

二、文獻回顧

2.1. 空氣污染防治相關規定

空氣污染防治法自民國 64 年 5 月 23 日公布以來歷經 5 次修正(71 年、81 年、88 年、91 年及 94 年)，條文從 21 條增加至 86 條[6]，顯示環保署因應環境變遷不斷修改擴充法規，期能有效管制固定、逸散及移動等三大污染源以維護良好的空氣品質。現就新竹科學工業園區相關法令進行說明：

1. 88 年 9 月 15 日環保署依空氣污染防治法第 15 條規定公告「特殊性工業區緩衝地帶及空氣品質監測設施設置標準」[7]，特殊性工業區並不包括高科技產業，且新竹科學工業園區設立在該公告之前，故在規劃與施工上未設有緩衝地帶及空氣品質監測設施，部分區域民宅與工廠只有一線之隔，嚴重影響民眾生活環境品質，造成抱怨及陳情不斷。
2. 空氣污染防治法第 20 條規定「公私場所固定污染源排放空氣污染物，應符合排放標準。前項排放標準，由中央主管機關依特定業別、設施、污染物項目或區域會商有關機關定之。直轄市、縣(市)主管機關得因特殊需要，擬訂個別較嚴之排放標準，報請中央主管機關會商有關機關核定之」。為有效管制高科技產業空氣污染物排放量，環保署於 88 年 1 月 6 日公告「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」[8]，其所定義的半導體製造業是指從事積體電路晶圓製造、晶圓封裝、磊晶、光罩製造、導線架製造等作業者，但原物料年用量小於表 2.1-1 所列者，該項物質不適用本標準之規定。94 年度園區適用本標準的廠商共計 77 家，主要管制項目包括揮發性有機物、三氯乙烯、硝酸、鹽酸、磷酸、氫氟酸及硫酸等，管制標準如表 2.1-2，列管廠商須依中央主管機關規定之「半導體製造業揮發性有機物及無機酸污染防制紀錄申報書」，每季申報原物料使用量、污染防制設備操作及檢測紀錄。若揮發性有機物年用量大於 50 公噸或揮發性有機物工廠總排放量大於等於 0.6 公斤/小時者，其揮發性有機物防制設備之廢氣排放口應設置濃度監測器。

自從該標準於 89 年 7 月 1 日正式實施後，園區無機酸鹼及總揮發性有機物排放量確實大幅減少，但園區除了半導體製造業外還有光電產業、電腦及週邊產業、通訊產業、精密機械產業及生物技術產業等五類，而這些產業尚未有法規管制，其中又以光電產業所產生的空氣污染物佔大宗，因此環保署於 95 年 1 月 5 日公告「光電材料及元件製造業空氣污染管制及排放標準」[9]，其空氣污染物及排放標準如表 2.1-3，屆時產能大、原物料使用量多的二兆雙星產業都受到法規的約束，應能更有效管制園區空氣污染物降低排放量。

3. 園區內非適用「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」之廠商則需符合「固定污染源空氣污染物排放標準」[10]，茲節錄與園區廠商有關之排放標準如表 2.1-4，該排放標準包括周界及排放管道二部分，周界測定係在公私場所周界外任何地點，能判定污染物由欲測之公私場所排放所為

之測定。若排放標準中未列排放管道排放標準之氣體污染物，應依備註方法計算其排放管道之排放標準。管制標準包括硫酸液滴、氟離子(氟化物或氟化氫氣體)、氯化氫、氨氣、苯、甲苯及二甲苯等，其餘污染物則是以勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準(Threshold Limit Value, TLV)除以 50 後之值作為周界空氣品質標準。

4. 凡是符合環保署 89 年 11 月 2 日公告「修正第一批至第七批部分公私場所應申請設置、變更及操作許可之固定污染源」[11]及 94 年 9 月 6 日公告「第八批公私場所應申請設置、變更及操作許可之固定污染源」[12]，均須依「固定污染源設置與操作許可證管理辦法」[13]申請設置及操作許可證，操作許可內容包括：固定污染源名稱、原(物)料、燃料用量或產品產量及其操作條件、操作期程；空氣污染防治方法及設備之名稱、型式、處理容量及操作條件；空氣污染物之收集排放方式、排放管道口徑及排放口位置；空氣污染物之排放種類、年許可排放量；空氣污染物之年許可排放量推估依據等事項。園區內屬於這八批公私場所包括：電子管、半導體製造業及具有半導體製造程序、二極體製造程序、電晶體製造程序、液晶顯示器製造程序之行業；電池製造業及具有電池製造程序之行業；電子零組件製造業及具有印刷電路板製造程序、光電材料、元件或電子零組件製造程序之行業；資料儲存媒體製造、複製業及具有光碟片製造程序之行業；被動電子元件製造業及具有被動元件製造程序之行業，需依限完成設置、變更及操作許可申請，並應依操作許可內容進行操作。科管局在核發園區廠商許可證後，會將相關資料鍵入環保署 EPA97 資料庫中，並副知新竹縣、市環境保護局。本研究即以該資料庫園區廠商操作許可內容進行 ISCST3 模式模擬。

