

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

先進國家處理垃圾的主要方法為焚化，其藉高溫氧化將垃圾轉變為安定的物質和氣體，不僅將體積減至原來的十分之一，並可回收能源及其他有用資源，此現代化的垃圾焚化廠一般稱為垃圾資源回收廠。

中央政府於八十年訂定「垃圾處理方案」以「焚化為主、掩埋為輔」為垃圾處理之主軸，並訂定「臺灣地區垃圾資源回收（焚化）廠興建計畫」，目前已完工操作之公有公營焚化廠 5 座，公有民營焚化廠 16 座，民有民營焚化廠 2 座，共有 23 座。

焚化廠為汽電共生廠，係以廢棄物做燃料，產生之熱能經鍋爐、汽輪機發電。汽電共生型的垃圾焚化廠，就部份流程而言，很類似一座火力電廠。兩者都是利用燃燒加熱鍋爐，產生高溫高壓蒸氣，推動渦輪發電機發電，而焚燒產生的廢氣，也都必須經過廢氣處理設備處理後排放。

目前國內運轉中之焚化廠典型的處理流程大同小異，主要流程包括垃圾收受流程、灰渣及飛灰處理流程、廢氣處理流程、廢水處理流程、蒸汽發電系統流程、空氣流程，研究個案之垃圾焚化廠其廢氣處理系統係由旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器串聯而成，以有效去除空氣污染物符合排放標準。

## 1.2 研究目的

本文研究之垃圾焚化廠可兼具環保、觀光與教育的功能，參觀之民眾亦眾，所以如何確保焚化廠的安全，以避免任何危害之發生，是項嚴肅的課題。

焚化廠內有高壓鍋爐、汽輪發電機、壓力容器等危險設備，系統主要分為進料、燃燒、空氣污染防治、廢水處理等系統，其中有關空氣污染防治系統，一旦故障，如不採取停爐措施，其排放之污染物將擴散至環境，造成環境之污染，屆時焚化爐不但不能處理廢棄物，且會產生空氣污染，其影響相當之大。

故思忖以焚化廠之空氣污染防治為研究對象，研究目的為探討焚化廠空氣污染防治設備其可能產生失效模式之種類與對焚化廠、環境造成之影響，並對空氣污染防治設備失效之各種模式組合做空氣模擬，包括失效模式產生最大危害時之空氣模擬，計算污染濃度，評估焚化廠在空氣污染防治設備失效時，其排放物對周界空氣品質的影響。



### 1.3 研究方法與範圍

焚化廠系統有進料、燃燒、空氣污染防治、廢水處理等系統，各系統息息相關，如果某一系統失效，將會影響焚化廠之正常運轉，輕則設備損壞，重則危害到生命、財產。其中空氣污染防治系統一旦失效，除了焚化廠停爐，對於外界影響將會造成空氣污染，在以環保為優先考量下，選擇空氣污染防治系統為研究對象，日後可以擴及焚化廠各系統作研究。

本研究以焚化廠之空氣污染防治設備為研究對象，其範圍為空氣污染防治系統，包括旋風分離器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器等次系統，再劃分設備單元及元件，以危害分析方法之失效模式與效應分析做研究方法，探討其失效之模式種類，及可能對系統造成之影響，進而加以事先預防，並輔以營運六年之實際狀態，並對空氣污染防治設備失效之各種模式組合做空氣模擬，探討其污染物濃度及影響。



## 1.4 研究流程與步驟

本次研究流程如圖 1.1-1 所示，其作業內容及有關步驟將列述如下：

- (1) 研究主題之界定
- (2) 根據研究主題，蒐集國內外相關文獻資料，加以彙總探討
- (3) 個案研究對象之確認
- (4) FMEA 分析手法之瞭解
- (5) 空氣污染防治系統APCD之瞭解
- (6) 建立空氣污染防治系統APCD之機能可靠性關聯圖
- (7) 進行空氣污染防治系統之FMEA分析
- (8) 計算風險優先指數（RPN）
- (9) 失效可能造成之影響
- (10) 失效模式之空氣模擬
- (11) 結論與建議



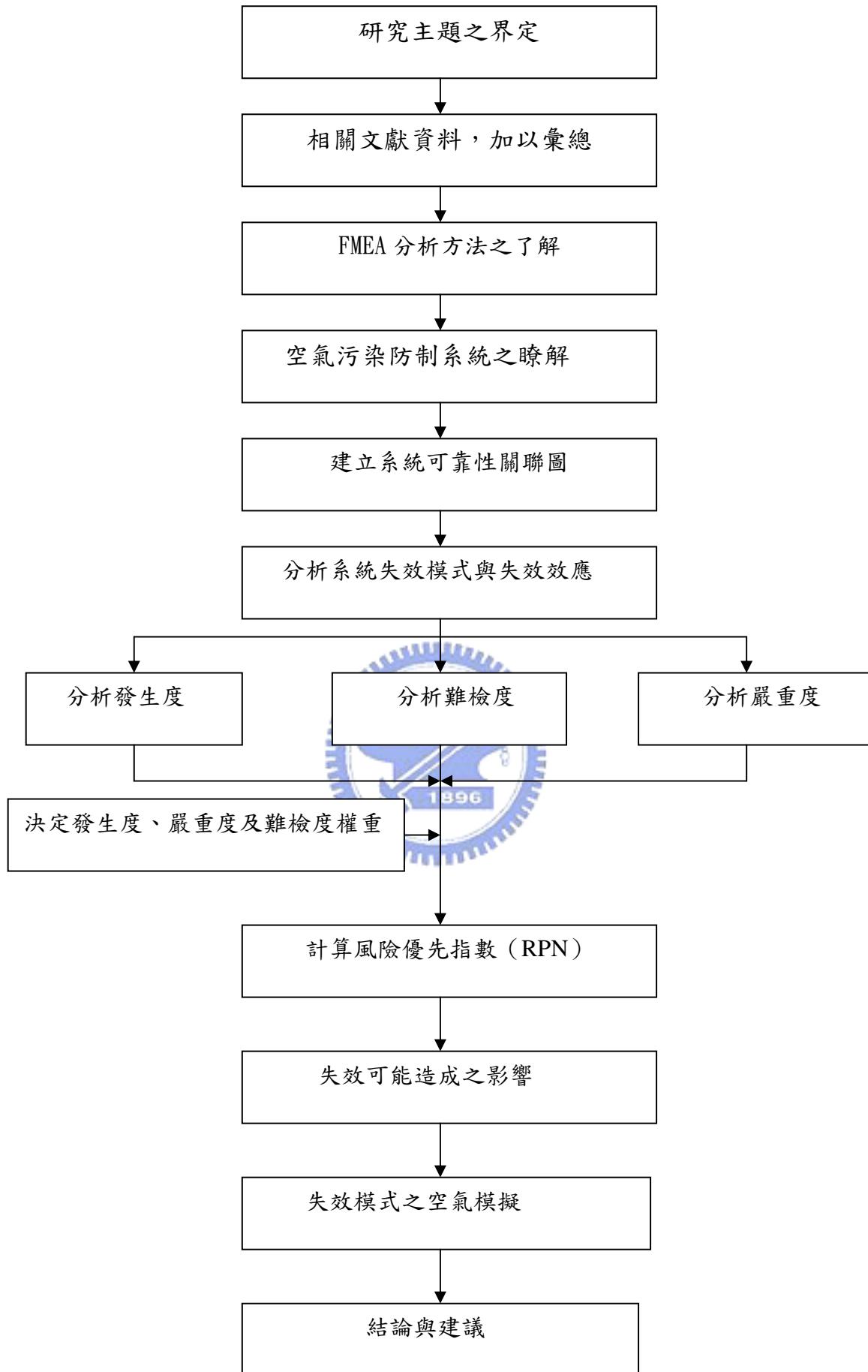


圖 1.1-1 研究流程圖

## 第二章 文獻探討

### 2.1 高危險性工作場所審查規定與危害分析技術

#### 2.1.1 國內外對於高危險性工作場所審查或檢查規定

一、美國於 1992 年增訂公布 Occupational Safety and Health Act(OSHA ACT)將 Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals 納入該法案中，要求對於高危害製程實施安全管理，並應每五年更新一次。

製程安全管理內容包括：

製程安全資料(Process Safety Information)、製程危害分析 ProcessHazard Analysis)

操作程序書(Operating Procedures)

訓練(Training)、承攬商(Contractors)

開機前安全複審(Pre-Startup Safety Review)

設備完整(Mechanical Integrity)

動火許可制度(Hot Work Permit)

設施或操作之變更管理(Management of Change)

意外事故調查(Incident Investigation)

緊急應變計畫及處置(Emergency Planning and Response)

法規符合性查核(Compliance Audit)

二、英國於 1984 年公布 Health and Safety at Work Act 要求對於工業重大意外危害之控制提出 Occupational Safety and Health Administration Act(CIMAH)報告，其報告書應每三年更新乙次，其主要內容如下：

第一種：(不需申報核准，但應完成備查)

事業單位應完成且隨時更新下列最新資料：

A. 鑑認出重大意外危害

B. 採行適當措施以防止重大意外及降低其對人員及環境影響，並提供場內人員必要之資料、訓練及設備以確保其安全性。

C. 重大意外事故立即通報

第二種：

A. 完成書面報告並於開工前先期提報主管機關，內容包括：

- a. 危險性物質相關資料。物質名稱及數量、測定方法、危險性質、純度及不純物百分比等
- b. 作業設施相關資料
- c. 作業之控制管理系統相關資料
- d. 重大潛在危害之相關資料

B. 完成緊急應變計畫

C. 主動向工廠外會受影響之人員提供資料

三、日本於 1976 年(昭和 51 年)12 月 24 日發布有關化學工廠之安全評估之相關指針，要求各企業於化學工廠之設立或變更時，應依該指針進行安全性之事前評估，且於開工前完成並經核備。

其主要內容為以製造、儲存化學物質為目的而進行化學工廠等新設、變更時，應分為以下六個階段實施安全評估：

第一階段：相關資料之蒐集檢討。

第二階段：定性的評估。

第三階段：定量的評估-計算危險度。

第四階段：安全對策。

第五階段：依災害資料作再評估。

第六階段：屬於第一級危險度者應再實施失誤樹分析(故障樹分析 FaultTree)或危害可操作性分析(HazOP)

四、在歐洲則以荷蘭較具代表性，荷蘭於 1982 年公布 The Working Environment Act，要求高危險製程工廠於開工前三個月應完成製程危害分析之報告書，而既有之工廠則依據階段因素，分期實施並逐次廣大適用範圍，其製程安全應每五年更新報告書。

五、我國於民國 82 年 2 月公布勞動檢查法，其中第 26 條規定下列危險性工作場所非經勞動檢查機構審查或檢查合格，事業單位不得使勞工在該場所作業。

從事石油裂解之石化工業之工作場所。

農藥製造工作場所。

爆竹煙火工廠及火藥類製造工作場所。

設置高壓氣體類壓力容器或蒸汽鍋爐，其壓力或容量達中央主管機關規定者之工作場所。

製造、處理、使用危險物、有害物之數量達中央主管機關規定數量之工作場所。

中央主管機關會商目的事業主管機關指定之營造工程之工作所。

其他中央主管機關指定之工作場所。

行政院勞工委員會並於 83 年 5 月 2 日發布危險性工作場所審查暨檢查辦法【1】其中第四條規定應經勞動檢查機構審查之危險性工作場所如下：

甲類工作場所：從事石油產品之裂解反應，以製造石化基本產料之工作場所或製造、處置、使用危險物、有害之數量達規定數量之工作場所。

乙類工作場所：從事農藥原體合成之工作場所或利用氯酸鹽類、過氯酸鹽類、硝酸鹽類、硫、硫化物、磷化物、木炭粉、金屬粉末及其他原料製造爆竹煙火類物品之爆竹煙火工廠或從事以化學物質製造爆炸性物品之火藥類製造工作場所。

丙類工作場所：設置處理能力一日在一百立方公尺以上或冷凍能力一日在二十公噸以上(使用氟氯烷為冷媒者，其冷凍能力為一日五十公噸以上)之高壓氣體壓力容器或設置傳熱面積在五百平方公尺以上之蒸汽鍋爐之工作場所。

丁類工作場所：指定之營造工程工作場所。

## 2.1.2 國內外常用之危害分析方法

### 一. 危害分析方法簡介【2】【3】

依據我國危險性工作場所審查及檢查辦法規定，危險性工作場所必  
需要實施安全評估，而其安全評估的法定方法主要有三種分別是

1. 危害及可操作性分析(Hazard and Operability Studies, HazOP)
2. 失誤樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA)
3. 失效模式及效應分析 (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)

除上述之方法外，安全評估分析法尚包含下列數種：

- (1)文獻搜尋／工廠實地勘查 (Literature Search / Industry Survey)
- (2)初步危害分析 (Preliminary Hazard Analysis)
- (3)相對危害分析 (Relative Ranking)

火災爆炸指數 (Dow Fire and Explosion Index)

化學物質曝露指數(Chemical Exposure Index)

蒙德指數 (Mond Index)

- (4)工廠巡查 (Plant Walk - Through)
- (5)檢核表分析 (Checklist Analysis)
- (6)安全稽核 (Safety Audit)
- (7)安全審核 (Safety Review)
- (8)如果…會如何？／腦力激盪 (What - If / Brainstorming)
- (9)原因一後果分析 (Cause - Consequence Analysis, CCA)
- (10)事件樹分析 (Event Tree Analysis, ETA)
- (11)人為失誤預測技術或人為可靠度分析 (Human Reliability Analysis, HRA)
- (12)人為錯誤率預測技術 (Technique for Human Error Rate Prediction, THERP)
- (13)成功或然率指數法 (Success Likelihood Index Methodology, SLIM)

(14) 維修人員執行模擬 (Maintenance Personnel Performance Simulation, MAPPS)

(15) 操作員行為樹法 (Operator Action Tree Method, OAT)

(16) 損害防阻專業實地查勘 (Loss Control Survey, LCS)

以下即針對危害及可操作性分析、失誤樹分析與失效模式及效應分析等危害分析技術進行探討。

## 二. 危害及可操作性分析(Hazard and Operability Studies, HazOp)

### (一) 危害及可操作性分析之發展

英國 ICI 公司為解決除草劑製造過程中的危害，於 1960 年代發展出一套引導詞為軸心的分析方法，以檢視設計的安全性以及危害的因果機制。此項努力持續到 1970 年代初期，創造出定性危害分析的新技術—危害與可操作性分析。

### (二) 何謂危害及可操作性分析

危害及可操作性分析 (Hazard and Operability Study, HazOp)，是一種簡單但具有結構性的危害鑑定方法，其使用富於創造性、系統性的方式來找出製程的危害及操作上的問題，並謀求改善。HazOp 分析技巧是由幾個不同背景且受過專業訓練的成員 (HazOp 小組)，利用一系列的會議大家互相交換意見，激發想像力，使用腦力激盪，運用指定的方式，有系統的針對製程或操作上的特定點找出具有危害之偏離，或偏離的原因及後果，並提出具體改善對策。這些偏離是由一組已建立的引導字，和參數的組成，使用引導字是要確保所有與製程有關之偏離均被評估而不會遺漏。

HazOp 其所以會被廣泛應用在工廠中，主因在其可經由系統化地毯式分析討論，尋找出操作及設計安全上之盲點，減少危害分析之遺漏，更可因各專家間彼此討論所交換之安全設計或操作經驗及觀點以提昇工廠整體之安全。

### (三) 危害及可操作性分析之特性及其應用

危害及可操作性分析是由引導字及製程參數的結合而產生有意義的製程參數偏離，危害及可操作性分析需要大量的時間和一群不同背景的專家以一種創造性、系統性的方式相互交換意見，提供工廠再設計或生產時各個專業人員之參考，作為消除或控制危害之依據，並將所得到的結果整合起來，以期徹底找出工廠中潛在的危害，此法比個人獨自工作的方式可以鑑認出更多潛在性的問題。

其所以會被廣泛應用在工廠中，主因在其可經由系統化地毯式分析討論，尋找出操作及設計安全上之盲點，減少危害分析之遺漏，更可因各專家間彼此討論所交換之安全設計或操作經驗及觀點以提昇工廠整體之安全。

## 三、失誤樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA)

失誤樹分析是一套相當普遍且好用的危害評估系統，它既可以做定量分析計算危害發生的機率，也可以做定性分析分析危害發生的原因、評估其所造成之效應。有鑑於此，透過失誤樹演繹邏輯之分析，即可瞭解意外事故之種類、事故發生過程及發生原因。

### (一) 失誤樹分析之起源

在早期美國的航空工業及國防工業經常發生意外事故造成許多的傷亡，因此美國空軍委託貝爾實驗室 (Bell Lab.) 發展一套能夠在事故發生前預估其發生之原因和發生機率的定量定性二合一的風險分析方法。1961 年，H. A. Watson 和 A. B. Mearns 研發出一種利用邏輯圖形來進行風險定性和定量分析之方法，由於此種分析方法分析出來的圖形有如樹枝一般，所以此種方法就被稱為失誤樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA)。

### (二) 失誤樹分析之基本邏輯觀念

失誤樹分析是一種利用圖形邏輯運算閘來進行危害分析的一套危害分析系統，它的基本邏輯觀念就是由一個意外事件的結果作為起點，透過分析人員的思考及邏輯閘的運作一步一步去推導其發生事故的基本原因，然後算出其意外事件發生的機率，在基

本的架構上失誤樹分析屬於一種演繹法。

### (三) 失誤樹的定性分析

事業單位利用失誤樹分析來推估意外事故發生之最基本的原因、潛在的原因及整個意外事故發生的過程，這就是失誤樹的定性分析，它的主要方法與程序如下所敘：

選擇欲分析的意外事件，進行失誤樹的定性分析首先要選擇欲分析的意外事件，該事件就是整個失誤樹系統中最上層的事件（頂上事件）。

建立失誤樹的圖形，以頂上事件為起點，為開始進行失誤樹分析，分析的流程以上果下因為原則（上面為事件的結果為下面事件發生的原因）透過專業的思考及邏輯閘的運作一步一步的將失誤樹分析圖建立起來，其方法如圖 2.1-1 所示：

