# 固定污染源空污控制系統規劃選用與試車驗收作業練習題
# (甲乙級)

## 貳、空污控制系統規劃選用作業

### 2.1 規劃選用作業簡介

1. 控制空污之方針與對策，主要分為哪3個層次？

解答：1. 預防污染產生：

(1) 透過品質管理系統及環境管理系統 (如ISO 9000、ISO 14000) 提升整體的環境意識及環境改善績效。

(2) 標準作業程序之制定與落實以防止操作錯誤所造成之洩漏、溢出及機械事故造成之異常排放，確保污染防制成效。

(3) 落實員工教育訓練，定期針對員工進行必要之訓練。

2. 減少污染排放：

(1) 產品開發及製造過程發展必須考量減少、甚至消除對環境的衝擊。

(2) 製造過程須增加可回收及再利用材料。

(3) 有害原物料減量或消除。

(4) 採取產源減量、回收再利用等措施。

3. 管末污染物處理。

### 2.2 規劃選用作業流程

2. 整廠系統設計規劃流程為何？

解答：1. 確認需求。

2. 可行的生產技術。

3. 最佳化分析。

3. 空氣污染控制系統規劃確認需求時可思考哪些方向？

解答：1. 確認工廠內部需求。

(1) 生產製程及容量需求。如產品種類、生產流程以及所需設備容量、產線波動特性等。產線容量會影響到排放廢氣的流量，以及廢氣流量的波動性。而所使用的原料及生產技術也會影響到污染物的種類、濃度等因子。

(2) 確認空氣污染物排放特性。污染物排放特性包含排氣溫度、含水率污染物的種類與濃度等。不同的空氣污染物特性會影響後續控制系統的選用以及各控制系統間的

排序。如垃圾燃燒可能產生的污染物種類就包含了粒狀污染物、一氧化碳、氯化氫、氮氧化物、硫氧化物、戴奧辛及重金屬等。

(3) 確認預算需求。包含設置及操作成本。其中操作成本包含人事、水、電及相關化學藥品、設備維護保養成本等。詳請參閱第五章說明。

(4) 其他內部政策所需達成的空氣污染物減排目標，如企業社會責任、清潔生產等。

(5) 其他需求：如廠房空間、施工期間等。

2. 確認法規需求及法令規定的污染物排放濃度。可能的法令需求包含下列。

(1) 環境影響評估 (若有) 針對開發目的與內容所訂立之相關排放限制與減輕或避免不利環境影響之對策與承諾事項。須注意排放要求包含以污染物濃度控制為基礎規定的排放標準以及污染物年排放總量之總量管制標準。

(2) 國內中央及縣市政府相關環保法令，如空氣污染防制法。空氣污染控制系統衍生物同時須注意相關廢棄物及水污染防治相關法規，如粒狀污染物控制系統之集塵灰、洗滌塔的排放水等。

(3) 其他政府相關法令之規定及政策，勞工安全衛生相關法規等。若產品需出口至海外時，須注意國外相關法令的規範。

3. 確認周遭環境需求。如環境溫度、溼度、給排水條件以及周遭環境條件、能源成本等。如水資源匱乏的地方，可能就較不適合採用溼式除酸技術。

4. 確認空氣污染防制設備衍生物的處理需求，如洗滌塔廢水、飛灰、吸附後的活性碳等。

4. 環境成本包含哪些？

解答：1. 生產過程中直接降低排放污染物的成本。

2. 生產過程中為預防環境污染而發生的成本。

3. 企業有關環保的研究開發成本。

4. 有助於企業周圍實施環境保護或提高社會環境保護效益支出的成本。

5. 其他環保支出。

## 參、最佳可行控制技術制度及評估

### 3.1 最佳可行控制技術簡介

5. 空氣污染防制法第6條第3項及第8條第3項規定，三級防制區及未符空氣品質標準之總量管制區，其新設或變更之固定污染源污染物排放量達一定規模者，應採用何種技術？

解答：最佳可行控制技術。BACT (Best available control technology)。

### 3.2 最佳可行控制技術評估流程

6. 排氣處理之最佳可行控制技術評估流程有哪些步驟？

解答：1. 所有控制技術的確認。
2. 技術可行性分析。
3. 可行控制技術效率排序。
4. 衝擊性分析。
5. 決定最佳可行控制技術。

7. 最佳可行控制技術評估時，應進行「衝擊性分析」，其評估項目為何？

解答：1. 成本效益。
2. 能源衝擊 (造成之能源損失)。
3. 環境衝擊 (對環境造成之危害)。

8. 投資設置污染防制設備，其總年成本應如何計算？

解答：總年成本=總初設成本×資本回收因子+年操作成本；其中，資本回收因子=$\frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n-1}$，i：年利率，n：設備折舊年限。