空氣污染防治法第 21 條規定「公私場所具有經中央主管機關指定公告之固定污染源者，應於每年一月底前，向當地主管機關申報其固定污染源前一年排放空氣污染物之年排放量」。依環保署 92 年 8 月 6 日發布「公私場所固定污染源空氣污染物排放量申報管理辦法」[14]第 5 條規定公私場所應以下列方法所得數據擇一計空氣污染物排放量：

- (1) 符合中央主管機關規定之固定污染源空氣污染物連續自動監測設施之監測資料。
- (2) 依照中央主管機關公告空氣污染物檢測方法所測之檢測結果。
- (3) 中央主管機關於網路申報系統或排放量計算手冊提供之排放量試算方式；或其他經主管機關認可之排放係數或替代計算方式。
- (4) 經主管機關認可之國內外相關技術論文與測試數據。

園區廠商排放量皆依上述規定方式計算，詳細的計算過程另於 2.3 節詳述。

。

表 2.1-1 半導體製造業原物料年用量[8]

原 物 料	年 用 量
揮發性有機物	1700 公斤 / 年
三氯乙烯	60 公斤 / 年
硝酸	1700 公斤 / 年
硫酸	300 公斤 / 年
鹽酸	1700 公斤 / 年
磷酸	1700 公斤 / 年
氫氟酸	1200 公斤 / 年

表 2.1-2 半導體製造業空氣污染管制及排放標準[8]

空氣污染物	排 放 標 準
揮發性有機物	排放削減率應大於 90% 或工廠總排放量應小於 0.6 公斤/小時 (以甲烷為計算基準)。
三氯乙烯	排放削減率應大於 90% 或工廠總排放量應小於 0.02 公斤/小時。
硝酸、鹽酸、磷酸及氫氟酸	各污染物排放削減率應大於 95% 或各污染物工廠總排放量應小於 0.6 公斤/小時。
硫酸	排放削減率應大於 95% 或工廠總排放量應小於 0.1 公斤/小時。

表 2.1-3 光電材料及元件製造業空氣污染管制及排放標準[9]

空氣 污染物	適用對象	排放標準
揮發性 有機物	新設製程	處理效率應達 85%或管道排放量 0.4 公斤/小時以下(以甲烷為計算基準)。
	既存製程	處理效率應達 75%或管道排放量 0.4 公斤/小時以下(以甲烷為計算基準)。
氫氟酸	污染防制設備 前端廢氣濃度 3ppm 以上者	處理效率應達 85%或管道排放量 0.1 公斤/小時以下
	污染防制設備 前端廢氣濃度 小於 3ppm 者	處理效率應達 75%或管道排放量 0.1 公斤/小時以下
鹽酸	污染防制設備 前端廢氣濃度 3ppm 以上者	處理效率應達 85%或管道排放量 0.2 公斤/小時以下
	污染防制設備 前端廢氣濃度 小於 3ppm 者	處理效率應達 75%或管道排放量 0.2 公斤/小時以下

表 2.1-4 固定污染源空氣污染物排放標準[10]

污染物	排放管道	周界
硫酸液滴	200 mg/ Nm ³	50 μg/Nm ³
氯化氫(HCl)	80 ppm 或 1.8kg/hr(含)以下	0.1 ppm
氨氣(NH ₃)	q (換算常數 a ₂ =4.3×10 ⁻⁴)	1 ppm
苯(C ₆ H ₆)	q (換算常數 a ₂ =9.9×10 ⁻⁴)	0.5ppm
甲苯(C ₆ H ₅ CH ₃)	q (換算常數 a ₂ =4.66×10 ⁻³)	2ppm
二甲苯 (C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	q (換算常數 a ₂ =5.36×10 ⁻³)	2ppm

註：

一、低排放管道(h ≤ 6m)
1. q = a₂ × b²

二、高排放管道(h > 6m)
1. b ≥ 5(h-6), q = a₂ × b²
2. b < 5(h-6), q = a₂ × b²
3. b < 5(h-6), 且無 b'' 存在, q = a₂ × 25 × (h-6)²

表 2.1-5 新竹科學園區主要污染物周界標準 [10]

污染物	固定污染源周界標準
鹽酸	0.1 ppm(149 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ *)
硫酸液滴	50 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
硝酸	40ppb(103 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ *)
磷酸	無相關規定
氨	1ppm(695 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ *)
氫氟酸	52 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
異丙醇	8ppm
丙酮	15ppm
丁酮	4ppm
苯	0.5ppm
甲苯	2ppm
二甲苯	2ppm
乙苯	無相關規定