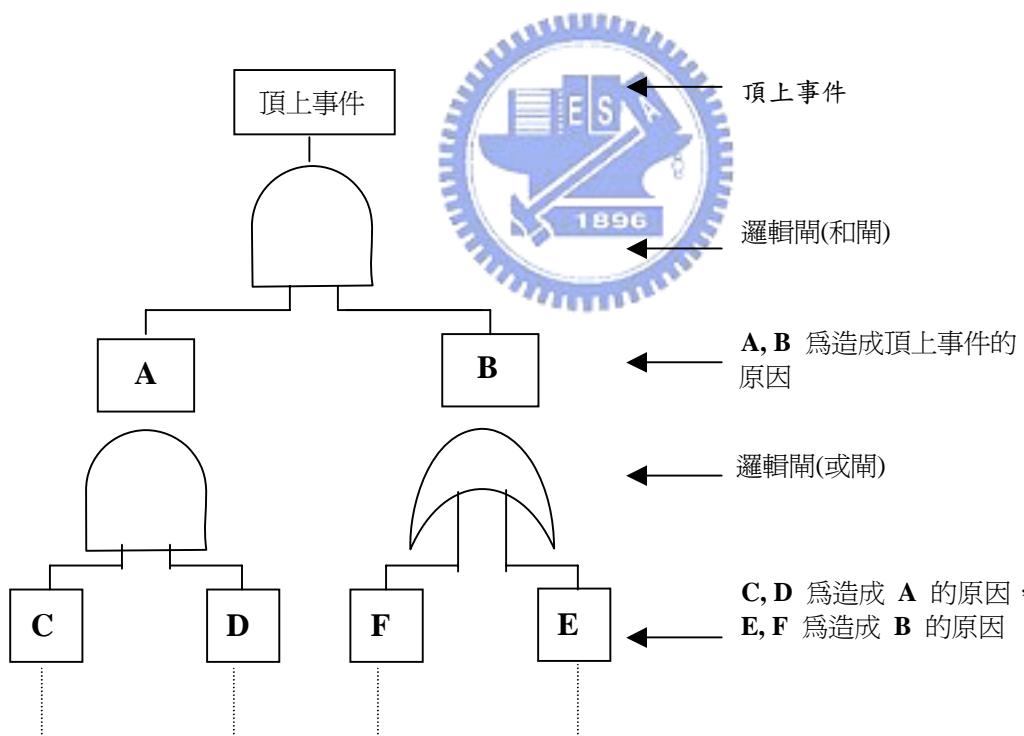


圖 2.1-1 失誤樹分析圖

#### (四) 失誤樹分析之程序

運用失誤樹進行定性危害分析，其整個分析的程序為

##### 1. 選擇欲分析的設備

失誤樹分析的第一個步驟，即是選擇要進行分析的設備。

##### 2. 收集欲分析設備的相關資料

收集所有與欲分析設備有關的操作程序資料並將其資料予以彙整。

##### 3. 模擬該設備所可能發生的意外事件

分析所收集之設備相關資料，以這些資料為基礎，配合國內外相關案例之統計資料，透過專業的思考及判斷，去模擬設備所可能產生的意外事故

##### 4. 選擇失誤樹的頂上事件

將模擬出的儲槽意外事故（模擬事件）做整理及整合，然後選擇具代表性的模擬事件作為失誤樹的頂上事件。

##### 5. 建立失誤樹分析圖

以頂上事件為起點，透過專業的思考及邏輯閘的運作將失誤樹分析圖建立起來。

##### 6. 失誤樹定性分析

以失誤樹分析圖為基礎，觀察設備意外事故之種類、事故發生的過程及事故發生之基本原因，並專業的思考判斷其合理性，選擇其中較符合現實情況者，以進行後續之災變後果模擬的工作。

## 四、失效模式及效應分析 (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA) 【4】【5】【6】

失效模式及效應分析 (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)，具有詳細的格式，對設備清單內的每一設備／零組件一一分析，以故障模式出發，細究造成原因，探討其將導致的後果，賦予關鍵等級或嚴重等級，並由各資料庫查得發生的可能性，最後是提出改善意見或檢測建議。此法如應用於建廠初期，可輔助設計，建立高可靠度、高維護度、而且是安全的系統，此方法對於化工製程有詳細的格式。

FMEA 是評估製程中設備可能失效或不當操作之途徑及其效應之分析方法。分析人員可依據這些失效之描述，作為改善系統設計之基礎資料。分析人員在進行 FMEA 時會對設備可能產生的失效與其潛在的效應作一詳細的描述，如果不針對這些失效進行改善或對其可能的效應進行預防，則系統雖然順利運轉，但這些潛在的失效仍有可能會發生，進而造成財產損失或人員傷亡。

失效模式旨在描述設備的失效情況(如：全開、關閉、啟動、停止運轉、洩漏等等)，而失效模式的效應則由系統對設備失效的回應狀況來決定，因此，人為操作上的錯誤通常不直接由失效模式及效應分析技術來檢討，不過，因人為錯誤所導致操作之結果通常是一設備的失效模式。至於要無遺漏的列出會導致事故發生之設備失效的結合模式，失效模式及效應分析並不是一個很有效的分析技術，因為 FMFA 是以設備元件的失效模式來引導危害分析之進行，不似 HazOp 是利用製程偏離(Process Deviation)來進行危害分析，故 HazOp 所探討的空間較 FMFA 來得大，除了設備元件故障外，更廣及於人為失效、材料劣化、上下游製程單元之效應、公用系統失常、操作程序設計不當等。

在 FMEA 中所探討的每一種失效皆為獨立事件(Independent)，與其它失效並無關係，不過在特定的環境下，須考慮系統元件的 Common Cause Failure。FMEA 之結果通常會依設備逐項記入一特定的表格中(如表 2.1-1)。FMEA 為一定性分析技術，若要探討其風險，則需使用失效模式、效應及嚴重度分析(Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis, FMECA)。失效模式及效應分析之目的在於鑑認單一設備和系統的失效模式，以及每一個失效模式對系統或工廠的潛在效應，並提出可增加設備可靠度之改善建議，藉以提升製程的安全性。

表 2.1-1 FMEA 工作表

日期：	頁數：	之				
工廠：	系 認：					
參考：	分析人員：					
項目	製 程 說 明	備 摘	述	失 故 模 式 影 韻	安 全 防 穩	建 議

註：本表引用自勞委會製程安全評估教材

## 五、危害分析方法選用原則

危害分析之主要目的是了解危害進而控制危害，因此分析人員除了必需具備相關化工、機械、電機及安全衛生等相關知識與技術外，對於製程控制與工程實務亦需有一定的經驗，並以群組合作，系統化之分析始能克竟全功。然而國內傳統產業中具備安全評估技術之人才不可多得，因此在執行上仍遭遇相當困難，但為了辨識主要危害或潛在重大危害，HazOP、FTA 及 FMEA 係目前國內最普遍使用且為政府認可之化工製程危害評估主要方法之一，今將其選用原則概述如次以供參考。

危害分析方法之選用原則：

- (一) 確認評估目的：方法之選擇必需依據評估目的而定，否則徒勞而無功。
- (二) 確認評估對象、範圍及製程特性：小區域之評估，方法之選用彈性大，倘評估範圍大，製程複雜，則必需考量先以 PHA 將重大潛在危害之製程區域篩選出來，再依據製程與危害特性選擇更進一步分析之方法，化工製程以 HazOP 較為適用，若如高壓氣體特定設備或壓力容器等則 FMEA 或 HazOP 皆可採用。倘評估對象係以一般機械設備或作業活動為主，則以檢核表(check list)或作業安全分析(JSA)為佳。
- (三) 確認可資運用之資源：危害分析可以簡易到 1-2 人，半天執行完成，也可複雜到 1-20 人執行半年，其所需要之人力，財力，物力及專業技術係依評估目的與範圍對象而定，因此方法之選用必需衡量自我之能力，適用最重要，量化分析需要的資訊、技術層次更高，其結果仍是作為改善之參考，但若工廠中並無以往事故、維修、設備保養等歷史紀錄則分析結果與定性分析比較，並不會更可靠，以國內之傳統產業而言，危害分析到定性評估，作為改善之參考應已足夠。

(四) 確認評估所需完成之時間：危害分析方法的選擇時間亦是重要考量之一，單一製程單元以 HazOP 分析，至少三個工作天(每條管線以 2 小時推估)，製程多寡與複雜度則等比增加，若一份適用的 Check-list 由一個經驗者來執行，可能在半天之內可完成，但複雜度高之製程，單用 check-list 恐仍無法辨識各種潛在危害，因為在國內傳統產業中並未能發展出各種製程皆可運用之檢核表。

(五) 其他考量因素：包括建廠、操作或除役階段其採用之評估方法亦不盡相同，茲檢附製程各階段之危害分析適用方法如表 2.1-2 供參考。

本研究是以焚化廠空氣污染防治系統作對象，屬正常運轉狀態下，其危害分析方法可選用相對危害等級分析、危害與可操作性分析、失效模式及影響分析、失誤樹分析、安全稽核等，選以失效模式及影響分析做研究，日後可用其他研究方法，並做交叉驗證。

表 2.1-2 製程各階段之危害分析適用方法

製程階段 評估方法	製程研發	基本設計	試驗工廠	細部設計	建廠階段	試車階段	正常運轉	擴廠或修改	停廠卸除
文獻Survey	●								
如果一會如何	●	●							●
初步危害分析		●							
檢核表	●	●	●		●	●	●		●
相對危害等級分析		●						●	
危害與可操作性			●	●			●	●	
失誤模式及影響				●		●	●	●	
失誤樹分析				●			●		
工廠巡查					●	●			
安全稽核							●		

## 2.2 失效模式與效應分析

### 2.2.1 FMEA介紹

在 1950 年初，飛機由螺旋槳推進進入噴射引擎時代，而其操控系統亦逐漸複雜到精密的電子儀器時代，而此設計在當時可靠度並不高，為了防止在飛行時，因該裝置的突然故障而導致飛行員喪命的情形，格魯曼公司開發出而 FMEA 的手法，成功的應用在設計時之可靠度設計評價上，1963 年美國國家航空太空總署推斷阿波羅計畫時，於契約中要求供應商必須實施 FMEA，因此在美國重要之太空計畫上【7】，FMEA 對可靠性之評價，方開始被廣泛的使用，且成效極大，因此美國軍方及工業界也開始使用 FMEA 在設計審查作業中。美國軍方並於 1974 年出版之軍用標準 MIL-STD-1629 中規定 FMECA(Failure Mode ; Effects and Criticality Analysis)為標準作業程序【8】。

在 70 年代，美國汽車工業受到國際間強大的競爭壓力，而努力導入國防與太空工業的可靠度工程技術，以提高產品品質與可靠度，FMEA 即為當時所使用的手法之一。到了 80 年代以後，許多汽車公司開始發展內部的 FMEA 手冊【9】，此時所發展的分析方式與美軍標準有所區別，最主要的差異在於引進定量的評分方式評估失效模式的關鍵性，後來更將此分析方法推廣應用於製程的潛在失效模式分析。

在 1993 年美國三大汽車廠 - 通用汽車 (GM)、福特 (Ford) 與克萊斯勒 (Chrysler)，在美國品管協會汽車分會 (ASQC) 及汽車工業行動組 (AIAG) 的贊助下，針對汽車工業所使用的所有零組件，制訂了一套『潛在失效模式與效應分析參考手冊』，確立了 FMEA 在美國汽車工業的必要性，並統一其分析程序與表格。

目前 FMEA 已經應用在太空、航空、國防、電子、機械、電力、造船以及汽車等產業，認為 FMEA 是一種有效的可靠度分析技術，值得推廣。

## 2.2.2 FMEA 之應用

失效模式與效應分析為產品設計及製程規劃過程的一種前先預防的分析工作，可協助設計工程人員儘早發現產品或製程設計下之弱點、潛在性的缺陷，在產品或製程設計初期先做改善，以降低其影響的程度，提高製程對不良品檢測能力，在正式生產前就能對產品之設計、製造、製配方法及程序進行改善，以增加產品之品質與可靠度，並節省其成本和增加競爭力。

FMEA的技術應用在研發新產品，或零組件等系統之可靠性分析稱為「設計FMEA」。設計FMEA是指從概念定義到設計確定的整個研究發展過程中的一項分析手法，目的在預先發掘出潛在的失效模式，在檢討、評估不同失效模式，對產品功能所造成的影響程度，以決定改進設計的優先順序，並有效的防止失效發生。為求達成其效益，設計FMEA必須配合設計發展的程序反覆進行。主要目的在於發現系統設計中的疑點，透過嚴謹的分析作業，確認所有失效模式於系統設計中，所有會造成嚴重失效的原因與可能性，以便儘早提出設計變更或修改，產品的設計最佳化。

FMEA 技術應用在製造組裝過程之分析稱為「製程 FMEA」。製程 FMEA 應以新製程或經修改之製程為對象，並在正式生產開工前，於品質規劃階段中實施。主要目的在利用 FMEA 技術分析製程中每一步驟可能的潛在失效模式及影響程度，並找出失效模式發生的原因與發生機率，尋找各種可能的方法以避免失效模式發生或降低其發生率，減少會影響程度或提高製程不良之檢出能力，以便在正式生產前就能預先改善其製程設計，以利產出合乎品質、成本、時間所要求的產品。

表 2.2-1 FMEA 相關的研究成果簡介

時間 (年)	作者	文獻名稱	主要貢獻	對象
2005	葉瑞徽	模糊理論於失效模式與效應分析之應用—以汙水處理廠為例	提出一種以模糊理論為基礎的重要性評估手法，並進一步以一座污水處理廠為例，分別以傳統的失效模式與效應分析與以模糊理論為基礎的失效模式與效應分析來進行該污水處理系統的可靠度分析	汙水處理廠
2004	陳俊維	FMEA 應用於提昇潔淨室 H. V. A. C. 系統可靠度之研究【10】	以失效模式與效應分析來分析潔淨室 H. V. A. C 系統內潛在之失效模式，並對此系統可能造成之不良後果提出適當之改善作業以防止故障的發生。	空調系統
2004	李坤依	失效模式與效應分析於雷射蓋印機台之應用與案例改善以個案公司為例【11】	應用於半導體測試廠的雷射蓋印機台進行評估其失效模式，針對風險領先指數較高的子系統提出合理且有效的解決方案，並驗證此方案是有效益的。	半導體廠
2004	何錦忠	以風險分析為概念的失效模式與效應分析之發展與應用-以汽車零組件業之個案研究【12】	以失效模式與效應分析為方法，補以風險分析與管理思維來預防或消除風險，應用於汽車產業製程階段中的品質管理與改善，藉此預測所有可能會發生之問題，並且能預先採取對策，杜絕所有問題提升產品之可靠性。	汽車產品
2004	湯群輝	以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統	利用失效模式效應分析、特性要因分析 (Cause and Effect Diagrams) 以及故障樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 分析問題點，以追蹤因設計缺失所導致的問題點並建立設計屬性與設計時的檢核表作為避免問題點重複發生的預防機制，以求可以在產品設計階段將後續製造所可能產生的問題點 design out 以縮短因發生問題點所造成的產品延誤上市，進而提升企業的競爭優勢。	電子組裝業
2004	李浩承	失效模式與效應分析(FMEA)應用於營造業品質管理系統之研究	運用失效模式與效應分析評估手法，以辨識潛在的失效模式，分析失效風險的特性，使營造業於施工規劃時即進行品質管理的事前改進，取代事後的改善的消極作法，以積極即主動方式，謀求改善各種可能之問題及缺失，以提升營造工程之品質。	營造工程
2003	何鎮宙	電子產品失效模式與效應分析～以七合一讀卡機為例	以失效模式與效應分析之風險優先數法，分析七合一讀卡機系統潛在的失效模式。利用可靠度方塊圖，分析低層次組件失效對較高層次系統的影響，據以建立生產時之失效管制方案。使在失效發生前減少發生機會，提	七合一讀卡機

時間 (年)	作者	文獻名稱	主要貢獻	對象
			高產品可靠度。作者並利用模糊理論，將各相關意見整合成明確的評點，務使執行專案時，因認知不同導致結果產生誤差的可能性降至最低，且使得相鄰分數的尺度更為合理。	
2003	楊朝鈞	構建航空站空側風險架構之研究-FMEA 之應用【13】	提出失效模式與效應分析可以系統化、數據化的方式增加航空業維護硬體設施之效益，以提昇飛安品質外，並結合可靠度中心式維修手法(RCM)以最合理的成本將危空風險降至最低，讓『飛航安全』不再是航空業成本的一大負擔。。	航空站設施
2001	許隆昌	設備保養之失效模式與效應分析【14】	將FMEA的技術應用於工廠生產系統之設備保養中，來事先評估設備之失效模式，評定其對整個系統之影響並計算風險等級，再列出改善順序，有效改進生產系統整體績效，達成設備保養之預定目標。。	工廠生產
2000	蕭朝銘	半導體晶圓廠建廠計劃管理之研究	以FMECA為基礎，來探討晶圓廠建廠擴廠工程問題，運轉失效原因及所造成之重大影響，以發展出一套適合晶圓廠建廠及運轉異常改善之分析模式，並進行因應措施之研究。。	晶圓廠建廠擴廠
2000	羅應浮	專案管理的失效模式與效應分析【15】	將FMEA手法運用在專案管理上，並以營建工程專案與研究發展專案實例來驗證。FMEA探討著不同的決策因子，進行風險的評估，挑出改善的優先順序，以利研擬解決對策，達到事前預防的目地。	營建工程
1999	方鈞	建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究【16】	整合了失效模式、效應與關鍵性分析；故障樹及事件樹等三種分析方法，用以建立半導體製程改善研究架構，並闡述了研究架構中每個步驟的執行方式與所需資訊。再利用某半導體晶圓廠三個實例，探討如何利用失效模式與效應分析方法以改善半導體製程技術，並討論實際推動FMEA時，所需條件及其效益。	半導體晶圓廠

### 2.2.3 FMEA 之目的與功能【10】

FMEA是整合失效模式分析與失效效應分析，是一種結構化的系統程序方法，其目的是要即早發現潛在的失效模式，探討其失效原因與失效發生後，該失效對上一層子系統和系統所造成的影響，並採行適當的預防措施和改善對策，以提高產品或系統的可靠度。

