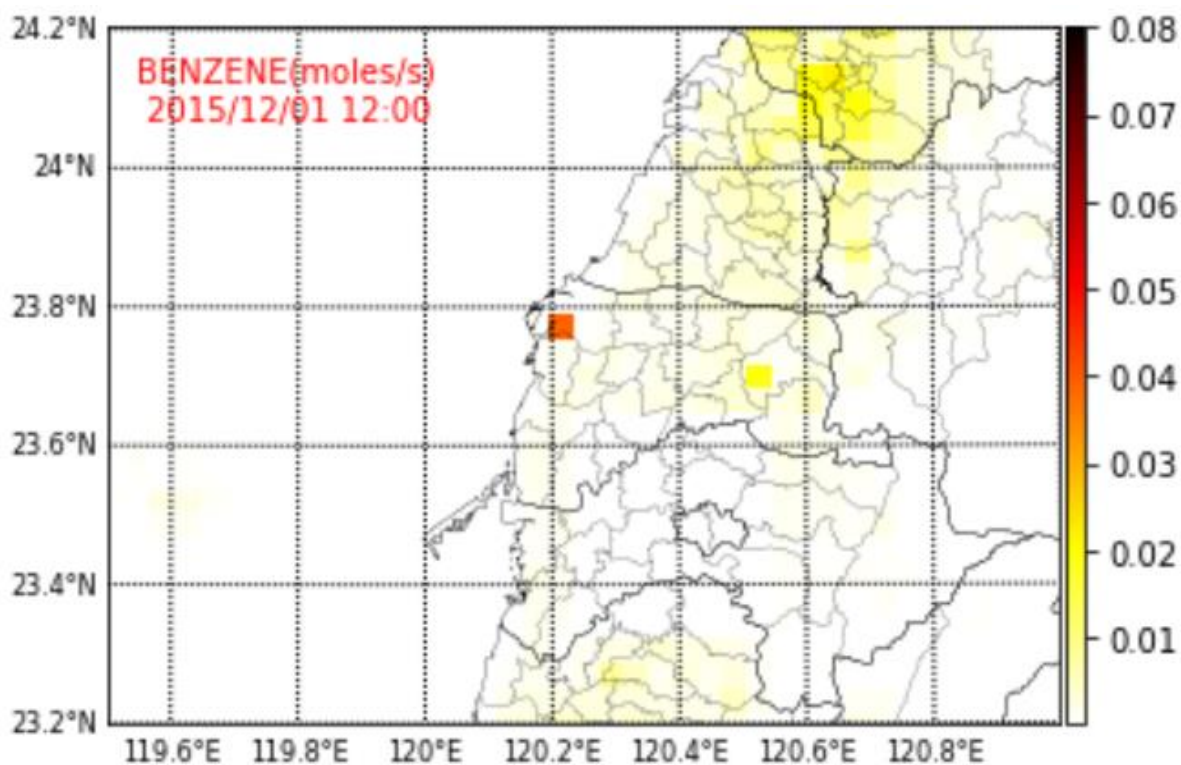


圖 19 排放量在 2015/12/01 12:00 空間分布

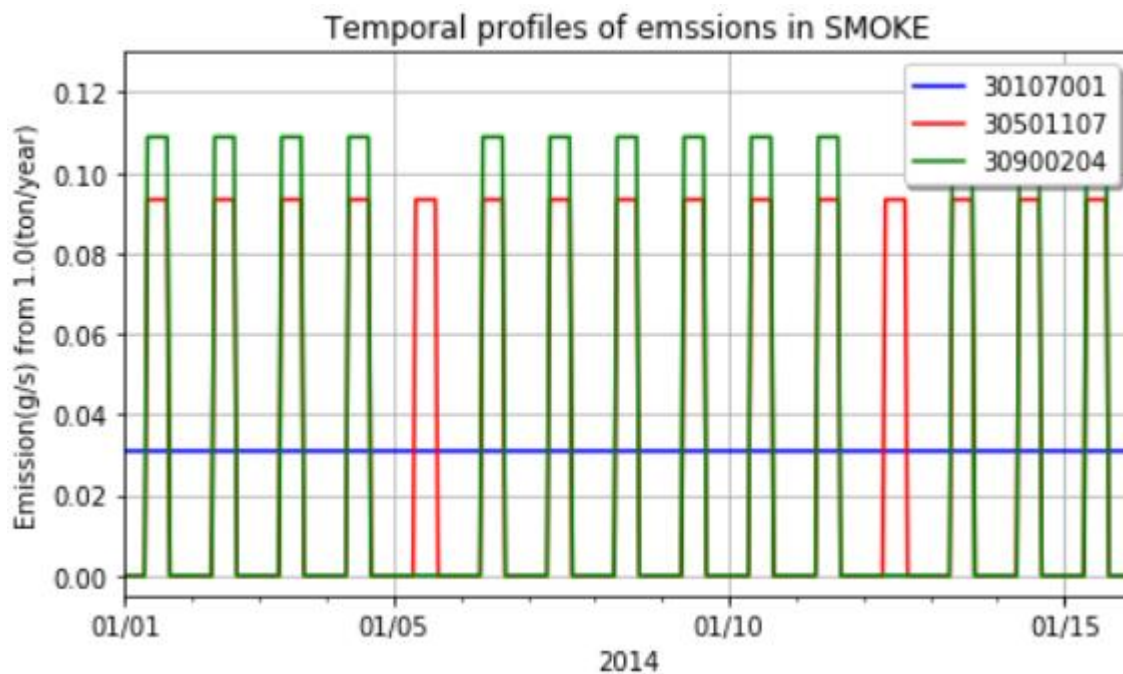


圖 20 放源分類代碼(SCC)解析排放時程可解析至小時(逸散源時變化為年總排放量的小時平均)

在化學反應設定中，以使用 CMAQ 中的氣膠衍生機制與大氣化學反應過程，CB6(Carbon Bond v6)。CB6 反應過程為 CMAQ 中氣相化學的反應機制(Murphy et. al., 2017)主要以 CB5(Yarwood et. al., 2005)基礎，加入對劇烈氣膠衍生分層機制的反應。CB6改善模擬結果在 CMAQ 模擬懸浮微粒日夜變化等現象的表現。以 CMAQ 模式模擬的時間期程為 2015 年 12 月 01 日至 2016 年 12 月 31 日。CMAQ DDM-3D 中設計有參數的敏感度分析，主要分析污染物與其相關聯之受體濃度與排放源。DDM-3D 模組以敏感度傳遞(Sensitivity propagation)的概念在模式中加入敏感源擾動項。參數敏感度直接在模式運算過程中以敏感源擾動與格點濃度偏微分計算敏感度(如圖 21)，橫軸為污染源(j)排放量(ϵ_j)，縱軸為受體(i)污染物濃度(C_i)，排放源-受體關係的斜率為敏感度(S_{ij}) (USEPA, 2017)。

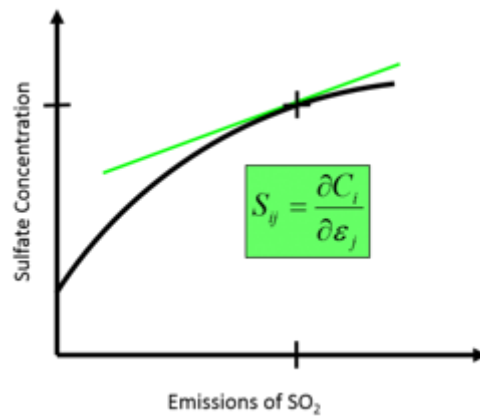


圖 21 放源-受體敏感度示意圖

CMAQ 模擬採用模式預設之固定濃度作為初始和邊界條件。在模擬污染物擴散之前，以初始條件與邊界條件採用上述的敏感度分析方法，分析初始條件與邊界條件對模擬結果的影響。敏感度測試的結果顯示，初始條件與邊界條件在本計畫所設定的網格下，對研究區域在 24 小時的影響極小。初始條件影響在一日內即降至接近於 0 與預期中初始條件的影響一致，並且因模擬期程長的緣故，2015 年 12 月 01 日 00:00 UTC 初始條件對 2016 年的濃度模擬影響極小。邊界條件對研究區域內濃度模擬結果影響較小，為研究區域的網格範圍與整體模式模擬邊界較遠的緣故。然而，邊界條件真實的影響與其不確定性仍須在後續研究估計以補強模式模擬的完整性。

CMAQ 傳輸機制需要輸入亨利常數，用以計算污染物在水相與氣相之間的比例，由於原始 CMAQ 化學反應過程 CB6 中，本計畫所模擬的 13 種污染物並

無資料(其他如苯, 異戊二烯與苯乙烯等已存在於模式資料中), 本計畫根據文獻 (Staudinger & Roberts, 1996; Karl, Lindinger et al, 2003) 內所找到的 13 種污染物之亨利常數, 將其新增於 CMAQ 程式中。CMAQ 相關參數設定如下表 23 所示。

表 23 MAQ 時間、空間、物理與動力系統參數

時間參數	
開始時間	2015 年 12 月 01 日 00:00 UTC
結束時間	2017 年 01 月 01 日 00:00 UTC
模擬時間	9504h
空間參數	
網格分辨率	4km
網格欄數	76
網格列數	121
垂直網格數	30
地圖投影原點	22.5N 120E
物理與動力系統參數	
氣象資料	WRFDA output
化學反應機制	CB6(cb6r3_ae6nvPOA_aq)
初始條件	固定濃度
邊界條件	固定濃度

4.1.1 研究區氣象場建置

本計畫透過 WRF(Weather Research and Forecasting)作為大氣擴散模式模擬的氣象資料前處理模式, WRF 為美國國家大氣研究中心(U.S. National Center for Atmospheric Research, U.S. NCAR)所開發的中尺度氣象模式, 模式主要用於氣象模擬實驗與天氣預報。本計畫 WRF 對氣象場的設定共有三層巢狀網格 100km 網格分辨率(60x45)、20km 網格分辨率(81x86)、4km 網格分辨率(76x121), 如圖 22 所示; 網格垂直分層如圖 23 所示。在參數設定方面, 本計畫依行政院環保署模式支援中心報告之建議(環保署, 2017), 對於雲嘉地區之氣象模擬建議使用美國地質

調查局(U.S. Geological Survey, USGS)的高程數據，以及 30、15 和 7.5 弧秒空間解析度的 USGS 土地利用數據，意即 GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010) 的地形資料、WSM5 (Single Moment 5-class scheme) 的微物理參數設定，以及 YSU (Yonsei University scheme) 邊界層參數設定，有關本計畫 WRF 模擬之相關重要參數設定詳列於表 24，模擬期程自 2015 年 12 月 01 日至 2016 年 12 月 31 日，以每小時時間尺度輸出氣象場數值。換句話說，本計畫透過 WRF 以及其資料同化模組建立自 2015 年 12 月 01 日在 00 UTC 初始場起共 9504 小時之氣象變化過程。其中，初始條件使用以 1 度空間解析度的國家環境預測中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)的 FNL(Final)氣象分析數據，並透過資料同化技術整合同化全球探空與地面測站資料(NCEP ADP, 2008)和衛星輻射觀測資料(NCEP GDAS, 2009)。

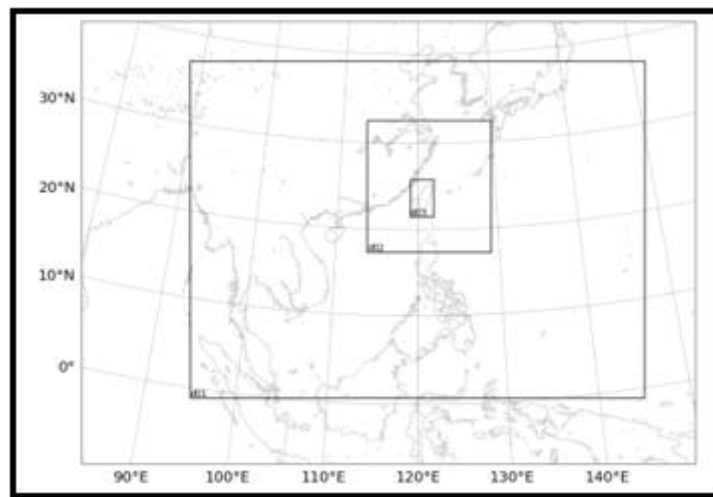


圖 22 計畫研究區域氣象網格範圍圖

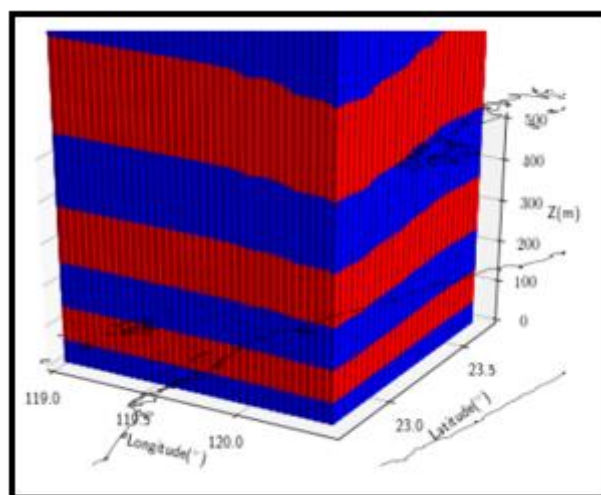


圖 23 垂直式網格點垂直分布，三維網格格點

表 24 RFDA 時間、空間、物理與動力系統參數

時間參數	
開始時間	2015 年 12 月 01 日 00:00 UTC
結束時間	2017 年 01 月 01 日 00:00 UTC
模擬時間	9504h
資料同化週期	6 h
空間參數	
網格分辨率	100km、20km、4km
網格欄數	60、81、76
網格列數	45、86、121
垂直網格數	30
地圖投影原點	22.5N 120E
物理與動力系統參數	
微物理參數	WSM5 (Single Moment 5-class scheme) A slightly more sophisticated version of option 3 that allows for mixed-phase processes and super-cooled water.
邊界層參數	YSU (Yonsei University scheme)

雲物理參數	Kain-Fritsch (new Eta) scheme: deep and shallow sub-grid scheme using a mass flux approach with downdrafts and CAPE removal time scale
t 地球長波輻射	RRTM
地球短波輻射	Dudhia
資料同化參數	WRF 3D-Var; cv_option = 3(Wu et al,2002)
觀測資料	NCEP ADP (2008) NCEP GDAS (2009)
海溫資料	NCEP FNL, 2000

在氣象資料同化部份，本計畫透過 WRFDA(WRF Data Assimilation v3.8)對氣象資料進行資料同化，以確保資料推估與觀測資料的一致性，資料同化是一個整合觀察資料與 WRF 模式預測結果之技術。一般氣象上常用之資料同化方法包括 3D-Var (three-dimensional variational) 和 4D-Var (four-dimensional variational) 方法，本計畫透過 WRFDA 對於氣象預測資料以每 6 小時進行循環不斷之資料同化與模擬，WRFDA 所進行之資料同化過程可由下圖 24 表示，每個 WRF(或任何使用 ODE 的網格模式)模擬需要初始場與模擬時程中邊界條件的變化。氣象模擬因為大尺度現象與小尺度變化關係緊密，初始與邊界影響特別重要。因此，WRFDA 的 3D-Var 減少對運算資源的需求只針對初始場與初始下邊界同化觀測資料透過相對短週期的資料同化與模擬循環保持模擬結果的準確。WRFDA 資料同化流程從初始場 x^b (或模擬結果 x^f)與初始下邊界場 x^{lbc} 經過 WRFDA 同化觀測資料 y^o 、觀測及代表性誤差 R 與歷史背景誤差 B_0 輸出分析初始場 x^a 。最後利用分析初始場 x^a 與初始下邊界場修正初始場，再從修正後初始場以 WRF 主程式模擬輸出模擬結果 x^f 。由模擬時間開始至 2017 年 01 月 01 日 00:00 UTC 以增進氣象模式推估與觀測值的一致性。

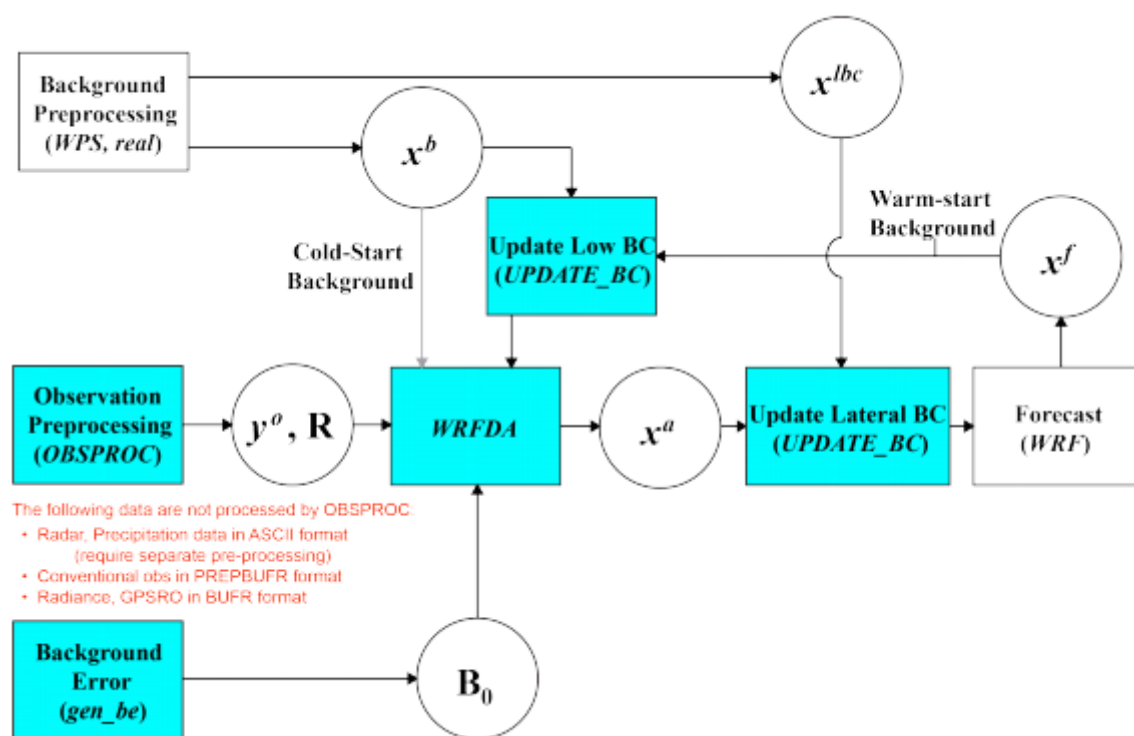


圖 24 RFDA 流程

模擬結果中以中央氣象局台西站與福興站為例，大部分模擬資料低於觀測數據但已大致具備觀測之日變化週期，資料同化後的模擬結果較未經資料同化的原始模擬結果有明顯的改善，與觀測值一致性較高，如圖 25 所示。圖 26 與圖 27 比較氣象監測資料包括氣象局自動測站與環保署測站資料，氣象局自動測站與環保署測站資料未包含於 NCEP ADP(2008)資料中，因此，觀測值與模擬值的比對具驗證效果並顯示 WRFDA 所重建之氣象場與實際氣象場相近。

WRFDA 模擬的氣壓、溫度、相對濕度(RH)和風速分別示於在圖 26。模擬期程為 2016 年整年(一月、四月、七月及十月，1 至 15 日)，各季節模擬準確度比較顯示模式偏差小而且無明顯季節變化。夏季高溫低壓而春冬季低溫高壓而風速有小幅度高估的偏差。圖 27 為氣象模擬的標準化平均偏差、絕對誤差與相關係數在本計畫研究區域內空間分布。平均偏差代表模式結果高估或低估觀測值，其空間分布沒有明顯分布趨勢。絕對誤差估計模式結果與觀測值的距離，結果顯示大部分測站誤差小。而相關係數代表模式結果對觀測值的變化解釋程度，結果顯示模式能夠解釋觀測數據的時空間變化。

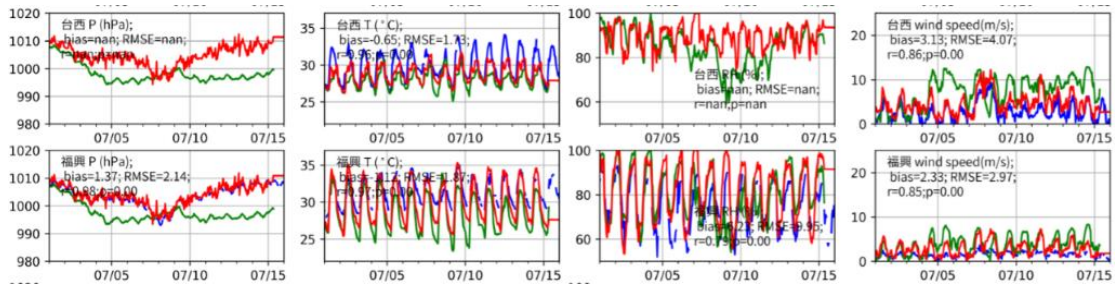


圖 25 2016 年 WRF 模擬（綠線）與觀測資料同化 WRF 模擬（紅線）與觀測資料（藍線，鄰近氣象局測站）

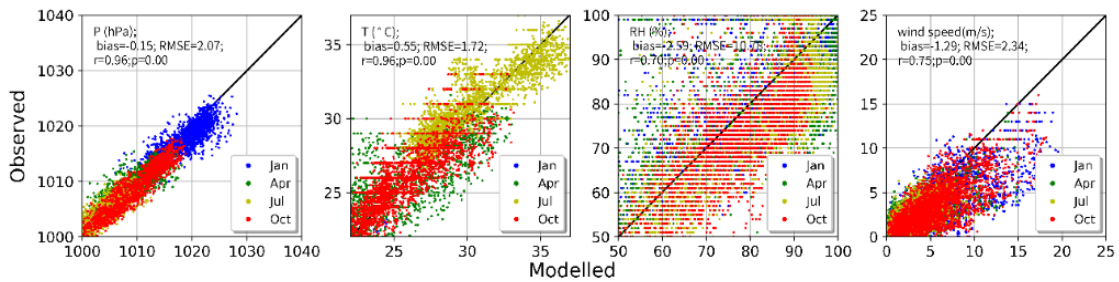


圖 26 監測資料同化 WRF 模擬與工業區 0.4 度內觀測資料散布圖(氣壓、溫度、相對濕度、與風速)

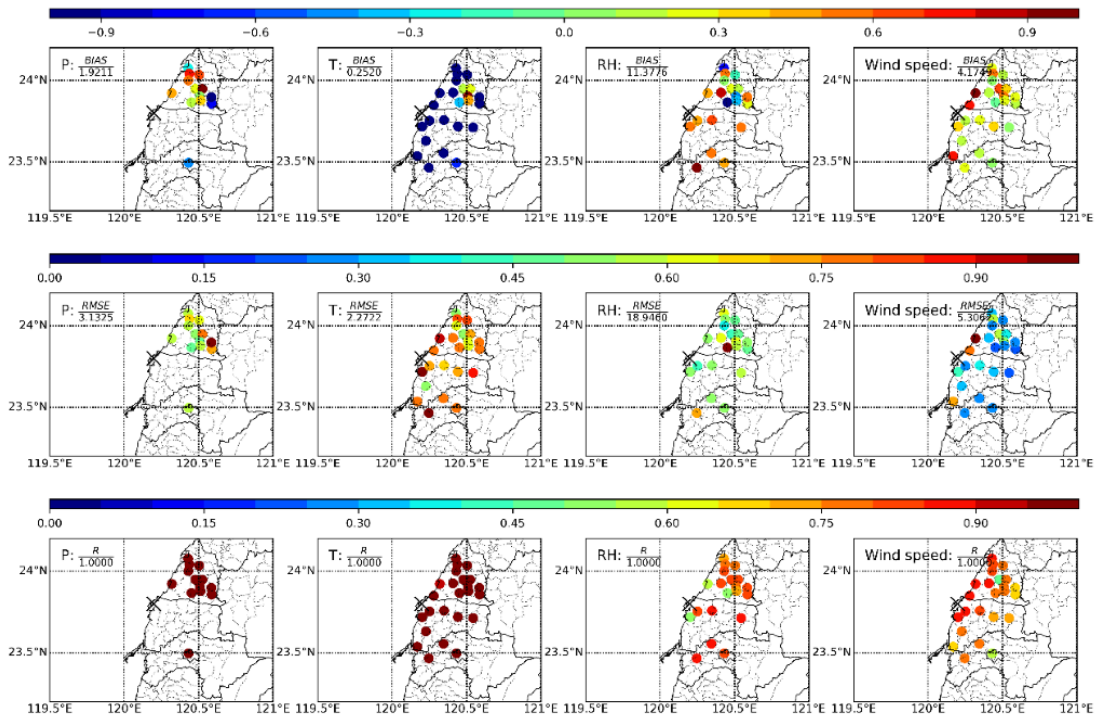


圖 27 監測資料同化 WRF 模擬與工業區 0.4 度內觀測資料偏差之空間分布

4.1.2 空氣中暴露濃度推估

本計畫對研究範圍內所有空氣暴露濃度進行推估，為了合理的推估暴露濃度，本計畫透過排放源敏感度分析，對排放量進行修正並反推空氣暴露濃度的時空分布。換言之，CMAQ 模擬需要啟動 DDM-3D 解析敏感源在濃度時空分布的貢獻量 (Source Apportionment)。在敏感源選取方面，研究區域中污染物來源應以雲林離島工業區與雲林縣週邊主要污染源為主，如圖 28 所示，其中，EM1(臺中工業區周邊)、EM2(雲林離島工業區周邊)、EM3(嘉義明雄工業區周邊)以 x 標記；綠三角形標記觀測點位；紅色圓形為其他主要排放源。本計畫選取雲林及其附近之主要排放源，包含 EM1(臺中發電廠周邊)、EM2(雲林離島工業區周邊)、EM3(嘉義明雄工業區周邊)。另外，本計畫除以經常性的 TEDS 排放資料作為排放量輸入之外，為了能夠考量其他可能的非經常性排放，例如，公安事件或工廠維修等，在此假設一逸散排放源作為代表並一併推估排放量。

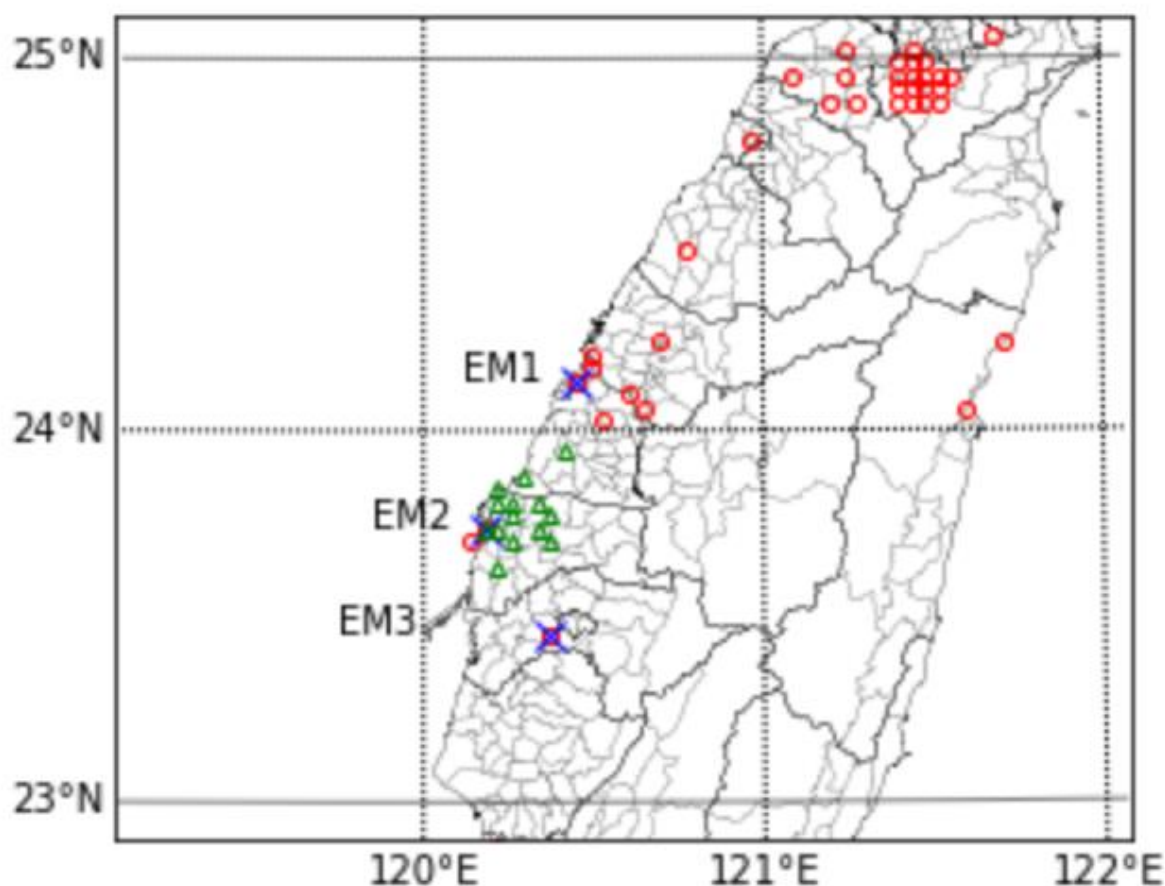


圖 28 主要污染源位置圖

首先，利用 CMAQ 模擬產生一有害污染物濃度之時空間分布作為基礎的濃度參考使用，透過前述的敏感度分析方法，找出不同排放源其貢獻量比例，並配合實際的有害污染物觀測濃度值，進行排放量推估(圖 30)。基礎的有害污染物濃度其時空間變化，主要是由氣象條件所影響，如風向的改變，而經由敏感度分析所產生的結果，可以顯示不同排放源對於有害污染物的貢獻度，如圖 29 所示。其中，敏感度為排放源在空間各點濃度的貢獻量。其空間分布可以顯示模擬時間間隔(1 小時)內的煙流軌跡，各向量以紅色向量長度為比例標示模式使用之風速風向。以苯來說，苯濃度在研究區域內時空間上的變化，明顯的受到雲林境外來源的影響。

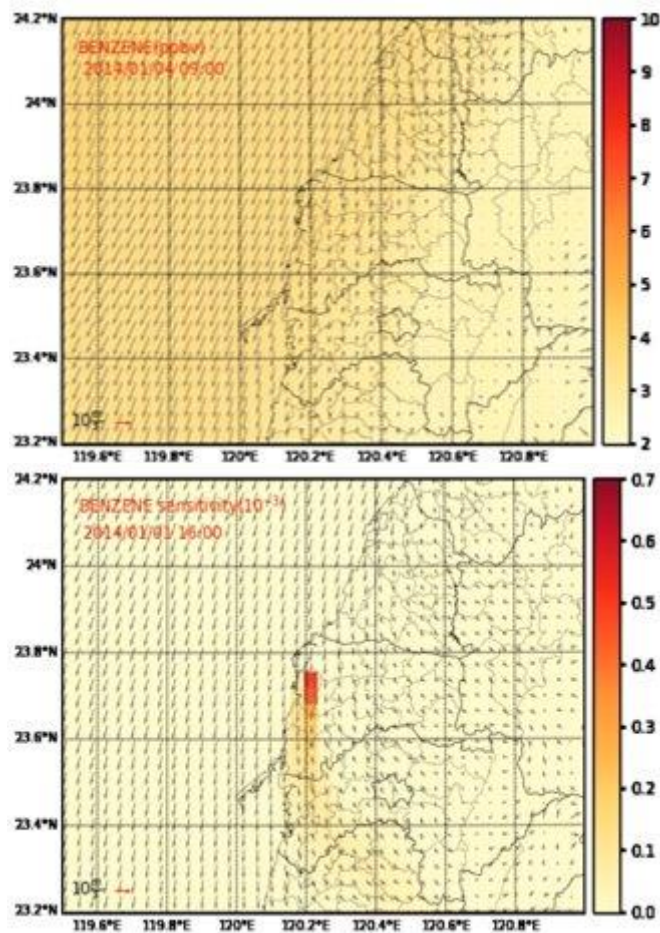


圖 29 貢獻度與敏感度空間分布

在排放量推估上，常見的修正排放量做法有質量平衡法(Chemical Mass Balance, CMB)(Pipalatkarn, 2014)、卡曼濾波法(Kalman Filter, KF)(Napelenok, 2008)、主成份分析法(Principal Component Analysis, PCA)(Eder, 2014)、非負矩陣分解法(Positive

Matrix Factorization, PMF)(Kim, et al, 2007)等。由於 KF、PCA、PMF 等方法皆需要大量觀測資料，本計畫透過質量平衡法將 CMAQ 所模擬的有害污染物濃度時空間分布結果與實際的觀測濃度，配合敏感度分析所找出的不同排放源貢獻度，利用回歸分析推估修正後的排放量，並進一步反推修正後的有害污染物空氣暴露濃度。質量平衡法中各空氣暴露濃度皆可依其排放源敏感度解析，如下式所示，

$$C \approx H = \sum_{j=1}^{n'} \epsilon_j(p) S_j(p) + \sigma(p)$$

$p = (s, t)$ 為在時間 t 與空間 s 的時空間位置點； $C(p)$ 為有害污染物在 p 上的濃度觀測值； $H(p)$ 為 CMAQ 模式濃度在 p 上的模擬值； m 是濃度觀測數量； n' 是所有污染源數量而 n 是模式中設定敏感源數量； ϵ_j 是 CMAQ 模式 j 污染源排放量； $S_j(p)$ 為 CMAQ 模式 j 污染源對 p 上之貢獻度； $\sigma(p)$ 為 p 上的殘差 (residuals)，殘差可能包含未知來源貢獻量像是並未考慮進的其他污染源、初始條件及非線性項等。本計畫在反推空氣暴露濃度時，做了以下幾項假設：(1) 污染物種組成不變；(2) 在短期與小範圍模擬中污染物之間沒有反應；(3) 輸入的排放源為受體點上濃度的主要影響因子；(4) 資料量需多於未知參數數量；以及 (5) 觀測數據不確定性為隨機分布。以實際觀測資料進行反推的模擬結果，可有效的將 CMAQ 模式模擬結果以實際實際觀測值作為限制，使得修正後的有害污染物濃度更為接近實際濃度的時空間分布。在排放量回歸式中加入排放量修正比例 $x(p)$ ，可將回歸式改寫成，

$$p \in \{1 \dots m\}$$

$$\begin{bmatrix} C(1) \\ C(2) \\ \vdots \\ C(m-1) \\ C(m) \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} H(1) \\ H(2) \\ \vdots \\ H(m-1) \\ H(m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma(1) & S_1(1)\epsilon_1 & S_2(1)\epsilon_2(1) & \dots & S_n(1)\epsilon_n(1) \\ \sigma(2) & S_1(2)\epsilon_1 & S_2(2)\epsilon_2(2) & \dots & S_n(2)\epsilon_n(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma(m-1) & S_1(m-1)\epsilon_1(m-1) & S_2(m-1)\epsilon_2(m-1) & \dots & S_n(m-1)\epsilon_n(m-1) \\ \sigma(m) & S_1(m)\epsilon_1(m) & S_2(m)\epsilon_2(m) & \dots & S_n(m)\epsilon_n(m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}$$

質量平衡法前題中污染物種組成不變假設與排放源污染物比例或排放指紋資料的應用有關，本計畫目前研究仍處於污染源鑑定階段，尚無足夠資料進行跨物種分析。敏感源的選則只能從其量級與距離中間取捨。因為目前模式空間解析度為 4 公里 TEDS9.0 離島工業區在 SMOKE 模式處理後只有佔據一個網格點並與其他同位置的排放源重疊。由於同位置敏感度 s 同時受到大氣環流等影響，因此存在一定的共線性。回歸分析中相似的排放源推估結果可能會有共線性狀況產生，造成排放量推估結果高度不確定。因此推求的各排放源比例可能會不準但總和不變。這種狀況在資料點過少的時候更為明顯。此不確性對於濃度推估影響有限，但對於各排放量值

的推估來說，由於排放量修正之做法係透過模擬暴露濃度推估與實際觀測資料，藉由線性回歸方法之最佳化方法。且方法僅對於暴露濃度與實際觀測資料間的差值進行量級上的最佳調整，對於調整後之排放量修正結果仍存在著大量的不確定性，在經過對暴露濃度極端值的移除調整後，仍無法降低排放量修正的不確定性致合理的範圍。若未詳細理解排放量修正之假設、方法與其使用限制等，就直接對排放量修正後之結果(數值)進步解讀，將因為精確度有限而造成誤導。

本計畫主要受限於觀測資料量稀少，觀測值數量遠少於需推估的未知參數數量，因此，本計畫採用統計學中移動平均的概念，在模擬各時刻時，選取模擬時刻前後特定的時間範圍，盡量取得足夠的樣本數量用來進行回歸分析。16 種物種中只有苯與苯乙烯有足夠觀測數量其他 14 種污染物觀測數量稀少，觀測值與其模擬時刻相距過遠，可能造成修改後模擬濃度的不確定性。另外，因使用模擬時刻前後的特定時間範圍內的觀測資料，回歸分析所得到的結果應為此特定時間範圍內的排放平均結果，然而，在不同小時時刻濃度值皆經過回歸分析，此結果應仍具有實際上排放的時間特徵，但與實際排放時程仍有差距，造成排放量推估不確定性大增。未來研究應嘗試以迭代方式趨近真實排放改善結果。

回歸分析所得之空氣暴露濃度修正以圖 30 所示。其中，藍色點為原始排放量模擬結果；綠色點為原始排放量與觀測值迴歸關係不顯著部份（不採用）；紅色點為原始排放量修正後推估之模擬結果（因部份污染物觀測過於稀疏造成綠色點與紅色點數量總和少於藍色點）；污染物從左到右、由上至下排列分別為苯、異戊二烯、乙苯、苯乙烯、氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、1,2-二溴乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、異丙苯與 1,4-二氯苯。

透過前述之排放量校正推估，16 種有害污染物經模擬修正後的 R-squared 值 0.16~0.88 之間，詳細結果如表 2，包括校正排放推估成果與 R-squared。由圖 30 中的散布圖可以看到，在透過排放量校正推估後，模擬濃度值與觀測濃度值之關聯性大幅增加。其中，三氯甲烷經模式修正後推估濃度與觀測值可達到 R-squared 值 0.88，與在 95%的信心水準上顯示假設之逸散源排放可以解釋大部分觀測值變化為統計顯著。然而，同時也可看到部分化學物質在經過排放量校正後，雖然模擬濃度值與觀測濃度值之關聯性有增加，但是還是相對有限。造成排放量校正結果不夠理想，主要原因包括幾個層面，以資料部分來說，由於觀測資料不足，排放量修需要足夠數量的觀測資料，這些觀測資料又必須具有足夠的代表性，本計畫嘗試以排

放量修正之平均彌補無觀測資料的時段用來估計本計畫所關切之 16 種污染物空氣暴露濃度的時空間分布。但是多數監測值資料於空間與時間分布相當有限或是侷限，造成校正模型與結果之不確定性，下表 25 透過資料豐富度來描述資料量，其中本計畫資料豐富度定義為 $10 * \text{時空間有觀測之數量} / \text{時空間網格總數}$ 。另一方面，排放強度時間變動主要根據前述資料庫所建構，與實際不盡相同，以及 CMAQ 之排放源敏感度為模式運算中偏微分計算所得，單位排放量與單位擾動的關係在現實中為非線性關係造成模式中排放機制與觀測濃度間有著系統性差異。也因此，為降低校正之不確定性，本計畫排放量評估結果在極端排放的部分因此存在高度的不確定性。目前只能取 95 百分位以下之濃度估計減少極端值的影響。以模式架構部分來說，本計畫透過線性模式描述排放與觀測之間之關聯性，透過回歸分析進行一次性模擬，然而校正模式中的排放源排放量對於環境監測值變動之敏感度其實會有高度相關性，由於關聯性之存在，會使得即使校正模式中之模式模擬濃度與觀測值更相近，其推估之排放濃度具有高度之不確定性。為了降低此一不確定性，本計畫建議後續排放量推估需考慮排放源之間之相關性，另一方面建議透過遞迴之方式，亦即排放量推估值放回模式重新演算直到穩定，以降低因共線特性所造成排放量推估之不確定性。然而這推估方式演算量較大，本計畫僅透過一次性之方法進行校正推估。除此，為降低計算量，本計畫僅選定部分大型污染源進行分析，如 TEDS9.0 中未選定之排放源。後續研究需要對這些來源定位並加入其他主要影響受體濃度的敏感源以改善模式解釋量。由於目前使用的污染物解析模式(SMOKE)在 TEDS9.0 中只能分解出苯(BENZENE)，異戊二烯(ISOPRENE)與苯乙烯(STYRENE)，模式中其他 13 種致癌物在模式中背景值應為零。因此其他未考慮的來源可能需要透過在污染物解析中加入符合本地排放源排放因子的資料與生物源模式。例如，目前模式設定中沒有加入生物源排放因此異戊二烯(ISOPRENE)的解釋量不足。其他如 1,3-丁二烯(1,3-Butadiene)可能有從汽機車等其他來源。二氯甲烷(DICHLOROMETHANE)微量從藻類、溼地與火山產生。1,2-二溴乙烷微量源於藻類。三氯甲烷(CHLOROFORME)海草與真菌產生部份可能較大。

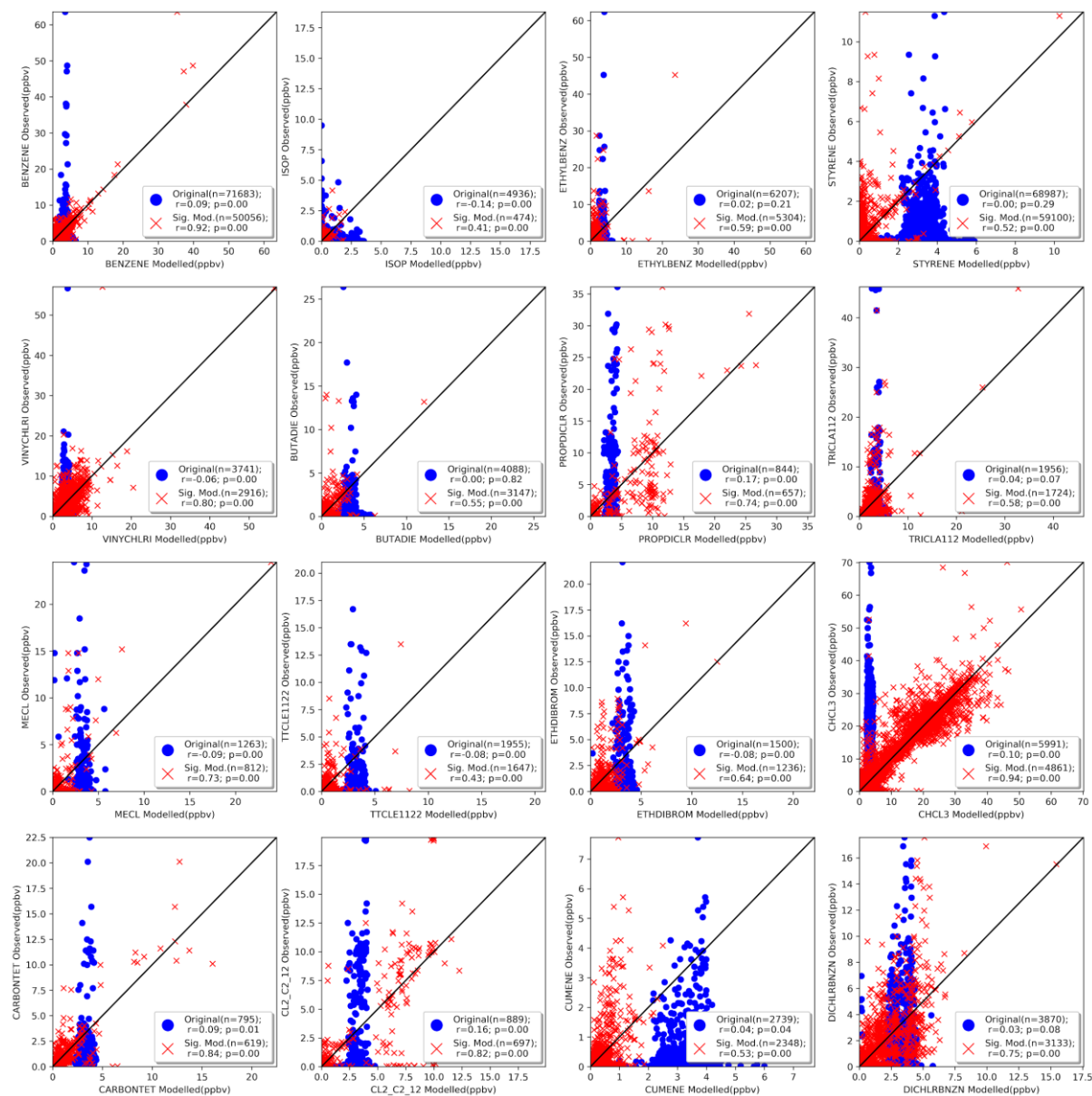


圖 30 污染物濃度觀測與其對應之模擬值

表 25 監測值資料之資料豐富度

	苯	異戊二烯	乙苯	苯乙烯	氯乙烯	1,3-丁二烯	1,2-二氯丙烷	三氯乙烯
解釋比例%(R^2)	84.64	16.81	34.81	27.04	64	30.25	54.76	33.64
資料豐富度	1	0.009469	0.105961	1.180678	0.058255	0.06291	0.013125	0.034441

	二氯甲烷	四氯乙烯	1,2-二溴乙烷	三氯甲烷	四氯化碳	1,2-二氯乙烷	異丙苯	1,4-二氯苯
解釋比例%(R^2)	53.29	18.49	40.96	88.36	70.56	67.24	28.09	56.25
資料豐富度	0.016222	0.032903	0.024692	0.097131	0.012366	0.013924	0.046907	0.06259

為增進對於環境暴露濃度之時空分佈，本計畫透過排放量校正後，另外針對這些目前無法解釋的剩餘項(包含來自各種不同種類的誤差與不確定性)利用時空分析估計並嘗試補足。本計畫以 IDW 補足剩餘項在時空間上的缺漏。最後以剩餘項與暴露濃度修正的總合作為後續計畫所使用之暴露濃度空間分布如圖 31-圖 34。其中，污染物排列由左至右、從上到下分別為：苯、異戊二烯、乙苯、苯乙烯、氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、1,2-二溴乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、異丙苯與 1,4-二氯苯。

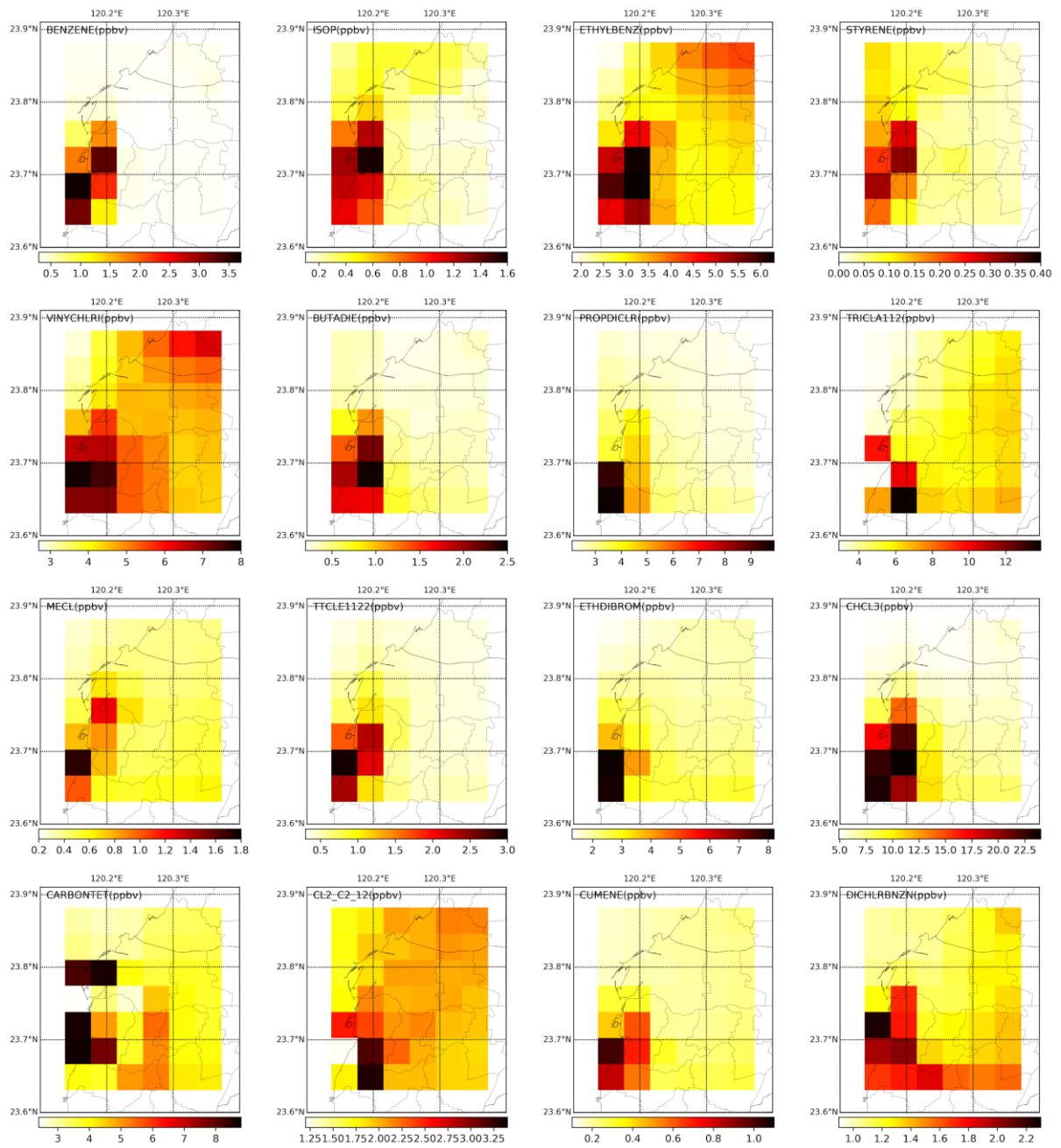


圖 31 16 種污染物之平均濃度空間分布圖

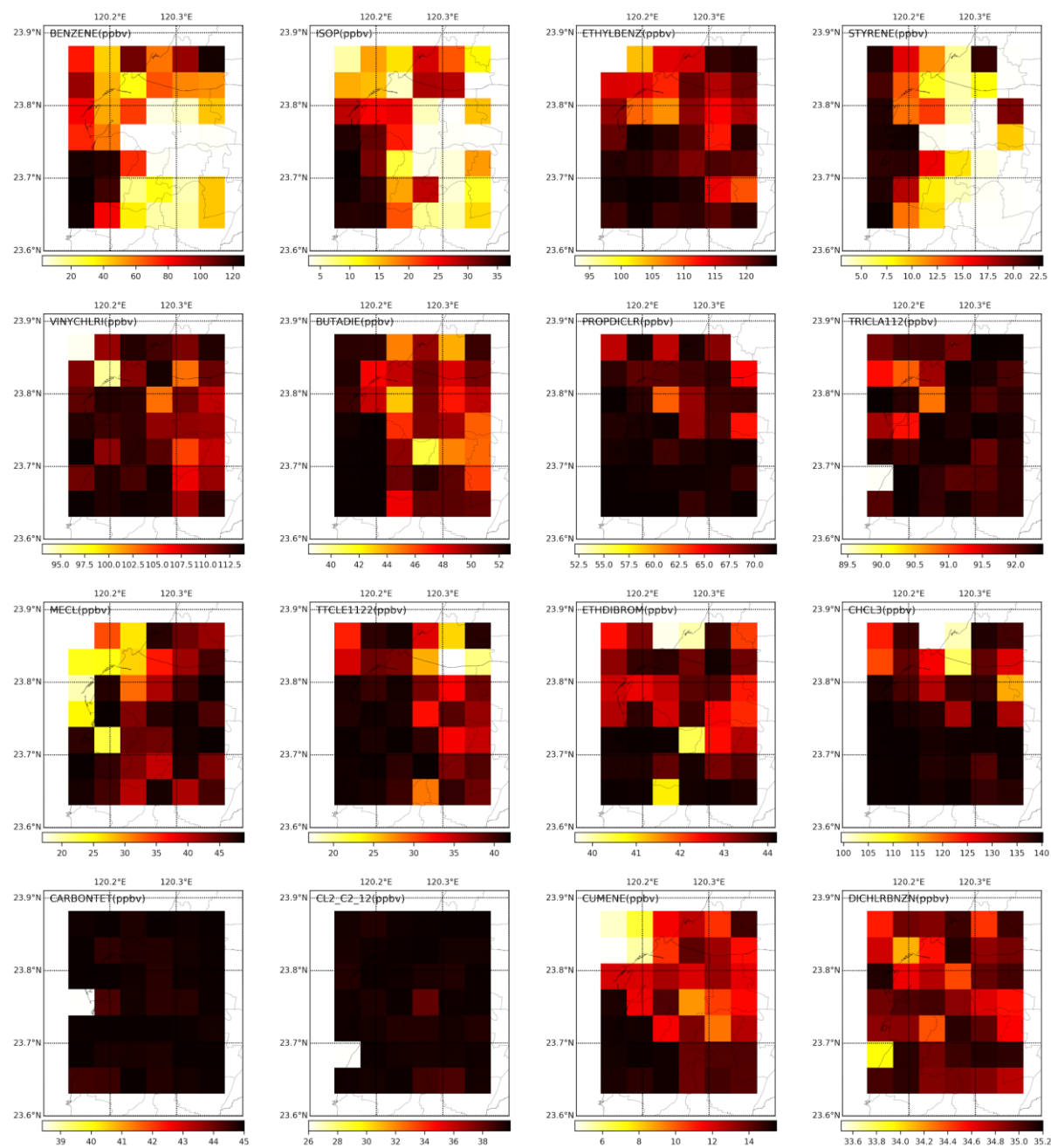


圖 32 16 種污染物之最大濃度空間分布圖

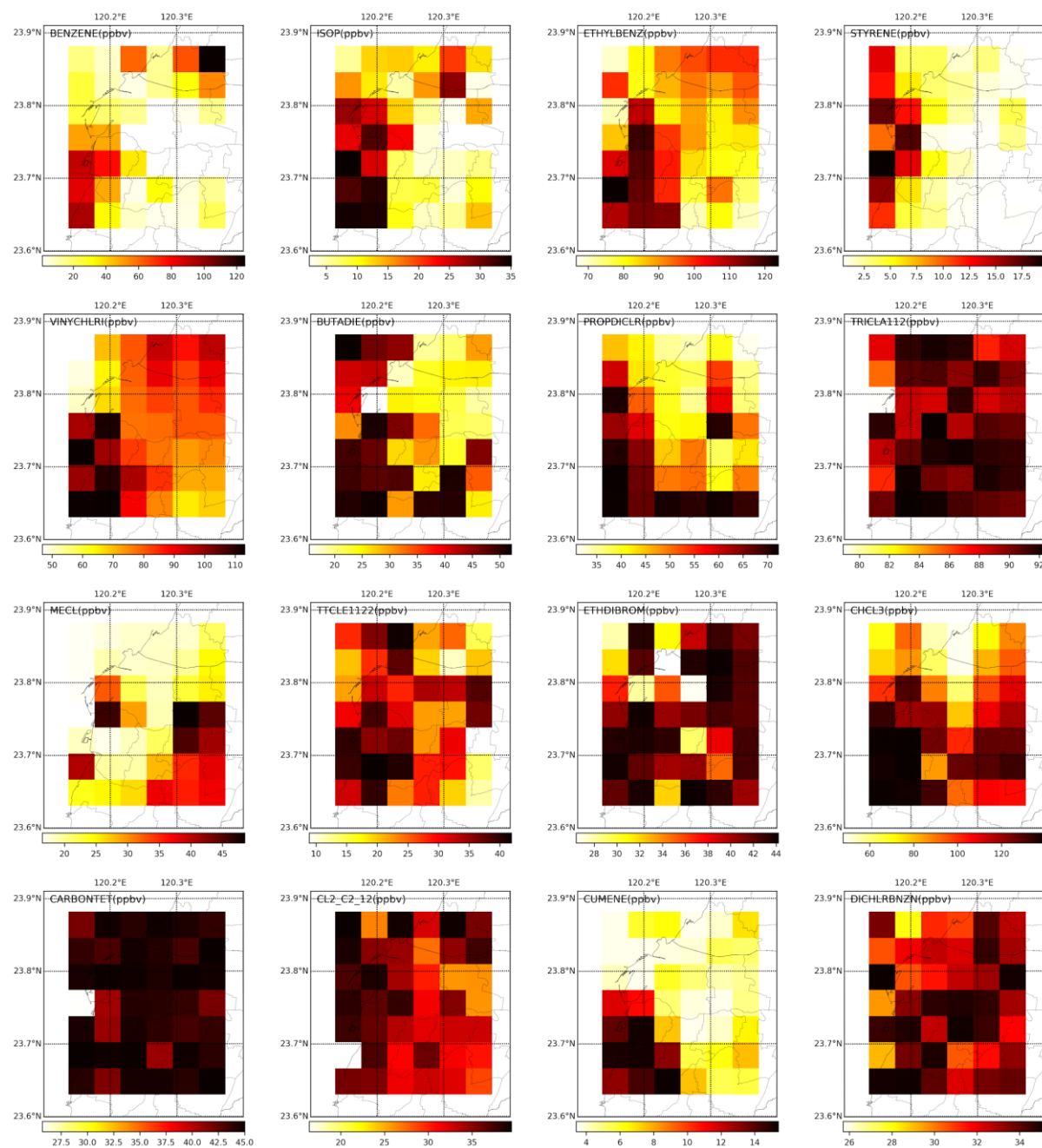


圖 33 16 種污染物之最大 8 小時平均濃度空間分布圖

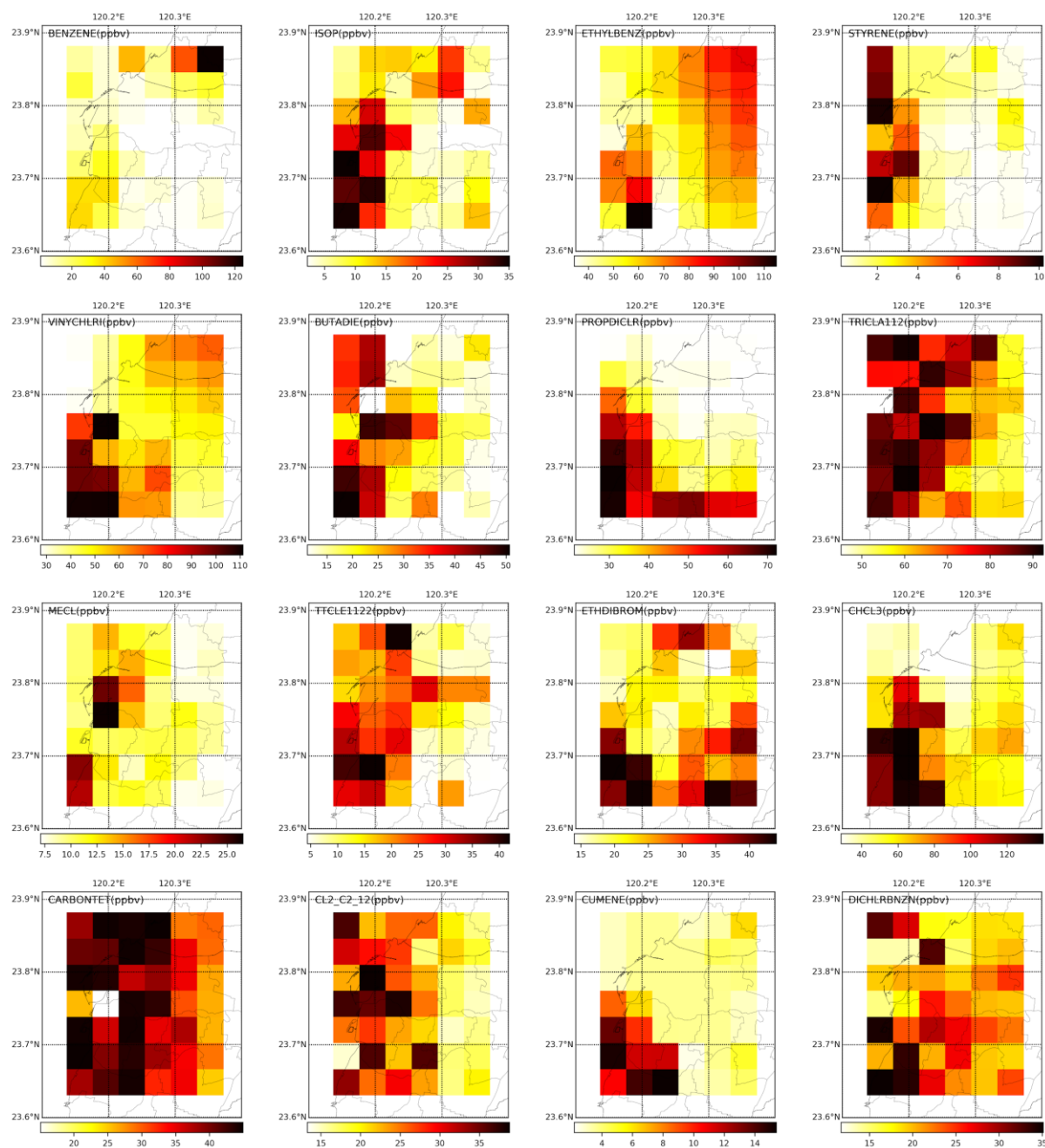


圖 34 16 種污染物之最大日平均濃度空間分布圖

4.2 多介質暴露模擬與評估

4.2.1 多介質模式介紹

國內現行行政院環保署所公告之健康風險評估技術規範中建議的多介質傳輸模式有 Fugacity(逸壓) 多介質傳輸模式、MEPAS 多介質傳輸模式、MMSOILS 多介質傳輸模式、MULTIMED 多介質傳輸模式、3MRA 多介質傳輸模式、TRIM 多介質傳輸模式。另外上述的多介質傳輸模式中多為免費下載使用之公開軟體，只有

MEPAS 多介質傳輸模式需要付費使用。國內外以 Fugacity 多介質傳輸模式為概念的相關模式陸續建立發展，陳守憲(1998)、鄭光榮(2007)將 Fugacity 模式與多介質人體暴露模式(MMTD)整合，建立污染物宿命與風險評估整合系統，並模擬大台北地區戴奧辛於空氣、水、土壤及底泥之分布狀況及風險評估。Mckone(1993)發展之 CalTOX 模式亦是以逸壓之觀念發展出來的逸壓模式所改良建立。Fugacity 多介質傳輸模式是利用化學物質之逸能關係作為介質間的分布情形作為預測其中以 CalTOX 為最廣泛使用的 Fugacity 多介質傳輸模式由於 CalTOX 模式能夠估算污染物於介質間傳輸的情形還建構人體暴露污染土壤介質的濃度會隨時間作變化的情境。模式考量的暴露途徑較其他傳輸模式納入的數量較多，故作者認為 CalTOX 模式是一個適合用於預測化學物質在環境介質分布情形的好預測工具。

本計畫擬使用 CalTOX 模式作一化學物質之多介質傳輸模擬，容易面臨的挑戰是無法選擇適合台灣環境的地區模式參數，僅能利用內建資料或是依個人主觀意見選取使用美國地區之參數，此模擬法無可避免地提高模式模擬的不確定性，為降低模式的不確定性可整合台灣的地理參數配合貝氏統計模式，以有限的地理參數當作先驗分布且將沿海地區的監測資料透過擬似函數(Likelihood function)加以推估得到參數的事後分布加以應用，以解決一般多介質傳輸模式缺乏適合台灣環境的地區參數的問題。

CalTOX 模式有 7 個不同環境介質之多介質傳輸與暴露模式，模式將環境分成七個區塊呈現物質流佈情形，包含空氣、植被、表面土壤、根土、滲流土、表面水以及底泥。其中，空氣、表面土以及表面水被視為有持續性污染的排放源，而根土和滲流土等較深層的區域則是從表面土的污染垂直傳輸下來。模式利用 Fugacity 原理敘述有機物質或無機物質在不同區塊間的質量變化，此模式適用預測化學物質在大環境傳輸情形及宿命的因素有二：

- 1.每個區塊視為一個單位，可平衡歸因於排放源之獲得(gains)及失去(loss)、轉移自其他區塊的、轉移到其他區塊或是物理/化學性轉換。

- 2.每個區塊可根據熱動力學理論評估化學物質分配情形。

綜合以上兩點，CalTOX 模式可幫助了解區塊內的分配情形是如何影響區塊間的分布情形。

Yen-chuan Chen (2006)比較三種常用於作地區性風險評估之多介質傳輸模式，MEPAS、MMSOILS 及 CalTOX 等模式，運用三個模式結合蒙地卡羅法實際以一

地下水污染之案例作模式間的比較分析，以敏感度分析及不確定性分析辨識出此案例中對於風險計算之重要參數，並依模式是否納入相關暴露途徑作為模式適合與否之依據，比較後以 MEPAS 及 CalTOX 為較佳的模式選擇，可降低 36.4% 之選擇模式造成的不確定性。CalTOX 為五個多介質傳輸模式中較完整的模式，且其模式軟體使用方式簡單便利，CalTOX 模式之方便性在於使用者選定一欲模擬之特定化學物質即不需再額外輸入化學物質特性參數，且模式內建美國 65 個地區之地區地理特性參數以及各年齡層之人類暴露參數可供選取，使用者選擇完模擬情境後只需輸入空氣、土壤以及表體水的化學物質輸入量(input)，CalTOX 模式即可計算出目標對象所承受之致癌風險以及非致癌風險。

本計畫以 CalTOX 多介質傳輸模式推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度。CalTOX 多介質傳輸模式將環境介質分為七個區塊(空氣、植物、表面土壤、根區與滲流土壤、表面水、沉積物及地下水)並利用多介質逸壓模式來推估污染物在環境不同介質中的擴散情形以得到不同介質之暴露濃度。

4.2.2 多介質敏感度分析

由於本土之多介質模式參數影響了多介質模式模擬結果之代表性，因此先以逐步法(stepwise)的回歸分析分別探討 16 種空氣污染物於環境流布下之敏感環境介質，其次針對此空氣污染物之敏感環境介質由雲林縣相關報告蒐集在地本土環境參數以加強多介質傳輸模式參數之代表性。

由 CalTOX 多介質模式推估之暴露劑量與各介質濃度的敏感度分析，可得知 16 項污染物中共通之主要暴露介質為空氣介質，其次敏感之暴露介質會依污染物之物化性質不同而有所差異，如：地下水、底泥、植物、滲流土壤等，其各項污染物之敏感介質結果如表 26 所示：

表 26 各項污染物之敏感介質

污染物	敏感介質			
氯乙烯	空氣	地下水		
1,3-丁二烯	空氣	底泥	植物	滲流土壤
1,2-二氯丙烷	空氣	地下水		
苯	空氣	底泥		
三氯乙烯	空氣	植物		
二氯甲烷	空氣			

四氯乙烯	空氣	底泥		
1,2-二溴乙烷	空氣			
三氯甲烷	空氣	地下水		
四氯化碳	空氣			
1,2-二氯乙烷	空氣	地下水		
乙苯	空氣			
苯乙烯	空氣			
異丙苯	空氣	底泥	植物	
異戊二烯	空氣			
1,4-二氯苯	空氣	底泥		

由表 26 可知各污染物在不同介質所模擬之濃度對於暴露劑量有較大之敏感性。進一步探討敏感介質濃度與 CalTOX 多介質傳輸模式之評估參數的敏感度分析，本計畫針對氯乙烯(地下水)、1,3-丁二烯(底泥、植物、滲流土壤)、1,2-二氯丙烷(地下水)、苯(底泥)、三氯乙烯(底泥)、四氯乙烯(底泥)、三氯甲烷(地下水)、1,2-二氯乙烷(地下水)、異丙苯(底泥、植物)、1,4-二氯苯(底泥)的敏感參數分析，分析結果可詳見附表 10。

CalTOX 多介質傳輸模式之敏感參數會影響暴露劑量的模擬結果，若使用提供本土模式參數資料可降低評估之不確定性，而本計畫蒐集的基礎本土參數僅有表 27 所示：

表 27 基礎本土參數

contaminated area
Annual average precipitation
Evaporation of water from surface water
Soil particle density
Ambient environmental temperature
Organic carbon fraction in upper soil zone
Yearly average wind speed

故為降低評估項目暴露劑量之不確定性，需額外蒐集 CalTOX 多介質傳輸模式之本土敏感參數並納入 CalTOX 模式中模擬以獲得符合沿海地區民眾之暴露劑量。

4.2.3 多介質環境模擬

本計畫以 CalTOX 多介質傳輸模式推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度。CalTOX 多介質傳輸模式將環境介質分為七個區塊(空氣、植物、表面土壤、根區與滲流土壤、表面水、沉積物及地下水)並利用多介質逸壓模式來推估污染物在環境不同介質中的擴散情形以得到不同介質之暴露濃度。多介質傳輸模式是根據空氣污染物濃度時空間分布的結果帶入模式同時使用雲林縣沿海地區當地的土地利用參數進行推估，若缺乏雲林當地的地理參數進行推估則以台灣的地理參數進行估算，台灣的地理參數是參考馬鴻文教授發表之相關研究，另外考慮到 CalTOX 中不同地理參數的差異性，因此將台灣與美國的地理資料回歸其機率分布進行不確定信分析，最後配合 Crystal Ball 軟體以蒙地卡羅法對地理參數機率分布進行隨機抽樣的模擬估算不同介質中之污染物濃度。**表 28** 為雲林縣沿海地區當地的土地利用參數，參數資料來源是根據六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫報告、雲林縣麥寮鄉公所官方網頁、雲林縣台西鄉公所官方網頁。**表 29-表 30** 為 CalTOX 多介質傳輸模式所使用的地理參數

表 28 雲林縣沿海地區多介質參數表

項目	參數性質	麥寮鄉	台西鄉
1	contaminated area (m ²)	106,000,000	66,472,000
2	Annual average precipitation (m/d)	3.14×10 ⁻³	3.00×10 ⁻³
3	Evaporation of water from surface water (m/d)	2.71×10 ⁻³	2.71×10 ⁻³
4	Soil particle density(kg/m ³)	1333	1333
5	Ambient environmental temperature (K)	295.15	295.15
6	Organic carbon fraction in upper soil zone	0.1	0.1
7	Yearly average wind speed (m/d)	432000	512352

表 29 CalTox 多介質地理參數機率分布表

項次	參數性質	CalTOX 代號	台灣地理參數
1	Flux; surface water into landscape (m/d)	inflow	0.00E+00
2	Aerosol organic fraction	foc_ap	2.00E-01
3	Volume fraction of water in leaf	beta_leaf	8.00E-01
4	Volume fraction of air in leaf	alpha_leaf	1.80E-01

5	Volume fraction of lipid in leaf	lipid_leaf	2.00E-03
6	Wet interception fraction	IF_w	1.00E-01
7	Stem wet density (kg/m ³)	rho_stm	8.30E+02
8	Leaf wet density (kg/m ³)	rho_leaf	8.00E+02
9	Root wet density (kg/m ³)	rho_root	8.00E+02
10	Veg attenuation fctr, dry interception(m ² /kg)	atf_leaf	2.90E+00
11	Stomata area frctn(area stomata/area leaf)	na_st	7.00E-03
12	Effective pore depth	del_st	2.50E-05
13	Boundary layer thickness over leafs	del_a	2.00E-03
14	Leaf surface erosion half-life (d)	Thalf_le	1.40E+01
15	Thickness of the ground soil layer (m)	d_g	1.00E-02
16	Bioturbation (m ² /d)	D_bio	1.20E-04
17	Thickness of the aquifer layer (m)	d_q	3.00E+00
18	Solid material density in aquifer (kg/m ³)	rhos_q	2.60E+03
19	Porosity of the aquifer zone	beta_q	2.00E-01
20	Suspended sdmnt deposition (kg/m ² /d)	deposit	1.05E+01
21	Thickness of the sediment layer (m)	d_d	5.00E-02
22	Solid material density in sediment (kg/m ³)	rhos_d	2.60E+03
23	Sediment burial rate (m/d)	bury_d	1.00E-06
24	Surface water current in m/d	current_w	0.00E+00
25	Organic carbon fraction in aquifer zone	foc_q	4.00E-02
26	Organic carbon fraction in sediments	foc_d	4.00E-02
27	Bndry lyr thickness in air above soil (m)	del_ag	5.00E-03