註：*由 $C_{\text{mass}} = 40.9 \times C_{\text{ppm}} \times M.W._p$ 計算，此式在 1 大氣壓 25°C 狀態下，式中 C_{mass} 為質量濃度($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)， C_{ppm} 為體積濃度(ppm)， $M.W._p$ 為污染物分子量。

2.2. 新竹科學工業園區污染物

依據科學工業園區管理局統計資料顯示，截至 94 年 12 月底止，新竹科學園區內廠商共有 382 家，分佈於園區一、二、三期廠區。一期廠區廠房最老舊，污染防治設備也因現場情況受限改善困難。而二期廠區多為八吋晶圓廠與測試廠，污染防治設備雖較新穎，但廠區與民宅僅一牆之隔，無綠帶間隔，故週邊民眾常常陳情有惡臭傳出。三期廠區屬最新開發地帶，無論廠房大小或設備規模皆為最先進，但原物料使用量也是全園區之冠，因此主要污染來源集中在園區二期及三期。主要產業類型包括：積體電路產業、電腦及週邊產業、通訊產業、光電產業、精密機械產業及生物技術產業等六類，茲分述如下：

1. 積體電路產業

半導體製造過程中使用多種酸液、有機溶劑及毒性氣體，使得排放之空氣污染物種類繁多。半導體工業目前涵蓋之行業別包括有原料製造業、設備製造業、光罩製造業、積體電路(IC)設計製造業、晶圓製造業及封裝製造業等六大類別共計 169 家。其中會產生廢氣排放者主要為積體電路製造業(由晶圓製成 IC)及封裝製造業兩者。在晶圓被研製成晶片的過程中，依產品功能要求，需多次反覆進行氧化、化學氣相沉積(Cheical Vapor Deposition)、磊晶沉積(Epitaxial Deposition)、離子植入(Ion Implantation)及濕式蝕刻等步驟，濕式蝕刻製程中需使用高濃度酸進行蝕刻，化學氣相沉積製程則需使用高揮發性碳氫化合物進行氣相沉積，此外如磊晶沉積，電漿蝕刻(Plasma etching)和離子植入等積體電路製程技術，也必須使用具高毒性、致癌性和燃燒性的氣體，故此類製程所產生的高濃度酸氣及有害氣體在處理上須特別謹慎，表 2.2-1 為 IC 製程空氣污染物種類及成份[15]。

2. 電腦及週邊產業

科學園區之電腦週邊產業約 56 家，因產品不同而製程有相當大的差異，而其中主要的污染製程為電子零組件製造程序，主要污染源為 IC 電路板製造工廠。生產電路 PC 板之製造程序，主要廢氣為零組件製程焊接金屬廢氣及有機溶劑的使用產生之揮發性有機物。

3. 通訊產業

科學園區之通訊產業約有 47 家，其製造程序多委外處理或僅從事研究工作或其製程中並無使用有機溶劑及無機酸鹼，對周遭之空氣品質影響極小，但少數(如台揚科技)工廠製造 IC 電路板等具有排放揮發性有機物及酸鹼的製程。

4. 光電產業

科學園區之光電產業約 65 家，主要產品為發光二極體及各項液晶螢幕(LCD)等。LCD 是原料經由基板清洗、塗佈光阻劑、黃光顯影、蝕刻、灌液晶及測試組裝成 LCD。但許多工廠亦生產 IC 相關產品，並使用

異丙醇、丙酮、光阻液、顯影液等有機溶劑。二極體製程產生之空氣污染物來自擴散、蒸鍍、光罩及切割等區。至於部分中小型工廠從事組裝或研究者，產生之空氣污染物則較少。

5. 精密機械產業

精密機械產業有 21 家，多從事自動化機械之製造組裝工作及展示，主要空氣污染物為粒狀物，僅些微廠商有少量使用有機溶劑(如丙酮、醇類)及酸鹼，空氣污染物排放量並不大。

6. 生物技術產業

科學園區之生物技術產業有 24 家，主要從事生化製劑、生化製品及醫療相關器材的製造，大部分為實驗室規模，並無空氣污染物排放，僅部分醫療器材生產中研磨、清洗製程會產生粒狀物及少量揮發性有機物及酸鹼之排放。[1][15][16]