### 3.3 公告實施之最佳可行排放控制技術

9. 應採用之最佳可行控制技術，係包含哪些技術？

解答：1. 使用低污染性原 (物) 料、燃料。
2. 採用低污染製程。
3. 裝置空氣污染排放控制設備。
4. 其他經直轄市、縣 (市) 主管機關委託之政府其他機關 (以下簡稱審核機關) 認定之空氣污染減量技術。

10. 公私場所固定污染源採用最佳可行控制技術，驗證程序為何？

解答：1. 需於操作許可證申請時，以最大產量、原 (物) 料及燃料使用量百分之八十以上之操作條件進行試車或檢測。

2. 符合公告固定污染源最佳可行控制技術附表一所列排放濃度、排放削減率、排放係數或其他規定。

3. 各項控制設備操作運轉紀錄項目需符合固定污染源最佳可行控制技術附表二之規定，以作為許可證提送審查之內容。

11.各項控制設備操作運轉應核定操作參數項目有哪些？

解答：

| 控制設備 | 應核定操作參數項目 |
|---|---|
| 排煙脫硫設備 (乾式/溼式) | 化學藥劑添加量、煙道排氣口溫度 |
| 低氮氧化物燃燒器 | 燃燒溫度 |
| 選擇性觸媒/非觸媒還原設備 | 操作溫度、觸媒更換頻率、還原劑注入量 |
| 熱焚化設備 | 燃料用量、燃燒溫度 |
| 活性碳吸附設備 | 操作溫度、活性碳更換日期及更換量 |
| 洗滌塔 | 洗滌液流率、pH 值 |
| 冷凝設備 | 氣體出口溫度、冷凝劑出口溫度 |
| 袋式集塵設備 | 設備壓降、氣體入口溫度、清灰日期、濾袋更換日期 |
| 靜電集塵設備 | 用電量、電壓 |
| 其他污染控制設備 | 主要操作參數 |

## 肆、質能 (量) 平衡計算

### 4.1 質能 (量) 平衡簡介

12. 質能平衡計算前應確立哪些規劃數據，供作設計及質能平衡基礎？

解答：1. 排氣狀況，如流量 (以$Nm^3/min$或$Nm^3/hr$表示，其中$Nm^3$為在標準狀況 (0℃、1 atm) 之排氣體積)、溫度 (以凱式絕對溫度 (K) 或攝氏溫度 (℃) 表示)、溼度等。

2. 污染物濃度及目標排放濃度，以ppm或$mg/Nm^3$或$kg/Nm^3$表示。

3. 防制設備種類及目標去除效率。

4. 防制設備操作條件，如溫度、壓力等。

5. 化學藥劑添加量及過量加藥比例。

**4.2 計算考量因素及計算內容**

13. 舉例說明排氣中有不同污染物性質故擬採行之處理方法？

解答：1. 以洗滌法去除高溫煙道氣中之粒狀污染物、酸性氣體 ($SO_2$、$SO_3$、HCl、HF、$HNO_3$等)、鹼性氣體 ($NH_3$、有機胺等)：需作質能平衡計算，以確定加藥量、耗水量、洗滌循環液溫度、排氣溫度。