表 30 CalTOX 多介質傳輸模式使用之地理參數

項次	地理參數	CalTOX 代號	機率分布	參數設定
1	Land surface runoff (m/d)	runoff	最小極端值	1.03E-03 scale=0.0004
2	Ground-water recharge (m/d)	recharge	學生 t	mean=0.0001 scale=0.00003 degree=2.58
3	Water content in surface soil (vol fraction)	beta_g	學生 t	mean=0.19 scale=0.02 degree=2.74
4	Air content in the surface soil (vol frctn)	alpha_g	對數常態	mean=0.29 s.d.=0.069
5	Thickness of the root-zone soil (m)	d_s	最大極端值	7.33E-01 scale=0.16
6	Water content of root-zone soil (vol. frctn.)	beta_s	羅吉斯	mean=0.20 scale=0.022
7	Air content of root-zone soil (vol. frctn.)	alpha_s	對數常態	mean=0.25 s.d.=0.055
8	Thickness of the vadose-zone soil (m)	d_v	對數常態	mean=0.82 s.d.=0.479
9	Water content; vadose-zone soil (vol. frctn.)	beta_v	對數常態	mean=0.20 s.d.=0.049
10	Air content of vadose-zone soil (vol. frctn.)	alpha_v	Beta	alpha=4.01 beta=2.46
11	Fraction of land area in surface water	f_arw	對數常態	mean=0.06 s.d.=0.137
12	Organic carbon fraction in vadose zone	foc_v	對數常態	mean=0.003 s.d.=0.002

以蒙地卡羅法對地理參數機率分布進行 20000 次隨機抽樣的模擬，多介質傳輸模式估算雲林縣沿海地區(麥寮和台西)在不同介質中之污染物濃度，其模擬結果之統計量(算術平均數、標準差和第 95 百分位數)如表 31 及表 32 所示。結果顯示台西鄉之空氣濃度、地下水濃度、植物濃度、滲流土壤濃度之 16 項污染物均高於麥寮鄉，其餘麥寮鄉高於台西之多介質濃度有：1,3-丁二烯之底泥濃度、1,2-二氯丙烷之表面水濃度、苯之表面水濃度、三氯乙烯之表面水濃度與根區土壤濃度、四氯乙烯之表面水濃度與根區土壤濃度、三氯甲烷之表面水濃度、四氯化碳之表面水濃度與根區土壤濃度、乙苯之表面水濃度、底泥濃度、表面土壤濃度和根區土壤濃度、苯乙烯之表面水濃度與根區土壤濃度、異丙苯之表面水濃度、底泥濃度和表面土壤濃度。由於污染物之物理化學性質的差異其多介質濃度的分布亦有不同。因此不同

介質中之污染物濃度的模擬結果可以依照不同暴露途徑與情境了解雲林縣沿海地區暴露污染物之暴露劑量。

表 31 麥寮鄉 CalTOX 模擬多介質中污染物濃度結果

項目	介質	空氣 mg/m ³	表面水 mg/L	地下水 mg/L	底泥 mg/kg	表面土壤 mg/kg	根區土壤 mg/kg	植物 mg/kg	滲流土壤 mg/kg
氯乙烯	平均	8.56E-04	4.30E-06	6.89E-06	1.08E-06	1.93E-06	1.50E-06	9.71E-07	2.98E-07
	標準差	9.72E-04	1.21E-06	2.20E-05	2.37E-06	4.42E-06	3.08E-06	1.15E-06	3.70E-07
	95%	2.64E-03	3.14E-06	2.86E-05	3.81E-06	7.26E-06	5.61E-06	3.09E-06	9.33E-07
1,3-丁二烯	平均	8.10E-04	2.60E-07	2.89E-07	8.73E-07	3.70E-07	2.39E-07	5.08E-07	1.17E-07
	標準差	1.04E-03	4.07E-07	1.38E-06	2.18E-06	4.90E-07	3.32E-07	7.39E-07	1.73E-07
	95%	2.44E-03	8.79E-07	1.10E-06	3.41E-06	1.16E-06	7.51E-07	1.64E-06	3.74E-07
1,2-二氯丙烷	平均	2.57E-03	3.17E-05	1.75E-06	4.85E-05	8.05E-05	4.75E-05	3.17E-05	4.98E-06
	標準差	3.93E-03	5.66E-05	5.16E-06	1.37E-04	2.28E-04	1.26E-04	5.57E-05	9.57E-06
	95%	9.47E-03	1.17E-04	7.97E-06	1.84E-04	3.25E-04	2.10E-04	1.16E-04	1.84E-05
苯	平均	1.07E-03	1.71E-05	2.58E-07	6.67E-06	1.71E-05	9.30E-06	5.94E-06	7.49E-07
	標準差	6.30E-04	2.26E-05	6.59E-07	9.91E-06	2.26E-05	1.14E-05	4.09E-06	6.76E-07
	95%	2.24E-03	6.02E-05	1.07E-06	2.25E-05	6.02E-05	3.00E-05	1.32E-05	1.97E-06
三氯乙烯	平均	3.43E-03	1.10E-05	1.04E-06	2.78E-05	5.32E-05	3.84E-05	1.48E-05	3.01E-06
	標準差	8.19E-03	2.75E-05	6.53E-06	9.32E-05	2.05E-04	1.43E-04	3.49E-05	8.36E-06
	95%	1.29E-02	4.07E-05	3.86E-06	1.07E-04	2.12E-04	1.54E-04	5.72E-05	1.13E-05
二氯甲烷	平均	2.04E-03	1.89E-05	1.62E-07	1.56E-05	3.34E-05	1.22E-05	2.12E-05	1.00E-06
	標準差	3.74E-03	4.16E-05	2.15E-06	4.58E-05	1.03E-04	3.12E-05	4.39E-05	4.67E-06
	95%	7.37E-03	7.01E-05	7.06E-07	6.24E-05	1.27E-04	4.79E-05	7.97E-05	4.20E-06
四氯乙烯	平均	4.51E-03	7.36E-06	4.39E-07	4.60E-05	1.07E-04	6.78E-05	1.28E-05	3.44E-06
	標準差	1.13E-02	2.14E-05	2.41E-06	5.24E-04	6.90E-04	3.77E-04	3.39E-05	9.96E-06
	95%	1.65E-02	2.73E-05	1.52E-06	1.60E-04	4.00E-04	2.53E-04	4.72E-05	1.32E-05
1,2-二溴乙烷	平均	5.34E-03	2.17E-04	2.17E-06	6.07E-04	6.23E-05	2.91E-05	2.33E-04	8.66E-06
	標準差	1.41E-02	7.13E-04	1.69E-05	2.32E-03	2.21E-04	1.03E-04	6.38E-04	4.28E-05
	95%	1.99E-02	8.26E-04	7.88E-06	2.41E-03	2.35E-04	1.08E-04	8.92E-04	3.35E-05
三氯甲烷	平均	3.27E-03	2.50E-05	1.06E-06	4.45E-05	8.60E-05	3.15E-05	2.55E-05	2.85E-06
	標準差	8.07E-03	6.85E-05	5.50E-06	1.38E-04	2.95E-04	1.09E-04	7.22E-05	9.85E-06
	95%	1.23E-02	9.60E-05	4.20E-06	1.82E-04	3.40E-04	1.24E-04	9.84E-05	1.13E-05
四氯化碳	平均	3.62E-03	4.65E-06	5.15E-09	2.50E-05	4.79E-05	2.43E-05	7.84E-06	7.18E-07
	標準差	6.71E-03	9.35E-06	2.26E-08	9.29E-05	1.47E-04	7.15E-05	1.65E-05	1.68E-06
	95%	1.29E-02	1.73E-05	2.00E-08	9.71E-05	1.96E-04	1.01E-04	2.88E-05	2.74E-06
1,2-二氯乙烷	中位數	2.53E-03	6.40E-05	2.31E-06	4.92E-05	7.08E-05	2.79E-05	5.49E-05	3.37E-06
	標準差	5.70E-03	1.48E-04	1.06E-05	1.39E-04	2.39E-04	8.57E-05	1.32E-04	9.17E-06
	95%	9.68E-03	2.40E-04	9.46E-06	1.89E-04	2.80E-04	1.05E-04	2.08E-04	1.34E-05
乙苯	平均	1.79E-03	4.43E-06	5.33E-09	2.77E-05	8.65E-05	8.84E-06	1.46E-05	1.34E-07
	標準差	2.32E-03	9.52E-06	5.33E-08	7.14E-05	2.12E-04	2.03E-05	2.69E-05	6.41E-07
	95%	5.72E-03	1.54E-05	1.67E-08	1.05E-04	3.43E-04	3.38E-05	4.90E-05	6.00E-07

項目	介質	空氣 mg/m ³	表面水 mg/L	地下水 mg/L	底泥 mg/kg	表面土壤 mg/kg	根區土壤 mg/kg	植物 mg/kg	滲流土壤 mg/kg
苯乙烯	平均	1.71E-04	1.62E-06	2.44E-10	3.75E-05	9.10E-05	1.12E-05	3.68E-06	5.68E-08
	標準差	1.73E-04	2.49E-06	2.10E-09	9.56E-05	2.12E-04	3.30E-05	5.49E-06	2.12E-07
	95%	4.71E-04	5.32E-06	8.29E-10	1.43E-04	3.76E-04	4.41E-05	1.24E-05	2.51E-07
異丙苯	平均	3.61E-03	4.73E-06	1.66E-10	6.07E-05	2.22E-04	1.56E-05	4.08E-05	3.08E-08
	標準差	1.18E-02	2.78E-05	2.71E-09	7.87E-04	8.41E-04	5.85E-05	1.29E-04	2.56E-07
	95%	1.35E-02	1.83E-05	2.17E-10	2.04E-04	8.87E-04	5.65E-05	1.60E-04	1.01E-07
異戊二烯	平均	4.06E-04	1.23E-07	1.22E-07	4.30E-07	1.85E-07	1.17E-07	2.48E-07	5.51E-08
	標準差	5.86E-04	2.23E-07	3.30E-07	2.03E-06	2.94E-07	1.93E-07	4.01E-07	9.24E-08
	95%	1.33E-03	4.35E-07	4.91E-07	1.54E-06	6.19E-07	4.03E-07	8.19E-07	1.93E-07
1,4-二氯 苯	平均	3.87E-03	3.10E-05	1.40E-07	5.05E-04	1.33E-03	4.51E-04	1.72E-04	1.04E-05
	標準差	6.26E-03	5.93E-05	6.61E-07	2.41E-03	4.21E-03	1.25E-03	3.29E-04	2.82E-05
	95%	1.33E-02	1.10E-04	5.44E-07	1.82E-03	5.18E-03	1.74E-03	6.17E-04	4.06E-05

表 32 台西鄉 CalTOX 模擬多介質中污染物濃度結果

項目	介質	空氣 mg/m ³	表面水 mg/L	地下水 mg/L	底泥 mg/kg	表面土壤 mg/kg	根區土壤 mg/kg	植物 mg/kg	滲流土壤 mg/kg
氯乙烯	平均	4.54E-03	3.43E-05	1.02E-05	8.00E-06	5.67E-06	5.24E-06	5.16E-06	1.59E-06
	標準差	8.54E-03	1.25E-04	3.31E-05	2.30E-05	2.27E-05	1.02E-05	1.01E-05	3.14E-06
	95%	1.66E-02	1.50E-04	3.99E-05	3.19E-05	2.09E-05	1.90E-05	1.89E-05	5.72E-06
1,3-丁二烯	平均	1.07E-03	3.69E-07	4.90E-07	3.16E-07	1.09E-06	3.36E-07	6.66E-07	1.53E-07
	標準差	1.24E-03	1.04E-06	6.17E-07	4.14E-07	2.50E-06	4.92E-07	8.54E-07	2.15E-07
	95%	3.12E-03	1.41E-06	1.50E-06	9.71E-07	4.20E-06	1.10E-06	2.07E-06	4.83E-07
1,2-二氯丙烷	平均	4.20E-03	2.76E-06	1.36E-04	7.88E-05	8.42E-05	5.11E-05	5.10E-05	8.09E-06
	標準差	9.22E-03	1.21E-05	4.78E-04	2.42E-04	3.27E-04	1.25E-04	1.23E-04	1.99E-05
	95%	1.53E-02	1.10E-05	5.41E-04	3.15E-04	2.98E-04	1.86E-04	1.86E-04	3.03E-05
苯	平均	4.26E-03	1.06E-06	6.93E-05	3.78E-05	2.70E-05	1.51E-05	2.35E-05	2.94E-06
	標準差	4.26E-03	1.06E-06	6.93E-05	1.08E-04	7.79E-05	2.95E-05	4.44E-05	6.06E-06
	95%	1.55E-02	4.00E-06	2.81E-04	1.53E-04	1.04E-04	5.67E-05	8.54E-05	1.12E-05
三氯乙烯	平均	8.40E-03	2.78E-06	1.39E-04	9.75E-05	6.58E-05	2.71E-05	3.62E-05	7.05E-06
	標準差	2.22E-02	4.72E-05	5.80E-04	3.60E-04	2.20E-04	7.80E-05	9.59E-05	1.74E-05
	95%	3.34E-02	9.08E-06	5.22E-04	3.87E-04	2.67E-04	1.07E-04	1.44E-04	2.90E-05
二氯甲烷	平均	3.04E-03	2.76E-05	2.70E-07	2.37E-05	5.00E-05	1.83E-05	3.11E-05	1.50E-06
	標準差	5.70E-03	6.00E-05	1.37E-06	9.21E-05	1.78E-04	5.73E-05	6.55E-05	3.57E-06
	95%	1.09E-02	1.03E-04	9.85E-07	8.83E-05	1.82E-04	7.11E-05	1.15E-04	6.07E-06
四氯乙烯	平均	1.45E-02	1.49E-06	3.06E-04	1.95E-04	1.26E-04	2.32E-05	4.09E-05	1.09E-05
	標準差	5.56E-02	1.16E-05	1.35E-03	7.89E-04	5.54E-04	7.75E-05	1.52E-04	4.14E-05
	95%	5.41E-02	4.66E-06	1.13E-03	7.28E-04	4.99E-04	8.84E-05	1.54E-04	4.16E-05
1,2-二溴乙烷	平均	1.26E-02	5.33E-04	5.34E-06	1.46E-03	1.47E-04	6.74E-05	5.57E-04	1.90E-05
	標準差	3.39E-02	1.98E-03	6.64E-05	7.41E-03	4.39E-04	2.09E-04	1.66E-03	6.10E-05
	95%	4.77E-02	1.92E-03	1.86E-05	5.26E-03	5.53E-04	2.63E-04	2.12E-03	7.58E-05
三氯甲烷	平均	1.10E-02	3.87E-06	2.92E-04	1.06E-04	1.54E-04	8.22E-05	8.52E-05	8.65E-06
	標準差	3.59E-02	2.76E-05	1.28E-03	4.34E-04	7.64E-04	2.86E-04	3.04E-04	1.02E-04
	95%	4.17E-02	1.33E-05	1.11E-03	3.98E-04	5.85E-04	3.19E-04	3.04E-04	1.02E-04
四氯化碳	平均	1.06E-02	1.68E-08	1.36E-04	7.03E-05	7.21E-05	1.34E-05	2.22E-05	2.12E-06
	標準差	2.62E-02	1.07E-07	5.57E-04	2.61E-04	3.84E-04	4.06E-05	6.53E-05	6.01E-06
	95%	4.08E-02	5.93E-08	5.35E-04	2.78E-04	2.58E-04	5.26E-05	8.79E-05	8.56E-06
1,2-二氯乙烷	中位數	3.42E-03	8.66E-05	3.29E-06	6.86E-05	1.01E-04	3.87E-05	7.39E-05	4.58E-06
	標準差	5.97E-03	1.62E-04	1.93E-05	1.75E-04	3.24E-04	9.67E-05	1.36E-04	1.08E-05
	95%	1.27E-02	3.16E-04	1.24E-05	2.56E-04	3.98E-04	1.48E-04	2.73E-04	1.80E-05
乙苯	平均	2.68E-03	7.62E-09	1.26E-04	1.26E-05	4.20E-05	6.63E-06	2.19E-05	2.12E-07
	標準差	3.73E-03	6.97E-08	3.07E-04	2.90E-05	1.22E-04	1.31E-05	3.91E-05	9.45E-07
	95%	8.97E-03	2.32E-08	4.99E-04	4.95E-05	1.57E-04	2.35E-05	7.59E-05	9.09E-07

項目	介質	空氣 mg/m ³	表面水 mg/L	地下水 mg/L	底泥 mg/kg	表面土壤 mg/kg	根區土壤 mg/kg	植物 mg/kg	滲流土壤 mg/kg
苯乙烯	平均	6.47E-04	8.25E-10	3.41E-04	4.11E-05	1.48E-04	5.93E-06	1.35E-05	2.16E-07
	標準差	1.53E-03	7.01E-09	1.60E-03	1.92E-04	6.21E-04	1.97E-05	4.06E-05	1.19E-06
	95%	2.39E-03	2.40E-09	1.33E-03	1.49E-04	5.83E-04	2.30E-05	5.26E-05	8.11E-07
異丙苯	平均	1.19E-02	6.18E-10	6.94E-04	4.93E-05	1.75E-04	1.59E-05	1.38E-04	9.70E-08
	標準差	3.67E-02	1.19E-08	2.61E-03	2.16E-04	8.68E-04	6.23E-05	5.26E-04	7.43E-07
	95%	4.66E-02	6.49E-10	2.77E-03	1.89E-04	6.76E-04	6.07E-05	5.50E-04	3.24E-07
異戊二烯	平均	1.65E-03	5.16E-07	7.39E-07	4.72E-07	1.72E-06	5.11E-07	1.00E-06	2.24E-07
	標準差	3.61E-03	2.73E-06	1.57E-06	1.10E-06	6.27E-06	1.26E-06	2.65E-06	5.69E-07
	95%	6.08E-03	1.96E-06	2.71E-06	1.75E-06	6.48E-06	1.96E-06	3.89E-06	8.37E-07
1,4-二氯苯	平均	4.27E-03	3.37E-05	1.73E-07	5.22E-04	1.46E-03	4.95E-04	1.92E-04	1.11E-05
	標準差	6.85E-03	6.17E-05	9.76E-07	1.73E-03	4.54E-03	1.73E-03	3.76E-04	2.96E-05
	95%	1.44E-02	1.16E-04	6.44E-07	2.15E-03	5.72E-03	1.90E-03	6.72E-04	4.31E-05

4.2.4 多介質暴露評估

根據污染物之多介質模擬濃度結果配合台灣民眾的暴露因子則可估算由不同暴露途徑下的總暴露劑量，**表 33** 是根據衛福部公告之台灣一般民眾暴露參數彙編所整理之台灣民眾之暴露因子，資料提供了各暴露因子的平均值與標準差，因此進行總暴露劑量估算時將其暴露因子以機率評估的方式進行估算，可納入一般民眾間暴露因子的差異性加以考量。**表 34** 為多介質暴露途徑模式模擬之總暴露劑量結果，以中位數和第 95 百分位數之總暴露劑量呈現，由結果顯示在同一鄉鎮的環境暴露條件下，暴露因子的差異會造成一般居民間總體暴露劑量有明顯差異。

表 33 台灣民眾之暴露因子

暴露因子	一般民眾	
	平均值	標準差
體重 (kg)	64.56	0.65
表面積 (m ² /kg)	0.022	0.66
活動呼吸率 (m ³ /kg-h)	0.0105	0.68
平時呼吸率(m ³ /kg-h)	0.0055	0.66
流體攝取量 (L/kg-d)	0.02374	0.61
水果蔬菜攝取量(kg/kg-d)	0.00676	3.97
糧食攝取量 (kg/kg-d)	0.0035	3.33
牛奶攝取量 (kg/kg-d)	0.00089	12.61
牛肉攝取量(kg/kg-d)	0.00185	5.52
蛋類攝取量 (kg/kg-d)	0.00042	10.02
魚肉攝取量 (kg/kg-d)	0.00079	6.03

資料來源：行政院衛生署-台灣一般民眾暴露參數彙編

表 34 雲林沿海地區經多介質暴露途徑模擬之總暴露劑量

	麥寮鄉總暴露劑量 mg/kg-day		台西鄉總暴露劑量 mg/kg-day	
	中位數	第 95 百分位數	中位數	第 95 百分位數
氯乙烯	2.57E-06	2.13E-04	9.29E-06	8.96E-04
1,3-丁二烯	2.28E-06	1.89E-04	3.06E-06	2.37E-04
1,2-二氯丙烷	5.91E-06	5.47E-04	8.62E-06	8.72E-04
苯	4.13E-06	2.98E-04	8.66E-06	8.62E-04
三氯乙烯	5.90E-06	6.09E-04	1.32E-05	1.50E-03
二氯甲烷	4.05E-06	3.81E-04	6.78E-06	6.68E-04
四氯乙烯	7.38E-06	8.31E-04	1.83E-05	2.18E-03
1,2-二溴乙烷	9.93E-06	9.78E-04	2.22E-05	2.44E-03
三氯甲烷	5.74E-06	6.79E-04	1.30E-05	1.78E-03
四氯化碳	4.64E-04	6.87E-04	1.62E-05	1.92E-03
1,2-二氯乙烷	4.91E-06	4.71E-04	8.19E-06	6.71E-04
乙苯	4.78E-06	3.87E-04	7.41E-06	5.99E-04
苯乙烯	5.84E-07	4.36E-05	1.06E-06	1.24E-04
異丙苯	3.79E-04	6.14E-04	1.44E-05	1.94E-03
異戊二烯	1.06E-06	9.26E-05	3.12E-06	3.51E-04
1,4-二氯苯	9.45E-06	7.50E-04	1.12E-05	8.65E-04

第五章 健康風險評估結果與不確定性

5.1 健康風險評估架構工作流程與方法

本計畫係延續 104 年沿海地區敏感族群健康風險評估計畫的健康風險評估之架構與精神，本計畫之健康風險評估架構包含四個主要步驟：危害物質鑑定(hazard identification)、劑量反應評估(dose response assessment)、暴露評估(exposure assessment)與風險特性化(risk characterization)。本計畫將以此工作流程進行離島工業區排放污染物的健康風險評估，流程如下圖 35 所示。



圖 35 健康風險評估工作流程圖

1.有害物質鑑定：有害物質鑑是在風險評估的第一步，確定特定的化學物質危害，並確定接觸該化學品是否有可能危害人體健康。危害物質鑑定的目的為建立有興趣的化學物質的特性，並確定此化學物質是否被國際組織認為是有危害性的，還有其危害程度為何，以篩選出後續要納入評估的目標物質。

前期計畫根據離島工業區工業製程資料比對光化測站之測項、另外還納入離島工業區放流水的分析項目以及離島工業區自行檢測道之化學物質項目以建構離島工業區可能排放之有害物質清單，化學物質共計 4 百餘種。本計畫延續其結果，將特殊性工業區監測物種與監測資料整合，共篩選出 16 種離島工業區屬於 IARC 第一級、2A 及 2B 級致癌性物質為優先鑑定之評估項目，包含的評估項目有：氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、苯、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、1,2-二溴

乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、乙苯、苯乙烯、異丙苯、異戊二烯、1,4-二氯苯。本計畫彙整過去相關研究報告與 TOXNET (Toxicology Data Network)、IRIS (Integrated Risk Information System)、US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 及 HSDB (Hazardous Substances Data Bank)等毒理資料庫，建構沿海地區風險評估資料庫以達成有害物質鑑定之工作。

2. 劑量反應關係評估：如同前期計畫的執行步驟，蒐集毒理資料庫相關之安全係數，若缺乏數據則以基準劑量軟體估算之。在進行完有害物鑑定的過程之後，將根據有害物質鑑定率定的毒理資料庫清單、雲林縣石化監測車資料及 IARC 的分類做對照，可得 IARC 的一級、2A 級及 2B 級目前可評估之致癌性物質，評估項目有氯乙烯、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、苯、三氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、1,2-二溴乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、乙苯、苯乙烯、異丙苯、異戊二烯、1,4-二氯苯共計 16 項，以進一步回顧及整理指標污染物之流行病學與毒理研究內容與結果。

在毒理的研究中，若有人體的劑量-反應數據則以該數據為主，若只有動物實驗之數據，在考慮過此效應可能出現人體之生物上的合理性，亦即考慮此效應之 MOA (Mode of Action) 後，我們則得以假設人類為最敏感之族群，也就是在動物體身上出現的不良效應，在人類身上也會發生。而此不良效應包括：急性與慢性的影響 (Acute and Chronic effects)、局部性與系統性的影響 (local and systemic effects) 與可逆與不可逆的影響 (reversible and irreversible effects)。根據劑量與反應的關係中，可以找出各有害物對於人體或動物體之最敏感效應 (The most sensitive endpoint)，此組數據計算推估後得以得到致癌斜率 (Cancer Slope Factor, CSF) 或是單位風險度 (Inhalation Unit Risk, IUR)、非致癌風險評估所需之參考劑量 (Reference dose or Reference concentration, RfD or RfC) 之運算。由於本計畫優先評估的污染物為 IARC 列為致癌物，因此可透過現有的毒理資料庫如 TOXNET、IRIS、US EPA 等資料庫內容，收集明確的致癌風險評估所需之相關研究參數與成果，用於本計畫後續的風險評估計算。

3. 暴露評估：本計畫以有害空氣污染物如已有致癌斜率及非致癌風險評估所需之參考劑量等研究成果者為主。因此本計畫收集由離島工業區廠區之煙囪所排放的污染物，其排放至空氣中的擴散情形，再以多介質模式模擬推估污染物進入各個介質 (如空氣、水、土壤、魚、蔬菜) 之可能殘存量。首先，須先調查離島工業區廠

區排放至大氣中的 VOCs 排放量。其排放量推估將由大氣擴散模式及多介質模式的傳輸模擬。本套分析系統係透過不同介質如空氣、地下水、土壤之層次，以台灣地區之實際暴露條件與狀況，模擬出合理且符合雲林沿海離島工業區特性之暴露濃度分布狀況。

本計畫暴露濃度推估係使用 CMAQ 經質量平衡法修正排放量後推估之空氣暴露濃度。也就是說，利用質量平衡法以迴歸模型結合觀測值與原 CMAQ 模擬所得之空氣暴露濃度與排放源敏感度以估算排放量的修正，進而重新代入排放源敏感度與修正後之排放量反推模擬期間於研究範圍內之空氣暴露濃度時空分布。多介質傳輸模式在以此污染物濃度的時空分布用估算不同介質中的暴露濃度，最後以雲林沿海地區當地居民的暴露因子以多暴露途徑的假設情境下估算雲林沿海地區當地居民的暴露劑量。

4.風險特性化：風險評估的最後一個步驟是風險特性化，係整合危害物鑑定、劑量反應關係以及暴露評估步驟的特性，對個人和群體的所承擔的風險和可能的危害程度及嚴重性方面做描述與說明。在該步驟中，會將估計出的暴露值(LADD, 平均每日攝入量)結合毒性參數如 RfD、參考劑量、斜率因子等來預測致癌和非致癌的影響，並提供影響的機率和嚴重程度的相關信息。以下將針對風險特性化步驟、分類與方法加以詳細論述。

5.2 風險特性化的方法與探討

當 VOCs 被釋放於環境後，人們便有暴露其中的可能，因而產生健康風險。我們可以將風險分成慢性與急性兩個部分來考量。以慢性的部份來說，評估慢性風險時是以終生暴露的情形來評估其在此環境下產生的風險。從居民長期居住的生活方式來看，慢性風險應較符合當地居民的風險型態。而急性則是評估在一段時間內暴露於此濃度的化學物質產生不良影響的風險，舉例來說，在某些特殊條件下造成工業區的排放濃度可能明顯提高，而這樣的提高是否會有對居民造成不良的影響，這也是本計畫需要去正視的問題。

劑量反應關係評估中，化學物質之急性暴露與慢性暴露情境，在暴露劑量與健康不良效應都有不同之定義。慢性暴露毒理資料乃利用網路資訊檢索如 TOXNET, IRIS, IARC, GENETOX 等資料庫收集致癌物質風險評估估算時所需之致癌斜率 (Slope factor, SF)以及非致癌物質風險評估所需之參考劑量(Reference dose, RfD)等

相關研究資料；急性暴露之參考劑量則參考 US EPA 針對空氣污染物相關的健康風險的劑量反應評估建議之急性劑量反應值蒐集了 ATSDR、California EPA、US DOE 等各單位評估且制定之急性劑量反應值，本計畫選用於量化評估健康險之安全劑量如下表 35 所示，相關毒性參數於下表 36 所示。

表 35 慢性與急性之安全劑量

VOCs	Chronic				Acute	
	RfD (mg/kg-day)	Inh. Unit Risk (per $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CSF(Oral) (per mg/kg-day)	RfC (mg/m ³)	Safety Level (mg/m ³)	
Vinyl chloride	3 E-03	4.4x10 ⁻⁶	7.2 x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	1.3	MRL
1,3-butadiene	-	3x10 ⁻⁵	-	2x10 ⁻³	0.66	REL
1,2-Dichloropropane	-	1.40E-06	-	4x10 ⁻³	0.23	MRL
benzene	4.0 x10 ⁻³	2.2x10 ⁻⁶	1.5 x10 ⁻²	3x10 ⁻²	0.027	REL
Trichloroethylene	5 x10 ⁻⁴	4.1x10 ⁻⁶	4.6 x10 ⁻²	2x10 ⁻³	700	AEGL-1 (8-h)
Dichloromethane	6 x10 ⁻³	1x10 ⁻⁸	2x10 ⁻³	6x10 ⁻¹	2.1	MRL
Tetrachloroethylene	6 x10 ⁻³	2.6x10 ⁻⁷	2.1 x10 ⁻³	4x10 ⁻²	0.041	MRL
1,2-Dibromoethane	9 x10 ⁻³	6x10 ⁻⁴	2	9x10 ⁻³	35	AEGL-1 (8-h)
chloroform	1 x10 ⁻²	2.3x10 ⁻⁵	1 x10 ⁻²	-	0.15	REL
Tetrachloromethane	4 x10 ⁻³	6x10 ⁻⁶	7 x10 ⁻²	1x10 ⁻¹	1.9	REL
1,2-Dichloroethane	0.006	2.6x10 ⁻⁵	9.1 x10 ⁻²	0.007	200	ERPG-1
Ethylbenzene	1 x10 ⁻¹	2.52E-06	-	1	22	MRL
Styrene	2 x10 ⁻¹	4.26E-05	-	1	21	MRL
Cumene	1 x10 ⁻¹	2.85E-06	-	4x10 ⁻¹	250	AEGL-1 (8-h)
Isoprene	0.06	1.60E-06	-	18	--	RfC
1,4-Dichlorobenzene	-	2.27E-06	-	0.8	12	MRL

表 36 16 種污染物之毒性參數

VOCs	Unit Risk	End point	出處
Vinyl chloride	4.4x10 ⁻⁶ (Continuous lifetime exposure during adulthood) per $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 8.8 x10 ⁻⁶ (Continuous lifetime exposure from birth) per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hepatic; Liver angiosarcomas, angiomas, hepatomas, and neoplastic nodules (Maltoni et al. (1981, 1984))	IRIS
1,3-Butadiene	3x10 ⁻⁵ per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hematologic; Leukemia (Health Canada, 1998; U.S. EPA, 2002)	IRIS
1,2-Dichloropropane	1.47736931721915E-06 per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lung Cancer (Matsumoto et al. 2013)	IRIS
Benzene	2.2x10 ⁻⁶ to 7.8x10 ⁻⁶ per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hematologic; Leukemia (Rinsky et al., 1981, 1987 Paustenbach et al., 1993)	IRIS

		Crump and Allen, 1984 Crump, 1992, 1994 U.S. EPA, 1998)	
Trichloroethylene	4.1×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hematologic, Hepatic, Urinary; Renal cell carcinoma, non-Hodgkin's lymphoma, and liver tumors (Charbotel et al. 2006 EPA, 2011 Raaschou- Nielsen et al., 2003)	IRIS
Methylene chloride	1×10^{-8} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hepatic, Respiratory; Hepatocellular carcinomas or adenomas, bronchoalveolar carcinomas or adenomas (Mennear et al. (1988), NTP (1986))	IRIS
Tetrachloroethylene	2.6×10^{-7} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hepatic; Hepatocellular adenomas or carcinomas (JISA, 1993)	IRIS
1,2-Dibromoethane	6×10^{-4} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (95% upper bound) ; 3×10^{-4} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (central tendency estimate)	Reproductive, Other, Respiratory; Nasal cavity (includes adenoma, adenocarcinoma, papillary adenoma, squamous cell carcinoma, and or/papilloma), hemangiosarcomas, mesotheliomas (NTP, 1982)	IRIS
Chloroform	2.3×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hepatic; Hepatocellular carcinoma (NCI, 1976)	IRIS
Carbon tetrachloride	6×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Endocrine; Pheochromocytoma (Nagano et al. 2007b, JBRC 1998)	IRIS

1,2-Dichloroethane	2.6x10 ⁻⁵ *per µg/m ³	Hemangiosarcomas (NCI, 1978)	IRIS
Ethylbenzene	2.52728851681532E-06per µg/m ³ (和 RAIS 一樣)	Lung adenomas/adenocarcinomas (Chan et al., 1998)	IRIS
Styrene	0.000042644771116116per µg/m ³ (景丰無值)	Mammary tumors(Conti et al. 1988)	IRIS
Cumene	2.85166765762048E-06per µg/m ³ (景丰無值)	Lung Cancer (NTP 2009)	IRIS
Isoprene(1,3-Butadiene)	1.59620311802796E-06per µg/m ³ (景丰無值)	Harderian gland Placke et al. (1996) and Cox et al. (1996)	IRIS
1,4-Dichlorobenzene (p)	0.0000022741048284728per µg/m ³ (CalEPA: 1.1E-05 per µg/m ³)	Hepatocellular tumours(NTP 1987)	IRIS

5.2.1 暴露劑量推估

而評估慢性以及急性的做法主要不同的地方在於暴露計算上的差別，暴露評估中最重要工作為暴露劑量推估。以下以吸入為例，分別推算慢性低濃度暴露時之終生平均每日暴露劑量(Life-time Average Daily Dose, LADD)與急性高濃度暴露時之平均每日暴露劑量。其中，慢性低濃度的終生平均每日暴露劑量以估算吸收劑量為主，急性高濃度的平均每日暴露劑量則以評估區域(台西與麥寮)最高模擬濃度之每小時平均濃度進行計算，且以空氣之暴露濃度為主。急性與慢性暴露評估分別的計算方式如下：

(一) 慢性低濃度暴露之吸入途徑之暴露劑量

暴露族群經由吸入途徑暴露危害性化學物質之終生平均每日暴露劑量，可依下列公式計算之：

$$LADD = \frac{C_{tw} \times IR_{inhalation} \times AF_{inhalation}}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

LADD_{inhalation}：吸入途徑之終生平均每日暴露劑量(mg/kg/day)

C_{tw}：周界大氣中危害性化學物質之時量平均濃度 (mg/m³)

IR_{inhalation}：每日呼吸量，單位：Nm³/day

AF_{inhalation}：吸入途徑之危害性化學物質吸收分率（%），若以潛在劑量 (Potential Dose)計算，則 $AF = 1$

BW：人體平均體重 (kg)

ED：人體平均暴露時間

AT：暴露發生的平均時間

（二）急性高濃度暴露之吸入途徑之暴露劑量

暴露族群經由吸入途徑暴露危害性化學物質之平均每日暴露劑量可依下列公式計算之：

$$ADD_{inhalation} = \frac{C_{tw} \times IR_{inhalation} \times AF_{inhalation}}{BW \times AT}$$

ADD_{inhalation}：吸入途徑之平均每日暴露劑量(mg/kg/day)

C_{tw}：周界大氣中危害性化學物質之時量平均濃度 (mg/m³)

IR_{inhalation}：每日呼吸量，單位：Nm³/day

AF_{inhalation}：吸入途徑之危害性化學物質吸收分率（%），若以潛在劑量 (Potential Dose)計算，則 $AF = 1$

BW：人體平均體重 (kg)

ED：人體平均暴露時間

AT：暴露發生的平均時間

由兩者的差異可以看出急性以及慢性做法的不同主要在於暴露期間的估算，而慢性與急性所使用的時量暴露濃度亦有不同，慢性為年平均濃度，急性為日平均濃度，針對不同物質亦會考量食入、吸入、皮膚吸收等不同暴露方式，以求能夠較全面的估算其在急性以及慢性暴露下的風險。

5.2.2 慢性健康風險

慢性健康風險可分為致癌與非致癌兩種類型，相對應的估算方式如下：

1. 致癌風險：估計終生平均日暴露劑量並計算風險值，並結合蒙地卡羅之不確定性分析，其計算方式如下：

致癌風險 $\text{Risk} = \text{LADD} \times \text{Slope Factor}$

Slope Factor：致癌斜率(mg/kg/day)-1

LADD 為終生平均日暴露劑量：

$$\frac{C \times IR \times EDAF}{BW \times AT}$$

C：由時空分布模擬結果污染濃度平均值 (mg/m^3)

IR：成人每日呼吸速率 (m^3/day)

EDAF：暴露期間(年)人體對污染物之吸收率(%)

BW：評估目標受體之平均體重 (kg)

AT：平均暴露時間(年)，假設終生暴露時間 70 年

2. 非致癌風險

各化學物質造成的非致癌影響是利用在一特定時期內每日攝入該化學品的量與參考劑量做比較。這種比較的結果以危害指標(Hazard Index, HI)表示之，危害指標以 1 為安全值其計算方式如下：

其中 Conc. 為空氣中濃度、RfD 為參考劑量、RfC 為參考濃度。

5.2.3 急性健康風險

劑量反應關係評估中，化學物質之急性暴露與慢性暴露情境，在暴露劑量與健康不良效應都有不同之定義，US EPA 用於評估與暴露於危險空氣污染物相關的健康風險的劑量反應評估建議之急性劑量反應值蒐集了 ATSDR、California EPA、US DOE 等各單位評估且制定之急性劑量反應值，本計畫選取各單位急性劑量反應值的最小值來做為 16 項污染物之急性劑量反應值，如下表 37 所示

表 37 各單位急性劑量反應值的最小值

項目	急性劑量反應值(ppb)	來源
氯乙烯	4.08E+02	MRL
1,3-丁二烯	2.99E+02	REL

1,2-二氯丙烷	4.99E+01	MRL
苯	1.06E+01	REL
三氯乙烯	7.64E+04	AEGL-1 (8-h)
二氯甲烷	6.06E+02	MRL
四氯乙烯	6.06E+00	MRL
1,2-二溴乙烷	4.56E+03	AEGL-1 (8-h)
三氯甲烷	3.08E+01	REL
四氯化碳	3.03E+02	REL
1,2-二氯乙烷	4.95E+04	ERPG-1
乙苯	5.08E+03	MRL
苯乙烯	4.94E+03	MRL
異丙苯	5.10E+04	AEGL-1 (8-h)
異戊二烯	6.47E+03	RfC
1,4-二氯苯	2.00E+03	MRL

急性暴露的健康效應通常為非致癌之健康不良效應，且由單一暴露途徑所造成，因此急性暴露情境是依空氣污染物之呼吸暴露途徑下，對於沿海地區居民所造成之急性健康危害，風險指標以為短期危害指標(Short-Term Hazard Index, HIst)表示之，其計算方式如下

$$HIst = \frac{Conc_{day}}{MRL} = \frac{Conc_{1hour} \text{ or } Conc_{8hour}}{REL \text{ or } AEGL \text{ or } ERPG}$$

其中

MRL = ATSDR minumum risk levels for no adverse effects for 1 to 14-day exposures(ppb).

REL = California EPA reference exposure level for no adverse effects(ppb)

AEGL = Acute exposure guideline levels for mild effects (AEGL-1) for 8-hour exposures. (ppb)

ERPG = US DOE Emergency Removal Program guidelines for mild or transient effects (ERPG-1) for 1-hour exposures. (ppb)

Concday = 最大空氣濃度之日平均濃度(ppb)

Conc1hour = 每小時最大空氣濃度(ppb)

Conc8hour = 最大空氣濃度之 8 小時平均濃度(ppb)

5.2.4 敏感族群健康風險

本計畫之敏感族群以許厝分校之學童為對象，以苯與氯乙烯 2 項空氣污染物作為評估項目，探討於許厝分校學童就讀於許厝分校或橋頭國小的情境下健康風險之差異。本計畫以電話詢問的方式調查學童在校作息與暴露途徑之差異(如附錄：許厝分校學童在校作息調查、橋頭國小學童在校作息調查)，學童於許厝分校與橋頭國小在校作息並無差異，因此僅以空氣濃度作為具差異性之污染物暴露源，且以學童在校期間(上午 7 時至下午 5 時)之每小時模擬濃度做為評估之空氣濃度。針對敏感族群的量化健康風險分別評估慢性致癌風險、慢性非致癌風險和急性非致癌風險其計算方式如下：

(1) 敏感族群慢性致癌風險

參考 US EPA 公告針對早期暴露致癌物的易感性評估之補充指南(Supplemental Guidance for Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens, 2005)，文中建議具致突變性作用機制之致癌物需考量早期暴露時的易感性差異。依年齡可將人類暴露致癌物分為 3 個不同易感性時期，第一易感暴露期是從出生至 2 歲前，期程共 2 年；第二易感暴露期是 2 歲至 16 歲前，期程共 14 年；第三易感暴露期是 16 歲以後，若以終生 70 來估算期程共 55 年；對於不同的易感暴露期會有不同之年齡校正係數(age dependent adjustments factor, ADAF)，第一易感暴露期為 10、第二易感暴露期為 3、第三易感暴露期為 1(無調整)，故計算慢性致癌風險時計算公式如下：

(2) 慢性致癌風險

$$Risk = \sum_i C_i \times Unit\ risk \times ADAF_j \times ED_j \div AT$$

其中 C_i 為暴露濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Unit risk 為污染物之單位風險($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹

ADAF_j 為第 j 易感暴露期之年齡校正係數

ED_j 為第 j 易感暴露期之暴露期間(年)

AT 為終生壽命(年)

上述公式可依不同暴露情境下之暴露參數估算對應之慢性致癌風險。

(3) 敏感族群慢性與急性非致癌風險

敏感族群非致癌風險計算方式與一般族群類似，差異在於敏感族群的暴露情境是針對學童在學校期間之暴露濃度，因次需特別考量上午 7 時至下午 5 時之空氣濃度，故敏感族群慢性之危害指標(HI)與急性之短期危害指標(HIst)計算公式如下：

$$HI = \frac{\overline{Conc_{day}}}{RfC} \quad \text{和} \quad HIst = \frac{\overline{Conc_{day}}}{MRL} = \frac{\overline{Conc_{1hour}}}{REL}$$

其中

RfC = Reference Concentration

MRL = ATSDR minimum risk levels for no adverse effects for 1 to 14-day exposures.

REL = California EPA reference exposure level for no adverse effects

$\overline{Conc_{day}}$ = 在學校期間空氣濃度之日平均濃度(ppb)

$\overline{Conc_{1hour}}$ = 在學校期間每小時最大空氣濃度(ppb)

5.3 沿海地區健康風險評估結果

5.3.1 慢性健康風險評估結果

慢性健康風險評估分為致癌風險與非致癌 2 類健康效應，本計畫根據劑量反應關係評估和多介質暴露評估的結果估算的 16 種化學物質的致癌風險與非致癌風險，風險結果區分麥寮鄉與台西鄉是根據多介質模式模擬時除了納入 2 行政區不同位置下之地理參數之差異，還可考量污染物空氣濃度之模擬結果分別於麥寮鄉

與台西鄉中最大濃度之地理位置。其次健康風險以機率分析之方法進行評估，由於暴露參數之機率分布，因此其評估結果以推估風險之中位數與第 95 百分位數呈現健康風險的分布特性，致癌風險與非致癌風險的中位數來代表沿海地區居民暴露空氣污染物於慢性暴露情境下健康風險分布之中間值，致癌風險與非致癌風險的第 95 百分位數代表沿海地區居民暴露空氣污染物於慢性暴露情境下之健康風險分布之極端上限值。健康風險評估結果如表 38 和表 39 所示。

表 38 雲林沿海地區之致癌風險

	麥寮鄉致癌風險		台西鄉致癌風險	
	中位數	第 95 百分位數	中位數	第 95 百分位數
氯乙烯	7.84E-09	6.50E-07	2.70E-08	2.87E-06
1,3-丁二烯	3.10E-08	3.30E-06	4.13E-08	4.40E-06
1,2-二氯丙烷	3.89E-09	4.63741E-07	6.06E-09	7.57E-07
苯	8.90E-09	8.38E-07	1.86E-08	2.58E-06
三氯乙烯	1.17E-08	1.39E-06	2.61E-08	3.58E-06
二氯甲烷	2.71E-11	2.65E-09	4.09E-11	4.20E-09
四氯乙烯	9.13E-10	1.17E-07	2.24E-09	3.53E-07
1,2-二溴乙烷	2.79E-06	3.36E-04	3.02E-06	4.13E-04
三氯甲烷	6.08E-08	8.81E-06	1.45E-07	2.22E-05
四氯化碳	2.13E-08	2.35E-06	4.59E-08	6.58E-06
1,2-二氯乙烷	5.84E-08	6.67E-06	9.47E-08	1.08E-05
乙苯	5.56E-09	5.86E-07	8.56E-09	9.16E-07
苯乙烯	1.20E-08	1.11E-06	2.10E-08	2.89E-06
異丙苯	8.08E-09	1.03E-06	1.97E-08	3.05E-06
異戊二烯	7.70E-10	8.12E-08	2.34E-09	3.41E-07
1,4-二氯苯	9.76E-09	1.02E-06	1.21E-08	1.30E-06

非致癌風險的危害指標(HI)以 1 為健康安全的限值，由評估結果顯示 16 項化學物質在麥寮鄉與台西鄉之 HI(中位數)均未超過 1，但三氯乙烯之 HI(第 95 百分位數)在麥寮鄉與台西鄉分別 1.07 與 2.66 均高於可接受之非致癌風險。除了三氯

乙烯之 HI(第 95 百分位數) 在麥寮鄉與台西鄉分別 1.07 與 2.66 是評估的 16 項物質中具有最高非致癌風險的項目，其次分別為台西鄉之 1,2-二溴乙烷之 HI(第 95 百分位數)為 0.94 與 1,2-二氯丙烷之 HI(第 95 百分位數) 為 0.76 是需要關心的化學物質。因此以機率分析的評估方式可說明其非致癌風險結果如下：麥寮鄉與台西鄉的民眾處於一般暴露情境時，其 16 項單一化學物質所造成個別與總和之非致癌風險均可忽略；但若發生三氯乙烯之空氣濃度較高於平均值之暴露情境時，則需注意其空氣濃度可能會造成非致癌之健康危害，除此之外高空氣濃度之暴露情境在台西鄉額外須要關注的項目有 1,2-二溴乙烷與 1,2-二氯丙烷。

表 39 雲林沿海地區之非致癌風險

	麥寮鄉 HI		台西鄉 HI	
	中位數	第 95 百分位數	中位數	第 95 百分位數
氯乙烯	2.30E-04	1.55E-02	4.50E-03	3.71E-01
1,3-丁二烯	1.10E-03	9.40E-02	1.52E-03	1.19E-01
1,2-二氯丙烷	5.08E-03	4.82E-01	7.40E-03	7.68E-01
苯	4.74E-04	3.48E-02	1.01E-03	1.01E-01
三氯乙烯	1.02E-02	1.07E+00	2.28E-02	2.66E+00
二氯甲烷	2.71E-05	2.27E-03	4.43E-05	3.91E-03
四氯乙烯	6.50E-04	7.30E-02	1.61E-03	1.92E-01
1,2-二溴乙烷	3.56E-03	3.78E-01	8.15E-03	9.40E-01
三氯甲烷	5.65E-04	6.79E-02	1.28E-03	1.78E-01
四氯化碳	2.72E-04	2.55E-02	5.73E-04	6.75E-02
1,2-二氯乙烷	6.77E-04	6.73E-02	3.93E-03	3.35E-01
乙苯	1.67E-05	1.36E-03	2.59E-05	2.09E-03
苯乙烯	2.93E-05	3.42E-04	3.86E-06	4.03E-04
異丙苯	5.06E-05	5.37E-03	1.25E-04	1.70E-02
異戊二烯	2.04E-07	1.77E-05	6.04E-07	6.82E-05
1,4-二氯苯	3.88E-05	3.33E-03	4.77E-05	4.19E-03
總和	0.02	2.32	0.05	5.75

5.3.2 急性健康風險評估結果

急性非致癌風險由於空氣污染物之急性安全濃度對應之暴露時間依資料來源各有不同，分別有 MRL 對應最大日平均暴露濃度；REL 對應最大之一小時平均暴露濃度；AGRE 對應最大之八小時平均暴露濃度；ERPG 對應最大之一小時平均暴露濃度。評估結果區分為麥寮鄉與台西鄉兩區域，且分別以麥寮鄉與台西鄉兩區域之最大時平均濃度除以空氣污染物之急性安全濃度即為短期危害指標(HIst)，評估結果如下表 40 所示。

表 40 雲林沿海地區之急性非致癌風險

	麥寮鄉		台西鄉	
	最高濃度	HIst	最高濃度	HIst
氯乙烯	59.67	1.50E-01	62.06	1.50E-01
1,3-丁二烯	50.81	1.70E-01	52.79	1.80E-01
1,2-二氯丙烷	42	8.40E-01	60.99	1.20E+00
苯	70.41	6.70E+00	88.34	8.30E+00
三氯乙烯	89.93	1.20E-03	92.37	1.20E-03
二氯甲烷	15.6	2.60E-02	24.71	4.10E-02
四氯乙烯	23.62	3.90E+00	23.29	3.80E+00
1,2-二溴乙烷	28.34	6.20E-03	31.68	6.90E-03
三氯甲烷	137.7	4.50E+00	140.2	4.60E+00
四氯化碳	28.2	9.30E-02	28.2	9.30E-02
1,2-二氯乙烷	39.88	8.10E-04	39.8	8.00E-04
乙苯	58.53	1.20E-02	57.97	1.10E-02
苯乙烯	2.45	5.00E-04	11.91	2.40E-03
異丙苯	6.2	1.20E-04	12.25	2.40E-04
1,4-二氯苯	5.63	8.70E-04	16.19	2.50E-03
總和	28.04	1.40E-02	26.07	1.30E-02

5.3.3 敏感族群健康風險評估結果

本計畫評估對象是針對年齡從 6 歲至 12 歲的國小學童，此敏感族群屬於第二易感暴露期，其中評估參數有暴露期間為 6 年，終生壽命假設為 70 年，ADAF 為

1(因為苯與氯乙烯並非具致突變性作用機制之致癌物，因此不適用於早期暴露之年齡校正係數，故以 1 作為無調整之設定)，苯與氯乙烯之吸入單位風險分別為 7.8×10^{-6} 和 $8.8 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ，模擬之結果如下表 41 所示。本計畫以離島工業區週邊鄰近學校(許厝分校與橋頭國小)地理位置差異探討敏感族群對於暴露特定空氣污染物(苯與氯乙烯)所造成健康風險差異。根據模擬結果苯於許厝分校與橋頭國小之平均濃度為 0.297 和 0.292 ppb，氯乙烯則是許厝分校與橋頭國小之平均濃度為 1.221 和 1.244 ppb，健康風險結果如下表所示。

表 41 雲林沿海地區之敏感族群之健康風險

		橋頭國小		許厝分校	
		平均值	第 95 百分位數	平均值	第 95 百分位數
致癌風險	氯乙烯	3.00E-06	5.19E-06	2.92E-06	5.11E-06
	苯	4.99E-07	7.26E-07	5.07E-07	7.43E-07
HI	氯乙烯	1.59E-02	2.76E-02	1.55E-02	2.70E-02
	苯	9.94E-03	1.45E-02	1.01E-02	1.47E-02
		最高濃度	HIst	最高濃度	HIst
HIst	氯乙烯	52.7	0.1	46.9	0.1
	苯	66	6.2	32	3

以雙樣本平均數差異 t 檢定(2-Sample t Test)比較許厝分校與橋頭國小空氣中苯與氯乙烯之模擬濃度之成對樣本差異，其結果如下表 42 所示。P-Value 分別 0.253 和 0.526，代表許厝分校與橋頭國小兩地之暴露濃度於統計上並無顯著差異。故本年度模擬之空氣濃度結果下評估 2 校學童暴露苯與氯乙烯的致癌風險、HI 和 HIst 等健康風險評估結果亦無顯著差異。

表 42 敏感族群之暴露濃度差異檢定表

項目	苯		氯乙烯	
	許厝分校	橋頭國小	許厝分校	橋頭國小
濃度平均值 (ppb)	0.297	0.292	1.22	1.24

濃度標準差 (ppb)	0.19	0.186	1.52	1.54
2-Sample t Test				
Estimate for difference (ppb)	0.00506		-0.0229	
95% CI for difference (ppb)	(-0.00361, 0.01373)		(-0.0937, 0.0479)	
T-Value	1.14		-0.63	
P-Value	0.253		0.526	
DF	7,217		7,188	

5.3.4 健康風險評估結果綜合討論

由表 43 和表 44 可比較本次計畫與過去報告評估沿海地區之致癌風險之差異，本年度評估方法與 104 年計畫與景丰計畫的健康風險結果差異在於排放量估算、空氣濃度模擬與多介質模式等 3 項不同方法，其差異如下逐項說明：

排放量推估：景丰計畫是根據離島工業區中製程之排放係數與其運作量的參數推估排放量，本年度計畫與 104 年計畫則是根據離島工業區周邊之監測濃度以資料同化的方式推估排放量，104 年計畫應用於資料同化之數據為台西光化測站與雲林縣環保局環境監測車之監測資料，本年度計畫除了應用 104 年計畫所使用之資料外還額外納入特殊性工業區監測資料之地理資訊與連續測項濃度結果。因此景丰計畫使用之排放量可代表離島工業區中製程單元之排放量，而本年度計畫與 104 年計畫推估之排放量可反應出操作製程單元之排放量及包含運作中意外泄露之排放量，且本年度新增之特殊性工業區監測資料增加了空氣污染物之時間濃度分布可用於降低推估排放量之不確定性。

空氣濃度模擬：景丰計畫根據離島工業區中製程推估排放量參數並製程排放參數以空氣擴散模式模擬所得到之污染物空氣濃度可代表離島工業區造成沿海地區之空氣污染物增量濃度。104 年計畫以推估之排放量用於 AERMOD 空氣擴散模式模擬離島工業區可能排放至沿海地區空氣污染物之增量濃度，本年度計畫則著重於污染物之於空氣傳輸之光化學反應特性以 CMAQ 模擬 2014 年的逐時空氣濃

度結果，其模擬結果符合監測資料可代表沿海地區空氣污染物之增量濃度，可用於評估慢性與急性不同暴露情境下暴露濃度。

多介質模式：景丰計畫使用 The Air Toxic Hot Spots Program Risk Assessment Guideline Manual for Preparation of Health Risk Assessment 多介質模式，其中多介質傳輸是以空氣濃度為主要污染物傳輸介質以污染物之空氣沉降作用來推估土壤、水、蔬菜、動物等介質濃度；本年度計畫與 104 年計畫則是以 CalTOX 多介質模式進行模擬，考量污染物之物化特性與評估地點之地理參數以逸能平衡模擬污染物於空氣、土壤、表面水、地下水、植物等介質之平衡濃度。

表 43 麥寮鄉致癌風險比較表

麥寮鄉	中位數			95%信賴區間上限		
	景丰	104 年	106 年(本期)	景丰	104 年	106 年(本期)
氯乙烯	7.8E-08	2.4E-08	7.8E-09	1.1E-06	3.1E-06	6.5E-07
1,3 -丁二烯	3.4E-07	4.6E-08	3.1E-08	2.1E-06	8.5E-06	3.3E-06
1,2 -二氯丙烷		4.2E-09	3.9E-09		7.7E-07	4.6E-07
苯	1.7E-07	3.0E-08	8.9E-09	1.2E-06	6.4E-06	8.4E-07
三氯乙烯		8.3E-08	1.2E-08		1.4E-05	1.4E-06
二氯甲烷	2.7E-10	6.2E-11	2.7E-11	4.5E-09	1.0E-08	2.7E-09
四氯乙烯	1.4E-10	1.9E-09	9.1E-10	1.4E-09	3.9E-07	1.2E-07
1,2 -二溴乙烷		1.7E-06	2.8E-06		4.6E-04	3.4E-04
三氯甲烷		5.3E-07	6.1E-08		9.4E-05	8.8E-06
四氯化碳		8.6E-08	2.1E-08		1.4E-05	2.4E-06
乙苯	6.3E-08	3.6E-09	5.6E-09	4.4E-07	6.2E-07	5.9E-07
苯乙烯	1.9E-09	9.0E-08	1.2E-08	1.3E-08	1.6E-05	1.1E-06
異丙苯		3.8E-09	8.1E-09		7.4E-07	1.0E-06
異戊二烯	4.8E-10	3.7E-09	7.7E-10	5.3E-09	7.1E-07	8.1E-08
1,4 -二氯苯		8.8E-09	9.8E-09		1.6E-06	1.0E-06

資料來源：景丰：104 年度六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫(景丰科技股份有限公司)

104 年：104 年度沿海地區健康風險評估計畫(雲林縣環境保護局)

表 44 台西鄉致癌風險比較表

台西鄉	中位數			95%信賴區間上限		
	景丰	104 年	106 年(本期)	景丰	104 年	106 年(本期)
氯乙烯	3.2E-07	6.3E-09	2.7E-08	7.6E-07	8.6E-07	2.9E-06
1,3-丁二烯	1.1E-06	4.9E-12	4.1E-08	5.4E-06	7.8E-06	4.4E-06
1,2-二氯丙烷		5.2E-13	6.1E-09		3.3E-07	7.6E-07
苯	6.7E-07	5.3E-12	1.9E-08	2.8E-06	6.7E-06	2.6E-06
三氯乙烯		7.5E-12	2.6E-08		1.9E-05	3.6E-06
二氯甲烷	8.9E-10	2.1E-14	4.1E-11	1.8E-09	2.6E-09	4.2E-09
四氯乙烯	6.0E-10	5.8E-13	2.2E-09	1.7E-09	1.6E-07	3.5E-07
1,2-二溴乙烷		2.7E-06	3.0E-06		4.9E-05	4.1E-04
三氯甲烷		5.4E-11	1.5E-07		1.4E-04	2.2E-05
四氯化碳		7.0E-12	4.6E-08		1.5E-05	6.6E-06
1,2-二氯乙烷	7.8E-07	1.2E-10	9.5E-08	1.8E-06	6.5E-06	1.1E-05
乙苯	2.4E-07	4.2E-13	8.6E-09	1.0E-06	3.5E-07	9.2E-07
苯乙烯	7.0E-09	2.7E-11	2.1E-08	3.2E-08	1.7E-05	2.9E-06
異丙苯		8.4E-13	2.0E-08		4.2E-07	3.1E-06
異戊二烯	1.9E-09	2.9E-13	2.3E-09	4.0E-09	1.6E-07	3.4E-07
1,4-二氯苯		7.4E-13	1.2E-08		1.0E-06	1.3E-06

資料來源：景丰：104 年度六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫(景丰科技股份有限公司)

104 年：104 年度沿海地區健康風險評估計畫(雲林縣環境保護局)

5.3.5 不確定性分析

因數據的缺乏，執行完整的健康風險評估一定會面臨資料不完整的情形，因此不確定性分析主要是指出健康風險評估過程中評估參數、評估模式、評估假設、評估情境等不確定性，並說明不確定性可能造成的差異。健康風險評估中會遇到的不確定性包括：國內現階段的評估，多數引用美國環保署公告數據，缺乏本地資料將影響風險評估在環境決策的應用；在用模式預測各介質中有害物質濃度時，氣象資料的變化、多介質逸能模式中各參數的統計分布、量測或估算單位時間排放或洩漏量的誤差與其統計分布、有害物質的背景濃度等都存在不確定性；而在評估暴露劑

量時，不同人群間變數的改變(例如暴露頻率和暴露時間等等)以及各數學模式模擬的結果濃度對暴露劑量的影響皆存在變異性；在估算風險時，因國內缺乏 CSF 和 RfD 的數據所以通常引用美國環保署的公告資料，缺乏本地數據下存在參數之不確定性。

過去雲林沿海地區之流行病學研究中「六輕石化工業區對附近學童健康影響」是國家衛生研究院自 2013 至 2016 年執行之研究，研究結果發現橋頭國小許厝分校學童尿中硫代二乙酸(TdGA)的濃度高於國內 20 個行政區同年齡學童之尿中 TdGA 濃度，由於 TdGA 為 VCM 之體內代謝物之一，以至於 VCM 成為沿海地區居民健康風險評估的重要標的污染物。本計畫以 CMAQ 模擬逐時空氣濃度並應用資料同化技術重建沿海地區 2014 年之 VCM 暴露濃度，其結果顯示橋頭國小許厝分校之 VCM 暴露濃度與橋頭國小校本部並無統計上顯著差異。因此本計畫評估結果與國家衛生研究院流行病學研究結果沒有一致的結論，主要之原因可能為本研究重建沿海地區 VCM 暴露濃度僅有 2014 年之模擬資料，無法代表流行病學研究中 2013 至 2016 年六輕石化工業區附近學童之暴露情境；此外本計畫由於應用資料同化技術所需之空氣污染物觀測結果的限制，僅能重建 16 項空氣污染物於沿海地區的時間空間分佈，但離島工業區可能排放至沿海地區之化學品眾多，因此本計畫目前尚無法釐造成學童尿中 TdGA 濃度偏高的暴露來源之特定空氣污染物。

為了探討致癌性健康風險結果之不確定性，以 12 二溴乙烷之致癌風險為例，如下圖所示，所推估之致癌風險，可透過依機率密度分布之型態展現。由圖中可看出，致癌風險之機率密度分布為長尾右偏的型態，此型態的機率分布可顯示此物質之健康風險評估具有高度不確定性。透過此機率密度函數可進行相關之健康風險不確定性探討)。以 12 二溴乙烷為例，圖 36 之不確定性分析可推斷，台西鄉暴露 12 二溴乙烷之終生致癌風險大於 10^{-4} 之機率為 0.0941；圖 37 則顯示麥寮鄉暴露 12 二溴乙烷之終生致癌風險大於 10^{-4} 之機率有 0.0853。

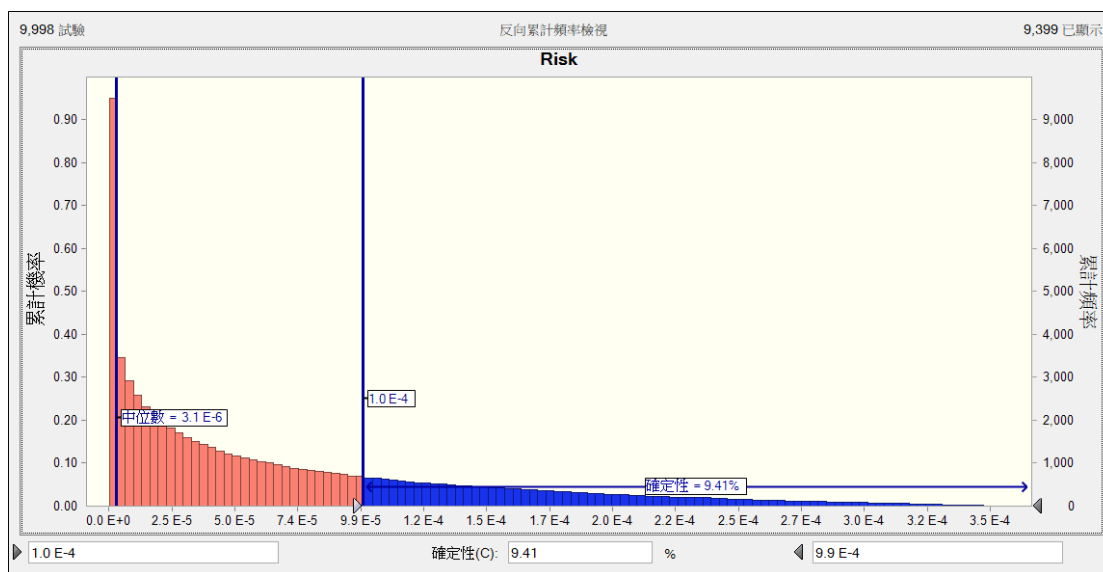


圖 36 台西居民暴露 1,2-二溴乙烷之致癌風險之反向累積次數圖

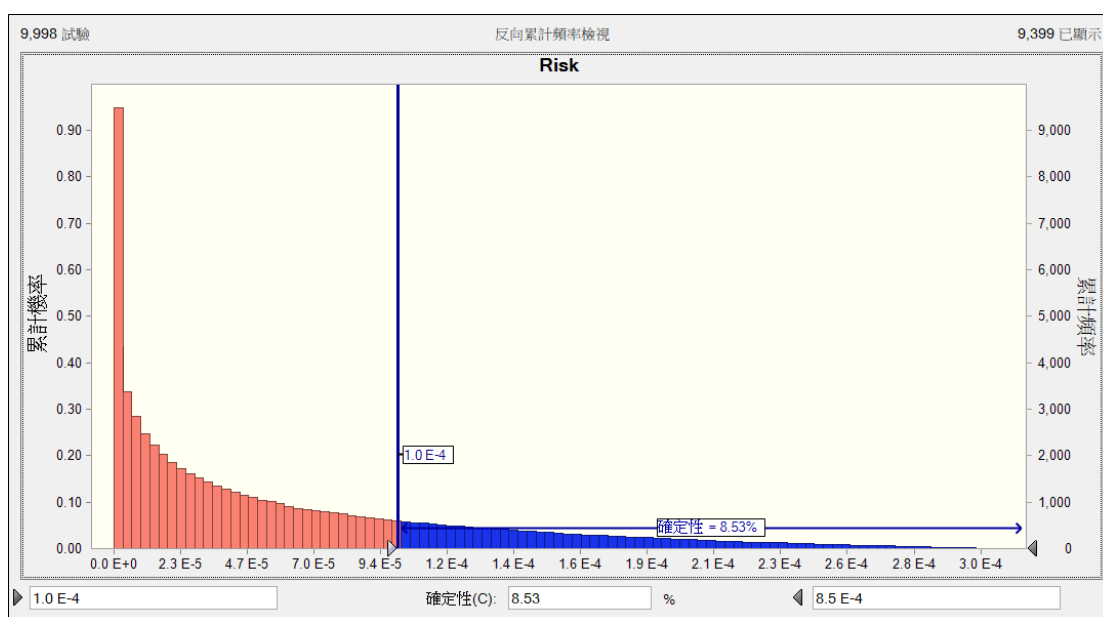


圖 37 麥寮居民暴露 1,2-二溴乙烷之致癌風險之反向累積次數圖

非致癌性健康風險結果之不確定性，以沿海地區暴露三氯乙烯之 HI 結果為例，如下圖所示，所推估之 HI，以機率密度分布之型態展現與致癌性風險趨勢相同，其密度分布為長尾右偏的型態，同理代表此物質之風險評估結果具有高度不確定性。透過此機率密度分布可知非致癌風險之不確定性；以三氯乙烯為例，**圖 38**之不確定性分析可推斷，台西鄉暴露三氯乙烯之非致癌風險大於 1 之機率為 0.0692；**圖 39**則顯示麥寮鄉暴露三氯乙烯之非致癌風險大於 1 之機率為 0.0287。

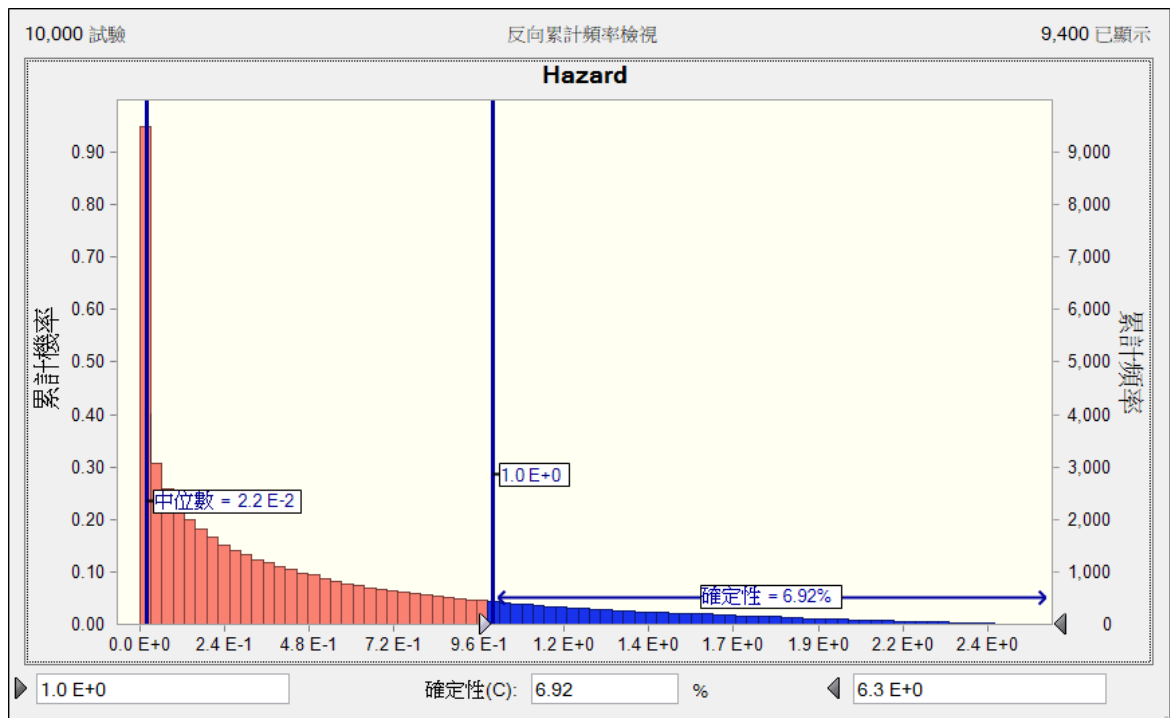


圖 38 台西居民暴露三氯乙烯之非致癌風險之反向累積次數圖

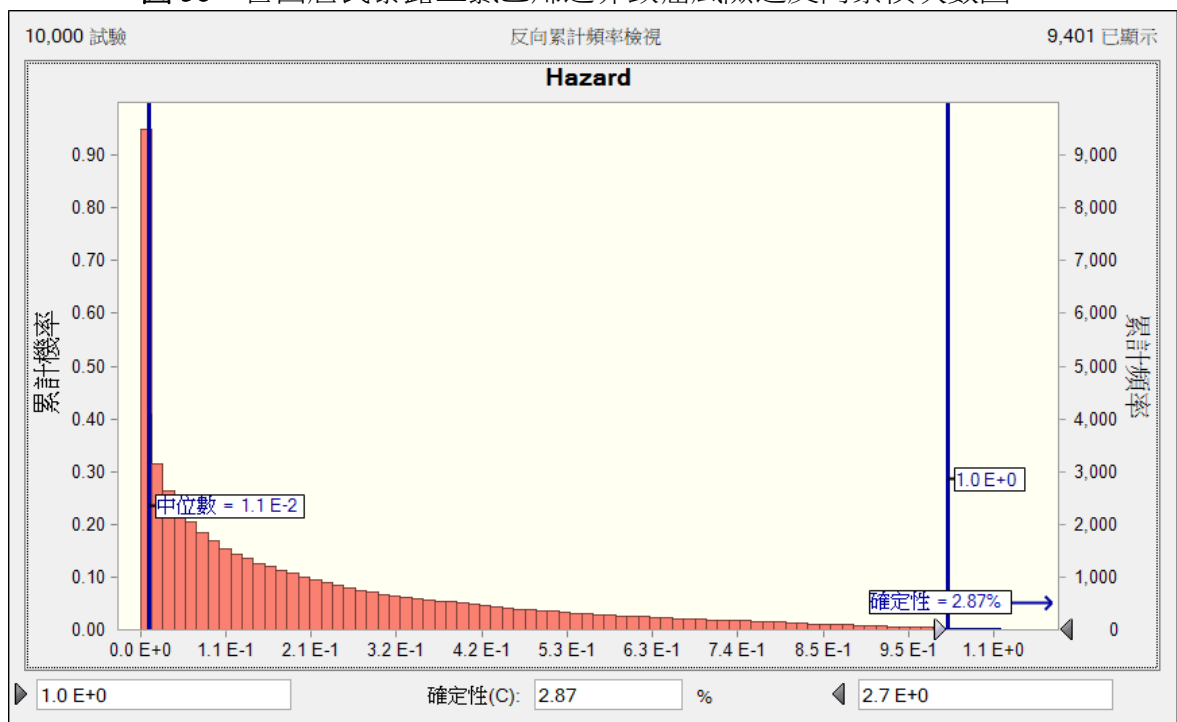


圖 39 麥寮居民暴露三氯乙烯之非致癌風險之反向累積次數圖

致癌風險中 1,2-二溴乙烷因為人類數據之樣本量小缺乏流行病學研究之對照組，因此 1,2-二溴乙烷潛在致癌性尚無定論，但 US EPA 基於動物實驗中明確的致

癌性則提出 1,2-二溴乙烷建議的吸入的單位風險，並以生殖系統和呼吸系統的腫瘤(腺瘤、腺癌、乳頭狀腺瘤、鱗狀細胞癌、乳頭狀瘤、血管肉瘤和間皮瘤等)作為暴露 1,2-二溴乙烷的致癌性效應。超標之非致癌風險之三氯乙烯毒理研究(資料來源：IRIS,US EPA)指出，慢性暴露和急性暴露三氯乙烯一樣均影響人類的中樞神經系統，症狀包括頭暈、頭痛、嗜睡、噁心、困惑、視覺模糊、虛弱，危害肝、腎、免疫、內分泌系統、心臟功能、免疫系統受損；生殖與發展效應方面，觀察到婦女暴露三氯乙烯會增加流產的發生率，但目前研究仍不足；而動物實驗結果則表示暴露於三氯乙烯和其代謝物(三氯乙酸(TCA)和三氯乙酸(DCA))會產生發展危害。而 US EPA 用來決定三氯乙烯參考濃度的最敏感之非致癌不良效應為成人免疫系統受損和胎兒心臟畸形之發育毒性，上述之健康不良效應都可作為沿海地區居民流行病學研究之指標疾病。