國科會、科管局及新竹縣、市環境保護局自 83 年起陸續進行園區空氣污染物排放及空氣品質背景調查，資料顯示積體電路產業產生之污染最嚴重，其次為光電產業，其他產業對園區之空氣品質影響程度相對較小，而煙道及周界檢測結果所有揮發性有機物中以異丙醇及丙酮所佔的比例最大，氣狀污染物 HF、HCl 及粒狀污染物 F、Cl 是濃度較高的污染物種[17]，因此本研究即針對此園區內前五大空氣污染物氫氟酸、鹽酸、氨、硝酸、揮發性有機物(VOCs)及硫酸液滴進行 ISCST3 模式模擬。



表 2.2-1 IC 製程所產生之空氣污染物種類與成份[15]

廢氣種類	污染物成份	污染源
酸鹼廢氣	酸氣：HF、HCl、HNO ₃ 、H ₂ SO ₄ 、CH ₃ COOH、H ₃ PO ₄ 、H ₂ Cr ₂ O ₇ 鹼氣：NaOH	氧化、光罩、蝕刻、反應爐(氧化爐、擴散爐)之清洗、CVD。
有機溶劑廢氣	二氯甲烷(CH ₂ Cl ₂)、氯仿(CHCl ₃)、丁酮、甲苯、乙苯、丙酮、苯、二甲苯、4-甲基-2-戊酮[(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₃]、乙酸丁酯、三氯乙烷、異丙醇、四甲基胺、氯醛、四氯乙稀、乙基苯、亞甲基二氯、丁基苯、Trans-1, 2-Dichloroethene	光阻液清洗、顯像液清除、蝕刻液清除、晶圓清洗。
毒性氣體	AsH ₃ 、PH ₃ 、SiH ₄ 、B ₂ H ₆ 、B ₄ H ₁₀ 、P ₂ O ₅ 、SiF ₄ 、CCl ₄ 、HBr、BF ₃ 、AlCl ₃ 、B ₂ O ₅ 、As ₂ O ₃ 、BCl ₃ 、POCl ₃ 、Cl ₂ 、HCN、SiH ₂ Cl ₂	氧化、光罩、蝕刻、擴散、CVD、離子植入。
燃燒性氣體	SiH ₄ 、AsH ₃ 、PH ₃ 、BF ₃ 、H ₂ 、SiH ₂ Cl ₂	離子植入、CVD、擴散

資料來源：經濟部工業局，半導體製造業污染防制技術。



2.3. 污染物排放量計算[4]

園區廠商若設有連續自動監測設施，則以該設施之監測資料，計算空氣污染物排放量，其計算公式如下：

1. 小時排放量：

硫氧化物、氮氧化物及揮發性有機物小時排放量（公斤/小時）＝污染物分子量（克/莫耳）÷22.4（公升/莫耳）×10⁻³（公斤/克）×10⁻³（公升/立方公尺）×污染物監測濃度（ppm）×廢氣排氣量（立方公尺/分）×60（分/小時）

其中硫氧化物以二氧化硫表示；氮氧化物以二氧化氮表示；揮發性有機物以甲烷表示。

2. 季排放量：

$$\text{季排放量(公噸/季)} = \left[\sum_{i=1}^N \text{有效監測值計算之小時排放量(公斤/小時)} + \sum_{i=1}^P \text{無效時段替代數據計算之小時排放量(公斤/小時)} \right] \times 10^{-3} \text{(公噸/小時)}$$

N：當季有效監測時數（小時/季）

P：監測設施無效時數（小時/季）

前項空氣污染物排放量、濃度值及排氣量之計算，均依四捨五入法計算至小數點第二位；污染物監測濃度，係以溫度在凱氏溫度二七三度及一大氣壓條件下，未經稀釋之乾燥排氣體積為計算基準。

園區廠商若以中央主管機關公告空氣污染物檢測方法所測之檢測結果，計算空氣污染物排放量者，其計算公式如下：

1. 小時排放量：

(1) 硫氧化物、氮氧化物及揮發性有機物小時排放量（公斤/小時）＝污染物分子量（克/莫耳）÷22.4（公升/莫耳）×10⁻³（公斤/克）×10⁻³（公升/立方公尺）×污染物校正後濃度（ppm）×廢氣乾基排氣量校正值（立方公尺/分）×60（分/小時）

(2) 粒狀污染物小時排放量（公斤/小時）＝污染物校正後濃度（毫克/立方公尺）×10⁻⁶（公斤/毫克）×廢氣乾基排氣量校正值（立方公尺/分）×60（分/小時）

其中硫氧化物以二氧化硫表示；氮氧化物以二氧化氮表示；揮發性有機物以甲烷表示。

2. 單位活動強度排放量：

(1) 硫氧化物單位活動強度排放量（公斤/公斤、公乘或立方公尺）（含硫率以1%校正）＝

$$\frac{\text{檢測期間空氣污染物總排放量(公斤)}}{\text{檢測期間主原(物)料、燃料使用量、產品產量或其他經主管機關認定之操作量(公斤、公乘或立方公尺)}}$$

$$\times \frac{1}{S}$$

S'：檢測期間使用之燃料含硫率(%)