2. 以袋濾法 (Bag filtration) 去除高溫煙道氣中之粒狀污染物：需作質能平衡計算，以確定氣體冷卻器冷卻負荷及進入袋濾除塵器之氣體溫度。

3. 以半乾式洗滌法去除高溫煙道氣中之酸性氣體：需作質能平衡計算，以確定洗滌漿液 (石灰乳) 之濃度及添加流量，以符合排氣標準及後續袋濾除塵器進氣溫度標準。

4. 以選擇性觸媒還原法 (SCR) 去除煙道氣中之氮氧化物 (NOx)：需作質能平衡計算，以確立觸媒床進氣有無達到適用溫度，估算熱交換器及熱回收器能力，估算輔助燃料用量，另確立還原劑 (氨氣、氨水、尿素水溶液等) 添加量。

5. 以焚化法去除煙道氣中之揮發性有機物 (VOCs)：需作質能平衡計算，以確立進氣有無達到焚化所需溫度，估算熱交換器及熱回收器能力，估算輔助燃料用量。

6. 以沸石轉輪 (Zeolite concentration rotor或簡稱Rotor) 濃縮配合焚化法去除煙道氣中之VOCs：需作質能平衡計算，以確立轉輪進氣溫度是適合 (<40℃)，並估算熱脫附氣體是否達到預定溫度 (例如180~190℃)，另估算熱交換器及熱回收器能力，估算輔助燃料用量。

7. 以活性碳去除並回收煙道氣中之VOCs：需作質能平衡計算，以確立碳床進氣溫度是否適合 (<40℃)，並估算碳床容積需求、碳床升溫、熱脫附水蒸氣需求及冷凝器能力。

8. 以生物法去除煙道氣中之VOCs：需作質能平衡計算，以確立生物系統進氣溫度是適合 (20~38℃)，並估算噴霧冷卻水用量，另估算生物濾床濾料體積或活性污泥生物氧化池容積。

14. 請列出$SO_2$濃度由ppm轉換成$mg/Nm^3$及VOC濃度由ppm和ppm as Methane轉換成$mg/Nm^3$的計算公式？

解答：排氣量 ($Nm^3$)=排氣量 ($Am^3$)÷[273.15 K+排氣溫度℃]×273.15 K ($Nm^3/Am^3$)

$SO_2$濃度 ($mg/Nm^3$)=$SO_2$濃度 (ppm)×$10^{-6}$/ppm×64 ($SO_2$分子量) kg/kmol÷22.4 $Nm^3$/kmol×$10^6$ mg/kg

VOC濃度 ($mg/Nm^3$)=VOC濃度 (ppm)×$10^{-6}$/ppm×VOC分子量 kg/kmol÷22.4 $Nm^3$/kmol×$10^6$ mg/kg

VOC濃度 ($mg/Nm^3$)=VOC濃度 (ppm as Methane)×反應因子 (ppm VOC/ppm as Methane)×$10^{-6}$/ppm×VOC分子量kg/kmol÷22.4 $Nm^3$/kmol×$10^6$ mg/kg

## 伍、空氣污染控制設備成本及操作成本估算

### 5.1 初設成本及操作成本估算簡介

15. 空氣污染控制設備初設成本及操作費用包含哪些項目？

解答：初設成本包括：(1)直接成本，如設備購置成本及設備安裝測試成本 (約占設備購置費用20~30%)；(2)間接成本，如工程監造費用 (約為直接費用的5~10%) 及行政費用；操作成本包括：(1)直接成本，如水、電、化學藥劑費用、維修保養費用、二次污染物處理處置費用、操作人力薪資及相關規範如空污費；(2)間接成本，如行政、保險費用，約占直接成本5~10%。各項成本之分布仍需視控制設備類型及規模而異。