評估結果中健康風險之機率密度分布均如上述之 1,2-二溴乙烷的致癌風險與三氯乙烯之非致癌風險之機率密度分布，為具有高度不確定性之長尾右偏型態，因此主管機關需進一步蒐集沿海地區環境中 1,2-二溴乙烷與三氯乙烯之環境濃度現況可減少濃度分布之不確定性，以保障沿海地區居民之健康安全。由於暴露劑量主要的來源為污染物之空氣介質，故管制污染物之空氣濃度會是最直接保障居民的方法，但評估致癌風險與非致癌風險的空氣濃度所考量的暴露期間的尺度是不同的，估算致癌風險的空氣濃度是長期以「每年」為單位之平均空氣濃度，而非致癌風險則是以「日」為單位之短期平均空氣濃度，因此主管機關在制訂特定污染物空氣濃度標準時需考量其中差異。

5.4 健康風險評估結果探討

5.4.1 可靠性探討

5.4.1.1 暴露模式可靠性探討

本計畫大氣擴散模擬使用氣象模擬結果驅動污染物傳輸。其中，氣象模式為國際間廣泛被採用之 WRF 模式並利用其資料同化模組同化全球觀測資料與衛星資料確保模式結果的正確性。WRF 經過多次更新，加入當前氣象科學前沿之理論已應用於氣象預報並能夠正確的進行氣象預報。本計畫採用 NCAR 建立之 WRF 資料同化程序重建研究期程之氣象場，重建之氣象場與中央氣象局與環保署測站資料一致。大氣擴散模式 CMAQ 使用上述氣象條件模擬污染物擴散。CMAQ 模式整合當前學界對大氣擴散的理解，其中理論依據利用 CMAQ 模擬以實際污染濃度驗

證，其效能經過大量科學研究檢驗並已經廣泛採用於大氣擴散模擬。本計畫利用模式中敏感度計算模組與觀測資料修正排放量再反推空氣暴露濃度。另外，大氣擴散模式中污染物來源利用美國環保署 SMOKE 模式將 TEDS9.0 跟據排放資料解析成本計畫所關切之有毒污染物將全臺灣排放量納入模式中。本計畫空氣暴露濃度模擬結果因此可以與實際觀測值比較分析。

CMAQ 模式需要大量運算資源，近年因為高效能運算的普及，CMAQ 模式開始被運用於評估空氣污染對大眾健康的影響如健康風險評估等。CMAQ 的優勢在於模擬真實大氣傳輸機制。其中包括，CMAQ 模式考慮大氣化學反應，本計畫 16 種污染物中苯、異戊二烯與苯乙烯的模擬結果應更接近真實狀況。CMAQ 模式使用完整氣象場其中包括地形資料，模式中煙流因此會隨風速、風向與地形的空間分布變化。CMAQ 污染物濃度變化機制中沉降、反應、傳輸等皆遵守質量守恆定律沒有重複計算的疑慮。

5.4.1.2 健康風險評估可靠性探討

本計畫篩選離島工業區之化學物質清單的資料來源分別有六輕四期擴建計畫環境影響說明書、六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫和雲林縣石油化學業新增放流水排放標準研訂計畫，彙整後化學物質清單再比對 IARC 專書(IARC Monographs)致癌性分類以鑑定出離島工業區可能排放於環境中具有致癌性危害之 127 項物質，後續為了重建離島地區排放物質與沿海地區民眾之暴露情境，因此將前述清單以資料同化所需之必要條件(污染物空氣檢出之環境監測項目)比對後之 IARC Group 1、Group 2A、Group 2B 項目即為本年度執行健康風險評估之 16 項具有潛在致癌性危害化學物質。

本計畫依照環保署公告之健康風險評估技術規範評估慢性暴露之致癌性與非致癌性健康風險評估之風險特徵描述，其中劑量反應關係資料是引用 U.S. EPA IRIS 之建議參數，IRIS 評估的流程透過初步資料蒐集以及科學機構諮詢後舉行公眾會議匯集民眾對評估及受評估項目之現有資訊與意見，接續彙整資訊重新評估後，重複進行機關回顧以及科學機構諮詢步驟，最後方可公佈於 IRIS 網站，因此本計畫評估之空氣污染物較適合引用 IRIS 之安全劑量資料。

5.4.2 不確定性探討

本計畫透過健康風險評估規範之工作流程，包含環境資料、毒物資料蒐集鑑定危害物質以建立離島工業區有害化學物質清單，也蒐集國內外毒理資料庫資訊進行劑量反應評估，透過 CMAQ 結合離島工業區監測車與特殊性工業區之觀測資料進行健康風險之濃度評估與透過風險特性化說明健康風險之暴露評估。然而，此一健康風險評估的過程相當龐大與複雜，充滿非常多的不確定性。一般來說，不確定性包括資料不確定性、參數不確定性以及模式不確定性，不同的不確定性來源都會對於最後健康風險評估之結果以及其判讀方式產生影響。以下將分別探討本計畫健康風險評估過程相關之不確定性來源，詳述如下。

5.4.2.1 資料不確定性

Napelenok et. al.(2008)在 CMAQ 模擬中使用卡曼濾波器同化觀測資料修正排放再以修正後排放模擬真實污染物濃度，其觀測資料源於衛星資料覆蓋大部份研究區域。本計畫嘗試以相對稀少的資料達到同樣目的。然觀測數據不足仍為模式結果不確定性的主要來源。

觀測數據不足可分為樣本數不足與代表性不足。樣本數不足如字面上意義即觀測數量不足以用於回歸分析。代表性不足係因觀測時空點位分布不均，觀測數據不能代表整體時空分布。

觀測資料不足（大部分污染物觀測數量有限）將直接造成排放量推估的不確定性。部份時段有時間範圍無法取得回歸分析需要的樣本數。本計畫研究已將樣本數不足的修正排除，回歸分析修正的濃度點數因此少於所有觀測數量。觀測資料空間不均則會使排放量推估時使用到的參數過於敏感。例如，觀測資料集中於研究區域的一部分而沒有代表剩餘區域的空間分布，回歸分析會因這些資料的微小變動造成極端的估計。目前沒有排除方法。

觀測資料時間不均，可能會對濃度推估尤其是極端值的大小產生偏差現象。在一定的觀測數量下對平均濃度推估影響較小但極端值發生的頻率應有較大的偏差。例如，無觀測時段沒有排放量修正目前以修正後平均排放代入造成極端值。這些極端值沒有觀測值對應的依據缺乏證據。

未考慮所有排放源則使濃度推估產生不確定性；非線性或衍生性污染考慮有限則無法完整詮釋現實濃度分布。目前模式網格點結果直接與觀測值配對，在觀測點位選點不具空間代表性的狀況下(環保署固定測站因各測站依選點規則其站點應

可以代表較大範圍的空間分布，然其真實空間代表性仍須經過檢驗)，模式解析度不足可能無法反映真實細微的濃度變化造成不確定性。未來可以考慮使有降尺度方法如 USEPA 以 AERMOD 與 CMAQ 連結增加模擬 CMAQ 網格內濃度分布。

在量化排放量修正之不確定性討論下，排放量修正之不確定性除敏感源選點誤差與非線性部份外應最終可肇因於回歸分析樣本數不足。樣本數因此可作為不確定性指標的一部分。再定義資料豐富度為樣本數與總樣本數的比例並以苯有觀測資料的比例為基礎($1=10 \times \text{時空間有觀測之數量} / \text{時空間網格總數}$)來表示觀測資料缺乏的程度，不確定量化之結果如圖 40 所示。例如，苯乙烯資料豐富度 1.18 代表期觀測資料數量是苯的 1.18 倍因此觀測資料充足。綜合 R-squared 與資料豐富度可以對這一部份的不確定性量化作為後續研究之參考。模式不能解釋部份雖以 IDW 方法補強，其效果仍需要經過檢驗故仍視為不確定性的一部分。然資料豐富度仍需要建立在隨機取樣或代表性取樣的前提下才能與樣本代表性有完整的關聯，本計畫因此提出環境健康監測系統的建議以目前對污染物時空間分布的了解進行代表性取樣。

	苯	異戊二烯	乙苯	苯乙烯	氯乙烷	1,3-丁二烯	1,2-二氯丙烷	三氯乙烷
解釋比率%(R ²)	84.64	16.81	34.81	27.04	64	30.25	54.76	33.64
資料豐富度	1	0.009469	0.105961	1.180678	0.058255	0.06291	0.013125	0.034441

	二氯甲烷	四氯乙烯	1,2-二溴乙烷	氯仿	四氯化碳	1,2-二氯乙烷	異丙苯	1,4-二氯苯
解釋比率%(R ²)	53.29	18.49	40.96	88.36	70.56	67.24	28.09	56.25
資料豐富度	0.016222	0.032903	0.024692	0.097131	0.012366	0.013924	0.046907	0.06259

圖 40 不確定性量化比較

本計畫評估之健康風險是呼吸途徑暴露空氣污染物為主要之暴露來源，根據健康風險評估技術規範中是以周界大氣中平均濃度作為暴露濃度，由於一般民眾的生活習慣位於室內或室外的時間有其變異性，但由於缺乏污染物於室內空間之濃度資料以及一般民眾室內外暴露時間的比值資料，因此本計畫以不低估風險為原則假設一般民眾暴露環境已室外大氣污染物濃度來代表，若有室內之污染物資料則可校正暴露情境之不確定性。

5.4.2.2 參數不確定性

暴露評估參數在空氣暴露推估可以大至分為氣象條件與排放量。氣象模擬領域採用資料同化結合觀測資料已有現行作法與完整的觀測系統。本計畫因此使用 WRF 配合現行之全球氣象監測網路資料進行氣象條件的資料同化程序。然氣象條

件仍有小量偏差存在，如少數風速的模擬結果有高估的現象。後續研究應針對這些少數的偏差對暴露濃度的影響進行估算。

TEDS9.0 中紀錄為 2013 年全國排放，其中的排放量推估依第七章所比較之排放量推估方法計算應與 2013 年實際排放有差距。而本計畫模擬時程為 2016 全年，如果採用 TEDS9.0 本身預測之 2016 年排放量進行模擬其中不確定性仍無法估計。故本計畫開發基於觀測的排放量推估方法嘗試彌補，其不確定性探討見下文。

質量平衡法假設中污染物間沒有反應而苯、異戊二烯、苯乙烯包括在模式的化學反應鏈中，其中造成的非線性關係沒有在目前質量平衡方程式中造成不確定性。因為設定小研究區域回歸分析小時間範圍，線性項應仍應為濃度變化的主要部份占主要部分因此目前沒有處理。未來研究應考慮加入非線性補足回歸分析的解釋比例。

評估過程中 1,2-二氯丙烷、乙苯、苯乙烯、異丙苯、異戊二烯、1,4-二氯苯等 6 項空氣污染物於 IRIS 資料庫中未建議單位風險值資料，因此依照 U.S. EPA 建議之基準劑量技術指引 (Benchmark Dose Technical Guidance) 應用基準劑量軟體 (benchmark dose soft, BMDS) 評估基準劑量下限值 (benchmark dose lower bound, BMDL)，評估所引用的污染物毒理資料相當有限，若有更新的劑量反應關係毒理資料則可降低此 6 項單位風險估計值之不確定性。

多介質暴露評估之本土參數是引用 2008 年行政院衛生署的台灣一般民眾暴露參數彙編，此文獻資料之出版年已久遠且參數資料所代表對象為全台灣民眾，但此資料仍是目前最有代表性暴露參數參考文獻，因此暴露評估時假設沿海地區居民與全台灣民眾之暴露參數無明顯差異以利後續估算。

5.4.2.3 模式不確定性

本計畫所關切之 16 種污染物來源不一，暴露濃度模擬中敏感源選點原則無法適用於來不明物種例如異戊二烯等。生物源在異戊二烯、二氯甲烷、1,2-二溴乙烷與三氯甲烷等污染物種中所佔比例需要進一步調查。後續研究可以嘗試加入生物源模擬改善這一部份評估結果。其他物種敏感源選點原則不適用部份應需要透過增加敏感源空間覆蓋搜尋主要敏感源。

本計畫採用 CMAQ 化學反應 CB6(Murphy et. al., 2018)雖然已經為研究執行期間最新發展反應機制中可以使用的選項。其中仍只有苯，異戊二烯與苯乙烯包括在

反應機制中，其他物種相關化學反應不明。再者，模式使用各物種文獻記載的亨利常數但沒有相關文獻記載這些參數在 CMAQ 中應用的相關分析。目前沒有減少這些不確定性的方法。另一方面，本計畫排放源敏感度以小時為間隔輸出並對觀測值以回歸分析估算，反應等非線性項應如實驗設計預期包括在。

CMAQ 模擬空間解析度為 4 公里，目前只有取最接近格點對應觀測值沒有發展相應降尺度方法與觀測值比對。格點內變化幅度與觀測站選點原則中具代表性地點選取有關需要後續研究調查。

CMAQ 之排放源敏感度為模式運算中偏微分計算所得，單位排放量與單位擾動的關係在現實中為非線性關係如第四章圖 16 所示。換句話說，排放量修正過大的部分需要透過迭代計算才能正確計算排放量修正(Napelenok et. al., 2008)。本計畫排放量評估結果在極端排放的部分因此存在高度的不確定性。

本計畫採用 CalTOX 多介質傳輸風險評估模式是假設特定空氣污染物之濃度根據逸能平傳遞至不同介質後，估算污染物到達穩態條件下沿海地區各介質濃度，評估中所包含的環境介質有空氣、地表植被、地表土壤、根部區土壤、滲流區土壤、地表水和沉積層共 7 種介質，以預設之傳輸途徑模擬其評估情境描述如下：以空氣介質為污染物之主要來源，傳輸至地表植被、地表土壤、地表水 3 個介質，直接與空氣傳輸之介質中地表植被則將污染物傳輸至空氣、地表土壤、根部區土壤、滲流區土壤 4 個介質；地表土壤則將污染物傳輸至空氣、地表植被、根部區土壤、地表水 4 個介質；地表水則將污染物傳輸至空氣、沉積層 2 個介質，剩下未與空氣接觸之介質中根部區土壤將污染物傳輸至地表植被、地表土壤、滲流區土壤 3 個介質；滲流區土壤則將污染物傳輸至地下水層 1 個介質；沉積層則將污染物傳輸回地表水介質。雲林縣沿海地區的評估範圍中確定有地表植被、地表水與地表土壤此 3 個介質，因此剩下未空氣接觸之介質根據預設傳輸途徑之假設也納入評估，但是蒐集沿海地區評估資料中缺乏各介質之傳輸資料，因此假設 CalTOX 模式的預設傳輸模式作為污染物於多介質傳輸之架構評估亦為本計畫評估結果中模式之不確性。

CalTOX 多介質傳輸模式的環境參數優先蒐集雲林本土的地理參數，其次參考馬鴻文教授已發表論文中台灣參數，最後再將台灣與美國的地理資料回歸其機率分布以蒙地卡羅法模擬估算污染物傳輸至不同介質之濃度。由於環境參數機率密度分布之臺灣資料有限，以至於統計回歸之機率密度分布主要會受到 CalTOX 模

式中美國預設地理資料之影響，因此以機率分析模擬風險之機率密度分佈會有高度正偏態的模擬結果。

5.4.2.4 判讀之不確定性

本計畫 CMAQ 模擬排放源包括全臺灣排放量，模擬結果可以直接與濃度觀測數據比較。前期計畫使用 AERMOD 模擬其中只有使用文獻記載中本計畫所關切的 16 種污染物排放自離島工業區再與觀測值比較並修正排放量。前期計畫方法包含背景值為零的假設，本計畫則嘗試解釋所有污染物濃度來源並藉以修正暴露濃度預期取得更接近真實的暴露濃度時空間分布。

部份相關研究使用濃度增量與濃度總量不同，濃度增量為特定排放源造成之暴露濃度增加量。換言之，濃度增量所評估之增量風險與濃度總量所評估之總量風險有差異，在實際運用上增量風險常用在排放源申請階段不適用於本計畫評估之健康風險。

第六章 空污測站檢討與優選評估結果

對於環境監測來說，如何得到正確的環境資訊並據以制定適當的管理策略，實屬其極為重要的使命。在諸多的方法中，環境監測是一種最常被使用來得到環境資訊的方法。環境監測工作之目的在藉由固定時間間隔下、於相同的地點及相同的採樣方法，長時期追蹤特定地區的環境狀況，以了解區域內之環境品質變化。行政院環保署已於國土內設立了諸多空氣品質監測系統來偵測環境中污染濃度之變化，以做為環境空氣指標。長期下來，監測系統所蒐集之數據訊息，也能提供評估資訊與偵測環境之變化，進而發現可能的問題與潛在的威脅，並可用以預估未來的變化趨勢，以供權責單位預先擬定因應措施與決策。而監測系統所建置之位置及監測頻率，將會影響對於此區域內環境污染物變化趨勢之掌握程度。若要評估環境中的監測系統則也需從設置之位置及監測頻率來做一考量。應如何布局監測系統之位置，將影響到所監測之訊息是否能代表該區域環境品質之變化，配置之數量以及監測頻率更直接與成本效益息息相關，如何兼顧成本的限制並同時掌握污染物時間空間變異的完整性，便是擬定研究地區採樣策略的主要工作。

6.1 空氣品質監測系統建構流程

幾十年來，空氣品質監測網(Air Quality Monitor Network, AQMN)的設計與規劃一直是個焦點研究議題，早期的設計規劃多仰賴於經驗判斷及簡略的定性規則，例如測點離地高度、與周遭建築物之距離、以及人口密度等等。1970 年代，則開始引進了系統規劃概念與統計分析方法，例如 Nakamori 等人(1979)以及 Noll 等人(1977)的研究。隨著電腦計算能力的快速推進，加上蓬勃發展的各式優選演算法，物理機制演算模式與多目標優化模型的聯合應用，則更進一步地提供了一套以目標為導向、兼顧全面性與實用性的設計規劃方法。Benis 等人(2016)總結了歷年來 AQMN 的相關研究，並依據監測的區域範圍、關注的污染物項目、污染物濃度之時空分布的取得方式、監測目的(target objectives)、以及擇選監測站的優化方法(design technique)等五大面向，將歷年的相關研究進行分類。總的來說，AQMN 的設計規劃中，首要考量因子為監測目的，依據監測目的選取適切之評估指標，所選取的評估指標必須足以適切地具體量化該監測目的。然後，再針對所關注的區域空間範圍內，應用可獲得的污染物時間空間分布資料(實際量測數據或數值模式演算結果)進行分析，再進一步選取建置合適的優選模式。優選模式的建構則包含了評估指標與限制條件的參數化，例如優選的目標函數可設定為監測站監測範圍內的

總人口數量，限制條件則可能為監測站總數、該區域可設置監測站的整體花費、或監測站之間的距離等等。接著，再根據所建構的限制式及目標函數，搭配優化演算方法，進行監測站站址空間配置的最佳化。前述章節中計算所得之污染物濃度的時空分布，除了可用以進行特定地區居住人口的健康風險評估外，更可作為空氣品質監測網設置之依據。

6.2 監測站優選模式建構研究方法

以下即針對應用污染物濃度時空分布進行監測站網的設計規劃作進一步說明。

6.2.1 資料座標系統轉換

在空氣品質監測站選址的部分，考量到計畫監測地區內，任意兩個座標點所測得的污染物濃度資料，可能會因為座標點之地理位置相近、有相同的污染物來源等種種原因，造成兩測站濃度資料的相關性太高。在資源及經費有限的考量下，並不適宜於此兩個座標點皆設置監測站。為了排除這種情況，本計畫利用兩座標點之間的地理位置相關性、污染物濃度的時間序列相關性以及頻譜相關性，建立一個新的座標系統。在新座標系統中，點與點之間的歐氏距離(Euclidean distance)即代表舊座標系統中的兩個對應點資料的差異程度，兩點間的歐氏距離越遠，代表彼此資料的差異性越高、亦即相似度越低；距離越近則相似度越高。以下分別就地理位置相關性、污染物濃度時間序列相關性、以及污染物濃度頻譜相關性三部分，討論新座標的建構方法。

(1) 地理位置相關性

地理位置相關性與舊座標系統中點與點之間的距離有關，在地理空間上兩點間的距離越遠，代表兩點的地理位置相關性越低，亦即差異性越大，因此在新座標系統上所對應的兩點間的距離會越遠。藉由以上的描述，地理位置相關性在新座標的重建上，則可以 $(u_{i,f} - u_{j,f})^2$ 來表示， i, j 代表兩個不同的監測站， u 為監測站的地理座標， f 代表座標的維度， $(u_{i,f} - u_{j,f})^2$ 即為任兩個監測站在地理空間上實際距離的平方。

(2) 污染物濃度的時間序列相關性

時間序列相關性為任意兩監測站之污染物濃度依時間變化資料的相關性，假如兩時間序列資料的趨勢相似，代表其相關性越高，在新座標系統中對應的兩點距離越近。由於相關性與新座標系統中兩點的間距呈反相關，因此時間序列相關性在新座標系統上需作修正，以 $1 - \text{corr}(t_i, t_j)$ 表示之， t_i, t_j 分別為兩測站之污染物濃度

時間序列資料， $\text{corr}(t_i, t_j)$ 為兩時間序列資料之相關係數(correlation)。以下利用監測區域內，空氣中苯(Benzene)濃度之時空分布，以每小時為單位的時間序列資料，計算任意兩測站苯濃度的時間序列相關性，計算結果節錄如表 45 所示。

表 45 任兩測站點，苯濃度之時間序列相關係數矩陣示意表

	測站 1	測站 2	測站 3	測站 4	測站 5	測站 6	測站 7	測站 8
測站 1	1.00000	0.02988	-0.00547	-0.00896	-0.00749	-0.01072	-0.00744	-0.00765
測站 2	0.02988	1.00000	0.07079	0.01877	-0.00199	-0.00241	-0.00178	-0.00158
測站 3	-0.00547	0.07079	1.00000	0.51837	-0.00190	-0.00256	-0.00183	-0.00181
測站 4	-0.00896	0.01877	0.51837	1.00000	0.34448	0.07652	-0.00131	-0.00051
測站 5	-0.00749	-0.00199	-0.00190	0.34448	1.00000	0.47568	0.00779	-0.00143
測站 6	-0.01072	-0.00241	-0.00256	0.07652	0.47568	1.00000	0.25974	0.13391
測站 7	-0.00744	-0.00178	-0.00183	-0.00131	0.00779	0.25974	1.00000	0.97962
測站 8	-0.00765	-0.00158	-0.00181	-0.00051	-0.00143	0.13391	0.97962	1.00000

(3) 污染物濃度之頻譜相關性

頻譜相關性與時間序列相關性類似，相對於時間序列相關性利用時間域來觀察資料變化，頻譜相關性利用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)，使時間序列資料轉換到頻譜上，並且利用各頻率上振幅的大小計算出兩時間序列資料的頻譜相關性，在新座標上以 $1 - \text{corr}(\mathcal{F}(t_i), \mathcal{F}(t_j))$ 表示， $\mathcal{F}(t_i)$ 為 t_i 經快速傅立葉轉換後之振幅序列。以下利用監測區域內，空氣中苯濃度之時空分布，以每小時為單位的時間序列資料，計算任意兩測站苯濃度的頻譜相關性，計算結果節錄如表 46 所示。

表 46 任兩測站點，苯濃度之頻譜相關係數矩陣示意表

	測站 1	測站 2	測站 3	測站 4	測站 5	測站 6	測站 7	測站 8
測站 1	1.00000	0.98597	0.82187	0.83992	0.78086	0.79522	0.80874	0.83279
測站 2	0.98597	1.00000	0.90288	0.89650	0.84031	0.81093	0.86396	0.89582
測站 3	0.82187	0.90288	1.00000	0.95739	0.91352	0.80244	0.92714	0.96791
測站 4	0.83992	0.89650	0.95739	1.00000	0.96675	0.90523	0.98166	0.98944
測站 5	0.78086	0.84031	0.91352	0.96675	1.00000	0.93388	0.98904	0.94518
測站 6	0.79522	0.81093	0.80244	0.90523	0.93388	1.00000	0.93981	0.87201
測站 7	0.80874	0.86396	0.92714	0.98166	0.98904	0.93981	1.00000	0.97301
測站 8	0.83279	0.89582	0.96791	0.98944	0.94518	0.87201	0.97301	1.00000

(4) 資料座標系統之建立

根據上述段落(1)、(2)、(3)，新座標系統中，單一污染物的統御方程式即可以下列方程式建立之，其中， $d_{i,j}$ 代表在新座標系統中任意兩點 i 、 j 之間的歐氏距離， $v_{i,m}$ 為 i 測站點對應到新座標系統中的座標， m 代表新座標的座標維度， w 為各項式之權重。若需考慮多種污染物的情況，則按照上述段落(1)、(2)、(3)，另外計算該污染物濃度分布的時間序列相關性及頻譜相關性，並依序加入此統御方程式裡即可。

$$\begin{aligned}
 d_{i,j}^2 &= \sum_m (v_{i,m} - v_{j,m})^2 \\
 &= w_1 \left[\sum_f (u_{i,f} - u_{j,f})^2 \right] + w_2 [1 - \text{corr}(t_i, t_j)] \\
 &\quad + w_3 [1 - \text{corr}(\mathcal{F}(t_i), \mathcal{F}(t_j))]
 \end{aligned}$$

6.2.2 監測站選址之優化模型設計

在監測站的空間配置上，各測站是否能達成最佳的監測效能，取決於其設置位置是否適當。一般而言，為了持續監控污染物濃度對周遭居民的影響，理想的監測站選址地點，應要能夠在有限的監測條件下，達到監測範圍內覆蓋人口數量最多之目的。其次，為了使有限的資源發揮最高效能，監測站的選址，應要選取最具代表性，亦即污染物濃度特性與其他測站有顯著差異的測站點。依照上述章節，在依據地理位置相關性、污染物濃度時間序列相關性、以及污染物濃度頻譜相關性三方面所建構的新座標系統下，本計畫以監測範圍內所覆蓋人口數量最高，以及各測站污染物濃度資料相關性差異最大為兩個目標，建立一多目標最佳化問題，並以設置監測站總數量為設定參數作為限制式，利用最佳化電腦數值分析進行優選，得到既定監測目的以及限制條件下，最適合的監測站設置地點。

空氣品質監測站選址的多目標最佳化問題可表示並說明如下：

$$\text{Max } \sum_i [\text{POPU}_i \times y1_i] \quad (1)$$

$$\text{Max } \sum_{i,j} [d_{i,j} \times y2_{i,j}] \quad (2)$$

$$\text{s.t. } y2_{i,j} \leq (y1_i + y1_j)/2 \quad \forall i,j \quad (3)$$

$$\sum_i y1_i = N \quad (4)$$

$$y1_i, y2_{i,j} \in \{0, 1\} \quad \forall i,j \quad (5)$$

$$\text{Max } W1 \times \sum_i [\text{POPU}_i \times y1_i] + W2 \times \sum_{i,j} [d_{i,j} \times y2_{i,j}] \quad (6)$$

在目標式(1)中， POPU_i 代表測站 i 覆蓋範圍內的人口數； $y1_i$ 為一 binary 變數，代表著測站 i 是否被選擇為監測站設置地點，1 為被選擇，0 則否。因此(1)式為被選擇監測站之範圍內的人口總和，即代表測站設置範圍內的總覆蓋人口數。目標式(2)中， $d_{i,j}$ 為測站 i 與測站 j 之間在新座標系統中的相對距離； $y2_{i,j}$ 為 binary 變數，代表測站 i 與測站 j 是否同為選定的監測站，1 為同時被選擇，0 則否。因此(2)式即代表被選擇的監測站彼此之相關性差異最大之目標。根據(1)、(2)兩目標式，並分別乘上其權重因子 $W1$ 、 $W2$ ，即為最終的多目標函數式(6)。

在限制式中，由於被選擇之監測站點與此點和其餘監測站點之間的相對距離 $d_{i,j}$ 有關，因此必須透過(3)式建立 $y1$ 、 $y2$ 兩變數之關係；(4)式則加入了欲設置的監

測站總數 N ，當資源與經費越多，則可設立越多監測站，總數 N 越大，反之則越低；而(5)式則代表 y_1 、 y_2 兩變數均為 binary 變數，非 1 即 0。是以此監測站選址問題乃為混合整數規劃(Mixed Integer Programming)問題。

6.3 空氣品質監測系統測站優選建議

前述的監測站選址優化模型架構已建立完成，後續即可搭配監測區域範圍之基本資料，如人口分布與候選測站的地理位置，以及污染物濃度時空分布資料，進行資料整理分析與目標函數最佳化的演算。以下利用監測區域內，空氣中苯與三氯乙烯之濃度時空分布，每小時為單位的時間序列資料，並考量人口密度分布，進行多目標優化選址的分析討論。

圖 41 為雲林離島工業區及鄰近三個鄉鎮：麥寮鄉(Mailiao)、台西鄉(Taisi)及東勢鄉(Dongshi)的地理位置圖。其中，區域內特殊性工業區空氣品質監測站以三角形標示；行政院環保署空氣品質測站以星型標示；圓點則為選址優化模型之候選測站及編號。現階段針對此區域的空氣品質狀況，在鄰近離島工業區的三個鄉鎮中，有離島工業區所設置之特殊性工業區空氣品質監測站：麥寮站、台西站及東勢站；另外還有行政院環保署所設置的工業空氣品質監測站：麥寮站及台西站(見**圖 41**)，其中，麥寮站乃行政院環保署為瞭解離島工業區對附近居民健康影響而增設的，設立之時的選址在考慮設站條件、距離污染源方位與距離、人口分佈、是否已有設置空氣品質監測站等因素後，最終選定現址為增設測站地點。由此可知，此三鄉鎮內共有五個空氣品質監測站，其中麥寮鄉與台西鄉境內各有兩個測站，且兩測站位置相近，麥寮鄉內的兩測站僅相距約 500 公尺，台西鄉內的兩測站則相距約 1.9 公里。

監測站選址優化模型之候選測站位置劃分方式則配合前述章節污染物濃度時空分布的模式演算網格，於空間上均勻分布，各測站間於南北向及東西向之相隔距離皆為 2.5 公里，此區域內各候選測站位置詳見**圖 41**。各測站所轄覆蓋面積則定義為以測站為中心點，往東西南北方向各延伸 1.25 公里的正方形區域面積。各測站之覆蓋人口數則依據三鄉鎮內，各村里的統計人口數進行估算。假設各村里內的人口皆均勻分布居住於村里中，則可根據村里總人口數及村里面積計算各村里人口密度，再依據各候選測站所轄面積以及相對應之村里人口密度，計算此測站的覆蓋人口總數，即可得目標式(1)中之 $POP U_i$ ，其分布如**圖 42**所示。

若沿用既有的規劃，於此三鄉鎮內配置總數為五站的空氣品質監測站，亦即優化模型中 $N=5$ ，待定的參數則為多目標函數式(6)中，目標式(1)及式(2)的權重因子 $W1$ 及 $W2$ 。圖 43 為三種權重因子組合下，優化模型計算所得之最佳監測站位置分布圖。其中，優選測站以正方形標示；測站總數 $N = 5$ ；區域內特殊性工業區空氣品質監測站以三角形標示；行政院環保署空氣品質測站以星型標示。當人口權重因子 $W1 = 0.8$ 、測站差異性權重因子 $W2 = 0.2$ （圖 43a），所選定的測站集中於人口稠密區，總覆蓋人口數約可達一萬八千餘人；當 $W1 = 0.4$ 、 $W2 = 0.6$ （圖 43b），所選定的測站位置則略為分散，總覆蓋人口數為一萬五千餘人；當 $W1 = 0.1$ 、 $W2 = 0.9$ （圖 43c），所選定的測站差異性最大，能較完整地監測此空間範圍內污染物時空分布的情況，然而總覆蓋人口數為最低，僅有一萬一千餘人。

若以兼顧覆蓋人口數與測站差異性為考量，在固定的權重因子之下（ $W1 = 0.4$ 、 $W2 = 0.6$ ），增減設置之測站總數，其選址結果則如圖 44 及圖 45 所示。其中，圖 44 優選測站以正方形標示；人口權重因子 $W1 = 0.4$ 、測站差異性權重因子 $W2 = 0.6$ ；區域內特殊性工業區空氣品質監測站以三角形標示；行政院環保署空氣品質測站以星型標示。而圖 45 圖中橫軸為測站總數 N ；左方縱軸為可覆蓋之人口總數量 $\sum_i^N POPU_i$ ；右方縱軸為測站差異性指標總和 $\sum_{i,j}^N d_{i,j}/d_{max}$ ；人口權重因子 $W1 = 0.4$ 、測站差異性權重因子 $W2 = 0.6$ 。當設置之空氣品質監測站的數量愈多，可覆蓋之人口總數愈高、對於區域內之整體資訊的監測掌握度也愈高。

6.4 結論與建議

本章節中利用資料座標系統之轉換進而建立的監測站優選模式，嗣後若欲增加其他各式污染物於模式中，則僅需另外計算該污染物濃度分布的時間序列相關性及頻譜相關性，並依序加入資料座標系統之統御方程式裡即可，相當便利於後續模式針對各式指標污染物之擴充。此外，此監測站優選模式目前以覆蓋人口數及測站差異性為目標函數，基於各式計算與探討可知，在此多目標系統規劃的決策中，無法同時達到各個目標分別的最佳化，僅能權衡輕重，在各目標之間進行折衷與抵換。若以同時兼顧覆蓋人口數與測站差異性為考量，並在監測站設置成本的限制下，建議可依據本章節之優選結果，在適當的地點逐一增設空氣品質監測站，將可提高對於區域內整體空氣品質資訊的監測掌握度，並可提供更具體詳實的資訊供區域內的居民參考。根據優化模型的計算結果（圖 44），建議在麥寮鄉可增設一至二個空氣品質監測站，可分別選址於圖中的候選測站編號 34、以及測站編號 32 與 36

之間，以提供更即時確切的區域空氣監測資訊給居住人口密度較高的麥寮鄉民參考；至於台西鄉及東勢鄉的優選測站位置，則與目前既有測站相距不遠，若無其他特殊考量與目的，則建議維持原有測站之監測規劃即可。

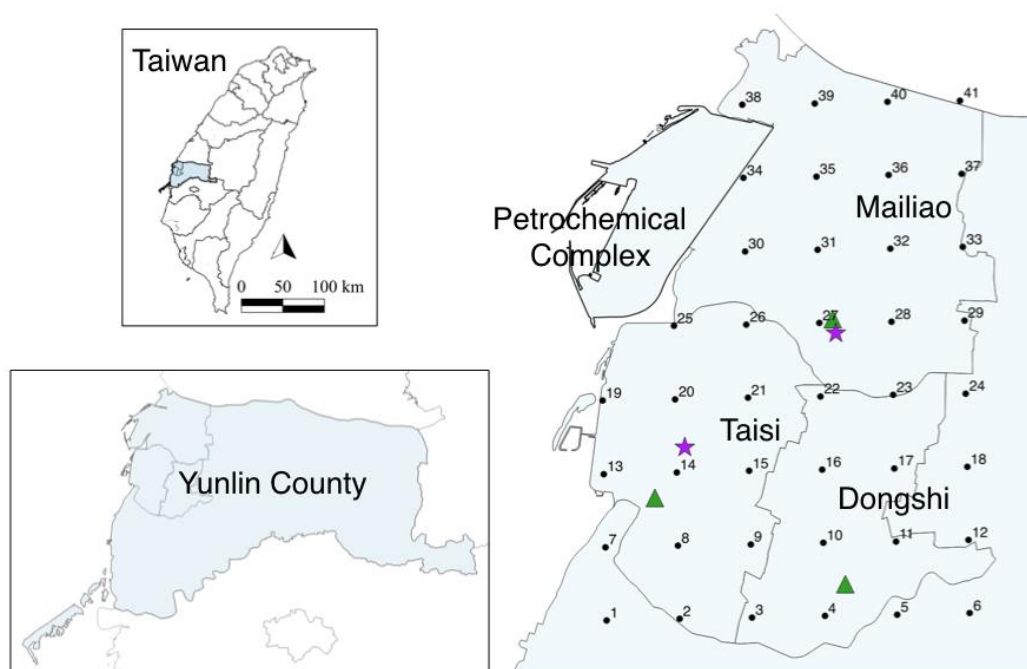


圖 41 離島工業區與鄰近三鄉鎮之地理位置圖

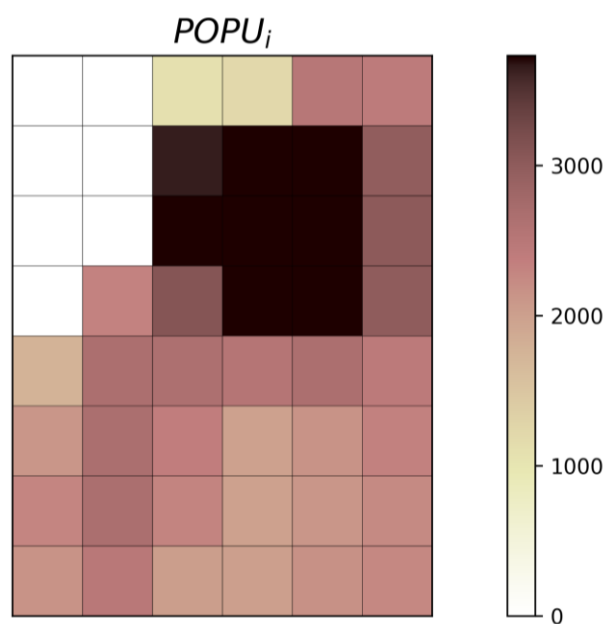
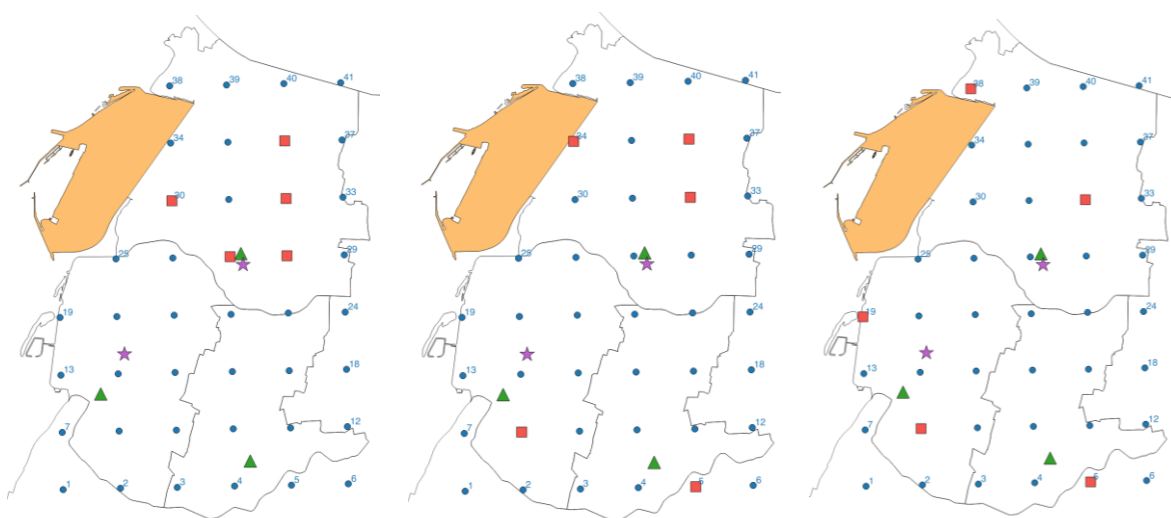


圖 42 優化模型之候選測站所轄面積對應網格內的覆蓋人口總數分布示意圖（單位：人）



(a) $W1 = 0.8, W2 = 0.2$ (b) $W1 = 0.4, W2 = 0.6$ (c) $W1 = 0.1, W2 = 0.9$

圖 43 優化模型計算所得之測站位置分布圖：(a)人口權重因子 $W1 = 0.8$ 、測站差異性權重因子 $W2 = 0.2$ ；(b) $W1 = 0.4, W2 = 0.6$ ；(c) $W1 = 0.1, W2 = 0.9$

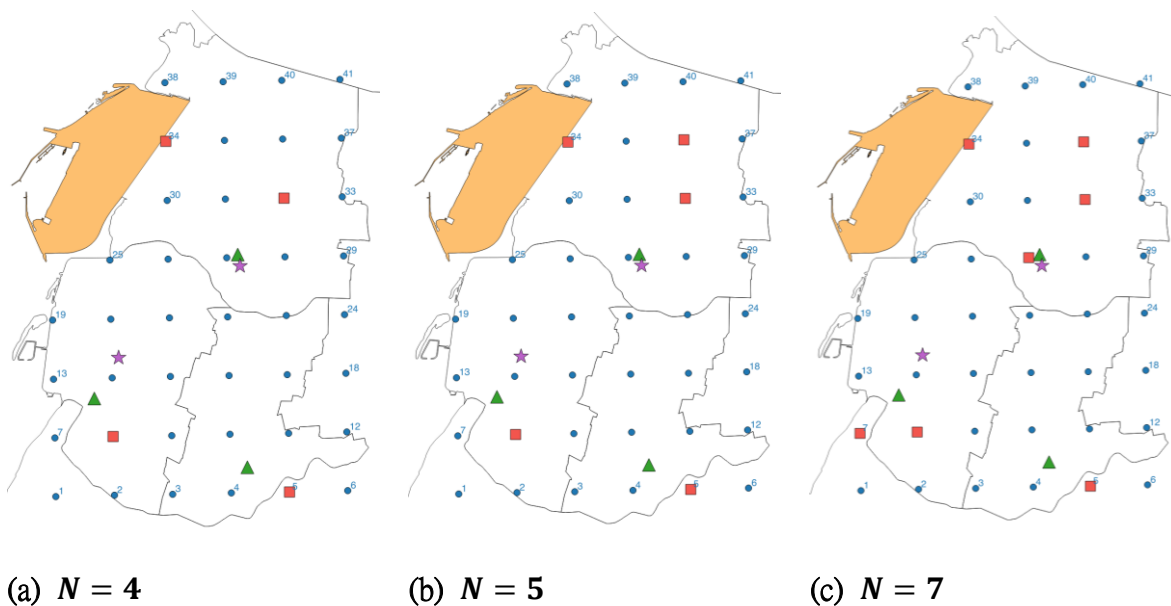


圖 44 優化模型計算所得之測站位置分布圖：(a)測站總數 $N = 4$ ；(b) $N = 5$ ；(c) $N = 7$

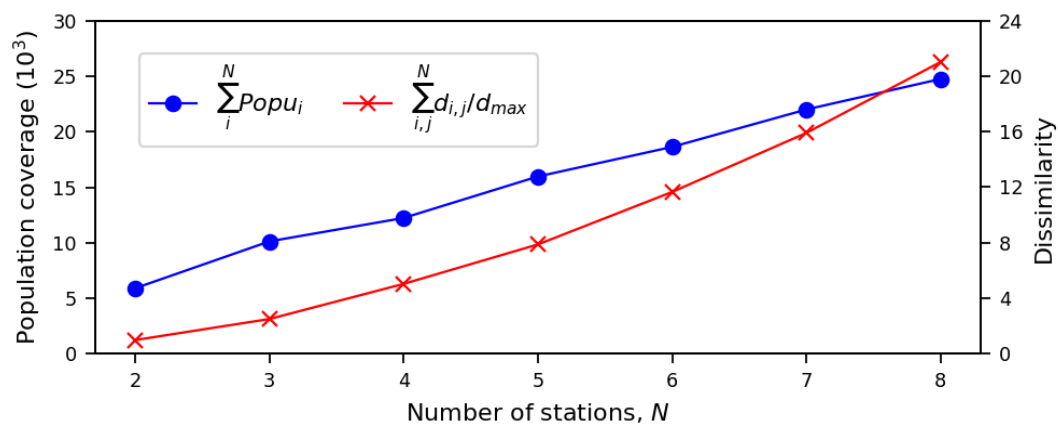


圖 45 優化模型於固定權重因子、不同測站總數下之計算結果

第七章、國內現行健康風險評估模式及方法比較

7.1 健康風險評估技術規範與建議模式

健康風險評估技術規範是根據行政院環保署於民國 100 年為使開發單位進行危害性化學物質之健康風險評估作業時，有一致之步驟與方法而訂定之規範。開發單位應依此規範就營運階段可能運作或運作時衍生之危害性化學物質，辦理開發行為影響範圍內居民健康之增量風險評估。規範中所稱危害性化學物質，係指行政院環保署、相關機關或國際環境保護公約公告或定期修正之最新清單所列者。規範中也指出健康風險評估作業應包括「危害確認」「劑量效應評估」「暴露量評估」及「風險特徵描述」等四部份。對於暴露量評估所需的大氣擴散模擬應依據空氣品質模式模擬規範及空氣品質模式評估技術規範之規定進行，氣象資料應選擇距離開發區域較近或與開發地點相似之中央氣象局或民航局所屬氣象觀測站提供者，並應以近五年氣象資料進行擴散模擬。而經由地下水及土壤污染暴露所致之健康風險評估，亦應依據土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰寫指引之規定進行。

在「危害確認」部份中的排放量確認建議參考以下方法：

1. 直接量測法：以檢測方法實地測得危害性化學物質的濃度值及廢棄物流量值（單位時間體積值或質量流率值），兩值之乘積為危害性化學物質單位時間排放量計算值。
2. 質量平衡法：製程中輸入之危害性化學物質質量流率值減掉輸出質量流率值及危害性化學物質於製程設備中累增或減失量後所計算出之差值即為危害性化學物質的排放流率值，再經單位時間換算得到排放量計算值。
3. 排放係數法：已知製程之危害性化學物質各運作元件運作量與其排放係數值之乘積，即為該製程之排放量計算值。
4. 經驗方程式法：將危害性化學物質之物理、化學特性參數代入可用以估算之數學方程式，以計算出其排放量計算值。
5. 其他可估算之方式。

並以直接量測法為最優先，質量平衡及排放係數法次之，經驗方程式及其它可估算之方式再次之。

在「劑量效應評估」部份，步驟包含依據實驗或調查資料進行劑量與應效相聯性評估、利用外插法進行劑量效應評估等兩個步驟。評估種類有分為線性與非線性，

各自用於估算斜率因子(Slope Factor, SF)與參考劑量(Reference Dose, RfD)、參考濃度(Reference Concentration, RfC)等安全值。在規範中有提出找尋 SF 或是 RfD、RfC 的方法並提供美國環保署綜合風險資訊系統、美國能源署風險評估資料管理系統等七個常用之毒理資料庫供查詢。

在「暴露量評估」部份，工作項目包含暴露族群之界定、大氣擴散模式及多介質傳輸模式選擇與模擬、環境介質（空氣、飲水、食物、土壤、底泥等）中危害性化學物質之濃度推估、暴露情境之選擇、急毒性之暴露評估、暴露參數之選擇、總暴露劑量之推估。空氣擴散模式建議使用 BLP、CALINE3、CDM2.0 等 11 種模式。土壤及地下水傳輸模式則依不同傳輸途徑有 Jury-Infinite Source、ISCST 3、LEACH、AT123D、VADSAT 等多種模式。而多介質傳輸模式則有 Fugacity、MEPAS、MMSOILS、MULTIMED、3MRA、TRIM 共 6 種建議使用的模式。在暴露劑量推估依據吸入、食入及皮膚吸收三種暴露途徑分別推算。各推算公式所需之各種暴露參數應引用行政院衛生署國民健康局公布之「台灣一般民眾暴露參數彙編」或行政院環保署公布之「土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰寫指引」參數資料。若引用其他參數時，應詳細說明參數來源、使用之數值與數值合理性。

在「風險特徵描述」部份，提供了不同風險度數值之表示之方式與判斷風險度之顯著性（significance of the risk）的完整架構。在不確定性評估中應詳述評估過程所作的假設是否合乎科學，有包含那些不確性模式、參數、與情境，及其對評估結果的影響。規範建議風險度數值之表示之方式可用以下三種方式之一或綜合二種以上之方式表示：

1. 單位風險度
2. 劑量相當於某一給定之危險程度
3. 個體及族群的風險度

風險度數值之估算則包含以下三種方式：

1. 致癌風險度
2. 慢性非致癌風險度
3. 急性非致癌風險度

規範建議在不確定性評估中，風險的不確定性及變異性可使用數值分析的方法蒙地卡羅模擬法（Monte Carlo simulation），整體架構則包含以下程序：

1. 確認評估執行之適宜性

2. 事先排除較不重要的因子
3. 選擇參數的分布
4. 進行蒙地卡羅計算
5. 風險值分布觀察及判定

整個規範讓風險評估者了解健康風險評估報告的適用性與適用範圍，在未來執行時能有參考的依據。

7.2 現行機關所使用之模式比較

本計畫收集國內外針對工業區執行健康風險評估報告資料配合國內行政院環保署公告之風險評估技術規範，比較本計畫所使用之模式與國內現行法規之差異並同時比較與國內外執行健康風險評估報告中所使用之模式之差異狀況。目前本計畫蒐集到國內的健康風險評估報告與模式比較如下表 47 所示。

表 47 現行機關健康風險評估報告與模式比較

計畫名稱	排放量推估	大氣擴散模式	多介質模式
健康風險評估技術規範	5種建議方法	依照空氣品質模式評估技術規範	6種建議模式
雲林離島式基礎工業區環境與居民身體健康之風險評估研究	*係屬流病資料蒐集與評估計畫內容、未執行模式模擬工作		
六輕計畫附近居民健康風險評估	*係屬流病資料蒐集與評估計畫內容、未執行模式模擬工作		
97年度空氣污染對沿海地區環境及居民健康影響之風險評估規劃第1年計畫研究報告	*係屬流病資料蒐集與評估計畫內容、未執行模式模擬工作		
104年中部科學工業園區台中園區擴建用地開發計畫健康風險評估報告	直接量測法	ISC3	HRA
101年臺中市中部科學工業園區與臺中港特定區有害空氣污染物健康風險評估計畫	直接量測法	ISC3	HRA
中部科學工業園區第三期發展區開發計畫健康風險評估報告	直接量測法	ISC3	HRA
101年林園石化工業區鄰近區域居民健康風險評估計畫	直接量測法	ISC3	HRA
100年度沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫期末報告使用模式與方法比較	直接量測法	ISC3	-
(100~105年)六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫書	直接量測法 +排放係數法	ISC3	HRA
104年度沿海地區健康風險評估計畫	貝氏統計模式排放量逆回推法	AERMOD	CalTOX
106年度沿海地區健康風險評估計畫(本計畫)	CMAQ DDM 3D Source apportionment	CMAQ	CalTOX

7.2.1 排放量推估方法比較

在健康風險評估技術規範之附件一危害確認中指出在進行排放源、排放途徑及排放量之確認需執行排放源確認與排放量確認兩個步驟。排放源確認的原則是

依據製造流程，在危害性化學物質可能經過途徑，先將所有設備列成排放源，再利用相同既存製程以檢測方式，或以工程經驗判斷該設備是否為排放來源。而一般評估時會將工廠中逸散性空氣污染源、煙囪或點源排氣、廢水污染源固體、污泥及液體廢棄物以及意外洩漏均納入可能之排放源。排放量確認則提供 5 個方法種類。

回顧過去工業區所執行的健康風險評估報告中排放源確認的部分，多是以廠區內廢氣燃燒塔、排放管道、設備元件、儲槽、裝載設備、污水處理設施、冷卻水塔等項目做為可能排放源的假設。再對上述之可能排放源進行實地檢測以得到化學物質的排放係數資料，最後以實地測得化學物質的濃度值及廢棄物流量值之乘積做為化學物質單位時間排放量的估計值。

本計畫估算排放量考慮到上述方法估算之結果缺乏實際環境濃度資料的驗證，難以檢討排放量推估結果的準確性與代表性，另外技術規範中提到意外洩漏的部分在過去的報告中均未納入排放量推估的假設，因此本計畫推估離島工業區化學物質的排放量是以沿海地區環境監測濃度資料來推估。由於環境監測資料實際反應了離島工業區化學物質的實際排放情況，所以用環境監測濃度資料來推估的排放量除了可以包含工業區中廢氣燃燒塔、排放管道、設備元件、儲槽、裝載設備、污水處理設施、冷卻水塔等過去計畫都有考量的排放源外，同時也包含工安意外發生時意外洩漏的排放量。

本計畫在推估化學物質排放量的部分會比過去風險評估報告的方法更貼近實際排放量，但由於意外洩漏的排放位置、排放量等排放係數並沒有完整的資料在評估時參數的不確定性會影響推估的結果，本計畫利用反距離平方法配合質量平衡法進行排放量的推估，利用環境監測濃度數據(例如台西光化測站、雲林石化監測車)以降低推估之不確定性。

7.2.2 大氣擴散模式比較

風險評估技術規範第八項明列暴露量評估所需大氣擴散模擬，應依據空氣品質模式模擬規範及空氣品質模式評估技術規範之規定進行，且氣象資料應選擇距離開發區域較近或與開發地點相似之中央氣象局或民航局所屬氣象觀測站提供者，並應以近五年氣象資料進行擴散模擬。而空氣品質模式模擬規範中所指空氣品質模式類型，包括高斯類擴散模式、軌跡類模式及網格類模式。空氣品質模式評估技術規範中認可之模式與條件如下表 48 所示。

表 48 空氣品質模式評估技術規範中認可之模式與條件

模式名稱	模式適用條件
BLP	煉鋁工廠及點源、線源、簡單地形、鄉村地區，小時至年平均 值之濃度預測
CALINE3 CALINE4	交通運輸（高速公路）、簡單地形、鄉村或都市地區一小時至 24 小時之污染物濃度預測
CDM 2.0	點、線源、平坦地形、都市地區，長時間(一個月以上)之濃度 預測
RAM	點、面源、平坦地形、都市地區小時到年平均 值之濃度預測
ISC2 ISC3	點、面、線、體源、平坦或簡單地形、鄉村或都市地區小時至 年平均 值之濃度預測
MPTR	點源、簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均 值之濃度預測
CRSTER	單一點源、簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均 值之濃度 預測
UAM	都市地區臭氧問題之模擬，只能模擬小時平均值
OCD	海岸地區污染源之模擬，為個案式的模擬
EDMS	評估軍用飛機基地及一般飛機場的污染物擴散模擬，可用來模 擬固定油槽等點源及移動性污染源、簡單地形、傳輸距離小於 50 公里，小時至年平均 值之濃度預測。
CTDMPLUS	複雜地形之高斯點源模擬、鄉村或都市地區小時至年平均 值之 濃度預測

依照空氣品質模式評估技術規範(1996)中認可之模式過去健康風險評估報告中是使用 ISC3 大氣擴散模式，ISC3 大氣擴散模式屬於高斯類擴散模式，可模擬估算點、面、線、體源、平坦或簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均
值之濃度，因此可適用於健康風險評估。

但 2005 年 11 月美國環保署法規模式中 ISC3 大氣擴散模式已被列為備選模式並在公告以 AERMOD 取代之。在本團隊過去的計畫中大氣擴散模擬也曾採用 AERMOD。AERMOD 為高斯擴散模式以穩定之高斯煙流為基礎，假設連續排放之污染源，在大氣中經過擴散、稀釋、沉降等作用，到達穩定的狀態。煙流內部污染物濃度的分布狀況以中間主軸方向濃度最高，而在垂直於風向之水平面及垂直面二邊則以高斯分布之原則進行擴散。USEPA 在模式中針對地表排放、高處排放在簡單與複雜地形等於行星邊界層紊流結構等狀況而有不同的煙流擴散。由於必須排除背景濃度，AERMOD 結果無法與現有觀測比較達到與監測互補的目的。此外，AERMOD 為模擬增量的模式，其無法考慮背景濃度與境外移入的影響，原則上模擬結果無法與觀測值做比較。此外 AERMOD 氣象場輸入只能採用單一氣象站資料，但由於氣象站資料有限，其模擬結果僅考慮了單一氣象資料，並無法完整的考慮所有資料。

相對於前述，本次計畫採用的 WRF (Weather Research and Forecasting) 搭配 CMAQ-DDM-3D (Community Multiscale Air Quality Decoupled Direct Method in Three Dimensions) 方法，則能考慮研究區域內外的資料，以完整重建氣象場，並以 CMAQ 模擬考慮了整體大氣環境傳輸的影響，加入遠程排放量，模擬結果則能與觀測值比較，方能判斷時空推估的準確性。

CMAQ 為網格模式求解一組能描述污染物在真實大氣中的形成、傳輸以及命運(包括排放量、氣象、地形以及化學反應之處理)等過程之數學方程式。將真實大氣以網格劃分(包括水平網格與垂直網格)，並假設每個網格內的物理、化學特性均一致，最後針對每網格求解其數值解，由此即可獲得污染物濃度在空間上的分布及其隨時間的變化情形。USEPA 以美國排放清冊(NEI)模擬值直接與觀測值比較 $R^2=68\%$ 而以排放量修正後是 $R^2=89\%$ (Napelenok et. al., 2008)。

在電腦運算效能提昇的狀況下使用 CMAQ 模擬空氣品質有逐年增加的趨勢。CMAQ2010 後每年都有 400 篇以上的文獻使用 CMAQ 作為研究基礎，而其中有 39 篇與健康議題有關。Google scholar 顯示在引用數量方面，在 2010 後有 11400 篇文獻提及 CMAQ、4460 篇文獻提及 AERMOD。

2006 年，USEPA 與 NOAA 合作使用 CMAQ 推估苯(BENZENE)與甲醛(FORMALDEHYDE)呼吸暴露並結合 AERMOD 評估 CMAQ 模擬格點內變化 (Isakov et al, 2006)。

在 2018 年，USEPA 更以 CMAQ-AERMOD 連結使用進行空氣毒物評估，利用 CMAQ 的結果幫助 AERMOD 遵守質量守恆(USEPA, 2018)。

CMAQ 模式可以針對各個輸入資料分析不確定性並改善。例如，氣象資料的修正與生物源的模擬等。由於 CMAQ 已經廣泛的被採用，CMAQ 模式的物理與化學反應機制已經受到反覆的檢驗，雖然仍與實際存在有差距但以能解釋大部份污染物濃度變化。

7.2.3 多介質傳輸模式比較

多介質傳輸模式可根據化學物質的特性和地理資訊模擬化學物質在不同環境區域的分布情況並提供量化的概念。多介質傳輸模式始於 Gillett 等人為追蹤殺蟲劑環境宿命，於 1974 年所提出多介質空間區(compartmental)概念的應用，爾後陸續有許多的研究者，投入多介質概念應用的研究。

從傳統的空間多介質傳輸模式，以當時現有的單一介質模式，直接串聯而成的多介質傳輸模式，由於串聯的模式並沒有經由適當的邊界條件以計算介質間的傳輸，故常會忽略環境介質間的傳輸回饋(Transport Feedback)。因此，為改善空間多介質傳輸模式缺乏介質間之質量守恆的缺點，後續有研究者假設污染物在所有環境介質均為完全混合，並發展出均勻介質模式(Uniform models)，代表性的模式有：1986 年發展的 GEOTOX 模式及 1991 年 Mackay 的人發展的 Fugacity 模式等(鄭，2007)。Karin Wiberg 於 2007 年提出在評估一地區的風險和訂定相關改善政策時，找到一個應用廣泛且具預測性的風險評估工具事必要的，並列出五個歐洲過去曾經用以執行區域性或地方性汙染廠址風險評估的多介質傳輸模式，包括 Swedish model、Contaminated Land Exposure Assessment Model、CSOIL Model、European System for the Evaluation of Substances (EUSES) 以及 CalTOX，五種模式皆是利用物質的基本物化特性以及環境特性參數計算化學物質在環境不同區間的分布情況且皆有考量到多種直接與間接的暴露途徑。CalTOX Model 在 1991 年由加拿大多倫多大學化工系 Mackay 教授依 f(逸壓)之觀念發展出來的逸壓模式所改良建立，逸壓模式考量的介質包含空氣、水體、土壤及沈澱物等共四個介質，利用逸壓(f)結合傳輸係數(D)，推導出污染物在各介質之質量守恆方程式，藉由此系統方程式求解污染物於上述四個介質中的濃度分布。

國內現行行政院環保署所公告之健康風險評估技術規範中建議的多介質傳輸模式有 Fugacity(逸壓) 多介質傳輸模式、MEPAS 多介質傳輸模式、MMSOILS 多介質傳輸模式、MULTIMED 多介質傳輸模式、3MRA 多介質傳輸模式、TRIM 多介質傳輸模式。另外上述的多介質傳輸模式中多為免費下載使用之公開軟體，只有 MEPAS 多介質傳輸模式需要付費使用。國內外以 Fugacity 多介質傳輸模式為概念的相關模式陸續建立發展，陳守憲(1998)、鄭光榮(2007)將 Fugacity 模式與多介質人體暴露模式(MMTD)整合，建立污染物宿命與風險評估整合系統，並模擬大台北地區戴奧辛於空氣、水、土壤及底泥之分布狀況及風險評估。Mckone(1993)發展之 CalTOX 模式亦是以逸壓之觀念發展出來的逸壓模式所改良建立。Fugacity 多介質傳輸模式是利用化學物質之逸能關係作為介質間的分布情形作為預測其中以 CalTOX 為最廣泛使用的 Fugacity 多介質傳輸模式由於 CalTOX 模式能夠估算污染物於介質間傳輸的情形還建構人體暴露污染土壤介質的濃度會隨時間作變化的情境。模式考量的暴露途徑較其他傳輸模式納入的數量較多，故作者認為 CalTOX 模式是一個適合用於預測化學物質在環境介質分布情形的良好預測工具。

CalTOX 模式有 7 個不同環境介質之有害廢棄物廠址之多介質總暴露模式，其主要將土壤介質分為三個部分：表土、根部及地下水位以上之土壤。此模式為加州環保署為了評估危害物質對人體造成的健康風險所建構的，並期望能夠改善風險管理者評估過程的準確性。它將環境分成七個區塊呈現物質流佈情形，包含空氣、植被、表面土壤、根土、滲流土、表面水以及底泥。其中，空氣、表面土以及表面水被視為有持續性污染的排放源，而根土和滲流土等較深層的區域則是從表面土的污染垂直傳輸下來。模式利用 Fugacity 原理敘述有機物質或無機物質在不同區塊間的質量變化，此模式適用預測化學物質在大環境傳輸情形及宿命的因素有二：

1. 每個區塊視為一個單位，可平衡歸因於排放源之獲得(gains)及失去(loss)、轉移自其他區塊的、轉移到其他區塊或是物理/化學性轉換。
2. 每個區塊可根據熱動力學理論評估化學物質分配情形。

綜合以上兩點，CalTOX 模式可幫助了解區塊內的分配情形是如何影響區塊間的分布情形。

Yen-chuan Chen (2006)比較三種常用於作地區性風險評估之多介質傳輸模式，MEPAS、MMSOILS 及 CalTOX 等模式，運用三個模式結合蒙地卡羅法實際以一地下水污染之案例作模式間的比較分析，以敏感度分析及不確定性分析辨識出此

案例中對於風險計算之重要參數，並依模式是否納入相關暴露途徑作為模式適合與否之依據，比較後以 MEPAS 及 CalTOX 為較佳的模式選擇，可降低 36.4% 之選擇模式造成的不確定性。

CalTOX 為建議之多介質傳輸模式中較完整的模式，且其模式軟體使用方式簡單便利，CalTOX 模式之方便性在於使用者選定一欲模擬之特定化學物質即不需再額外輸入化學物質特性參數，且模式內建美國 65 個地區之地區地理特性參數以及各年齡層之人類暴露參數可供選取，使用者選擇完模擬情境後只需輸入空氣、土壤以及表體水的化學物質輸入量(input)，CalTOX 模式即可計算出目標對象所承受之致癌風險以及非致癌風險。

第八章、結論與建議

8.1 結論

8.1.1 環境及毒物資料建置

1. 本計畫蒐集離島工業區附近之環境、毒理資料與相關文獻，整理數化後匯入並建置環境與毒理資料庫以透過資料平台展現
2. 包括環境資料如氣象資料、特殊性工業區資料、歷年石化監測車資料與多介質資料等；毒理資料如各化學物之健康效應、暴露法規標準、生物檢測、毒理動力學和作用機制等
3. 報告書部份共 240 筆，資料集部份共 59 筆。包含六輕環評相關監測資料與期末報告、空氣品質、空氣污染相關監測資料、氣象資料、地下水水質、土壤重金屬監測、相關生態研究、毒理資料、健康風險評估文獻回顧等等。蒐集之年份涵蓋 2002 年 2017 年
4. 本計畫比對離島工業區及附近環境污染物排放及製程相關資料建立之有害化學物質清單，選定健康風險評估的 IARC-2B 級以上揮發性有機化合物物種包含氯乙炔、1,3-丁二烯、1,2-二氯丙烷、苯、三氯乙炔、二氯甲烷、四氯乙炔、三氯甲烷、乙基苯、異丙苯、異戊二烯、苯乙烯、1,2-二溴乙烷、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、四氯化碳共 16 種化學污染物

8.1.2 沿海地區擴散模擬結果

1. 本計畫發展以 CMAQ 大氣擴散模式為主之排放量推估架構，結合 CalTOX 模式發展多介質有害物質暴露模式推估架構，對於暴露濃度模擬進行相關校正以及多介質濃度推估，進而進行多介質健康風險評估
2. 本計畫對於 CMAQ 的驗證採用空品測站觀測數據，結果顯示模式模擬機制能夠解釋大部份的濃度變化，以模擬一整年的污染物濃度變化之結果應可解釋平均小尺度之濃度變化
3. 本計畫發現，排放量推估及其相對應之濃度推估不確定性與資料時空間分布息息相關，而觀測值的不足與極端排放量時敏感量與濃度的非線性關係仍對推估造成一定的影響。

4. 本計畫完成 IARC 2B 級以上 16 種污染物逐時空氣濃度推估並針對這些污染物進行多介質暴露濃度推估及不確定性分析並分別進行一般與敏感族群之致癌與慢性與急性非致癌健康風險評估

8.1.3 健康風險評估結果與不確定性

1. 本計畫執行之健康風險評估結果，16 種化學物質之終生致癌風險之中位數範圍在 2.71×10^{-11} 到 3.02×10^{-6} 之間；終生致癌風險之第 95 百分位數範圍在 2.65×10^{-9} 到 4.13×10^{-4} 之間，整體來說，因各污染物於台西鄉之總暴露濃度相較於麥寮鄉略高，有因此健康風險中位數較高，但因計算之不確定性，因此並無顯著差異
2. 非致癌風險部分，以危害因子進行評估，16 種化學物非致癌 HI 評估結果之中位數介於 2.04×10^{-7} 到 2.28×10^{-2} 之間，而第 95 百分位數的範圍則介在 1.77×10^{-5} 到 2.66×10^0 之間，在對於急性非致癌風險以每小時或每天之暴露濃度估算短期危害指標，結果在麥寮與台西之 16 項化學物質之 HIst 範圍在 1.20×10^{-4} 到 8.30×10^0 之間
3. 在敏感族群健康風險部分，主要針對台西鄉國小區域受到氯乙烯及苯暴露進行健康風險評估，其中，在致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之終生致癌風險平均值分別為 3×10^{-6} 與 4.99×10^{-7} 、第 95 百分位數分別為 5.19×10^{-6} 與 7.26×10^{-7} ；許厝分校的氯乙烯及苯之終生致癌風險平均值分別為 2.92×10^{-6} 與 5.07×10^{-7} 、第 95 百分位數分別為 5.11×10^{-6} 與 7.43×10^{-7} ，在慢性非致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之 HI 平均值分別為 1.59×10^{-2} 與 9.94×10^{-3} 、第 95 百分位數分別為 2.76×10^{-2} 與 1.45×10^{-2} ；許厝分校的氯乙烯及苯之 HI 平均值分別為 1.55×10^{-2} 與 1.01×10^{-2} 、第 95 百分位數分別為 2.70×10^{-2} 與 1.47×10^{-2} ，在急性非致癌風險部分，橋頭國小的氯乙烯及苯之最高濃度分別為 52.7 與 66.0、HIst 分別為 0.1 與 6.2；許厝分校的氯乙烯及苯之最高濃度分別為 46.9 與 32.0、HIst 分別為 0.1 與 3.0。

而研究區內敏感族群不同國小之學童之健康風險並無顯著差異

8.1.4 空污測站檢討與優選評估結果

1. 本計畫完成建立監測站選址優化模型架構與相關環境污染物之採樣策略，透過污染物濃度之時空分布推估結果，考量監測目的與評估指標，以居民健康做為考量的基礎，加入污染物對於健康影響之相關因子並給予其因子適當之權重。以適合之優選模式將評估指標的限制式參數化，考量目標函數搭配適合之優化演算方法，進行監測站站址空間配置的最佳化
2. 其結果顯示，根據不同的權重調配，當人口權重因子擁有較大權重時，所選定的測站集中於人口稠密區，總覆蓋人口數約可達一萬八千餘人；而當測站差異性權重因子擁有較大權重時，所選定的測站差異性最大，能較完整地監測此空間範圍內污染物時空分布的情況，然而總覆蓋人口數為最低，僅有一萬一千餘人；隨著可增設的站數增加，可覆蓋之人口總數愈高、對於區域內之整體資訊的監測掌握度也愈高
3. 根據優化模型的計算結果，建議在麥寮鄉可增設一至二個空氣品質監測站，可分別選址於麥寮鄉靠西北與偏東位置，以提供更即時確切的區域空氣監測資訊給居住人口密度較高的麥寮鄉民參考
4. 台西鄉及東勢鄉的優選測站位置，則與目前既有測站相距不遠，若無其他特殊考量與目的，則建議維持原有測站之監測規劃即可。

8.1.5 國內現行健康風險評估模式及方法比較

1. 本計畫完成將計畫中所發展之模式方法與國內現行相關機關所用之方法之差異性探討，比較其優缺點與適用情境
2. 討論了行政院環保署所公告之健康風險評估技術規範內容與其建議之模式，並探討現行機關所使用之模式與本計畫模式與方法的差異性
3. 目前本計畫使用的模式包含了 CMAQ 大氣擴散模式與 CalTOX 多介質傳輸模式，皆為國際間主流之模式，並於近年來應用於健康風險評估之

領域。唯模式運算量、參數選用過程、模式理論較健康風險評估技術規範所建議之模式龐大及複雜，納入規範建議時仍應參酌使用

8.2 建議

1. 本計畫礙於 CEMS 之動態資料不完整(僅有部份煙囪排放資料、缺乏本計畫所關注之污染物、時間上有所缺漏)而無法納入本計畫所使用之排放量前處理模式 SMOKE。建議於模式推估部份，宜持續蒐集與整合現有 CEMS 資料，以降低排放量推估之不確定性。
2. 本計畫建議於模式推估部份，可利用衍生物濃度關係，例如：臭氧與其前驅物苯、異戊二烯、苯乙烯物種等方法間接增加觀測數據，以降低推估的不確定性
3. 本計畫建議於有害污染物之健康風險評估部份，持續針對 IARC 2B 以上有害物質進行全面性健康風險評估。
4. 本計畫建議針對暴露評估計算，加強對研究區暴露因子與民眾行為之調查，以更符合實際情況。
5. 針對化學有害物質間交互反應(chemical mixture)之風險評估進行探討，研究其疊加後之綜合風險。
6. 本計畫建議後續模式發展建構可考量當地居民行為，以隨機式人類暴露劑量模擬(Stochastic Human Exposure and Dose Simulation, SHEDS)模式為基礎之多介質暴露模式，以研擬健康風險管理方案。
7. 建議雲林縣環保局根據本計畫健康風險的結果中，針對高於可接受風險的空氣污染物項目執行沿海地區流行病學研究，即可同時由暴露端與受體端的風險結果釐清離島工業區排放之污染物與沿海地區居民健康的關係
8. 建議主管機關研擬修正『固定污染源空氣污染物排放標準』中 1,2-二溴乙烷與三氯乙烯之容許濃度，以期降低沿海地區居民暴露污染物之空氣濃度。
9. 建議未來『固定污染源有害空氣污染物排放標準』草案可優先納入 1,2-二溴乙烷與三氯乙烯此 2 項有害空氣污染物，以期強化管制作為降低對環境危害及沿海地區民眾健康影響。

第九章、參考文獻

1. Air Toxics Assessment Group, USEPA. 2018. 2014 National Air Toxics Assessment. <https://www.epa.gov/national-air-toxics-assessment>.
2. Arbeloa, F. J., Perez, C. C., Latorre, A. P. M. 1993. Air Quality Monitoring: Optimization of A Network Around A Hypothetical Potash Plant in Open Countryside. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics.* 27(5), 729-738.
3. Benis, K. Z., Fatehifar, E., Shafiei, S., Nahr, F. K., Purfarhadi, Y. 2016. Design of a sensitive air quality monitoring network using an integrated optimization approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.* 30(3), 779-793.
4. Daewon Byun, Kenneth L. Schere. 2006. Review of the Governing Equations, Computational Algorithms, and Other Components of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. *Appl. Mech. Rev.* 59(2), 51-77. <https://doi.org/10.1115/1.2128636>.
5. Dravy, W. P., P. J. Ossenbruggem, C. J. Gregory. 1973. Optimization of Urban Air Monitoring Networks. *J. Environ. Eng., ASCE.* 100(3), 577-589.
6. Eder, B., J. Bash, K. Foley, Jon Pleim. 2014. Incorporating principal component analysis into air quality model evaluation. *Atmospheric Environment.* 82, 307-315.
7. Erik S. Houghland, N. Thomas Stephens. 1976. Air Pollutant Monitoring Siting by Analytical Techniques. *Journal of the Air Pollution Control Association.* 26(1), 51-53.
8. Eugene Kim, Philip K. Hopke. 2007. Source Identifications of Airborne Fine Particles Using Positive Matrix Factorization and U.S. Environmental Protection Agency Positive Matrix Factorization. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 57(7), 811-819. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.7.811>.
9. Isakov, V., J.S. Irwin, J. Ching. 2007. Using CMAQ for Exposure Modeling and Characterizing the Subgrid Variability for Exposure Estimates. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 46, 1354-1371. <https://doi.org/10.1175/JAM2538.1>.
10. Jeff Staudinger, Paul V. Roberts. 1996. A Critical Review of Henry's Law Constants for Environmental Applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* 26(3), 205-297.
11. Lani F. Wu, Timothy R. Hughes, Armaity P. Davierwala, Mark D. Robinson, Roland Stoughton, Steven J. Altschuler. 2002. Large-scale prediction of *Saccharomyces cerevisiae* gene function using overlapping transcriptional clusters. *Nature Genetics.* 31(3), 255-65.
12. Luecken, D.J., G. Yarwood, G., Hutzell, W.T. 2019. Multipollutant modeling of ozone, reactive nitrogen and HAPs across the continental US with CMAQ-CB6.