#### 功能

FMEA是一種預防技術，它是在設計發展階段用來研究失效因果關係的一種可靠度管理技術。FMEA 系統特殊的計算及綜合分析功能，能發揮極大的整合效果，將各種不同角度的不良模式分析，呈現出多種彈性的情報輸出，發揮預防失效的功能。以下幾點為FMEA之功能：

- (1) 在設計的初期，幫助選擇高可靠度和高安全性的零件。
- (2) 確保所有想像得到的失效模式和效應，在正常的操作情況之下均被考慮到。
- (3) 藉著有效實施FMEA，能夠縮短開發時間與節省開發費用，達到更合乎經濟性的開發。
- (4) 列出失效可能性，並定義失效影響的大小，並且為矯正措施的優先順序提供一個準則。
- (5) 強化及累積工程經驗，早期正確找出失效原因，並採取因應措施
- (6) 提供一個基本的測試程序。
- (7) 發展對製造、組合程序、出貨和服務的初期標準。
- (8) 讓員工對品質改善有直接參與的管道，並藉這管道達成『技術留廠』之目標，不致特殊技術因人員的離開而失散。
- (9) 提供製作失效樹(FTA)分析的基礎，有助於編寫失效檢修手冊。



## 2.2.4 FMEA 之相關名詞定義

在實施FMEA 作業時，首先需瞭解有關的名詞定義【4】【5】

- (1) 可靠度 (Reliability)：產品、系統在規定時段或任務時間內，在滿足環境應力之條件下，能發揮所要求機能性質的能力。
- (2) 失效 (Failure)：凡一系統、子系統或其中的模組、零組件在預定時段，未能達成預定機能的狀態。
- (3) 失效模式 (Failure Mode)：係指具體地說明失效發生的方式，如裂開、鏽蝕、洩漏、振動、變形或折斷等。
- (4) 嚴重度 (Severity)：某失效模式發生後，對於達成系統任務所造成的衝擊，對顧客、下一製程或對系統產生之影響程度。
- (5) 發生度 (Occurrence)：某失效模式會發生的機率大小程度，通常以平均每一段期間內會發生的次數來決定其等級程度。
- (6) 難檢度 (Detection)：某項產品、製程或系統之失效因素能被檢測出來的機率，或者失效能被使用者察覺出來的機會或難易度。
- (7) 關鍵性 (Criticality)：係指失效模式發生的機率及其發生之嚴重程度的一種相對度量。
- (8) 失效率 (Failure Rate)：係指產品、零組件或子系統在每單位時間度量失效的次數，例如平均每年失效幾次。
- (9) 系統機能可靠性關聯圖 (Connection Diagram)：乃定義系統各機能本質於操作運轉時之相互關係及相依關係的方形關聯圖。
- (10) 風險 (Risk)：一個潛在性的損害可能造成財產的損失或人員生命安全的危害。
- (11) 風險優先指數 (Risk Priority Number)：由發生度 (O) 、嚴重度 (S) 及難檢度 (D) 三者所計算出來之值。用以評定失效風險之高低程度。

## 2.2.5 FMEA 之實施程序【4】【6】

失效模式與效應分析通常應用在新產品、設備或新製程、新系統的開發或執行上，其作業執行程序大致上相同，步驟如下：

### (1) 成立FMEA 作業小組

組成一個跨單位作業小組，由相關部門遴選出合適的技術人員或直接負責人員，共同參與FMEA作業。

### (2) 實施FMEA 作業訓練

實施FMEA 的必要條件，是要使所有成員都深入瞭解實施FMEA的目的、方法、實施程序及先期應準備之資料等，因此需對每位成員實施FMEA 作業訓練。

### (3) 定義系統流程

針對分析的對象加以定義，即所謂的系統定義，包括系統整體流程及所需基本的功能與規格、系統的整體任務輪廓等。

### (4) 確認系統的任務

任務分析是FMEA 作業中很重要的一步，如果研究的系統及解析水準中之任一層次任務不明確的話，無法辨別其是否達成賦予的任務，更無法判斷其是否失效。

### (5) 決定分析水準

確認系統之FMEA 應分析到哪一層次，一般的分析層次區分為系統、子系統、單一組件或模組及零件四個層次，實際分析作業進行時可依生產系統的大小或複雜性，酌予擴大或縮減其層次劃分。

### (6) 建立系統機能可靠性關聯圖

可靠度關聯圖係指在壽命週期內，系統各單元間在可靠度計算上之串、並聯關係。以輔助FMEA作業的實施，並且在各不同層次的功能別應如圖2.2-1 加以編碼，並結合資訊管理，以建立各展開層次的追溯標準和索引依據。

## (7) 分析各子系統或組件（模組）、零件之潛在失效模式

FMEA是屬於預測性的失效預防分析工作，因而對於預測性的失效，系統FMEA作業小組可從相同或類似之歷史紀錄之失效現象來推斷。

## (8) 選定與整理系統之重要失效模式

將前一程序所列出之可能失效模式中，選出會對產品、製程或系統造成真實影響的失效，以做為FMEA 後續分析之基礎。

## (9) 評估失效模式的影響

將前一程序選出之FMEA 重要失效模式，評估其失效產生對於系統所造成的嚴重程度（失效效應），一般以影響極輕微為『1』至極嚴重為『10』來評分。

## (10) 分析失效模式的發生原因

分析造成失效模式的真正發生原因及發生度，發生度之估算，以發生次數最低為『1』至發生次數極高為『10』來評分。

## (11) FMEA現況評估

FMEA作業小組針對重要失效模式評估現況及難檢度。難檢被檢測出的就給『10』分。

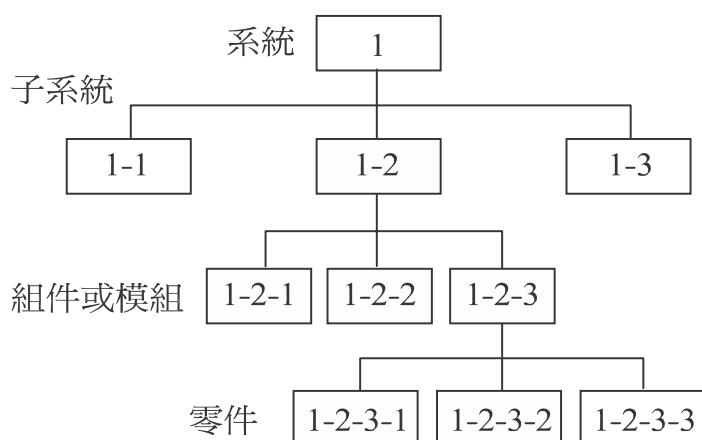


圖2.2-1 系統機能可靠性關聯圖

#### (12) 研擬改善或管制措施

FMEA 作業小組針對關鍵性失效模式，亦即經由前述嚴重度、發生度與難檢度所計算出來的RPN 指數值，來決定改進之優先次序，研擬改善計劃或管制措施。

#### (13) 改善措施實施後之評估

FMEA 作業小組針對實施後失效模式之改善計劃或管制措施，評估是否克服潛在失效問題，消除對系統之影響。

#### (14) FMEA綜合報告與檢討

完成上述各程序後，FMEA 作業可說大致完成，作業小組人員除將分析結論重點填入FMEA相關表單，同時應提出綜合報告及建議事項，以做為後續改善的依據。



## 第三章 焚化廠之空氣污染防治設備

### 3.1 焚化廠之特性介紹

#### 3.1.1 垃圾焚化處理流程說明及主要流程簡介【17】【18】

垃圾焚化廠類似汽電共生廠，不同處係以廢棄物做燃料，將不能再利用可燃燒的廢棄物拿來焚化處理，這些可燃廢棄物經由垃圾車收集載入廠區，再由傾卸口倒入垃圾貯坑，由吊車操作人員操作吊車抓斗，將垃圾混合均勻後，再投入進料斗，經滑槽進入爐內，並藉由進料器及爐床之作動，使垃圾於爐床入移動翻攪，經乾燥、燃燒及後燃燒等階段，最後焚化為灰渣。垃圾焚化後產生之高溫廢氣，經廢氣鍋爐回收熱能並產生高溫高壓過熱蒸汽，除了供應廠內其他預熱設備需求使用外，其餘全部傳送到汽輪發電機轉換成電能。所生之電能除提供廠內設備運轉及照明外，其餘經由變壓站與台電系統併聯躉售予台電公司，即將垃圾化為電能，達到資源回收目的。

垃圾焚化廠流程圖如圖3.1-1，其主要流程包括下列六項：

- 一、垃圾收受流程。
- 二、空氣流程。
- 三、廢氣處理流程。
- 四、廢水處理流程。
- 五、蒸汽發電系統流程。
- 六、灰渣及飛灰處理流程。

各主要流程簡述如下：

#### 一、垃圾收受流程

垃圾車將垃圾清運至廠內，經由入廠地磅過磅後，再沿進廠路線至傾卸平台，將垃圾由傾卸門倒入垃圾貯坑，垃圾於垃圾貯坑內，由垃圾吊車利用抓斗抓取做充分攪拌後，再投入進料斗內至燃燒室焚化；垃圾傾倒後垃圾車沿出廠路線，經由洗車廠沖洗乾淨之垃圾車，再由出廠地磅過磅後出廠。

## 二、空氣流程

一次空氣送風機為抽取垃圾貯坑內之空氣，經過空氣預熱器預熱後，再由爐床下方強制送入燃燒室，此為一次空氣流程。二次空氣送風機之空氣一般取自鍋爐區，再由爐床上方強制送入燃燒室，用來增強廢氣之擾動，促使揮發性之物質可充分燃燒，此為二次空氣流程。

## 三、廢氣處理流程

垃圾於燃燒室焚化後，所產生之廢氣經過煙道，與鍋爐水牆管、蒸發器(Evaporator)、過熱器(Superheater)及節熱器(Economizer)等充分熱交換後，最後由鍋爐(節熱器)出口排至旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器做降溫及廢氣處理，符合排放標準之廢氣經抽風機再由煙囪排放至大氣。

## 四、廢水處理流程

有機廢水包括垃圾貯坑滲出水、員工生活污水、垃圾傾卸平台廢水及垃圾車洗車廢水【19】，一般較新型之焚化廠設計將有機廢水噴入燃燒室直接燃燒去除，未噴入焚化之有機廢水，經生物處理、混凝處理及砂濾處理後，成為再利用水再利用。

無機廢水包括濕式洗煙塔之洗煙廢水、再生廢水、冷卻廢水、鍋爐排放廢水、灰渣貯坑廢水等，無機廢水經混凝處理、砂濾及螯合吸附等處理後，再和有機廢水混合處理後再利用。

## 五、蒸汽發電系統流程

廢熱回收鍋爐所產生之的蒸汽，除了供應廠內其他設備需求外，其餘全部傳送到汽輪發電機轉換成電能，做完功之蒸汽經由空氣冷凝器冷卻為冷凝水後，回收至冷凝水槽，再至除氧給水槽，由飼水泵打至鍋爐汽鼓加熱成為蒸汽。汽輪發電機產生之電能，除了廠內自用外，餘電經由變壓站與台電系統併聯躉售予台電公司。

## 六、灰渣及飛灰流程

爐床燃燒後之灰渣與由爐床縫隙掉下的篩灰，由出灰機構輸送至灰渣貯坑後，利用灰渣吊車抓取，再由灰渣卡車清運至衛生掩埋場掩埋，此為灰渣處理流程。產自鍋爐飛灰、半乾式洗煙塔及袋瀘式集塵器產生之反應生成物，接由輸送系統送至貯槽後，再由槽車送至固化廠，以固化劑、水泥、及水充分攪拌後混練成為固化物，養生後之固化物，需通過TCLP(毒性溶出試驗)及抗壓強度檢測後，再由固化物卡車清運掩埋場掩埋。

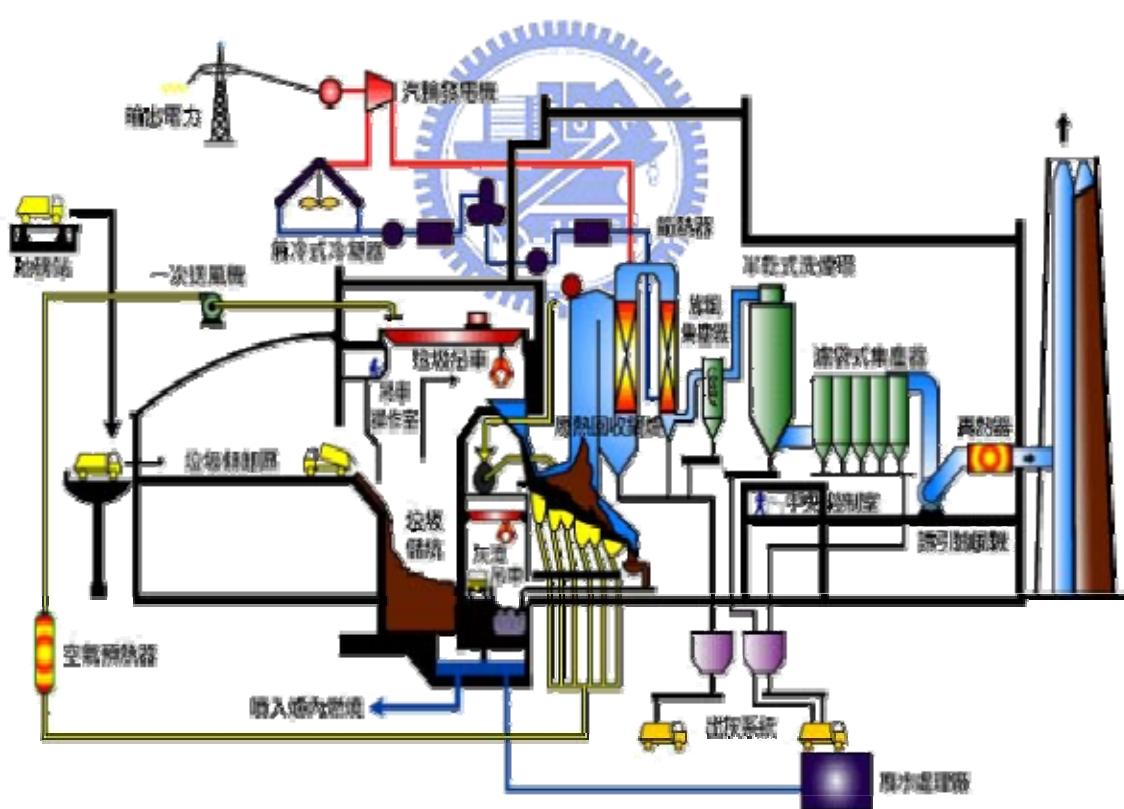


圖 3.1-1 焚化廠流程圖

### 3.1.2 研究個案垃圾焚化廠介紹

#### 一、焚化廠設備規範【17】

本文研究個案之垃圾焚化廠用地面積約5.5公頃，設計處理量：900公噸/天，設計熱值為2300仟卡/公斤，煙囪為RC外殼，高度67公尺，內具2支鋼製煙管。

##### 主要設備規範

###### 垃圾收受系統

- ◆ 垃圾傾卸門 9組
- ◆ 粗大垃圾傾卸門 3組
- ◆ 垃圾及灰燼車磅秤(50公噸X2) 1組
- ◆ 粗大垃圾切碎機(液壓閘刀剪斷式) 1組
- ◆ 垃圾吊車(架空行走式) 2部
- ◆ 垃圾貯坑有效容量10,800立方公尺



###### 焚化爐體

- ◆ 處理能力：450公噸/24小時/每座
- ◆ 爐溫=850-1050°C
- ◆ 廢氣停留時間：2秒以上

###### 飛灰及灰渣運送系統

- ◆ 飛灰運送設備2組
- ◆ 飛灰貯倉容量10天全廠產量
- ◆ 灰渣吊車(架空行走式) 2部(1部備用)
- ◆ 灰渣貯坑容量5天全廠產量

###### 控制系統

- ◆ 分散式數位控制系統十中文顯示

廢氣處理系統

2組

◆旋風式分離器十半乾式洗煙塔十袋濾式集塵器

廢熱回收系統

◆廢熱鍋爐(自然循環水管式) 2座

◆汽渦輪發電機(裝置容量27.167MW) 1組

廢水處理系統

◆物化處理十固定床法十 三級處理

除臭設備

◆除臭劑噴灑設備

其他設備

◆緊急發電機(800Kw輸出)

◆洗車設備

◆廢氣連續監測系統



## 二、焚化廠處理流程

垃圾焚化處理系統，每日操作24小時，每年約操作8000小時(相當於333天)，垃圾口處理量為450公噸，發電量為27.6MW，其處理流程如圖3.1-2所示，操作過程約可區分為垃圾焚化，能源回收及煙道氣理等三大部分，茲將各部份之操作情形分述如下：

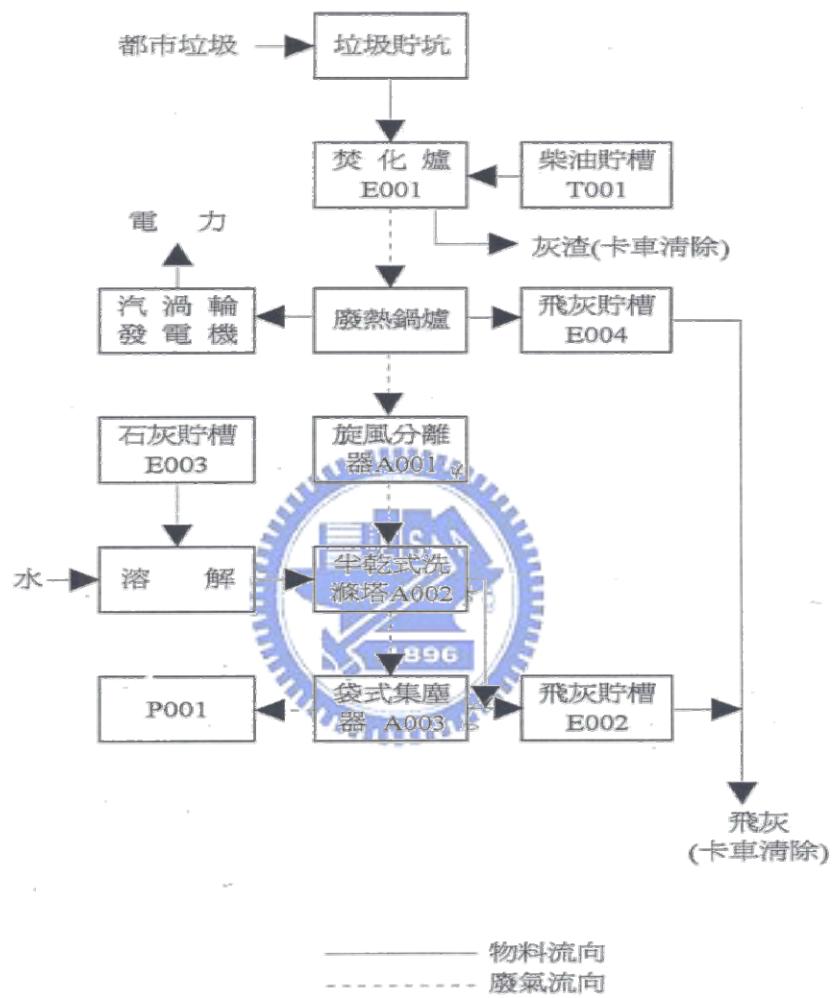


圖3.1-2 焚化廠處理流程圖

### (一) 垃圾焚化

本製程垃圾焚化爐(E001)為階段式(流體化)焚化爐。垃圾由清運車收集，連至本廠磅稱後，首先傾倒於氣密式之垃圾貯坑(垃圾中較為巨大者，先經破碎機破碎後再混入)，其次再以天車操控之大型抓斗抓取垃圾貯坑內之垃圾，並由焚化爐(E001)之進料斜槽投入爐床內焚化。