### 5.2 化學洗滌成本及操作成本估算

16. 化學洗滌設置成本及操作成本包含哪些？

解答：設置成本包括：

1. 直接成本。
2. 安裝測試費用 (約為設備設置費用的20~30%)。
3. 間接費用：設計監造費用：約為直接費用×10%。

操作成本主要為藥費、電費、水費及設備維護保養及人事費用等直接成本。間接成本則為行政、保險費用，約為直接費用的5~10%。

17. 一廢氣經洗滌處理後，排氣量為116.787 $Nm^3$/min，溫度為57℃，假設總系統風阻200 mmAq，試計算其抽風機馬力？

解答：$Q_a$=廢氣實際流量

=116.787 $Nm^3$/min×[(273.15+57)÷273.15] $Am^3/Nm^3$×35.3 $ft^3/m^3$

=4,982.867 ACFM

ΔP=200 mmAq÷25.4 mm/英寸水柱=7.874英寸水柱

馬力=1.81×0.0001×4,982.867×7.874=7.102 kW

**5.3 排氣中揮發性有機物焚化成本及操作成本估算**

18. 請列舉揮發性有機物焚化操作成本？

解答：初設成本包括：

1. 直接成本 (燃料、電力、工資、維修、觸媒置換)。
2. 間接成本 (行政、保險費用)。

**5.4 生物氧化法成本及操作成本估算**

19. 生物滴濾塔之設計操作參數為何？

解答：氣體在塔中之空塔停留時間通常需20秒以上，由於氣體經生物滴濾塔之空塔流速 ($U_0$<300 m/h或<0.1 m/s)。

20. 生物濾床法之設計操作參數為何？

解答：濾床厚度通常在1公尺以下，氣體在塔中之空塔停留時間通常亦需20秒以上。

21. 生物濾床法主要操作成本為何？

解答：主要操作成本為濾料置換、電費、營養源 (如過期奶粉) 費。一般堆肥濾料之工料費約NT$5,000~10,000/$m^3$，濾料壽命約2~3年；蛇木屑濾料工料費約NT$ 10,000/$m^3$，濾料壽命5年以上。