- Atmospheric Environment. 201, 62-72. ISSN 1352-2310.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.060>.
13. McKone. 1993. CalTOX, a multimedia total-exposure model for hazardous-wastes sites. Part 2, The dynamic multimedia transport and transformation model. California Environmental Protection Agency.
14. Michael I Lindinger. 2003. Exercise: a paradigm for multi-system control of acid-base state. The Journal of physiology. 550(2), 334.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.042812>.
15. N.D. Van Egmond, D. Onderdelinden. 1981. Objective Analysis of Air Pollution Monitoring Network Data: Spatial Interpolation and Network Density. Atmospheric Environment (1967). 15(6), 1035-1046.
16. Nakamori, Y., Ikeda, S., Sawaragi, Y. 1979. Design of air pollutant monitoring system by spatial sample stratification. Atmospheric Environment (1967). 13(1), 97-103.
17. Napelenok, S. L., Pinder, R. W., Gilliland, A. B., Martin, R. V. 2008. A method for evaluating spatially-resolved NO_x emissions using Kalman filter inversion, direct sensitivities, and space-based NO₂ observations. Atmos. Chem. Phys. 8, 5603-5614.
<https://doi.org/10.5194/acp-8-5603-2008>.
18. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2009, updated daily. NCEP GDAS Satellite Data 2004-continuing. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.
<http://rda.ucar.edu/datasets/ds735.0/>. Accessed 20171129.
19. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2008, updated daily. NCEP ADP Global Upper Air and Surface Weather Observations (PREPBUFR format), May 1997 - Continuing. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.
<http://rda.ucar.edu/datasets/ds337.0/>. Accessed 20171113.
20. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research,

- Computational and Information Systems Laboratory.
<https://doi.org/10.5065/D6M043C6>. Accessed 20171111.
21. Noll, K. E., Miller, T. L., Norco, J. E., Raufer, R. K. 1977. An Objective Air Monitoring Site Selection Methodology for Large Point Sources. *Atmospheric Environment* (1967). 11(11), 1051-1059.
 22. Noll, K. E., Miller, T. L., Norco, J. E., Raufer, R. K. 1977. An objective air monitoring site selection methodology for large point sources. *Atmospheric Environment* (1967). 11(11), 1051-1059.
 23. Office of Air Quality Planning and Standards. 2003. AERMOD: Latest Features and Evaluation Results. USEPA.
 24. Office of Air Quality Planning and Standards. 2018. Technical Support Document EPA's 2014 National Air Toxics Assessment. USEPA.
 25. OSPAR. 2005. Assessment of trends in atmospheric concentration and deposition of hazardous pollutants to the OSPAR maritime area.
 26. Pradeep Pipalatkari, Vaishali V. Khaparde, Daulat G. Gajghate, Mouktik A. Bawase. 2014. Source Apportionment of PM_{2.5} Using a CMB Model for a Centrally Located Indian City. *Aerosol and Air Quality Research*. 14, 1089-1099.
 27. Sevinc Ozkul, N. B. H., Vijay P. Singh, Fellow, ASCE. 2000. Entropy-based Assessment of Water Quality Monitoring Networks. *Journal of Hydrologic Engineering*. 5(1), 90-100.
 28. USEPA. 2017. CMAQ Decoupled Direct Method in Three Dimensions (CMAQ-DDM-3D). <https://www.epa.gov/cmaq/cmaq-decoupled-direct-method-three-dimensions-cmaq-ddm-3d>. Accessed 20171211.
 29. Yen-chuan Chen, Hwong-wen Ma. 2006. Model comparison for risk assessment: A case study of contaminated groundwater. *Chemosphere*. 63(5), 751-761. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.011>.
 30. 化學物質安全國際計畫(IPCS)。 <http://www.inchem.org>。
 31. 化學品分類及標示全球調和制度(GHS)。 <http://ghs.osha.gov.tw/CHT/intro/search.aspx?cssid=3>。
 32. 行政院環境保護署。2017。強化空氣品質模式制度建立計畫(第二年)。EPA-105-FA18FA18-03-D045 期末報告定稿。
 33. 行政院環境保護署 - 空氣污染排放量查詢系統。 https://teds.epa.gov.tw/new_main2-0-1.htm#%E9%BB%9E%E6%BA%90。

34. 行政院環境保護署-毒災防救管理資訊系統毒化物資料--安全資料。
http://toxiceric.epa.gov.tw/Chm /Chm_index.aspx?vp=MSDS。
35. 行政院環境保護署-毒管處毒理資料庫。
<http://flora2.epa.gov.tw/ ToxicWeb/ToxicUC4/database.aspx>。
36. 行政院環境保護署-健康風險評估技術規範。
<https://oaout.epa.gov.tw/law/LawContent.aspx?id=GL004851>。
37. 美國毒性物質及疾病登記署毒物資料庫。
<http://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp>。
38. 美國勞動部規範。https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/chmn_A.html。
39. 美國環保署空氣毒物網站。<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>。
40. 美國環保署整合風險系統(U.S EPA IRIS)。<http://www2.epa.gov/iris>。
41. 陳守憲。1998。污染物宿命與風險評估與整合系統。淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文。
42. 陳淨修、呂承萱。1990。空氣品質監測網之規劃及配置準則。臺灣環境保護。5，75-87。
43. 景丰科技股份有限公司。2015。104 年度六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫。
44. 曾國雄、江勁毅。1996。空氣污染監測站之最適配置-多目標規劃方法之應用。中國環境工程學刊。6(2)，99-105。
45. 雲林縣環境保護局。2013。102 年度沿海地區敏感族群健康風險評估計畫成果報告。
46. 雲林縣環境保護局。2015。104 年度沿海地區健康風險評估計畫成果報告。
47. 黃冠智。2012。桃園地區自來水重金屬潛在健康風險評估。中原大學土木工程研究所碩士論文。
48. 詹長權。2011。100 年度沿海地區空氣汙染物及環境健康世代研究計畫期末報告。
49. 鄭光榮。2007。都市戴奧辛與多環芳香烴的宿命與風險評估。淡江大學水資源及環境工程學系博士論文。
50. 環醫工程顧問有限公司。2015。104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫。

51. 謝銘儒。1997。工業區空氣品質監測站網多目標分析。國立交通大學環境工程研究所碩士論文。
52. 蘇慧貞、陳秀玲、李俊璋、郭浩然。2004。雲林離島式基礎工業區環境與居民身體健康之風險評估研究。

附 表

附表 1 氯乙烯風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	氯乙烯				
英文名稱	Vinyl Chloride				
CAS NO.	75-01-4	分子式	C ₂ -H ₃ -Cl		
別名	Chlorethene、Chlorethylene、Chloroethene、Chloroethylene、Chlorure DE vinyle (French)、Cloruro DI vinile (Italian)、Ethylene monochloride、Ethylene, chloro-、Monochloroethene、Monochloroethylene、VC、VCM、Vinile (cloruro DI) (Italian)、Vinyl C monomer、Vinyl chloride monomer、Vinylchlorid (German)、Vinyle(chlorure de) (French)、Winyłu chlorek (Polish)、Ethene, chloro-、Troidur、Monovinyl chloride (MVC)				
物理與化學資料(Chemical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	無色氣體或液體	氣味	有醚味	沸點	-13.4 °C
密度/比重	0.9121 (20°C/4°C)	分子量	62.50	熔點	-153.8°C
亨利常數	-----	Log k _{ow}	0.6 (計算值)	蒸氣壓	2,660 mm-Hg(25°C)
水溶性	0.11 g/100g 水 (25°C) (微溶)，可溶於酒精、醚類、四氯化碳、苯、碳氫化合物、油類、含氯溶劑及大多數一般有機溶劑				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽²⁾					
致 癌 性	IARC：Group 1 (對人類有致癌性 Carcinogenic to humans)。 歐盟：Group 1A (已知對人類致癌潛力之物質 Substances known to have carcinogenicity potential for humans)。				
動物 毒性數值	食入	LD ₅₀ 大鼠: 500 mg/kg			
	皮膚接觸	—			
	吸入	LC ₅₀ 大鼠：130000 ppm/2 hour(s)。			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential) ⁽¹⁾					
半生(衰)期	空氣	—	土壤	1. 土壤下 1 公分：0.2 日 (揮發)。	
	地面水	模擬河川：0.805 小時(揮發)。		2. 土壤下 10 公分：0.5 日 (揮發)。	
B C F 值	7。				
使 用	大多使用於製造 PVC，過去當作冷卻劑使用				
人體可能之 曝 露 途 徑	工廠附近居民及工廠內工人主要的暴露途徑是由空氣中吸入氯乙烯，暴露也可能經由口服攝入被污染的食物及化妝品塗抹在皮膚上而吸收。				
暴露標準與規定(Exposure Standards & Regulations) ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾					
1. U.S OSHA 標準：PEL-TWA= 1 ppm；台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=3 ppm，13 mg/m ³ 。					
2. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV)：					

- (1) TWA 為 1 ppm。
- (2) STEL 為 5 ppm。

急救處理(emergent management) ⁽⁴⁾

不同暴露途徑之急救方法:

食入: 1.實際工作沒有此情況發生的報告。
 吸入: 1.施救前先做好自身的防護措施,以確保自己的安全。 2.移走污染源或將患者移到新鮮空氣處。 3.呼吸停止,立即由受過訓練之人施以人工呼吸;若心跳停止施行心肺復甦術(避免口對口)。 4.立即送醫。

眼睛接觸: 1.立即將眼皮撐開,用緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛 20 分鐘。 2.立即送醫。

皮膚接觸:1.儘速用緩和流動的溫水沖洗患部 10 分鐘以上,使凍傷部位暖和起來。2.沖洗時小心切掉黏在受傷皮膚附近的衣服,並除去其他外衣。若皮膚凍傷,請勿摩擦傷口或直接用溫水沖洗傷口也請勿試著將傷口上的衣物除去。3.立即送醫。

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure) ⁽⁴⁾

氯乙烯可在人的尿液、身體細胞、呼出之氣體偵測到,但此檢測方法必須於暴露後短時間內立即進行分析,且此方法無法檢測出低量暴露的情況,目前尚無沒有可靠的整體暴露指標物

毒理動力學(Toxicokinetics) ⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption) :

吸入或是攝入氯乙烯均快速被吸收並轉換成水溶性的代謝物快速從尿液排出,在低劑量下,主要以代謝物型態由尿液排出;高劑量下除了從尿液,氯乙烯本身也會由呼氣排出,故氯乙烯和其代謝物比較不可能累積在體內

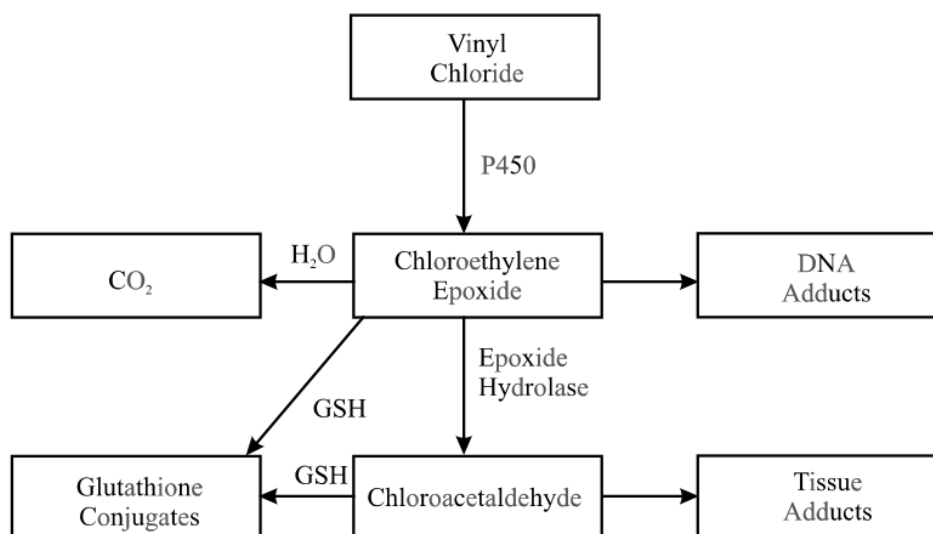
1. 主要途徑為吸入暴露
2. 在人體實驗研究表示,當暴露在 2.5ppm~23ppm 保留在肺部的約為 27~42%

分佈(distribution) :

大鼠實驗顯示,氯乙烯分佈快速且廣遍佈全身,最高濃度集中在肝臟跟腎臟,其次是脾和肺,但因其代謝、排出快速,因此儲存在體內的氯乙烯有限

代謝與排出(metabolism & excretion) :

主要在肝臟轉換, P450 被乙醇、Phenobarbitone、polychlorobiphenyls 誘發,讓氯乙烯可變成氯乙烯環氧化物,環氧化物不穩定會再進一步變成氯乙醇和單氯乙酸,氯乙烯環氧化物、氯乙醛、單氯乙酸為氯乙烯主要毒理代謝物。在人尿液中的代謝物主要是硫代二乙酸,但是無法用來代表氯乙烯的暴露情形,因為硫代二乙酸敏感度極低,在一般濃度下變動範圍大。



圖一、氯乙烯的代謝機制

作用機制(Mode of Action) ⁽⁸⁾

像其他氯化碳氫化合物，氯乙烯可能造成抑制中樞神經系統、心律不整，也由於氯乙烯氧化物是高反應代謝物，會造成突變與致癌效應。氯乙烯環氧化是代謝過程關鍵的步驟，能與 DNA 共價的程度遠地低於飽和極限，這也解釋了腫瘤會在氯乙烯低濃度下被誘發。

健康效應 (Health Effect) ⁽⁴⁾

急性效應：

1. 人吸入高濃度的氯乙烯會影響中樞神經，導致頭暈、嗜睡、暈眩昏倒，甚至可能導致死。
2. 氯乙烯會輕微地刺激眼睛和呼吸道
3. 極高濃度的氯乙烯會導致失去意識、刺激肺與腎、抑制血液凝結(人)、心律不整(動物)
4. 小鼠實驗顯示，氯乙烯在呼吸暴露有高度的急性毒性

慢性效應 (非致癌)：

1. 食入與吸入可能造成肝臟傷害
2. 流行病學研究顯示職業工人罹患肝癌、腦癌、肺癌，以及血癌的風險增高
3. 影響中樞神經系統(頭暈、頭痛、嗜睡、虛弱、視覺和聽覺失調、睡眠失調、失憶)、周邊神經系統(周圍神經病變、刺痛、麻木、虛弱、手指疼痛)
4. 職業暴露高濃度的氯乙烯會有一系列”氯乙烯症”，最常見的是雷諾氏現象(暴露在寒冷下，手指會變白、麻木)，手指骨頭末端、關節、肌肉疼痛及變得像硬皮症(薄皮膚、失去彈性、些微水腫)

※ RfD = 0.003 mg/kg/day 、RfC = 0.1 mg/m³

生殖/發展效應：

1. 流行病學研究中表示懷孕婦女暴露於氯乙烯會增加早產的發生率
2. 在 12 個月低劑量的大鼠實驗中，氯乙烯會造成睪丸傷害，造成男性生殖力下降
3. 在動物實驗中，吸入氯乙烯，會胎兒體重降低和先天缺陷

致癌風險：

1. 吸入氯乙烯最增加肝臟血管肉瘤和肝癌的發生率
2. 越早暴露到氯乙烯有越高的肝癌發生率
3. 呼吸暴露下，每增加 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的氯乙烯，會增加 $8.8 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ 終生危險

(Inhalation unit risk= $8.8 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$)

4. 口腔的癌症斜率為 $1.5 (\text{mg}/\text{kg}/\text{d})^{-1}$
(Oral CFS= $1.5 (\text{mg}/\text{kg}/\text{d})^{-1}$)

附表 2 三氯甲烷風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	三氯甲烷(氯仿)				
英文名稱	Chloroform				
CAS NO.	67-66-3	分子式	C-H-Cl ₃		
別名	1. Formyl trichloride 2. Methane trichloride 3. Methane, trichloro- 4. Methenyl chloride 5. Methenyl trichloride 6. Methyl trichloride 7. NCI-C02686 8. TCM 9. Trichloroform 10.Trichloromethane				
物理與化學資料(Chemical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	透明無色之液體	氣味	無刺激味乙醚味	沸點	61.17°C
密度/比重	1.4888 (20°C/4°C)	分子量	119.39	熔點	-63.41°C
亨利常數	3.67X10 ⁻³ atm- cu m/mol (24°C)	Log k _{ow}	1.97	蒸氣壓	197mmHg (25°C)
水溶性	0.8 g/100g 水 ⁽²⁾ ，可溶於丙酮、乙醚、酒精、苯、石油醚、二硫化碳中 ⁽¹⁾ 。				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽²⁾					
致癌性	IARC：Group 2B (對人類或許會致癌 Possibly carcinogenic to humans)。 EPA: Group B2 (probable human carcinogen) 歐盟：Group 2 (疑似人類致癌物 Suspected human carcinogens)。				
動物物急性 毒性數值	食入	LD ₅₀ 大鼠: 300 mg/kg			
	皮膚接觸	—			
	吸入	LC ₅₀ 大鼠：10000 ppm/4H。			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential) ⁽¹⁾					
半生(衰)期	空氣	150 日	土壤	3. 土壤下 1 公分：0.3 日 (揮發)。	
	地面水	(1) 模擬河川：3.5 小時；模擬湖泊：44 日。		4. 土壤下 10 公分：1.4 日 (揮發)。	
B C F 值	2.9-10.35				

使用 ⁽⁴⁾	目前主要用來製造冷媒HCFC-22。另外還可以做為下列項目之溶劑：黏著劑、殺蟲劑、脂肪、油類、橡膠、生物鹼、蠟、牙科用馬來膠(Gutta Percha)及樹脂。
環境中變化	大部份四氯乙烯會進入水或土壤中，然後蒸發進入空氣而被日光分解成其他物質或是經由降雨回到土壤與水中；四氯乙烯不會出現在魚或其他水生生物體內。
人體可能之曝露途徑	主要來自飲用氯化消毒過之水，空氣的暴露量約為前者之十分之一，攝入被污染之食物也會造成暴露。三氯甲烷本身或含三氯甲烷的水質直接接觸到皮膚，如游泳池。

暴露標準與規定 (Exposure Standards & Regulations)⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾

1. U.S OSHA 標準：最高濃度不得超過 50ppm；台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=10 ppm，49 mg/m³。

3. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV)：

(3) TWA 為 10 ppm。

4. 美國環保署「聯邦飲用水指引(Federal Drinking Water Guidelines)」：70 µg/L

急救處理(emergent management)⁽⁴⁾

解毒劑：活性碳。將患者移至新鮮空氣處，若患者呼吸困難時，立即供應氧氣，如果患者停止呼吸時立即施以人工呼吸。如果患者吸入或食入此類物質時，不可使用口對口人工呼吸法；建議施與人工呼吸時使用具有單向閥的口袋面罩或其他適當的輔助呼吸醫療器材，脫除並隔離受污染的衣服及鞋襪，如接觸到此物質時，立即以清水沖洗皮膚或眼睛，至少20分鐘，當曝露(吸入、食入或皮膚接觸)於此類物質，其對人體的危害效應會有延遲現象

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure)⁽⁴⁾

雖然三氯甲烷可以在血液、尿液跟身體細胞被檢驗出，但是目前尚未有很可靠的方法可以檢驗，因為三氯甲烷代謝很快且檢驗方法無針對性。

毒理動力學(Toxicokinetics)⁽⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption)：

3. 攝食：目前尚未有腸胃吸收情形的研究，但已知吸收速率快，攝食後一小時在濃度在血液出現高峰(Davidson et al., 1978)，範圍約在64~98%(U.S. EPA, 1997; ILSI, 1997; U.S. EPA, 1998c)；在水中的三氯甲烷吸收速率會高於油中(U.S. EPA, 1994d, 1998c)

4. 呼吸暴露為三氯甲烷主要的暴露途徑，無論在高濃度或是低濃度，三氯甲烷的基本動力學吸收常數都是一樣

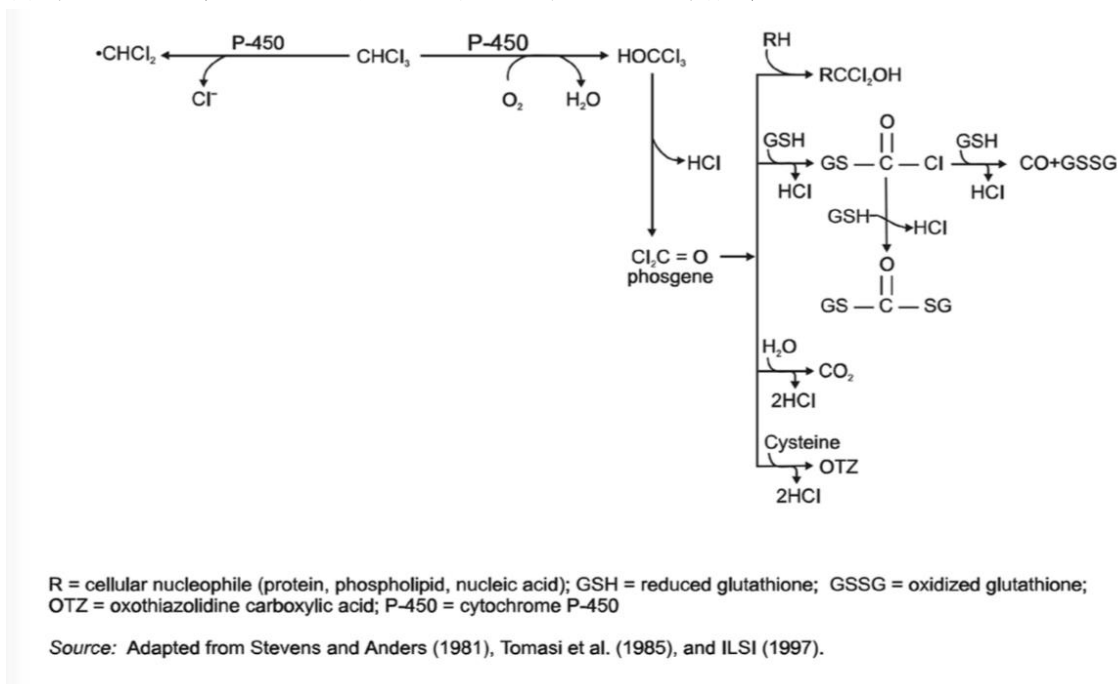
分佈(distribution)：

三氯甲烷為親脂性，因此會集中於含有脂肪的器官中，例如脂肪組織、中樞神經系統、肝臟和腎臟，三氯甲烷殘留在這些組織到中至少好幾個小時，也會穿過胎盤障蔽及存在於母乳中(Davidson et al., 1978)

代謝(metabolism)：

三氯甲烷氧化過程靠自主P450的代謝途徑，主要的產物為三氯甲醇(CCl_3OH)，再快速自發的形成光氣(CCl_2O)，在缺乏氧的情況下脫氯，形成去氯甲基的激發態(CHCl_2)，幾乎所有組織都可以代謝三氯甲烷，但是速率最大為肝臟、腎髓質和鼻黏膜(U.S.EPA,1997;ILSI,1997)，在細胞大分子(例如酵素、蛋白質或是極性端磷脂，光氣會被親核反應族(-SH,-OH,-NH₂)攻擊形成共價鍵結物(Pohl et al., 1977, 1980, 1981; Pereira and Chang, 1981; Pereira et al., 1984; Noort et al., 2000)，形成的分子鍵結物會影響分子的功能(例如降低酵素活性)，可能造成細胞功能失去或死亡。

自由基會再低氧的情況下與小抗微粒抗體酵素、脂肪酸的極性端形成共價鍵結物，會導致小抗微粒抗體酵素失去活性或造成脂肪過氧化(ILSI, 1997; U.S. EPA, 1998c)。



圖一、三氯甲烷的代謝途徑

排出(excretion):

三氯甲烷排出主要是透過肺(U.S. EPA, 1998c)，食入三氯甲烷的劑量大約90%會被呼出，小於0.01%會以尿液排出(U.S. EPA, 1994d);在反覆暴露下，目前沒有證據顯示有生物累積性或是殘留。

作用機制 (Mode of Action)⁽⁸⁾

像其他氯化碳氫化合物，氯乙烯可能造成抑制中樞神經系統、心律不整，也由於氯乙烯氧化物是高反應代謝物，會造成突變與致癌效應。氯乙烯環氧化是代謝過程關鍵的步驟，能與 DNA 共價的程度遠地低於飽和極限，這也解釋了腫瘤會在氯乙烯低濃度下被誘發。

健康效應 (Health Effect)⁽⁴⁾

急性效應：

1. 急性呼吸暴露三氯甲烷主要會造成抑制中樞神經系統，在高濃度(40,000 ppm)下，三氯甲烷可能會造成死亡;在濃度 1,500~30,000ppm 會造成麻木;更低濃度(<1,500ppm)會造成暈眩、頭痛和疲勞。
2. 人類呼吸暴露三氯甲烷的麻木包括改變呼吸、心臟速率、腸胃效應(噁心、嘔吐)，也會影響肝臟和腎臟。目前被使用為手術的麻醉劑。
3. 人類的攝食致死量可能低於 10ml(14.8g)，死於呼吸或心臟衰竭。
4. 動物急性暴露顯示，呼吸暴露於三氯甲烷為低急性毒、攝食暴露為中急性毒。

慢性效應 (非致癌)：

1. 人類慢性呼吸暴露三氯甲烷主要危害於肝臟(包括肝炎、黃疸)，和中樞神經系統(包括抑制或興奮)，另外，在動物暴露實驗顯示也會危害於腎臟。
2. 人類慢性攝食暴露三氯甲烷主要危害於血液、肝臟及腎臟
3. 目前 EPA 尚未建立呼吸暴露參考濃度(RfC)，CalEPA 建立 RfC=0.3 mg/m³
4. ATSDR 以人類肝臟危害暴露為基準，建立急性呼吸最大殘留容許限量 (MRL) 0.1 mg/m³

※ RfD = 1×10^{-2} mg/kg/day⁽⁸⁾

生殖/發展效應：

1. 缺乏人類呼吸暴露三氯甲烷的資料，飲用水中的三氯甲烷和胎兒出生的結果(出生體重、顎裂)可能相關，但是環境中是多重污染物，所以三氯甲烷的角色目前不清楚。
2. 三氯甲烷呼吸暴露的動物實驗顯示發展危害(例如胎兒體重降低、胎兒在吸收、畸胎);生殖危害(例如降低懷孕的機率、易流產、精子不正常的比例增加)
3. 三氯甲烷攝食暴露動物實驗顯示，胎兒的體重降低、增加胎兒的在吸收，但是胎兒天生畸形證據不足。

致癌風險：

5. 目前人類跟動物暴露於三氯甲烷造成癌症的資料不足
 6. 流行病學的資料指出引用含氯的飲水和大腸、直腸和膀胱癌相關，但是尚未有流行病學中的飲用水只含有三氯甲烷
 7. 在動物實驗中顯示，食入三氯甲烷會造成腎臟和肝臟的腫瘤
 8. US EPA 表示三氯甲烷只會在某一些暴露途徑造成癌症
- ※ Inhalation Unit Risk: 2.3×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁸⁾

附表 3 三氯乙烯風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	三氯乙烯				
英文名稱	Trichloroethylene				
CAS NO.	79-01-6	分子式	C ₂ -H-Cl ₃		
別名	Acetylene trichloride、Algylen、Benzinol、Trichloren				
物理與化學資料(Chemical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	澄清、無色或藍色液體	氣味	有醚或類似三氯甲烷的味道	沸點	87 °C(760 mm-Hg)
密度/比重	1.4649 (20°C/4°C)	分子量	131.40	熔點	-73°C
亨利常數	-----	Log k _{ow}	2.29	蒸氣壓	60 mmHg (20°C)
水溶性	微溶於水 (1.110 mg/l at 25°C)，可溶於三氯甲烷、丙酮及醇類、醚類。很容易與油類混合。				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽²⁾					
致 癌 性	IARC：Group 2A (對人類或許會致癌 possibly carcinogenic to humans)。歐盟：Group 2 (疑似人類致癌物 suspected human carcinogens)。				
動物 毒性數值	食 入	LD ₅₀ 大鼠: 4,920mg/kg			
	皮 膚 接 觸	—			
	吸 入	LC ₅₀ 大鼠：8000 ppm/4 hour(s)。			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential) ⁽¹⁾					
半生(衰)期	空 氣	7 天	土 壤	—	
	地面水	—			
B C F 值	17-1160				
使 用	不會存在於自然中，來源於製造或廢棄物，主要使用在金屬蒸氣去污、粹取溶劑及去漬劑				
環境中變化	三氯乙烯快速從地表水中蒸發，但不易從土壤中蒸發易附著在土跟水的粒子上，因此可能成為水底的沈積物，長存於地下水中				
人體可能之曝 露 途 徑	在去脂工廠有高的暴露值，因工人由蒸氣吸入或皮膚附著，低暴露則發現在居於去脂工廠或外洩位置附近的人，低劑量暴露來自空氣及飲水。				
暴露標準與規定(Exposure Standards & Regulations) ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾					
1. U.S OSHA 標準：PEL -TWA= 100 ppm，Ceiling=200ppm；					
2. 台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=50 ppm，STEL=75ppm、Ceiling=200ppm。					
5. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV)：					
(4) TWA 為 10 ppm。					
(5) STEL 為 25ppm。					
(6)					

急救處理(emergent management) ⁽⁴⁾

食 入: 1.若患者即將喪失意識、已失去意識或痙攣,不可經口餵食任何東西。 2.切勿催吐。
3.給患者喝下 240~300 毫升的水,以稀釋胃中的物質。 4.若患者自發性嘔吐,讓患者身體前傾以免吸入嘔吐物。 5.反覆給予喝水。^[1]6.立即就醫。

吸 入: 1.移除污染源或將患者移至新鮮空氣處。 2.若呼吸停止,立即由受訓過之人員施予人工呼吸。 3.若心跳停止,立即由受訓過之人員施行心肺復甦術。 4.立即就醫。

眼睛接觸: 1.立即撐開眼皮,以緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛 20 分鐘。 2.若刺激感持續,立即就醫。 3.若疼痛則避開光。^[1]

皮膚接觸: 1.脫去污髒的衣服、鞋子及皮飾品(如錶帶、皮帶等)。2.使用非磨擦性肥皂和水徹底但緩和地沖洗。 3.若刺激感持續,立即就醫。 4.污染的衣服,鞋子及皮飾品,須完全洗淨方可再用或丟棄。

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure) ⁽⁴⁾

三氯乙烯在呼吸排出氣體中可在被測量,其代謝物可以在尿液和血液中被測量,如果是暴露少量三氯乙烯的話,需馬上測驗才能確認;大量暴露的話,在一個星期內都可以在尿液檢測出其代謝物

毒理動力學(Toxicokinetics) ⁽⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption) :

呼吸暴露: 三氯乙烯在人類血液/空氣分配係數範圍為 9~15,在人體中保留的量隨著身體活動而變化,在研究室的情況下,受試者暴露 540 或 1080mg/m³ 三十分鐘,50%的量會被留在體內。

攝食暴露: 容易穿過腸胃的屏障,造成急性中毒

皮膚暴露: 根據研究顯示三氯乙烯不太可能會被無傷口的皮膚吸收

分佈(distribution) :

三氯乙烯會被集中在細胞組成中但不會快速消失,分佈在血液系統,因為它高脂溶性特別會累積在脂肪細胞,油/血分配係數為 750,三氯乙烯會穿越胎盤屏障並在胎兒的血液中發現;在不同的物種分佈不同的情形 Table 5。

Table 5. Tissue distribution of trichloroethylene in (A) guinea-pigs and rats following exposure to the compound, and (B) in human tissues obtained at autopsy (levels of exposure not specified)

Organs or tissues	(A)		(B)	
	Guinea-pigs ^a (mg/kg)	Rats ^b (mg/kg)	Human beings ^a d (µg/kg)	e
adrenals	22	-	-	-
blood	5	0.9	-	-
brain	9	1.0 (1.2) ^c	1	-
fat	39	9.9	8.2 (32)	4.9 (11.7)
	-	-	-	7.8 (42.2) ^f
kidney	14	-	2.0	-
liver	10	0.3	4.1 (5.8)	2.5
lung	7	0.7	-	2.2
muscle	2	-	-	2.4 (156.6)
ovary	23	-	-	-
spleen	13	-	-	-

^a From: Fabre & Truhaut (1952), 6045 mg/m³ (1120 ppm) x 5 h per day x 19 days.

^b From: Savolainen et al. (1977), 1080 mg/m³ (200 ppm) x 6 h/day x 5 days).

^c Cerebellum value.

^d From: McConnell et al. (1975). Mean of 8 subjects aged 48 - 52 years.

^e From: Bauer (1981). Mean of 15 subjects (Figures in parentheses are maximum values).

^f Fat from kidney capsule.

代謝轉換(Metabolic Transformation)：

人類

三氯乙烯會形成環氧化物，是由中間代謝物會與蛋白質形成共價鍵，會有兩個不同的途徑，第一個途徑會形成三氯乙醛，再進一步氧化成三氯乙酸(TCA)或降成三氯乙醇，口服的情況下，三氯乙烯部分代謝成 TCA，三氯乙醇快速地與葡萄糖醛酸共軛去形成各自的葡萄糖甘酸；另一個途徑是造成二氯乙酰氯形成，但在正常情況下找不到，在這情況下過剩的機制會被執行，屬於少量代謝途徑，三氯甲烷會從呼氣排出、單氯醋酸在尿液中發現，環氧化物不是必要的中間代謝過程，在供氧的三氯乙烯 P450 過度態發生氯的移動。

三氯乙酸會和血漿蛋白有很好的結合，故在血漿內濃度為在全部血液中的兩倍。

排泄(Elimination)：

人類

三氯乙烯直接從肺排出、變成代謝物從尿液排出，其他代謝途徑代謝量低於全部的 10%，在呼吸暴露，約有 10% 的量由呼氣排出，30-50% 以三氯乙醇由尿液排出，10-30% 以三氯乙酸由尿液排出。

呼出及血液的半衰期取決於暴露長度及採樣的時間，濃度是由多重外插曲線分成三個部分：肺、血液和脂肪，三氯乙醇的半衰期約 10-15h、三氯乙酸在血液及尿液中半衰期約 20-40h，之後以 70-100h 半衰期下降；在工廠職業暴露顯示，尿液排出的半衰期為

41h，此半衰期長於口服與水合氯醛，因為延遲行程三氯乙酸，因此甚至連三氯乙醇都測不到時，三氯乙酸可以在尿液被測得。

作用機制(Mode of Action)⁽⁸⁾

肝臟：三氯乙烯會透過很多途徑形成肝腫瘤但機制目前不清楚

肺：目前推測三氯乙烯會增加肺的細胞毒性形成dichloroacetyl lysine protein adducts和突變，目前尚未建立標的細胞的肺腺癌機制，僅確定克拉拉氏細胞對三氯乙烯易感性高，另外，在受傷後，肺部幹細胞被活化克拉拉氏和第二型肺泡細胞會重新注入

睪丸：睪固酮濃度變化會誘發萊氏細胞的腫瘤，目前合理的機制是關於阻斷甲狀腺-腦垂腺-睪丸(HPT)軸，會降低睪固酮和氫偶素的濃度與辨識能力，也會增加LH濃度

健康效應 (Health Effect)⁽⁴⁾

急性效應：

5. 急性呼吸暴露主要影響中樞神經系統，症狀包括嗜睡、疲倦、頭痛、困惑和興奮；也會危害到肝臟、腎臟、腸胃系統和皮膚
6. 三氯乙烯會造成肺、腎、心臟、神經危害
7. 急性暴露大鼠與小鼠研究中，三氯乙烯在呼吸暴露是低毒性、在攝食暴露是中毒性

慢性效應（非致癌）：

2. 慢性暴露和急性暴露一樣均影響人類的中樞神經系統，症狀包括頭暈、頭痛、嗜睡、噁心、困惑、視覺模糊、虛弱
2. 職業暴露或飲用水暴露會危害肝、腎、免疫、內分泌系統、心臟功能、免疫系統受損
3. 同時暴露於酒精，吸入的三氯乙烯毒性會增加

※RfC = 0.6 mg/m³

生殖/發展效應：

4. 流行病學研究中婦女三氯乙烯會增加流產的發生率，但目前研究仍不足
5. 動物實驗表示暴露於三氯乙烯和其代謝物(trichloroacetic acid [TCA] and dichloroacetic acid [DCA])，會產生發展危害

致癌風險：

9. 流行病學研究表示三氯乙烯與肝、腎、子宮頸、淋巴癌相關，特別是腎臟癌
10. 呼吸與攝食暴露動物實驗中顯示肺、肝、腎臟、睪丸、淋巴癌
3. Inhalation unit risk= $1.7 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, Oral CFS= $0.11 (\text{mg}/\text{kg}/\text{d})^{-1}$

附表 4 1,2-二氯乙烷風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	1,2-二氯乙烷				
英文名稱	1,2-Dichloroethane				
CAS NO.	107-06-2	分子式	C ₂ H ₄ Cl ₂		
別名	1,2-Ethylene dichloride、ethylene dichloride、sym-Dichloroethane、Ethane dichloride、EDC、Ethylene chloride、Dichloroethylene、Glycol dichloride				
物理與化學資料(Chemical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	清澈、無色油狀液體	氣味	甜味	沸點	83.5°C
密度/比重	1.253 g/cm ³ (20°C/4°C)	分子量	98.96	熔點	-35.5 °C
亨利常數	---	辛醇/水分分配係數 (Log k _{ow})	1.48	蒸氣壓	78.9mmHg(25°C)
水溶性	100 ml 水可溶解 0.869 g 1,2-二氯乙烷(20°C)				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽¹⁾					
致癌性 ⁽²⁾	IARC：Group 2B (對人類或許會致癌 Possibly carcinogenic to humans)。 EPA: Group B2 (probable human carcinogen) 歐盟：Group 2 (疑似人類致癌物 Suspected human carcinogens)。				
動物物急性毒性數值 ⁽²⁾	食入	LD ₅₀ 大鼠: 670 mg/kg			
	皮膚接觸	—			
	吸入	LC ₅₀ 大鼠：1000 ppm/7H。			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential) ⁽¹⁾					
半生(衰)期	空氣	292~2917 hr	土壤	2400~8640 hr	
	地面水	2400~4320 hr			
B C F 值	8				
使用 ⁽⁴⁾	最主要用來製造氯乙烯和各式塑料的產品，如聚氯乙烯（PVC）管、家具、汽車裝飾、牆壁覆蓋物、居家用品以及汽車零件。1,2-二氯乙烷也可以用作為溶劑，添加到含鉛汽油以除去鉛				
環境中變化	大多數的1,2-二氯乙烷可釋放到環境的空氣中。在空氣中，1,2-二氯乙烷透過陽光照射會與其他化合物進行分解反應，可在空氣中停留五個多月。也可以釋放到河流與湖泊，而在水中分解非常緩慢，且大部分都會蒸發到				

	空氣中。在土壤中時，會透過蒸發而進入空氣或經過土壤沉降而進入地下水。
人體可能之 曝 露 途 徑	一般大眾可能會透過吸入或飲用到含有1,2-二氯乙烷的空氣或飲用水。或居住、工作於生產1,2-二氯乙烷的工廠、未管制的有害廢物處理場或附近，可能會暴露於較高濃度的1,2-二氯乙烷。

暴露標準與規定 (Exposure Standards & Regulations)⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾

1. U.S OSHA 標準：PEL-TWA= 50ppm，PEL-Ceiling=100ppm；台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=10 ppm。

6. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV)：

(7) TWA 為 10 ppm。

7. 美國環保署「聯邦飲用水指引(Federal Drinking Water Guidelines)」：0.005 mg/L

急救處理(emergent management) ⁽³⁾

不同暴露途徑之急救方法：

食入：立即就醫

吸入：1.移至新鮮空氣處 2.若無法呼吸，施予人工呼吸 3.保持溫暖和休息 4.立即就醫

眼睛接觸：1.立刻以大量水沖洗眼睛至少15分鐘並不時撐開上下眼皮 2.立即就醫 3.操作此化學品實不可以帶隱形眼鏡

皮膚接觸：1.如果液體接觸到皮膚，立刻以和水肥皂清洗患部 2.若是經由衣服滲入皮膚，立刻脫去衣服再以水和肥皂清洗 3.立即就醫

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure) ⁽⁵⁾

可透過吸氣、血液、母乳以及尿液檢測測出，1,2-二氯乙烷代謝非常的迅速，所以必須在暴露後的幾天內接受檢驗，且這些檢驗無法預測 1,2-二氯乙烷嚴重程度。

毒理動力學(Toxicokinetics)⁽⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption)：

攝食暴露：

1. 大鼠攝入玉米油裡 1,2-二氯乙烷的 25, 50 or 150 mg/kg 劑量，再 10-15 分鐘內在血液出現最高濃度(Reitz et al., 1982, Spreafico et al., 1980)
2. 腸胃吸收水中的 1,2-二氯乙烷快於玉米油中的 1,2-二氯乙烷(Withey et al., 1983)

呼吸暴露：

1. 1,2-二氯乙烷具有高蒸氣壓和血漿/空氣分配係數，因此吸收快速
2. 大鼠暴露 600 mg/m³ 六小時後，一到兩小時之內血液中出现 1,2-二氯乙烷濃度的高峰(Reitz et al., 1982)

分佈(distribution)：

1,2-二氯乙烷在腎臟和肝臟的濃度是胃中濃度的十分之一(Luznikov et al., 1985)，最高濃度在脂肪細胞發現，另外1,2-二氯乙烷也存在於血液、肝臟、腎臟、腦和脾；無論什麼暴露途徑，1,2-二氯乙烷在脾、腦、腎臟和血液中濃度相似(Spreafico et al., 1980)

代謝 (metabolism)：

1,2-二氯乙烷有兩個主要代謝途徑，P450IIE1 為主要的氧化催化劑，其中一個途徑是與 P450 調和氧化形成 2-氯乙縮醛-甲醛和 2-氯乙醇，並與穀胱甘肽(glutathione,GSH)共軛(Guengerich et al.1991)；另一個途徑是直接與 GSH 共軛形成 S-(2-chloroethyl)-glutathione(half mustard)，這些反應發生在水中形成 S-(2hydroxyethyl) glutathione 和硫醇(thiols)再形成 ethene bis-glutathione,或是和 DNA 在形成鍵結物。

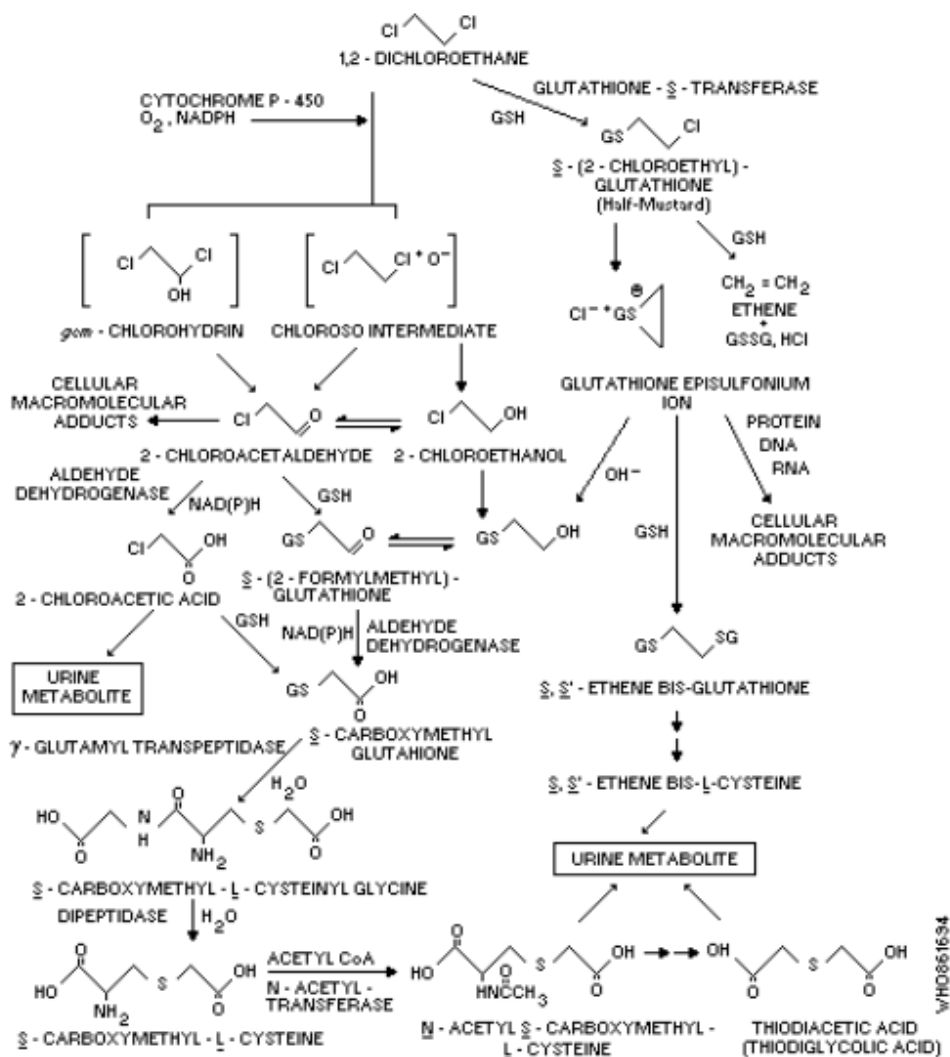


Fig. 1. Proposed pathways for metabolism of 1, 2-dichloroethane (IPCS, 1987)

圖一、1,2-二氯乙烷代謝途徑

排出(excretion):

未代謝的1,2-二氯乙烷會直接由呼氣排出，代謝物大部分由尿液排出，尿液中主要的代謝物是thiodiacetic acid (70%)、thiodiacetic acid sulfoxide (26 to 28%)，從肝臟排泄是雙相型，濃度到達高峰後排出速率更高，其他排泄器官是單相型，排泄最快的是肺部、最慢的是脂肪組織(Spreafico et al., 1980)。

作用機制 (Mode of Action)

1,2-二氯乙烷靠GSH共軛調和者在不同組織被調和(Lock 1989)，高濃度的 glutathione- S-transferases被呈現在肝臟、腎臟、小腸、睪丸、腎上腺和肺，>95%都在細胞質上，腎皮質包含大量高活性的glutathione S-transferases 會產生最初的共軛反應；

P450會催化競爭代謝物的反應，在腎臟有活躍度低，因此，P450在腎臟會轉移1,2-二氯乙烷的代謝產生毒性代謝物。

健康效應 (Health Effect) ⁽⁴⁾

急性效應：

1. 人類呼吸暴露1,2-二氯乙烷會影響神經系統，影響包括昏迷、噁心和嘔吐
2. 高濃度短時間呼吸暴露造成職業工人死於心律不整
3. 人類大量攝食1,2-二氯乙烷會造成心律不整、肺水腫、支氣管炎、出血性腸胃炎、憂鬱症或是改變大腦組織
4. 1,2-二氯乙烷蒸氣暴露會造成角膜和眼睛刺激
5. 急性動物實驗(大鼠、小鼠、兔子)顯示呼吸或皮膚暴露為中等急毒性，而攝食為中到高急毒性

慢性效應 (非致癌)：

1. 在動物實驗裡，慢性呼吸暴露1,2-二氯乙烷會造成肝臟及腎臟危害
2. 動物慢性攝食暴露中，會造成腎臟、肝臟、免疫系統和中樞神經系統改變
3. 目前U.S EPA尚未建立RfD和RfC; CalEPA建立RfC =0.4 mg/m³
4. ATSDR 以人類肝臟危害暴露為基準，建立慢性呼吸暴露最大殘留容許限量(MRL) 0.8 mg/m³

生殖/發展效應：

1. 目前沒有人類生殖與發展危害的資料
2. 在大鼠呼吸暴露實驗中顯示 1,2-二氯乙烷會降低生殖力及增加胚胎死亡。

致癌風險：

1. 職業流行病學研究中目前還無法連結1,2-二氯乙烷與額外的癌症發生率
2. 雖然水中有其他化合物，但是在55年人類飲用自來水中的1,2-二氯乙烷研究顯示1,2-二氯乙烷會造成大腸、直腸癌發生率增加
3. 在局部處理過後的小鼠實驗顯示1,2-二氯乙烷會造成肺乳突癌發生率增加
4. EPA 估計人每呼入平均含有 0.04 µg/m³ 1,2-二氯乙烷的空氣，會增加 10⁻⁶ 癌症機率
※ Inhalation Unit Risk: 2.6 x10⁻⁵ per µg/m³ ⁽⁸⁾
※ Oral Slope Factor: 9.1 x10⁻² per mg/kg-day ⁽⁸⁾

附表 5 四氯乙烯風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	四氯乙烯				
英文名稱	Tetrachloroethylene				
CAS NO.	127-18-4	分子式	C ₂ -Cl ₄		
別名	tetrachloroethene, perchloroethylene (全氯乙烯), PCE, PER, 1,1,2,2,-tetrachloroethylene, ethylene tetrachloride, 1,1,2,2,-tetrachloroethene, perchloroethene				
物理與化學資料(Chemical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	無色液體	氣味	微甜味、輕微四三氯甲烷的揮發香味	沸點	121 °C
密度/比重	1.6227(20°C)	分子量	62.50	熔點	-19°C
亨利常數	-----	Log k _{ow}	2.60	蒸氣壓	14 mm-Hg (20°C) , 24 mm-Hg (30°C) , 45 mm-Hg (40°C) 。
水溶性	1. 可和酒精、乙醚、三氯甲烷及苯互溶。 2. 可和己烷溶劑互溶，也可溶於大多數可揮發性及不可揮發性的油類。 3. 水：每 100 ml 水可溶解四氯乙烯 0.015 公克(25°C) 。				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽²⁾					
致 癌 性	IARC：Group 2A (對人類可能有致癌性 probably carcinogenic to humans) 。 歐盟：Group 1(可能人類致癌潛力之物質 Substances which should be regarded as if they are carcinogenic to humans) 。				
動物 急性毒性數 值	食 入	LD ₅₀ 大鼠: 2600 mg/kg			
	皮 膚 接 觸	LD ₅₀ 兔子：3228mg/kg			
	吸 入	LC ₅₀ 大鼠：4000 ppm/8 H、小鼠：2978/6H 。			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential) ⁽¹⁾					
半生(衰)期	空 氣	384~3843H	土壤	5. 土壤下 1 公分：0.2 日(揮發) 。	
	地面水	模擬河川：0.805 小時(揮發) 。		6. 土壤下 10 公分：0.5 日(揮發) 。	
B C F 值	三種不同魚類：log BCF 約為 0.7-1.7 。				
使 用	大多使用於乾洗衣物或是金屬除油用途上				
環境中變化	大部份四氯乙烯會進入水或土壤中，然後蒸發進入空氣而被日光分解成其他物質或是經由降雨回到土壤與水中;四氯乙烯不會出現在魚或其他水生生物體內 。				

人體可能之 曝 露 途 徑

人類暴露在四氯乙烯之下主要來自密閉空氣、飲用水(尤其來自被污染過的地下水源)，職業暴露來自空氣(尤其來自城市及工業區)及金屬去油脂及乾燥清潔工業。食物似乎不是主要的暴露來源，但相關資料有限。

暴露標準與規定(Exposure Standards & Regulations)⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾

1. U.S OSHA 標準：PEL -TWA= 100 ppm Ceiling =200ppm ；
台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=50 ppm，PEL-STEL=75ppm。
8. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV<ACGIH>)：
 - (8) TWA 為 25ppm。
 - (9) STEL 為 100ppm。

急救處理(emergent management)⁽⁴⁾

不同暴露途徑之急救方法：

食 入: 1.若患者即將喪失意識、已失去意識或痙攣,勿經口餵食任何東西。 2.切勿催吐。
3.給予患者喝 240~300 毫升的水,以稀釋胃中的物質。 4.若患者自然性嘔吐,讓患者身體向前傾以避免吸入嘔吐物。 5.反覆給予喝水。 6.若呼吸停止由受過訓的人員立即施予人工呼吸;若心跳停止施予心肺復甦術。 7.立即就醫。

吸 入: 1.援助時需穿戴合適、安全的保護裝備。 2.移除污染源或將患者移至新鮮空氣處。
3.呼吸停止,立即由受訓過之人員施予人工呼吸或心肺復甦術。 4.立即就醫。

眼睛接觸: 1.立即撐開眼皮,以緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛20 分鐘。2.立即就醫。

皮膚接觸: 1.脫去污穢的衣服、鞋子及皮飾品(如錶帶、皮帶等)。2.使用非磨擦性肥皂和水徹底但緩和地沖洗。 3.若刺激感持續立即就醫。 4.污染的衣服,鞋子及皮飾品,須完全洗淨方可再用或丟棄。

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure)⁽⁴⁾

四氯乙烯及三氯乙酸(TCA,四氯乙烯代謝物)，可在人的尿液、血液、呼出之氣體偵測到，但暴露其他化學物質也會產生相同的代謝物，所以不能確定是否暴露四氯乙烯;另外，因為四氯乙烯會被儲存在體內的脂肪裡，並且緩慢地被釋放到血液中，四氯乙烯在嚴重暴露過後的幾週中可在呼吸裡被偵測到。

毒理動力學(Toxicokinetics)⁽⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption)：

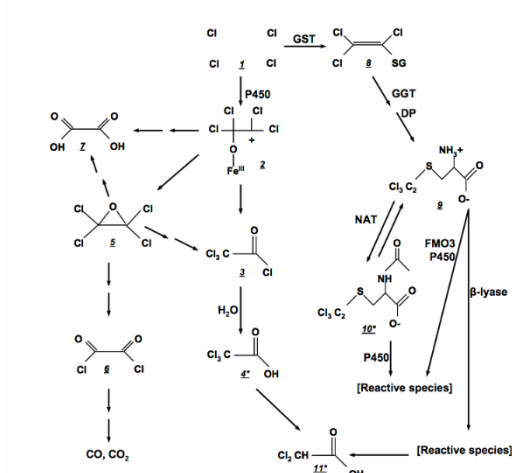
吸入是主要的暴露途徑，在血液/肺泡的濃度係數範圍為10-20(當四氯乙烯達到平衡時，在血液的濃度會是肺泡的10-20倍)

分佈(distribution)：

因為四氯乙烯親油性，在脂肪組織發現最高的濃度，在腦和肝臟四氯乙烯的濃度會高於其他組織，也會在母乳測量到，四氯乙烯會穿過寫腦屏障和胎盤；在大鼠的實驗中，發現四氯乙烯在脂肪組織的濃度比血液高 60 倍、比非脂肪組織高 9-18 倍，骨骼肌為最低濃度；在人類致死案件中，四氯乙烯在大腦中的濃度比肺高 120 倍，

代謝 (metabolism)：

四氯乙烯會先變成1,1,2,2-四氯乙烯氧化物屬於不穩定的環氧化物，包括了三氯乙醯氯和去氯草酸，主要兩個代謝途徑：(1)透過P450氧化代謝(2)與麩胱甘(GSH)結合，在大鼠和小鼠中P450的途徑遠重要於GSH的途徑，但兩者在人類代謝途徑中的關係尚不確定，P450途徑是誘發肝毒性，而四氯乙烯和GSH結合後再進一步與β分裂酶和其他酵素結合會產生腎毒性。



圖一、四氯乙烯的代謝機制

排出(excretion)：

四氯乙烯主要以未代謝的型態直接由呼出排出，次者由尿液排出，肺的排出有三個種一級代謝階段：血液血管組織、肌肉組織、脂肪組織，此三種代謝半衰期分別為 12-16，30-40 和 55-65 小時，總三氯化物從尿液排出的半衰期為 144 小時，主要以代謝物 TCA 排出。

作用機制(Mode of Action) ⁽⁸⁾

像其他氯化碳氫化合物，氯乙烯可能造成抑制中樞神經系統、心律不整，也由於氯乙烯氧化物是高反應代謝物，會造成突變與致癌效應。氯乙烯環氧化是代謝過程關鍵的步驟，能與 DNA 共價的程度遠地低於飽和極限，這也解釋了腫瘤會在氯乙烯低濃度下被誘發。

健康效應 (Health Effect) ⁽⁴⁾**急性效應：**

8. 吸入四氯乙烯蒸氣會刺激上呼吸道、眼睛、腎臟機能不良，在較低濃度下，會產生神經危害，例如行為改變、協調障礙、暈眩、頭痛、嗜睡和失去意識，甚至死亡。
9. 在四氯乙烯高濃度吸入暴露下，會危害人的肝臟、腎臟、中樞神經
10. 急性小鼠實驗表示四氯乙烯在呼吸及攝食暴露是低毒性

慢性效應（非致癌）：

3. 慢性呼吸暴露主要產生神經危害效應，包括敏感症狀(頭痛、認知障礙、運動神經功能及顏色辨認降低
2. 動物慢性吸入四氯乙烯暴露中，顯示會有肝臟、腎臟、中樞神經危害

※ $RfD = 0.006 \text{ mg/kg/day}$ 、 $RfC = 0.04 \text{ mg/m}^3$

生殖/發展效應：

6. 在職業暴露四氯乙烯報告顯示可能造成月經週期失調、自然流產、改變精子結構、降低生育率，但目前尚未確定
7. 在懷孕婦女飲用含有四氯乙烯飲用水報告顯示，四氯乙烯暴露可能跟先天缺陷有關

致癌風險：

11. 在乾洗衣工人暴露到四氯乙烯研究顯示，四氯乙烯和膀胱癌、非 Hodgkin 淋巴癌、多重骨髓癌有關，但缺乏證據關於食道、腎臟、子宮頸和乳癌。
12. 在強灌、吸入暴露的小鼠實驗中，四氯乙烯會造成肝腫瘤的發生率增高。
13. 呼吸暴露下，每增加 $4 \mu\text{g/m}^3$ 的氯乙烯，會增加 $1 \times 10^{-6} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ 終生危險
($\text{Inhalation unit risk} = 2.6 \times 10^{-7} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$)
14. 口腔的癌症斜率為 $0.0021 (\text{mg/kg/d})^{-1}$
($\text{Oral CFS} = 0.0021 (\text{mg/kg/d})^{-1}$)

附表 6 四氯化碳風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	四氯化碳/四氯甲烷/四氯乙烷				
英文名稱	Carbon Tetrachloride				
CAS NO.	56-23-5	分 子 式	C-Cl ₄		
別 名	Benzinoform、Carbon chloride、Freon 10、Halon 104、Methane tetrachloride、Tetraform、Vermoestricid				
物理與化學資料(Chemical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	無色清澈液體	氣 味	微甜之芳香族味	沸 點	76.8℃
密度/比重	1.594(20℃)	分 子 量	153.82	熔 點	-23℃
亨利常數	2.76×10 ⁻² cm ³ /mol- sec(25℃)	Log k _{ow}	2.83	蒸 氣 壓	115mmHg(25℃)
水溶性	1. 可溶混於酒精、苯、油、石油酯、酯類及三氯甲烷。 2. 水中溶解度：1,160 mg/l(25℃)；800 mg/l(20℃)。				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽²⁾					
致 癌 性	IARC：Group 2B (對人類或許會致癌 Possibly carcinogenic to humans)。 歐盟：Group 2 (疑似人類致癌物 Suspected human carcinogens)。				
動 物 毒性數值	食 入	1. LD ₅₀ 大鼠：2,800、2,920 (mg/kg)。 2. LD ₅₀ 小鼠：12,800 mg/kg。 3. LD ₅₀ 倉鼠：3,680 mg/kg。 4. LD ₅₀ 兔：6,380 mg/kg。			
	皮 膚 接 觸	—			
	吸 入	小鼠：0.625 mg/l			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential)					
半 生 (衰) 期	空 氣	366 年	地面水	1. 揮發：(1)模擬河川：1.3 小時；(2)模擬湖泊：5 日。 2. 水解：7,000 年(25℃)。	
	土 壤	—			
B C F 值	17.4				
使 用	被大量使用於冷卻劑跟噴霧劑中，目前市面上已停止使用，僅用於工業上				
環 境 中	四氯化碳大多都在空氣中，少數會黏附在土壤顆粒，其他則蒸發或進入地下水，在大氣中非常穩定，降解後會形成物質破壞大氣層上層的臭氧，在土壤或水中在數天內快速的分解或變化。				
人 體 可 能 之 曝 露 途 徑	在生產與使用之工作場所，可能經由吸入而造成職業暴露。一般民眾可能經由暴露於含四氯化碳之空氣、攝食污染之食物及飲用水或接觸含四氯化碳之物品而造成暴露。				
暴露標準與規定(Exposure Standards & Regulations) ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾					

1. US. OSHA 標準：PEL-TWA=10ppm；Ceiling Concentration=25ppm；
台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=2ppm，13 mg/m³
2. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV)：
 - (1) TWA 為 5 ppm。
 - (2) STEL 為 10ppm(皮膚)。

急救處理(emergent management) ⁽⁴⁾

不同暴露途徑之急救方法：

食入：1.若患者即將喪失意識、已失去意識或痙攣，不可經口餵食任何東西。2.切勿催吐。
3.給患者喝下 240~300 毫升的水，以稀釋胃中的物質。4.若患者自發性嘔吐，讓其身體向前傾以減低吸入危險並讓其漱口及反覆給水。5.若呼吸停止，立即由受過訓的人員施予人工呼吸(避免口對口接觸)。6.若心跳停止，立即施予心肺復甦術。7.立即就醫。

吸入：1.援助時需穿戴合適、安全的保護裝備。2.移除污染源或將患者移至新鮮空氣處。
3.若呼吸停止，立即由受訓過之人員施予人工呼吸(避免口對口接觸)。4.若心跳停止，則施以心肺復甦術。5.立即就醫。^[1]

眼睛接觸：1.迅速但緩和地吸起或刷掉眼四週皮膚上剩餘物質。2.立即撐開眼皮，以緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛 5 分鐘或完全清除污染物為止。3.立即就醫。^[1]

皮膚接觸：1.避免直接觸及四氯化碳儘可能戴防滲的防護手套。2.立即緩和地刷掉或吸掉多餘的化學品。3.儘速用緩和流動的溫水沖洗患部 20 分鐘。4.沖洗時除去污染的衣、鞋及皮飾品(錶帶、皮帶)並丟棄。5.若刺激感仍然存在則重覆沖洗，立即就醫。

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure) ⁽⁴⁾

吐氣測量是最方便測量四氯化碳的方法，也可以用血液、脂肪作為暴露的指標物，雖然能顯示是否暴露到四氯化碳，但卻無法明確預測是否有任何負面健康影響。

毒理動力學(Toxicokinetics) ⁽⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption) :

腸胃道和呼吸道會很快吸收四氯化碳，但皮膚吸收四氯化碳蒸氣的速率很慢
攝食暴露：飲用水中的四氯化碳是與人在暴露研究最直接相關的，在濃度 10% 多乙氧基油被當作四氯化碳的水性載體

皮膚暴露：小鼠皮膚暴露到液態四氯化碳吸收率為 $8.3 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ per minute}$ (Tsuruta, 1975); 在剪毛的猴子動物實驗中，暴露3h濃度 $3056 \text{mg}/\text{m}^3$ ，四氯化碳在女性猴子血液中 $12 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 、呼出的氣體濃度為 $0.8 \mu\text{g}/\text{litre}$ ，在暴露3.5h濃度 $7230 \text{mg}/\text{m}^3$ 男性猴子血液中四氯化碳的濃度 $30 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 、呼出氣體濃度為 $3 \mu\text{g}/\text{litre}$ (McCollister et al., 1951)

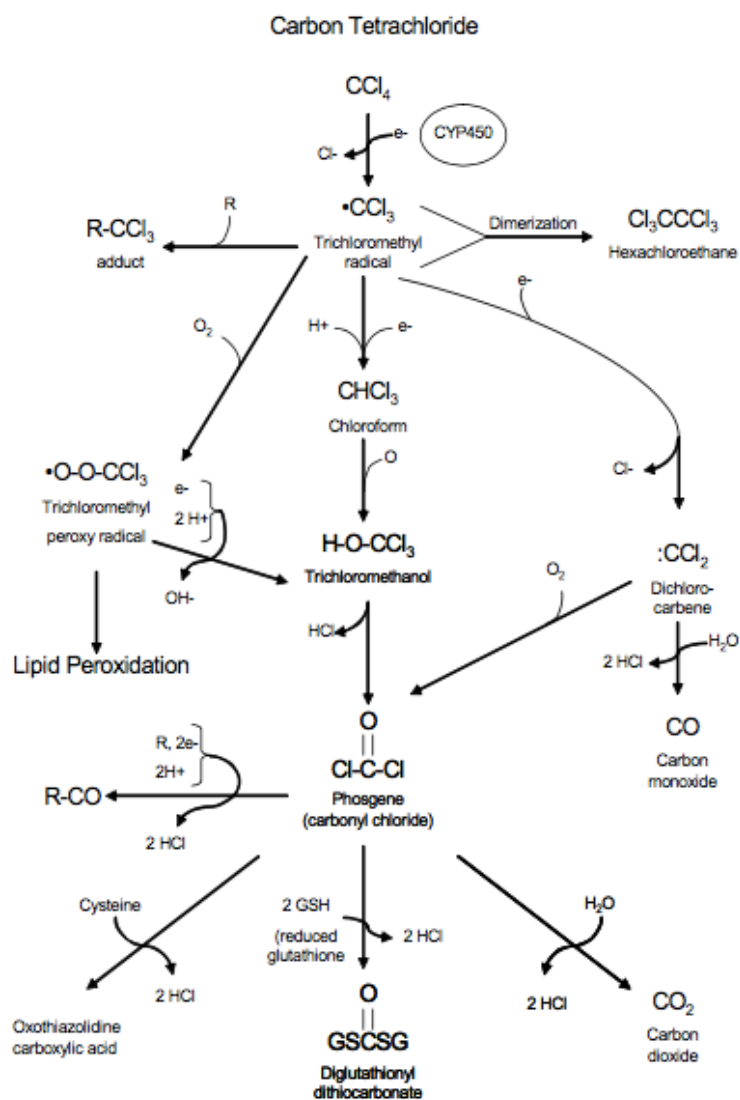
呼吸暴露：吸收率的估計值約 30~65%，美國環保署 IRIS 用 40% 為吸收率的平均值來計算(US EPA, 1991)

分佈(distribution) :

Bergman (1984)用 C^{14} 追蹤四氯化碳的分佈，小鼠呼吸暴露四氯化碳可已馬上在脂肪、骨髓和神經發現，非揮發放射性的部分會在肝、腎皮質、肺分支、腸胃道黏膜、唾腺、陰道和子宮黏膜，也會在尿液跟膽汁中發現，非放射性物質會和 CYP450 濃度之間有很好的相關。

代謝(metabolism) :

主要在肝臟代謝，但也會在肺、腎及包含 CYP450 的組織，起初生物轉換的步驟是四氯化碳進行還原去鹵化反應：還原 C-Cl 之間的鍵結，讓產生氯的電子和三氯甲基的激發態，此反應是靠 NADPH -dependent CYP450 催化，CYP2E1 是主要激發四氯化碳生化反應的酵素



CYP450, usually CYP2E1, but also CYP3A; R = acceptor molecule, such as protein or lipid.

圖一、四氯化碳代謝架構

排出(excretion):

在呼吸、攝食、皮膚暴露於 1000ppm 2 小時後小鼠組織的代謝率及半衰期(如圖二)，脂肪代謝、排出率都是最慢

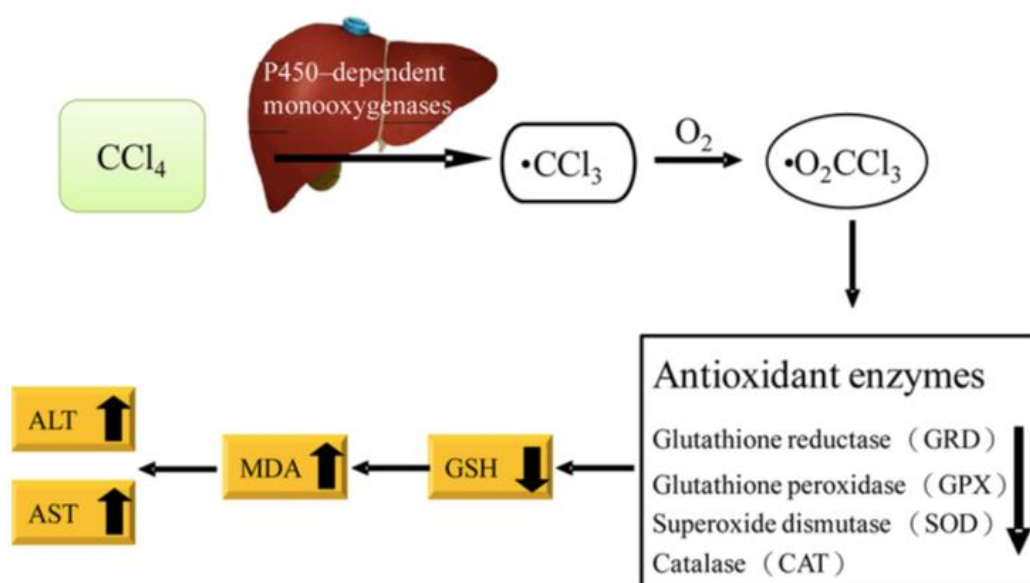
Table 3-3. Elimination $t_{1/2}$ and apparent clearance of carbon tetrachloride from rat tissues following administration of 179 mg/kg (1,000 ppm, 2 hours) by inhalation, oral bolus dosing, or gastric infusion over 2 hours

Tissue	Inhalation		Oral bolus		Gastric infusion	
	$t_{1/2}$ (min)	Clearance (mL/min/kg)	$t_{1/2}$ (min)	Clearance (mL/min/kg)	$t_{1/2}$ (min)	Clearance (mL/min/kg)
Liver	249	63	323	175	269	1,198
Kidney	204	58	278	59	190	224
Lung	226	61	442	62	249	72
Brain	248	55	313	42	250	67
Fat	665	0.8	780	0.8	358	1
Heart	274	70	490	65	216	94
Muscle	218	55	649	43	262	83
Spleen	273	88	472	44	208	108

Source: Sanzgiri et al. (1997).