- (2) 粒狀污染物、氮氧化物、揮發性有機物單位活動強度排放量 (公斤/公斤、公秉或立方公尺) =

檢測期間空氣污染物總排放量 (公斤)

—————
 檢測期間主要原(物)料、燃料使用量、產品產量或其他經主管機關認定之操作量 (公斤、公秉或立方公尺)

3. 季排放量：

- (1) 硫氧化物季排放量 (公噸/季) = 空氣污染物單位活動強度排放量 (公斤/公斤、公秉或立方公尺) × 當季主要原(物)料、燃料使用量、產品產量或其他經主管機關認定之操作量 (公斤、公秉或立方公尺/季) × S × 10⁻³ (公噸/公斤)

S：使用之燃料含硫率(%)

- (2) 粒狀污染物、氮氧化物、揮發性有機物季排放量 (公噸/季) = 空氣污染物單位活動強度排放量 (公斤/公斤、公秉或立方公尺) × 當季主要原(物)料、燃料使用量、產品產量或其他經主管機關認定之操作量 (公斤、公秉或立方公尺/季) × 10⁻³ (公噸/公斤)

前項空氣污染物排放量、濃度值及排氣量之計算，均依四捨五入法計算至小數點第二位；污染物校正後濃度，係以溫度在凱氏溫度二七三度及一大氣壓條件下，未經稀釋之乾燥排氣體積為計算基準。

園區廠商若無連續自動監測設施或檢測結果為 N.D. 值時，可以主管機關認可之排放係數計算空氣污染物排放量，依下列公式計算：

季排放量 (公噸/季) = 當季原(物)料、燃料使用量、產品產量或其他經主管機關認定之操作量 (公噸、公秉或立方公尺/季) × 排放係數 (公噸/公噸、公秉或立方公尺) × (1 - 控制效率)

由上式可知以排放係數計算空氣污染物排放量有二個重要參數即排放係數及防制設備控制效率。由於本土化的排放係數尚未建立完全，目前的排放係數多是引用美國環保署 AP-42(Compilation Of Air Pollutant Emission Factor)[18]文件資料，該文件中列有各行各業之排放係數，供各個工廠推估污染物排放量使用，其中並無園區高科技產業揮發性有機物(VOCs)及無機酸鹼之排放係數。簡等[19]以園區半導體廠揮發性有機物(VOCs)連續自動監測設施之監測數據，作線性迴歸統計分析，求得揮發性有機物(VOCs)之排放係數為 0.0428 公斤/公升。無機酸部分 93 年之前行政院環境保護署環境檢驗所(以下簡稱環檢所)公告之標準檢測方法，因偵測下限較半導體業排放的範圍高，檢測結果常出現 N.D. 值，無法正確檢測污染物濃度[20]。93 年 2 月 12 日環檢所公告「排放管道氫氟酸、鹽酸、硝酸、磷酸及硫酸檢測方法—等速吸引法」以蔡等開發[21]出的多孔金屬型固氣分離器做為採樣器，有效降低偵測下限，可以正確

測出半導體業酸鹼氣體的排放濃度，並自 93 年 5 月 15 日起實施。蔡等 [22] 收集園區使用多孔金屬型固氣分離器之檢測數據，推估出氣狀物氫氟酸、鹽酸、硝酸及硫酸液滴之排放係數分別為 0.0064kg/l、0.0191 kg/l、0.0168 kg/l 及 0.0017 kg/l，各污染物之排放係數、 R^2 值與信賴區間如表 2.3-1 所示。

防制設備控制效率為防制設備前氣狀污染物的質量流率減去防制設備後逕排大氣之氣狀污染物的質量流率，再除以防制設備前氣狀污染物的質量流率或稱為污染防制設備的削減率。目前園區廠商使用的揮發性有機物 (VOCs) 防制設備主要為沸石轉輪、燃燒塔、活性碳吸附器等，依據廠商所提供的原始設計處理效率或是監、檢測數據顯示均達 80% 以上之削減率，沸石轉輪更高達 95% 以上之削減率。至於無機酸鹼氣體主要使用的污染防制設備為濕式洗滌塔及填充式洗滌塔，蔡等 [17] 接受新竹市環保局委託執行「竹科空氣品質監測網規劃計畫」時，篩選園區以多孔金屬型固氣分離器之洗滌塔煙道採樣數據，以線性迴歸方式，求得氣狀污染物氫氟酸、鹽酸、硝酸及硫酸液滴的效率計算公式如表 2.3-2 所示，並計算出氫氟酸、鹽酸、硝酸及硫酸液滴的控制效率分別為 25%、76%、97% 及 37%。