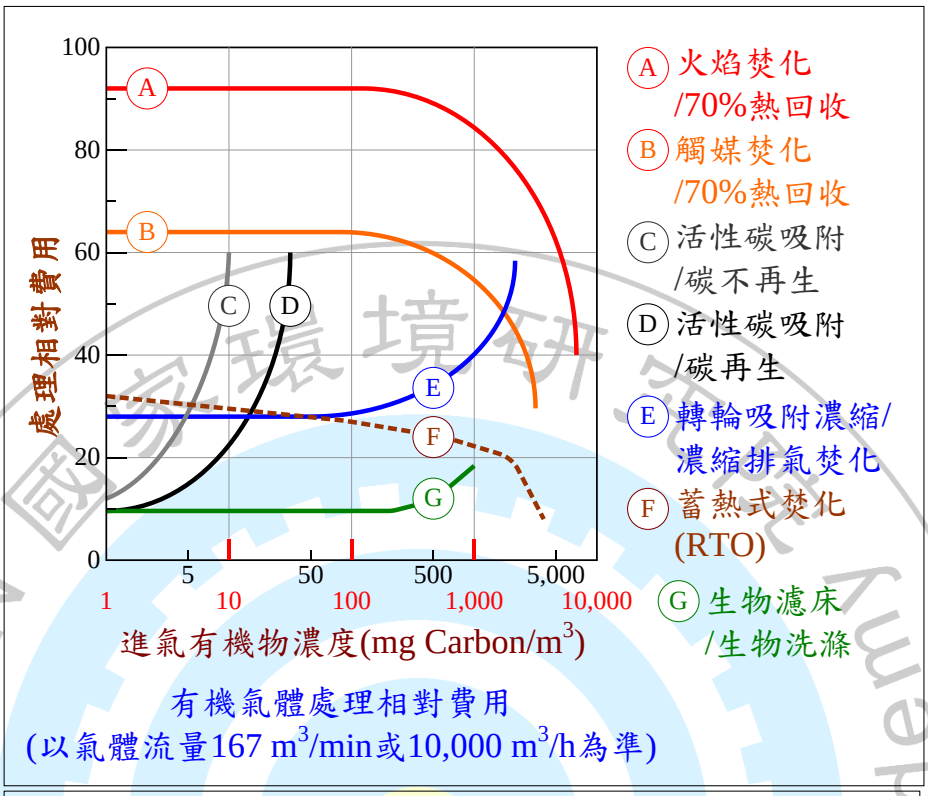
**陸、空污控制系統規劃設計案例介紹**

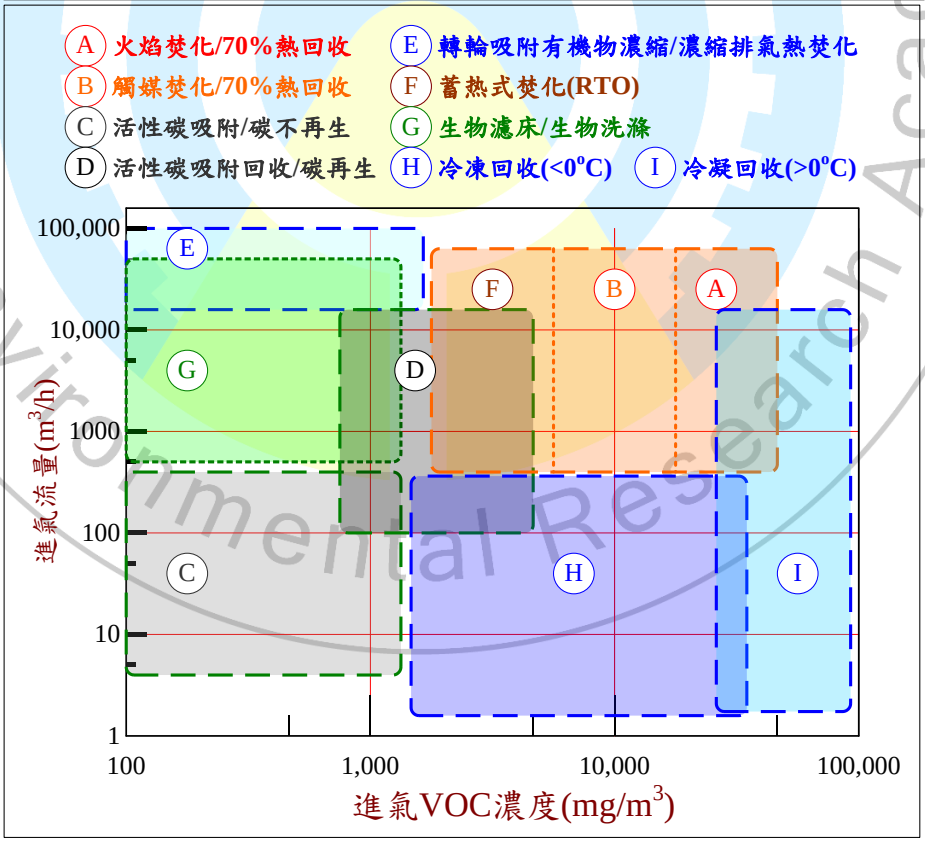
22. 空氣污染防制設備選用及規劃時，應考量哪些因素作為技術選定依據？

解答：一般而言，在規劃前，應先了解排氣量及時間變化、污染物成分及濃度及時間變化、法定污染物排放標準及去除率目標、廠方配合條件 (人力、空間、電力、現有污染防制設施等) 等，作設備選用及規劃，以估算設備投資及操作維護費用，作為技術選定依據。

23. VOCs廢氣處理技術相對費用及濃度適用範圍？

解答：




國家環境研究院 National Environmental Research Academy

24. 適用RTO處理之廢氣，其廢氣絕熱燃燒能量、絕熱燃燒升溫、內含VOCs總濃度之條件為何？

解答：一般而言，廢氣之絕熱燃燒能量q在13 kcal/$m^3$以上 (絕熱燃燒升溫40℃以上)、內含VOCs總濃度在15% LEL以下者，均適用RTO處理。

25. 蓄熱式焚化法處理技術中，如何判斷是否需外加輔助能源？

解答：廢氣之絕熱燃燒升溫之90%若超過40℃，則該廢氣以RTO處理時，不需外加能量。

26. 某NMP廢氣濃度為15.23×$10^{-3}$ kg/$Nm^3$，NMP燃燒熱為7,090 kcal/kg，空氣密度 ($\rho_g$) 為1.293 kg/$Nm^3$，空氣比熱 ($C_p$) 為0.25 kcal/kg℃，試計算其廢氣絕熱燃燒升溫 (℃)？

解答：$\triangle T=(\triangle H_c \times C)\div(\rho_g C_p)=(7{,}090\times 15.23\times 10^{-3})\div(1.293\times 0.25)=334$℃。