作用機制(Mode of Action)⁽⁸⁾

e 當四氯化碳進入體內後，肝臟微粒體中細胞色素 P450 2E1 (Cytochrome P450 2E1, CYP 2E1)參與四氯化碳之代謝,形成三氯甲烷自由基 (Trichloromethyl Free Radical, $\cdot\text{CCl}_3$)，三氯甲烷自由基會與氧作用，產生活性更大且半衰期更短的過氧化三氯甲烷自由基(Trichloromethylperoxyl Radical, $\cdot\text{O}_2\text{CCl}_3$)。過氧化三氯甲烷自由基會促使麩胱甘肽還原酶 (Glutathione Reductase, GRD)、麩胱甘肽過氧化酶(Glutathione Peroxidase, GPX)、超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)及過氧化氫酶(Catalase, CAT)等抗氧化酵素活性降低，以至抗氧化物質隨之減少，因而產生脂質過氧化物,使肝臟中 AST(Aspartate Aminotransferase)及 ALT(Alanine Aminotransferase)的酵素釋放於血漿中，導致血漿中 AST 及 ALT 的活性上升，最後造成肝纖維化、肝細胞壞死而造成肝損傷。



圖二、四氯化碳誘導肝臟損傷的作用機制

健康效應 (Health Effect) ⁽⁴⁾

急性效應：

11. 人在急性吸入或是食入高劑量的四氯化碳主要會造成肝臟(腫脹、改變酵素量、黃疸)、腎臟(腎炎、腎病變、蛋白尿);肺水腫被認為是因為腎危害所造成，而不是四氯化碳直接危害肺所造成。
 12. 四氯化碳會抑制中樞神經系統; 如果暴露的量相當大，神經系統和大腦都會受影響，會感到頭痛、虛弱、疲倦、噁心、嘔吐。
 13. 如果受到低量或是輕微的暴露，肝臟和腎臟會修復受損的細胞，讓功能再次回復正常
 14. 四氯化碳產對喝大量酒的人影響較大。
5. 在急性動物暴露表示，四氯化碳在吸入暴露為低毒性、攝食暴露為中低毒性、皮膚暴露為中毒性。

慢性效應 (非致癌)：

1. 慢性呼吸及攝食暴露會造成人與動物肝、腎臟危害
2. 美國 ATSDR 以大鼠的肝臟危害效應實驗，建立了急性期間(1-14 天)的吸入最小風險程度(inhalation minimal risk level, MRL)等於 $1.3\text{mg}/\text{m}^3$ (0.2ppm)，中等期間(14-365 天) MRL 等於 $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$ (0.05ppm)

※ $\text{RfD} = 0.0007\text{ mg}/\text{kg}/\text{day}$ 、 $\text{RfC} = 0.04\text{ mg}/\text{m}^3$

生殖/發展效應：

8. 有限的流行病學資料指出有四氯化碳的飲用水和出生的結果(新生兒體重、兔唇)有關
9. 目前沒有人類生殖的研究，但在老鼠呼吸暴露中，四氯化碳會使睪丸生殖力降低、退化
10. 動物呼吸、攝食暴露實驗中，並未觀察到胎兒先天畸形

致癌風險：

15. 職業暴露中顯示，四氯化碳與肝癌的發生率有關，但目前尚未充足的資料可以建立其因果關係。
16. 動物實驗中，長期吸入會造成肝臟產生腫瘤及腎上腺產生腫瘤
17. 在大鼠與小鼠實驗中強迫餵食四氯化碳實驗，可以觀察到肝腫瘤的生長
18. US EPA 用數學模擬的方法算出 $\text{Inhalation unit risk} = 1.5 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ，並估計平均每人終生吸入暴露 $0.07\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，理論上致癌率的增加不會超過 10^{-6}
19. 攝食暴露的癌症斜率為 $0.13 (\text{mg}/\text{kg}/\text{d})^{-1}$
($\text{Oral CFS} = 0.13 (\text{mg}/\text{kg}/\text{d})^{-1}$)

Extra reference:

Taiwan Forestry Journal 99 年十月刊，張上鎮相思樹樹皮之妙用—保肝功效
<http://www.forest.gov.tw/public/Attachment/0111814472471.pdf>

附表 7 1,3-丁二烯風險評估毒理資料表

物質確認(Substance Identification) ⁽¹⁾					
中文名稱	1,3-丁二烯				
英文名稱	1,3-Butadiene				
CAS NO.	106-99-0	分子式	C ₄ -H ₆		
別名	Methylallene、Alpha,gamma-butadiene、Alpha-butadiene、Biethylene、Bivinyll、Buta-1,3-dien (Dutch)、Buta-1,3-dien (German)、Buta-1,3-diene、Butadien (Dutch)、Butadien (Polish)、Butadiene、Butadiene-1,3-uninhibited、Divinyll、Erythrene、NCI-C50602、Pyrrolylene、Vinylethylene				
物理與化學資料(Cheical & Physical Information) ⁽¹⁾					
顏色/型態	無色氣體	氣味	輕度芳香味	沸點	-4.5℃
密度/比重	0.6149	分子量	54.09	熔點	-108.91℃
亨利常數	-----	Log k _{ow}	1.99	蒸氣壓	2,110 mm-Hg(25℃)
水溶性	0.735g/L 可溶於有機溶劑；乙醇在室溫下可溶解體積 40 倍的 1,3-丁二烯				
毒性與生物醫學效應(Toxicity/Biomedical Effects) ⁽²⁾					
致 癌 性	IARC：Group 1 (對人類有致癌性 Carcinogenic to humans)。 歐盟：Group 1A (已知對人類致癌潛力之物質 Substances known to have carcinogenicity potential for humans)。				
動物 毒性數值	食入	LD ₅₀ 大鼠: 5480mg/kg			
	皮膚接觸	—			
	吸入	LC ₅₀ 大鼠：1285 g/m ³ /4 hour(s)。			
環境流布與潛在暴露(Environmental Fate/Exposure Potential) ⁽¹⁾					
半生(衰)期	空氣	—	土壤	——	
	地面水	模擬河川：3.8 小時(揮發)。			
B C F 值	19.1				
使 用	一種石油加工的產物，被用來製造合成橡膠、塑膠和壓克力				
人體可能之 曝 露 途 徑	吸入來自汽車、卡車廢氣、垃圾焚化、木材燃燒、香菸含有 1,3-丁二烯的空氣。在塑膠或橡膠工廠以外及工作場所可能暴露到高濃度。而食用保存在塑膠或橡膠容器內的食物暴露的程度相當低或根本不存在。				
暴露標準與規定(Exposure Standards & Regulations) ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾					
1. U.S OSHA 標準：PEL -TWA= 1 ppm；PEL-STEL=5 ppm。 2. 台灣 OSHA 標準：PEL-TWA=5 ppm，22 mg/m ³ 。 9. 恕限值(Threshold Limit Values, TLV)： (10) TWA 為 2 ppm。					

急救處理(emergent management) ⁽⁴⁾

不同暴露途徑之急救方法：

吸入：1.若患者已無意識或反應，施救前先做好自身的防護措施，以確保自己的安全，如穿著適當防護裝備，人員採"互助支援小組"方式進入。2.移走污染源或將患者移到空氣新鮮處。3.若呼吸停止，立即由受過訓練的人施以人工呼吸；若心跳停止施行心肺腹甦術。4.立即就醫。

眼睛接觸：1.如有刺激發生，立即將眼皮撐開，用緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛20分鐘。2.若沖洗後仍有刺激感，再反覆沖洗。

皮膚接觸：1.避免直接觸及此物儘可能戴防滲的防護手套。2.儘速用緩和流動的溫水沖洗患部20分鐘。3.沖洗時小心切掉黏在受傷皮膚附近的衣服，並除去其他外衣。4.立即就醫。

評估個人暴露(Assessing Personal Exposure) ⁽⁴⁾

目前沒有可靠的個人檢驗可以測量1,3-丁二烯

毒理動力學(Toxicokinetics) ⁽⁷⁾⁽⁸⁾

吸收(absorption)：

主要途徑透過呼吸暴露進入血液，吸收量取決於物質在血液和空氣中的溶解度比，比值為分配係數，而1,3-丁二烯會適中的溶於血液，分配係數為1表示會有50%的1,3-丁二烯的量溶於血液中，不同物種之間沒有顯著的差異，在血液中會均勻分佈於體內

Tissue	1,3-Butadiene ^b		3,4-Epoxybutene ^c		1,2,3,4-Diepoxybutane ^d	
	Rats	Mice	Rats	Mice	Rats	Mice
Liver	0.80	1.0	1.4	1.1	NR ^e	1.4
Lung	0.62	1.1	1.1	1.5	NR	NR
Muscle	0.99	3.0	0.39	0.64	NR	1.8
Fat	15	14	2.7	2.5	NR	2.2

^aPartition coefficients represent the thermodynamic equilibrium of the chemical in the tissue and blood.

^bExperimentally determined partition coefficients were reported by Medinsky et al. (1994), who measured tissue:air and blood:air by the vial equilibration method of Gargas et al. (1989). The blood:air partition coefficients for BD were 1.34 and 1.49 in mice and rats, respectively, and for EB were 36.6 and 50.4 in mice and rats, respectively.

^cExperimentally determined partition coefficients were reported by Medinsky et al. (1994), who measured tissue:air and blood:air ratios by the vial equilibration method of Gargas et al. (1989).

^dData obtained from Sweeney et al. (1997). Sweeney et al. calculated tissue:blood partition coefficients from the ratio of tissue:hexane partition coefficients versus blood:hexane partition coefficients. This method for measuring partition coefficients has not been previously validated or extensively used to date.

^eValues for these partition coefficients were not reported.

圖一、組織：血液的分配係數

分佈、代謝(distribution & metabolism)：

1,3-丁二烯主要會在肝臟和P450作用，起初分解生成氧化物環氧丁烷(EB)，呼出的氣體、血液和組織的EB被認為可以代表1,3-丁二烯(Bechtold et al., 1995; Bond et al., 1986; Himmelstein et al., 1994; Himmelstein et al., 1995; Leavens et al., 1996; Leavens et al., 1997; Thornton-Manning et al., 1995a, 1997, 1998)，EB會和DNA、血紅素形成鍵結物，另外，EB可以再進一步氧化成二環氧丁烷(DEB)，因為EB和DEB親電子的特性，兩者均會形成三羥丁基DNA鍵結物及血紅素鍵結物，為基因突變的前身。

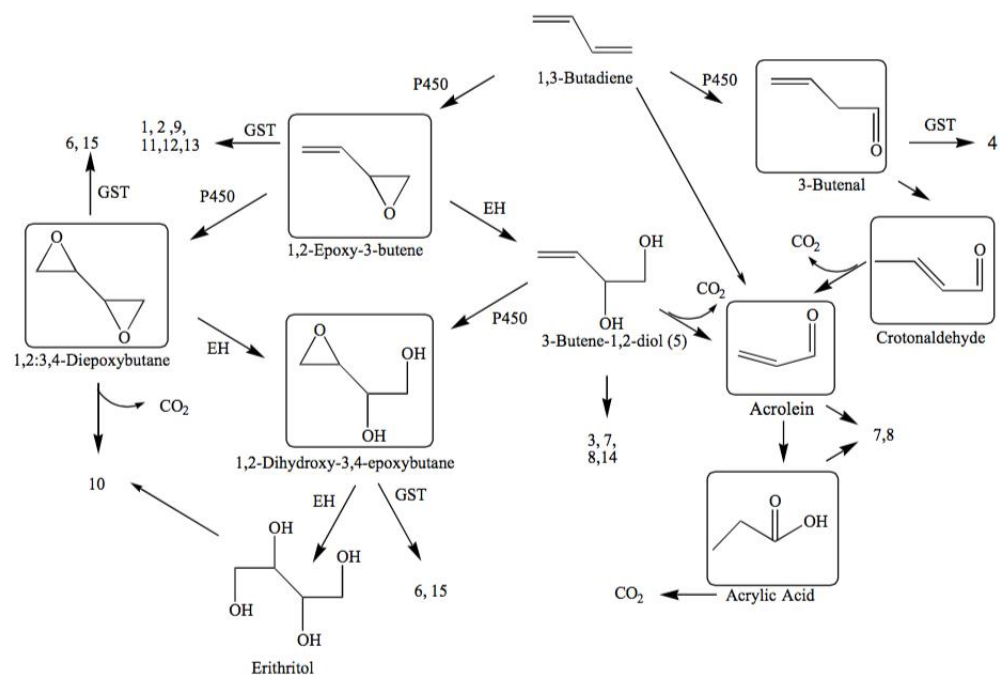


Figure 3-1. Schematic of 1,3-butadiene metabolism^a.

^aP450 stands for cytochrome P450, EH stands for epoxide hydrolase, GST stands for glutathione transferase, and GSH stands for glutathione. The reactive metabolites are shown inside boxes. The urinary metabolites are numbered and listed in Table 3-1.

圖一、1,3-丁二烯在人體的代謝途徑

排出(excretion) :

一半的 1,3-丁二烯被分解及呼出，剩下部份經代謝後由尿液排出。

Table 3-2. Identification of urinary metabolites in Figure 3-1.

Urinary metabolite number	Urinary metabolite name
1	<i>N</i> -acetyl- <i>S</i> -(2-hydroxy-3-butenyl)-L-cysteine, <i>S</i> -(2-hydroxy-3-buten-1-yl)- <i>N</i> -acetyl-L-cysteine, or 1-(<i>N</i> -Acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-2-hydroxybut-3-ene
2	<i>N</i> -acetyl- <i>S</i> -(1-(hydroxymethyl)-2-propenyl)-L-cysteine, or <i>S</i> -(1-hydroxy-3-buten-2-yl)- <i>N</i> -acetyl-L-cysteine, or 2-(<i>N</i> -Acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-1-hydroxybut-3-ene
3	1,2-dihydroxy-4-(<i>N</i> -acetyl-L-cysteiny)butane, 1,2-dihydroxy-4-(<i>N</i> -acetylcysteiny)- <i>S</i> -butane, or 4-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-1,2-dihydroxybutane
4	<i>N</i> -acetyl- <i>S</i> -(1-hydroxy-3-butenyl)-L-cysteine
5	3-Butene-1,2-diol
6	<i>N</i> -Acetyl- <i>S</i> -(1-(hydroxymethyl)-2,3-dihydroxypropyl)-L-cysteine or 3-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-1,2,4-trihydroxybutane
7	3-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)propan-1-ol
8	3-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)propanoic acid
9	<i>S</i> -(1-(Hydroxymethyl)-2-propenyl)-L-cysteine
10	1,3-Dihydroxypropanone or dihydroxyacetone
11	4-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-1-hydroxybut-2-ene
12	<i>S</i> -(1-hydroxy-3-buten-2-yl)mercaptoacetic acid
13	<i>S</i> -(2-hydroxy-3-buten-1-yl)mercaptoacetic acid
14	4-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-2-hydroxybutanoic acid
15	4-(<i>N</i> -acetyl-L-cystein- <i>S</i> -yl)-1,2,3-trihydroxybutane

圖 3-1 尿液中的代謝物總覽

作用機制(Mode of Action)

在職業暴露上有充足的證據顯示，1,3-丁二烯會造成白血症，但目前機制還不清楚

健康效應 (Health Effect)

急性效應：

15. 呼吸暴露 1-3 丁二烯會造成眼睛、鼻道、喉嚨和肺的刺激；在高濃度下亦造成神經危害(視覺模糊、疲倦、頭痛、暈眩)。
16. 皮膚暴露會造成寒冷的知覺，隨後有灼熱感，可能造成凍傷。

慢性效應 (非致癌)：

1. 長期呼吸暴露於 1,3-丁二酸會增加心血管疾病，如風濕性及動脈硬化心臟病
2. 動物實驗顯示長期呼吸暴露於 1,3-丁二酸會危害呼吸及心血管系統、血液、肝臟

※ $RfC = 0.002 \text{ mg/m}^3$

生殖/發展效應：

11. 目前沒有關於人類發展及生殖危害的資料
2. 小鼠呼吸暴露實驗顯示有發展危害，如：骨骼畸形、降低胎兒體重，生殖危害如增加卵巢、睪丸萎縮的發生率

致癌風險：

20. 橡膠工人流行病學研究顯示 1,3-丁二烯與胃癌、血癌及淋巴癌的風險
21. 動物呼吸暴露實驗顯示 1,3-丁二烯和不同位置的腫瘤相關
22. 1,3-丁二烯會代謝許多基因毒物

※ $\text{Inhalation unit risk} = 3 \times 10^{-5} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$

附表 8 離島工業區可能排放之有害物質清單

1,1,1-三氯乙烷	1,3,5-三甲基苯	1-醋酸基 4-羥基丁烷	2-甲基己烷	4-氯甲苯	乙基環戊烷
1,1,2,2-四氯乙烷	1,3-丁二烯	2,2,4-三甲基戊烷	2-甲基戊烷	4-氯苯胺	乙烯
1,1,2,2-四氯乙烷	1,3-丁二烯	2,2-二甲基丁烷	2-甲基庚烷	4-硝基苯胺	乙烯醋酸酯
1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷	1,3-二氯乙烷	2,2-二氯丙烷	2-甲基苯酚	4-溴二苯醚	乙烷
1,1,2-三氯乙烷	1,3-二氯丙烷	2,3-二甲基丁烷	2-甲基萘	4-羧基苯甲醛	乙硫醇妥爾酸酯
1,1-二氯乙烷	1,3-二氯苯	2,3-二甲基戊烷	2-氯甲苯	5- 亞乙基-2- 降冰片烯	乙硫醇酸
1,1--二氯乙烷	1,3-戊二烯	2,4,5-三氯酚	2-氯萘	Cumene Hydroperoxide	乙硫醇酸異辛酯
1,1-二氯丙烷	1,4 丁二醇	2,4-二甲基戊烷	2-硝基苯胺	LPG	乙腈
1,2,3-三甲基苯	1,4-丁二醇	2,4--二甲酚	3,3-二氯聯苯胺	N-亞硝基二甲胺	乙硼烷
1,2,3-三氯丙烷	1,4-二氯苯	2,4-二硝基甲苯	3-乙基乙醇	TBC	乙酸
1,2,4-三甲基苯	1,4-二醋酸基 2 丁烯	2,4-二硝基苯酚	3-甲基四氫苯二甲酸酐	THC	乙酸
1,2,4-三氯苯	1,4-二醋酸基丁烷	2,6-二第三丁基酚	3-甲基戊烷	一氧化碳	乙酸乙酯
1, 2, 4-三氯苯	1,5-丁二醇	2,6-二硝基甲苯	3-甲基庚烷	一氯二氟甲烷	乙酸正丁酯
1,2 丁二醇	1-乙硫丙烷	2-乙基乙烷乙硫醇酯	3-氯-1-丙烯	一氯丙烯	乙酸甲酯
1,2-丁二醇	1-丁烯	2-乙基己醇	3-硝基苯胺	一溴二氯甲烷	乙醇胺
1,2-二氯乙烷	1-己烷	2-乙基蒽醌	4,6-硝基-2-甲基酚	乙二胺	乙醛
1,2-二氯丙烷	1-壬醇	2-丁酮	4-甲基-2-戊酮	乙二醇	丁二烯
1,2-二氯苯	1-辛烯	2-丙烯酸異辛酯	4-甲基苯酚	乙二醛	丁二烯萃餘油
1,2-二溴乙烷	1-硫雜-2,4-環戊二烯	2-甲基-1,3-丙二醇	4-氯-3-甲基苯酚	乙炔	丁基二乙二醇
1,2-苯并〔A〕蒽	1-氯丁烷	2-甲基丁烷	4-氯二苯醚	乙苯	丁烯

附表 8 離島工業區可能排放之有害物質清單(續)

丁烷	二氧化硫	三氯化鐵 ^{3/4}	反-2-戊烷	丙酸	正丁醛
丁腈橡膠	二氧化碳	三氯矽甲烷	壬基苯酚	丙醇	正十一烷
丁酸內酯	二氨基甲苯	三氯矽烷	壬烯	丙醛	正十二烷
丁醇	二異氰酸甲苯	三溴甲烷	丙二酚	四丁基錫	正己烷
丁醛	二氯二氟甲烷	三聚甲醛	丙二醇	四辛基錫	正丙苯
九碳餾分油	二氯丙烯	己二酸	丙二醇甲醚	四氫化鄰苯二甲酸酐	正戊烷
二乙二醇	二氯四氯乙烷	己二酸二(2-乙基己)酯	丙基胺亞硝基鈉	四氫呋喃	正辛烷
二乙二醇單甲基醚醋酸酯	二氯甲烷	己二酸二異辛酯	丙烯	四氫酞酐	甲苯
二乙胺	二溴一氯甲烷	己烯	丙烯晴	四氯乙烯	甲苯二胺
二乙醇胺	二溴甲烷	己烷	丙烯腈	四氯化碳	甲基六氫酞酐
二丙烯甲醚	二溴氯丙烷	己烷	丙烯酸	四氯化錫	甲基六氫鄰苯二甲酸酐
二甲苯	二溴氯甲烷	中質輕油	丙烯酸丁酯	四溴丙二酚	甲基丙烯酸
二甲苯烷二異氰酸酯	二環戊二烯	之酯化級丙烯酸	丙烯酸甲酯	四碳烴	甲基丙烯酸丁酯
二甲基乙醯胺	三乙二醇	六偏磷酸鈉	丙烯酸異辛酯	戊烷	甲基丙烯酸甲酯
二甲基甲醯胺	三乙胺	六氫酞酐	丙烯醇	戊烷類碳氫化合物	甲基丙烯酸羥乙酯
二甲基錫氯化物	三氟化氮	六氫鄰苯二甲酸酐	丙烯醛	未轉化油	甲基丙烯醛
二苯(a,h)駢蔥	三氧化硫	六氯丁二烯	丙烷	正丁基苯	甲基四氫酞酐
二苯甲醯甲烷	三氧化鉻	反-1,2-二氯乙烯	丙烷類液化石油氣	正丁基鋰	甲基-苯乙烯
二苯并口夫口南	三氯一氟甲烷	反-1,3-二氯丙烯	丙硫醇	正丁烯	甲基異丁基酮
二苯基二氮烯	三氯乙烯	反-2-丁烯	丙酮	正丁醇	甲基異丁酮

附表 8 離島工業區可能排放之有害物質清單(續)

甲基第三丁基醚	尾氣	苯(k)苯駢蔥	偏苯三酸酐	異戊四醇	酚
甲基錫氯化物	汞	苯乙烯	氫	異戊烯	釧
甲基環己烷	辛烷	苯甲酸	氫氟酸	異戊烷	氫
甲基環戊烷	亞磷酸二苯基異癸基酯	苯並[g,h,i]芘	氫氣	異辛醇	氫
甲基磺酸	亞磷酸三苯酯	苯芘	氫氧化鈉	異癸醇	氯乙烯
甲烷	叔丁醇	苯胺	氫氧化鉀	硒	氯乙烷
甲酸	吡啶	重鉻酸鉀	氫氧化鉀	硫	氯化甲基苯
甲醇	屈	重質結焦製氣油	氫氧化鋇	硫化氫	氯化氫
甲醇鈉	庚烷	柴油	氫氯酸	硫酸	氯丙烯
甲醛	油酸	氧	液化石油氣	硫酸氫銨	氯甲烷
石油焦	矽	氧化鋅	液態硫磺	硫酸鈉	三氯甲烷
石油腦	矽甲烷	氮	烷化油	硫酸鋁	氯苯
多乙二醇	芘	氨水	異丁烯	硫醇乙酸	氯氣
多晶矽	芳香烴油	砷	異丁烷	硫醇乙醇	氰化氫
多環芳香烴	芴	航空煤油	異丁酯	第二丁基苯	氰丙醇
次氯酸鈉	芴	茚并(1,2,3-cd)芘	異丁醇	第三丁基苯; 叔丁基苯	氰酸
吡咯	芴烯	鈦	異丁醛	粗輕油	硝基苯
含水氫氟酸	金	高吸水性樹脂	異壬醇	脫芳香烴製氣油	硝酸
含硫正丁烷	苯	高鹼鋇	異丙苯	脫硫柴油	硝酸銅
妥爾酸	苯(b)苯駢蔥	偏苯三酸三辛酯	異戊二烯	脫瀝青質油	菲

附表 8 離島工業區可能排放之有害物質清單(續)

萘	過氧化氫	聚乙烯醋酸乙烯酯	鄰二甲苯	錫氧化物	鎂
鈮	過氧化氫	聚丙二醇	鄰-二甲苯	錫氯化物	檸檬酸
鈉	達諾殺	聚丙烯	鄰二氯苯	錳	鎘
鈣	酯化級丙烯酸	聚四甲基醚二醇	鄰甲酚	鍺	鎢
鈦	銻	聚四亞甲基醚二醇	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	戴奧辛	鎳
間-乙基甲苯	鈷	聚苯乙烯	鄰苯二甲酸二(3-乙基己基)酯	環己烷	鎳
間-二乙基苯	鉍	聚氯乙烯	鄰苯二甲酸二丁酯	環戊二烯	雙-2-氯乙氧基甲烷
間-二甲苯	鉀	聚醚多元醇	鄰苯二甲酸二正辛酯(DNOP)	環氧乙烷	雙環戊二烯
順-1,2-二氯乙烯	鉍	輕油	鄰苯二甲酸二異壬酯	環氧乙烷衍生物	瀝青油
順 1,3-二氯丙烯	鉛	輕質結焦製氣油	鄰苯二甲酸二異癸酯	環氧丙烷	鐵
順-2-丁烯	對-乙基甲苯	輕質輕油	醋酸乙烯酯	環氧氯丙烷	茈萵
順-2-戊烯	對二甲苯	鉻	醋酸酐	磷苯二甲酸二乙酯	
順丁烯二酐	對-二甲苯	鉻酸鋅	銻	磷苯二甲酸二甲酯	
順丁烯二酸酐	對位三丁甲基苯甲酸	銀	鋁	磷苯二甲酸二辛酯	
順式-1,3-二氯丙烯	對苯二甲酸	銅	鋅	磷酸	
溴	對苯二甲酸二甲酯	銻	鋇	磷酸三辛酯	
溴化苯	對-異丙基甲苯	銻	鐵	聯苯胺	
溴甲烷	碳酸鈉	銻	鋰	聯胺	
溴氯甲烷	聚乙二醇	鄰-乙基甲苯	燃料油	臨苯二甲酸酐	
碘甲烷	聚乙烯	鄰-二乙基苯	錫	鋇	

附表 9 資料庫及平台建置介紹

資料庫建置部份，本計畫建置空間資料庫、網路地圖服務伺服器與網路型地理資訊應用服務平台。其中，網路型地理資訊應用服務平台建置在空間資料庫與網路服務伺服器之上，可將所蒐集到的資料匯入，並提供資料的關鍵字搜尋與資料的展示與下載。若有空間訊息的資料，可以空間資料格式一併匯入，即可將資料做空間展示與地圖套疊，相當方便。

在資料蒐集部份，本計畫先盡可能蒐集相關所需資料以用於環境暴露模式與相關毒理資料查詢與使用。目前成果已蒐集包含台灣採購公報網中所有有關雲林縣環境保護之報告檔案、六輕環評相關監測資料與期末報告、空氣污染相關監測資料、毒理資料、氣象資料、相關生態研究、健康風險評估文獻回顧、地下水水質、土壤重金屬監測、特殊性工業區污染物排放資料、TEDS 9.0 點源面源資料及美國 WebFire Data 等相關資料。

資料庫整體架構圖如圖 46：

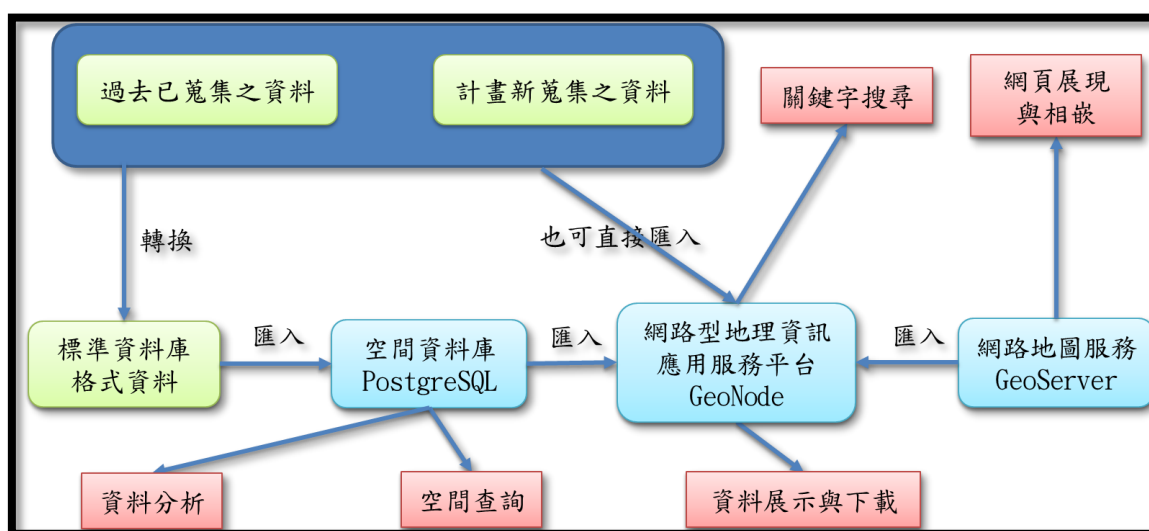


圖 46 資料庫整體架構

本計畫目前將所有資料匯入網路型地理資訊應用服務平台中，並建立其不同分類與關鍵字的詮釋資料。接著，再將包含空間訊息的資料轉換為標準的空間資料格式，匯入空間資料庫中，方便進階的空間查詢與資料分析。網站相關詳細介紹附錄於附表中。

在 GeoNode 建置好的同時，本計畫也建置好後台的空間資料庫 PostgreSQL。進入 PostgreSQL 後的介面如圖 47。

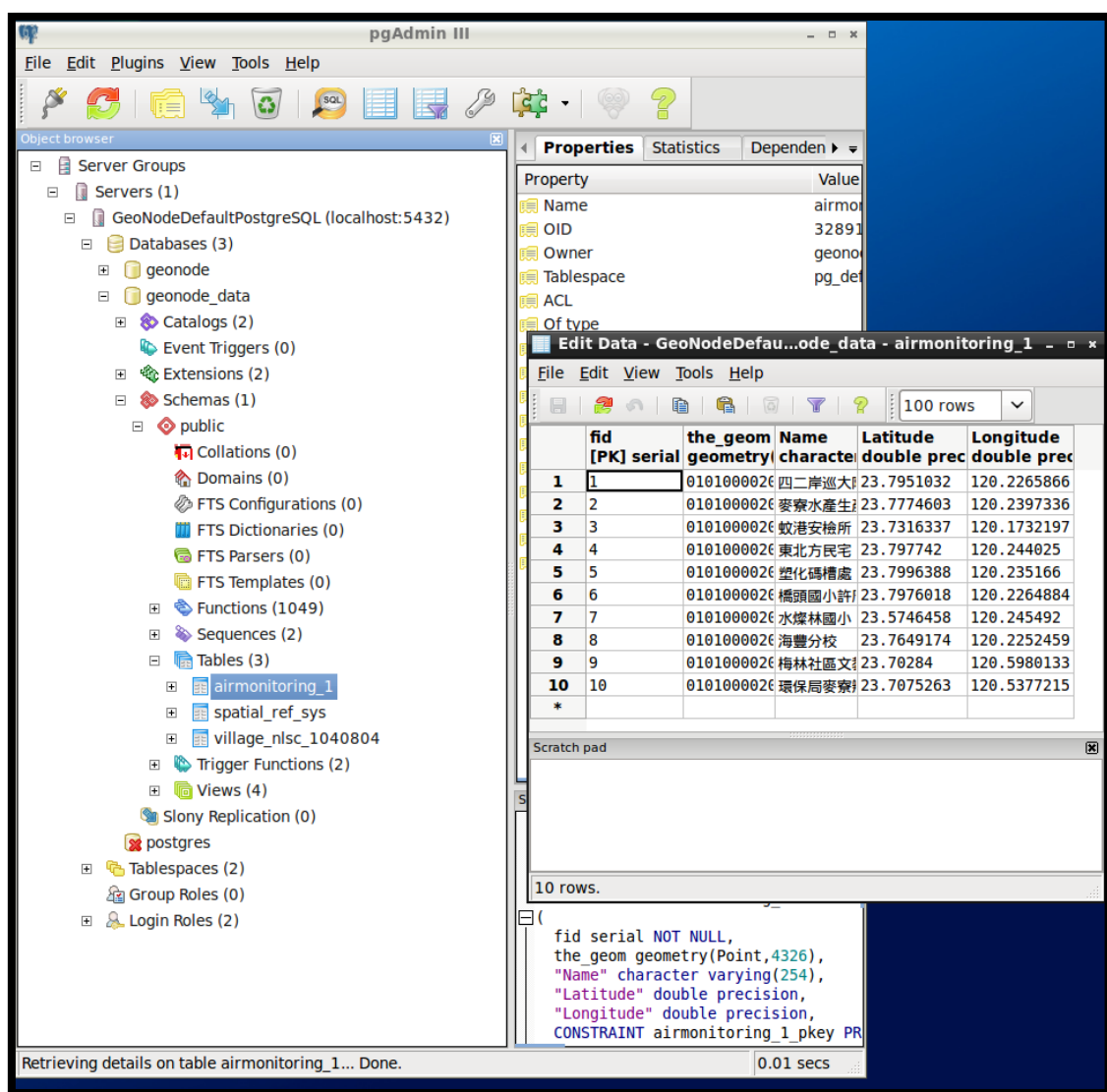


圖 47 PostgreSQL 連線成功介面

此 PostgreSQL 資料庫將與 GeoNode 的空間資料同步更新，方便管理。此外，也能對空間資料庫進行更進階的分析與查詢，例如 GIS 中常用的交集、環域、溶解、融合等函式。或可再經由其它專業地理資訊系統軟體如 QGIS、OSGEO 對空間資料進行下載、編修、上傳。

本計畫也另外使用 GeoServer 提供網路地圖服務，可由瀏覽器開啟空間資料。此服務也是隨著 GeoNode 空間資料同步更新，減少資料維護的困難、增進系統維護效能。GeoServer 可由 GeoNode 頁面連入，進入後 GeoServer 的“Layer Preview”頁面如圖 48。

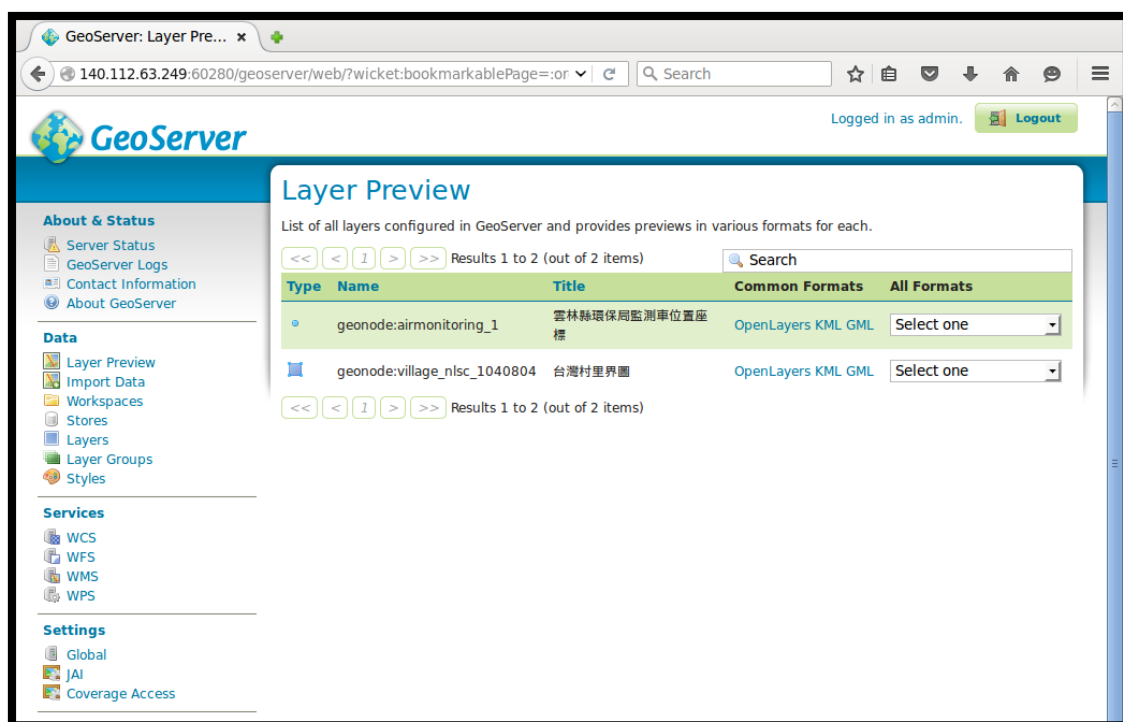


圖 48 GeoServer 的使用管理介面

點選想看的空間圖層，即可由網頁進行簡單的圖層展示。效果如圖 49。

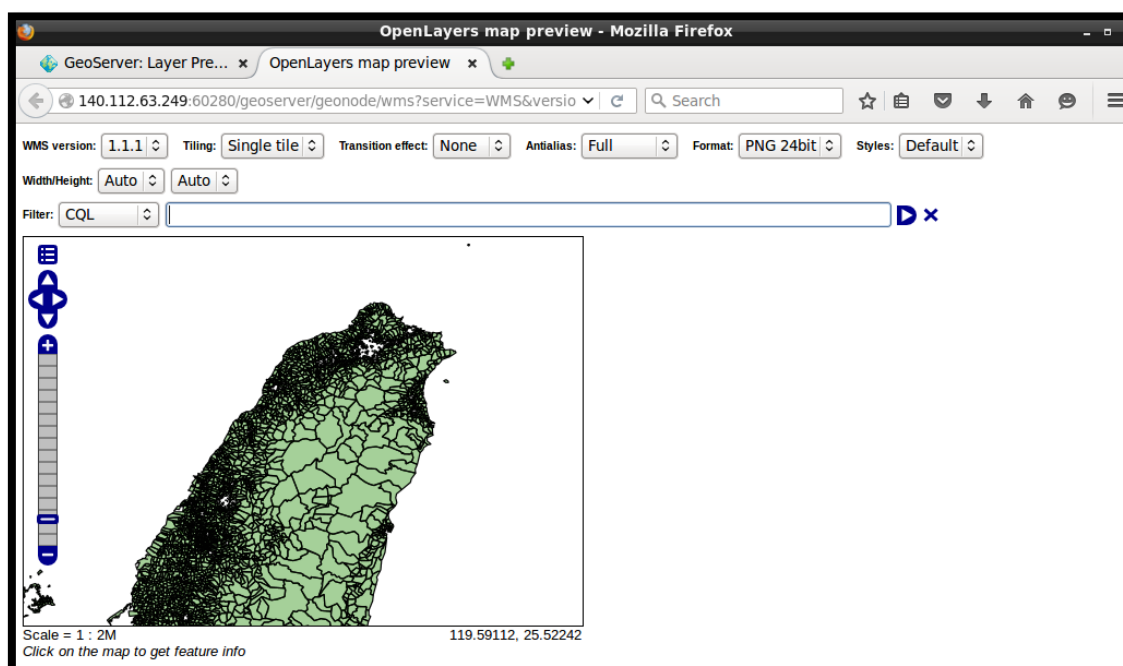


圖 49 空間圖資透過網路地圖服務展現

附表 10 各污染物參數敏感度分析列表

氯乙烯：

氯乙烯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(地下水)

Air content in the surface soil
Air content of root-zone soil
Air content of vadose-zone soil
Water content in surface soil
Porosity of the aquifer zone
Water content of root-zone soil
Water content; vadose-zone soil
Thickness of the ground soil layer
Thickness of the aquifer layer
Thickness of the root-zone soil
Thickness of the vadose-zone soil
Erosion of surface soil
Fraction of land area in surface water
Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in vadose zone
Volume fraction of lipid in leaf
Soil particle density

1,3-丁二烯

1,3-丁二烯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數		
底泥	植物	滲流土壤
Volume fraction of air in leaf	Air content in the surface soil	Air content in the surface soil
Contaminated area	Volume fraction of air in leaf	Air content of root-zone soil
Surface water current	Water content in surface soil	Air content of vadose-zone soil
Thickness of the root-zone soil	Volume fraction of water in leaf	Water content in surface soil
Average depth of surface waters	Effective pore depth	Water content of root-zone soil
Boundary layer thickness over leafs	Erosion of surface soil	Water content; vadose-zone soil
Suspended sediment deposition	Wet interception fraction	Thickness of the ground soil layer

Organic carbon fraction in sediments	One-sided Leaf Area Index	Thickness of the root-zone soil
Wet interception fraction	Volume fraction of lipid in leaf	Thickness of the vadose-zone soil
Flux; surface water into landscape	Annual average precipitation	Organic carbon fraction in sediments
Atmospheric dust load	Ground-water recharge	Organic carbon fraction in aquifer zone
Solid material density in sediment	Leaf wet density	Soil particle density
Solid material density in aquifer	Ambient environmental temperature	Ambient environmental temperature
Soil particle density	Leaf surface erosion half-life	
Land surface runoff	Yearly average wind speed	
Ambient environmental temperature	Primary production dry vegetation	

1,2-二氯丙烷：

1,2-二氯丙烷之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(地下水)
Air content in the surface soil
Air content of root-zone soil
Air content of vadose-zone soil
Water content in surface soil
Porosity of the aquifer zone
Water content of root-zone soil
Water content; vadose-zone soil
Surface water current in m/d
Bioturbation
Thickness of the ground soil layer
Thickness of the aquifer layer
Thickness of the root-zone soil
Thickness of the vadose-zone soil
Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in upper soil zone

Organic carbon fraction in vadose zone
Ground-water recharge
Soil particle density

苯：

苯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(底泥)
Sediment burial rate
Surface water current in m/d
Thickness of the root-zone soil
Average depth of surface waters
Boundary layer thickness over leafs
Organic carbon fraction in sediments
Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in upper soil zone
Volume fraction of lipid in leaf
Atmospheric dust load
Solid material density in sediment
Soil particle density
Land surface runoff
Ambient environmental temperature

三氯乙烯：

三氯乙烯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(植物)
Volume fraction of air in leaf
Water content in surface soil
Volume fraction of water in leaf
Effective pore depth
Organic carbon fraction in vadose zone
Wet interception fraction
Flux; surface water into landscape
One-sided Leaf Area Index
Volume fraction of lipid in leaf
Annual average precipitation
Ground-water recharge
Leaf wet density
Ambient environmental temperature

Leaf surface erosion half-life
Yearly average wind speed
Primary produciton dry vegetation

四氯乙烯

四氯乙烯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(底泥)
Sediment burial rate
Surface water current in m/d
Average depth of surface waters
Boundary layer thickness over leafs
Organic carbon fraction in sediments
Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in upper soil zone
Wet interception fraction
Volume fraction of lipid in leaf
Stomata area frctn
Atmospheric dust load
Solid material density in sediment
Soil particle density
Land surface runoff
Ambient environmental temperature

三氯甲烷

三氯甲烷之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(地下水)
Air content in the surface soil
Air content of root-zone soil
Air content of vadose-zone soil
Porosity of the sediment zone
Water content in surface soil
Porosity of the aquifer zone
Water content of root-zone soil
Water content; vadose-zone soil
Bioturbation
Avg thickness of leaf surface
Thickness of the ground soil layer

Thickness of the aquifer layer
Thickness of the root-zone soil
Thickness of the vadose-zone soil
Organic carbon fraction in sediments
Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in upper soil zone
Organic carbon fraction in vadose zone
Root wet density
Solid material density in aquifer
Yearly average wind speed
Primary produciton dry vegetation

1,2-二氯乙烷

1,2-二氯乙烷之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數 (地下水)
Air content in the surface soil
Air content of root-zone soil
Air content of vadose-zone soil
Porosity of the sediment zone
Water content in surface soil
Volume fraction of water in leaf
Porosity of the aquifer zone
Water content of root-zone soil
Water content; vadose-zone soil
Bioturbation
Thickness of the ground soil layer
Thickness of the aquifer layer
Thickness of the root-zone soil
Thickness of the vadose-zone soil
Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in upper soil zone
Volume fraction of lipid in leaf
Stomata area frctn
Ground-water recharge
Root wet density
Ambient environmental temperature

Primary produciton dry vegetation

異丙苯：

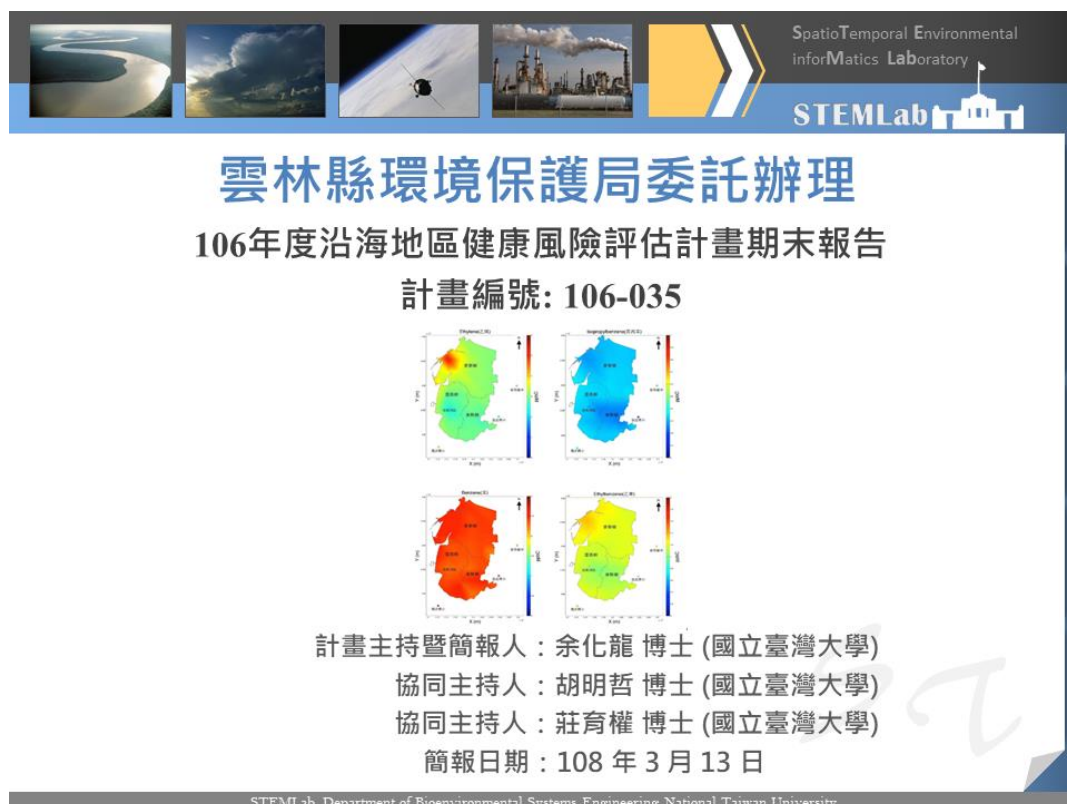
異丙苯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數	
底泥	植物
Water content of root-zone soil	Contaminated area
Surface water current	Water content in surface soil
Bioturbation	Volume fraction of water in leaf
Thickness of the root-zone soil	Bioturbation
Average depth of surface waters	Erosion of surface soil
Boundary layer thickness over leafs	Wet interception fraction
Suspended sdmnt deposition	Flux; surface water into landscape
Organic carbon fraction in sediments	One-sided Leaf Area Index
Organic carbon fraction in aquifer zone	Volume fraction of lipid in leaf
Flux; surface water into landscape	Stomata area frctn
Volume fraction of lipid in leaf	Annual average precipitation
Stem wet density	Ground-water recharge
Atmospheric dust load	Leaf wet density
Solid material density in sediment	Atmospheric dust load
Soil particle density	Suspended sedmnt in surface wtr
Land surface runoff	Ambient environmental temperature
Ambient environmental temperature	Leaf surface erosion half-life
	Dry deposition velocity, air particles
	Primary produciton dry vegetation

1,4-二氯苯

1,4-二氯苯之 CalTOX 多介質傳輸敏感參數(底泥)
Sediment burial rate
Surface water current in m/d
Thickness of the root-zone soil
Average depth of surface waters
Boundary layer thickness over leafs
Organic carbon fraction in sediments

Organic carbon fraction in aquifer zone
Organic carbon fraction in upper soil zone
Wet interception fraction
Volume fraction of lipid in leaf
Atmospheric dust load
Solid material density in sediment
Soil particle density
Land surface runoff
Ambient environmental temperature

附表 11 期末報告簡報檔



SpatioTemporal Environmental Informatics Laboratory

STEMLab

簡報大綱

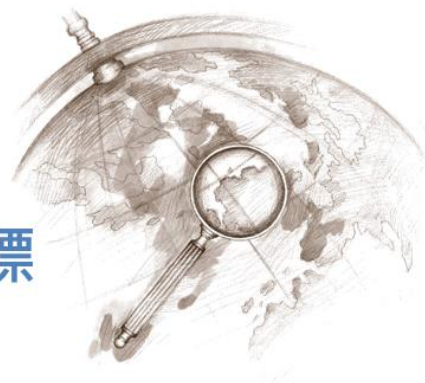
壹、計畫緣起與目標	
貳、資料建構	
參、環境暴露模式發展與時空推估	
肆、健康風險評估架構	
伍、環境健康監測系統	
陸、現行機關所用之模式或方法分析探討	
柒、結果討論與未來工作	

2

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



壹、計畫緣起與目標



3

STEMLAB, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



計畫緣起

- ❖ 為探討離島工業區自竣工營運後至今對當地民眾健康的影響，就收集過去針對離島工業區進行各種監測的數據與資料，離島工業區排放濃度污染物濃度進行時間空間的模擬，進而可執行附近居民的暴露重建。
- ❖ 建構離島工業區之健康風險評估架構，進而執行健康風險評估，並與過去流行病學研究結果進行比較。
- ❖ 過去篩選式的風險評估結果所含不確定高，為降低不確定性，本計畫預計以數學統計方式建構暴露評估以及風險評估方法，並加上石化監測車之資訊，以期改善健康風險評估的品質。



4

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



計畫目標

- ✧ 延續收集彙整過去各單位針對離島工業區執行相關的環境污染物排放資料，進行系統性研析，並整理物質的毒理資料及相關文獻，以提供未來研究之參考。
- ✧ 以居民健康風險評估為基礎，由環保局目前所使用之模式更新或優化離島工業區相關環境時空間暴露評估模型，以評估民眾經由各種途徑暴露的健康風險，並分別對於成人及幼孩童進行評估。
- ✧ 利用上述的模式與方法，特別針對民眾關切的环境污染物進行暴露及健康風險評估。
- ✧ 參考國外先進國家案例，配合上述健康風險評估模式與方法，模擬建構離島工業區針對環境健康監測系統，提供政府擬訂相關管理政策參考，以維護當地居民身體健康。

5

5

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



工作項目及工作內容(1/2)

- ✧ 資料建構：持續蒐集進行環境暴露模式所需之環境監測資料，資料庫包含整理離島工業區及附近環境污染物排放資料(至少包含環保署測站、特殊性工業區測站及雲林縣環保局監測車監測資料)，建立離島工業區有害化學物質清單及其相關毒理資料與文獻。
- ✧ 環境暴露模式發展：發展以離島工業區排放為基礎之環境暴露推估模型，為降低估算的不確定性，依實測數據發展以數學統計方法為基礎，進行空氣污染物(應自行參考可得資料規畫空氣污染物種，但至少須包含以雲林縣環保局監測車所測得物種及雲林縣特殊性工業區測站中國際癌症研究署組織(IARC)所規範 2B 級以上物質，如苯、氯乙烯、1,3-丁二烯、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯等)之空氣擴散模式及多介質模式，及發展推估離島工業區污染排放量之數學統計模型。並模擬工業區附近汙染物濃度，以模擬暴露濃度並評估健康風險。

6

6

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



工作項目及工作內容(2/2)

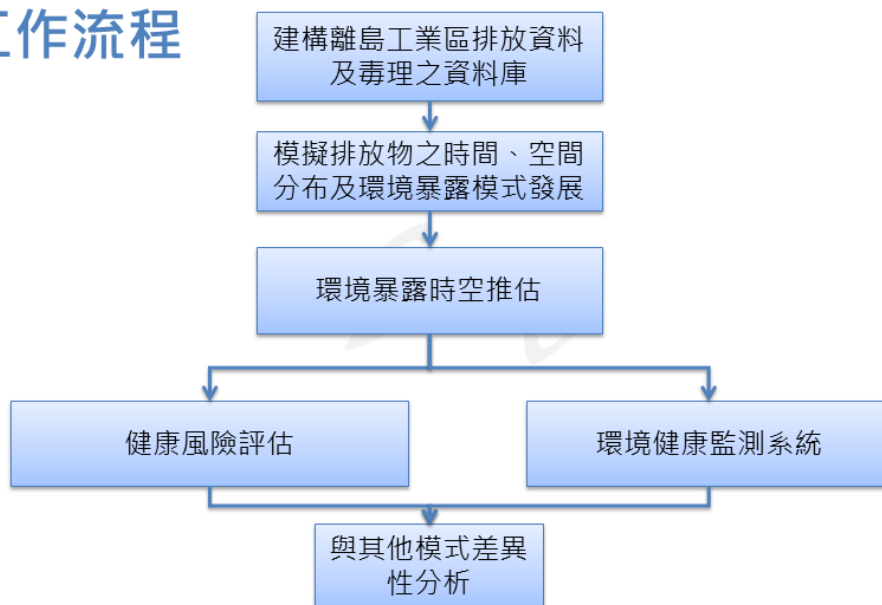
- ◇ 環境暴露時空推估：以環境監測資料為基礎，參考毒理資料庫對民眾健康風險高之污染物進行排放量推估與模擬時空間濃度分佈，並探討與不同介質濃度推估總暴露劑量，評估健康風險；另需選定須包含氯乙烯等至少2種化學物質，進行不同排放情境之暴露分佈推估。
- ◇ 健康風險評估架構：建構有害污染物之健康風險評估架構，並需考量健康風險評估之不確定性，含模式與資料之不確定，進行健康風險評估(需區分敏感與一般暴露族群，及急性和慢性暴露情境之健康風險)。
- ◇ 環境健康監測系統：利用監測站的數據，針對物理特性，結合時空統計及多介質模式與健康風險評估方法，規劃離島工業區環境污染物採樣策略，包括採樣位置，頻率，媒介等。
- ◇ 與國內現行相關機關(如環保署)所使用之模式或方法進行分析探討其差異性。

7

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



工作流程



8

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



健康風險評估流程



9 30

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



預期計畫執行進度

月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
年別	106年度				107年度							
月份	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
一、資料建構												
1. 蒐集相關污染物之排放及毒理資料監測之資料												
2. 建構資料庫												
二、環境暴露模式發展												
1. 建構大氣擴散模式												
2. 建構多介質模式												
3. 發展推估離島工業區之排放量模型												
三、環境暴露時空推估												
1. 推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度												
四、健康風險評估架構												
1. 劑量反應評估、風險特性化及不確定性分析												
五、規畫離島工業區環境污染物採樣策略												
1. 透過二、三項結果規劃環境污染物採樣策略												
2. 建構離島工業區環境污染物有效監測系統												
3. 建構離島工業區環境污染物有效監測頻率												
六、與其他模式之差異分析												
1. 與現行相關機關使用之模式分析探討												
第1次工作報告				✓								
期中報告							✓					
期末報告初稿											✓	
期末報告定稿												✓
預定進度累積百分比(%)	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	96	100

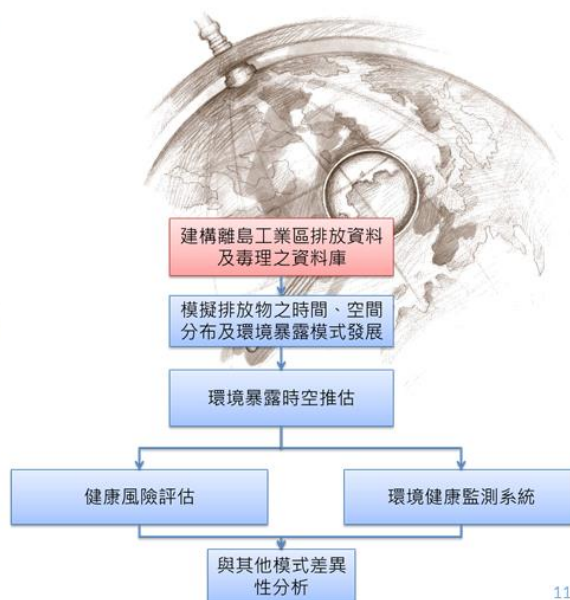
10

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



貳、資料建構

蒐集進行環境暴露模式所需之環境監測資料，建立離島工業區有害化學物質排放清單及其相關毒理資料與文獻，以提供未來研究離島工業區之參考。



11

STEMLAB, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



資料建構流程



12

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



整體資料總覽

資料類別	資料蒐集成果
六輕環評相關監測資料與期末報告	報告書部份共135筆，資料部份共29筆 包含六輕營運10年總體評鑑計畫、 離島工業區即時環境監測及預警系統建置計畫成果摘要等
空氣品質、空氣污染相關監測資料	報告書部份共63筆，資料部份共14筆 加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫期末報告、 監測車五號空氣品質監測等
氣象資料	資料部份共1筆 由氣象局資料庫提供之局署、自動測站氣象資料
地下水水質、土壤重金屬監測	報告書部份共29筆，資料部份共8筆 包含行政院環境保護署地下水水質監測、六輕工業區水質監測管理計畫、 包含雲林縣六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫、 雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫期末報告等
相關生態研究	報告書部份共1筆，資料部份共6筆 包含雲林縣海洋及河川污染對環境生態影響調查及監測計畫、 陸、海域生態動植物資料等
毒理資料	報告書部份共5筆，資料部份共1筆 包含毒性化學物質稽查管制計畫、污染物毒性特徵資料等
健康風險評估文獻回顧	報告書部份共7筆 包含沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫、 雲林地區空氣污染之健康風險分析及研究規劃等

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



毒理資料蒐集

- ✧ 由文獻資料與毒理資料庫如 TOXNET, IRIS, IARC, GENETOX, PubMed等，整理化學物質可能對人體造成影響的資料。並依照化學物質的作用模式(Mode of action)來判斷擬評估的不良效應
- ✧ 針對本計畫評估之16種化學物質之物質基本資料、毒理動力學、作用機制、健康效應面向作資料蒐集

[illegible]

奇理斯頓 (Craig Macnamara)

奇理斯頓是加拿大著名的職業高爾夫球手。他在1997年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。他在2005年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。他在2005年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。

詹姆斯·馬爾斯 (James Marsden)

詹姆斯·馬爾斯是美國著名的演員。他在1997年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。他在2005年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。他在2005年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。

詹姆斯·馬爾斯 (James Marsden)

詹姆斯·馬爾斯是美國著名的演員。他在1997年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。他在2005年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。他在2005年贏得PGA巡迴賽的冠軍，成為北美洲職業高爾夫球手中最年輕的冠軍。

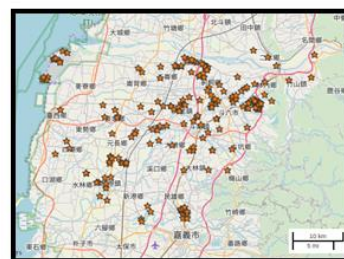
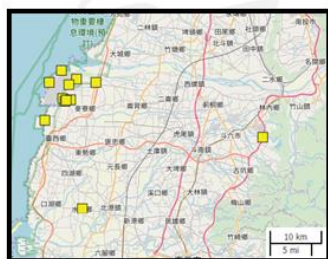
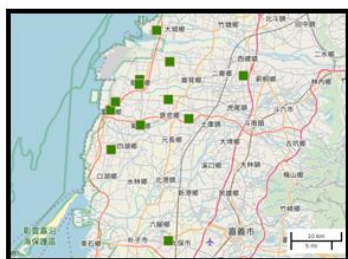
15

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



環境資料蒐集

- ✧ 由文獻與報告書、資料等整理，了解六輕環境、空氣污染、氣象資料、水質等相關背景與知識
- ✧ 蒐集大氣擴散模式所需之相關環境資料以供後續使用



特殊性工業區測站位置

六輕工業區監測車監測位置

TEDS9.0 點源排放源位置

16

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

SpatioTemporal Environmental
informatics Laboratory
STEMLab

資料展現平台

17

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

SpatioTemporal Environmental
informatics Laboratory
STEMLab

有害化學物質清單建立(1/4)

- ◆ 蒐集臨海工業區可能排放之空氣及水汙染物需要評估之化學物質
- ◆ 蒐集環境汙染物資料與工廠中化學原料組成、產品製程和最終處理方法等資料，鑑定可能排放的物質，並比對環境中之監測濃度資料以決定進行健康風險評估之化學物質

➤ 涵蓋範圍

➤ 涵蓋項目

18

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



有害化學物質清單建立(2/4)

- ◇ 綜合本計畫統整之六輕可能排放之物質清單、特殊性工業區監測資料、TEDS環保署空氣汙染查詢系統所彙整之清單，整理出沿海地區目前有致癌風險之物質共127種，IARC分級如右表。

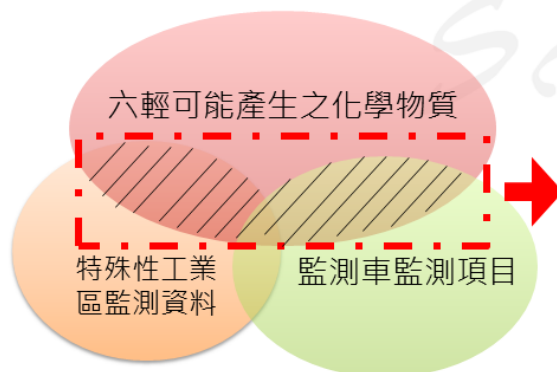
致癌物質	
1級	16種
2A級	17種
2B級	43種
3級	51種
總計	127種

19




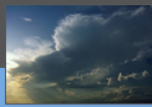


有害化學物質清單建立(3/4)

- ◆ 本計畫依據六輕沿海地區有監測之項目，共篩選34種化學物質



1級致癌物	
苯駢(a)芘	氯乙烯
砷	1,3-丁二烯
鉻	1,2-二氯丙烷
鈹	苯
戴奧辛	三氯乙烯
2A級致癌物	
氯甲苯	二氯甲烷
1,2-二溴乙烷	四氯乙烯
2B級致癌物	
丙烯腈	鉛
一溴二氯甲烷	三氯甲烷
甲基異丁酮	四氯化碳
1,1,2,2-四氯乙烷	1,2-二氯乙烷
乙酸乙烯酯	乙苯
萘	苯乙烯
順-1,3-二氯丙烯	異丙苯
反-1,3-二氯丙烯	異戊二烯
α-甲基苯乙烯	1,4-二氯苯
鎳	三氯甲烷

20

SpatioTemporal Environmental
inforMatics Laboratory
STEMLab

有害化學物質清單建立(4/4)

◆ 本計畫欲評估之項目

- 新篩選出的34項化學物質，因特殊性工業區資料缺乏監測數值，其中18項無法評估，因此本計畫欲評估的項目共16種，如右表所列。

1級致癌物
氯乙烯
1,3-丁二烯
1,2-二氯丙烷
苯
三氯乙烯
2A級致癌物
1,2-二溴乙烷
二氯甲烷
四氯乙烯
2B級致癌物
三氯甲烷
四氯化碳
1,2-二氯乙烷
乙苯
苯乙烯
異丙苯
異戊二烯
1,4-二氯苯

34種化學物質

IARC分類
(Group1、2A、2B)

有檢出監測濃度
之項目篩選

21

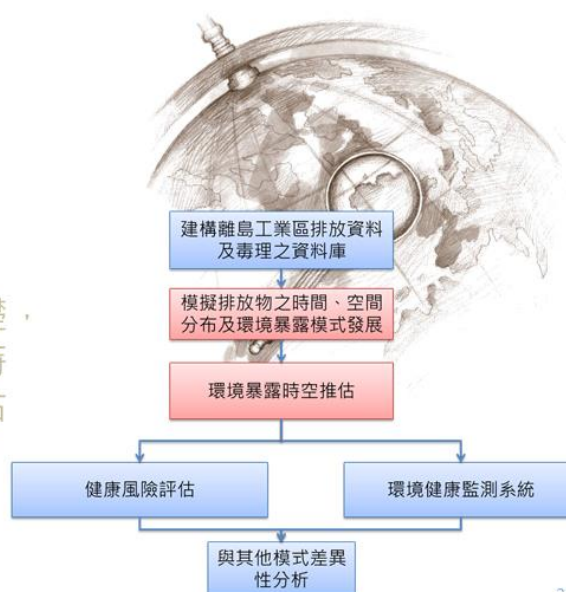




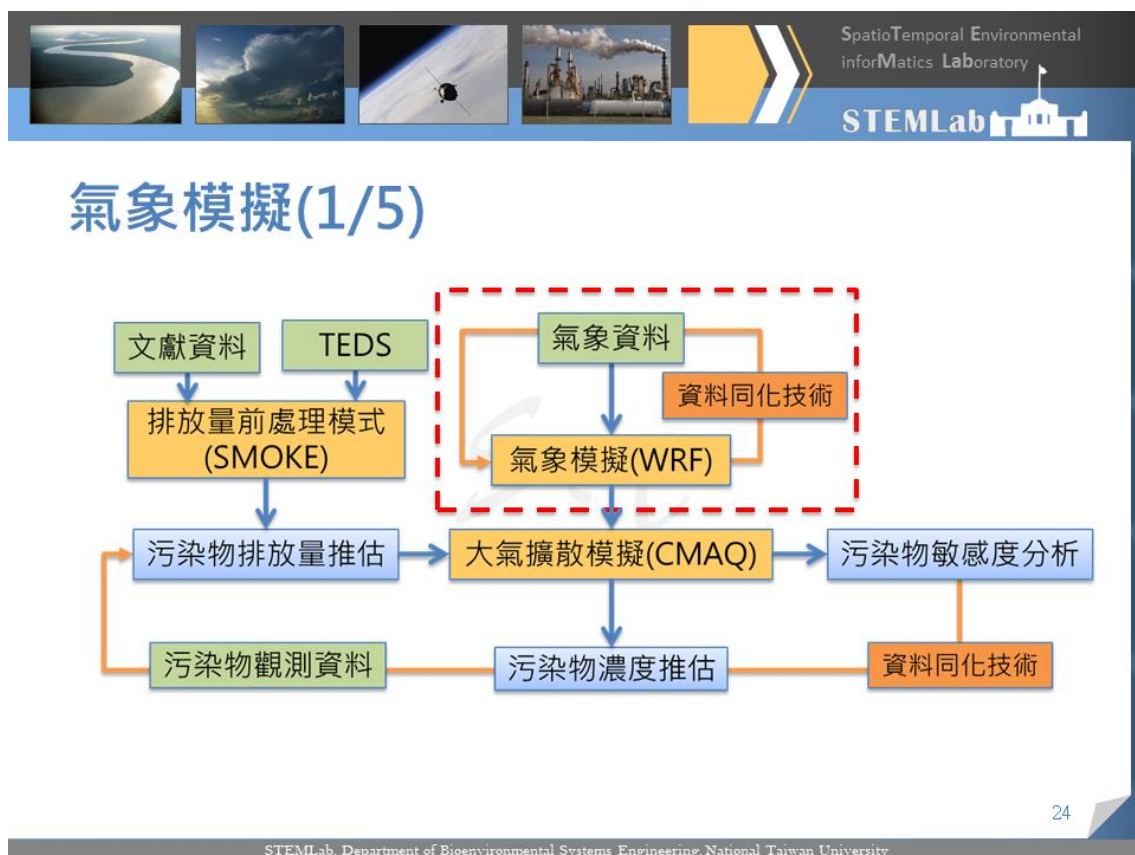
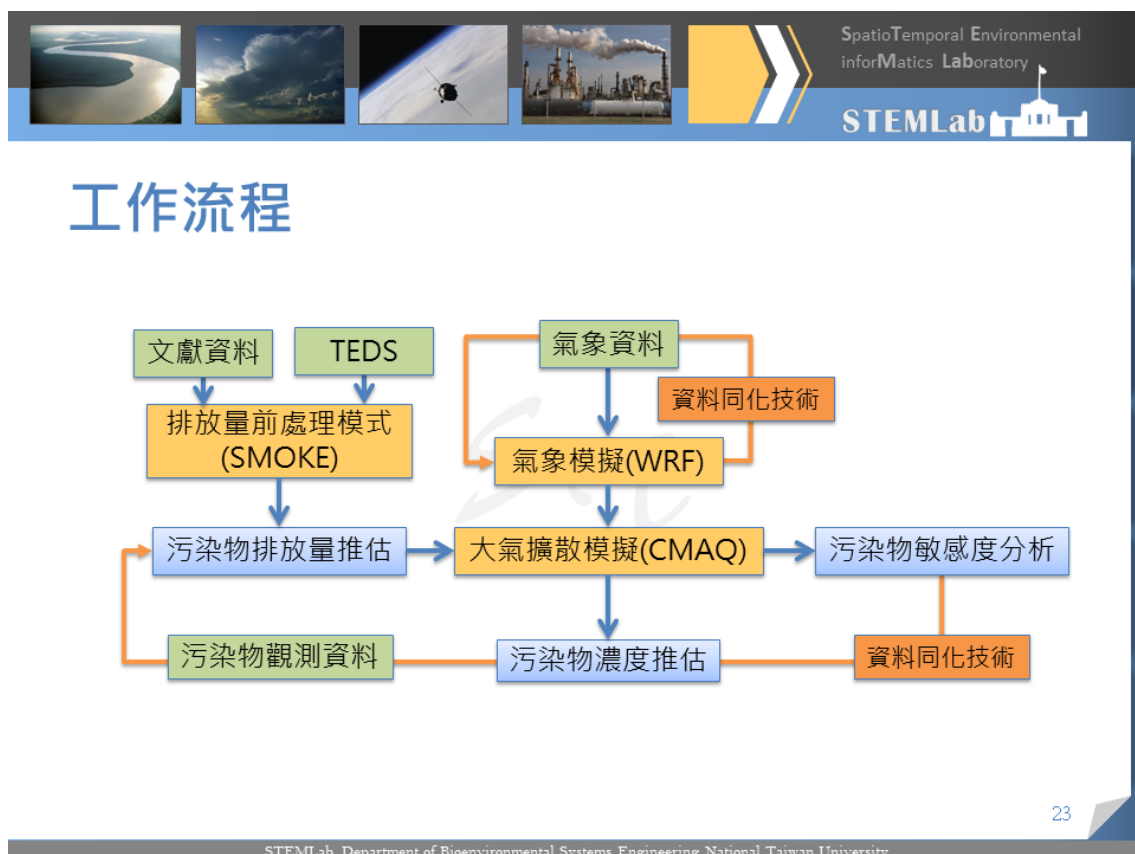

STEMLAB
SpatioTemporal Environmental
inforMatics Laboratory

參、環境暴露 模式發展與時 空推估

以居民健康風險評估為基礎，發展離島工業區相關環境時空暴露評估模型，以評估各種途徑暴露的健康風險。



22





氣象模擬(2/5)

- ✧ WRF(Weather Research and Forecasting)目前由北美校際合作組織(UCAR)發展與維護是在國際間廣泛用於研究與預報氣象的程式。
- ✧ WRF的性能除了已經受到詳細的驗證之外又加入資料同化的功能能夠結合觀測資料重建氣象環境。
- ✧ 本計畫WRF使用全球模式NCEP FNL(National Centers for Environmental Prediction Final Operational Global Analysis data, 2000)將解析度為1度全球網格模擬至台灣全區約4km解析度。

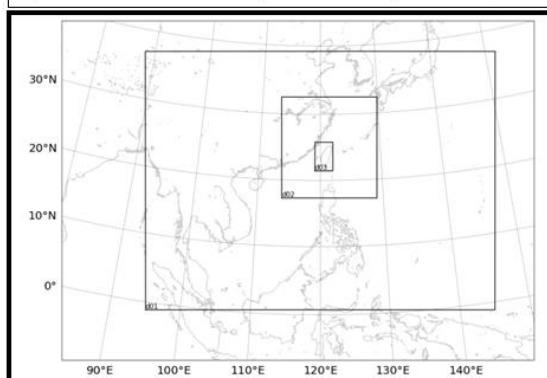
25

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

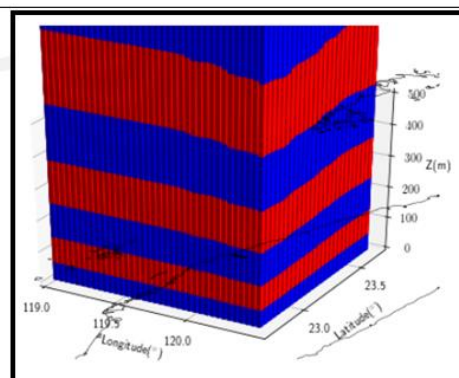


氣象條件-3D網格格點(3/5)

環保署模式支援中心報告(環保署, 2017)指出雲嘉地區最佳模式設定為GMTED2010(Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010)地形資料、WSM5(Single Moment 5-class scheme)微物理參數、YSU(Yonsei University scheme)邊界層參數。