表 2.3-1 各污染之排放係數、R² 值與信賴區間[22]

污染物	排放係數	R ² 值	95%信心水準下的信賴區間
氣體 HF	0.0064kg/l	0.8353	(0.0054 , 0.0074) kg/l
微粒 F ⁻	0.0023kg/l	0.7388	(0.0028 , 0.0018) kg/l
氣體 HCl	0.0191kg/l	0.7011	(0.0238 , 0.0144) kg/l
微粒 Cl ⁻	0.0104kg/l	0.7289	(0.0129 , 0.0079) kg/l
硫酸液滴	0.0017kg/l	0.7864	(0.0020 , 0.0014) kg/l
氣體 HNO ₃	0.0168kg/l	0.7729	(0.0200 , 0.0136) kg/l
微粒 NO ₃ ⁻	0.0033kg/l	0.6477	(0.0040 , 0.0024) kg/l
氣體 NH ₃	0.0011kg/l	0.7712	(0.0013 , 0.0008) kg/l
微粒 NH ₄ ⁺	0.0010kg/l	0.8857	(0.0011 , 0.0009) kg/l

表 2.3-2 排放削減率計算公式[17]

污染物種類	效率公式(η：控制設備效率，x：進口端濃度,μg/m ³)
氣體 HF	$\eta(x)=\begin{cases} 90(\%) & ,x \geq 650 \\ 0.2x - 40(\%) & ,200 \leq x < 650 \\ 0(\%) & ,x < 200 \end{cases}$
微粒 F ⁻	$\eta=\begin{cases} 80(\%) & ,x \geq 180 \\ 0.57x - 22.86(\%) & ,40 \leq x < 180 \\ 0(\%) & ,x < 40 \end{cases}$
氣體 HCl	$\eta=\begin{cases} 90(\%) & ,x \geq 250 \\ 0.36x(\%) & ,x < 250 \end{cases}$
微粒 Cl ⁻	$\eta=\begin{cases} 70(\%) & ,x \geq 150 \\ 0.47x(\%) & ,x < 150 \end{cases}$
硫酸液滴	η=37(%)

2.4. 空氣污染管制策略

目前最常見之空氣污染管制策略有下列 5 大類茲分述如下：

1. 空氣品質管理策略

由訂定空氣品質標準開始，標準訂定後，所有之管理方案皆為達成空氣品質標準而為之。

2. 排放標準策略

訂定空氣污染物排放標準後，即要求污染源需符合排放標準，其可以為空氣品質管理策略下之一種策略，亦可單獨執行如最佳可行方案。

3. 排放稅策略

為「使用者付費」之觀念引申出之策略，亦即使用到空氣資源，造成空氣污染者必須付出相當之金額，其訂定之原則在於使污染排放者認為「裝設污染防制設備或製程改善之經濟性優於繳交污染稅」，以污染排放減量為目的，而非收取污染稅後，再用這些錢改善空氣品質。

4. 成本—效益分析策略

將污染排放所造成的影響加以量化，並估算此污染排放所需之控制經費，再將此二者相互比較分析，選出最低花費之污染防制措施。在訂定空氣品質標準時，即需運用成本效益之觀念，將污染物可能造成如人體健康、自然生態環境、能見度及建築物的影響加以量化，以金錢表示如成本(\$)/公噸污染物排放。

5. 污染分區策略

以地理位置區隔出污染密度，例如將工廠由住宅區遷移至工業區，或將位於不符合空氣品質目標(標準)之區域內之工廠，遷移至符合空氣品質目標區域，而達到空氣品質維護之目的。

我國空氣污染防制法於民國 64 年 5 月 23 日制定公布，隨著時空背景的改变，已進行 5 次修訂，並將此五類管制策略引進法條中，過去的管制策略以符合排放標準為主，較注重個別污染源的控制，由於民眾環境意識提昇，必須加入空氣品質管理策略才能滿足民眾需求，故增訂空氣品質標準、劃定各級防制區、空氣污染預警制度及防止空氣品質惡化等規定，之後又依污染者付費精神自民國 79 年開始進行空污費收費制度之研擬，期間歷經學理論辯、公眾參與、壓力團體質疑、反彈與抗爭，於民國 84 年 7 月 1 日正式徵收空污費，開啟空氣污染管制的新紀元。但面對日趨多樣之空氣污染問題及複雜的光化學形成反應機制，雖然排放標準不斷加嚴，污染集中地區之空氣品質仍難有效改善，足證單純的排放濃度管制策略，已無法抑制污染總量之增加及空氣品質惡化，因此引進更積極、更具經濟誘因，且以空氣品質管理思維之總量管理制度，做為未來污染管制之策略。