27. 某廢氣絕熱燃燒升溫為334℃，以RTO處理，其燃燒效率為95%，爐床熱損10℃，廢氣進氣溫度為90℃，試計算RTO排氣溫度？

解答：RTO排氣溫度=(334℃×0.95−10℃)+90℃=397℃。

28. 廢氣VOCs濃度為500 mg/$m^3$時，請由高至低，排列常見廢氣處理技術之處理費用？

解答：火焰焚化>觸媒焚化>轉輪吸附濃縮>蓄熱式焚化>生物濾床/生物洗滌。

29. 某廢氣流量為136 $Nm^3$/min，以焚化法處理，其進氣溫度為355℃，空氣密度 ($\rho_g$) 為1.293 kg/$Nm^3$，空氣比熱 ($C_p$) 為0.25 kcal/kg℃，設定排氣溫度為397℃，試計算輔助熱能需求？

解答：輔助熱能需求=136 $Nm^3$/min×60 min/hr×1.293 kg/$Nm^3$×(397−355)℃×0.25 kcal/kg

=110,784.24 kcal/hr。

30. 請列出「脫硝反應」化學平衡式？

解答：$4NH_3+4NO+O_2\rightarrow 4N_2+6H_2O$。

**6.2 案例二：含丁酮 (MEK) 排氣之生物濾床處理**

31. 某廢氣流量為99 $Nm^3/min$，溫度為85℃，空氣密度 ($\rho_g$) 為1.293 $kg/Nm^3$，空氣比熱 ($C_p$) 為0.25 kcal/kg℃，今欲以噴霧洗滌塔降溫至35℃，請計算所需水量？

解答：降溫需水量=氣體降溫除熱量 (kcal/hr)÷降溫噴水蒸發需熱量 (540 kcal/kg水)

$=99\ Nm^3/min \times 60\ min/hr \times 1.293\ kg/Nm^3 \times (85-35)℃ \times 0.25\ kcal/(kg℃) \div 540\ kcal/kg$

=178 kg/hr。

**6.4 案例四：以活性碳吸附法收集排氣中揮發性有機物**

32. 某廢氣流量為1,000 scfm，甲苯濃度5,000 ppm，排氣溫度100℉，今欲以採一活性碳吸附槽附揮發性有機物，每次操作8小時後執行再生，其使用之活性碳量至少需要多少？(假設排氣甲苯濃度為0 ppm，重複使用活性炭的情形下，每磅活性碳能吸附甲苯量為0.18 lb/lb)

解答：排氣流量=1,000 scfm×$2.59\times10^{-3}$ lbmol/scf=2.59 lbmol/min

排氣流量中含甲苯量=2.59 lbmol/min×92 lb/lbmol×0.005

=1.19 lbmol/min=0.009 kg/s

操作8小時累計甲苯累計總量=1.19 lb/min×8 hr×60 min/hr

=572 lb=260 kg

活性碳用量計算=572÷0.18=3,180 lb=1,442.42 kg

**柒、空污控制系統試車驗收作業**

33. 空污控制系統試車作業為空氣污染控制設備建造安裝完成後，於正式啟用前，需經過一系列的試驗性操作，包含哪些過程？

解答：包含單機測試、系統測試、負載運轉及調整以及功能驗證等程序。

34. 試車包含哪些程序？

解答：所謂的空污控制系統試車作業為於空氣污染控制設備建造安裝完成後，於正式啟用前，需經過一系列的試驗性操作，其過程包含單機測試、系統測試、負載運轉及調整以及功能驗證等程序後，以確認控制設備功能是否可達到設計要求。此外，透過試車程序，可發現並修正設計時未考量到的缺失，使系統於正式上線時，可以達到穩定運轉的效果。

**7.2 單機測試作業**

35. 單機測試的目的在於確認各項設備、儀表及控制盤的功能單體運作正常，單機測試前有哪些準備工作？

解答：1. 操作維修手冊之研讀。
2. 設備供應商提供之設備手冊及相關注意事項。
3. 準備單機運轉測試紀錄相關資料。
4. 對設備本體運轉測試前，應先檢視下列項目：
(1) 馬達側與被傳動側之間的連接方式 (無論聯軸器、皮帶或鏈條、作動器等) 均應確實連接，並經對正及鎖緊。
(2) 做好設備之整理工作 (清除設備上任何異物及周遭有礙物品)。