氣象網格範圍，模擬基於NCEP FNL(2000)全球氣象模式歷史資料



3D網格格點

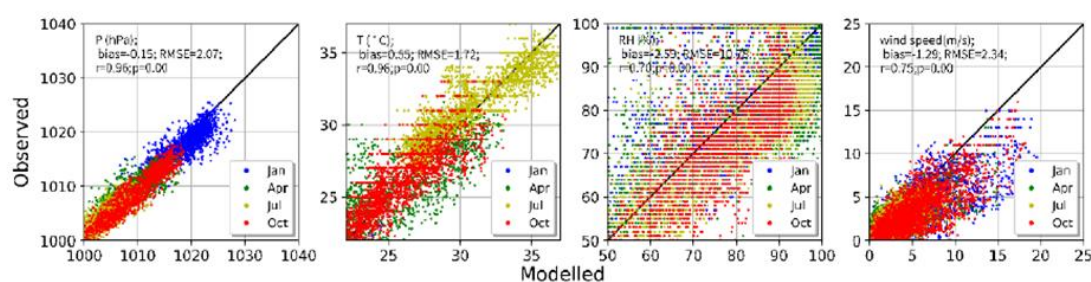
26

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



氣象條件-WRF verification (Temporal) (4/5)

- WRF模式設定加入海溫(NCEP FNL, 2000)及數據同化(Data Assimilation)全球探空及地面測站資料(NCEP ADP, 2008)與衛星輻射(NCEP GADS, 2009)。
- WRF數據同化結合科學理解之大氣機制與觀測資料，利用數據同化可以彌補誤差如儀器量測偏差或模式使用資料不足等。



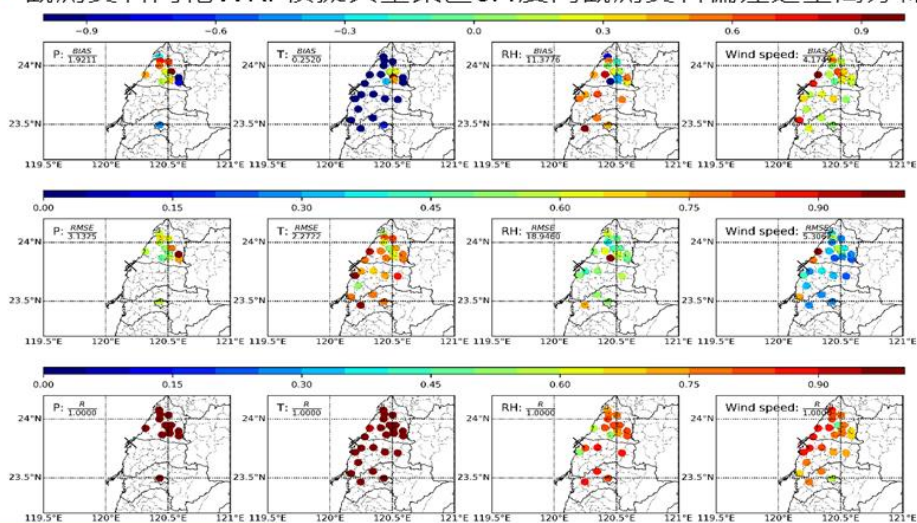
27

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



氣象條件-WRF verification (Spatial) (5/5)

- 觀測資料同化WRF模擬與工業區0.4度內觀測資料偏差之空間分佈



28

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

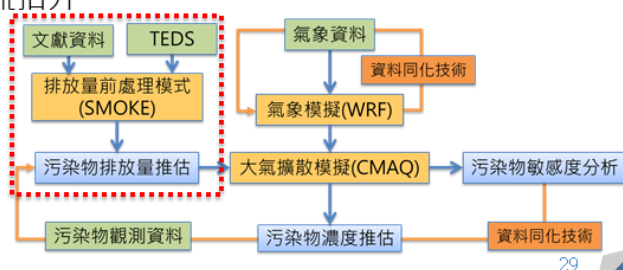


排放資料(1/2)

- ✧ 全國排放量採用TEDS9.0(行政院環保署, 2016)排放量資料經過SMOKE(Sparse Matrix Operator Kernel Emissions)模式可以考量以下：

- ✧ 依排放源分類代碼(SCC)將總有機物排放量分成多種污染物
- ✧ 將排放源網格化
- ✧ 排放模擬加入各行業類別之運作時程
- ✧ 依氣象資料加入初始煙流抬升

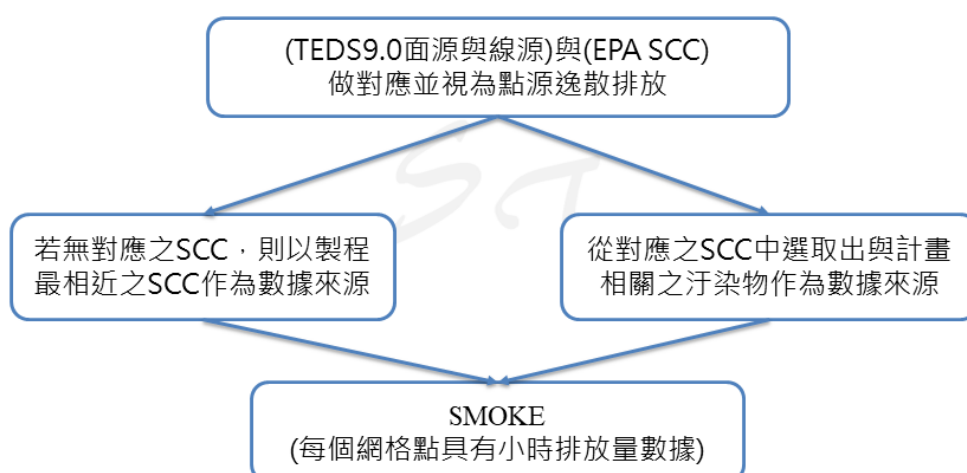
- ✧ 加入過去計畫蒐集離島工業區之有毒污染物排放量一併進行模擬。



STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



排放資料彙整流程(2/2)

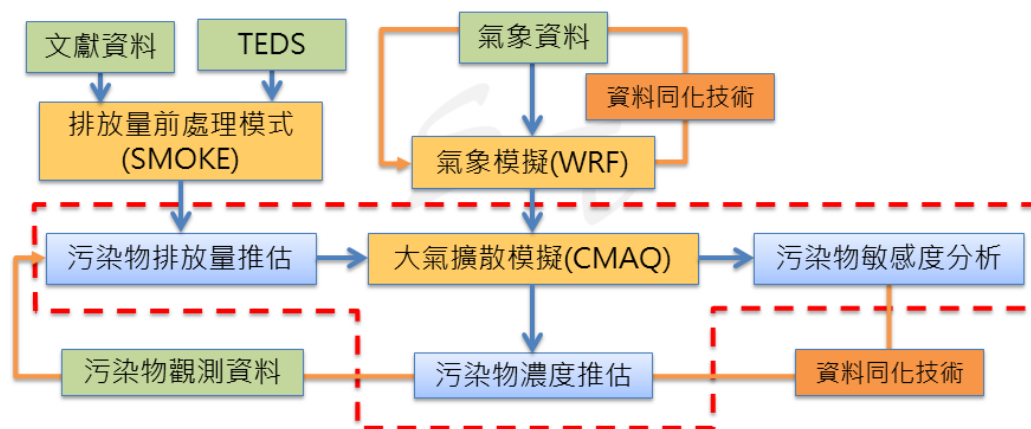


30

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



大氣擴散模式(1/2)



31

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



大氣擴散模式(2/2)

- ✧ CMAQ(Community Multiscale Air Quality)目前由美國環保署發展與維護，在國際間廣泛用於中尺度大氣擴散模擬。CMAQ模擬真實大氣擴散機制的性能已經有詳細的驗證文獻並應用於空氣污染管制相關的模擬。
- ✧ CMAQ-DDM-3D(CMAQ Decoupled Direct Method in Three Dimensions)為CMAQ版本中設計用於參數敏感度推估，主要分析污染物與其來源(Source apportionment)。
- ✧ CMAQ-DDM-3D需要排放資料以氣象場驅動排放物在大氣中傳輸。

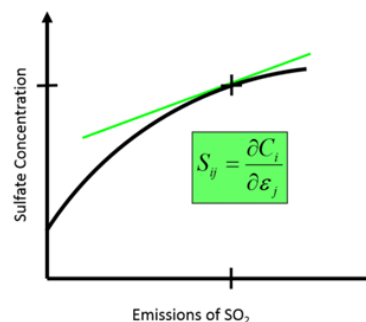
32

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



排放敏感度推估(1/2)

- ◆ CMAQ-DDM-3D敏感度
- ◆ 過去計畫使用AERMOD推估排放源-受體敏感度以推算污染物年平均濃度之空間分布
 - ✦ 推估排放源-受體敏感度為大量隨機調整之排放情境與受體年平均濃度之線性代數解。
- ◆ CMAQ同時計算所有污染物及其受體對應之敏感度，應可在維持排放源各污染物間比例（Source Profile）的前提下計算排放源-受體敏感度同時估計年平均濃度之空間分布。
 - ✦ 敏感度為化學傳輸模組中偏微分方程式的解
 - ✦ CMAQ-DDM-3D在計算污染物濃度時同時模擬敏感度的傳遞（Sensitivity Propagation）

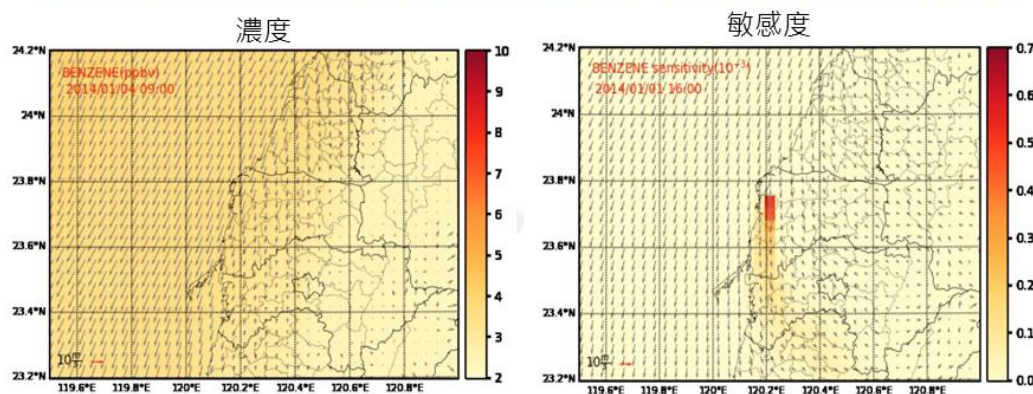


33

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



CMAQ-周遭地區汙染物濃度相對於六輕排放源敏感度(2/2)



濃度與敏感度空間分布:

敏感度為排放源在空間各點濃度的貢獻量。其空間分布可以顯示模擬時間間隔(1小時)內的煙流軌跡。

34

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



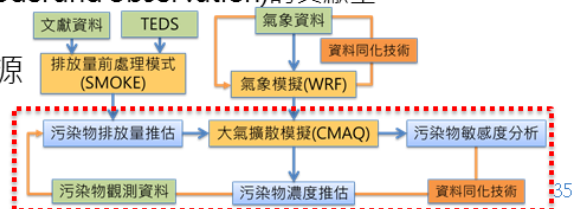
排放量修正方法(1/6)

- 利用化學平衡法(Chemical mass balance; CMB)解析研究時空間範圍內所有模擬值與預設之排放源間敏感度線性關聯。

$$C \approx H = \sum_{j=1}^{n'} \varepsilon_j S_j + \sigma_j(x)$$

- ✦ C : 線性迴歸觀測值
- ✦ H : 空氣污染物的CMAQ模擬濃度
- ✦ ε : j 污染源排放量
- ✦ S : j 污染源對濃度的敏感度(貢獻量)
- ✦ σ : 為未知來源貢獻量應包括其他污染源(不在考慮範圍內的排放源)、初始條件、非線性項及不確定性(Model and observation)的貢獻量

- ✦ 線性迴歸的目的在修正污染源排放量 ε 使 $H = C$



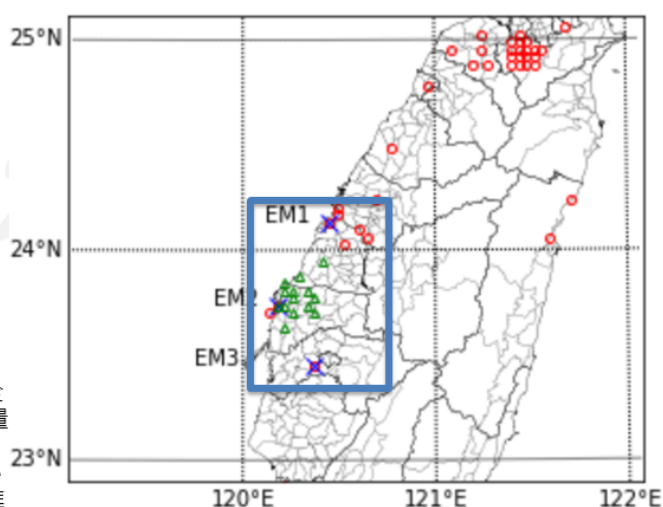
STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



排放源選擇與觀測點相對位置(2/6)

- ✦ □ : 研究範圍
- ✦ ○ : 主要排放源
- ✦ X : 本研究選定的主要排放源
- ✦ EM1 : (臺中發電廠周邊)
- ✦ EM2 : (雲林離島工業區周邊)
- ✦ EM3 : (嘉義明雄工業區周邊)
- ✦ △ : 觀測點位(環保署空品、光化、監測車、特殊性工業區測站)。
- ✦ * 其中EM1、EM2、EM3各加入假設之地面逸散源排放以補足TEDS9.0與現實狀況的差異*。

- CMAQ依氣象場模擬污染物傳輸計算全區污染物濃度與各排放源敏感度(貢獻量)建立CMB關係。
- 因觀測數據不足, 排放量修正以在各小時前後48小時間取觀測資料與模擬值進行線性回歸。

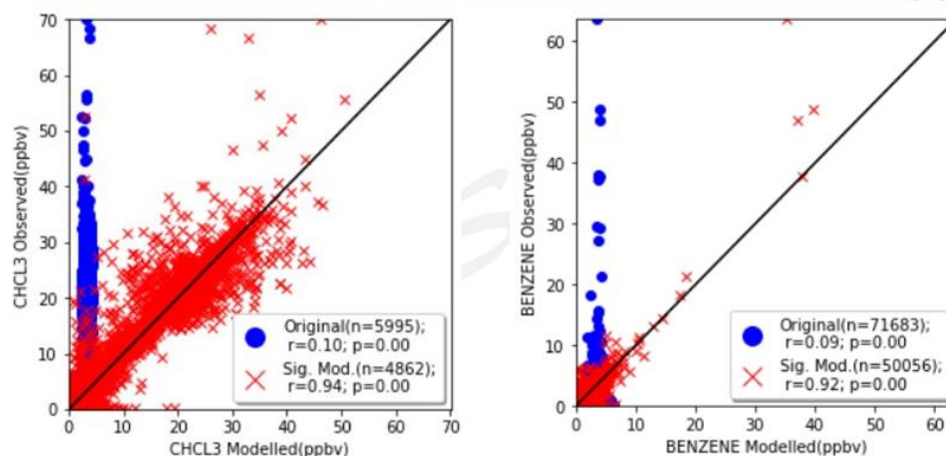


36

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



排放量修正前後研究範圍內所有模擬值與觀測值關係(1)(3/6)

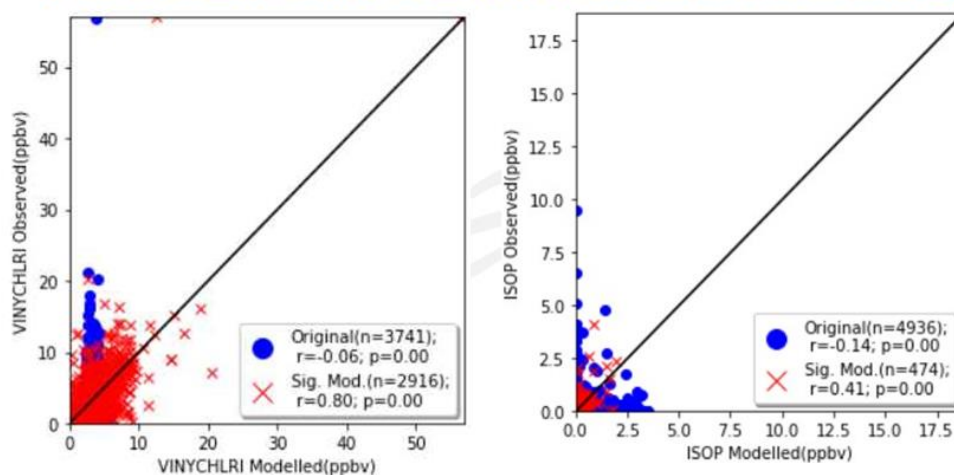


排放量修正改善部份模擬結果。改善不明顯部份應與敏感度來源選定有關。例如，氯仿(CHCL3)模式修正後推估污染物濃度與觀測值相關改善至 $r=0.94$ ，顯示假設之逸散源排放修正可以解釋大部分觀測值變化，此模擬結果應與實際狀況相近。苯(BENZENE)模式修正後推估污染物濃度與觀測值相關改善至 $r=0.92$ ，苯排放包括TEDS9.0輸入資料但資料中無雲林離島工業區沒有解析出苯排放，可能因此有比較大的差異。

37



排放量修正前後研究範圍內所有模擬值與觀測值關係(2)(4/6)

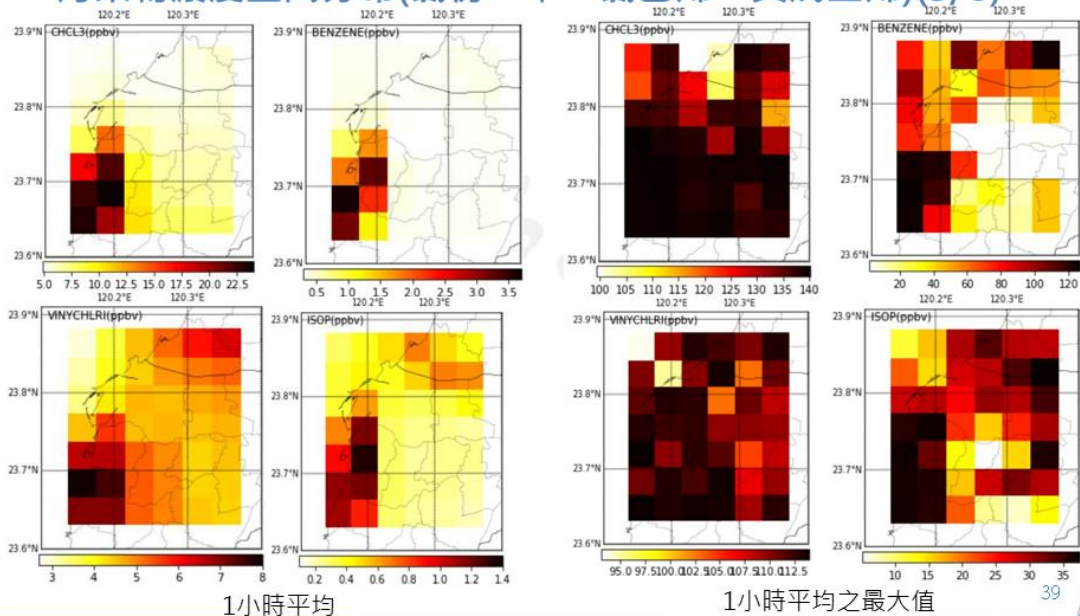


氯乙烯(VINYLCHLRI)排放量修正效果不佳，應肇因於敏感度設定排放源只能解釋範圍內測站64%(0.8^2)污染物濃度的變化。惟模式無法解釋部分($1-R^2$)應為模式輸入未考慮的來源與CMB方法之線性假設的不足。又如異戊二烯(ISOP)的來源眾多，除有來自於植被外，尚有來自光化反應中非線性部份皆未被加入模式校正中考慮。16種污染物中，除光化測站有苯(BENZENE)與苯乙烯(STYRENE)之連續性觀測資料，其餘污染物因觀測資料嚴重不足，無法可靠的修正模擬結果。

38



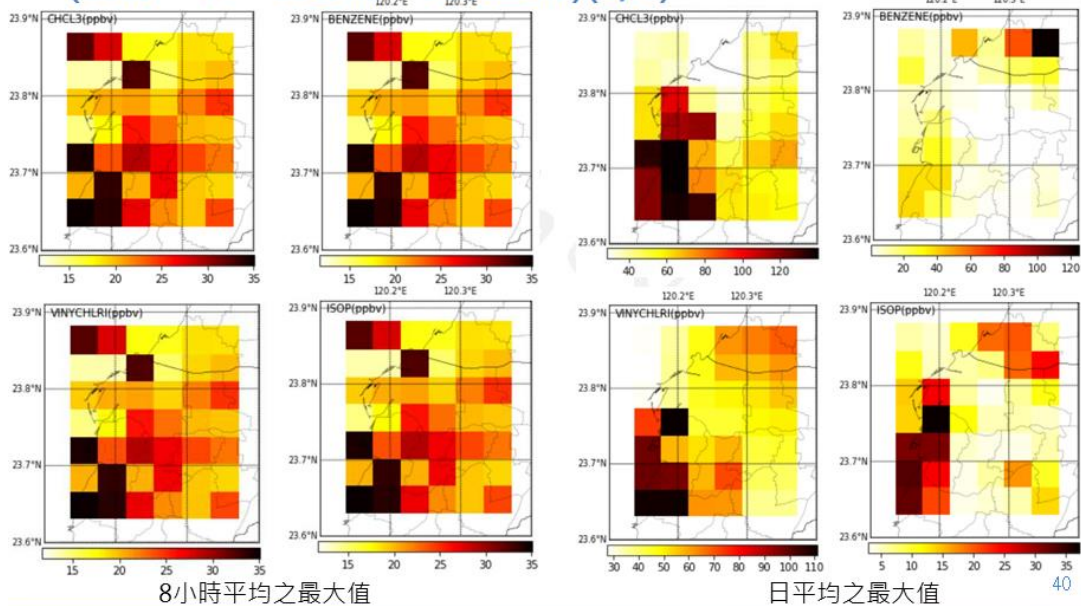
污染物濃度空間分布(氯仿、苯、氯乙烯、異戊二烯)(5/6)



STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



污染物濃度最大值空間分布 (氯仿、苯、氯乙烯、異戊二烯)(6/6)



STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

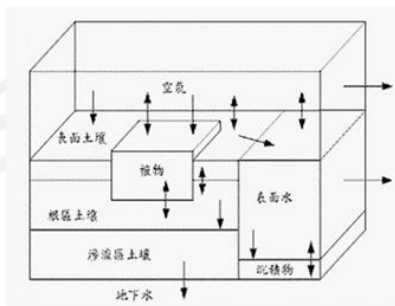


多介質濃度推估

✧ 模擬汙染物由空氣進入水體所造成的影響與比例。

✧ 七個區塊

- ✧ 空氣
- ✧ 植物
- ✧ 表面土壤
- ✧ 根區與滲流土壤
- ✧ 表面水
- ✧ 沉積物
- ✧ 地下水



$$\frac{d}{dt}N_i(t) = -R_i N_i(t) - \sum_{j=1, j \neq i}^{\infty} T_{ji} N_j(t) + \sum_{j=1, j \neq i}^{\infty} T_{ij} N_j(t) + S_i(t) - T_{io} N_i(t)$$

41

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



多介質暴露量評估

多介質傳輸模式模擬

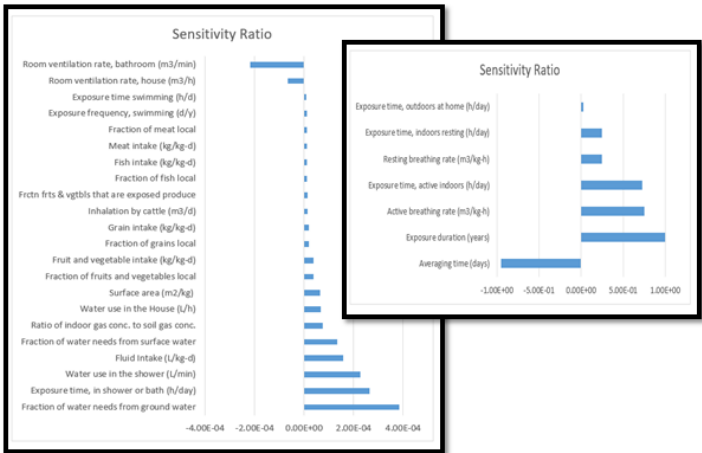
- ✧ 模擬工具：Oracle Crystal Ball (蒙地卡羅模擬法)
- ✧ 輸入資料：環境暴露時空推估之空氣汙染物年平均濃度
- ✧ 化學物質參數：以CalTOX內建之參數為主。
- ✧ 地理條件參數：以台西鄉與麥寮鄉的參數為優先，其次使用台灣參數(資料來源：台灣地區鎘之物質流分析與風險評估，馬鴻文)，最後不確定性高之參數綜合台灣參數與CalTOX內存參數進行機率分佈模式回歸後，以取最佳之機率分佈模式代入估算。

42

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



多介質敏感度分析



污染物	敏感介質			
氯乙烯	空氣	地下水		
1,3-丁二烯	空氣	底泥	植物	滲流土壤
1,2-二氯丙烷	空氣	地下水		
苯	空氣	底泥		
三氯乙烯	空氣	植物		
二氯甲烷	空氣			
四氯乙烯	空氣	底泥		
1,2-二溴乙烷	空氣			
三氯甲烷	空氣	地下水		
四氯化碳	空氣			
1,2-二氯乙烷	空氣	地下水		
乙苯	空氣			
苯乙烯	空氣			
異丙苯	空氣	底泥	植物	
異戊二烯	空氣			
1,4-二氯苯	空氣	底泥		

各污染物之敏感介質

43



雲林計畫回顧 - 蒐集敏感介質參數

✧ 雲林縣之相關計畫回顧

1. 中部及雲嘉南空品區污染減量推動計畫
2. 六輕離島工業區對空氣品質之影響評估研究
3. 加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫
4. 加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫
5. 固定污染源管制與查核計畫
6. 空氣污染防治業務資訊管理系統計畫期末報告
7. 推動離島工業區為柴油車空品淨化區計畫
8. 移動性污染源管制計畫
9. 雲林縣固定源管制查核計畫
10. 雲林縣石化業專用移動式監測車監測計畫

✧ 六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫，其土壤採樣及檢測方法，VOCs監測資料做為參考資料使用。

- + 土壤之檢驗項目為 8 項重金屬(銅、鎳、鋅、砷、鉻、鉛、鎘、汞)、揮發性有機物(VOCs)及半揮發性有機物(SVOCs)(苯、四氯化碳、氯仿、1,2-二氯乙烷、順-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯苯、1,3-二氯苯、3,3-二氯聯苯胺、乙苯、六氯苯、五氯酚、四氯乙烯、甲苯、三氯乙烯、2,4,5-三氯酚、2,4,6-三氯酚、氯乙烯、二甲苯)、總石油碳氫化合物(TPH)...

✧ 地下水檢測項目如下，同樣可將VOCs監測資料可於多介質模式中對模擬參數進行修正。

- + 一般項目：水溫、pH、導電度、溶氧、氧化還原電位、總硬度、總溶解固體物、氯鹽、氨氮、氟鹽、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮
- + 揮發性有機物：苯、甲苯、乙苯、二甲苯、萘、四氯化碳、氯苯、氯仿、氯甲烷、1,4-二氯苯、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烷、順-1,2-二氯乙烷、反-1,2-二氯乙烷、四氯乙烯、三氯乙烯、氯乙烯、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯苯、3,3-二氯聯苯胺

44



CalTOX多介質模式參數

表 10 雲林縣沿海地區多介質參數表

項目	參數性質	麥寮鄉	台西鄉
1	contaminated area (m ²)	106,000,000	66,472,000
2	Annual average precipitation (m/d)	3.14x10 ⁻³	3.00x10 ⁻³
3	Evaporation of water from surface water (m/d)	2.71x10 ⁻³	2.71x10 ⁻³
4	Soil particle density(kg/m ³)	1333	1333
5	Ambient environmental temperature (K)	295.15	295.15
6	Organic carbon fraction in upper soil zone	0.1	0.1
7	Yearly average wind speed (m/d)	432000	512352

9	Root wet density (kg/m ³)	rho_root	8.00E+02
10	Veg attenuation fctr, dry interception(m ² /kg)	atf_leaf	2.90E+00
11	Stomata area fctn(area stomata/area leaf)	na_st	7.00E-03
12	Effective pore depth	del_st	2.50E-05
13	Boundary layer thickness over leaf	del_a	2.00E-03
14	Leaf surface erosion half-life (d)	Thalf_le	1.40E+01
15	Thickness of the ground soil layer (m)	d_g	1.00E-02
16	Bioturbation (m ² /d)	D_bio	1.20E-04
17	Thickness of the aquifer layer (m)	d_q	3.00E+00
18	Solid material density in aquifer (kg/m ³)	rho_s_q	2.60E+03
19	Porosity of the aquifer zone	beta_q	2.00E-01
20	Suspended sdmt deposition (kg/m ² /d)	deposit	1.05E+01
21	Thickness of the sediment layer (m)	d_s	5.00E-02
22	Solid material density in sediment (kg/m ³)	rho_s_d	2.60E+03
23	Sediment burial rate (m/d)	bury_d	1.00E-06
24	Surface water current in m/d	current_w	0.00E+00
25	Organic carbon fraction in aquifer zone	foc_q	4.00E-02
26	Organic carbon fraction in sediments	foc_d	4.00E-02
27	Bdry lyr thickness in air above soil (m)	del_ag	5.00E-03

表 11 CalTox 多介質地理參數機率分布表

項次	參數性質	CalTOX 代號	台灣地理參數
1	Flux; surface water into landscape (m/d)	inflow	0.00E+00
2	Aerosol organic fraction	foc_ap	2.00E-01
3	Volume fraction of water in leaf	beta_leaf	8.00E-01
4	Volume fraction of air in leaf	alpha_leaf	1.80E-01
5	Volume fraction of lipid in leaf	lipid_leaf	2.00E-03
6	Wet interception fraction	IF_w	1.00E-01
7	Stem wet density (kg/m ³)	rho_stm	8.30E+02
8	Leaf wet density (kg/m ³)	rho_leaf	8.00E+02

項次	地理參數	CalTOX 代號	機率分布	參數設定
1	Land surface runoff (m/d)	runoff	最小極端值	1.03E-03 scale=0.0004
2	Ground-water recharge (m/d)	recharge	學生 t	mean=0.0001 scale=0.0003 degree=2.58
3	Water content in surface soil (vol fraction)	beta_g	學生 t	mean=0.19 scale=0.02 degree=2.74
4	Air content in the surface soil (vol frctn)	alpha_g	對數常態	mean=0.29 s.d.=0.069
5	Thickness of the root-zone soil (m)	d_r	最小極端值	7.33E-01 scale=0.16
6	Water content of root-zone soil (vol. frctn.)	beta_r	對數常態	mean=0.20 scale=0.022
7	Air content of root-zone soil (vol. frctn.)	alpha_r	對數常態	mean=0.25 s.d.=0.055
8	Thickness of the vadose-zone soil (m)	d_v	對數常態	mean=0.82 s.d.=0.479
9	Water content, vadose-zone soil (vol. frctn.)	beta_v	對數常態	mean=0.20 s.d.=0.049
10	Air content of vadose-zone soil (vol. frctn.)	alpha_v	Beta	alpha=0.01 beta=2.46
11	Fraction of land area in surface water	f_arw	對數常態	mean=0.06 s.d.=0.137
12	Organic carbon fraction in vadose zone	foc_v	對數常態	mean=0.003 s.d.=0.002

45

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



多介質環境模式模擬結果(1/2)

項目	介質	模擬濃度						
		空氣 mg/m ³	表面水 mg/L	地下水 mg/L	底泥 mg/kg	表面土壤 mg/kg	根區土壤 mg/kg	植物 mg/kg
氯乙烷	平均	8.56E-04	4.30E-06	6.89E-06	1.08E-06	1.93E-06	1.50E-06	9.71E-07
	標準差	9.72E-04	1.21E-06	2.20E-05	2.37E-06	4.42E-06	3.08E-06	1.15E-06
	95%	2.64E-03	3.14E-06	2.86E-05	3.81E-06	7.26E-06	5.61E-06	3.09E-06
1,3-丁二烯	平均	8.10E-04	2.60E-07	2.89E-07	8.73E-07	3.70E-07	2.39E-07	5.08E-07
	標準差	1.04E-03	4.07E-07	1.38E-06	2.18E-06	4.90E-07	3.32E-07	7.39E-07
	95%	2.44E-03	8.79E-07	1.10E-06	3.41E-06	1.16E-06	7.51E-07	1.64E-06
1,2-二氯丙烷	平均	2.57E-03	3.17E-05	1.75E-06	4.85E-05	8.05E-05	4.75E-05	3.17E-05
	標準差	3.93E-03	5.66E-05	5.16E-06	1.37E-04	2.28E-04	1.26E-04	5.57E-05
	95%	9.47E-03	1.17E-04	7.97E-06	1.84E-04	3.25E-04	2.10E-04	1.16E-04
苯	平均	1.07E-03	1.71E-05	2.58E-07	6.67E-06	1.71E-05	9.30E-06	5.94E-06
	標準差	6.30E-04	2.26E-05	6.59E-07	9.91E-06	2.26E-05	1.14E-05	4.09E-06
	95%	2.24E-03	6.02E-05	1.07E-06	2.25E-05	6.02E-05	3.00E-05	1.32E-05
三氯乙烷	平均	3.43E-03	1.10E-05	1.04E-06	2.78E-05	5.32E-05	3.84E-05	1.48E-05
	標準差	8.19E-03	2.75E-05	6.53E-06	9.32E-05	2.05E-04	1.43E-04	3.49E-05
	95%	1.29E-02	4.07E-05	3.86E-06	1.07E-04	2.12E-04	1.54E-04	5.72E-05
二氯甲烷	平均	2.04E-03	1.89E-05	1.62E-07	1.56E-05	3.34E-05	1.22E-05	2.12E-05
	標準差	3.74E-03	4.16E-05	2.15E-06	4.58E-05	1.03E-04	3.12E-05	4.39E-05
	95%	7.37E-03	7.01E-05	7.06E-07	6.24E-05	1.27E-04	4.79E-05	7.97E-05
四氯乙烷	平均	4.51E-03	7.36E-06	4.39E-07	4.60E-05	1.07E-04	6.78E-05	1.28E-05
	標準差	1.13E-02	2.14E-05	2.41E-06	5.24E-04	6.90E-04	3.77E-04	3.39E-05
	95%	1.65E-02	2.73E-05	1.52E-06	1.60E-04	4.00E-04	2.53E-04	4.72E-05
1,2-二溴乙烷	平均	5.34E-03	2.17E-04	2.17E-06	6.07E-04	6.23E-05	2.91E-05	2.33E-04
	標準差	1.41E-02	7.13E-04	1.69E-05	2.32E-03	2.21E-04	1.03E-04	6.38E-04
	95%	1.99E-02	8.26E-04	7.88E-06	2.41E-03	2.35E-04	1.08E-04	8.92E-04

46



多介質環境模式模擬結果(2/2)

項目	介質	模擬濃度							
		空氣 mg/m ³	表面水 mg/L	地下水 mg/L	底泥 mg/kg	表面土壤 mg/kg	根區土壤 mg/kg	植物 mg/kg	滲流土壤 mg/kg
氯仿	平均	3.27E-03	2.50E-05	1.06E-06	4.45E-05	8.60E-05	3.15E-05	2.55E-05	2.85E-06
	標準差	8.07E-03	6.85E-05	5.50E-06	1.38E-04	2.95E-04	1.09E-04	7.22E-05	9.85E-06
	95%	1.23E-02	9.60E-05	4.20E-06	1.82E-04	3.40E-04	1.24E-04	9.84E-05	1.13E-05
四氯化碳	平均	3.62E-03	4.65E-06	5.15E-09	2.50E-05	4.79E-05	2.43E-05	7.84E-06	7.18E-07
	標準差	6.71E-03	9.35E-06	2.26E-08	9.29E-05	1.47E-04	7.15E-05	1.65E-05	1.68E-06
	95%	1.29E-02	1.73E-05	2.00E-08	9.71E-05	1.96E-04	1.01E-04	2.88E-05	2.74E-06
1,2-二氯乙烷	中位數	2.53E-03	6.40E-05	2.31E-06	4.92E-05	7.08E-05	2.79E-05	5.49E-05	3.37E-06
	標準差	5.70E-03	1.48E-04	1.06E-05	1.39E-04	2.39E-04	8.57E-05	1.32E-04	9.17E-06
	95%	9.68E-03	2.40E-04	9.46E-06	1.89E-04	2.80E-04	1.05E-04	2.08E-04	1.34E-05
乙苯	平均	1.79E-03	4.43E-06	5.33E-09	2.77E-05	8.65E-05	8.84E-06	1.46E-05	1.34E-07
	標準差	2.32E-03	9.52E-06	5.33E-08	7.14E-05	2.12E-04	2.03E-05	2.69E-05	6.41E-07
	95%	5.72E-03	1.54E-05	1.67E-08	1.05E-04	3.43E-04	3.38E-05	4.90E-05	6.00E-07
苯乙烯	平均	1.71E-04	1.62E-06	2.44E-10	3.75E-05	9.10E-05	1.12E-05	3.68E-06	5.68E-08
	標準差	1.73E-04	2.49E-06	2.10E-09	9.56E-05	2.12E-04	3.30E-05	5.49E-06	2.12E-07
	95%	4.71E-04	5.32E-06	8.29E-10	1.43E-04	3.76E-04	4.41E-05	1.24E-05	2.51E-07
異丙苯	平均	3.61E-03	4.73E-06	1.66E-10	6.07E-05	2.22E-04	1.56E-05	4.08E-05	3.08E-08
	標準差	1.18E-02	2.78E-05	2.71E-09	7.87E-04	8.41E-04	5.85E-05	1.29E-04	2.56E-07
	95%	1.35E-02	1.83E-05	2.17E-10	2.04E-04	8.87E-04	5.65E-05	1.60E-04	1.01E-07
異戊二烯	平均	4.06E-04	1.23E-07	1.22E-07	4.30E-07	1.85E-07	1.17E-07	2.48E-07	5.51E-08
	標準差	5.86E-04	2.23E-07	3.30E-07	2.03E-06	2.94E-07	1.93E-07	4.01E-07	9.24E-08
	95%	1.33E-03	4.35E-07	4.91E-07	1.54E-06	6.19E-07	4.03E-07	8.19E-07	1.93E-07
1,4-二氯苯	平均	3.87E-03	3.10E-05	1.40E-07	5.05E-04	1.33E-03	4.51E-04	1.72E-04	1.04E-05
	標準差	6.26E-03	5.93E-05	6.61E-07	2.41E-03	4.21E-03	1.25E-03	3.29E-04	2.82E-05
	95%	1.33E-02	1.10E-04	5.44E-07	1.82E-03	5.18E-03	1.74E-03	6.17E-04	4.06E-05

47

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



多介質暴露量評估

多介質傳輸模式模擬

- ✧ 模擬工具：Oracle Crystal Ball (蒙地卡羅模擬法)
- ✧ 輸入資料：各介質中污染物年平均濃度
- ✧ 暴露因子參數：
 - ✦ 體重、表面積、呼吸量、流體攝取量(參考台灣一般民眾暴露參數彙編)
- ✧ 攝食參數：
 - ✦ 糧食、牛奶、肉類、蛋類等(參考國家攝食資料庫)
- ✧ 抽樣次數：10,000次隨機抽樣

48

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



沿海地區居民由 多介質暴露途徑之總體暴露劑量

表 16 雲林沿海地區經多介質暴露途徑模擬之總暴露劑量

	麥寮鄉總暴露劑量 mg/kg-day		台西鄉總暴露劑量 mg/kg-day	
	中位數	第 95 百分位數	中位數	第 95 百分位數
氯乙烯	2.57E-06	2.13E-04	9.29E-06	8.96E-04
1,3-丁二烯	2.28E-06	1.89E-04	3.06E-06	2.37E-04
1,2-二氯丙烷	5.91E-06	5.47E-04	8.62E-06	8.72E-04
苯	4.13E-06	2.98E-04	8.66E-06	8.62E-04
三氯乙烯	5.90E-06	6.09E-04	1.32E-05	1.50E-03
二氯甲烷	4.05E-06	3.81E-04	6.78E-06	6.68E-04
四氯乙烯	7.38E-06	8.31E-04	1.83E-05	2.18E-03
1,2-二溴乙烷	9.93E-06	9.78E-04	2.22E-05	2.44E-03
氯仿	5.74E-06	6.79E-04	1.30E-05	1.78E-03
四氯化碳	4.64E-04	6.87E-04	1.62E-05	1.92E-03
1,2-二氯乙烷	4.91E-06	4.71E-04	8.19E-06	6.71E-04
乙苯	4.78E-06	3.87E-04	7.41E-06	5.99E-04
苯乙烯	5.84E-07	4.36E-05	1.06E-06	1.24E-04
異丙苯	3.79E-04	6.14E-04	1.44E-05	1.94E-03
異戊二烯	1.06E-06	9.26E-05	3.12E-06	3.51E-04
1,4-二氯苯	9.45E-06	7.50E-04	1.12E-05	8.65E-04

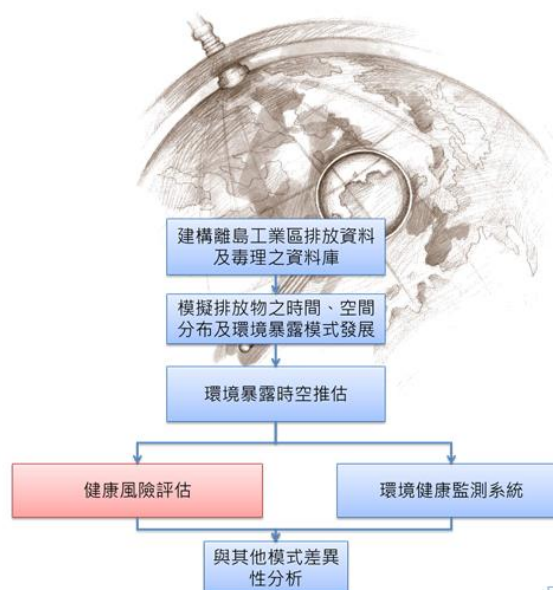
49

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



肆、健康風險 評估架構

利用上述的模式與方法，特別針對民眾關切的环境污染物進行暴露及健康風險評估。

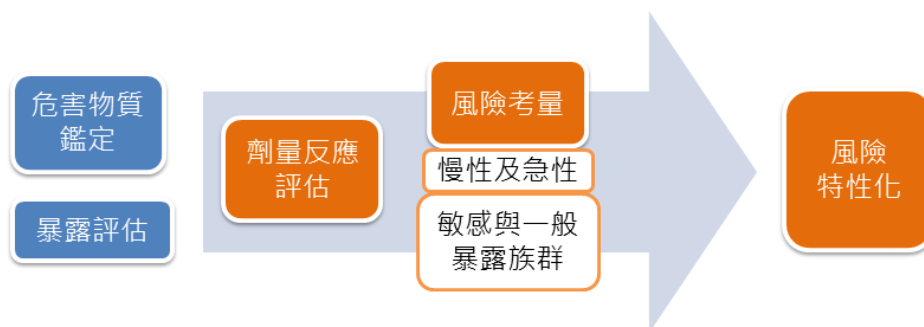


50

STEMLAB, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



健康風險評估工作流程



51

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



健康風險評估對象

- ✧ 一般族群：本計畫評估的對象主要是沿海地區的居民，包含台西鄉以及麥寮鄉，針對十六種汙染物進行致癌以及非致癌風險評估，考慮多介質的暴露途徑，以求評估結果能貼近實際沿海地區暴露情境。
- ✧ 敏感族群：以國小6-12歲孩童為敏感族群的評估對象，除了計算暴露評估之身高、體重、各項飲食之攝食量等暴露因子有差異外，也考慮空氣汙染物對於敏感族群具有較高易感性的影響。

52

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



慢性致癌與非致癌風險

❖ 致癌性風險

$$\text{Risk} = \text{LADD} \times \text{致癌斜率}$$

LADD為終生平均日暴露劑量:

$$\text{LADD} = \frac{C \times IR \times ED}{BW \times AT}$$

C: 由時空分佈模擬結果污染濃度平均值
IR: 成人每日呼吸速率
AF: 人體對污染物之吸收率(%)
BW: 評估目標受體之平均體重
AT: 平均暴露時間

$$\text{Acceptable Risk} < 10^{-6}$$

❖ 非致癌性風險

$$\text{HI} = \frac{\text{LADD}}{\text{RfD}} \text{ 或 } \frac{\text{Conc.}}{\text{RfC}}$$

Conc.: 空氣中濃度
RfD: 參考劑量
RfC: 參考濃度

$$\text{HI} < 1 \text{ 為安全值}$$

53

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



風險特性化

❖ 急性非致癌性風險

$$\text{HIst} = \frac{\text{Conc}_{\text{day}}}{\text{MRL}} = \frac{\text{Conc}_{1\text{hour or } 8\text{hour}}}{\text{REL or AEGL or ERPG}}$$

$$\text{HIst} < 1 \text{ 為安全值}$$

其中

MRL = ATSDR minimum risk levels for no adverse effects for 1 to 14-day exposures(ppb).

REL = California EPA reference exposure level for no adverse effects(ppb)

AEGL = Acute exposure guideline levels for mild effects (AEGL-1) for 8-hour exposures. (ppb)

ERPG = US DOE Emergency Removal Program guidelines for mild or transient effects (ERPG-1) for 1-hour exposures. (ppb)

Conc_{day} = 最大空氣濃度之日平均濃度(ppb)

Conc_{1hour} = 每小時最大空氣濃度(ppb)

Conc_{8hour} = 最大空氣濃度之8小時平均濃度(ppb)

項目	急性劑量反應值(ppb)	來源
氯乙烯	4.08E+02	MRL
1,3-丁二烯	2.99E+02	REL
1,2-二氯丙烷	4.99E+01	MRL
苯	1.06E+01	REL
三氯乙烯	7.64E+04	AEGL-1 (8-h)
二氯甲烷	6.06E+02	MRL
四氯乙烯	6.06E+00	MRL
1,2-二溴乙烷	4.56E+03	AEGL-1 (8-h)
三氯甲烷	3.08E+01	REL
四氯化碳	3.03E+02	REL
1,2-二氯乙烷	4.95E+04	ERPG-1
乙苯	5.08E+03	MRL
苯乙烯	4.94E+03	MRL
異丙苯	5.10E+04	AEGL-1 (8-h)
異戊二烯	6.47E+03	RfC
1,4-二氯苯	2.00E+03	MRL

54

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



敏感族群之風險特性化

$$HI = \frac{\overline{Conc_{day}}}{RfC} \text{ 和 } HI_{st} = \frac{\overline{Conc_{day}}}{MRL} = \frac{\overline{Conc_{1hour}}}{REL}$$

其中

RfC = Reference Concentration

MRL = ATSDR minimum risk levels for no adverse effects for 1 to 14-day exposures.

REL = California EPA reference exposure level for no adverse effects

$\overline{Conc_{day}}$ = 在學校期間空氣濃度之日平均濃度(ppb)

$\overline{Conc_{1hour}}$ = 在學校期間每小時最大空氣濃度(ppb)

55



慢性與急性暴露之安全劑量

VOCs	Chronic				Acute	
	RfD (mg/kg-day)	Inh. Unit Risk (per µg/m ³)	CSF(Oral) (per mg/kg-day)	RfC (mg/m ³)	Safety Level (mg/m ³)	
Vinyl chloride	3 E-03	4.4x10 ⁻⁶	7.2 x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	1.3	MRL
1,3-butadiene	-	3x10 ⁻⁵	-	2x10 ⁻³	0.66	REL
1,2-Dichloropropane	-	1.40E-06	-	4x10 ⁻³	0.23	MRL
benzene	4.0 x10 ⁻³	2.2x10 ⁻⁶	1.5 x10 ⁻²	3x10 ⁻²	0.027	REL
Trichloroethylene	5 x10 ⁻⁴	4.1x10 ⁻⁶	4.6 x10 ⁻²	2x10 ⁻³	700	AEGL-1 (8-h)
Dichloromethane	6 x10 ⁻³	1x10 ⁻⁸	2x10 ⁻³	6x10 ⁻¹	2.1	MRL
Tetrachloroethylene	6 x10 ⁻³	2.6x10 ⁻⁷	2.1 x10 ⁻³	4x10 ⁻²	0.041	MRL
1,2-Dibromoethane	9 x10 ⁻³	6x10 ⁻⁴	2	9x10 ⁻³	35	AEGL-1 (8-h)
chloroform	1 x10 ⁻²	2.3x10 ⁻⁵	1 x10 ⁻²	-	0.15	REL
Tetrachloromethane	4 x10 ⁻³	6x10 ⁻⁶	7 x10 ⁻²	1x10 ⁻¹	1.9	REL
1,2-Dichloroethane	0.006	2.6x10 ⁻⁵	9.1 x10 ⁻²	0.007	200	ERPG-1
Ethylbenzene	1 x10 ⁻¹	2.52E-06	-	1	22	MRL
Styrene	2 x10 ⁻¹	4.26E-05	-	1	21	MRL
Cumene	1 x10 ⁻¹	2.85E-06	-	4x10 ⁻¹	250	AEGL-1 (8-h)
Isoprene	0.06	1.60E-06	-	18	--	RfC
1,4-Dichlorobenzene	-	2.27E-06	-	0.8	12	MRL

56



一般族群致癌風險

	麥寮鄉致癌風險		台西鄉致癌風險	
	中位數	第95百分位數	中位數	第95百分位數
氯乙烯	7.84E-09	6.50E-07	2.70E-08	2.87E-06
1,3-丁二烯	3.10E-08	3.30E-06	4.13E-08	4.40E-06
1,2-二氯丙烷	3.89E-09	4.63741E-07	6.06E-09	7.57E-07
苯	8.90E-09	8.38E-07	1.86E-08	2.58E-06
三氯乙烯	1.17E-08	1.39E-06	2.61E-08	3.58E-06
二氯甲烷	2.71E-11	2.65E-09	4.09E-11	4.20E-09
四氯乙烯	9.13E-10	1.17E-07	2.24E-09	3.53E-07
1,2-二溴乙烷	2.79E-06	3.36E-04	3.02E-06	4.13E-04
氯仿	6.08E-08	8.81E-06	1.45E-07	2.22E-05
四氯化碳	2.13E-08	2.35E-06	4.59E-08	6.58E-06
1,2-二氯乙烷	5.84E-08	6.67E-06	9.47E-08	1.08E-05
乙苯	5.56E-09	5.86E-07	8.56E-09	9.16E-07
苯乙烯	1.20E-08	1.11E-06	2.10E-08	2.89E-06
異丙苯	8.08E-09	1.03E-06	1.97E-08	3.05E-06
異戊二烯	7.70E-10	8.12E-08	2.34E-09	3.41E-07
1,4-二氯苯	9.76E-09	1.02E-06	1.21E-08	1.30E-06

57

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



一般族群非致癌風險 (HI)

	麥寮鄉HI		台西鄉HI	
	中位數	第95百分位數	中位數	第95百分位數
氯乙烯	2.30E-04	1.55E-02	4.50E-03	3.71E-01
1,3-丁二烯	1.10E-03	9.40E-02	1.52E-03	1.19E-01
1,2-二氯丙烷	5.08E-03	4.82E-01	7.40E-03	7.68E-01
苯	4.74E-04	3.48E-02	1.01E-03	1.01E-01
三氯乙烯	1.02E-02	1.07E+00	2.28E-02	2.66E+00
二氯甲烷	2.71E-05	2.27E-03	4.43E-05	3.91E-03
四氯乙烯	6.50E-04	7.30E-02	1.61E-03	1.92E-01
1,2-二溴乙烷	3.56E-03	3.78E-01	8.15E-03	9.40E-01
氯仿	5.65E-04	6.79E-02	1.28E-03	1.78E-01
四氯化碳	2.72E-04	2.55E-02	5.73E-04	6.75E-02
1,2-二氯乙烷	6.77E-04	6.73E-02	3.93E-03	3.35E-01
乙苯	1.67E-05	1.36E-03	2.59E-05	2.09E-03
苯乙烯	2.93E-05	3.42E-04	3.86E-06	4.03E-04
異丙苯	5.06E-05	5.37E-03	1.25E-04	1.70E-02
異戊二烯	2.04E-07	1.77E-05	6.04E-07	6.82E-05
1,4-二氯苯	3.88E-05	3.33E-03	4.77E-05	4.19E-03
總和	0.02	2.32	0.05	5.75

58

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



一般族群急性非致癌風險 (HIst)

	麥寮鄉		台西鄉HIst	
	最高濃度	HIst	最高濃度	HIst
氯乙烯	59.67	1.5E-01	62.06	1.5E-01
1,3-丁二烯	50.81	1.7E-01	52.79	1.8E-01
1,2-二氯丙烷	42.00	8.4E-01	60.99	1.2E+00
苯	70.41	6.7E+00	88.34	8.3E+00
三氯乙烯	89.93	1.2E-03	92.37	1.2E-03
二氯甲烷	15.60	2.6E-02	24.71	4.1E-02
四氯乙烯	23.62	3.9E+00	23.29	3.8E+00
1,2-二溴乙烷	28.34	6.2E-03	31.68	6.9E-03
氯仿	137.74	4.5E+00	140.15	4.6E+00
四氯化碳	28.20	9.3E-02	28.20	9.3E-02
1,2-二氯乙烷	39.88	8.1E-04	39.80	8.0E-04
乙苯	58.53	1.2E-02	57.97	1.1E-02
苯乙烯	2.45	5.0E-04	11.91	2.4E-03
異丙苯	6.20	1.2E-04	12.25	2.4E-04
異戊二烯	5.63	8.7E-04	16.19	2.5E-03
1,4-二氯苯	28.04	1.4E-02	26.07	1.3E-02

59

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



敏感族群健康風險之差異

項目	苯		氯乙烯	
	許厝分校	橋頭國小	許厝分校	橋頭國小
濃度平均值 (ppb)	0.297	0.292	1.22	1.24
濃度標準差 (ppb)	0.19	0.186	1.52	1.54
2-Sample t Test				
Estimate for difference (ppb)	0.00506		-0.0229	
95% CI for difference (ppb)	(-0.00361, 0.01373)		(-0.0937, 0.0479)	
T-Value	1.14		-0.63	
P-Value	0.253		0.526	
DF	7217		7188	

		橋頭國小		許厝分校	
		平均值	第95百分位數	平均值	第95百分位數
致癌風險	氯乙烯	3.00E-06	5.19E-06	2.92E-06	5.11E-06
	苯	4.99E-07	7.26E-07	5.07E-07	7.43E-07
HI	氯乙烯	1.59E-02	2.76E-02	1.55E-02	2.70E-02
	苯	9.94E-03	1.45E-02	1.01E-02	1.47E-02
HIst		最高濃度	HIst	最高濃度	HIst
	氯乙烯	52.7	0.1	46.9	0.1
	苯	66.0	6.2	32.0	3.0

60

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



風險特性化(暴露模擬不確定性探討) (1/5)

◇ 模式不確定性

- ✦ 大氣擴散模式所需要的參數眾多，包含排放量、風速、風向、行星邊界層高度.....等，因此不確定性大。減少不確定性的方法在氣象模擬領域採用資料同化結合觀測資料已有現成作法與監測系統而且已被廣泛採用與驗證。在實際測量資料相稀少的情況下，觀測資料與模擬結果間找出聯集。然大氣擴散模擬領域中有相應的作法但無配套的監測系統。

- ① 本研究氣象條件部份有資料同化程序與現行之全球氣象監測網路。
- ② 大氣擴散模式本身不確定性則利用排放量修正做為本研究嘗試發展之資料同化程序。

61

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



風險特性化(排放量推估不確定性探討)(2/5)

◇ 排放量資料同化架構之不確定性

- ✦ 本研究以線性回歸排放物觀測資料修正排放量，在本研究區域內觀測數據在大部分時間代表性不足回歸分析可靠度(confidence)有缺。回歸分析除需要足夠樣本數外仍有樣本代表性的需要。統計學中以隨機取樣來回避此缺失但本計畫現實並不具備隨機取樣的條件(模擬過去)。

- ① 觀測資料不足 (部分污染物觀測數量有限)
- ② 觀測資料空間不均 -> 造成排放量參數過於敏感
- ③ 觀測資料時間不均 -> 可能產生濃度偏估
- ④ 未考慮所有排放源
- ⑤ 非線性或衍生性污染考慮有限

62

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



風險特性化(排放量推估不確定性探討)(3/5)

◇ 量化排放量修正之不確定性

- ✦ 排放量修正之不確定性除敏感源選點誤差與非線性部份外應最終可肇因於回歸分析樣本數不足。樣本數因此可作為不確定性指標的一部分。綜合 R^2 與樣本數可以對這一部份的不確定性量化作為後續研究之參考。

	苯	異戊二烯	乙苯	苯乙烯	氯乙烯	1,3-丁二烯	1,2-二氯丙烷	三氯乙烯
解釋比率%(R^2)	84.64	16.81	34.81	27.04	64	30.25	54.76	33.64
資料豐富度	1	0.009469	0.105961	1.180678	0.058255	0.06291	0.013125	0.034441

	二氯甲烷	四氯乙烯	1,2-二溴乙烷	氯仿	四氯化碳	1,2-二氯乙烷	異丙苯	1,4-二氯苯
解釋比率%(R^2)	53.29	18.49	40.96	88.36	70.56	67.24	28.09	56.25
資料豐富度	0.016222	0.032903	0.024692	0.097131	0.012366	0.013924	0.046907	0.06259

資料豐富度: $10 * \text{時空間有觀測之數量} / \text{時空間網格總數}$

63

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



風險特性化(多介質暴露推估之不確定性探討)(4/5)

- ✦ 而多介質模式所囊括之介質種類有七種之多，在執行上難以獲得完整、全面的數據，如植被、底泥目前皆尚未找到適合的資料，土壤檢測的數據也不完整，這樣的情形即會在模擬上造成一些不確定性，數據的缺乏會導致無法與CalTOX的模擬結果進行適當的修正，在評估的過程中最大的難點就在於數據不足以及有許多的未知存在，這些都是造成不確定性的一環。
- ✦ 敏感族群之健康風險以就學期間為評估期程，因此其慢性暴露之健康風險之暴露時間以 6 年估算，並非代表終生之健康風險。

64

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



風險特性化(劑量反應關係與風險評估)(5/5)

- ✧ 毒理資料中，異戊二烯缺乏急性安全劑量資料，計算時以慢性暴露之參考濃度代之，故異戊二烯之急性風險結果有其不確定性，此外其他VOCs缺少呼吸或口服慢性暴露安全劑量時，會以另一途徑之安全劑量代之。
- ✧ 本計畫評估參考U.S. EPA之急性暴露安全劑量的不確定性，由於參考資料來源有ATSDR, California EPA, US DOE等單位，其急性暴露時間也有所不同，雖不能完全符合沿海居民的暴露情境，僅能以對應之以平均最大污染物濃度(1小時值，8小時平均值，1天平均值)作為對應之急性暴露濃度估算其急性風險。
- ✧ 急性暴露之健康風險結果是特定時間與空間位置之濃度估算，其結果僅能代表此特定空間位置下之居民，無法代表沿海地區內所有的民眾。

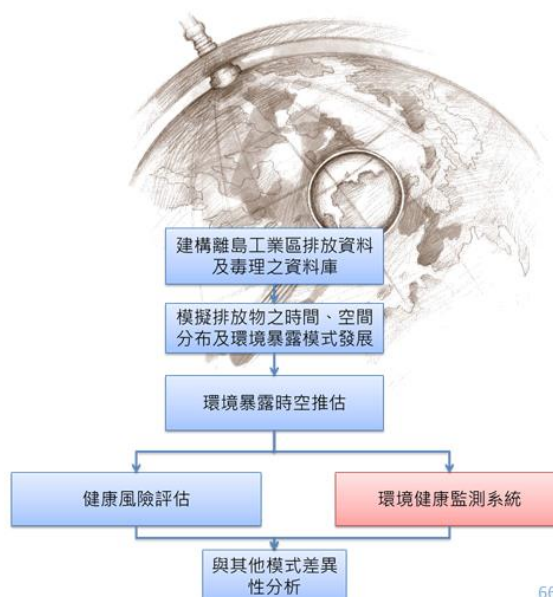
65

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



伍、環境健康監測系統

參考國外先進國家案例，配合上述健康風險評估模式與方法，模擬建構離島工業區針對環境健康監測系統，提供政府擬訂相關管理政策參考，以維護當地居民身體健康。



66

STEMLAB, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



研究方法

- ◆ 透過前項目標所推估出之污染濃度值，以現有監測車為規劃，搭配最佳之監測空間位置及頻率，以掌握工業區周圍環境污染物之時空分布擴散變化趨勢，將能提供政府擬訂相關政策之參考，以維護當地居民健康。
- ◆ 以居民健康作為考量的基礎，將加入污染物對於健康影響之相關因子
 - ✦ 人口密度
 - ✦ 污染物毒性特徵

67

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



工作流程

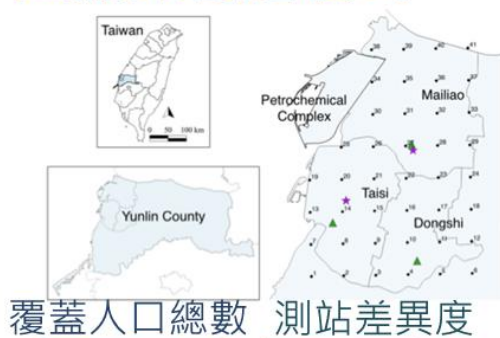


68

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



監測站優選模式



覆蓋人口總數 測站差異度

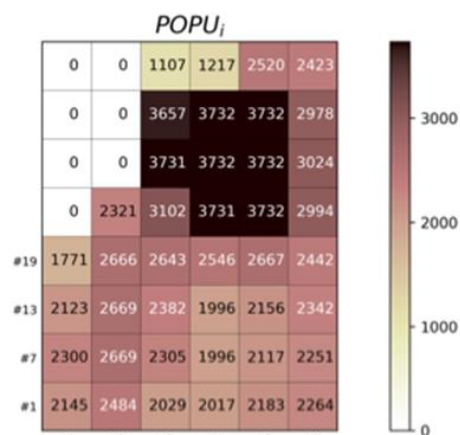
$$\sum_i [POP_{i_i} \times y1_i] \quad \sum_{i,j} [d_{i,j} \times y2_{i,j}]$$

$$y2_{i,j} \leq (y1_i + y1_j) / 2$$

$$\sum_i y1_i = N$$

$$y1_i, y2_{i,j} \in (0, 1) \quad \text{優選目標函數}$$

$$W1 \times \sum_i [POP_{i_i} \times y1_i] + W2 \times \sum_{i,j} [d_{i,j} \times y2_{i,j}]$$



$$d_{i,j}^2 = \sum_m (v_{i,m} - v_{j,m})^2$$

$$= w_1 \left[\sum_f (u_{i,f} - u_{j,f})^2 \right] + w_2 [1 - \text{corr}(t_i, t_j)]$$

$$+ w_3 [1 - \text{corr}(\mathcal{F}(t_i), \mathcal{F}(t_j))]$$

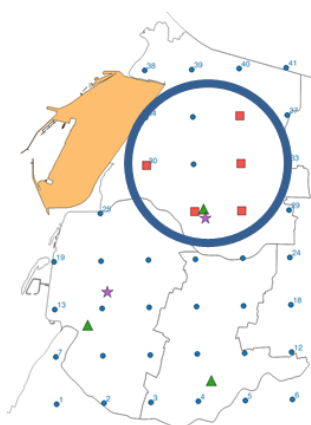
69

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



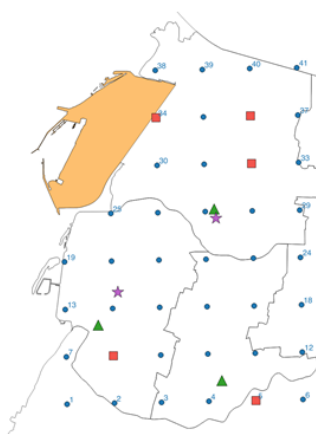
監測站數 N=5

集中於人口稠密區

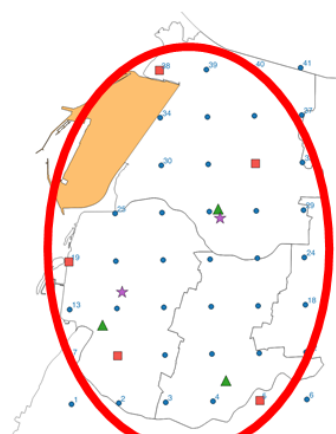


人口權重因子
W1=0.8

測站差異度較高



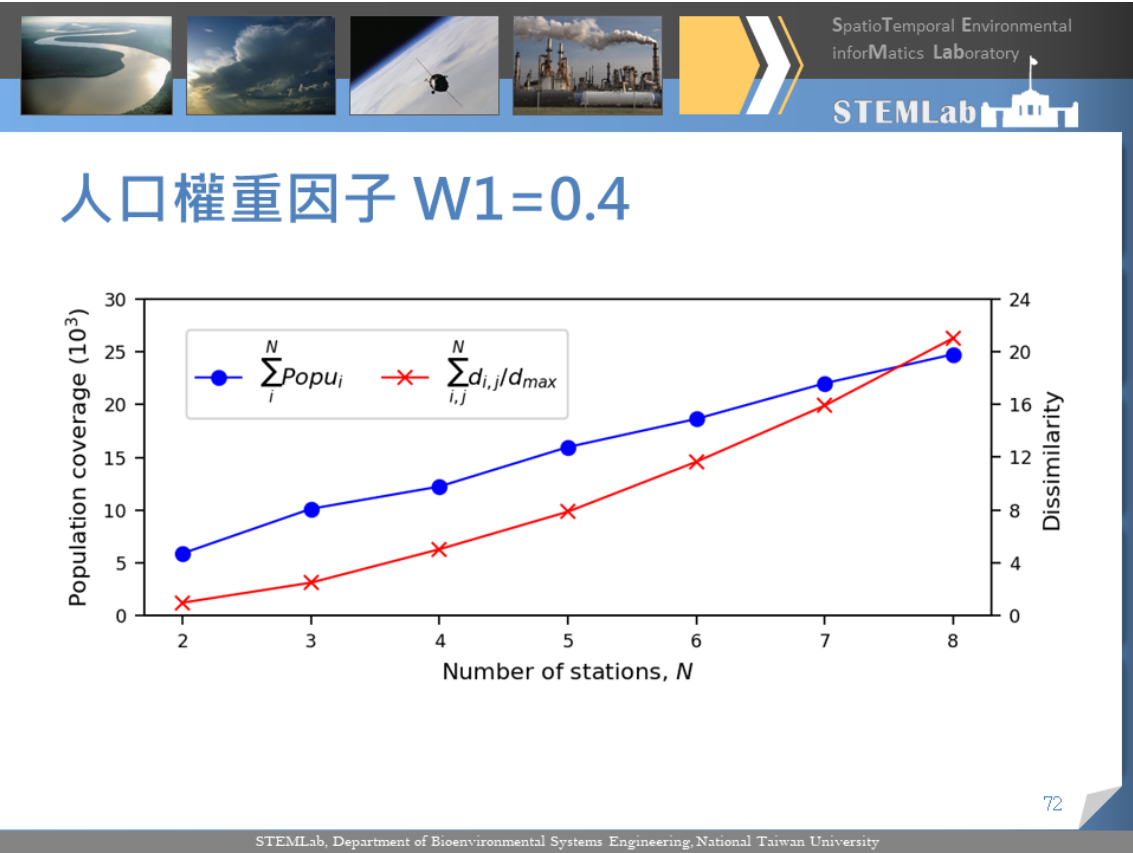
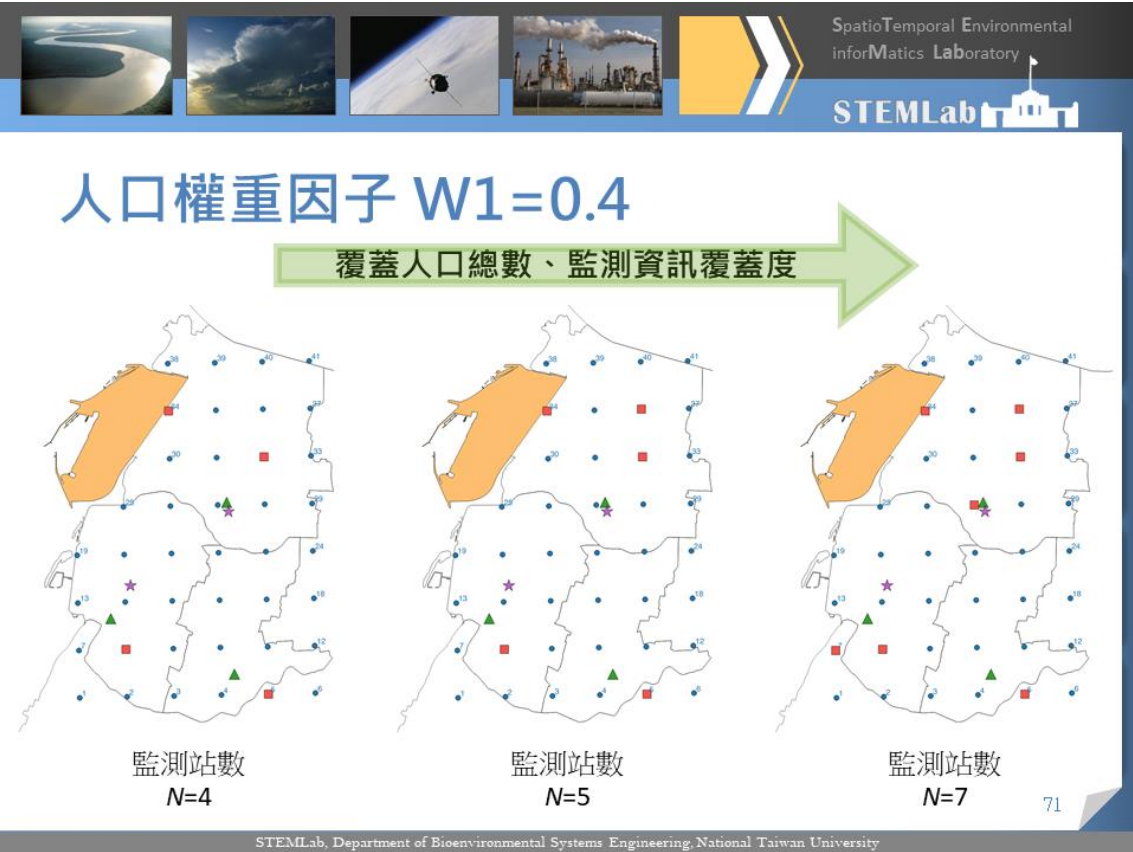
人口權重因子
W1=0.4



人口權重因子
W1=0.1

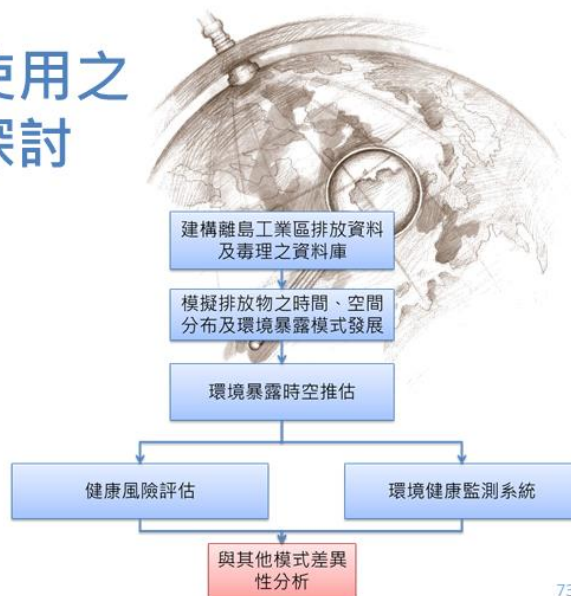
70

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University





陸、現行機關所使用之模式或方法分析探討



73

STEMLAB, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



現行機關所使用之模式分析探討(1/3)

- ✧ 健康風險評估技術規範是為現行機關執行健康風險評估工作之依據，環保署於民國100年為使開發單位進行危害性化學物質之健康風險評估作業時，有一致之步驟與方法，而訂定之規範。
- ✧ 健康風險評估技術規範中的暴露評估有明文建議之模式有
 - ✦ 排放量推估
 - ✦ 大氣擴散模式
 - ✦ 多介質模式

74

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



健康風險評估技術規範之建議模式(2/3)