空氣污染總量管制是指把既存且需要達到排放限制的污染源將其排放量以總量方式來限制，也就是將數個排放污染之點源當成單一個排放源來限制其排放量。美國為達到空氣品質標準於 1970 年起開始實施州政府執行

計畫(State Implementation Plan,SIP),以彈性經濟誘因措施,促進削減污染物排放量。美國於1977年建立新設污染源排放抵換總量管制制度,空氣品質開始納入排放抵換措施。1982年推動汽油含鉛量排放交易制度,制度中包括污染泡、淨值、抵換及儲存等策略。1993年實施酸雨計畫對大型燃燒設施如電廠之硫氧化物及氮氧化物進行總量管制,推動移動污染源排放交易制度,並於加州南岸地區實施「區域清淨空氣誘因市場計畫(RECLAIM)」,經公告之污染源應逐年依規定削減硫氧化物及氮氧化物之排放量。1998年為改善臭氧空氣品質,於東岸十一個州推動跨州之氮氧化物(臭氧前驅物)排放交易制度[23][24]。日本自1974年起公告總量管制法,並針對硫氧化物實施總量管制,1981年實施氮氧化物之總量管制[25]。

我國於88年第三次修正空污法時引進空氣污染總量管制制度,相關規定包括:[6]

中央主管機關得依地形、氣象條件,將空氣污染物可能互相流通之一個或多個直轄市、縣(市)指定為總量管制區,訂定總量管制計畫,公告實施總量管制。符合空氣品質標準之總量管制區,新設或變更之固定污染源污染物排放量達一定規模者,須經模式模擬證明不超過該區之污染物容許增量限值。未符合空氣品質標準之總量管制區,既存之固定污染源應向當地主管機關申請認可其污染物排放量,並依主管機關按空氣品質需求指定之目標與期限削減;新設或變更之固定污染源污染物排放量達一定規模者,應採用最佳可行控制技術,並取得足供抵換污染物增量之排放量。既存之固定污染源因採行防制措施致實際削減量較指定為多者,其差額經當地主管機關認可後,得保留、抵換或交易。

新設或變更之固定污染源應自下列來源取得供抵換污染物增量之排放量:

1. 固定污染源依規定保留之差額排放量。
2. 主管機關保留經拍賣釋出之排放量。
3. 改善交通工具使用方式、收購舊車或其他方式自移動污染源減少之排放量。
4. 洗掃街道減少之排放量。
5. 其他經中央主管機關認可之排放量。

符合空氣品質標準之總量管制區,其總量管制計畫應包括污染物容許增量限值、避免空氣品質惡化措施、新增或變更固定污染源審核規則、組織運作方式及其他事項。未符合空氣品質標準之總量管制區,其總量管制計畫應包括污染物種類、減量目標、減量期程、區內各直轄市、縣(市)主管機關須指定削減污染物排放量之固定污染源、削減量與期程、新增或變更固定污染源審核規則、組織運作方式及其他事項。有關總量管制之規定,應於建立污染源排放量查核系統及排放交易制度後,由中央主管機關會同經濟部分期分區公告實施[25]。

2.5. ISCST3 模式及前人在新竹科學園區之模擬結果

本研究使用環保署推薦之最新版且符合法規要求之電腦擴散模式 ISCST3(環保署空氣品質模式支援中心，網站：<http://www.aqmc.org.tw/>)，可廣泛應用於點、線、面、體污染源，輸入資料能與既有氣象資料相配合，可以模擬長時間(年、月)及短時間(小時)的平均濃度及最大值，還可模擬區域內污染源的排放、濃度、傳送與沉降，藉以評估污染源與受體的關係。但因 ISCST3 只單純考慮物理機制，並未考慮化學機制，因此僅適用惰性污染物。其理論基礎為高斯擴散模式 (Gaussian dispersion model)，基本假設如下：

1. 污染源為連續排放 (Continuous emissions)
2. 質量守恆 (Conservation of mass)
3. 穩定狀態 (Steady-state conditions)
4. 污染物擴散的濃度分佈屬高斯分佈 (Cross wind and vertical concentration distributions)

依據上述的假設，高斯擴散模式可以以下列的數學式子表示：

$$C = \frac{QVD}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{-(H-z)^2}{2\sigma_z^2} + \frac{-(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

其中

C：污染物濃度 Q：污染物排放率，ton/year

V：垂直項 D：衰減項

σ_y 、 σ_z ：橫向和垂直方向濃度分佈的標準差，m

u：煙囪高度的平均風速，m/sec

上述中之垂直項 V 為：

$$V = \frac{1}{2} \left[\exp\left(-0.5\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-0.5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-0.5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right) \right] + \sum_{i=1}^{\infty} \left[\exp\left(-0.5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-0.5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right) \right]$$