36. 管線清洗的目的為何？

解答：目的主要是去除管內焊渣、鐵屑及雜物等殘留物，期使全廠試車或試燒時，不致因上述物質的高速撞擊，而破壞管線上設置的儀表及設備。

37. 電氣性能測試目的在於確認系統各項電氣設施施工符合設計需求。以利後續系統測試之進行，其內容包含？

解答：1. 在單元測試之前配電盤及控制盤應先行檢測，以便單元試車能順利進行。
2. 靜態迴路測試，執行現場至中央控制室間之儀控設施之功能驗認。
3. 量測及控制儀器測試及校正作業。
4. 自動控制迴路測試確認，以及協調參數預估值建立。

**7.3 系統測試作業**

38. 系統測試可區分為哪兩類？

解答：1. 第一類為與主流程無涉者，可單獨執行試運轉調整。
2. 第二類為系統中有較複雜之連動關係者，其測試調整工作可確認系統內各單機及與其他系統設備之間互動順暢，以達到系統較穩定之操作狀況。

39. 系統測試工作內容包含哪些？

解答：1. 系統參數設定：

(1) 液位、溫度、壓力、流量、時間控制器等警報值及控制設定點的建置。
(2) 警報等級建立。

2. 控制程序查核：
(1) 確認系統作動符合控制邏輯規劃。
(2) 修正改善設計程序。

3. 連續運轉測試。

**7.4 負載運轉及調整作業**

40. 試運轉及負載調整作業包含哪些工作內容？

解答：1. 操作參數調整。
2. 水、電、化學藥品的消耗量測試。
3.污染控制效能測試，確認控制系統是否達到設計之去除效率。
4. 負載測試：
(1) 試車期間須針對不同的負載進行測試，以確保系統於不同負載下均可達到穩定的運轉效能。
(2) 負載選擇至少須包含連續最大負荷 (設計操作點)、設計最大負荷 (允許過載量)、設計最低負荷。
5. 連續運轉測試：觀察設備長時間運轉的穩定性，其時間不宜過短。一般焚化廠連續運轉測試時間約1~2個月。

**7.5 功能驗證作業**

41. 功能驗證作業包含哪些內容？

解答：1. 環境保證測試。
2. 操作參數保證測試。
3. 污染控制效能測試。
4. 控制系統容量保證測試。
5. 水、電、化學藥品的消耗量保證測試。

**7.6 驗收作業**

42. 驗收作業包含哪些內容？

解答：1. 竣工資料：
(1) 廠區配置圖、整廠處理流程圖、電器及儀控圖等。
(2) 設備清單、設備檢驗報告。
(3) 消防系統 (含火警警示系統)、土建設計圖。
(4) P&ID圖、控制迴路圖。

2. 功能驗證結果審核：
   (1) 系統及單機測試報告，至少含測試項目、測試程序與方法、測試日期、測試數據等。
   (2) 功能驗證報告，記錄各污染物排放數據，與測試期間操作每日報表，以及水、電、化學藥品各項之消耗量等。
3. 契約、履約文件：
   (1) 原設計圖說及規範、設計變更文件、施工過程有關函文及會勘紀錄等。
   (2) 興建期間之環境品質監測結果執行摘要及試車期間空氣污染物排放檢測結果，依照「公私場所固定污染源試車及評鑑規則」規定，於試車前提出空氣污染物排放檢測計畫並執行之。
4. 空氣污染控制相關設備之操作維護手冊，內容涵蓋設備操作程序、原廠設計圖說、零件備品規格與清單、常見故障排除方法、設備控制連控與連鎖邏輯等。
5. 備品、耗材點交，包含備品清單及庫存耗料等清單。
6. 教育訓練：針對空污控制系統移交後操作維護單位進行教育訓練，包含現場設備起停程序與操作方式、中央控制室分散式控制系統 (DCS) 操作及系統參數設定、設備異常問題判斷與排除、設備維護保養流程與頻率設定等，需有合格證照之專責教育講師或技師，且擬定人員考核制度及安排適當之教學訓練課程、教材供學員研讀。