排放量推估	大氣擴散模式	多介質模式
<ul style="list-style-type: none"> ● 直接量測法 ● 質量平衡法 ● 排放係數法 ● 經驗方程式法 ● 其他可估算之方式 	<ul style="list-style-type: none"> ● ISC3 ● MPTER ● BLP ● CDM ● RAM ● CRSTER ● OCD ● UAM ● 其他可估算模式 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fugacity (如CalTOX) ● MEPAS ● MMSOILS ● MULTIMED ● 3MRA ● TRIM

75

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



現行機關所使用之模式比較(3/3)

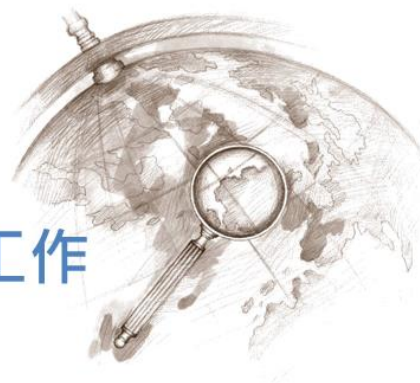
計畫名稱	排放量推估	大氣擴散模式	多介質模式
健康風險評估技術規範	直接量測法	ISC3	HRA
雲林離島式基礎工業區環境與居民身體健康之風險評估研究	*係屬流病資料蒐集與評估計畫內容、未執行模式模擬工作		
六輕計畫附近居民健康風險評估	*係屬流病資料蒐集與評估計畫內容、未執行模式模擬工作		
97年度空氣污染對沿海地區環境及居民健康影響之風險評估規劃第1年計畫研究報告	*係屬流病資料蒐集與評估計畫內容、未執行模式模擬工作		
104年中部科學工業園區台中區擴建用地開發計畫健康風險評估報告	直接量測法	ISC3	HRA
101年臺中市中部科學工業園區與臺中港特定區有害空氣污染物健康風險評估計畫	直接量測法	ISC3	HRA
中部科學工業園區第三期發展區開發計畫健康風險評估報告	直接量測法	ISC3	HRA
101年林園石化工業區鄰近區域居民健康風險評估計畫	直接量測法	ISC3	HRA
100年度沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫期末報告使用模式與方法比較	直接量測法	ISC3	-
(100~105年)六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫書	直接量測法 +排放係數法	ISC3	HRA
104年度沿海地區健康風險評估計畫	貝氏統計模式排放量逆回推法	AERMOD	CalTOX
106年度沿海地區健康風險評估計畫(本計畫)	CMAQ DDM 3D Source apportionment	CMAQ	CalTOX

76

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



柒、結果討論與未來工作



77



結果討論

- ✧ 結合CMAQ與CALTOX發展多介質有害物質暴露推估架構
- ✧ 發展以CMAQ為主之排放量推估架構
- ✧ 完成IARC 2B以上16種污染物逐時空氣濃度推估
- ✧ 針對IARC 2B以上16種污染物進行多介質暴露濃度推估及不確定性分析
- ✧ 完成對於16種污染物分別進行一般與敏感族群之致癌與慢性與急性非致癌健康風險評估
- ✧ 排放量推估及其相對應之濃度推估不確定性與資料時空間分佈息息相關
- ✧ 濃度高度時間變異造成污染物急性健康風險偏高

78





未來建議

- ✧ 整合現有CEMS資料，降低排放量推估之不確定性
- ✧ 持續針對IARC 2B以上有害物質進行全面性健康風險評估
- ✧ 針對暴露評估強化對研究區暴露因子與民眾行為之調查
- ✧ 針對chemical mixture之風險評估進行探討
- ✧ 建構可考量當地居民行為以SHEDS為基礎之多介質暴露模式，以研擬健康風險管理方案

79

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University



簡報結束
謝謝指教

80

STEMLab, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University

附表 12 CMAQ 反應項模擬參數選用值

Label	Reaction	Rate Const	Notes	Reference
<R1>	$\text{NO}_2 = \text{NO} + \text{O}$	$1.0/\text{<NO}_2_ \text{IUPAC10>}$		
<R2>	$\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} = \text{O}_3 + \text{M}$	$6.0\text{E-}34*(\text{T}/300)^{(-2.4)}$		
<R3>	$\text{O}_3 + \text{NO} = \text{NO}_2$	$3.0\text{E-}12*\exp(-1500.0/\text{T})$		
<R4>	$\text{O} + \text{NO}_2 = \text{NO}$	$5.6\text{E-}12*\exp(180.0/\text{T})$		
<R5>	$\text{O} + \text{NO}_2 = \text{NO}_3$	$k_0=2.5\text{E-}31*(\text{T}/300)^{(-1.8)}$, $k_{\text{inf}}=2.2\text{E-}11*(\text{T}/300)^{(-0.7)}$, $F=0.6, n=1$		
<R6>	$\text{O} + \text{NO} = \text{NO}_2$	$k_0=9.0\text{E-}32*(\text{T}/300)^{(-1.5)}$, $k_{\text{inf}}=3.0\text{E-}11, F=0.6, n=1$		
<R7>	$\text{NO}_2 + \text{O}_3 = \text{NO}_3$	$1.2\text{E-}13*\exp(-2450/\text{T})$		
<R8>	$\text{O}_3 = \text{O}$	$1.0/\text{<O}_3_ \text{O}_3\text{P_IUPAC10>}$		
<R9>	$\text{O}_3 = \text{O1D}$	$1.0/\text{<O}_3_ \text{O1D_IUPAC10>}$		
<R10>	$\text{O1D} + \text{M} = \text{O} + \text{M}$	$2.1\text{E-}11*\exp(102./\text{T})$		
<R11>	$\text{O1D} + \text{H}_2\text{O} = 2.000*\text{OH}$	$2.20\text{E-}10$		
<R12>	$\text{O}_3 + \text{OH} = \text{HO}_2$	$1.7\text{E-}12*\exp(-940/\text{T})$		
<R13>	$\text{O}_3 + \text{HO}_2 = \text{OH}$	$1.0\text{E-}14*\exp(-490/\text{T})$		
<R14>	$\text{NO}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}$	$1.0/\text{<NO}_3\text{NO}_2_06>$		
<R15>	$\text{NO}_3 = \text{NO}$	$1.0/\text{<NO}_3\text{NO_06>}$		
<R16>	$\text{NO}_3 + \text{NO} = 2.000*\text{NO}_2$	$1.5\text{E-}11*\exp(170/\text{T})$		
<R17>	$\text{NO}_3 + \text{NO}_2 = \text{NO} + \text{NO}_2$	$4.5\text{E-}14*\exp(-1260/\text{T})$		

<R18>	$\text{NO}_3 + \text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_5$	$k_0=2.0\text{E}-30*(T/300)^{-4.4}$, $k_{\text{inf}}=1.4\text{E}-12*(T/300)^{-0.7}$, $F=0.6$, $n=1$		
<R19>	$\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2.000*\text{HNO}_3$	$1.00\text{E}-22$		
<R20>	$\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2.000*\text{HNO}_3$	0		
<R21>	$\text{N}_2\text{O}_5 = \text{NO}_3 + \text{NO}_2$	$k_0=1.0\text{E}-03*(T/300)^{-3.5}*\exp(-11000/T)$, $k_{\text{inf}}=9.7\text{E} + 14*(T/300)^{0.1}*\exp(-11080/T)$, $F=0.45$, $n=1.0$		
<R22>	$\text{NO} + \text{NO} + \text{O}_2 = 2.000*\text{NO}_2$	$3.3\text{E}-39*\exp(530/T)$		
<R23>	$\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2.000*\text{HONO}$	$5.00\text{E}-40$		
<R24>	$\text{NO} + \text{OH} = \text{HONO}$	$k_0=7.0\text{E}-31*(T/300)^{-2.6}$, $k_{\text{inf}}=3.6\text{E}-11*(T/300)^{-0.1}$, $F=0.6$, $n=1$		
<R25>	$\text{HONO} = \text{NO} + \text{OH}$	$1.0/\text{<HONO_IUPAC10>}$		
<R26>	$\text{OH} + \text{HONO} = \text{NO}_2$	$1.8\text{E}-11*\exp(-390/T)$		
<R27>	$\text{HONO} + \text{HONO} = \text{NO} + \text{NO}_2$	$1.00\text{E}-20$		
<R28>	$\text{NO}_2 + \text{OH} = \text{HNO}_3$	$k_0=3.2\text{E}-30*(T/300)^{-4.5}$, $k_{\text{inf}}=3.0\text{E}-11$, $F=0.41$, $n=1.24$		
<R29>	$\text{OH} + \text{HNO}_3 = \text{NO}_3$	$k_0=2.4\text{E}-14*\exp(460/T)$, $k_2=2.7\text{E}-17*\exp(2199/T)$, $k_3=6.5\text{E}-34*\exp(1335/T)$		

<R30>	$\text{HO}_2 + \text{NO} = \text{OH} + \text{NO}_2$	$3.5\text{E-}12 \cdot \exp(250/T)$		
<R30a>	$\text{NO} + \text{HO}_2 = \text{HNO}_3$	$k_1=6.095\text{e-}14 \cdot (T/300)^{-1.0} \cdot \exp(270.0/T)$, $k_2=6.857\text{e-}34 \cdot (T/300)^{1.0} \cdot \exp(270.0/T)$, $k_3=-5.968\text{e-}14 \cdot \exp(270.0/T)$		
<R31>	$\text{HO}_2 + \text{NO}_2 = \text{PNA}$	$k_0=1.8\text{E-}31 \cdot (T/300)^{-3.2}$, $k_{\text{inf}}=4.7\text{E-}12$, $F=0.6$, $n=1$		
<R32>	$\text{PNA} = \text{HO}_2 + \text{NO}_2$	$k_0=4.1\text{E-}5 \cdot \exp(-10650/T)$, $k_{\text{inf}}=4.8\text{E}15 \cdot \exp(-11170/T)$, $F=0.6$, $n=1$		
<R33>	$\text{OH} + \text{PNA} = \text{NO}_2$	$1.3\text{E-}12 \cdot \exp(380/T)$		
<R34>	$\text{HO}_2 + \text{HO}_2 = \text{H}_2\text{O}_2$	$k_1=2.3\text{E-}13 \cdot \exp(600/T)$, $k_2=1.7\text{E-}33 \cdot \exp(1000/T)$		
<R35>	$\text{HO}_2 + \text{HO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O}_2$	$k_1=3.22\text{E-}34 \cdot \exp(2800/T)$, $k_2=2.38\text{E-}54 \cdot \exp(3200/T)$		
<R36>	$\text{H}_2\text{O}_2 = 2.000 \cdot \text{OH}$	$1.0/\text{<H}_2\text{O}_2\text{_IUPAC10>}$		
<R37>	$\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{HO}_2$	$2.9\text{E-}12 \cdot \exp(-160/T)$		
<R38>	$\text{O1D} + \text{H}_2 = \text{OH} + \text{HO}_2$	$1.10\text{E-}10$		
<R39>	$\text{OH} + \text{H}_2 = \text{HO}_2$	$5.5\text{E-}12 \cdot \exp(-2000./T)$		
<R40>	$\text{OH} + \text{O} = \text{HO}_2$	$2.2\text{E-}11 \cdot \exp(120./T)$		
<R41>	$\text{OH} + \text{OH} = \text{O}$	$4.2\text{E-}12 \cdot \exp(-240/T)$		
<R42>	$\text{OH} + \text{OH} = \text{H}_2\text{O}_2$	$k_0=6.9\text{E-}31 \cdot (T/300)^{-1.0}$, $k_{\text{inf}}=2.6\text{E-}11$, $F=0.6$, $n=1$		

<R43>	$\text{OH} + \text{HO}_2 =$	$4.8\text{E-}11 \cdot \exp(250./T)$		
<R44>	$\text{HO}_2 + \text{O} = \text{OH}$	$3.0\text{E-}11 \cdot \exp(200./T)$		
<R45>	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O} = \text{OH} + \text{HO}_2$	$1.4\text{E-}12 \cdot \exp(-2000./T)$		
<R46>	$\text{NO}_3 + \text{O} = \text{NO}_2$	$1.00\text{E-}11$		
<R47>	$\text{NO}_3 + \text{OH} = \text{HO}_2 + \text{NO}_2$	$2.20\text{E-}11$		
<R48>	$\text{NO}_3 + \text{HO}_2 = \text{HNO}_3$	$3.50\text{E-}12$		
<R49>	$\text{NO}_3 + \text{O}_3 = \text{NO}_2$	$1.00\text{E-}17$		
<R50>	$\text{NO}_3 + \text{NO}_3 = 2.000 \cdot \text{NO}_2$	$8.5\text{E-}13 \cdot \exp(-2450./T)$		
<R51>	$\text{PNA} = 0.610 \cdot \text{HO}_2 + 0.610 \cdot \text{NO}_2 + 0.390 \cdot \text{OH} + 0.390 \cdot \text{NO}_3$	$1.0 / \text{<PNA_IUPAC10>}$		
<R52>	$\text{HNO}_3 = \text{OH} + \text{NO}_2$	$1.0 / \text{<HNO}_3_ \text{IUPAC10>}$		
<R53>	$\text{N}_2\text{O}_5 = \text{NO}_2 + \text{NO}_3$	$1.0 / \text{<N}_2\text{O}_5_ \text{IUPAC10>}$		
<R54>	$\text{XO}_2 + \text{NO} = \text{NO}_2$	$2.6\text{E-}12 \cdot \exp(365/T)$		
<R55>	$\text{XO}_2\text{N} + \text{NO} = 0.5 \cdot \text{NTROH} + 0.5 \cdot \text{NTRALK}$	$2.6\text{E-}12 \cdot \exp(365/T)$	50% alkylnitrate; 50% hydroxynitrate	
<R56>	$\text{XO}_2 + \text{HO}_2 = \text{ROOH}$	$7.5\text{E-}13 \cdot \exp(700/T)$		
<R57>	$\text{XO}_2\text{N} + \text{HO}_2 = \text{ROOH}$	$7.5\text{E-}13 \cdot \exp(700/T)$		
<R58>	$\text{XO}_2 + \text{XO}_2 =$	$6.80\text{E-}14$		
<R59>	$\text{XO}_2\text{N} + \text{XO}_2\text{N} =$	$6.80\text{E-}14$		
<R60>	$\text{XO}_2 + \text{XO}_2\text{N} =$	$6.80\text{E-}14$		
<R63>	$\text{ROOH} + \text{OH} = \text{XO}_2 + 0.500 \cdot \text{ALD}_2 + 0.500 \cdot \text{ALDX}$	$3.01\text{E-}12 \cdot \exp(190/T)$		

<R64>	$\text{ROOH} = \text{OH} + \text{HO}_2 + 0.500 \cdot \text{ALD}_2 + 0.500 \cdot \text{ALDX}$	$1.0 / \langle \text{MEPX_IUPAC10} \rangle$		
<R64a>	$\text{ISOPX} + \text{OH} = 0.904 \cdot \text{IEPOX} + 0.933 \cdot \text{OH} + 0.067 \cdot \text{ISOPO}_2 + 0.029 \cdot \text{IOLE} + 0.029 \cdot \text{ALDX}$	$2.23\text{E-}11 \cdot \exp(372/T)$		
<R64b>	$\text{IEPOX} + \text{OH} = \text{IEPXO}_2$	$5.78\text{E-}11 \cdot \exp(-400/T)$		
<R64c>	$\text{IEPXO}_2 + \text{HO}_2 = 0.275 \cdot \text{ALD}_2 + 0.275 \cdot \text{MGLY} + 1.125 \cdot \text{OH} + 0.825 \cdot \text{HO}_2 + 0.650 \cdot \text{FORM} + 0.074 \cdot \text{FACD} + 0.251 \cdot \text{CO} + 2.45 \cdot \text{PAR}$	$7.43\text{E-}13 \cdot \exp(700/T)$		
<R64d>	$\text{IEPXO}_2 + \text{NO} = 0.275 \cdot \text{ALD}_2 + 0.275 \cdot \text{MGLY} + 0.125 \cdot \text{OH} + 0.825 \cdot \text{HO}_2 + 0.65 \cdot \text{FORM} + \text{NO}_2 + 0.251 \cdot \text{CO} + 2.45 \cdot \text{PAR}$	$2.39\text{E-}12 \cdot \exp(365/T)$		
<R64e>	$\text{IEPXO}_2 + \text{C}_2\text{O}_3 = 0.22 \cdot \text{ALD}_2 + 0.22 \cdot \text{MGLY} + 0.1 \cdot \text{OH} + 0.66 \cdot \text{HO}_2 + 0.52 \cdot \text{FORM} + 0.2 \cdot \text{CO} + 1.96 \cdot \text{PAR} + 0.8 \cdot \text{MEO}_2 + 0.2 \cdot \text{AACD}$	$8.90\text{E-}13 \cdot \exp(800/T)$		
<R65>	$\text{OH} + \text{CO} = \text{HO}_2$	$k_1 = 1.44\text{E-}13, k_2 = 3.43\text{E-}33 \cdot \exp(-0.0/T)$		
<R66>	$\text{OH} + \text{CH}_4 = \text{MEO}_2$	$2.45\text{E-}12 \cdot \exp(-1775/T)$		

<R67>	$\text{MEO}_2 + \text{NO} = \text{FORM} + \text{HO}_2 + \text{NO}_2$	$2.8\text{E-}12 \cdot \exp(300/T)$		
<R68>	$\text{MEO}_2 + \text{HO}_2 = \text{MEPX}$	$4.1\text{E-}13 \cdot \exp(750/T)$		
<R69>	$\text{MEO}_2 + \text{MEO}_2 = 1.370 \cdot \text{FORM} + 0.740 \cdot \text{HO}_2 + 0.630 \cdot \text{MEOH}$	$9.5\text{E-}14 \cdot \exp(390/T)$		
<R70>	$\text{MEPX} + \text{OH} = 0.700 \cdot \text{MEO}_2 + 0.300 \cdot \text{XO}_2 + 0.300 \cdot \text{HO}_2$	$3.8\text{E-}12 \cdot \exp(200/T)$		
<R71>	$\text{MEPX} = \text{FORM} + \text{HO}_2 + \text{OH}$	$1.0 / \langle \text{MEPX_IUPAC10} \rangle$		
<R72>	$\text{MEOH} + \text{OH} = \text{FORM} + \text{HO}_2$	$7.3\text{E-}12 \cdot \exp(-620/T)$		
<R73>	$\text{FORM} + \text{OH} = \text{HO}_2 + \text{CO}$	$9.00\text{E-}12$		
<R74>	$\text{FORM} = 2.000 \cdot \text{HO}_2 + \text{CO}$	$1.0 / \langle \text{FORM_R_IUPAC10} \rangle$		
<R75>	$\text{FORM} = \text{CO}$	$1.0 / \langle \text{FORM_M_IUPAC10} \rangle$		
<R76>	$\text{FORM} + \text{O} = \text{OH} + \text{HO}_2 + \text{CO}$	$3.4\text{E-}11 \cdot \exp(-1600/T)$		
<R77>	$\text{FORM} + \text{NO}_3 = \text{HNO}_3 + \text{HO}_2 + \text{CO}$	$5.80\text{E-}16$		
<R78>	$\text{FORM} + \text{HO}_2 = \text{HCO}_3$	$9.7\text{E-}15 \cdot \exp(625/T)$		
<R79>	$\text{HCO}_3 = \text{FORM} + \text{HO}_2$	$2.4\text{E} + 12 \cdot \exp(-7000/T)$		
<R80>	$\text{HCO}_3 + \text{NO} = \text{FACD} + \text{NO}_2 + \text{HO}_2$	$5.60\text{E-}12$		
<R81>	$\text{HCO}_3 + \text{HO}_2 = \text{MEPX}$	$5.6\text{E-}15 \cdot \exp(2300/T)$		
<R82>	$\text{FACD} + \text{OH} = \text{HO}_2$	$4.00\text{E-}13$		
<R83>	$\text{ALD}_2 + \text{O} = \text{C}_2\text{O}_3 + \text{OH}$	$1.8\text{E-}11 \cdot \exp(-1100/T)$		
<R84>	$\text{ALD}_2 + \text{OH} = \text{C}_2\text{O}_3$	$5.6\text{E-}12 \cdot \exp(270/T)$		

<R85>	ALD2 + NO3 = C2O3 + HNO3	$1.4\text{E-}12 \cdot \exp(-1900/T)$		
<R86>	ALD2 = MEO2 + CO + HO2	$1.0 / \text{<ALD2_R_IUPAC10>}$		
<R87>	C2O3 + NO = MEO2 + NO2	$8.1\text{E-}12 \cdot \exp(270/T)$		
<R88>	C2O3 + NO2 = PAN	$k_0 = 2.7\text{E-}28 \cdot (T/300)^{-7.1}$, $k_{\text{inf}} = 1.2\text{E-}11 \cdot (T/300)^{-0.9}$, $F = 0.3$, $n = 1.41$	added N=1.41	IUPAC
<R89>	PAN = C2O3 + NO2	$k_0 = 4.9\text{E-}3 \cdot \exp(-12100/T)$, $k_{\text{inf}} = 5.4\text{E}16 \cdot \exp(-13830/T)$, $F = 0.3$, $n = 1.41$	added N=1.41	
<R90>	PAN = 0.6*NO2 + 0.6*C2O3 + 0.4*NO3 + 0.4*MEO2	$1.0 / \text{<PAN_IUPAC10>}$	added 40% yield of MEO2 and NO3	
<R91>	C2O3 + HO2 = 0.410*PACD + 0.150*AACD + 0.440*OH + 0.440*MEO2 + 0.150*O3	$4.3\text{E-}13 \cdot \exp(1040/T)$		
<R92>	C2O3 + MEO2 = 0.900*MEO2 + 0.900*HO2 + FORM + 0.100*AACD	$2.0\text{E-}12 \cdot \exp(500/T)$		
<R93>	C2O3 + XO2 = 0.900*MEO2 + 0.100*AACD	$4.4\text{E-}13 \cdot \exp(1070/T)$		
<R94>	C2O3 + C2O3 = 2.000*MEO2	$2.9\text{E-}12 \cdot \exp(500/T)$		
<R95>	PACD + OH = C2O3	$4.0\text{E-}13 \cdot \exp(200/T)$		
<R96>	PACD = MEO2 + OH	$1.0 / \text{<PACD_CB05>}$		
<R97>	AACD + OH = MEO2	$4.0\text{E-}13 \cdot \exp(200/T)$		

<R98>	$\text{ALDX} + \text{O} = \text{CXO}_3 + \text{OH}$	$1.3\text{E-}11 \cdot \exp(-870/\text{T})$		
<R99>	$\text{ALDX} + \text{OH} = \text{CXO}_3$	$5.1\text{E-}12 \cdot \exp(405/\text{T})$		
<R100>	$\text{ALDX} + \text{NO}_3 = \text{CXO}_3 + \text{HNO}_3$	$6.50\text{E-}15$		
<R101>	$\text{ALDX} = \text{MEO}_2 + \text{CO} + \text{HO}_2$	$1.0 / \langle \text{ALDX_R_IUPAC10} \rangle$		
<R102>	$\text{CXO}_3 + \text{NO} = \text{ALD}_2 + \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + \text{XO}_2$	$6.7\text{E-}12 \cdot \exp(340/\text{T})$		
<R103>	$\text{CXO}_3 + \text{NO}_2 = \text{PANX}$	$k_0 = 2.7\text{E-}28 \cdot (\text{T}/300)^{-7.1}$, $k_{\text{inf}} = 1.2\text{E-}11 \cdot (\text{T}/300)^{-0.9}$, $F = 0.3$, $n = 1.41$	added N=1.41	
<R104>	$\text{PANX} = \text{CXO}_3 + \text{NO}_2$	$k_0 = 1.7\text{E-}3 \cdot \exp(-11280/\text{T})$, $k_{\text{inf}} = 8.3\text{E}16 \cdot \exp(-13940/\text{T})$, $F = 0.36$, $n = 1$	set equal to PPN	
<R105>	$\text{PANX} = 0.6 \cdot \text{CXO}_3 + 0.6 \cdot \text{NO}_2 + 0.4 \cdot \text{NO}_3 + 0.4 \cdot \text{ALD}_2 + 0.4 \cdot \text{HO}_2 + 0.4 \cdot \text{XO}_2$	$1.0 / \langle \text{PAN_IUPAC10} \rangle$	added 40% other products	
<R106>	$\text{PANX} + \text{OH} = \text{ALD}_2 + \text{NO}_2$	$3.00\text{E-}13$		
<R107>	$\text{CXO}_3 + \text{HO}_2 = 0.410 \cdot \text{PACD} + 0.150 \cdot \text{AACD} + 0.440 \cdot \text{OH} + 0.440 \cdot \text{XO}_2 + 0.150 \cdot \text{O}_3$	$4.3\text{E-}13 \cdot \exp(1040/\text{T})$		
<R108>	$\text{CXO}_3 + \text{MEO}_2 = 0.900 \cdot \text{ALD}_2 + 0.900 \cdot \text{XO}_2 + \text{HO}_2 + 0.100 \cdot \text{AACD} + 0.100 \cdot \text{FORM}$	$2.0\text{E-}12 \cdot \exp(500/\text{T})$		

<R109>	$CXO3 + XO2 = 0.900*ALD2 + 0.100*AACD$	$4.4E-13*\exp(1070./T)$		
<R110>	$CXO3 + CXO3 = 2.000*ALD2 + 2.000*XO2 + 2.000*HO2$	$2.9E-12*\exp(500/T)$		
<R111>	$CXO3 + C2O3 = MEO2 + XO2 + HO2 + ALD2$	$2.9E-12*\exp(500/T)$		
<R112>	$PAR + OH = 0.870*XO2 + 0.130*XO2N + 0.110*HO2 + 0.060*ALD2 - 0.110*PAR + 0.760*ROR + 0.050*ALDX$	$8.10E-13$		
<R113>	$ROR = 0.960*XO2 + 0.600*ALD2 + 0.940*HO2 - 2.100*PAR + 0.040*XO2N + 0.020*ROR + 0.500*ALDX$	$1.E + 15*\exp(-8000./T)$		
<R114>	$ROR = HO2$	$1.60E+03$		
<R115>	$ROR + NO2 = NTRALK$	$1.50E-11$		
<R116>	$O + OLE = 0.200*ALD2 + 0.300*ALDX + 0.300*HO2 + 0.200*XO2 + 0.200*CO + 0.200*FORM + 0.010*XO2N + 0.200*PAR + 0.100*OH$	$1.E-11*\exp(-280./T)$		
<R117>	$OH + OLE = 0.800*FORM + 0.330*ALD2 + 0.620*ALDX +$	$3.20E-11$		

	$0.800 \cdot \text{XO}_2 + 0.950 \cdot \text{HO}_2 - 0.700 \cdot \text{PAR}$			
<R118>	$\text{O}_3 + \text{OLE} = 0.180 \cdot \text{ALD}_2 + 0.740 \cdot \text{FORM} + 0.320 \cdot \text{ALDX} + 0.220 \cdot \text{XO}_2 + 0.100 \cdot \text{OH} + 0.330 \cdot \text{CO} + 0.440 \cdot \text{HO}_2 - 1.000 \cdot \text{PAR}$	$6.5\text{E-}15 \cdot \exp(-1900./T)$		
<R119>	$\text{NO}_3 + \text{OLE} = \text{NO}_2 + \text{FORM} + 0.910 \cdot \text{XO}_2 + 0.090 \cdot \text{XO}_2\text{N} + 0.560 \cdot \text{ALDX} + 0.350 \cdot \text{ALD}_2 - 1.000 \cdot \text{PAR}$	$7.0\text{E-}13 \cdot \exp(-2160./T)$		
<R120>	$\text{O} + \text{ETH} = \text{FORM} + 1.700 \cdot \text{HO}_2 + \text{CO} + 0.700 \cdot \text{XO}_2 + 0.300 \cdot \text{OH}$	$1.04\text{E-}11 \cdot \exp(-792/T)$		
<R121>	$\text{OH} + \text{ETH} = \text{XO}_2 + 1.560 \cdot \text{FORM} + 0.220 \cdot \text{ALDX} + \text{HO}_2$	$k_0 = 1.0\text{E-}28 \cdot (T/300)^{(-0.8)},$ $k_{\text{inf}} = 8.8\text{E-}12, F = 0.6, n = 1$		
<R122>	$\text{O}_3 + \text{ETH} = \text{FORM} + 0.630 \cdot \text{CO} + 0.130 \cdot \text{HO}_2 + 0.130 \cdot \text{OH} + 0.370 \cdot \text{FACD}$	$1.2\text{E-}14 \cdot \exp(-2630/T)$		
<R123>	$\text{NO}_3 + \text{ETH} = \text{NO}_2 + \text{XO}_2 + 2.0 \cdot \text{FORM}$	$3.3\text{E-}12 \cdot \exp(-2880./T)$		
<R124>	$\text{IOLE} + \text{O} = 1.240 \cdot \text{ALD}_2 + 0.660 \cdot \text{ALDX} + 0.100 \cdot \text{HO}_2 +$	$2.30\text{E-}11$		

	$0.100 \cdot \text{XO}_2 + 0.100 \cdot \text{CO} + 0.100 \cdot \text{PAR}$			
<R125>	$\text{IOLE} + \text{OH} = 1.300 \cdot \text{ALD}_2 + 0.700 \cdot \text{ALDX} + \text{HO}_2 + \text{XO}_2$	$1.0\text{E-}11 \cdot \exp(550./T)$		
<R126>	$\text{IOLE} + \text{O}_3 = 0.650 \cdot \text{ALD}_2 + 0.350 \cdot \text{ALDX} + 0.250 \cdot \text{FORM} + 0.250 \cdot \text{CO} + 0.500 \cdot \text{O} + 0.500 \cdot \text{OH} + 0.500 \cdot \text{HO}_2$	$8.4\text{E-}15 \cdot \exp(-1100./T)$		
<R127>	$\text{IOLE} + \text{NO}_3 = 1.180 \cdot \text{ALD}_2 + 0.640 \cdot \text{ALDX} + \text{HO}_2 + \text{NO}_2$	$9.6\text{E-}13 \cdot \exp(-270./T)$		
<R128>	$\text{TOL} + \text{OH} = 0.28 \cdot \text{HO}_2 + 0.1 \cdot \text{XO}_2 + 0.18 \cdot \text{CRES} + 0.65 \cdot \text{TO}_2 + 0.072 \cdot \text{OH} + 1.0 \cdot \text{TOLRO}_2$	$1.8\text{E-}12 \cdot \exp(355/T)$		
<R129>	$\text{TO}_2 + \text{NO} = 0.86 \cdot \text{NO}_2 + 1.2 \cdot \text{HO}_2 + 0.86 \cdot \text{OPEN} + 0.14 \cdot \text{NTROH} + 0.52 \cdot \text{MGLY} + 0.336 \cdot \text{FORM} + 0.336 \cdot \text{CO}$	$2.70\text{E-}12 \cdot \exp(360/T)$		
<R130>	$\text{TO}_2 + \text{HO}_2 =$	$1.90\text{E-}13 \cdot \exp(1300/T)$		
<R131>	$\text{OH} + \text{CRES} = 0.06 \cdot \text{CRO} + 0.12 \cdot \text{XO}_2 + 1.12 \cdot \text{HO}_2 + 0.13 \cdot \text{OPEN} + 0.732 \cdot \text{CAT}_1 + 0.06 \cdot \text{CO} + 0.06 \cdot \text{XO}_2\text{N} + 0.06 \cdot \text{FORM}$	$1.70\text{E-}12 \cdot \exp(950/T)$		

<R132>	$\text{CRES} + \text{NO}_3 = 0.3 \cdot \text{CRO} + \text{HNO}_3 + 0.6 \cdot \text{XO}_2 + 0.36 \cdot \text{HO}_2 + 0.48 \cdot \text{ALDX} + 0.24 \cdot \text{FORM} + 0.24 \cdot \text{MGLY} + 0.12 \cdot \text{OPEN} + 0.1 \cdot \text{XO}_2\text{N} + 0.24 \cdot \text{CO}$	1.40E-11		
<R133>	$\text{CRO} + \text{NO}_2 = \text{CRON}$	2.10E-12		
<R134>	$\text{CRO} + \text{HO}_2 = \text{CRES}$	5.50E-12		
<R135>	$\text{CRON} + \text{OH} = \text{CRNO}$	1.53E-12		
<R136>	$\text{CRON} + \text{NO}_3 = \text{CRNO} + \text{HNO}_3$	3.80E-12		
<R137>	$\text{CRNO} + \text{NO}_2 = 2 \cdot \text{NTROH}$	2.10E-12		
<R138>	$\text{CRNO} + \text{O}_3 = \text{CRN}_2$	2.86E-13		
<R139>	$\text{CRN}_2 + \text{NO} = \text{CRNO} + \text{NO}_2$	$2.54\text{E-12} \cdot \exp(360/T)$		
<R140>	$\text{CRN}_2 + \text{HO}_2 = \text{CRPX}$	$2.4\text{E-13} \cdot \exp(1300/T)$		
<R141>	$\text{CRPX} = \text{CRNO} + \text{OH}$	$0.01 / \langle \text{NO}_2_{\text{IUPAC10}} \rangle$		
<R142>	$\text{CRPX} + \text{OH} = \text{CRN}_2$	$1.9\text{E-12} \cdot \exp(190/T)$		
<R143>	$\text{OPEN} = \text{OPO}_3 + \text{HO}_2 + \text{CO}$	$0.04 / \langle \text{NO}_2_{\text{IUPAC10}} \rangle$		
<R144>	$\text{OPEN} + \text{OH} = 0.6 \cdot \text{OPO}_3 + 0.4 \cdot \text{CAO}_2$	4.40E-11		
<R145>	$\text{OPEN} + \text{O}_3 = 0.03 \cdot \text{ALDX} + 0.62 \cdot \text{OPO}_3 + 0.7 \cdot \text{FORM} + 0.03 \cdot \text{XO}_2 + 0.69 \cdot \text{CO} + 0.08 \cdot \text{OH} + 0.76 \cdot \text{HO}_2 + 0.2 \cdot \text{MGLY}$	$5.4\text{E-17} \cdot \exp(-500./T)$		
<R146>	$\text{OPEN} + \text{NO}_3 = \text{OPO}_3 + \text{HNO}_3$	3.80E-12		

<R147>	CAT1 + OH = CAO2	7.00E-11		
<R148>	CAT1 + NO3 = CRO + HNO3	1.70E-10		
<R149>	CAO2 + NO = 0.86*NO2 + 1.2*HO2 + 0.344*FORM + 0.344*CO + 0.14*NTROH	2.54E-12*exp(360./T)		
<R150>	CAO2 + HO2 =	2.40E-13*exp(1300./T)		
<R151>	OPO3 + NO = NO2 + XO2 + HO2 + ALDX	1.10E-11		
<R152>	OPO3 + NO2 = OPAN	1.10E-11		
<R153>	OPAN = OPO3 + NO2	1.00E-04		
<R154a>	OH + XYLMN = 0.700*HO2 + 0.500*XO2 + 0.200*CRES + 0.800*MGLY + 1.100*PAR + 0.300*TO2 + 1.0*XYLRO2	1.7E-11*exp(116./T)	xylene model species without naphthalene	
<R154b>	OH + NAPH = 0.700*HO2 + 0.500*XO2 + 0.200*CRES + 0.800*MGLY + 1.100*PAR + 0.300*TO2 + 1.0*PAHRO2	1.7E-11*exp(116./T)	same products and rate as XYL	
<R155>	OH + MGLY = XO2 + C2O3	1.80E-11		
<R156>	MGLY = C2O3 + HO2 + CO	1.0/<MGLY_IUPAC10>		
<R157>	O + ISOP = 0.750*ISPD + 0.500*FORM + 0.250*XO2 +	3.60E-11		

	$0.250*HO_2 + 0.250*CXO_3 + 0.250*PAR$			
<R158>	$ISOP + OH = ISOP_2 + ISOPRXN$	$2.70E-11*exp(390/T)$		
<R158a>	$ISOP_2 + NO = 0.1*NTRM + 0.9*NO_2 + 0.673*FORM + 0.9*ISPD + 0.9*HO_2$	$2.39E-12*exp(365/T)$	NTRM is specific to biogenics	
<R158b>	$ISOP_2 + C_2O_3 = 0.598*FORM + 1.0*ISPD + 0.8*HO_2 + 0.8*MEO_2 + 0.2*AACD$	$1.00E + 0*K<R58>$		
<R158c>	$ISOP_2 + HO_2 = 1.00*ISOPX$	$7.43E-13*exp(700/T)$		
<R159>	$O_3 + ISOP = 0.650*ISPD + 0.600*FORM + 0.200*XO_2 + 0.066*HO_2 + 0.266*OH + 0.200*MACO_3 + 0.150*ALDX + 0.350*PAR + 0.066*CO$	$7.86E-15*exp(-1912/T)$		
<R160>	$NO_3 + ISOP = 0.200*ISPD + 0.800*NTRM + XO_2 + 0.800*HO_2 + 0.200*NO_2 + 0.800*ALDX + ISOPRXN + 2.400*PAR$	$3.03E-12*exp(-448/T)$		
<R161>	$OH + ISPD = 1.565*PAR + 0.167*FORM + 0.713*XO_2 + 0.503*HO_2 + 0.334*CO + 0.168*MGLY + 0.252*ALD_2 +$	$3.36E-11$		

	$0.330 \cdot \text{C2O3} + 0.130 \cdot \text{MACO3} + 0.120 \cdot \text{ALDX}$			
<R162>	$\text{O3} + \text{ISPD} = 0.114 \cdot \text{C2O3} + 0.150 \cdot \text{FORM} + 0.850 \cdot \text{MGLY} + 0.154 \cdot \text{HO2} + 0.268 \cdot \text{OH} + 0.064 \cdot \text{XO2} + 0.020 \cdot \text{ALD2} + 0.360 \cdot \text{PAR} + 0.225 \cdot \text{CO}$	7.10E-18		
<R163>	$\text{NO3} + \text{ISPD} = 0.357 \cdot \text{ALDX} + 0.282 \cdot \text{FORM} + 1.282 \cdot \text{PAR} + 0.925 \cdot \text{HO2} + 0.643 \cdot \text{CO} + 0.850 \cdot \text{NTRI} + 0.075 \cdot \text{MACO3} + 0.075 \cdot \text{XO2} + 0.150 \cdot \text{HNO3}$	1.00E-15		
<R164>	$\text{ISPD} = 0.333 \cdot \text{CO} + 0.067 \cdot \text{ALD2} + 0.900 \cdot \text{FORM} + 0.832 \cdot \text{PAR} + 0.700 \cdot \text{XO2} + 1.033 \cdot \text{HO2} + 0.700 \cdot \text{MACO3} + 0.267 \cdot \text{C2O3}$	0.0036/<ACRO_09>		
<R165>	$\text{TERP} + \text{O} = 0.150 \cdot \text{ALDX} + 5.12 \cdot \text{PAR} + \text{TRPRXN}$	3.60E-11		
<R166>	$\text{TERP} + \text{OH} = 0.750 \cdot \text{HO2} + 1.250 \cdot \text{XO2} + 0.250 \cdot \text{XO2T} + 0.280 \cdot \text{FORM} + 1.66 \cdot \text{PAR} + 0.470 \cdot \text{ALDX} + \text{TRPRXN}$	$1.5\text{E-}11 \cdot \exp(449./T)$		

<R166a>	$\text{XO}_2\text{T} + \text{NO} = \text{NTRM}$	$2.6\text{E-}12 \cdot \exp(365/\text{T})$	XO ₂ T instead of XO ₂	
<R166b>	$\text{XO}_2\text{T} + \text{HO}_2 = \text{ROOH}$	$7.5\text{E-}13 \cdot \exp(700/\text{T})$		
<R166c>	$\text{XO}_2\text{T} + \text{XO}_2\text{T} =$	6.80E-14		
<R166d>	$\text{XO}_2 + \text{XO}_2\text{T} =$	6.80E-14		
<R167>	$\text{TERP} + \text{O}_3 = 0.570 \cdot \text{OH} +$ $0.070 \cdot \text{HO}_2 + 0.760 \cdot \text{XO}_2 +$ $0.180 \cdot \text{XO}_2\text{T} + 0.240 \cdot \text{FORM} +$ $0.001 \cdot \text{CO} + 7.000 \cdot \text{PAR} +$ $0.210 \cdot \text{ALDX} + 0.390 \cdot \text{CXO}_3 +$ TRPRXN	$1.2\text{E-}15 \cdot \exp(-821./\text{T})$		
<R168>	$\text{TERP} + \text{NO}_3 = 0.470 \cdot \text{NO}_2 +$ $0.280 \cdot \text{HO}_2 + 1.030 \cdot \text{XO}_2 +$ $0.250 \cdot \text{XO}_2\text{T} + 0.470 \cdot \text{ALDX} +$ $0.530 \cdot \text{NTRM} + \text{TRPRXN}$	$3.7\text{E-}12 \cdot \exp(175./\text{T})$		
<R169>	$\text{SO}_2 + \text{OH} = \text{SULF} + \text{HO}_2 +$ SULRXN	$k_0=3.3\text{E-}31 \cdot (\text{T}/300)^{(-4.3)},$ $k_{\text{inf}}=1.6\text{E-}12 \cdot (\text{T}/300)^{(0.0)}, \text{F}=0.6,$ $n=1$		
<R170>	$\text{OH} + \text{ETOH} = \text{HO}_2 + 0.950 \cdot \text{ALD}_2$ $+ 0.010 \cdot \text{ALDX} + 0.080 \cdot \text{FORM} +$ $0.050 \cdot \text{XO}_2$	$6.9\text{E-}12 \cdot \exp(-230/\text{T})$		
<R171>	$\text{OH} + \text{ETHA} = 0.991 \cdot \text{ALD}_2 +$ $0.991 \cdot \text{XO}_2 + 0.009 \cdot \text{XO}_2\text{N} + \text{HO}_2$	$8.7\text{E-}12 \cdot \exp(-1070/\text{T})$		

<R172>	NO ₂ + ISOP = 0.200*ISPD + 0.800*NTROH + XO ₂ + 0.800*HO ₂ + 0.200*NO + 0.800*ALDX + 2.400*PAR	1.50E-19		
<CL1>	CL ₂ = 2.000*CL	1.0/<CL ₂ _IUPAC04>		
<CL2>	HOCL = OH + CL	1.0/<HOCL_IUPAC04>		
<CL3>	CL + O ₃ = CLO	2.3E-11*exp(-200/T)		
<CL4>	CLO + CLO = 0.300*CL ₂ + 1.400*CL	1.63E-14		
<CL5>	CLO + NO = CL + NO ₂	6.4E-12*exp(290/T)		
<CL6>	CLO + HO ₂ = HOCL	2.7E-12*exp(220/T)		
<CL7>	OH + FMCL = CL + CO	5.00E-13		
<CL8>	FMCL = CL + CO + HO ₂	1.0/<FMCL_IUPAC04>		
<CL9>	CL + CH ₄ = HCL + MEO ₂	6.6E-12*exp(-1240/T)		
<CL10>	CL + PAR = HCL + 0.870*XO ₂ + 0.130*XO ₂ N + 0.110*HO ₂ + 0.060*ALD ₂ -0.110*PAR + 0.760*ROR + 0.050*ALDX	5.00E-11		
<CL11>	CL + ETHA = HCL + 0.991*ALD ₂ + 0.991*XO ₂ + 0.009*XO ₂ N + HO ₂	8.3-11*exp(-100/T)		
<CL12>	CL + ETH = FMCL + 2.000*XO ₂ + 1.000*HO ₂ + 1.000*FORM	1.07E-10		

<CL13>	$CL + OLE = FMCL + 0.330*ALD2 + 0.670*ALDX + 2.000*XO2 + 1.000*HO2 - 1.000*PAR$	2.50E-10		
<CL14>	$CL + IOLE = 0.300*HCL + 0.700*FMCL + 0.450*ALD2 + 0.550*ALDX + 0.300*OLE + 0.300*PAR + 1.700*XO2 + 1.000*HO2$	3.50E-10		
<CL15>	$CL + ISOP = 0.15*HCL + 1.000*XO2 + 1.000*HO2 + 0.850*FMCL + 1.000*ISPD$	4.30E-10		
<CL16>	$CL + FORM = HCL + 1.000*HO2 + 1.000*CO$	$8.2E-11 * \exp(-34/T)$		
<CL17>	$CL + ALD2 = HCL + 1.000*C2O3$	7.90E-11		
<CL18>	$CL + ALDX = HCL + 1.000*CXO3$	1.30E-10		
<CL19>	$CL + MEOH = HCL + 1.000*HO2 + 1.000*FORM$	5.50E-11		
<CL20>	$CL + ETOH = HCL + 1.000*HO2 + 1.000*ALD2$	$8.2E-11 * \exp(45/T)$		
<CL21>	$HCL + OH = CL$	$6.58E-13 * (T/300)^{(1.16)} * \exp(58/T)$		

<CL22>	CL + TOL = HCL + 0.88*XO2 + 0.88*HO2 + 0.12*XO2N	6.10E-11		
<CL23a>	CL + XYLMN = HCL + 0.84*XO2 + 0.84*HO2 + 0.16*XO2N	1.20E-10		
<CL23b>	CL + NAPH = HCL + 0.84*XO2 + 0.84*HO2 + 0.16*XO2N	1.20E-10		
<CL24>	CL + NO2 = CLNO2	k0=1.80E-31*(T/300)(-2.00), kinf=1.00E-10*(T/300)(-1.00), F=0.60, n=1.0		
<CL25>	CLNO2 = CL + NO2	1.0/<CLNO2>		
<SA01>	TOLRO2 + NO = NO + TOLNRXN	2.70e-12*exp(360/T)		
<SA02>	TOLRO2 + HO2 = HO2 + TOLHRXN	1.90e-13*exp(1300/T)		
<SA03>	XYLRO2 + NO = NO + XYLNRXN	2.70e-12*exp(360/T)		
<SA04>	XYLRO2 + HO2 = HO2 + XYLHRXN	1.90e-13*exp(1300/T)		
<SA05>	BENZENE + OH = OH + 1.0*BENZRO2	2.47e-12*exp(-206/T)		
<SA06>	BENZRO2 + NO = NO + BNZNRXN	2.70e-12*exp(360/T)		

<SA07>	BENZRO2 + HO2 = HO2 + BNZHRXN	1.90e-13*exp(1300/T)		
<SA08>	SESQ + O3 = O3 + SESQRXN	1.16E-14		
<SA09>	SESQ + OH = OH + SESQRXN	1.97E-10		
<SA10>	SESQ + NO3 = NO3 + SESQRXN	1.90E-11		
<SA11>	PAHRO2 + NO = NO + PAHNRXN	2.70e-12*exp(360/T)		
<SA12>	PAHRO2 + HO2 = HO2 + PAHHRXN	1.90e-13*exp(1300/T)		
<SA13>	SOAALK + OH = OH + 0.47*ALKRXN	2.70e-12*exp(374/T)		
<R63M>	MACO3 + NO = FORM + NO2 + MEO2	6.7E-12*exp(340/T)		
<R64M>	MACO3 + NO2 = MAPAN	1.21E-11*(T/300)(-1.07)*exp(- 0/T)		
<R65M>	MAPAN = MACO3 + NO2	1.6E + 16*exp(-13486/T)		
<R66M>	MAPAN = 0.6*MACO3 + 0.6*NO2 + 0.4*NO3 + 0.4*FORM + 0.4*C2O3	1.0/<PAN_IUPAC10>		
<R67M>	MAPAN + OH = ALD2 + CO + NO2	2.90E-11		
<R68M>	MACO3 + HO2 = 0.15*C2O3 + 0.44*FORM + 0.29*MEO2 +	5.2E-13*exp(980/T)		

	$0.29*CO + 0.44*OH + 0.15*AACD + 0.15*O_3 + 0.41*PACD$			
<R69M>	$MACO_3 + MEO_2 = 1.9*FORM + 0.9*HO_2 + 0.3*C_2O_3 + 0.6*MEO_2 + 0.1*AACD$	$2.0E-12*\exp(500/T)$		
<R70M>	$MACO_3 + XO_2 = ALD_2 + 0.3*C_2O_3 + 0.9*FORM + 0.6*MEO_2 + 0.6*CO + 0.1*AACD$	$4.4E-13*\exp(1070./T)$		
<R71M>	$MACO_3 + CXO_3 = ALD_2 + XO_2 + HO_2 + FORM + 0.35*C_2O_3 + 0.65*CO$	$2.9E-12*\exp(500/T)$		
<R72M>	$MACO_3 + C_2O_3 = 1.65*MEO_2 + FORM + 0.35*C_2O_3 + 0.65*CO$	$2.9E-12*\exp(500/T)$		
<N08>	$NTRALK + OH = NALKO_2$	$1.29E-12$		
<N08b>	$NALKO_2 + NO = 1.30*NO_2 + 0.15*NTRCN + 0.55*NTRCNOH$	$2.7e-12*\exp(360/T)$		
<N08c>	$NALKO_2 + HO_2 = NTRPX$	$2.05e-13*\exp(1300/T)$		
<N09>	$NTROH + OH = NOHO_2$	$7.26E-12$		
<N09b>	$NOHO_2 + NO = 1.22*NO_2 + 0.53*NTRCN + 0.25*NTRCNOH$	$2.7e-12*\exp(360/T)$		
<N09c>	$NOHO_2 + HO_2 = NTRPX$	$2.05e-13*\exp(1300/T)$		
<N10>	$NTRCN + OH = NCNO_2$	$1.10E-12$		

<N10b>	$\text{NCNO}_2 + \text{NO} = 1.53 \cdot \text{NO}_2 + 0.21 \cdot \text{NTRCN} + 0.26 \cdot \text{NTRCNOH}$	$2.7\text{e-}12 \cdot \exp(360/T)$		
<N10c>	$\text{NCNO}_2 + \text{HO}_2 = \text{NTRPX}$	$2.05\text{e-}13 \cdot \exp(1300/T)$		
<N11>	$\text{NTRCNOH} + \text{OH} = \text{NCNOHO}_2$	$5.70\text{E-}12$		
<N11b>	$\text{NCNOHO}_2 + \text{NO} = 1.24 \cdot \text{NO}_2 + 0.59 \cdot \text{NTRCNOH} + 0.17 \cdot \text{NTRCN}$	$2.7\text{e-}12 \cdot \exp(360/T)$		
<N11c>	$\text{NCNOHO}_2 + \text{HO}_2 = \text{NTRPX}$	$2.05\text{e-}13 \cdot \exp(1300/T)$		
<N14>	$\text{NTRPX} + \text{OH} = \text{NTRCN} + \text{OH}$	$6.00\text{E-}12$		
<N15>	$\text{NTRM} + \text{OH} = \text{NTRMO}_2$	$3.30\text{E-}11$		
<N15b>	$\text{NTRMO}_2 + \text{NO} = 0.87 \cdot \text{NO}_2 + 1.15 \cdot \text{NTRI} + 0.68 \cdot \text{HO}_2 + 0.55 \cdot \text{FORM} + 0.15 \cdot \text{ALD}_2 + 0.43 \cdot \text{PAR}$	$2.7\text{e-}12 \cdot \exp(360/T)$		
<N15c>	$\text{NTRMO}_2 + \text{HO}_2 = \text{NTRI}$	$2.05\text{e-}13 \cdot \exp(1300/T)$		
<N16>	$\text{NTRI} + \text{OH} = \text{NTRIO}_2$	$2.32\text{E-}12$		
<N16b>	$\text{NTRIO}_2 + \text{NO} = 1.40 \cdot \text{NO}_2 + 0.60 \cdot \text{NTRI}$	$2.7\text{e-}12 \cdot \exp(360/T)$		
<N16c>	$\text{NTRIO}_2 + \text{HO}_2 = \text{NTRI}$	$2.05\text{e-}13 \cdot \exp(1300/T)$		
<N17>	$\text{NTRM} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 1.0 \cdot \text{ALD}_2 + 1.0 \cdot \text{IOLE}$	$1.0 / \text{<NTR_IUPAC10>}$		
<N18b>	$\text{NTRI} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 0.330 \cdot \text{FORM} + 0.330 \cdot \text{ALD}_2 + 0.330 \cdot \text{ALDX} - 0.660 \cdot \text{PAR}$	$1.0 / \text{<NOA_14>}$		

<N19>	$\text{NTRALK} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 0.330 \cdot \text{FORM} + 0.330 \cdot \text{ALD}_2 + 0.330 \cdot \text{ALDX} - 0.660 \cdot \text{PAR}$	$1.0 / \langle \text{NTR_IUPAC10} \rangle$		
<N20>	$\text{NTROH} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 0.330 \cdot \text{FORM} + 0.330 \cdot \text{ALD}_2 + 0.330 \cdot \text{ALDX} - 0.660 \cdot \text{PAR}$	$1.0 / \langle \text{NTR_IUPAC10} \rangle$		
<N21>	$\text{NTRCN} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 0.330 \cdot \text{FORM} + 0.330 \cdot \text{ALD}_2 + 0.330 \cdot \text{ALDX} - 0.660 \cdot \text{PAR}$	$1.0 / \langle \text{NBO_14} \rangle$		
<N22>	$\text{NTRCNOH} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 0.330 \cdot \text{FORM} + 0.330 \cdot \text{ALD}_2 + 0.330 \cdot \text{ALDX} - 0.660 \cdot \text{PAR}$	$1.0 / \langle \text{NBO_14} \rangle$		
<N25>	$\text{NTRPX} = \text{NO}_2 + \text{HO}_2 + 1.0 \cdot \text{ROOH}$	$2.0 / \langle \text{NTR_IUPAC10} \rangle$		
<HET_NT1>	$\text{NTRALK} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_NT2>	$\text{NTROH} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_NT3>	$\text{NTRCN} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_NT4>	$\text{NTRCNOH} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_NT5>	$\text{NTRPX} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_NT6>	$\text{NTRM} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_NT7>	$\text{NTRI} = \text{HNO}_3$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_NTR2} \rangle$		
<HET_N2O5IJ>	$\text{N2O5} = \text{HNO}_3 + \text{H2NO3PIJ}$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_N2O5IJ} \rangle$		
<HET_N2O5K>	$\text{N2O5} = \text{HNO}_3 + \text{H2NO3PK}$	$1.0 \sim \langle \text{HETERO_N2O5K} \rangle$		

<HET_H2NO3PIJA>	$H_2NO_3PIJ = HNO_3$	$1.0 \sim \langle HETERO_H_2NO_3PAIJ \rangle$		
<HET_H2NO3PKA>	$H_2NO_3PK = HNO_3$	$1.0 \sim \langle HETERO_H_2NO_3PAK \rangle$		
<HET_H2NO3PIB>	$H_2NO_3PIJ + ACLI = CLNO_2$	$1.0 \sim \langle HETERO_H_2NO_3PBIJ \rangle$		
<HET_H2NO3PJB>	$H_2NO_3PIJ + ACLJ = CLNO_2$	$1.0 \sim \langle HETERO_H_2NO_3PBIJ \rangle$		
<HET_H2NO3PKB>	$H_2NO_3PK + ACLK = CLNO_2$	$1.0 \sim \langle HETERO_H_2NO_3PBK \rangle$		
<HET_NO2>	$NO_2 = 0.5 * HONO + 0.5 * HNO_3$	$1.0 \sim \langle HETERO_NO_2 \rangle$		
<HAL_Ozone>	$O_3 =$	$\min(1.0E-40 * \exp(78.4256 * P) + 4.0582E-9 * \exp(5.8212 * P), 2.4E-06)$	Set to zero if sun is below the horizon and if surface does not include sea or surf zones; P equals air pressure in atmospheres	CMAQv5.1_Halogen_chemistry
<HET_IEPOX>	$IEPOX = AISO_3J$	$1.0 \sim \langle HETERO_IEPOX \rangle$		
<OLIG_XYLENE1>	$AXYL1J = 1.1428 * AOLGAJ$	9.49E-06		
<OLIG_XYLENE2>	$AXYL2J = 1.1428 * AOLGAJ$	9.49E-06		
<OLIG_TOLUENE1>	$ATOL1J = 1.0000 * AOLGAJ$	9.49E-06		
<OLIG_TOLUENE2>	$ATOL2J = 1.0000 * AOLGAJ$	9.49E-06		
<OLIG_BENZENE1>	$ABNZ1J = 0.85714 * AOLGAJ$	9.49E-06		
<OLIG_BENZENE2>	$ABNZ2J = 0.85714 * AOLGAJ$	9.49E-06		
<OLIG_TERPENE1>	$ATRP1J = 1.0000 * AOLGBJ$	9.49E-06		
<OLIG_TERPENE2>	$ATRP2J = 1.0000 * AOLGBJ$	9.49E-06		
<OLIG_ISOPRENE1>	$AISO1J = 0.50 * AOLGBJ$	9.49E-06		

<OLIG_ISOPRENE2>	AISO2J = 0.50*AOLGBJ	9.49E-06		
<OLIG_SESQT1>	ASQTJ = 1.50*AOLGBJ	9.49E-06		
<OLIG_PAH1>	APAH1J = 1.4286*AOLGAJ	9.49E-06		
<OLIG_PAH2>	APAH2J = 1.4286*AOLGAJ	9.49E-06		
<OLIG_ALK1>	AALK1J = 1.7143*AOLGAJ	9.49E-06		
<OLIG_ALK2>	AALK2J = 1.7143*AOLGAJ	9.49E-06		
<RPOAGEPI>	APOCI + OH = 1.25*APNCOMI + APOCI + OH	2.50E-12		
<RPOAGELI>	APNCOMI + OH = OH	1.0~<HETERO_PNCOMLI>		
<RPOAGEPJ>	APOCJ + OH = 1.25*APNCOMJ + APOCJ + OH	2.50E-12		
<RPOAGELJ>	APNCOMJ + OH = OH	1.0~<HETERO_PNCOMLJ>		
<T01>	FORM_PRIMARY + OH = OH	9.00E-12	tracer for emitted HCHO	
<T02>	FORM_PRIMARY + NO3 = NO3	5.80E-16		
<T03>	FORM_PRIMARY + O = O	3.4E-11*exp(-1600/T)		
<T04>	FORM_PRIMARY =	1.0/<FORM_R_IUPAC10>		
<T05>	FORM_PRIMARY =	1.0/<FORM_M_IUPAC10>		
<TCL1>	FORM_PRIMARY + CL = CL	8.2E-11*exp(-34/T)		
<T06>	ALD2_PRIMARY + OH = OH	5.6E-12*exp(270/T)	tracer for emitted acetaldehyde	
<T07>	ALD2_PRIMARY + NO3 = NO3	1.4E-12*exp(-1900/T)		
<T08>	ALD2_PRIMARY + O = O	1.8E-11*exp(-1100/T)		

<T09>	ALD2_PRIMARY =	1.0/<ALD2_R_IUPAC10>		
<TCL2>	ALD2_PRIMARY + CL = CL	7.90E-11		
<T10>	BUTADIENE13 + OH = OH + 0.58*ACROLEIN	1.4E-11*exp(424./T)		
<T11>	BUTADIENE13 + O3 = O3 + 0.52*ACROLEIN	8.2E-15*exp(-2070./T)		
<T12>	BUTADIENE13 + NO3 = NO3 + 0.045*ACROLEIN	1.79E-13		
<TCL3>	BUTADIENE13 + CL = CL + 0.58*ACROLEIN	2.51E-10		
<T14>	ACRO_PRIMARY + OH = OH	2.00E-11	tracer for emitted acrolein	
<T15>	ACRO_PRIMARY + O3 = O3	2.61E-19		
<T16>	ACRO_PRIMARY + NO3 = NO3	1.7E-11*exp(-3131./T)		
<T17>	ACRO_PRIMARY =	1.0/<ACRO_09>		
<TCL4>	ACRO_PRIMARY + CL = CL	2.37E-10		
<T18>	ACROLEIN + OH = OH	2.00E-11		
<T19>	ACROLEIN + O3 = O3	2.61E-19		
<T20>	ACROLEIN + NO3 = NO3	1.7E-11*exp(-3131./T)		
<T21>	ACROLEIN =	1.0/<ACRO_09>		
<TCL5>	ACROLEIN + CL = CL	2.37E-10		
<T22>	TOLU + OH = OH	1.8E-12*exp(355./T)		
<TCL6>	TOLU + CL = CL	6.10E-11		

<T23>	$\text{MXYL} + \text{OH} = \text{OH}$	$1.7\text{E-}11 \cdot \exp(116./T)$		
<TCL7>	$\text{MXYL} + \text{CL} = \text{CL}$	$1.40\text{E-}10$		
<T24>	$\text{OXYL} + \text{OH} = \text{OH}$	$1.22\text{E-}11$		
<TCL8>	$\text{OXYL} + \text{CL} = \text{CL}$	$1.50\text{E-}10$		
<T25>	$\text{PXYL} + \text{OH} = \text{OH}$	$1.30\text{E-}11$		
<TCL9>	$\text{PXYL} + \text{CL} = \text{CL}$	$1.50\text{E-}10$		
<T26>	$\text{APIN} + \text{O} = \text{O}$	$2.79\text{E-}11$		
<T27>	$\text{APIN} + \text{OH} = \text{OH}$	$1.2\text{E-}11 \cdot \exp(440./T)$		
<T28>	$\text{APIN} + \text{O}_3 = \text{O}_3$	$6.3\text{E-}16 \cdot \exp(-580./T)$		
<T29>	$\text{APIN} + \text{NO}_3 = \text{NO}_3$	$1.2\text{E-}12 \cdot \exp(490./T)$		
<TCL10>	$\text{APIN} + \text{CL} = \text{CL}$	$4.70\text{E-}10$		
<T30>	$\text{BPIN} + \text{O} = \text{O}$	$2.81\text{E-}11$		
<T31>	$\text{BPIN} + \text{OH} = \text{OH}$	$7.51\text{E-}11$		
<T32>	$\text{BPIN} + \text{O}_3 = \text{O}_3$	$1.74\text{E-}15 \cdot \exp(-1260./T)$		
<T33>	$\text{BPIN} + \text{NO}_3 = \text{NO}_3$	$2.81\text{E-}11$		
<TCL11>	$\text{BPIN} + \text{CL} = \text{CL}$	$5.30\text{E-}10$		
<HG1>	$\text{HG} + \text{O}_3 = 0.5 \cdot \text{HGIIAER} + 0.5 \cdot \text{HGIIGAS} + \text{O}_3$	$2.11\text{E-}18 \cdot \exp(-1256.5/T)$		
<HG2>	$\text{HG} + \text{CL}_2 = \text{HGIIGAS} + \text{CL}_2$	$2.60\text{E-}18$		
<HG3>	$\text{HG} + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{HGIIGAS} + \text{H}_2\text{O}_2$	$8.50\text{E-}19$		
<HG4>	$\text{HG} + \text{OH} = 0.5 \cdot \text{HGIIAER} + 0.5 \cdot \text{HGIIGAS} + \text{OH}$	$7.70\text{E-}14$		
<HG5>	$\text{HG} + \text{CL} + \text{M} = 0.5 \cdot \text{HG} + 0.5 \cdot \text{HGIIGAS} + \text{M} + \text{CL}$	$2.25\text{E-}33 \cdot \exp(-680.0/T)$		

附表 13 台灣採購公報網-歷年雲林縣環境保護招標案件檔案彙整表

編號	報告名稱	報告書年份
1	97 年度農工業臭味及禁止露天燃燒管制計畫.pdf	97
2	雲林縣 97 年度加強街道揚塵洗掃管制操作維護計畫.zip	97
3	97 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.zip	97
4	102 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.pdf	102
5	102 年度加強街道揚塵洗掃計畫.pdf	102
6	雲林縣 98 年度加強街道揚塵洗掃計畫.zip	98
7	雲林縣 98 年度營建工程污染管制及查核作業計畫.pdf	98
8	98 年度農工業臭味及禁止露天燃燒宣導之管制與改善計畫.pdf	98
9	雲林縣 98 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.zip	98
10	98 年度營建工地整體形象及逸散源環境改善計畫.pdf	98
11	98 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.zip	98
12	106 年度雲林縣海洋稽查管制及海底垃圾清除處理暨海洋環境教育宣導計畫.pdf	106
13	101 年度濁水溪沿岸揚塵預警應變計畫.pdf	101
14	101 年度營建工程污染管制及查核計畫.pdf	101
15	101 年度農工業異味及露天燃燒稽查管制計畫.pdf	101
16	101 年度執行提升為民服務品質暨空氣污染案件快速查核計畫.pdf	101
17	101 年度執行停車怠速熄火宣導及管制計畫.pdf	101
18	101 年度加強街道揚塵洗掃計畫.pdf	101
19	103 年度露天燃燒管制暨空氣污染案件快速查核計畫.pdf	103
20	103 年度雲林縣資源回收稽查管制及宣導計畫.pdf	103

21	103 年度雲林縣海洋稽查管制計畫.pdf	103
22	103 年度雲林縣公有一般廢棄物衛生掩埋場營運管理(含已復育場)、監測及督導計畫.pdf	103
23	103 年度雲林縣石化業專用監測車操作維護計畫.pdf	103
24	103 年度雲林縣環境預警及管理計畫.pdf	103
25	103 年度營建工程污染管制及查核計畫.pdf	103
26	105 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.pdf	105
27	105 年度空氣污染案件快速查核計畫.pdf	105
28	105 年度營建工程污染管制及查核計畫.pdf	105
29	105 年度雲林縣公有一般廢棄物衛生掩埋場營運管理(含已復育場)、監測及督導計畫.pdf	105
30	105 年度雲林縣廢棄物處理、再利用業空氣污染輔導暨管制計畫.pdf	105
31	105 年度雲林縣環境教育規劃管理計畫.pdf	105
32	105 年度雲林縣環境教育館營運管理計畫.pdf	105
33	雲林縣 105 年度營建工程污染管制及查核計畫.pdf	105
34	105 年度空氣品質淨化區維護管理及餐飲業清查作業計畫.pdf	105
35	105 年度雲林縣環境污染應變即時監測計畫.pdf	105
36	105 年度雲林縣資源回收稽查管制及宣導計畫.pdf	105
37	105 年度雲林縣海洋稽查管制計畫.pdf	105
38	100 年度加強街道揚塵洗掃計畫.pdf	100
39	100 年度雲林縣推廣全民節能減碳運動計畫.pdf	100
40	100 年度異味稽查管制計畫.rar	100
41	100 年度執行提升為民服務品質暨空氣污染案件快速查核計畫.pdf	100
42	100 年度濁水溪沿岸揚塵監測改善管理計畫.pdf	100

43	100 年度露天燃燒稽查管制計畫.rar	100
44	100 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.pdf	100
45	100 年度營建工程污染管制及查核計畫.pdf	100
46	環境影響評估背景資訊及監督追蹤環境監測資料之整合建立(一).pdf	
47	95 西螺果菜市場電動拖板車實車試行計畫.doc	95
48	雲林縣 95 年度「生質柴油道路試行計畫」期末報告.pdf	95
49	99 年度雲林縣低碳示範城市競逐遴選計畫.pdf	99
50	99 年度柴油車排煙檢測及油品抽測計畫.pdf	99
51	99 年雲林縣減碳宣導推動計畫.zip	99
52	99 年度露天燃燒稽查管制計畫.pdf	99
53	99 年度營建工程污染管制及查核作業計畫.pdf	99
54	雲林縣 99 年度加強街道揚塵洗掃計畫.pdf	99
55	雲林縣 99 年度固定源管制與查核計畫公開完整版.zip	99
56	99 年度異味稽查管制計畫.pdf	99
57	九十二年北港溪流域生物生態資料庫建立及教育訓練.pdf	92
58	92 年雲林縣執行許可登記及建檔管理計畫.pdf	92
59	92 年雲林縣中西部海域環境品質調查監測計畫.pdf	92
60	104 年度雲林縣營造永續優質環境衛生計畫.pdf	104
61	104 年度雲林縣石化業專用監測車操作維護計畫.pdf	104
62	104 年雲林縣海洋污染應變暨環境監測及中區水污染事件緊急應變民間機構協力處理計畫.pdf	104
63	104 年度營建工程污染管制及查核計畫.pdf	104
64	104 年度空氣污染案件快速查核計畫.pdf	104

65	104 年度雲林縣廢棄物處理、再利用業空氣污染輔導暨管制計畫.pdf	104
66	雲林縣環境污染應變即時監測計畫.pdf	
67	104 年度雲林縣公有一般廢棄物衛生掩埋場營運管理(含已復育場)、監測及督導計畫.pdf	104
68	97 年度空氣品質維護綜合管理計畫.zip	97
69	雲林縣 97 年度移動性污染源管制計畫.pdf	97
70	離島工業區空氣污染物總量查核及許可管制計畫.pdf	
71	97 年度加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫.pdf	97
72	97 年度固定污染源管制與查核計畫.pdf	97
73	97 年度「離島工業區空氣污染物檢測管制計畫」.pdf	97
74	102 年度離島工業區連續自動監測設施查核計畫.pdf	102
75	102 年度離島工業區空氣污染管制資訊整合計畫.pdf	102
76	102 年度移動性污染源管制計畫.pdf	102
77	102 年度環境空氣品質監測計畫.pdf	102
78	102 年度空品不良期間加強濁水溪沿岸街道揚塵管制計畫.pdf	102
79	102 年度執行提升為民服務品質暨空氣污染案件快速查核(含異味管制)計畫.pdf	102
80	102 年度農工業異味及露天燃燒稽查管制計畫.pdf	102
81	102 年度雲林縣離島工業區紅外線連續監測及有害污染物調查計畫.pdf	102
82	102 年度雲林縣離島工業區揮發性有機物查核計畫.pdf	102
83	102 年度濁水溪河川揚塵防制及改善推動計畫.pdf	102
84	102 年度離島工業區空氣污染總量查核及許可管制計畫.pdf	102
85	102 年度固定污染源管制與查核計畫.pdf	102
86	102 年度空氣品質維護綜合管理計畫.pdf	102

87	102 年度逸散源管制及空氣品質淨化區維護管理計畫.rar	102
88	98 年度雲林縣離島工業區揮發性有機物查核暨減量計畫.zip	98
89	98 年度移動性污染源管制計畫.pdf	98
90	98 年度固定污染源管制與查核計畫.zip	98
91	98 年度環境空氣品質監測計畫.pdf	98
92	98 年度加強離島工業區空氣污染物整合執行計畫.pdf	98
93	98 年度推動離島工業區為柴油車空品淨化區計畫.pdf	98
94	2007?輕?島工業區對空氣品質之影響評估研究.pdf	96
95	101 年度空品不良期間加強濁水溪沿岸街道揚塵管制計畫.rar	101
96	101 年度移動性污染源管制計畫.rar	101
97	101 年度雲林縣配合環保署重大政策-細懸浮微粒(PM2.5)監測與調查評估計畫-期末定稿本.rar	101
98	101 年度雲林縣離島工業區揮發性有機物查核計畫.pdf	101
99	101 提升中部及雲嘉南空品區空氣品質.pdf	101
100	101 年度環境空氣品質監測計畫.pdf	101
101	101 年度固定污染源管制與查核計畫.pdf	101
102	101 年度離島工業區連續自動監測查核計畫.pdf	101
103	101 年度雲林縣離島工業區紅外線連續監測及有害污染物調查計畫.rar	101
104	101 年度逸散源管制及空氣品質淨化區維護管理計畫.pdf	101
105	101 年度離島工業區空氣污染管制資訊整合計畫.pdf	101
106	103 年度固定污染源(含離島工業區)查核及許可管制計畫.pdf	103
107	103 年度空氣品質淨化區維護管理及社區生態綠美化推廣計畫.pdf	103
108	103 年度雲林縣環境污染物檢測計畫.pdf	103

109	103 年度雲林縣離島工業區紅外線連續監測及有害污染物調查計畫.pdf	103
110	103 年度環境空氣品質監測計畫.pdf	103
111	103 年度離島工業區空氣污染管制資訊整合計畫.pdf	103
112	103 年度雲林縣濁水溪河川揚塵防制及改善推動計畫.pdf	103
113	103 年度雲林縣推動室內空氣品質改善計畫.pdf	103
114	103 年度移動性污染源管制計畫.pdf	103
115	雲林縣細懸浮微粒(PM2.5)污染來源調查分析暨空品預警應變計畫.pdf	
116	103 年度雲林縣離島工業區揮發性有機物查核計畫.pdf	
117	雲林縣細懸浮微粒(PM2.5)濃度及化學組成時空變化調查計畫.pdf	
118	105 年度移動性污染源管制計畫.pdf	105
119	100 中部及雲嘉南空品區污染減量推動計畫.pdf	100
120	100 年度雲林縣離島工業區臭味物質連續監測及有害污染物調查計畫.pdf	100
121	100 年度空品不良期間濁水溪沿岸街道揚塵管制計畫.rar	100
122	100 年度固定污染源管制與查核計畫.pdf	100
123	雲林縣石化業專用移動式監測車監測計畫.pdf	
124	100 年度移動性污染源管制計畫.rar	100
125	100 年度離島工業區空氣污染總量查核及許可管制計畫.pdf	100
126	100 年度逸散源管制及空氣品質淨化區維護管理計畫.pdf	100
127	雲林縣 100 年度空氣污染防制業務資訊管理系統計畫.pdf	100
128	100 年度離島工業區空氣污染管制資訊整合計畫.zip	100
129	95 離島工業區即時環境監測及預警系統建置計畫.pdf	95
130	99 年空氣污染防制宣導.zip	99