其中

$$H = h + \Delta h$$

$$H_1 = 2i \times H_m - H - RHT$$

$$H_2 = 2i \times H_m + H - RHT$$

$$H_3 = 2i \times H_m - H - RHT$$

$$H_4 = 2i \times H_m + H - RHT$$

RHT：受點離地高度 (Receptor height above ground)

H_m ：混合層高度

衰減項 D 則只有適用於某些污染物，在大部分的模擬中 $D = 0$ 。

ISCST 模式已被廣泛的使用在空氣品質模擬，在模式中主要的特徵有：

1. 可使用極座標和直角座標

2. 適合模擬都市和鄉村的空氣品質
3. 衝量和浮力所引起煙囪排放煙柱高度為下風距離之函數
4. 建築物對擴散的影響
5. 可同時模擬高達 300 個污染源
6. 可模擬點源、線源及面源
7. 風速隨高度而變化
8. 可模擬小時平均濃度至年平均濃度
9. 可依實際地形高度修正受點高程
10. 內建環保署法規內定值
11. 可處理定風之氣象條件
12. 可模擬受點高於地面的情況[17]

目前國內外已廣泛應用 ISC 模式進行焚化廠、發電廠及工業區之空氣污染物模擬研究，顯示其為最受歡迎的模式，與新竹科學工業園區有關的包括科管局以 ISC3 模式模擬訂出酸鹼空氣污染物的上限值為：硫酸 338 公噸/年、硝酸 702 公噸/年、鹽酸 1,101 公噸/年、氫氟酸 351 公噸/年、磷酸 135 公噸/年、氯氣 428 公噸/年、氨 5,126 公噸/年[2]。另科管局為因應新竹科學園區環保總量管制之需求，委託工業技術研究院環安中心辦理「新竹科學工業園區暨竹南基地空氣污染物排放總量監測及管理規劃」計畫，利用 ISCST3 模式以點源方式配合科學園區之地形與高程資料，模擬新竹科學園區內空氣污染物排放擴散情形，結果顯示 HF 之周界檢測值介於 ND 值與 $20.98\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，模擬值則介於 $2.90\sim 3.08\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間；HCl 之周界檢測值介於 ND 值與 $14.03\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，模擬值則介於 $0.08\sim 0.16\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間； HNO_3 之周界檢測值介於 ND 值與 $40.04\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，模擬值則介於 $0.04\sim 0.08\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間； NH_3 之周界檢測值介於 ND 值與 $54.33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，模擬值則介於 $15.77\sim 35.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間； H_2SO_4 之周界檢測值介於 $1.27\sim 19.56\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，模擬值則介於 $9.68\sim 11.38\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。在進行大氣濃度增量影響程度評估時，假設 T 廠完工後各物種全廠排放量為現在之 5 倍，排放管道之風速、溫度等其他條件不變，模擬結果發現：HCl 及 NH_3 之周界濃度幾乎不受影響；THC 略有影響，最大著地濃度從 2.8ppb 增至 4.5ppb；HF 及 H_2SO_4 之周界濃度變化明顯，HF 之最大著地濃度從 3.12ppb 增至 4.88ppb， H_2SO_4 之最大著地濃度從 11.68ppb 增至 25.28ppb，但仍未超出周界濃度標準[26]。新竹市環境保護局委託康城工程顧問股份有限公司及國立交通大學環境工程研究所分別針對園區空氣品質及監測網規劃進行 ISCST3 模式模擬，結果皆顯示硫酸、磷酸、硝酸、氫氟酸、氯氣、丙酮及異丙醇無論年平均、日平均或小時平均值最高濃度皆出現在園區二期及三期一帶[17][23][27]。而施[28]及劉[29]亦曾於新竹科學園區周界進行無機酸鹼及揮發性有機物(VOCs)採樣檢測，並將實測濃度與 ISCST3 模擬濃度比較，結果顯示以排放係數及控制效率曲線來推估排放量，並輸入擴散模式中，所模擬出的濃度是可信的。

李[30]運用 ISCST3 模式模擬推估既設/新設工業區或科學園區空氣污染物 SO_x 排放總量限值，案例一若將區內已進駐之工廠視為既存污染源並以點源方式輸入模式，則排放總量限值需由目前設定之 875 噸/年向下修正至 121 噸/年。案例二假設全區為新設污染源，以原設定之 SO_x 排放總量進行面源 ISC3 模擬，其推導的 SO_x 排放總量限值依面源排放高度不同而有差異，若面源排放高度為 5 公尺則排放總量限值需由 875 噸/年向下修正至 459 噸/年；若面源排放高度為 19 公尺則排放總量限值需由 875 噸/年向下修正至 801 噸/年。因此污染源假設為面源或點源，以及污染源之高度均影響排放總量限值甚鉅。