焚化爐(E001)為水冷式爐體，焚化方式採兩段式燃燒。垃圾經進料斜槽進入爐床後，先於貧氧環境下燃燒(一次燃燒)，此一過程所需之空氣(即一次空氣)，係抽取自氣密式垃圾貯坑，經蒸氣預熱至220°C左右後，由焚化爐爐床底部送入爐內，以利一次燃燒之進行。該階段之燃燒是於貧氧環境下進行，大量之黑煙、一氧化碳、碳氫化合物及其他可燃氣體將因垃圾之熱分解作用而由爐床釋出，隨後再於爐床上方與二次空氣混合，進行二次燃燒。

為確保燃燒溫度維持於850°C左右，二次燃燒室設有柴油輔助燃燒系統，當焚化爐熱機時或燃燒室溫度低於850°C時，則啟動輔助燃燒系統，噴入輔助燃料；待焚佔爐溫度達正常值時，隨即停止輔助燃料之供應。燃燒室溫度過高時，則噴入垃圾貯坑之滲出液，作為降溫之用，溫度如下降至820°C以下，隨即停止滲出液之注入。焚化爐(E001)之輔助燃料均為柴油，該項燃料係由槽車運抵本廠後，卸載於柴油貯槽(T001)內貯存，再透過供油泵及管線輸送至焚化爐使用。

焚化爐(E001)焚化垃圾所需之燃燒空氣，一次空氣約佔70%左右，其來源為氣密式垃圾貯坑。由於垃圾中富含有機物質，生物分解作用快速，若無適當之規劃設計，短暫之堆置貯存，頗易造成臭味污染問題，為防止此類二次污染之產生，本廠之垃圾貯坑乃採用氣密方式建造，貯坑內除垃圾傾卸口外，其餘部份皆為密閉構築體，坑內維持微負壓，並以抽氣鼓風機抽引坑內含臭味物質等有機成份之廢氣，經預熱後，由焚化爐底部送入一次燃燒室內，作為一次燃燒空氣，以兼具控制垃圾貯坑之臭味污染問題。

垃圾經過焚化後，隨即轉換成二相，一為富含可資回收能源之熱廢氣，另一相物質則為爐床底部所排出之垃圾灰渣(燼)。前者因具回收價值，可回收能源轉換為其他用途；後者為殘餘灰燼，以密閉式輸送機送至帶式輸送機，再送至灰渣貯坑內，再由灰燼吊車送至卡(貨)車清除。

## (二)能源回收

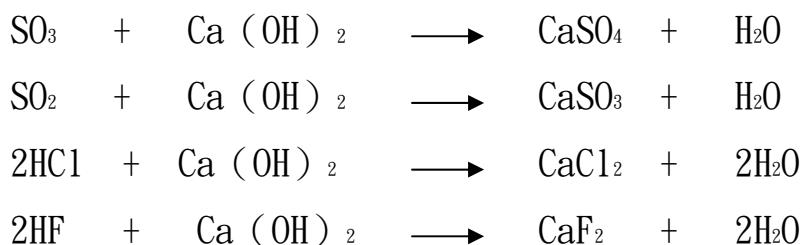
垃圾經焚化後，釋出大量熱能，經過能源回收可轉換為蒸汽及電力，作進一步之利用。本廠之能源回收方法採用汽電共生方式進行。廢氣離開焚化爐後，先進入廢熱鍋爐內與水進行熱交換，由水蒸汽攜帶熱能，再送至汽渦輪發電機發電，將廢氣熱能轉換為電力，本製程之熱能經回收設備(汽電共生系統)回收後，同產生27.6MW之電力，供廠內使用或售予台電公司供(配)電利用。

由於焚化過程所產生之廢氣含高濃度之粒狀物，經過廢熱鍋爐回收熱能後，廢氣溫度將降至260°C以下，部份質量較大之粒狀物質，則因動量減少而產生沉降作用，並與廢氣分離沉積於鍋爐底部。為克服溫度驟減所引起之粒狀物沉積問題，影響能源回收系統之運作功能，廢熱鍋爐之後半段乃設計成一擴大室，利用流速驟減之作用，去除部份質量重之粒狀物質，然後再透過密閉式輸送機，將擴大室底部所收集之塵灰，輸送至飛灰貯槽(E004)貯存，最後再以清運卡車予以清除。

## (三)煙道氣處理

由於垃圾之組成物質極為複雜，因此經過焚化處理後，其廢氣均含有粒狀物、酸性物質(HCl、SO<sub>x</sub>、HF)及少量重金屬氧化物等污染物質。此類廢氣若無適當之防制措施，恐將造成更為嚴重之二次污染。

為避免上述污染之發生，本製程採用旋風分離器(A001)，半乾式洗滌塔(A002)及袋式集塵器(A003)處理廢氣。焚化爐(E001)之廢氣離開能源回收系統後，隨即送入旋風分離器(A001)以去除較大或較重之飛灰後，再送入半乾式洗滌塔(A002)，塔中並噴入石灰乳液，與廢氣中之污染物快速混合，利用物理及化學等吸收與吸附作用，去除廢氣中之酸性物質。廢氣與水及石灰乳液反應後之生成物型態為粉末狀(故名半乾式洗滌)，其反應式如下：



上述反應過程所需之 $\text{Ca(OH)}_2$ 係貯存於石灰貯槽(E003)，使用時先於溶解槽內與水攪拌混合成石灰乳液後，再以供料泵送達半乾式洗滌塔(A002)，並由塔頂噴下，與廢氣混合以去除酸性污染物質。反應後所產生之粉狀物中，較重之顆粒將落入(A002)下方之集灰斗內，部份未反應之石灰粉末及未沉降之粉(粒)狀物，則隨廢氣進入袋式集塵器(A003)，經由濾袋收集處理後之廢氣，再由排放口(P001)排至大氣中。

半乾式洗滌塔(A002)與袋式集塵器(A003)所收集之飛灰，均由密閉式輸送設備送至飛灰貯槽(E002)貯存，最後再交由清運車輛清除。

本製程廢氣產生源主要為焚化爐(E001)，其廢氣經旋風分離器(A001)、半乾式洗滌塔(A002)及袋式集塵器(A003)處理後，由排放口(P001)排至大氣，其餘設備一飛灰貯槽(E002、E004)及石灰貯槽(E003)皆為密閉式貯存設施，且槽頂均設有一小型之濾塵裝置，防止進料期間之粉塵逸散，故正常操作期間，此類貯槽(E002~E004)應不致產生顯著之逸散污染。

## 3.2 空氣污染防制設備介紹【20】【21】【22】【23】

### 3.2.1 空氣污染之防制

隨著空氣污染排放標準日益加嚴，且民眾環保意識之抬頭，事業單位於空氣污染物排放控制，為符合環保排放標準及消弭民眾之疑慮，已益形普遍採用有效之空氣污染防制設備，進行污染防治工作。空氣污染控制設備使用在收集粒狀污染物者主要有重力沈降室、旋風集塵器(包括單管與多管)、袋式集塵器及靜電集塵器等四類，各行業依據生產製程所排放之廢氣性質，包括溫度、溼度、廢氣量與欲達到之處理效果選用粒狀物控制設備。

空氣污染控制設備應用於粒狀物去除之機制，包括粒狀物之重力沈降、慣性衝擊、截留、擴散及靜電力等進行收集。以下分別就重力沈降室、旋風集塵器、袋式集塵器及靜電集塵器作一簡單介紹。

#### 一、重力沈降室

重力沈降室(Gravity Settling Chamber)已被工業界長久使用，它構造簡單，製作費用低廉，維護費用少，壓力損失小，而且收集的粒狀物容易處理。

重力沈降室是最先用來控制粒狀污染物的設備之一，基本上它是一個擴張室，氣體進入較大的擴張室後，速度減低，讓大的微粒有足夠的時間沈降。因為不藉助外力，因此工業界只用它來除去較大的顆粒，如直徑在  $40-60 \mu\text{m}$  以上的微粒。由於今日的空氣品質要求愈來愈嚴格，重力沈降室已經成為研究用或其他粒狀污染物控制設備之預淨器，譬如裝在旋風除塵器，織布過濾器，靜電集塵器或洗滌器之前。

重力沈降室一般使用 SS41 作為材料，唯應考慮其所能承受之溫度，故其維護較一般之集塵設備簡便，平常幾乎不用做任何之維護，需定期檢查腐蝕情形並立即予以保養維修。再者含塵氣流之操作溫度宜保持在露點(Dew Point)以上，避免因溫度太低產生凝結，使粉塵附著於灰斗之內壁而造成腐蝕或排料不順堵塞等現象。

重力沈降室是最早用來控制污染物的設備之一，壓力損失小且不易損壞，然其缺點為佔地空間大且只對粒徑大於  $50 \mu\text{m}$  之粒狀物有效，因此沈降室主要用於去除大顆粒的前處理設備，尤其當灰塵濃度非常高或十分粗糙之微粒可能損害控制設備(如袋式集塵器、靜電集塵器)時，常選用重力沈降室為預淨器。

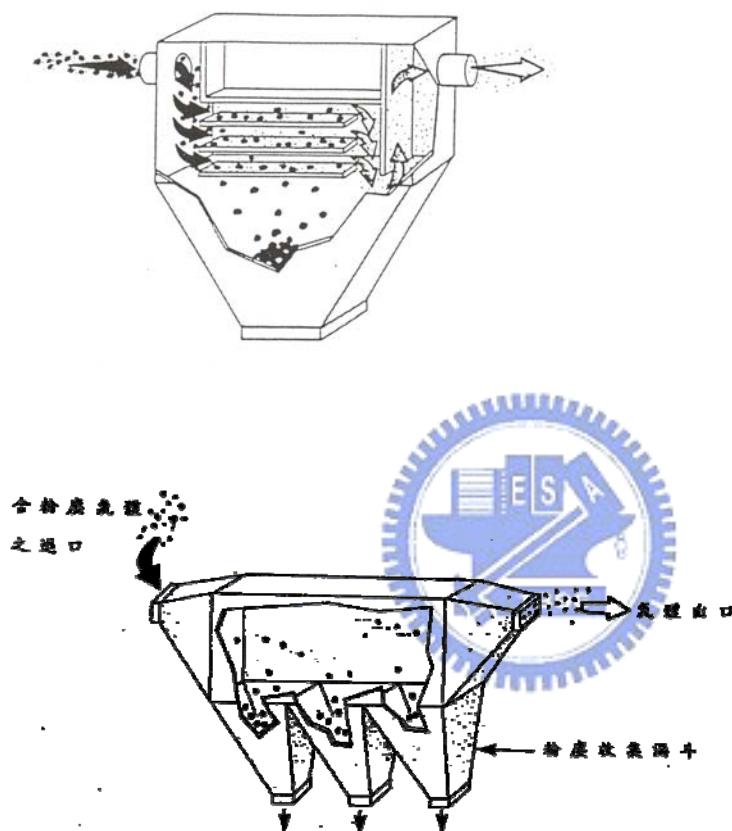


圖 3.2-1：重力沈降室

## 二、旋風集塵器(Cyclone)

旋風集塵器不但具有相當高的集塵效率，而且更能夠處理高濃度含塵量的氣體。因此，已逐漸成為空氣污染防治上不可或缺的設備。不過單獨使用旋風集塵器，並不容易達到空氣污染管制的規定標準，所以經常多被選用為其他種類集塵器的預處理設備。

旋風集塵器主要是利用離心力分離廢氣中之粉塵微粒，並予以收集，其主要構件包括進入段、圓筒、錐形斗、氣體排出管、集塵箱。旋風集塵器的運用非常簡單，含塵氣流經由切向導管進入旋風集塵

器，造成旋風。混合的氣體與粉塵一進入渦旋流，粉塵即被離心力自氣流中推出，先沿筒壁旋行，再經錐形斗到達排塵口。渦旋流中的氣體也是沿筒壁向錐端往下旋行，但是到了圓錐的中心，方向就倒轉，經由頂上的排出管離開旋風集塵器。

旋風集塵器的除塵性能幾乎是依其形狀、尺寸、比例而決定，在使用中只要不發生變形或器壁磨穿成孔等情形就不會造成問題。處理附著性較強的灰塵時，一開始若已有灰塵附著於器壁，隨之就會越多，並且由於受到離心力的強力壓縮，灰塵不容易脫落，終於造成閉塞現象。此時如果全面堵塞而影響到抽吸作用時，就能夠迅速發現，但如果只有圓錐下堵塞，就不容易發現，因此必須隨時檢查捕集灰塵的排出狀況加以防患。以上這些異狀都可由壓力損失的變化觀察出來，檢查既方便又簡單。另外，處理高溫多濕的含塵氣體不僅要注意旋風器全體是否完全保溫，有時也要考慮是否需要另外加熱；灰塵的附著情形隨旋風集塵器的大小而有所不同，如果事先已經知道要處理的氣體含有附著性的灰塵，筒徑就必須設計在 500mm 以上，灰塵排出口徑也要比標準尺寸稍微大一些。

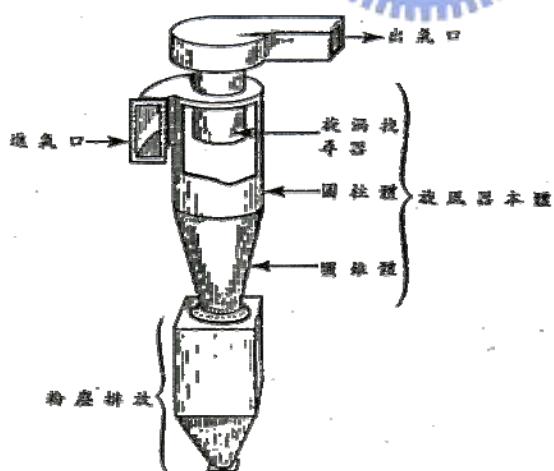


圖 3.2-2：旋風集塵器

### 三、袋式集塵器(Bag house)

袋濾式集塵機之主要功能是使負載粉塵之空氣通過濾布袋，將粉塵自空氣中濾除。其構造因濾袋清洗（振落）方式的不同分為：

## (一) 振動式 (Shaking Type)

利用機械振動機構抖落濾袋上的粉塵，一般使用馬達搖動曲柄，通過連桿振動裝置濾袋的框架，框架是以刀口或滾珠軸承支承於罩箱內部，懸掛濾袋的叉桿則依圓弧形路線振動。

此型若為單室，則清洗濾袋時廢氣過濾動作需暫停，俟清洗過程結束後再開始過濾廢氣。若濾袋箱分隔多室，則各室之抖落次序由定時器控制自動的順序進行。

1. 當第一室抖動時，此室與風車之間的通路風門即關閉，將空氣遮斷，同時通到風車排氣側的風門啟開。
2. 因為各室均呈負壓狀況，所以第一室即產生逆流，濾袋上被機械振動抖落下來的粉塵則掉落集塵斗或被氣流帶至隔室。

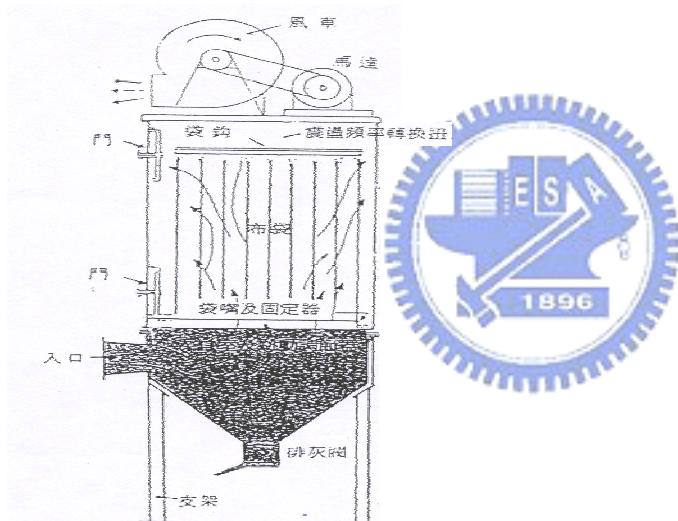


圖 3.2-3：振動式袋式集塵器

## (二) 逆洗式

利用低速逆氣流空氣振動濾袋而抖落的方式，將濾袋箱分隔成數室，各室之抖落次序由定時器控制自動的順序進行。

1. 當第一室抖動時，此室與風車之間的通路風門即關閉，將空氣遮斷，同時通到風車排氣側的風門啟開。
2. 因為各室均呈負壓狀況，所以第一室即產生逆流，使濾袋振動將附著的粉塵抖落。
3. 抖落終了，風門恢復原狀，次室即開始做同樣的動作進行抖落。