131	99 年度空品不良期間加強濁水溪沿岸街道揚塵管制計畫.zip	99
132	99 年空氣品質維護綜合管理計畫.pdf	99
133	99 年度離島工業區空氣污染總量查核及許可管制計畫.zip	99
134	99 年度移動性污染源管制計畫.zip	99
135	99 年度雲林縣離島工業區揮發性有機物監測及有害污染物調查計畫.pdf	99
136	99 年度雲林縣逸散源環境形象改造計畫.pdf	99
137	99 年度環境空氣品質監測計畫.pdf	99
138	104 年度雲林縣離島工業區揮發性有機物查核計畫.pdf	104
139	104 年度雲林縣濁水溪河川揚塵防制及改善推動計畫.pdf	104
140	104 年度環境空氣品質監測計畫.pdf	104
141	104 年度雲林縣離島工業區紅外線連續監測及有害污染物調查計畫.pdf	104
142	104 年度移動性污染源管制計畫.pdf	104
143	104 年度固定污染源（含離島工業區）管制及查核計畫.pdf	104
144	104 年度雲林縣推動室內空氣品質改善計畫.pdf	104
145	104 年度空品不良期間加強濁水溪沿岸街道揚塵管制計畫.pdf	104
146	台灣石化產業對地方影響之分析研究-以六輕為例-.pdf	
147	102 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫.pdf	102
148	102 年度雲林縣六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫.pdf	102
149	98 年度新虎尾溪現地處理規劃細部設計及支流排水調查計畫.pdf	98
150	106 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫.pdf	106
151	101 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫.pdf	101
152	100 年度雲林縣石油化學業新增放流水排放標準研訂計畫.pdf	100

153	103 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫.pdf	103
154	103 年雲林縣虎尾鎮農地污染改善計畫.pdf	103
155	103 年雲林縣虎尾鎮農地監督驗證計畫.pdf	103
156	105 年度雲林縣水污染源稽查與水污費徵收查核計畫.pdf	105
157	105 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫.pdf	105
158	100 年度六輕工業區土壤及地下水污染潛勢調查及查證計畫.pdf	100
159	100 年度雲林縣六輕工業區水質監測管理計畫.pdf	100
160	100 年度雲林縣六輕工業區鄰近地區農地調查計畫.pdf	100
161	99 年度中區水污染事件緊急應變民間協力處理計畫.pdf	99
162	濁水溪沿岸揚塵改善宣導計畫.pdf	
163	99 年度台灣中部海域環境品調查監測計畫.pdf	99
164	99 年度雲林縣流域水污染源稽查管制計畫.pdf	99
165	中區水污染事件緊急應變民間機構協力處理計畫.pdf	
166	104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫.pdf	104
167	104 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫.pdf	104
168	104 年度雲林縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫- 場置性監測井豐水期監測成果摘要表.pdf	104
169	102 年毒性化學物質稽查管制計畫.pdf	102
170	101 年度毒性化學物質稽查管制計畫.pdf	101
171	雲林縣離島工業區毒性化學物質監測管制計畫.pdf	
172	毒性化學物質稽查管制計畫.pdf	
173	104 年度毒性化學物質稽查管制計畫.pdf	104
174	97 年度空氣污染對沿海地區環境及居民健康影響之風險評估規劃第 1 年計畫.pdf	97

175	98 年度沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫.pdf	98
176	101 年度沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫.pdf	101
177	103 雲林地區空氣污染之健康風險分析及研究規劃.pdf	103
178	100 年度沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫.pdf	100
179	99 年度沿海地區空氣污染物及環境健康世代研究計畫.pdf	99
180	104 年度沿海地區健康風險評估計畫.pdf	104

附表 14 第一次工作進度報告初審建議回覆及委員意見回覆

**106 年度空氣品質維護管理暨
懸浮微粒削減管制整合計畫
各計畫第一次工作進度報告初審建議**

計畫名稱： 106 年度沿海地區健康風險評估計畫

承辦單位： 國立台灣大學

承辦人員： _____

**106 年度沿海地區健康風險評估計畫
第一次工作進度報告初審建議**

1. 文字大小、間距、字體請統一。
2. 報告基本資料表，執行情形應更正。
3. 表次有出現錯誤!尚未定義書籤，請修正。
4. 內文“污”染物，請修正這個”污”。
5. 報告大綱的第二章參考雲林縣環境保護 102 年度之計畫成果與第二章計畫內容第七點考雲林縣環境保護 104 年度之計畫成果，請確認參考年度是否有誤。
6. P.2 第四點建議加上句號。

7. 第三章執行方法圖片大小請調整，建議內容請確認是否有裁切。
8. 表頭(ex：表 4. 1 101 年監測車座標)，建議表頭格式調整。
9. P.5 其它蒐集到的歷年資料整理如下表概述，建議放置 P.4 頁並註明如下表 4.2。
10. P.9 二氧化碳請下標。
11. P.10 如下表所示建議加上句號。
12. P.38 第二段多一個分號，建議請修正。
13. P.66 網址與內文重疊，建議請修正。

SIP 計畫建議回覆情形

SIP 建議	計畫回覆
1. 文字大小、間距、字體請統一。	謝謝委員提供之建議。 已將文件格式統一，計畫名稱使用新細明體 20 大小，各章節標題以 18，各段落標題使用新細明體 16 大小，各段落副標題以 14 大小，正文內容使用新細明體 12 大小。每頁約 30 行，邊界各留 3 公分，間距採用預設值。 各表次以粗體字呈現。
2. 報告基本資料表，執行情形應更正。	謝謝委員提供之建議。 執行情形欄位已將半年報改為第一次工作報告。
3. 表次有出現錯誤!尚未定義書籤，請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將圖次表次定義完全。
4. 內文“污”染物，請修正這個”污”。	謝謝委員提供之建議。 已將所有“污”改成“污”。
5. 報告大綱的第二章參考雲林縣環境保護 102 年度之計畫成果與第二章計畫內容第七點考雲林縣環境保護 104 年度之計畫成果，請確認參考年度是否有誤。	謝謝委員提供之建議。 已確認並將報告大綱提到之參考年度由 102 改為 104。
6. P.2 第四點建議加上句號。	謝謝委員提供之建議。 已將 P.2 第四點加上句號。
7. 第三章執行方法圖片大小請調整，建議內容請確認是否有裁切。	謝謝委員提供之建議。 已將第三張執行方法圖片內被遮掩之文字調整完畢。
8. 表頭(ex：表 4. 1 101 年監測車座標)，建議表頭格式調整。	謝謝委員提供之建議。 已將圖次表次之排序方式照流水號編排。
9. P.5 其它蒐集到的歷年資料整理如下表概述，建議放置 P.4 頁並註明如下表 4.2。	謝謝委員提供之建議。 已將 P.5 其他蒐集到的歷年資料如下表概述更改為蒐集到的歷年資料如表 2 概述。
10. P.9 二氧化碳請下標。	謝謝委員提供之建議。 已將 CO2 修改為 CO ₂ 。
11. P.10 如下表所示建議加上句號。	謝謝委員提供之建議。 已將 P.10 如下表所示後加上句號。
12. P.38 第二段多一個分號，建議請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將 P.38 第二段多的分號去除。

13. P.66 網址與內文重疊，建議請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將網址刪除。
-------------------------	-----------------------

SIP 經理：_____

第一次工作進度報告委員建議

委員建議	計畫回覆
審查委員：陳委員泰安	
1. 本計畫就原工作項目進度與內容，與原計畫之規劃大致相符，進度合宜，核先敘明。	謝謝委員提供之建議。 本計畫的工作項目與內容均與原計畫之規劃相符。
2. 本次工作進度報告中，非常重要的核心為資料蒐集、資料整理與資料庫建構，其中許多資料來源為各不同單位、不同時期、不同計畫在不同之狀況前提下所得之研究、調查、監測結果之彙整，建議後續工作注意： a. 是否確已掌握涵蓋夠完整之資料來源(除公部門外，私人部門或其他非補助/委託之學術研究調查) b. 各不同報告成果對同一狀況資料需求之格式、描述性以及其對本計畫目標所欲達成之風險評估的關聯性/影響性是否一致及合理? c. 盡力確實取得最”原始”之資料數據，以做後續分析檢核之用。(可通過環保局協助取得)	謝謝委員提供之建議。
3. 總之，本計畫一開始若能”正確””完整”掌握資料來源，對後續執行實質評估風險會更有效!	謝謝委員提供之建議。
審查委員：林委員明德	
1. 本計畫所蒐集之監測車、六輕環境監測等資料，大多為 pdf 格式，還需人為進行數化，請落實數化工作之品保與品管，確保資料之正確性。	謝謝委員提供之建議。 本團隊會落實及確認數化工作之品質，並確保資料的準確性。
2. 本計畫擬使用多個模式進行模擬與分析，建議可更清楚地說明各模式所扮演之角色、發揮之功能以及彼此之關聯與整合性，以便讓讀者能更加瞭解整個分析模式的架構。	謝謝委員提供之建議。本團隊已加入各模式之詳細敘述於 P.49,53 及 57。

3. 本計畫為健康風險評估，似乎未見民眾健康資料之建構，建議後續應補充著墨之。	謝謝委員提供之建議。
審查委員：彭委員啓明	
1. 本計畫合於進度報告之需求。	謝謝委員提供之建議。
2. 大氣擴散模式之使用上，已有許多國內團隊使用並已有相當之成果，為避免屆時有相當之誤差及爭議，建議多蒐集歷年之主要差異之研究比較。	謝謝委員提供之建議。
3. 各毒物對人體影響之風險敘述建議可再謹慎，避免誤用引申。	謝謝委員提供之建議。本團隊將針對風險之敘述上加以謹慎。

附表 15 期中報告初審建議及委員意見回覆

**106 年度空氣品質維護管理暨
懸浮微粒削減管制整合計畫
各計畫期中報告初審建議**

計畫名稱： 106 年度沿海地區健康風險評估計畫

承辦單位： 國立台灣大學

承辦人員： _____

**106 年度沿海地區健康風險評估計畫
期中報告初審建議**

1. 雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版)，第六、七點與第一次工作進度報告摘要時間點不相同，建議請確認是否有誤。
2. 雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版)，第十五點中文摘要，內文出現本研究團隊，建議請修正。
3. 圖次的圖 9、13、19、20、P.7 與 P.17 英文字母大小不同，建議請統一。
4. P.1 計畫目標一、二、三、四與 P.44 在大環境傳輸情形及宿命的原因有二：
1、2.格式，建議請修正。
5. 內文本局、本縣，建議請修正。
6. 內文圖 1、2、3...與表 1、2、3...的數字格式，建議請統一。

7. 請詳細說明資料 1&資料 2。
8. P.17“固”假設...，建議錯字請修正。
9. 第四章小節建議請縮排。
10. 內文分佈&分佈，建議請統一。
11. P.56 一般測項有 SO₂、NO、NO_x、NO₂、CO、O₃、NH₃、CH₄、NMHC、THC、PM₁₀、PM_{2.5}，建議請下標。
12. P.58、P.59(mg/m³)、Nm³/day，建議請上標。

SIP 計畫建議回覆情形

SIP 建議	計畫回覆
1. 雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版)，第六、七點與第一次工作進度報告摘要時間點不相同，建議請確認是否有誤。	謝謝委員提供之建議。 已確認過，期中報告所填寫之日期正確，第一次工作報告填寫錯誤。
2. 雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版)，第十五點中文摘要，內文出現本研究團隊，建議請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將用字”本研究團隊”修改為”本計畫”。
3. 圖次的圖 9、13、19、20、P.7 與 P.17 英文字母大小不同，建議請統一。	謝謝委員提供之建議。 已將目錄之英文大小寫與圖之英文大小寫改為一致。
4. P.1 計畫目標一、二、三、四與 P.44 在大環境傳輸情形及宿命的原因有二：1、2.格式，建議請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將提到兩頁格式錯誤處之空白刪除。
5. 內文本局、本縣，建議請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將”本局”用字更正為”雲林縣環境保護局”。 已將”本縣”用字更正為”雲林縣”。
6. 內文圖 1、2、3...與表 1、2、3...的數字格式，建議請統一。	謝謝委員提供之建議。 圖及表之字體皆以統一為新細明體(本文)
7. 請詳細說明資料 1&資料 2。	謝謝委員提供之建議。 該章節內文中已詳細說明。
8. P.17“固”假設...，錯字建議請修正。	謝謝委員提供之建議。 已將”固”改成”故”。
9. 第四章小節建議請縮排。	謝謝委員提供之建議。 已將第四章小節縮排。
10. 內文分布&分佈，建議請統一。	謝謝委員提供之建議。 已將”分布”統一更改為”分佈”。
11. P.56 一般測項有 SO ₂ 、NO、NO _x 、NO ₂ 、CO、O ₃ 、NH ₃ 、CH ₄ 、NMHC、THC、PM ₁₀ 、PM _{2.5} ，建議請下標。	謝謝委員提供之建議。 已將該頁一般測項皆改為下標。
12. P.58、P.59(mg/m ³)、Nm ³ /day，建議請上標。	謝謝委員提供之建議。 已將兩頁所提單位改為上標。

SIP 經理：_____

期中報告委員建議

委員建議	計畫回覆
審查委員：陳委員美蓮	
1. 本期中報告內容以資料庫之資料持續蒐集為主要重點。	謝謝委員提供之建議。
2. 環境暴露模式發展：此部分從六輕既有計畫等建立有害化學物質清單，依毒理及監測數據篩選進入本計畫 16 種化學物質，蒐集期物質毒理等資料，納入 Geonode 毒物清單資料庫。本計畫模式 CMAQ 推估空氣濃度資料。如何取得污染源，污染物排放量資料，宜補充說明，以及如何驗證，納入後續健康風險評估。	謝謝委員提供之建議，目前污染源及污染物排放資料為行政院環保署的空氣污染排放量（TEDs）及固定污染源 CEMS 監測數據（CEMS 煙道每日量測值資料）。在如何驗證方面則根據工廠製程及觀測值進行反推。
3. 健康風險評估部分，本報告尚未進入執行階段，採用多介質模式估算的各食物濃度及攝取量如何取得，宜補充說明。執行那些族群亦請補充。	感謝委員的意見，本計畫評估之暴露族群分為一般族群與敏感族群（孩童），其攝食量資料主要以國民營養調查報告為資料來源，暴露濃度的資料會先依模式推估計算風險，若其暴露途徑之暴露濃度貢獻比重較大則考慮進行採樣分析以驗證推估濃度之差異。
4. 環境健康監測系統，是監測環境或監測健康亦請補充。	環境健康監測系統主要為針對物理特性並結合時空統計多介質模式以達到規劃環境污染物採樣策略。
審查委員：彭委員啟明	
1. 本計畫使用之 CMAQ、WRF 並以 2014 年為標準，其資料的驗證應強化，以確認其可用性。	謝謝委員提供之建議。
2. 流程圖中，PPT P31，如何模擬過後再推估可能排放量，再進行模擬。	謝謝委員亦將，在此部分為利用模擬值及觀測值來反推排放量，主要使用的方法為卡曼濾波器的概念並在模擬的過程中加入觀測值以修正模擬值。
3. 本計畫的資料已採用開放格式，如何先公開，而非之後再公開，應可考量建議局內如何處理。	謝謝委員提供之建議。
4. 毒理資料表的格式宜統一，如何成為資料網頁及查詢，可再強化。	謝謝委員提供之建議。

審查委員：沈委員淑婉	
1. 資料建構應包括 EPA 測站，特殊性工業區測站及監測車資料，報告未敘明 EPA 測站部分。	謝謝委員提供之建議，在資料蒐集及建構中，行政院環保署監測站的資料已經納入本計畫中，其中行政院環保署監測資料包括了空氣品質測站，光化測站及特殊性工業區測站資料。
2. P5 中文摘要再確認(第 3 段)	謝謝委員提供之建議，已修正於新版期中報告中，更改內容於 p.5。
3. 排放量資料蒐集能考量具準確性	謝謝委員提供之建議，本計畫目前將針對空氣污染排放量（TEDs）及固定污染源 CEMS 監測數據進行比較以考量其準確性
審查委員：廖科長崇園	
1. 整本報告格式請依契約規定格式再檢查修正，如封面、基本資料表等就很明顯與規定格式有出入。	謝謝委員提供之建議，已在更新版修正，更改於封面及 p.2 的報告基本資料表。
2. 摘要→期中報告的部分可再多論述展現。	謝謝委員提供之建議，已在更新版增加論述，更改內容於 p.5。
3. 整份報告撰寫角度請再重新潤飾，出現很多個人化或非本局委託執行計畫角度，如”詢問雲林縣環境保護”、“我們”、“雲林縣環境保護提供之”，“蒐集後補上”。	謝謝委員提供之建議，已在更新版中將個人化角度用詞進行修正，更改內容於 p.17,p.40,p.53。
4. 表 5 雲林縣之環保局，之請刪除。	謝謝委員提供之建議，已在更新版修正，更改內容於 p.30
5. 雲林縣環境保護監測車請統一修正為雲林縣石化監測車。	謝謝委員提供之建議，已在更新版統一為雲林縣石化檢測車，更改內容與 p.14, p.34, p.61, p.65。
6. P62 頁有漏字，P66 頁有錯字。	謝謝委員提供之建議，已在更新版附上，更改內容於 p.62 及 p.66。
7. 表 11 及表 12 請調整表格內數字。	謝謝委員提供之建議，已在更新版修正，更改內容於 p.72 及 p.74。
8. 4.7 節第一段後半段寫法請修正。	謝謝委員提供之建議，已在更新版修正，更改內容於 p.72 及 p.74。

9. 應附上評選及第一次工作報告意見及回覆內容。	謝謝委員提供之建議，已在更新版修正寫法，更改內容於 p.135。
--------------------------	----------------------------------

附表 16 期末報告初審建議及委員意見回覆

106 年度空氣品質維護管理暨 懸浮微粒削減管制整合計畫 各計畫期末報告初審建議

計畫名稱：106 年度沿海地區健康風險評估計畫

承辦單位：臺灣大學

承辦人員：陳欣地

106 年度沿海地區健康風險評估計畫

期末報告初審建議

SIP 計畫建議回覆情形

SIP 建議	計畫回覆
1. 期中報告審查科長意見，應附上評選及第一次工作報告意見及回覆內容，然報告未見評選意見及回覆內容。	謝謝委員意見，第一工作報告意見及回覆內容請參見附表 13。
2. 期中報告審查科長意見，雲林縣環保局監測車請統一修正為雲林縣石化監測車，然報告內(如 P8)未修正。	謝謝委員意見，已在修正版將環保局監測車統一修正為石化監測車。

SIP 建議	計畫回覆
3. 期中報告審查科長意見，整份報告撰寫角度請再重新潤飾，撰寫角度應為環保局委託或客觀之角度，然報告並未修正(如 P11 及 P12 獲得雲林縣環保局、P77 我們利用及 P80 我們以之字眼)。	謝謝委員意見，已在修正版將撰寫方向更改為環保局委託及客觀之角度，並修正(如 P11 及 P12 獲得雲林縣環保局、P77 我們利用及 P80 我們以之字眼)。
4. 請確認報告基本資料表是否為期末報告之格式(缺計畫執行人員資訊)。	謝謝委員意見，已在修正版加入計畫執行人員資訊。
5. 報告缺中英文摘要詳細版。	謝謝委員意見，已在修正版加入詳細版的中英文摘要。
6. 報告有多字、錯字或多標點符號，建議重新檢視報告內容並修正。 A. 中英文摘要(簡要版)『讓讓』所有資料。 B. 中英文摘要(簡要版)相關性『。』 C. 中英文摘要(簡要版)情『進』評估 D. P7 『公』廠 E. P8 實際『了』反應及台西光化『化』測站 F. P10 公報『往』 G. P11 本計『劃』 H. P23 環『結』 I. P39 有毒『汙』染物	謝謝委員意見，已在修正版進行更改。 A. 於雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版) B. 於雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版) C. 於雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要(簡要版) D. 於 4.2.1.1 中，P18 E. 於 4.2.1.1 中，P19 F. 於 4.2.1.3 中，P23 G. 於 4.2.2.1 中，P24 H. 於 4.2.2.9 中，P36 I. 於 4.3.1.3 中，P52
7. 中英文摘要(簡要版) 1，2-二溴乙烷及 P26，逗號位置不一致，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正，於計畫成果摘要中。
8. 報告單位未下標或上標，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
9. 報告數字未標示千分位符號，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
10. 報告中機關名稱有行政院環保署、環保署及臺灣環保署，建議重新檢視報告內容統一名稱。	謝謝委員意見，已統一名稱為行政院環保署，並在修正版進行修正。
11. 報告中機關名稱有雲林縣環境保護局及雲林縣環保局，建議重新檢視報告內容統一名稱。	謝謝委員意見，已統一名稱為雲林縣環境保護局，並在修正版進行修正。
12. 報告中本研究團隊等字眼，建議修正為本計畫。	謝謝委員意見，已修正為本計畫，並在修正版進行修正。

SIP 建議	計畫回覆
13. 報告中第一章章節標題不一，建議重新檢視報告內容統一名稱。	謝謝委員意見，已統一章節標題與報告內容，並在修正版進行修正，
14. P2 1.1 節及 1.2 節標題後有冒號，然其他章節後並無冒號，建議重新檢視報告內容並統一。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正，於 P7 1.2 的章節中。
15. P2 1.2 節項目編號第二段文字未縮排對齊，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正，於 P7 1.2 的章節中。
16. P3 數據說明如附表一及測站點位如附表二及 P50 分析結果可詳見附表 11，與附表內容不符，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
17. 報告針對沿海地區執行健康風險評估，且為延續型之計畫，建議應針對歷年執行成果及沿海地區相關之健康風險執行結果，進行彙整與說明。	謝謝委員意見，表 43 和表 44 和為比較本次計畫與過去報告評估沿海地區之致癌風險之差異（台西及麥寮）。過去執行成果有於”4.5.2.5 健康風險評估結果討論”更詳細的描述個污染物對該地區之風險評估。
18. 報告針對沿海地區執行健康風險評估，應掌握該地區環境背景資料、人口數或工業區等資料。	謝謝委員意見，已補充於”4.2 建構中離島工業區製程中化學物質資料蒐集”。
19. 報告針對沿海地區執行健康風險評估，應針對工業區污染物對人體健康、環境影響及污染物特性進行文獻回顧	謝謝委員意見，於 4.2.3 章節中說明了各污染物的特性其中包括致癌性，毒性數值等資料，本計畫亦將污染物對人體健康之影響已彙整至本計畫建置之資料庫中。
20. P5 本計畫亦針對沿海地區進行健康風險評估，並分別以慢性、急性及敏感族群。敘述較不完整，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
21. 報告中第一次專現之專有名詞，應有完整之中英文說明(如 CSF、RfD、NOAEL)。	謝謝委員意見，已在修正版補充上述應英文之中文說明，其中 CSF 為致癌斜率(Cancer slope factor)，RfD 非致癌風險評估所需之參考劑量(Reference dose)及 NOAEL 為沒有可觀察到的不良影響值(no-observed-adverse-effect level)。
22. P8 模式與條件如下表所示，建議使用表格使用編號表示，方便閱讀。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
23. P9 多介質傳輸模式，建議列表說明各模式之優缺點、適用性與本計畫使用 CalTOX 之原因。	謝謝委員意見，多介質傳輸模式之相關文獻回顧及優缺點已在 4.2.1.3 多介質傳輸模式章節中。本計畫使用 CalTOX 的原因主要為，CalTOX 模式是以逸壓之觀念發展出來的逸壓模式所改良建立。Fugacity 多介質傳輸模式是

SIP 建議	計畫回覆
	利用化學物質之逸能關係作為介質間的分布情形作為預測其中以 CalTOX 為最廣泛使用的 Fugacity 多介質傳輸模式由於 CalTOX 模式能夠估算污染物於介質間傳輸的情形還建構人體暴露污染土壤介質的濃度會隨時間作變化的情境。模式考量的暴露途徑較其他傳輸模式納入的數量較多，故作者認為 CalTOX 模式是一個適合用於預測化學物質在環境介質分佈情形的好預測工具。
24. P10 詳細資料於附表處呈現、P23 常見的途徑如下表、P25 回顧之計畫如下表、P50 僅有下表所示及 P70 致癌風險結果如下表所示，建議說明如附表 X 及表 X 所示，方便閱讀。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
25. P11 麥寮站(光化)，目前光化測站僅有台西測站，請確認。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
26. 報告內數字及文字之字型不一，建議重新檢視報告內容並統一。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
27. 圖 10 至圖 12 Y 軸無標示單位，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
28. P21 4.2.28 節及 P49 4.4.2 節段落無縮排，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
29. P27 表 6 並非為表格格式及圖 13 圖示模糊不清，建議重新檢視報告內容並修正。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
30. P29 剩餘 8 種將於期中至期末報告期間蒐集完畢，所以資料尚未蒐集完畢？	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
31. P34 未來工作是持續將蒐集的資料整理匯入資料庫中及 P38 後續工作內容中，所以計畫尚有工作未完成？	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
32. P36 4.2.4.1 節標題為模擬結果，然內容並無說明模擬結果，另請補充說明各污染物模擬結果之熱區範圍為何？	謝謝委員意見，此部分說明為已將本次計畫模擬結果納入資料庫中，在環境暴露時空推估中已完整說明模擬結果。
33. P37 大氣擴散模式寫使用 CMAQ，然 P9 寫使用 AERMOD，請確認計畫所使用之模式為何？	謝謝委員意見，計畫使用的模式為 CMAQ 模式，已在修正版的 P50 及 P19 中進行修正，並在 P20 中敘述了使用 CMAQ 模式而非 AERMOD 的原因。
34. P37 第四段寫 CMAQ 的 CTM，後面敘述又有 CCTM，請確認係 CTM 或 CCTM？	謝謝委員意見，CTM 及 CCTM 均為描述 CMAQ 的 Chemistry-Transport Model，為了統

SIP 建議	計畫回覆
	一名稱，已將內文中以 CTM 稱之，並在修正版進行修正。
35. P39 模式輸入，計畫使用 CMAQ 模式，則請補充說明所使用之網格尺寸、範圍、性能評估方式等資料。另計畫排放情境如僅針對雲林縣之排放量進行模擬，則其他影響源(如其他縣市排放)影響為何？或如何排除，應補充說明。	謝謝委員意見，CMAQ 模式設定如附表 11，模擬範圍涵蓋全台每格點代表 4kmx4km，CMAQ DDM-3D 同時計算污染物濃度與排放源敏感度。排放源敏感度定義為模式輸入擾動對污染物濃度的影響。模式輸入擾動包括排放源初始條件邊界條件或反應速率。CMAQ DDM-3D 結果與窮舉法計算之結果相近同時使用較小量的運算資源。以 CMAQ DDM-3D 敏感度測試初始條件與邊界條件計算測試，初始條件與邊界條件在此網格設定下對雲林地區的影響極小。初始條件影響在一日內即降至接近於 0。網格設置範圍大減少網格邊界對雲林地區影響。此外，本計畫已於 4.3.2.1 及 4.3.2.2 增加說明。
36. P41 計畫使用 CMB 模式推算排放量，報告中建議說明所使用之參數(資料庫)為何？	謝謝委員意見，模式設定如附表 8，假設之排放量為逸散緣故無排放參數，其他排放源根據 TEDS9.0 設定。此外，本計畫已於 4.3.2.1 及 4.3.2.1 增加說明。
37. P42 計畫蒐集之資料為 2015/11~2017/6，然為何模式使用之資料為 2015/12~2016/12，請說明。	謝謝委員意見，模擬時程為 2015/12~2016/12，選擇此模擬時間範圍主要的原因為這段時間可加入特殊性工業區的資料。
38. P42 4.3.2.1 節模擬之工業區選擇台中工業區，請說明為何不是選擇有中火及中龍所在之工業區。	謝謝委員意見，台中工業區應為台中電廠週邊區域，因選取原則按 TEDS9.0 中排放量排序，以中火週邊優先。詳見圖 21 說明。
39. 報告使用模式模擬污染物時空分佈情形，請說明模擬值與實際監測值是否有差異。	謝謝委員意見，詳見圖 22，模擬值與實際監測值差異為 CMAQ 性能評估之一，模式污染物濃度經排放量推估修正後有明顯改善，模擬結果比較接近污染物濃度實際變化。
40. 報告數字有效位數呈現方式建議一致。	謝謝委員意見，已在修正版進行修正。
41. P47 表 8 及 P70 表 21 表格缺單位說明。	謝謝委員意見，已補充單位說明。
42. P55 表 13 及 P57 表 14 表格編題列建議跨業標題列重複顯示，方便閱讀。另應針對模擬結果進行說明，非僅用可依照不同鋪路途徑……一句話帶過。	謝謝委員意見，已依建議設定標題列重複顯示。針對模擬結果顯示台西鄉之空氣濃度、地下水濃度、植物濃度、滲流土壤濃度之 16 項污染物均高於麥寮鄉，其餘麥寮鄉高於台西之多介質濃度有：1,3-丁二烯之底泥濃度、1,2-二氯丙烷之表面水濃度、苯之表面水濃度、三氯乙烯之表面水濃度與根區土壤濃度、四氯乙烯

SIP 建議	計畫回覆
	之表面水濃度與根區土壤濃度、三氯甲烷之表面水濃度、四氯化碳之表面水濃度與根區土壤濃度、乙苯之表面水濃度、底泥濃度、表面土壤濃度和根區土壤濃度、苯乙烯之表面水濃度與根區土壤濃度、異丙苯之表面水濃度、底泥濃度和表面土壤濃度。由於污染物之物理化學性質的差異其多介質濃度的分布亦有不同。因此不同介質中之污染物濃度的模擬結果可以依照不同暴露途徑與情境了解雲林縣沿海地區暴露污染物之暴露劑量。
43. P60 表 15 其暴露參數有分性別與年齡層，建議與報告中說明數值如何計算，另用平均值計算是否會有高估或低估之疑慮(如學童暴露量)。	表 32 (表 15 舊) 是採用衛福部公告之台灣一般民眾暴露參數彙編資料，其中以年齡層 19-64 歲之全體民眾(包括男性與女性) 資料來代表一般民眾之暴露資料，並以機率分析的方式將資料的變異性納入評估。
44. P61 表 16 建議應說明總暴露劑量有無超過容許劑量及後續建議管制作為為何？	國內並無規範之空氣污染容許劑量可供比較，而由蒐集之致癌斜率與參考劑量以用來量化慢性健康風險評估結果”。後續建議管制作為則於” 4.5.2.5 健康風險評估結果討論”進行討論。
45. P63 及 P65 公式應說明單位為何？另應說明 AT(平均暴露時間)之數值為多少？	謝謝委員意見，AT (平均暴露時間) 根據不同的風險特性下會有不一樣的單位。從章節 4.5.1 的沿海地區健康風險評估指標中，分別說明了慢性及急性風險的評估指標。兩者的差異可以看出急性以及慢性做法的不同主要在於暴露期間的估算，而慢性與急性所使用的時量暴露濃度亦有不同，慢性為年平均濃度，急性為日平均濃度，針對不同物質亦會考量食入、吸入、皮膚吸收等不同暴露方式，以求能夠較全面的估算其在急性以及慢性暴露下的風險。
46. P64 不確定性分析，建議說明如何執行分析、分析結果及量化。	謝謝委員意見，分析屬於評估參數變異性之不確定性的執行分析是使用蒙地卡羅法之機率分析方法，其分析結果包含多介質鋪暴露濃度、總暴露量、慢性致癌風險、慢性非致癌風險和籍性非致癌風險等項目，其量化指標以分析項目之平均值、標準差、中位數和第 95 百分位數等統計量呈現，因此 4.5.1.4 之不確定性分析主要是定性的方式描述與說明評估過程之不確定性。

SIP 建議	計畫回覆
47. 報告風險評估除暴露組(台西及麥寮)，是否有設定對照組？另皮膚接觸及攝入是否有評估？若無是否有低估之疑慮？若有則評估結果為何？	本研究評估沿海地之健康風險，故以濱海地區居民(台西及麥寮)為對象，並無暴露組與對照組之分別。多介質模式中有考量皮膚及攝食之暴露途徑，其皮膚及攝食暴露劑量已納入總暴露劑量，且佔總暴露劑量之 5% 以下。
48. 報告慢性及急性健康風險評估結果，對於需加以管制之物質，計畫是否有相關建議之作法。	建議之管制作法已於“4.5.2.5 健康風險評估結果討論”中討論與說明，在此章節中，本計畫比較了本次研究結果及過去報告的結果，可發現本年度評估麥寮的 16 項污染物中 4 項(1,2 - 二溴乙烷、乙苯、異丙苯、1,4-二氯苯 4 項污染物)之致癌風險較高於 104 年度評估結果高，其於 12 項污染物之致癌風險中位數與 95% 信賴區間上限為下降的趨勢；台西則反之，本年度評估 16 項污染物之致癌風險中位數均高於 104 年度，僅有 1,3-丁二烯、苯、三氯乙烯、三氯甲烷、四氯化碳、苯乙烯共 6 項污染物之致癌風險 95% 信賴區間低於 104 年評估結果(表 43 表 44)。
49. P71 表 22、P75 毒理研究指出及 P75 流行病學研究觀察，應說明資料來源。	謝謝委員意見，已在表下補充資料來源。資料來源為 景丰：104 年度六輕相關計畫之特定有害空氣污染物所致健康風險評估計畫(景丰科技股份有限公司) 104 年：104 年度沿海地區健康風險評估計畫(雲林縣環境保護局)
50. P81 4.6.1.4 節監測站優選結果比較，土庫站附近尚有褒忠及東勢站離工業區之距離較近，請補充說明為何選擇麥寮、台西及土庫站之原因。	謝謝委員意見，初版報告內誤植，已於更新版本中進行修正與解說。
51. 呈上題，測站總覆蓋人口數如何得到應說明，如測站直徑多少公里。	謝謝委員意見，已依據委員指示，增加測站覆蓋人口數的計算說明於 4.6.1.4 章節中。
52. 第五章結論與建議，建議分節說明。	謝謝委員意見，已照意見分節說明。

SIP 經理：_____

期末報告委員建議

委員建議	計畫回覆
審查委員：江委員舟峰	
1. 簡報資料較為詳實,請於定稿時納入期末報告內文。	謝謝委員指教。已將簡報資料納入本報告之附表 11 於 185 頁
2. 英文計畫名稱請再修正。	謝謝委員與與指教。目前已修改英文計畫名稱為「Assessing Health Risk of Residents Nearby the Coastal Area of Yunlin County」於雲林縣環境保護局計畫成果中英文摘要（簡要版）第二項之英文計畫名稱
3. 報告中第四之文獻回顧或工作方法應移出，放在不同的章節。	謝謝委員指教。目前已修改報告章節架構，其中，原第二章文獻回顧之 2.2 節中的一些國外文獻回顧，已改列於 2.3 節「健康風險評估之大氣擴散模式回顧」於 13 頁
4. 結論及建議請對應計畫之 6 大目標。	謝謝委員的意見。已在結論與建議章節依相關章節以條列方式詳述計畫目標於 127 頁
5. 簡報#35，排放量之修正方法是否合宜，請再敘明，同時不能納入所有排放源，模擬結果如何據以進行同化校正。	謝謝委員的意見。已於再審查第 13 點建議回覆，在此簡述如後：已將引證文獻整理於報告文獻中（132 頁）。也補充說明進行同化之相關說明公式於第四章第 1.2 小節中（56 頁）。
6. CMAQ 為中大尺度模式，如何用以解釋小尺度的監測結果，反應之化學物種應清楚說明。	謝謝委員的意見。CMAQ 模擬空間解析度為 4 公里，目前只有取最接近格點對應觀測值沒有發展相應降尺度方法與觀測值比對。格點內變化幅度與觀測站選點原則中具代表性地點選取有關需要後續研究調查並視其結果加入 AERMOD-CMAQ 模擬增加模式空間解析度。 本計畫所關切 16 種污染物中苯、異戊二烯與苯乙烯包括在 CMAQ 的 CB6 化學反應鏈。
7. 不確定性分析之部份，請再仔細闡明。	謝謝委員指教。更報告修改後，不確定性分析之部份已撰寫於第五章「健康風險評

	估架構」的 5.4 節「健康風險評估結果探討」。
8. 報告 P.11 之條次有誤。	謝謝委員的意見。已重新檢視並修正。
9. 請於文獻回顧中 summarize 本區歷年之研究結論。	謝謝委員的意見。已同第 3 點建議修正，原第二章文獻回顧之 2.2 節中的一些國外文獻回顧，已改列於 2.3 節「 健康風險評估之大氣擴散模式回顧 」於 13 頁
10. 報告中 p.87 之 HI 及 HIst，請再確認及引證。	謝謝委員的建議。慢性非致癌 HI 是參考環保署公告之健康風險評估技術規範之計算方法，HIst 則是參考加州空氣資源局 (California Air Resources Board, ARB) 之非致癌急性危害指數 (Non-Cancer Acute Hazard Index) 之定義進行評估 (https://www.arb.ca.gov/ei/facglossary.htm)
11. 報告大綱，請再加入不確定性，並強化研究方法之說明。	謝謝委員指教。已於再審查第 7、17 點建議回覆，於此簡述如後。已修改延長摘要部份，對於本計畫研究結果與過去流病研究結果之比較則補充於第五章第 3.5 小節中 (96 頁)。已於 VI 頁修正，改為： 「在暴露濃度推估部分，本計畫透過 CMAQ、WRF 等模式結合離島工業區監測車與特殊性工業區之觀測資料進行推估，由於過程相當龐大與複雜，充滿非常多的不確性如觀測資料不足、時間不均(資料不確定性)、WRF 氣象條件少量偏差(參數不確定性)以及 CMAQ 化學反應機制限制、極端部份之排放源敏感度計算(模式不確定性等)，也由於研究區在地之暴露因子相關資料較為有限，本計畫所使用之暴露因子主要取自於衛福部公告之台灣一般民眾暴露參數彙編。綜合以上，暴露劑量推估結果之代表性仍存有一定之不確定性。」
12. 本報告數學之處理較為複雜，但不易闡明而為業務單位採用其研究成果。	謝謝委員的說明。已於再審查第 5、6 點建議回覆，於此簡述如後。已將「環境健康監測系統」的語詞更正為「空氣品質監

	測系統」於 107 頁。已重新盤查各章節引證之文獻並同時重新排序參考文獻。對於文中第一次使用的專有名詞及縮寫處加註說明，且於本報告前面製作專有名詞及縮寫中英文對照表於第 1 頁前言之前。
13. 報告 p.98 之監測站建議應更詳實。	謝謝委員指教。已在 6.2-6.4 章節中解釋測站設置的量化分析方法，在 6.3-6.4 章節中也條列說明對監測站之具體建議於 112、113 頁。
14. 委員過去的答詢意見請改正。	謝謝委員指教。已針對過去的答詢意見重新檢視與改正。已改正過去答詢之堪誤如：打字錯誤、回應未完整說明、修正不完全等。
審查委員：陳委員美蓮	
1. 成果摘要請補入健康風險評估結果。	謝謝委員的指教。已將健康風險評估結果補至成果摘要裡。
2. 報告錯字不少，請更正。 P.11 計畫內容之工作項目編號錯誤。	謝謝委員的指教。已修正報告錯字及編號錯誤。
3. 針對年度工作項目 (1) 資料建構: P16-18 表 1.2.3 建議更新為四期計畫現況資料，建立更新的有害化學物質清單及其毒理資料。 (2) 環境暴露模式發展：本報告所用暴露模式為化學平衡法配合 CMAQ 模擬，進行排放量反推及修正。再以多介質模式推估居民暴露量。建議修正之推估排放量能以表呈現數值。 (3) 健康風險評估： P93、94 (表 28/29)作了本報告與景丰所作六輕健康風險之比較。由於本份報告排放量推估的做法完全不同，能否直接比較，建議可補充討論。若要比較，建議從推估排放量，多介質模式推估之不同介質暴露量均作比較或討論。 (4) 本報告非致癌風險(慢性) HI (三氯乙烯)遠大於 1； target effect 及相關 Rfc ，建議說明及討論。	(1) 本計畫篩選並蒐集毒理資料之評估項目是比對六輕四期擴建計畫環境影響差異分析報告中製程說明之化學物質、六輕評估項目與環境監測項目共 3 個資料庫之交集項目。 (2) 謝謝委員的建議。修正後排放量詳見-表 25 監測值資料之資料豐富度。排放量修正仍有大量的不確定性主要有下列 2 項。觀測值不足而且不具代表性始回歸分析結果統計信賴(confidence)不足。觀測資料不足需要以本計畫建議之監測系統補足。敏感度與濃度的非線性關係在極端排放量的估計造成的影響仍無法排除。後續研究須著重於迭代模擬-同化循環來排除這部分的不確定性。與濃度目前本計畫將極端值在暴露濃度移除減少影響但仍無可靠方法排除不合理的極端排放量。因為結果敏感建議不公開，以免誤導。

<p>(5) 三氯甲烷似未納入健康風險評估。</p>	<p>(3) 謝謝委員的建議。已在報告的 5.3.4 章節「健康風險評估結果綜合討論」中補充討論。</p> <p>(4) 本計畫評估三氯乙烯之 Rfc 為 0.002 (mg/m3)係參考自美國環保署整合性風險資料系統(Integrated Risk Information System,. IRIS)，此 Rfc 是由動物實驗結果鑑定，其對應之不良健康效應為免疫毒性與發育毒性，target effect 為小鼠胸腺重量降低和大鼠胎兒心臟畸形。</p> <p>(5) 謝謝委員提醒，三氯甲烷或 IUPAC 化學名稱 Trichloromethane 為氯仿的正式學名，造成委員的誤會深感抱歉，已將報告中文字「氯仿」修正為「三氯甲烷」。</p>
<p>審查委員：廖科長崇園</p>	
<p>1. 整份報告格式、編排順序、編碼請依契約的規範重新檢視修正。</p>	<p>謝謝委員指教，經檢視原報告後，修正後之報告，其格式、編排順序、編碼已依契約的規範重新修正。</p>
<p>2. 第一~三章內容過於簡略，請補充。</p>	<p>謝謝委員指教。已將原報告中第一至三章之內容補充並整合於修改後的報告中。</p>
<p>3. 本計畫已執行數年，所發展之模式可否供環保署參卓使用或修正暨有公告之模式，亦或可提出具體修正方式供署參卓。</p>	<p>謝謝委員意見。本計畫發展健康風險評估架構所使用到之模式包含：WRF 氣象場建置模式、SMOKE 排放量前處理模式、CMAQ 大氣擴散模式、CalTOX 多介質傳輸模式等。這些模式目前都為國際間的主流模式。在近年也有相當數量的文獻將此模式組合應用於健康風險評估領域，即模式具有相當的可靠度。應可供行政院環保署參酌使用或做為修正暨有公告之模式的參考。唯這些主流之模擬模式由於考慮較為詳細周全，需要之設定較行政院環保署建議之模式設定要複雜得多，且部份模式之模擬運算量相對龐大，做為公告之模式或規範仍需謹慎。且因為模式輸入資料不足或參數選擇與使用等，皆需考慮所造成</p>

	之不確定影響，在提出模式之具體修正方式時也應謹慎評估之。
4. 本計畫所取得供模擬資料，仍屬少數，在結論或結果應該仍存有不確定性或影響因素，建議下筆的文字宜斟酌，可能影響也要說明。以避免後續造成誤解或片面引用。	謝謝委員建議。已在計畫報告中修正各章節內容結論與結果之相關說明與陳述方式，可能之影響也已充補於第五章第四節之「健康風險評估結果探討」中。

附表 17 期末修訂報告再審查建議及委員意見回覆

委員建議	計畫回覆
審查委員：江委員舟峰	
若本文訂正處，請於答詢時加註頁碼，以利逐項了解是否已於本文訂正	謝謝委員提出。已於本文訂正處於答詢時加註頁碼，請參閱此次其它點之回覆
建議目錄調整為：第三章 環境及毒物資料建置、第四章 沿海地區擴散模擬結果、第五章 健康風險評估結果與不確定性、第六章 空污測站檢討與優選評估結果	謝謝委員建議。已參考建議將目錄做相對應之調整為第三章 環境及毒物資料建置、第四章 沿海地區擴散模擬結果、第五章 健康風險評估結果與不確定性、第六章 空污測站檢討與優選評估結果
請將第三至第七章各章之結論，於第八章中分別以小節且以條列式呈現，請特別說明對雲林縣環保局之施政有益之處	謝謝委員指教。已將第三至第七章各章之結論，於第八章中分別以小節且以條列式呈現，也特別說明對雲林縣環保局之施政有益之處於 129-130 頁，例如「根據優化模型的計算結果，建議在麥寮鄉可增設一至二個空氣品質監測站，可分別選址於麥寮鄉靠西北與偏東位置，以提供更即時確切的區域空氣監測資訊給居住人口密度較高的麥寮鄉民參考」、「建議雲林縣環保局根據本計畫健康風險的結果中，針對高於可接受風險的空氣污染物項目執行沿海地區流行病學研究，即可同時由暴露端與受體端的風險結果釐清離島工業區排放之污染物與沿海地區居民健康的關係」
請將第三章至第五章之研究方法各別分出來，新增第三章 研究方法	謝謝委員說明。已將原第三章至第六章之研究方法於各章節中強調與加強，礙於文章內容編排與研究流程描述之連結性，無法直接將研究方法新增章節，還請委員見諒。
「環境健康監測系統」的語詞並不妥適，請更正為空氣污染物監測站	謝謝委員指教。已將「環境健康監測系統」的語詞更正為「空氣品質監測系統」於 107 頁
文中引證之文獻多未見於參考資料，請務必再盤查一遍各章節，同時，參考文獻的排序也不正確。文中若使用專有名詞及縮	謝謝委員提醒。已重新盤查各章節引證之文獻並同時重新排序參考文獻。對於文中第一次使用的專有名詞及縮寫處加註說

寫處，第一次出現時，請加註專有名詞，並於本報告前面製作專有名詞及縮寫中英文對照表，以利本報告之閱讀	明，且於本報告前面製作專有名詞及縮寫中英文對照表於第 1 頁之前。
延長摘要必須大幅改寫，與本文重點能一致。本報告並未如摘要前言中所述，比較本研究結果與過去流病研究結果	謝謝委員指教。已修改延長摘要部份，對於本計畫研究結果與過去流病研究結果之比較則補充於第五章第 3.5 小節中（96 頁）。以下為節錄：過去雲林沿海地區之流行病學研究中「六輕石化工業區對附近學童健康影響」是國家衛生研究院自 2013 至 2016 年執行之研究，研究結果發現橋頭國小許厝分校學童尿中硫代二乙酸 (TdGA) 的濃度高於國內 20 個行政區同年齡學童之尿中 TdGA 濃度，由於 TdGA 為 VCM 之體內代謝物之一，以至於 VCM 成為沿海地區居民健康風險評估的重要標的污染物。本計畫以 CMAQ 模擬逐時空氣濃度並應用資料同化技術重建沿海地區 2014 年之 VCM 暴露濃度，其結果顯示橋頭國小許厝分校之 VCM 暴露濃度與橋頭國小校本部並無統計上顯著差異。因此本計畫評估結果與國家衛生研究院流行病學研究結果沒有一致的結論，主要之原因可能為本研究重建沿海地區 VCM 暴露濃度僅有 2014 年之模擬資料，無法代表流行病學研究中 2013 至 2016 年六輕石化工業區附近學童之暴露情境；此外本計畫由於應用資料同化技術所需之空氣污染物觀測結果的限制，僅能重建 16 項空氣污染物於沿海地區的時間空間分佈，但離島工業區可能排放至沿海地區之化學品眾多，因此本計畫目前尚無法釐造學童尿中 TdGA 濃度偏高的暴露來源之特定空氣污染物。
請將當天簡報資料置於本報告之附件	謝謝委員指教。已將簡報檔資料置於附表 11 於 185 頁
P8，請列一張表，比較歷年本團隊的研究方法，也請將這些報告列於參考文獻	謝謝委員指教，已將比較歷年本團隊之研究方法列表比較於第二章文獻回顧中第二

	章第二小節於 12 頁，並將缺列之報告補齊於修正後之參考文獻中於 135 頁。
本案使用的 CMAQ 擴散模擬適用於中大型尺度，如東亞地區或全台灣，但本案受評基地限於雲林沿海地區，並不適用	<p>謝謝委員指教。誠如委員所提，CMAQ 為網格模式，模擬中、大型尺度污染物擴散模擬結果，且其對應的實際物理意義應為網格內模擬輸出時間間隔內之平均濃度。而網格內之模擬結果即為小尺度濃度變化的平均，模擬結果因此可與觀測值如空品測站等小尺度濃度量測做配對比較。</p> <p>本計畫對於 CMAQ 的驗證皆採用空品測站觀測數據，而驗證結果也顯示模式模擬機制能夠解釋大部分的濃度變化。本計畫模擬一整年的污染物濃度變化模擬結果應足以代表平均小尺度濃度變化。</p> <p>而對於觀測資料不足的部份，後續研究除可持續增加觀測數據外，也可利用衍生物濃度關係，例如，臭氧與其前驅物苯、異戊二稀、苯乙烯物種等方法增加觀測數據。文獻回顧中也有部份研究採用降尺度方法採用如 AERMOD-CMAQ 模擬網格內小尺度濃度變化增加 CMAQ 模擬結果的適用性同時幫助 AERMOD 模式維持質量守恆(USEPA, 2018)，供委員參考。</p>
本案採用 TEDS9.0 之排放資料，均為年排放資料，不確定性高，且排放量資料均未見於該報告，或許應採用 CEMS 之動態資料，請以表格列出這些排放量。P9，對於排放係數與排放量之敘述並不正確	<p>謝謝委員指教與建議。CEMS 之動態資料僅有部份煙囪排放，並且缺乏本計畫所關注之污染物，其在時間上也有所缺漏。擴散模式需要完整排放，單獨採用 CEMS 資料應不可行。而本計畫所使用之排放量前處理模式 SMOKE 具有結合 CEMS 資料的功能，但因 TEDS9.0 與 CEMS 煙囪對應不足未能在此年度採用。未來相關研究可以依 CEMS 資料的完整度考慮採用 SMOKE 中 TEDS9.0 與 CEMS 資料結合的功能，以減少觀測資料反推排放量的調整幅度並降低此程序的不確定性。放排量部份表列如下以供參考。</p>

	污染物名稱	104 年度 沿海地區 健康風險 評估計畫 (噸/年)	離島工業區 排放量 推估結果 (噸/年)
	苯	818.38	3001.27
	異戊二烯	1205.13	30106.11
	乙苯	142.85	2062.71
	苯乙烯	140.42	1188.21
	氯乙烯	190.81	8279.81
	1,3-丁二烯	116.28	26.89
	1,2-二氯丙烷	336.75	804.58
	三氯乙烯	3356.88	11090.4
	二氯甲烷	265.61	653.23
	四氯乙烯	122.78	12648.61
	1,2-二溴乙烷	166.28	5293.10
	三氯甲烷	1541.72	99959.47
	四氯化碳	711.8	89.85
	1,2-二氯乙烷	227.88	89.85

	異丙苯	167.77	336.6
	1,4-二氯苯	410.16	9424.39
<p>由於排放量修正之做法係透過模擬暴露濃度推估與實際觀測資料，藉由線性回歸方法之最佳化方法。且方法僅對於暴露濃度與實際觀測資料間的差值進行量級上的最佳調整。而排放量修正仍有大量的不確定性，主要歸原於下列 2 項：觀測值不足。因觀測值的不足，造成模式參數的自由度過高。觀測值在時間與空間上分布不均也造成資料不具代表性，這些不確定性使回歸分析結果的統計信賴(confidence)不足。觀測資料分布與代表性的不足需要以本計畫建議之空污測站優選來補足；敏感度與濃度在極端排放量的非線性關係。此關係對於估計造成的影響仍無法排除。目前本計畫將極端值在暴露濃度移除減少影響但仍無可靠方法排除不合理的極端排放量。後續研究須著重於迭代模擬-同化循環來排除這部分的不確定性。因為結果敏感建議不公開，以免誤導。</p> <p>對於排放係數與排放量之敘述部份，已修正為「過去的執行方法少部份對上述之可能排放源進行實地檢測以得到化學物質的檢測時段的實際排放資料大部份使用排放參數與估計之營運量係數乘積做為化學物質單位時間排放量的估計值。但這些方法所得結果不但缺乏實時排放量與相對應實際環境濃度資料的驗證也對實際暴露。尤其是對意外洩漏的部分都沒有估計。」</p> <p>(第 9 頁)</p>			

CMAQ 之優點為具有反應項，但各項模擬參數之選用值未見於報告，請以表格列出	謝謝委員指教。已將各項模擬參數之選用值以表格列於附表 12（225 頁）
以同化方法正比校正排放量，不是合乎學理的作法，請引證是否文獻有類似作法。也請以流程圖及公式說明如何進行同化（assimilation）	謝謝委員指教。已將引證文獻「Napelenok, S. L., Pinder, R. W., Gilliland, A. B., and Martin, R. V.(2008). A method for evaluating spatially-resolved NO _x emissions using Kalman filter inversion, direct sensitivities, and space-based NO ₂ observations, Atmos. Chem. Phys., 8, 5603-5614, https://doi.org/10.5194/acp-8-5603-2008 , 2008」整理於報告文獻中（132 頁）。也補充說明進行同化之相關說明公式於第四章第 1.2 小節中（56 頁）。除了文獻中所使用的卡曼濾波(Napelenok, 2008)方法外，尚有美國環保署使用的污染源貢獻量推估(Source apportionment)程序例如 PCA(principle component analysys)、PMF(Positive matrix factoriaction)等，這些貢獻量推估方法需要大量觀測資料，本計畫嘗試使用簡單的線性回歸觀測資料與 CMAQ 模式貢獻量推估。
於本案重要受體點之擴散模擬結果應以表格列出數據，也請以等濃度線（contour）呈現	謝謝委員指教。已將受體點之擴散模擬結果以表格列出數據於表 34（76 頁）。因受體點為麥寮鄉與臺西鄉兩個點位，且模擬之擴散濃度圖之呈現為不同時間中各網格之 最大/最大 8 小時/每日 之濃度分布，為不同時間下之空間網格值呈現。為避免造成誤會，不使用等濃度線（contour）呈現，還請委員見諒。
以雲林縣排放量模擬之擴散濃度，可視為本縣之增量濃度（concentration），外縣市排放量貢獻之擴散濃度，可視為背景值，本研究將增量直接視為總量並不妥適	謝謝委員指教。本計畫使用之排放量模擬係包含全臺排放並以觀測值校正模擬結果，最後得到的結果應為總量。其中以觀測值校正部份也包含雲林縣排放量與外縣市排放量所貢獻的擴散濃度。
未能說明多介質傳輸風險評估情境（scenario），特別是各項介質傳輸途徑	謝謝委員說明，已補充於第五章第 4.2.3 模式不確定性小節（第 105 頁）。節錄如後：多介質傳輸風險評估模式中假設空氣

<p>(transport pathway) 之合宜性，也未能充分闡明評估結果之不確定性 (uncertainty)</p>	<p>介質中污染物濃度為穩態，因此根據多介質暴露途徑之健康風險評估情境描述如下：假設空氣中污染物之濃度根據逸能平傳遞至不同介質後，估算污染物到達穩態條件下沿海地區各介質濃度，用來評估呼吸途徑、食入途徑和皮膚接觸途徑下之總暴露劑量，假設之暴露時間為離島工業區運行至今；暴露頻率為每日暴露；暴露族群為居住於沿海地區(台西鄉和麥寮鄉)民眾。由於多介質逸能平衡模式的假設中，介質間必需介由接觸達到污染物之逸能平衡，但是蒐集沿海地區評估資料中缺乏各介質之傳輸資料，因此假設 CalTOX 模式的預設傳輸模式作為污染物於多介質傳輸之架構評估亦為本計畫評估結果中模式之不確性。</p>
<p>摘要中之不確定性敘述「暴露因子取自台灣一般民眾暴露參數彙編，因此暴露濃度推估有一定的不確定性」，這並不正確，且與本文中的不確定性分析不同</p>	<p>謝謝委員提醒，目前已於 VI 頁修正，節錄如後：「在暴露濃度推估部分，本計畫透過 CMAQ、WRF 等模式結合離島工業區監測車與特殊性工業區之觀測資料進行推估，由於過程相當龐大與複雜，充滿非常多的不確性如觀測資料不足、時間不均(資料不確定性)、WRF 氣象條件少量偏差(參數不確定性)以及 CMAQ 化學反應機制限制、極端部份之排放源敏感度計算(模式不確定性等)，也由於研究區在地之暴露因子相關資料較為有限，本計畫所使用之暴露因子主要取自於衛福部公告之台灣一般民眾暴露參數彙編。綜合以上，暴露劑量推估結果之代表性仍存有一定之不確定性。」</p>
<p>因為 CMAQ 有 Decay 反應項，模擬之擴散著地濃度應比 AERMOD 小，請做一張表比較各測站之模擬值</p>	<p>謝謝委員指教。由於 AERMOD 模擬之擴散著地濃度為增量濃度，且屬於穩態 (steady) 之模擬假設，為模擬整年度之平均結果，與 CMAQ 模擬的總量濃度不同，且 CMAQ 屬於非穩態 (unsteady) 之模擬假設，為模擬每日之濃度結果。再加</p>

	上 AERMOD 模式所使用氣象資料的限制，模擬的結果、時間與空間解析度等，與 CMAQ 皆有許多本質上的不同，故不易比較與解釋，還請委員見諒。																																	
請列一張表，針對 16 支致癌物，比較本研究推估排放量、TEDS 排放量、六輕申報排放量，請列表呈現其致癌及非致癌毒性參數、出處、Endpoint 等	謝謝委員指教。本計畫未取得 16 種污染物之六輕申報排放量，而本計畫推估排放量與 TEDS 排放量請參考下表。 放排量部份表列如下以供參考。																																	
	<table><tr><td>污染物名稱</td><td>104 年度 沿海地區 健康風險 評估計畫 (噸/年)</td><td>離島工業區 排放量 推估結果 (噸/年)</td></tr><tr><td>苯</td><td>818.38</td><td>3001.27</td></tr><tr><td>異戊二烯</td><td>1205.13</td><td>30106.11</td></tr><tr><td>乙苯</td><td>142.85</td><td>2062.71</td></tr><tr><td>苯乙烯</td><td>140.42</td><td>1188.21</td></tr><tr><td>氯乙烯</td><td>190.81</td><td>8279.81</td></tr><tr><td>1,3-丁二烯</td><td>116.28</td><td>26.89</td></tr><tr><td>1,2-二氯丙烷</td><td>336.75</td><td>804.58</td></tr><tr><td>三氯乙烯</td><td>3356.88</td><td>11090.4</td></tr><tr><td>二氯甲烷</td><td>265.61</td><td>653.23</td></tr><tr><td>四氯乙烯</td><td>122.78</td><td>12648.61</td></tr></table>	污染物名稱	104 年度 沿海地區 健康風險 評估計畫 (噸/年)	離島工業區 排放量 推估結果 (噸/年)	苯	818.38	3001.27	異戊二烯	1205.13	30106.11	乙苯	142.85	2062.71	苯乙烯	140.42	1188.21	氯乙烯	190.81	8279.81	1,3-丁二烯	116.28	26.89	1,2-二氯丙烷	336.75	804.58	三氯乙烯	3356.88	11090.4	二氯甲烷	265.61	653.23	四氯乙烯	122.78	12648.61
	污染物名稱	104 年度 沿海地區 健康風險 評估計畫 (噸/年)	離島工業區 排放量 推估結果 (噸/年)																															
	苯	818.38	3001.27																															
	異戊二烯	1205.13	30106.11																															
	乙苯	142.85	2062.71																															
	苯乙烯	140.42	1188.21																															
	氯乙烯	190.81	8279.81																															
	1,3-丁二烯	116.28	26.89																															
	1,2-二氯丙烷	336.75	804.58																															
	三氯乙烯	3356.88	11090.4																															
	二氯甲烷	265.61	653.23																															
四氯乙烯	122.78	12648.61																																

	1,2-二溴乙烷	166.28	5293.10
	三氯甲烷	1541.72	99959.47
	四氯化碳	711.8	89.85
	1,2-二氯乙烷	227.88	89.85
	異丙苯	167.77	336.6
	1,4-二氯苯	410.16	9424.39
<p>由於排放量修正之做法係透過模擬暴露濃度推估與實際觀測資料，藉由線性回歸方法之最佳化方法。且方法僅對於暴露濃度與實際觀測資料間的差值進行量級上的最佳調整。而排放量修正仍有大量的不確定性，主要歸原於下列 2 項：觀測值不足。因觀測值的不足，造成模式參數的自由度過高。觀測值在時間與空間上分布不均也造成資料不具代表性，這些不確定性使回歸分析結果的統計信賴(confidence)不足。觀測資料分布與代表性的不足需要以本計畫建議之空污測站優選來補足；敏感度與濃度在極端排放量的非線性關係。此關係對於估計造成的影響仍無法排除。目前本計畫將極端值在暴露濃度移除減少影響但仍無可靠方法排除不合理的極端排放量。後續研究須著重於迭代模擬-同化循環來排除這部分的不確定性。因為結果敏感建議不公開，以免誤導。</p> <p>另對於 16 種污染物其致癌及非致癌毒性參數、出處、Endpoint 等描述已補充於表 36（第 81 頁）。</p>			

附表 18 期末修訂報告再審查建議及委員意見回覆(II)

委員建議	計畫回覆
審查委員：江委員舟峰	
2.3 之模式回顧並非本區健康風險評估之歷年研究結果之整理	謝謝委員提出。本章節屬文獻回顧。第三節為「健康風險評估之大氣擴散模式回顧」，已不屬於第二節的健康風險之歷年研究結果整理。不好意思照成委員誤解。已修改第三節標題為「大氣擴散模式回顧」於第 13 頁
第五章之右上角 Header 處仍為「環境健康監測系統」	謝謝委員提醒。已將之修正為「健康風險評估結果與不確定性」(第 79-106 頁右上角)
製作的專有名詞及縮寫中英文對照表仍未依英文字母排序	謝謝委員提出。已依照表格之「縮寫」欄位進行英文字母排序並加入此次修訂報告內容新增之專有名詞如：PMF、PCA 等，於第 1 頁之前
請將前次 17 題回覆內容補充於 4.1.3 節或其它適當處 (原題目：本案使用的 CMAQ 擴散模擬適用於中大型尺度，如東亞地區或全台灣，但本案受評基地限於雲林沿海地區，並不適用)	謝謝委員的說明，已將回覆內容補充於第四章第 1 節(第 44 頁)、第八章第 1.2 小節「沿海地區擴散模擬結果」第二點(第 127 頁)與第八章第 2 小節「建議」第二點(第 130 頁)，節錄如下： 「CMAQ 為模擬中、大型尺度污染物擴散結果，且其對應的實際物理意義為網格內模擬輸出時間間隔內之平均濃度。而網格內之模擬結果即為小尺度濃度變化的平均，故也可用於較小尺度的模擬(USEPA, 2018)」(第 44 頁) 「本計畫對於 CMAQ 的驗證採用空品測站觀測數據，結果顯示模式模擬機制能夠解釋大部份的濃度變化，以模擬一整年的污染物濃度變化之結果應可解釋平均小尺度之濃度變化」(第 127 頁)與 「本計畫建議於模式推估部份，可利用衍生物濃度關係，例如：臭氧與其前驅物苯、異戊二烯、苯乙烯物種等方法間接增加觀測數據，以降低推估的不確定性」(第 130 頁)
請將前次 18 題回覆內容補充於本文之適當處 (原題目：本案採用 TEDS9.0 之排放資料，均為年排放資料，不確定)	謝謝委員的說明。已將回覆內容補充於本文第八章結論與建議第 1.2 小節「沿海地區擴散模擬結果」中第三點(第 127 頁)與第 2 小節「建議」中第 1 點(第 130 頁)，節錄如下：

<p>性高，且排放量資料均未見於該報告，或許應採用 CEMS 之動態資料，請以表格列出這些排放量。</p> <p>P9，對於排放係數與排放量之敘述並不正確)</p>	<p>「本計畫發現，排放量推估及其相對應之濃度推估不確定性與資料時空間分布息息相關，而觀測值的不足與極端排放量時敏感量與濃度的非線性關係仍對推估造成一定的影響。」(第 127 頁)</p> <p>「本計畫礙於 CEMS 之動態資料不完整(僅有部份煙囪排放資料、缺乏本計畫所關注之污染物、時間上有所缺漏)而無法納入本計畫所使用之排放量前處理模式 SMOKE。建議於模式推估部份，宜持續蒐集與整合現有 CEMS 資料，以降低排放量推估之不確定性。」(第 130 頁)</p>
<p>P.56 並未引證如回覆之文獻，也請引證 PCA 及 PMF 文獻</p>	<p>謝謝委員提醒，已將引證文獻整理於報告文獻中(第 132、133 頁第 6、7、11 項)。也補充引證文獻論述於文章中(55、56 頁)並節錄如下：「在排放量推估上，常見的修正排放量做法有質量平衡法(Chemical Mass Balance, CMB)(Pipalatkarn, 2014)、卡曼濾波法(Kalman Filter, KF)(Napelenok, 2008)、主成份分析法(Principal Component Analysis, PCA)(Eder, 2014)、非負矩陣分解法(Positive Matrix Factorization, PMF)(Kim, et al, 2007)等。由於 KF、PCA、PMF 等方法皆需要大量觀測資料，本計畫透過質量平衡法將 CMAQ 所模擬的有害污染物濃度時空間分布結果與實際的觀測濃度，配合敏感度分析所找出的不同排放源貢獻度，利用回歸分析推估修正後的排放量，並進一步反推修正後的有害污染物空氣暴露濃度。」</p>
<p>不明白表 31、32 之模擬結果為何種平均值</p>	<p>謝謝委員提問。平均值的部份係以算數平均數計算。已補充於文章中第 70 頁，節錄如下：「以蒙特卡羅法對地理參數機率分布進行 20000 次隨機抽樣的模擬，多介質傳輸模式估算雲林縣沿海地區(麥寮和台西)在不同介質中之污染物濃度模擬結果之統計量(算術平均數、標準差和第 95 百分位數)如表 31 及表 32 所示。」</p>
<p>請將前次 22 題回覆內容補充於本文之適當處</p> <p>(原題目：以雲林縣排放量模擬之擴散濃度，可視為本縣之增量濃度(concentration)，外縣市排放量貢</p>	<p>謝謝委員的說明。已將回覆內容補充於本文第 44 頁與第 54 頁，節錄如下：</p> <p>「本計畫透過 SMOKE 排放模型產生 CMAQ 模式所需之全台灣網格化排放量的時間序列資料。」</p>

<p>獻之擴散濃度，可視為背景值，本研究將增量直接視為總量並不妥適)</p>	<p>SMOKE 網格採用氣象場建置中所模擬的 4 km 範圍。」(第 44 頁)</p> <p>「透過 SMOKE 可產生特定時間之排放量空間分布，以苯為例，苯在全臺灣的排放量於 2015 年 12 月 1 日 4:00 UTC 空間位置可如圖 19 所示。」(第 44 頁)</p> <p>「在敏感源選取方面，研究區域中污染物來源應以雲林離島工業區與雲林縣週邊主要污染源為主，如圖 28 所示，其中，EM1(臺中工業區周邊)、EM2(雲林離島工業區周邊)、EM3(嘉義明雄工業區周邊)以 x 標記；綠三角形標記觀測點位；紅色圓形為其他主要排放源。本計畫選取雲林及其附近之主要排放源，包含 EM1(臺中發電廠周邊)、EM2(雲林離島工業區周邊)、EM3(嘉義明雄工業區周邊)。」(第 54 頁)</p>
<p>第五章第 4.2.3 小節仍未闡明評估情境，請再加強 (原題目：未能說明多介質傳輸風險評估情境(scenario)，特別是各項介質傳輸途徑(transport pathway)之合宜性，也未能充分闡明評估結果之不確定性(uncertainty))</p>	<p>謝謝委員說明。已將評估情境加強闡明於第五章第 4.2.3 小節中(第 105 頁)。節錄如下：「本計畫採用 CalTOX 多介質傳輸風險評估模式是假設特定空氣污染物之濃度根據逸能平傳遞至不同介質後，估算污染物到達穩態條件下沿海地區各介質濃度，評估中所包含的環境介質有空氣、地表植被、地表土壤、根部區土壤、滲流區土壤、地表水和沉積層共 7 種介質，以預設之傳輸途徑模擬其評估情境描述如下：以空氣介質為污染物之主要來源，傳輸至地表植被、地表土壤、地表水 3 個介質，直接與空氣傳輸之介質中地表植被則將污染物傳輸至空氣、地表土壤、根部區土壤、滲流區土壤 4 個介質；地表土壤則將污染物傳輸至空氣、地表植被、根部區土壤、地表水 4 個介質；地表水則將污染物傳輸至空氣、沉積層 2 個介質，剩下未與空氣接觸之介質中根部區土壤將污染物傳輸至地表植被、地表土壤、滲流區土壤 3 個介質；滲流區土壤則將污染物傳輸至地下水層 1 個介質；沉積層則將污染物傳輸回地表水介質。雲林縣沿海地區的評估範圍中確定有地表植被、地表水與地表土壤此 3 個介質，因此剩下未空氣接觸之介質根據預設傳輸途徑之假設也納入評</p>

	估，但是蒐集沿海地區評估資料中缺乏各介質之傳輸資料，因此假設 CalTOX 模式的預設傳輸模式作為污染物於多介質傳輸之架構評估亦為本計畫評估結果中模式之不確性。」
請將前次 25 題回覆內容補充於本文之適當處 (原題目：因為 CMAQ 有 Decay 反應項，模擬之擴散著地濃度應比 AERMOD 小，請做一張表比較各測站之模擬值)	謝謝委員的建議。已將回覆內容補充於本文第二章第三小節「大氣擴散模式回顧」於第 13 頁，節錄如下：「此外，AERMOD 模擬之擴散著地濃度為增量濃度，且屬於穩態(steady)之模擬假設，為模擬整年度之平均結果，而 CMAQ 模擬為總量濃度，且屬於非穩態(unsteady)之模擬假設，為模擬每日之濃度結果。AERMOD 模式所使用氣象資料的限制，模擬的結果、時間與空間解析度等，也讓 CMAQ 模式與 AERMOD 有許多本質上的不同。」
請將前次 26 題回覆內容之表格補充於本文之適當處 (原題目：請列一張表，針對 16 支致癌物，比較本研究推估排放量、TEDS 排放量、六輕申報排放量，請列表呈現其致癌及非致癌毒性參數、出處、Endpoint 等)	謝謝委員的建議。由於排放量修正之做法係透過模擬暴露濃度推估與實際觀測資料，藉由線性回歸方法之最佳化方法。且方法僅對於暴露濃度與實際觀測資料間的差值進行量級上的最佳調整，對於調整後之排放量修正結果仍存在著大量的不確定性，在經過對暴露濃度極端值的移除調整後，仍無法降低排放量修正的不確定性致合理的範圍。若未詳細理解排放量修正之假設、方法與其使用限制等，就直接對排放量修正後之結果(數值)進步解讀，將造成誤導。且排放量結果較為敏感，仍建議以不公開為主，還請委員見諒。

附表 19 期末修訂報告再審查建議及委員意見回覆(III)

委員建議	計畫回覆
審查委員：江委員舟峰	
<p>請將前次 11 題回覆內容說明補充於本文之適當處</p> <p>(原題目：請列一張表，針對 16 支致癌物，比較本研究推估排放量、TEDS 排放量、六輕申報排放量，請列表呈現其致癌及非致癌毒性參數、出處、Endpoint 等)</p>	<p>謝謝委員提出。已將回覆內容說明補充於本文第四章第 4.1.2 小節(第 56-57 頁)。節錄如下：</p> <p>「此不確性對於濃度推估影響有限，但對於各排放量值的推估來說，由於排放量修正之做法係透過模擬暴露濃度推估與實際觀測資料，藉由線性回歸方法之最佳化方法。且方法僅對於暴露濃度與實際觀測資料間的差值進行量級上的最佳調整，對於調整後之排放量修正結果仍存在著大量的不確定性，在經過對暴露濃度極端值的移除調整後，仍無法降低排放量修正的不確定性致合理的範圍。若未詳細理解排放量修正之假設、方法與其使用限制等，就直接對排放量修正後之結果(數值)進步解讀，將因為精確度有限而造成誤導。」</p>
<p>中英文參考文獻之作者寫法及排序格式有很多並不正確，請再全面校稿訂正</p>	<p>謝謝委員提出。已修正參考文獻格式與排序於第九章參考文獻(第 132-136 頁)</p>

- ※ 本報告僅係受託單位或個人之意見，僅供環保局施政之參考。
- ※ 本報告之智慧財產權屬雲林縣環境保護局所有，非經雲林縣環境保護局同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害。