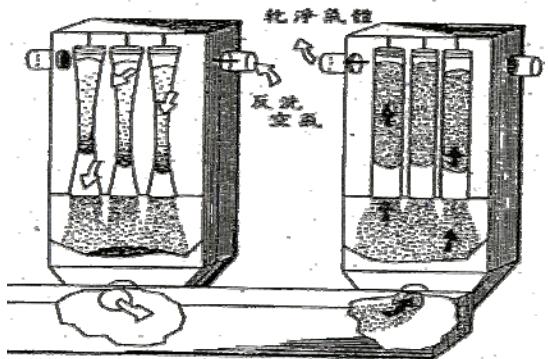


圖 3.2-4：逆洗式袋式集塵器

### (三) 脈動式

此型袋濾式集塵機濾袋上部裝有細腰管及高壓空氣噴射用的噴嘴。高壓空氣經過電磁閥按一定的時間順序由噴嘴噴出，這些高速空氣在細腰管口將周圍的空氣吸引進入濾袋內，使袋內的壓力瞬間提高，使濾袋外周向內流入的空氣逆流，即將濾袋外面所附著的粉塵清除了。噴射週期依粉塵之種類及含塵濃度而定，約在 5~20 秒之內，噴射時間約為 0.1 秒。一般使用的濾布為毛氈，濕度高時，使用化學纖維氈，對 120°C 左右之高溫廢氣則使用鐵弗龍類氈。

如果濾袋清洗適當，則壓力降應保持十分穩定，如果有爬升現象，即表示濾袋清洗系統有問題，此時可能要調整計時器之時間設定，縮短清洗之時間間隔。濾袋在裝妥後，應參照製造商之操作說明，再利用平常之操作經驗決定最適合之清洗時間，濾袋清洗也不能太過頻繁，因為過濾作用須靠粉粒覆著於濾袋而形成塵餅，才能發揮其功能，清洗頻繁即降低過濾效果，此外洗清時也帶給濾袋應力，因此清洗太頻繁會縮短濾袋之壽命。

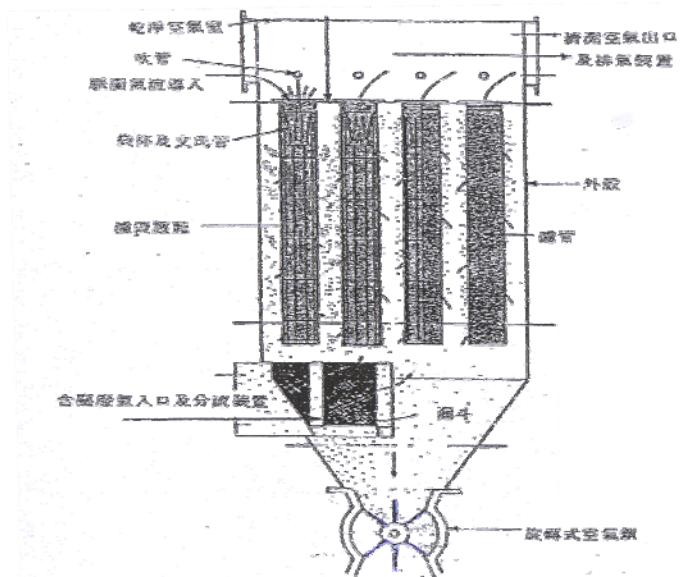


圖 3.2-5：脈動式袋式集塵器

#### 四、靜電集塵器

靜電集塵器利用微粒的靜電沉降作用，可乾燥且高效率地從高溫氣流中收集微粒。ESP 是由金屬平板及電線交替排列組成在金屬板與電線間形成強大的直流電位( $30\sim75kV$ )，此造成金屬板與電線間產生離子場。當負載微粒的氣流通過金屬板與電線之間時，離子碰觸到微粒並給予負電荷。因此微粒朝向具正電荷的金屬板遷移並黏著在板上。利用間歇敲擊收集板，則凝聚成片的微粒會落入漏斗狀的收集器中

靜電集塵器與袋式集塵器不同的為平板間的氣流在淨化過程中不受到阻礙。通過 ESP 的氣體速度保持低於  $1.5 \text{ m/s}$  使微粒足以遷移，且粉塵有足夠的沉降速度在離開集塵器之前，落入漏斗型收集器內。

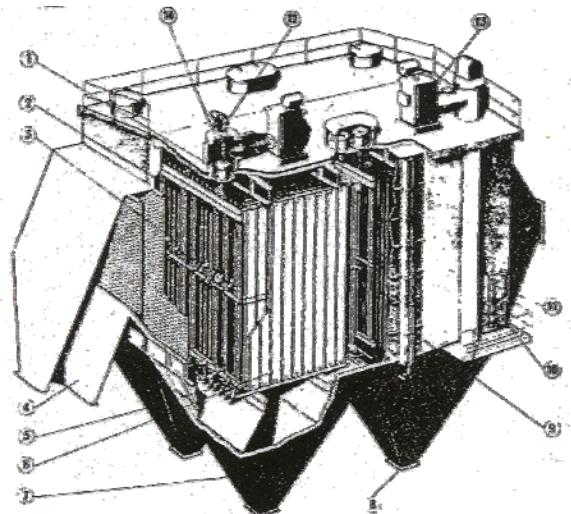


圖 3.2-6：靜電集塵器

### 3.2.2 空氣污染物之特性

依據空氣污染防治法及相關規定所定義，空氣污染物可分為四大項目，分別為氣狀污染物（包括硫氧化物、一氧化碳、氮氧化物、碳氫化合物、氯化氫、氟化物、氯化氫等）、粒狀污染物（包括懸浮微粒、黑煙、酸霧、落塵等）及惡臭物質（包括氯氣、硫化氫、硫化甲基、硫醇類、甲基胺類）等。而焚化廠主要的空氣污染物包括：一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物、氯化氫、粒狀污染物、重金屬及戴奧辛等，以下為幾個主要的污染物做初步的介紹：

- 一、一氧化碳(CO)：是一種窒息性氣體，會阻礙氧與血紅素之結合，為無色無味無臭，比空氣略輕，易擴散之氣體。
- 二、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)：NO及NO<sub>2</sub>合稱，一氧化氮是一種無色氣體，是形成NO<sub>x</sub>的前驅物質；二氧化氮係空氣中氮或燃料中氮化合物經高溫燃燒氧化所產生，易溶於水，與水反應成亞硝酸及硝酸，具強氧化力，為引起光化學霧之前驅物質。
- 三、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)：SO<sub>2</sub>及SO<sub>3</sub>合稱為硫氧化物，但硫氧化物管制及測定的以二氧化硫為主，其來源為燃料中硫份燃燒與空氣中之氧結合者，易溶於水，與水反應成亞硫酸，亦為引起酸雨之主要物質。
- 四、氯化氫(HCl)：一種具令人窒息味、有害、有毒的無色氣體，極易溶於水，其水溶液就是鹽酸，1體積的水在平常條件下可以溶解450體積的氯化氫。氣態的氯化氫(HCl)溶於水而成的水溶液，學名為氯酸。
- 五、粒狀污染物(PM)：由燃料燃燒及工業生產過程所產生之微粒物通稱之，如總懸浮微粒、懸浮微粒及落塵等。
- 六、戴奧辛(Dioxins)：戴奧辛類化合物是包括75種多氯二聯苯戴奧辛(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins，簡稱PCDDs)、135種多氯二聯苯呋喃(Polychlorinated dibenzofurans，簡稱PCDFs)及12種共平面多氯聯苯(Partially Coplanar Polychlorinated Biphenyls)。其中2,3,7,8-四氯戴奧辛(TCDD)因其毒性最強，俗稱世紀之毒。

### 3.3 研究個案垃圾焚化廠廢氣處理說明

#### 3.3.1 廢氣處理流程

廢氣處理系統使用噴霧吸收程序(半乾式)由以下主要設備項目構成：

- 旋風集塵器
- 半乾式洗煙塔
- 袋濾式集塵器
- 石灰站
- 殘留物傳輸系統及儲槽
- 活性碳站

產自焚化爐的廢氣流經廢熱鍋爐，並以 220°C 至 260°C 進入雙旋風集塵器。旋風機分離廢氣中部份的飛灰，其效率超過 60%，集下之飛灰送至爐灰中。

出了旋風機的廢氣直接飼入半乾式洗煙塔，以利和以旋轉霧化器噴出濃度 10Wt% 的石灰乳懸浮液接觸。此程序是將酸性污染物被中和，並以乾式鹽粒沉澱，同時蒸發石灰乳懸浮液中的水份，並作為冷卻廢氣至約 145°C 的水。

廢氣離開半乾式洗煙塔後，導入袋濾式集塵器，截留固體鹽粒及飛灰，這些固狀物停留在袋濾上進一步吸附污染物，以再次降低廢氣中污染物的濃度。

裝置誘引風機(IDF)以確保傳輸廢氣，並造成局部負壓，IDF 亦做為載運廢氣經過再熱系統到煙囪進入大氣的功能。

水和石灰懸浮液在石灰站製備，石灰站包含兩個氫氧化鈣槽，兩個石灰泥製備槽，及兩個石灰泥飼入槽。一個主系統飼入石灰乳液至霧化器，之後未用之懸浮液則迴流至石灰泥飼入槽。

在選擇性廢氣淨化程序的主要優點在於：

- 維持排放值在要求範圍內
- 戴奧辛及呋喃(PCDD, PCDF)以及重金屬，則用添加活性碳吸附去除
- 不會自廠中逸散
- 產生的灰及殘留物可易於處理

廢氣處理後排放依最新環保法規，必須達到下列的排放值要求：

粒狀污染物：max  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$

不透光率：max 10%

氯化氫 max 40ppm

硫氧化物 max 80ppm

氮氧化物 max 180ppm

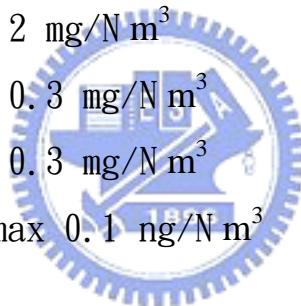
一氧化碳 max 100ppm

鉛及其化合物 max  $2\text{ mg/Nm}^3$

鎘及其化合物 max  $0.3\text{ mg/Nm}^3$

汞及其化合物 max  $0.3\text{ mg/Nm}^3$

PCDD/PCDF(TEQ)：max  $0.1\text{ ng/Nm}^3$



### 3.3.2 空氣污染防治設備

#### 一、旋風分離機

帶著灰塵的廢氣，經由切線方向配置的煙道，進入雙旋風機。由於離心力的關係，飛灰在旋風機中被分離出來，除塵效率大約於 60%。飛灰經由錐形底部，經過旋轉閥及輸送設備，加入來自鍋爐的飛灰。

#### 二、半乾式洗煙塔

熱廢氣經由頂部熱風進氣箱進入半乾式洗煙塔，其裝有面擋板及可調式翼環，籍以造成廢氣與液霧初混所需的條件。

霧化水和石灰乳懸浮液乃經由霧化轉盤來達成，霧化轉盤及相關液體分佈設備之構造旨在降低轉盤底部的侵蝕。加速作用由特殊噴嘴來完成，其材質為氧化陶瓷或硼碳化物。

霧化器由霧化驅動單元驅動。主要包括行星加速齒輪及電動馬達。霧化單元在運轉中可以更換。

選定霧化吸收塔出口溫度約  $140^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，非只確保污染物高去除率，而且高出露點溫度甚多。故可避免積垢，及與保溫物質接觸時侵蝕噴霧吸附塔。下游水份之露點溫度約為  $60^{\circ}\text{C}$  至  $70^{\circ}\text{C}$ 。

如能確實達到保持露點溫度以上，及最恰當之運轉控制，即可確保無故障之操作，及避免沉積物形成。

反應生成物積垢於半乾式洗煙塔內壁。可能由於非連續性操作而超出正常操作範圍，致使因熱膨脹而崩裂剝落所致。噴霧塔底部錐形開孔已考慮破碎機破碎後積塊的尺寸大小，以利送達反應物儲槽。

霧化液體與熱廢氣在半乾式洗煙塔接觸。水和石灰懸浮液加入的比例，是依  $\text{HCl}$  及  $\text{SO}_2$  在氣體中的溫度函數加以控制。在基本負載及最大負載的範圍，水和石灰懸浮液以化學計量比例約 1.8 左右加入。此外廢氣的溫度則由額外加入飼水之量加以控制。

藉著維持半乾式洗煙塔下游溫度在  $145^{\circ}\text{C}$ ，使達到最佳去除效率。利用活性碳加入水和石灰懸浮液中，用以吸附去除戴奧辛、呋喃及氣態重金屬（特別是汞），均利用活性碳顆粒，其表面吸附而去除。

半乾式洗煙塔反應物由下游袋濾式集塵器加以分離去除。

### 三、水和石灰製備系統

半乾式洗煙塔利用水和石灰作為廢氣中酸性污染物之吸附劑。水和石灰懸浮液，由儲槽中之水和石灰粉 $\text{Ca(OH)}_2$ ，間歇導入石灰泥製備槽及石灰泥飼入槽來製成。自儲槽中加入石灰及水於混合槽，其下料為自動控制，石灰及水經量測後進入桶槽，並藉助稱重系統以確保石灰乳液均一的濃度。石灰泥製備槽中，石灰濃度為 22wt%，在石灰泥飼入槽再加水稀釋至 10wt%，併同稀釋之活性碳水一齊飼入儲存槽，並加以攪拌，促使石灰及活性碳良好的混合。

最後石懸浮液，由石灰水泵至耗用之主循環系統（噴霧單元）；而過剩的懸浮液則回到儲存槽。

石灰由卡車上的鼓風機經管線輸送至儲槽。其傳輸至桶槽之空氣，由桶槽頂部的空氣過濾器排出。

### 四、袋濾式集塵器

內含灰塵的氣流，由濾袋外側流入內部，塵粒被濾材截留收集。脈衝式袋濾集塵器，是以壓縮空氣為動力，來達清潔濾袋之目的。

濾袋的清潔動作由壓降（壓差）所控制。除塵，是利用以瞬間的壓縮空氣吹脈濾袋，致使濾袋外之積塵崩落，而收集去除。線上清潔其頻率及程序，是由電子控制器，建立脈衝間隔之時間，並調至相對的操作狀況。

濾袋以 7 巴的壓縮空氣清潔。脈衝系統具備最適當之流動幾何，並且不含機械構件，以保持濾袋高的氣體流速。

結果其濾袋的清潔效果最佳，維修控制元件不會中斷運轉，濾袋可經由旁通閥之控制來單獨保養。

### 五、殘留物處理

由半乾式洗煙塔及袋式集塵器所收集之反應生成物，以乾燥的方式，經由機械傳輸至一壓力容器，再藉氣動傳輸機構，將反應生成物輸送至殘餘物儲槽作暫時儲存。所有必備的桶槽均裝有適當的空氣過濾器、排放裝置及協助排放的曝氣裝備。

### 六、活性碳儲槽

活性碳儲存於 AC 儲槽，該槽有脈衝袋濾及底部流動之桶槽，一組機械傳輸系統及注水泵，以利活性碳注入石灰乳飼入槽。



## 第四章 空氣污染防治系統之 FMEA

### 4.1 空氣污染防治系統之 FMEA

#### 4.1.1 FMEA 分析模式之建立【4】【5】【6】

廢氣處理系統由旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器串聯而成，當某一系統失效而不能發揮功用時，會影響到廢氣處理系統，其中旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器主要是去除粒狀污染物，半乾式洗煙塔是去除酸性氣體，並藉由活性碳吸附去除戴奧辛及呋喃(PCDD, PCDF)以及重金屬，廢氣處理系統方塊流程圖如圖 4.1-1。

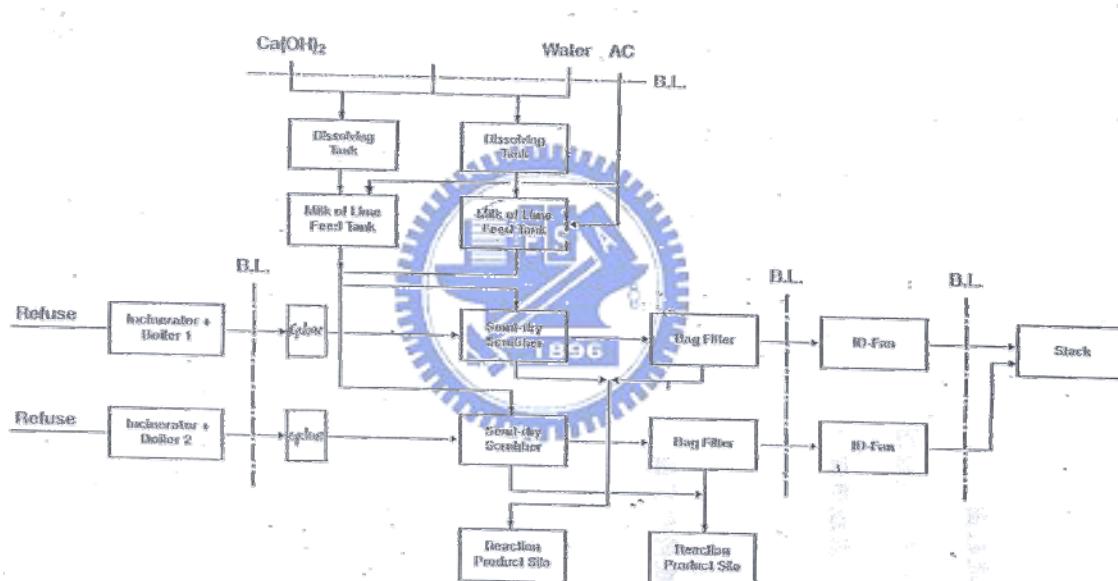


圖4.1-1廢氣處理系統方塊流程圖

本節為說明空氣污染防治設備(Air Pollution Control Device)之FMEA分析模式，其相關的程序制定及表格建立等。為了能有效地反應出該廠A.P.C.D系統之失效特性，FMEA分析方法建立的準則將以一般性的FMEA分析手法為依據。

FMEA分析模式有關之步驟及作業內容詳述如下：

#### 1. 成立FMEA執行專案

以本次研究之目的，成立FMEA執行專案。

#### 2. 成立FMEA專案作業小組

依據專案執行內容，遴選適當之人員成立作業小組。

#### 3. 界定系統分析之邊界範圍

本次研究所分析之系統範圍，以焚化廠之空氣污染防治設備系統為對象。

#### 4. 實施FMEA作業訓練

參與本次專案的作業小組成員需夠迅速地了解FMEA之分析手法，包含FMEA之意義、歷史沿革、目的、功能、實施對象、效益及其實施程序等。

#### 5. 決定系統分析水準

專案小組針對本次研究所分析之系統範圍，做一番全面性的檢測。確認系統之FMEA應分析至哪一層次。一般的分析層次區分為主系統、子(次)系統、模組及設備或元件四個層次。本次研究之分析水準，分析至最低層次設備(元件)為止。

空氣污染防治設備(主系統)【1階】——次系統(旋風分離器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器)【2階】——其組成之設備單元【3階】——組成之元件【4階】。

#### 6. 建立系統可靠性關聯圖

藉由關聯圖的建立，可清楚地了解到下層次一旦發生失效(故障)時，其對於上層次所造成影響(衝擊)為何，可無所遺漏地逐層檢驗系統上所發生的故障和影響。

本研究建立空氣污染防治設備可靠性關連圖，對旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器逐一探討。

## 7. 分析系統失效模式與失效效應

專案小組依據步驟6. 所建立之系統可靠性關聯圖，列出關聯圖最低層次之所有失效元件的失效模式與失效效應。並將每一失效元件名稱、失效模式及失效效應依序填入FMEA 之分析表中，如表4.1-1 FMEA 分析表。

表4.1-1 FMEA分析表

### ○○次系統失效模式與效應分析

項次	組成元件	失效模式	原因	影響	嚴重度	發生度	難檢度	運轉管制	改善措施
○○設備									
1.									
2									
3									
○○設備									
1									
2									
3									

## 8. 分析系統失效模式之發生度

專案小組依據系統失效記錄，針對所有失效元件之失效模式，評定其失效發生次數。再由失效發生次數與4.1-2給分表，以決定每一失效模式之發生度分數，並將此分數記錄於FMEA 之分析表中。

表4.1-2 發生度(0) 級分表

失效頻率(失效次數/年)	給分範圍(1~10分)
無	1~2分
1 次	3~4分
2 次	5~6分
3 次	7~8分
4 次以上(含4次)	9~10分

資料來源：研究整理。

## 9. 分析系統失效模式之嚴重度

專案小組根據系統失效記錄，針對所有失效元件之失效模式，評定其失效後所造成之運轉停止時間。再由運轉停止時間與4.1-3給分表，以決定每一失效模式之嚴重度分數，並將此分數記錄於FMEA之分析表中。空氣污染防治設備運轉停止時間超過4小時即非常嚴重。

表4.1-3 嚴重度 (S) 級分表

運轉停止時間 (小時/次)	給分範圍 (1~10 分)
未超過1hr	1~2分
1hr~2hr (未包括2hr)	3~4分
2hr~3hr (未包括3hr)	5~6分
3hr~4hr (未包括4hr)	7~8分
超過4hr (含4hr)	9~10 分

資料來源：研究整理。

## 10. 分析系統失效模式之難檢度

採用專家經驗的方式，使用表4.1-4詢問焚化廠廠之技術人員（維修與操作），以綜合評定每一失效模式之難檢度分數（四捨五入，取整數位），並將此分數記錄於FMEA 分析表中。 $\Sigma X_i/n =$  每一失效模式難檢度之平均分數。 $X_i =$  第*i* 位技術人員之給分， $n =$  共有*n*=5 位技術人員（運轉主管1 人與技術人員4 人）參與。分數從1至10（極易為1，易為2~4，尚可為5~6，難為7~9，極難10）

表4.1-4 難檢度 (D) 級分表

次(子)系統名稱：						
人員 元件	人員1	人員2	人員3	人員4	人員5	平均分數
失效模式1						
失效模式2						
失效模式3						

資料來源：研究整理。

## 11. 決定系統失效模式之發生度、嚴重度、難檢度權重

本次研究採用Satty 於1971年所提出的AHP（層級分析方法）

【33】以決定個案廠對於發生度、嚴重度及難檢度三評分要項之權重。關於三者權重分析之AHP架構，如圖4.1-2所示。

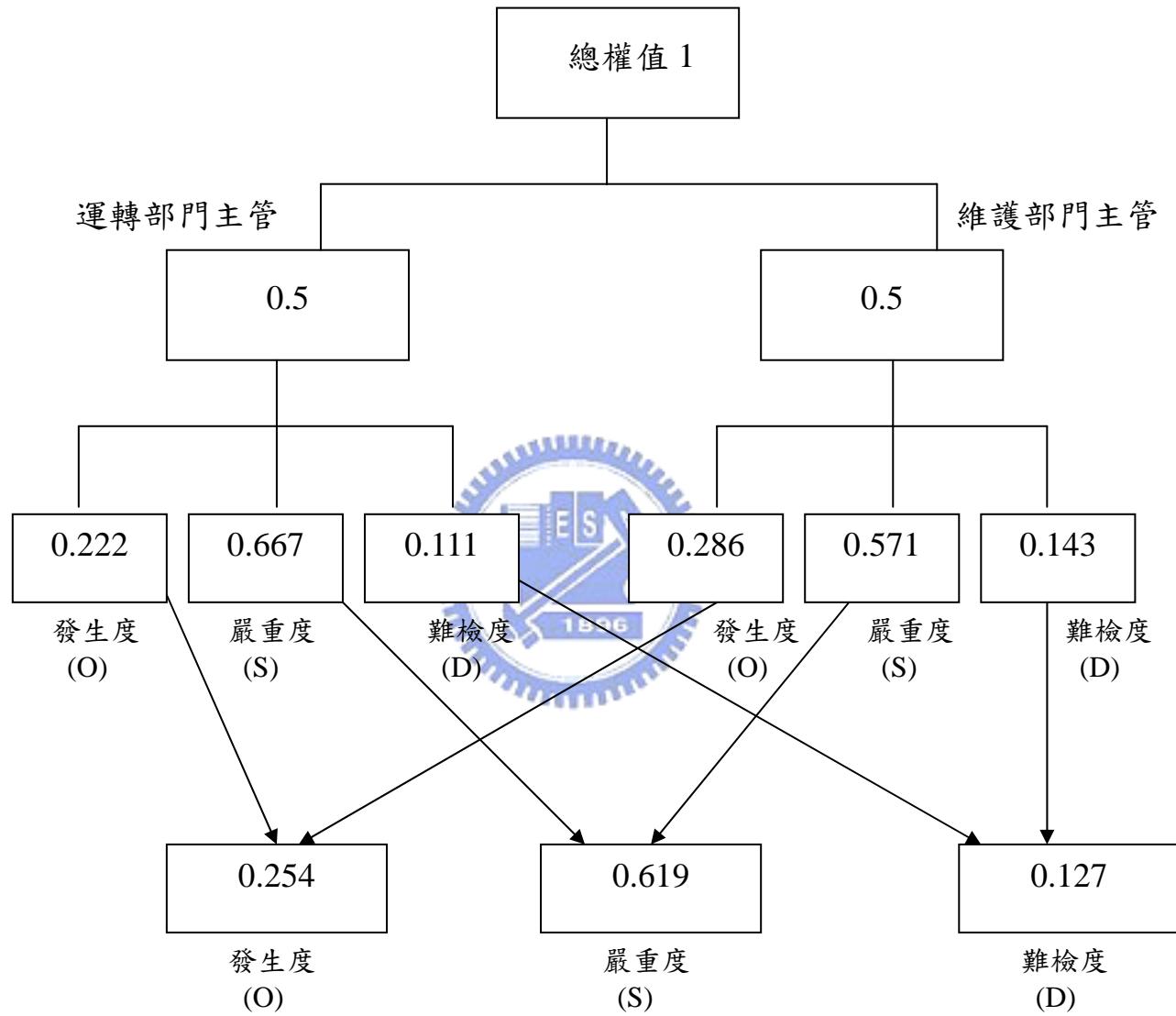


圖 4.1-2 發生度、嚴重度、難檢度權重分析之 AHP 架構圖

運轉部門主管對於發生度、嚴重度、難檢度等要項之評比為：

	發生度 (0)	嚴重度 (S)	難檢度 (D)
發生度 (0)	1	1/3	2
嚴重度 (S)	3	1	6
難檢度 (D)	1/2	1/6	1

建立成對比較矩陣

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 2 \\ 3 & 1 & 6 \\ 1/2 & 1/6 & 1 \end{pmatrix}$$

求特徵向量後，進而求得各要素之權重向量

$$B = \begin{pmatrix} 0.222 & 0.222 & 0.222 \\ 0.667 & 0.667 & 0.667 \\ 0.111 & 0.111 & 0.111 \end{pmatrix}$$

維護部門主管對於發生度、嚴重度、難檢度等要項之評比為：

	發生度 (0)	嚴重度 (S)	難檢度 (D)
發生度 (0)	1	1/2	2
嚴重度 (S)	2	1	4
難檢度 (D)	1/2	1/4	1

建立成對比較矩陣

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/2 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}$$

求特徵向量後，進而求得各要素之權重向量

$$B = \begin{pmatrix} 0.286 & 0.286 & 0.286 \\ 0.571 & 0.571 & 0.571 \\ 0.143 & 0.143 & 0.143 \end{pmatrix}$$

綜合運轉部門主管與維護部門主管之評比，其在發生度、嚴重度、難檢度三要項之權重分析結果為：

$$W_0 = 0.222 \times 0.5 + 0.286 \times 0.5 = 0.254 \text{ (發生度)}$$

$$W_S = 0.667 \times 0.5 + 0.571 \times 0.5 = 0.619 \text{ (嚴重度)}$$

$$W_D = 0.111 \times 0.5 + 0.143 \times 0.5 = 0.127 \text{ (難檢度)}$$

## 12. 決定系統失效模式之風險優先指數

專案小組經由步驟11. 得到發生度、嚴重度、難檢度三評分要項之權重值。並根據步驟8、9、10所建立之各失效模式發生度、嚴重度、難檢度分數。透過風險優先指數之計算公式，以決定每一失效模式風險指數，並將此計算結果記錄於FMEA 之分析表中。

有關風險優先指數之計算公式為：

失效模式之風險優先指數 =  $0.254 \times$  失效模式之發生度分數 +  $0.619 \times$  失效模式之嚴重度分數 +  $0.127 \times$  失效模式之難檢度分數。

## 13. 決定系統失效模式之風險等級

作業小組依據步驟12. 所計算出的失效模式風險優先指數資料，列出風險等級失效模式之次序。

## 14. 研擬改善或管制措施

結合專案小組人員(廠務部門主管與技術人員)之集思廣義，考量現行個案廠可用資源（人力、物力及財力），針對每一失效模式提出具體可行的改善策略，填入FMEA之分析表中。

## 15. 完成FMEA 分析表，本研究所做的FMEA 分析表如附錄一至三。

#### 4.1.2 旋風分離器之 FMEA

旋風分離器組成之設備單元為

單元 A：塔體

單元 B：進氣口

單元 C：出氣口

單元 D：粉塵排放口

旋風分離器之 FMEA 詳附錄一。

單元 A：塔體

塔體可分圓柱本體及圓錐部份，旋風集塵器的集塵效率與其各部份之尺寸有極大的關連。流量固定時，壓力降受本體直徑直接的影響。圓柱本體的總長度則決定與總效率有關的氣體旋轉圈數。

在圓柱體內，微粒衝擊在內壁上而被收集。旋風集塵器圓錐部份的目的在於將微粒沿著壁上送至漏斗裡。此部份的氣體切線速度快，使較小的微粒也能被收集在內壁上，可以除去較小的微粒。



單元 B：進氣口

組成之元件

1. 進氣口
2. 煙流導流板

進氣口引導氣體沿切線方向進入本體中，進氣口是將氣體的直線運動變成旋渦運動，對旋渦的形成很重要。在進氣口處由於內部本來有氣體，進來的會被壓縮，亦即壓力損失會提高，若是進氣口設計不良時，會產生進口亂流，進氣的能量會損失於此，無法充份的轉換成旋渦氣流。在切線方向加裝導板於旋器風器內部，便可以使氣流更集中於切線方向，且減少壓力損失。

## 單元 C：出氣口

從圓錐的底部開始，較乾淨的氣體由下往上形成內旋渦，經由出氣管排出。集塵器的上方有一根圓管伸入圓柱本體內，這根圓管稱為旋渦尋覓管(vortex finder)。上升的氣體形成內旋渦進入此管中，並從出氣管排出。

出氣管的管子必須伸入旋風器內且低於進氣口的底部，以防止在進口亂流處的粉塵排入出氣管。

## 單元 D：粉塵排放口

### 組成之元件

1. 集灰斗
2. 塊狀破碎機
3. 電熱設備
4. 閘刀閥
5. 旋轉閥



產自焚化爐的廢氣流經廢熱鍋爐，帶著灰塵的廢氣以 220°C 至 260 °C 經由切線方向配置的煙道進入雙旋風集塵器。藉由離心力與飛灰的重力來分離，飛灰在旋風機中被分離出來，除塵效率大約 60%。飛灰經由錐形底部，經過旋轉閥及輸送設備，加入來自鍋爐的飛灰。

旋風分離器將會造成 10 毫巴的壓降，塵粒附於內壁上滑入底部，初淨廢氣由頂部離開。在錐形底部裝設電熱設備，以防止啟動時凝結現象。為避免排放溫度低於露點，塊狀破碎機及旋轉閥亦有加熱裝置。附著於內壁上的粉塵微粒掉落並集申於漏斗中，且定期或連續的被排出旋風器外。

#### 4.1.3 半乾式洗煙塔之 FMEA

半乾式洗煙塔組成之設備單元為

單元 E：消石灰進料貯存供應系統

單元 F：活性碳噴入系統

單元 G：半乾式吸收反應塔

單元 H：反應生成物輸送系統

半乾式洗煙塔之 FMEA 詳附錄二

單元 E：消石灰進料貯存供應系統

組成之元件

1. 消石灰氣送進料管線
2. 消石灰貯槽
3. 袋濾式逸氣過濾室
4. 旋轉閥
5. 螺旋輸送機
6. 消石灰乳供應槽
7. 電動攪拌器
8. 消石灰乳泥供應輸送管線
9. 消石灰乳泥供應泵



流程及功能：

消石灰進料貯存供應系統如圖 4.1-3~4.1-4，消石灰由槽車運送載至消石灰貯槽（兩座，每座容量 180 立方米），其上方有袋濾式逸氣過濾室，消石灰貯存高度偵測設施，下方有旋轉閥，螺旋輸送機。

消石灰經消石灰供應輸送管線至預備槽，（兩座，每座容量 4 立方米），經加水由電動攪拌器攪拌成 22% 之消石灰乳泥，流至供應槽（兩座，每座容量 6.5 立方米），經加水由電動攪拌器攪拌成 10% 之消石灰乳泥，由消石灰乳泥供應泵打至反應塔，回流至供應槽。

本系統基本上包括裝存石灰之桶槽，注入桶槽的裝置，排出、量測及調整系統，以洩下石灰進入石灰泥儲備槽、供應槽，石灰泥供應泵以飼入吸收器。

石灰水合物以卡車運送，並以氣動卸載至氫氧化鈣槽。只要桶槽高液位未出現，則桶槽均皆可裝填，故可確保卡車可繼續裝填。由現場控制盤啟動卸載。當到達高液位，將會自動關掉卸入閥，以終止卡車卸載。

內含石灰塵的運送空氣會吸引至桶槽上端之過濾器加以清潔，再經由乾淨的管線排放至大氣。過濾器之清潔是依壓差的設計來清潔濾袋。在濾袋內外之壓差會持續量測，依設定值來作動，並使用儀用空氣來清潔。

下料量測系統包括一個塊狀破壞器，一個旋轉閥及螺旋輸送帶。石灰乳為批次製備。依控制程式指令石灰泥製備槽飼入水閥打開，水注入桶槽，注水量是由流量錶加以量測。

當石灰泥製備槽含有一定量的水時，石灰水合物才開始飼入，並藉由手動調整旋轉的驅動馬達的速度，以調整石灰及飼入水的時間。石灰及水的總飼水量，由石灰製備桶的稱重系統加以記錄，為取得石灰水合物之供應量，量得的水量須自總總量中扣除，則精確的石灰乳濃度即可得知。

石灰泥製備槽的攪拌機將石灰濃度調至 22~25%的濃度。過了懸浮時間之後，由液位控制系統的指令，一個石灰乳批次導入石灰泥飼入槽，而其間之氣動閥必須打開。石灰泥飼入槽中之攪拌器只當槽中達到起碼液位而才開始轉動。當石灰乳開始排至石灰泥槽，注水至石灰泥飼入槽閥是開的，儲存槽的石灰乳被稀釋至 10~15%的濃度，連同稀釋水、活性碳一同飼入石灰泥飼入槽。當需要的水量由流量表測得已達時，石灰泥槽的水閥會關閉。

由液位開關的訊號顯示最低液位已達，則石灰泥供應泵會自動啟動。

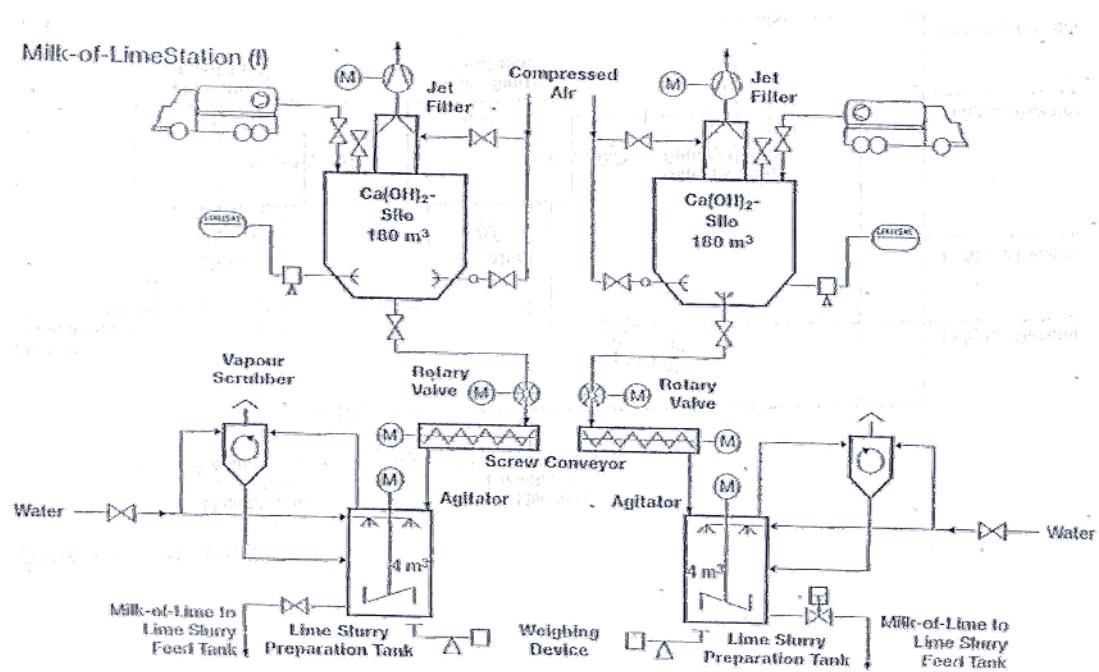


圖 4.1-3 石灰乳液製程站 1

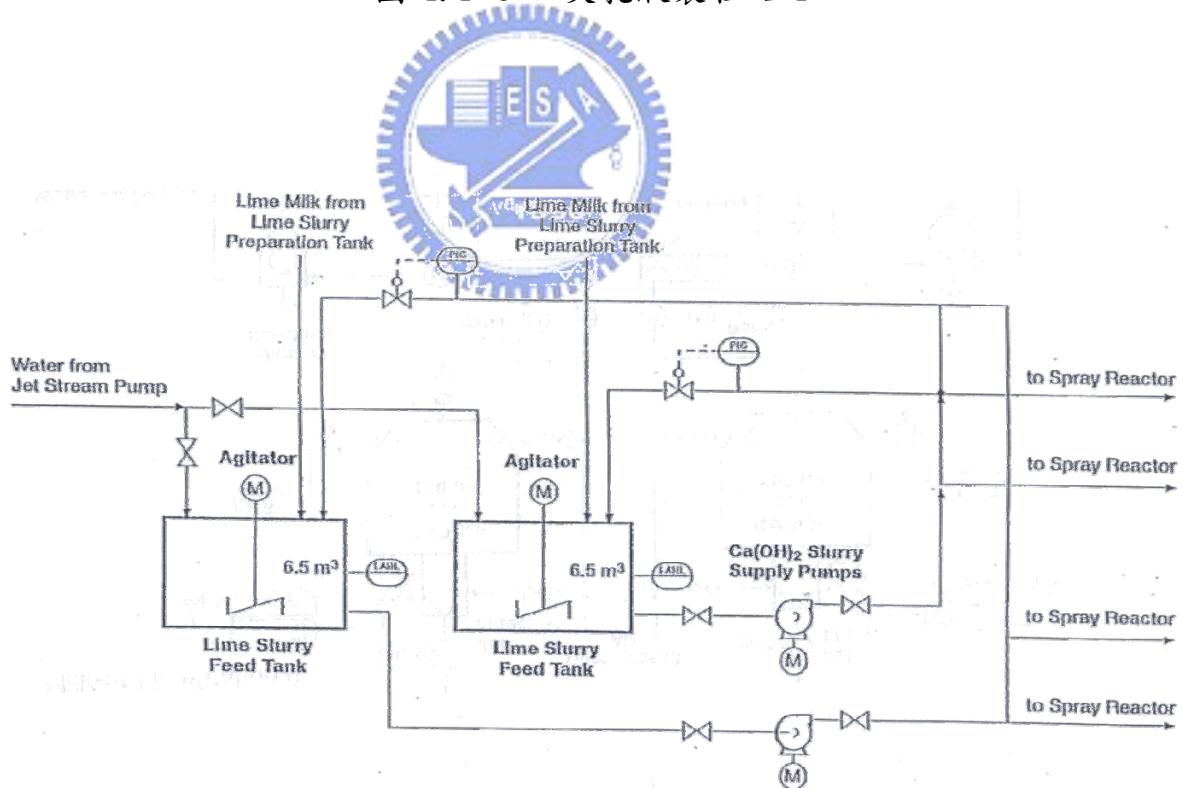


圖 4.1-4 石灰乳液製程站 2

## 單元 F 活性碳噴入系統

組成之元件

1. 活性碳氣送進料管線
2. 活性碳貯槽
3. 袋濾式逸氣過濾室
4. 螺旋輸送機

流程及功能：

活性碳噴入系統如圖 4.1-5，廠區提供 2 個  $10\text{m}^3$  的桶槽儲存 AC 桶槽，活性碳粉末以卡車裝運，以氣動式導入桶槽。測溫點設在桶頂及出口處，如因超過設定之溫度限制值  $80^\circ\text{C}$  會發生警報，氮氣可以手動吹入桶槽，在桶槽底部曝氣，並終止添料動作。上有袋濾式逸氣過濾室，活性碳貯存高度偵測設施，經迴轉閥(Rotary Valve)，螺旋輸送機，由活性碳噴入鼓風機至供應槽。

本系統包括：活性碳儲槽以及旋轉閥、加料螺旋及注入泵，將 AC 注入石灰泥槽。

藉由活性碳吸附特性以及改善戴奧辛及呋喃的去除效果。少部份的污染物活性碳吸附，同其他石應產物在半乾式洗煙塔中去除，大部份在袋式過濾器排放。

活性碳以粉狀型態加至石灰乳中，並懸浮在石灰孔上，經由霧化轉盤噴入吸收器中。

活性碳以手動可調式的旋轉閥，將活性碳自桶槽排入螺旋推進器。由推進器排入注入泵，每個批次石灰乳所需 AC 的量，可由螺旋輸送帶運轉。

### Activated Carbon (AC) Station

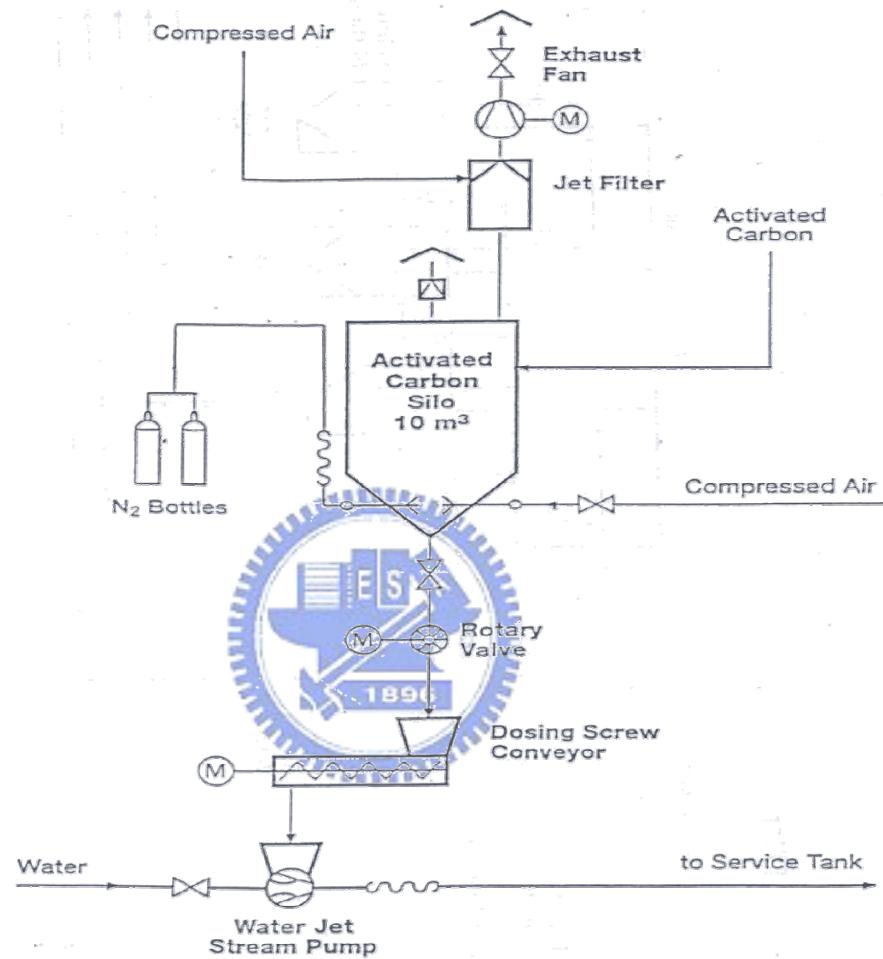


圖 4.1-5 活性碳添加站

## 單元 G 半乾式吸收反應塔

### 組成元件

- 1 反應塔塔體
2. 噴霧器
3. 轉盤
4. 驅動馬達
5. 震動計
6. 油泵
7. 油槽
8. 油管
9. 反應灰集灰斗
10. 再利用水泵
11. 再利用水供應管線

### 流程及功能說明：

廢氣被吸入半乾式洗煙塔，污染物藉由石灰乳的噴入加以去除；同時石灰乳中的水份及加入的水均被蒸發，以冷卻廢氣。部份乾的反應物在錐形底部被分離出來，而大部份則進到下游的袋式集塵器中。

液體霧化乃藉由噴霧器底部圓盤轉動來達成。圓盤及驅動元件為組合體，可輕易的藉由揚昇吊車來更換，並且不影響氣體的流動。

石灰乳的飼入量乃依據出口乾淨氣體 HCL 的分析值加以自動控制。當斷電或噴霧器停止時，則飼入動作會自動停止。

飼入水則由出口溫度函數加以自動控制；同樣的當斷電或噴霧器停止時，則飼入動作會自動停止。

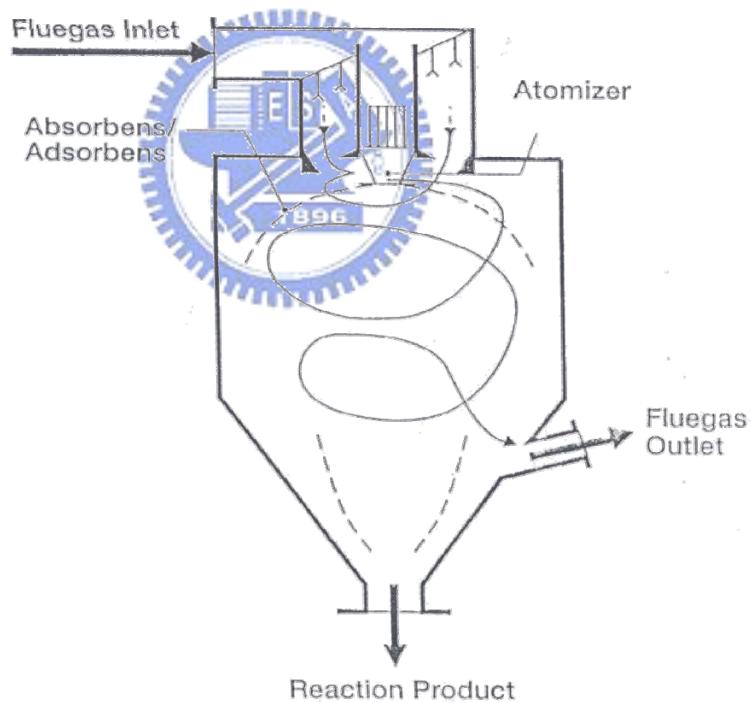
潤滑油供應管路上的壓降會使半乾式洗煙塔跳機；同樣的溫度及振動的監控亦然。

為避免露點下的運轉造成殘留物聚集成塊，錐形部位、塊狀破碎機及旋轉閥均裝有加熱裝置。

石灰乳飼入半乾式洗煙塔之控制藉由廢氣系統袋式集塵器出口的廢氣中 HCL 含量始能穩定。因此在該出口 HCL 含量須加以量測，控制器在比較量測值與設定值後，如實際值低於設定值，則石灰乳控制閥保持關閉，反之，如果 HCL 實際值大於設定值，則控制閥會打開，直到達到設定值。

半乾式洗煙塔下游溫度控制藉由控制系統下游之袋濾式集塵器出口溫度始能穩定。因此出口的溫度須加以量測。控制器在比較量測值後。如實際值低於設定值，則污水管路控制閥保持關閉。反之，如果實際值高於設定值，控制閥會打開，直到達到設定值。

圖 4.1-6 半乾式洗煙塔



## 單元 H 反應生成物輸送系統

### 組成元件

1. 螺旋輸送機
2. 旋轉閥
3. 緩衝槽.
4. 壓力櫃
5. 反應生成物貯槽
6. 飛灰貯槽

### 流程及功能說明：

反應生成物輸送系統如圖 4.1-7~4.1-8，反應產物乃混著來自半乾式洗煙塔的飛灰及鹽類以及袋式過濾器，並以鏈式輸送帶輸入氣動傳送器到達緩衝槽而後飼入氣動傳送器的壓力容器。

由氣動傳送器反應產物輸送至其中的一個反應物儲槽。卸料至卡車可選擇乾式或濕式，濕式則約低以 10% 的水，該反應產物以一增濕設備持續運轉卸料。

反應灰經 chain Conveyor，至緩衝櫃、壓力櫃，至反應灰貯槽（2 座，320 立方米），經迴轉閥(Rotary Valve)，螺旋輸送機(Screw)，由槽車載至固化廠處理。

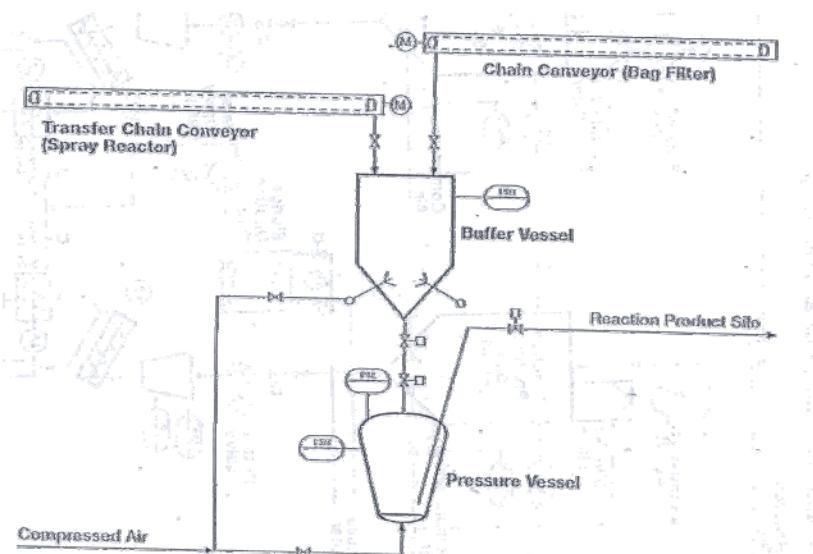


圖 4.1-7 反應生成物輸送系統 1

### Reaction Product Silos and Discharge

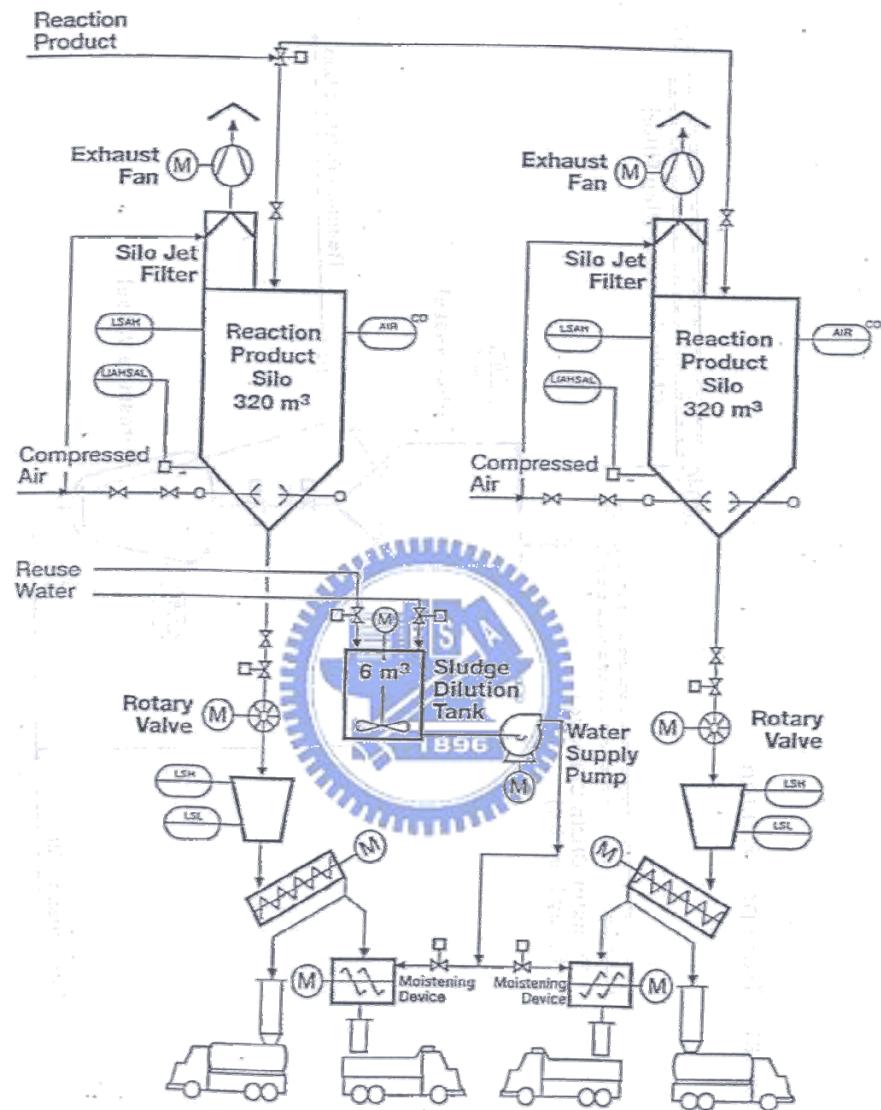


圖 4.1-8 反應生成物輸送系統 2

#### 4.1.4 袋式集塵器之 FMEA

組成之設備單元

單元 I：濾袋及支架

單元 J：集塵器主體

單元 K：清洗設備

單元 L：排灰設施

單元 M：熱風循環加熱設備

袋式集塵器之 FMEA 詳附錄三

單元 I：濾袋及支架

組成之元件

1. 集塵器濾袋

2. 濾袋籠



微粒的收集表面包括濾袋和一些支撐濾袋的支架。濾布可以用上下兩個鐵環支撐，或者作成一個鐵籠支撐。一個大型的濾袋屋由數個隔間組成，以便於維護，每個隔間內含有許多布管。

袋式集塵器由數百或數千個垂直懸掛的濾袋所構成。當粉塵累積至一定的厚度時，粉塵需被清除至下方的漏斗，再利用氣壓或螺旋式的輸送器自漏斗中排出。袋式集塵器之外殼是用薄鋼板所作成的，它保護濾袋免受氣候的影響。

濾布使用之纖維材料分成天然纖維及人造合成纖維兩種，焚化廠使用鐵弗龍(Teflon)，其耐溫性可高達 260°C，且耐酸性高。濾布在使用前通常需經過預先處理，以增進機械及尺寸方面的穩定性，避免使用時尺寸縮小，如水洗、烘乾及熱固加工。

管狀的濾袋長度及直徑依濾袋屋的設計及製造商之不同而異，通常長度在 3-12 公尺，直徑在 0.15 至 0.45 公尺之間。濾袋通常垂直懸掛，下方或上方用鐵環、鐵帽、夾具或扣環等支持著。外部過濾系統之濾袋內部用鐵籠支持著，濾布則用扣環夾持在鐵籠上。

## 單元 J：集塵器主體

組成之元件：

1. 外殼
2. 進口風門
3. 出口風門
4. HOPPER

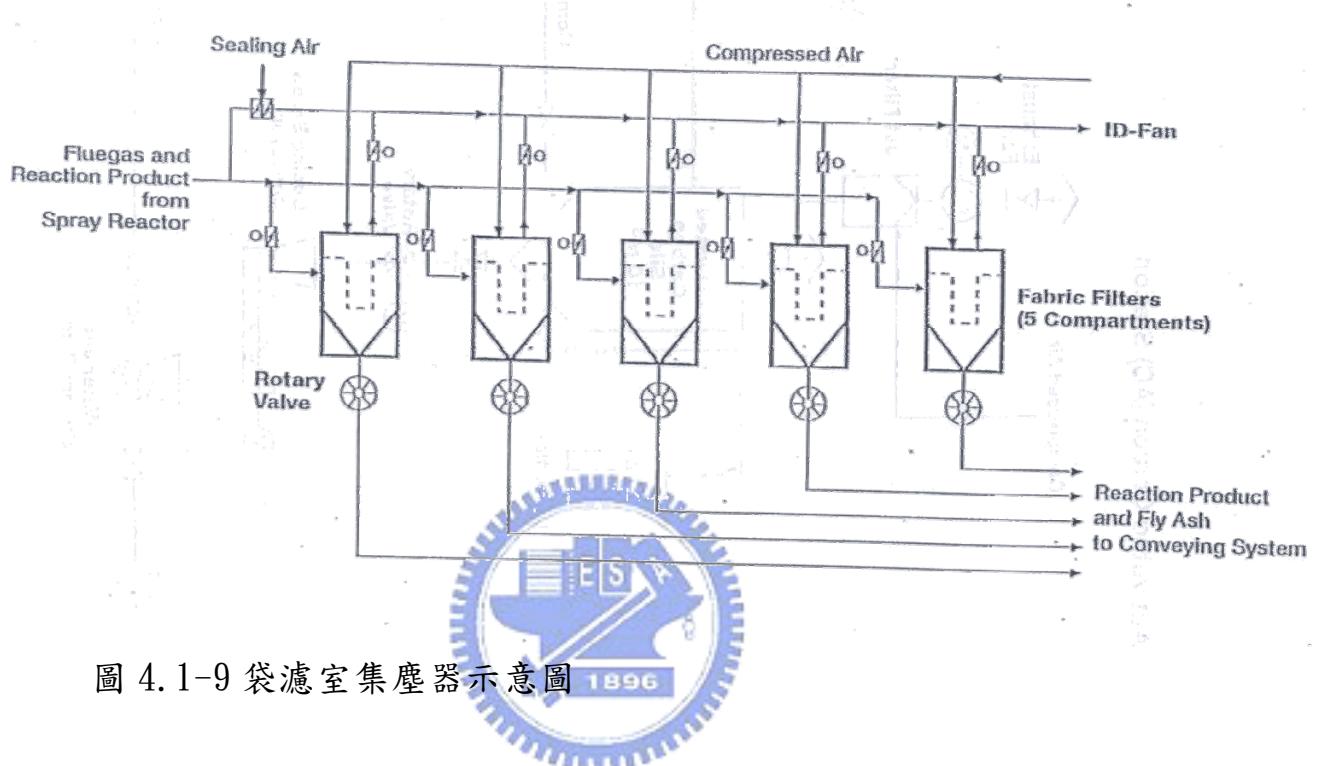


圖 4.1-9 袋濾室集塵器示意圖

袋濾室集塵器如圖 4.1-9 所示，袋式集塵器由堅固的鋼板所構成。它可以是處理廢氣流量小時用的獨立單元，或是處理廢氣流量大時用的多個分隔室的組合。廢氣流量小的場合有噴漆或研磨過程等的廢氣排放；廢氣流量大的場合有工業用鍋爐或煉鋼廠等的廢氣排放。高溫廢氣中含有水份，應考慮在濾袋屋外部使用絕緣材料，以免因溫度冷卻時水氣及酸霧凝結在壁上，加速濾袋屋的腐蝕及損壞。

只有部份殘留物-鹽類及飛灰會在反應器的錐形部份被分離出來，其它大部份由廢氣引導至下游的袋濾式過濾器加以收集。來自半乾式洗煙塔載有固態物質的廢氣導入袋式過濾器。廢氣以水平方向穿透包覆內稱的濾袋。過濾器包括五個平行的間隔，廢氣流經濾材到達內部，粒狀雜質就擋在濾材外。為防止崩塌，內部有固型籠。而穿過之氣體，收集至乾淨的煙道排至煙囪。

## 單元 K：清洗設備

1. 轉換閥門
2. 閥門
3. 粉塵振落裝置

濾袋之清洗方式依時間順序區分為間歇性洗袋、週期性洗袋及連續性洗袋等三種。間歇性洗袋法是在需要時才洗袋，洗袋時需停止操作，濾袋一排一排或同時被清洗。間歇性洗袋法適用於分批式的生產製程。週期性洗袋法用於具有多個分隔室(濾室)的濾袋屋除塵設備，洗袋時將廢氣自欲清洗的那個分隔室轉入其他已清洗好的分隔室，因而生產不會中斷。一個分隔室清洗完之後再轉至其他分隔室清洗，週而復始。

連續性的洗袋是一種自動的方法。此方法最大的好處是生產不受影響，在每一個時段裡，總有一排濾袋正在接受清洗，其他濾袋則正常的操作著。大型的濾袋屋通常設計成許多的分隔室。若某一分隔室的濾袋破損，僅需將該部份停機修理即可，生產不必中斷。

濾袋清洗的方式常用者包括機械振盪式、反洗空氣式及脈衝噴氣式三種。現在的濾袋屋絕大部份使用脈衝噴氣式洗袋法。高壓的空氣經由濾袋上方的文式管由上往下噴出，形成壓力波往下方移動，濾袋遇此壓力波時會膨脹，附著於其外的濾餅隨即破裂掉入漏斗之中。壓力波到達濾袋底部再折回之時間約為 0.3~0.5 秒。在有些設計中，並未使用文氏管，空氣脈衝直接由吹管上之噴嘴噴入濾袋中，進行洗袋。

整列濾袋的清潔，是以壓縮空氣以壓降及流率的參數加以控制。

以經由蝶閥的噴槍，將逆流的壓縮空氣，以脈衝的方式衝擊濾袋，使濾袋膨脹，塵塊剝落，並掉入濾袋下格間中，以達清潔的目的。

## 單元 L：排灰設施

1. 集塵斗
2. 輸送機
3. 旋轉閥
4. 壓送系統

為了防止集塵室料斗溫度過低造成排灰系統堵塞及腐蝕，料斗四面均會加裝加熱器及一組振動器，以利排灰系統運作，料斗加熱器也可加速熱風循環系統的昇溫，料斗加熱器的操作時機是在集塵室停止操作開始啟動或長期停機時，啟機前必須啟動，以免料斗溫度過低。而料斗在設計上，水平夾角設計要大於 70 度以上避免架橋。

濾袋上的粉塵餅經由脈衝噴氣清洗掉落至料斗，往往會有大塊粉塵餅集結，因此排灰除了要考慮氣密外，輸送設備也要避免被卡死，一般選用均採雙擺閥加上鏈式輸送機來運送飛灰。

流程及功能：



由濾袋落下的灰塵收集於塵斗中，並連續的加以清理。在每個集塵中，皆裝設探針，以監控灰塵的液位。另有旁通的保護，以備啟機、停機關閉檢查，以防範極端的溫度與壓力。

積灰斗中的灰若不即時清除，且灰斗內溫度若低於露點時，極易造成架橋結塊，阻塞出口管路，腐蝕外殼等問題，且堆在灰斗內的灰又極易受氣體的影響而飛揚，造成塵粒濃度增加。若積灰高及濾袋時更會減少集塵面積造成氣布比(A/C ratio)增加，因此灰斗內積灰需定期排放。

為了避免灰斗內的粉塵上揚或因空氣自排放口吸入等現象，而致使集塵效率降低，進而影響製程系統平衡，可於灰斗的排放口設置手動或自動的機械閥，如滑動閘門、旋轉閥及自動翻轉閥等可有效的防止氣流進入灰斗之中，同時粉塵也可連續或週期性的被排出。

旋轉閥，一般使用於中型或大型的集塵設備，閥上有裝於軸上的葉片輪，軸由馬達驅動，壁面襯以特殊的材質，使葉片與壁面形成密不透氣的接合，經由馬達可控制轉速慢慢轉動，將粉塵定時定量的連續排出，且可保持集塵系統的氣密性。

灰斗內的粉塵應盡可能在最短時間送到輸送設施，以避免於灰斗內滯留時，因堆積而造成架橋。因此，粉塵經由上述的閥門排出後，即應立即以螺旋輸送機或氣動輸送設施連續將粉塵送到貯槽內貯存。

螺旋輸送機可直接裝在集塵器的灰斗底部或與灰斗的各個排放口連接收集後排放。而氣動輸送設施則是利用較高壓的空氣將收集的粉塵輸送到貯存槽。兩者皆可連續輸送粉塵，並保持集塵系統的氣密性。

#### 單元 M：熱風循環加熱設備

1. 風管
2. 控制風門
3. 風扇
4. 電熱器

熱風循環加熱系統設備其功能為 1. 啟機前將集塵室溫度，由常溫加熱到設定溫度， 2. 當全部或個別集塵室停止操作時，持續維持集塵室溫度在設定溫度。

循環加熱系統主要是由風管、出入口控制風門、熱風循環風扇及加熱器等構成。當集塵機出入口風門關閉，熱風循環系統即開始運作，將依序打開各室循環熱風出入口控制風門、啟動熱風循環風扇及加熱器，若循環熱風溫度低於低設定值，加熱器將開始加熱以使溫度上升，當溫度升達高設定值，加熱器將停止加熱，如此使循環熱風溫度保持在預設之範圍內，以維持集塵室內之溫度。

循環加熱系統設置的目的，是為了防止集塵室溫度過低使氯化鈣水合物 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 冷凝變成液態，對濾袋及排灰系統造成堵塞，長期更會造成嚴重腐蝕，因為氯化鈣水合物又黏，腐蝕性又強。當全部或個別集塵室停止操作時，循環加熱系統必須自動啟動，持續維持集塵室溫度在設定溫度以上；如果要開艙蓋檢修時，循環加熱系統必須停止操作，此檢修時間要越短越好；如果必須長期停機，啟機前集塵室必須由常溫加熱到設定溫度，才可正式操作。

## 4.2 分析結果之討論

### 4.2.1 分析結果之統計

經由失效模式從嚴重度、發生度、難檢度，計算其風險優先指數，並由風險優先指數高低，得知設備元件其失效模式與效應，進而作預先之防範與事後之處理，不至使其效應擴大，影響焚化爐之正常運轉操作，進而健全焚化廠之營運管理，不但妥善處理廢棄物，並能防止二次公害，使焚化爐從一鄰避設施至大家都能接受之場所。

FMEA 高風險優先數次序如表 4.2-1，從失效模式與效應分析統計出高風險優先指數次序為

1. 半乾式洗煙塔霧化器無法啟動
2. 旋風集塵器集灰斗排灰不良
3. 袋濾式集塵器濾袋燒毀
4. 袋濾式集塵器濾袋阻塞
5. 半乾式洗煙塔轉盤磨損
6. 半乾式洗煙塔螺旋輸送機自動跳脫
7. 半乾式洗煙塔消石灰乳泥供應輸送管線外漏
8. 旋風集塵器塔體破孔
9. 袋濾式集塵器清洗設備轉換閥門操作不良

從失效模式分析得知旋風集塵器有 2 項、半乾式洗煙塔有 4 項、袋濾式集塵器有 3 項，其中屬排出裝置有 2 項；是以半乾式洗煙塔為相對重要，其如果失效，廢氣處理系統即會失效，焚化爐亦將停止運轉。另排出裝置有 2 項，包括其輸送機阻塞、集灰斗排灰不良、當排出裝置阻塞便會積灰架橋，如不及時排除架橋，嚴重時需降載停爐。

整體而言，旋風集塵器如果失效，廢氣處理系統尚可使用。

半乾式洗煙塔如果失效，袋濾式集塵器走旁通，實務面上廢氣處理系統失效，理論面上可計算污染物之煙囪排放濃度，及污染物經大氣擴散後之周界濃度。

袋濾式集塵器如果失效，大量粒狀污染物藉由煙囪排放，理論面上可計算粒狀污染物之煙囪排放濃度，及污染物經大氣擴散後之周界濃度。

表 4.2-1 FMEA 高風險優先數次序表

項 次	系統	設備	組成元件	失效模式	原因	影響	嚴重 度	發生 度	難檢 度	風險 優先 值	次 序
1	旋風集塵器	排灰設施	集灰斗	排灰不良	粉塵固化附著，粉塵形成架橋現象	無法正常排灰，需降載甚而停爐檢修。	9	8	4	8.11	2
2		塔體	塔體	破孔	1. 吸入外界潮濕空氣後將導致生鏽腐蝕 2. 顆粒長期磨損管壁、外力衝擊	1. 飛灰外漏，廠區污染。 2. 嚴重時需降載處理。	8	4	3	6.35	8
3	半乾式洗煙塔	半乾式吸收反應塔	霧化器	無法啟動	1. 震動值過高 2. 齒輪箱損壞 3. 軸承潤滑管路阻塞或軸承損壞。	無法順利噴注消石灰及活性碳，去除廢氣中酸性氣體及戴奧辛	10	4	8	8.22	1
4		半乾式吸收反應塔	轉盤	磨損外漏	長期磨耗	無法正常噴注石灰乳影響排放	8	5	9	7.37	5
5		消石灰進料貯存系統	消石灰乳泥供應輸送管線	外漏	管線破裂	消石灰乳外漏	7	5	7	6.50	7
6		反應生成物及飛灰輸送系統	螺旋輸送機	自動跳脫	阻塞，電流值過大，超過負載跳脫	不能順利排出	7	7	4	6.62	6

項次	系統	設備	組成元件	失效模式	原因	影響	嚴重度	發生度	難檢度	風險優先值	次序
7	袋濾式集塵器	濾袋及支架	集塵器濾袋	濾袋燒毀	1. 火花流入(燒成小孔) 2. 粉塵發熱 3. HOPPER 架橋	集塵效果不良影響空污排放	8	7	6	7.49	4
8		濾袋及支架	集塵器濾袋	濾袋阻塞	1. 廢氣快速通過濾袋，易造成小顆粒卡在纖維內層 2. 因低溫發生凝結水，造成濾袋阻塞 3. 壓力差過大甚而TRIP IDF. 4. PURGE AIR 濕度過高	集塵效果不良	8	8	6	7.75	3
9		清洗設備	轉換閥門	1. 操作不良 2. 閥門關閉無法緊密	歲修停爐階段測試不完全、閥門積灰阻塞	1. 廢氣系統抽引狀況轉壞 2. IDFan 馬達電流量降低或增加 3. 焚化爐爐壓增加，廢氣流量產生變化。	6	6	8	6.25	9

## 一、旋風集塵器失效之影響

廢氣處理系統由旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器串聯而成，其中旋風集塵器是屬於較簡單之機械設備，其主要是去除粒狀污染物，去除效率可達 60%，其失效影響最大者，為排灰裝置阻塞，以致於飛灰不能順利排出，導致鍋爐需降載或增加後端袋濾式集塵器之負荷，減低濾袋使用壽命，實務來講，旋風集塵器如果不能使用，廢氣處理系統依然可以正常運作，不致影響焚化爐之操作。故旋風集塵器失效，污染防治系統亦可維持正常運作，袋濾式集塵器負荷會增加，需注意差壓，防止阻塞，清除頻率會增加。

## 二、半乾式洗煙塔失效之影響

半乾式洗煙塔是去除酸性氣體，並藉由活性碳吸附去除戴奧辛及呋喃(PCDD, PCDF)以及重金屬，其重要之設備為噴霧器，其轉數每分鐘可達 8000 轉，噴霧器構造有齒輪箱、轉盤，一旦噴嘴阻塞，造成噴霧器震動值過大，噴霧器將會停止，一旦失效，石灰乳液不能噴出，從旋風集塵器過來 260 °C 的廢氣將不能降溫與去除酸性氣體，嚴重者造成濾袋燒毀，實務來講，二線噴霧器有一備用噴霧器，一旦單線噴霧器故障，即可在短時間內拆卸換上備用噴霧器，而濾袋材質可耐熱 260°C，維持半乾式洗煙塔正常運轉。半乾式洗煙塔重要單元為石灰乳製備單元，在供應槽調製成 10% 之石灰乳液，並加入活性碳，石灰供應系統如果失效，即沒有石灰乳液，亦不能降溫與去除酸性氣體，實務上沒有石灰，而只有水只能降溫，沒有活性碳吸附去除戴奧辛及呋喃(PCDD, PCDF)以及重金屬，整個廢氣處理系統雖能操作，但卻無法去除酸性氣體，將造成空氣污染。

半乾式洗煙塔的反應生成物排出系統，如果阻塞，或故障，反應生成物不能順利排出，將造成架橋，導致鍋爐需降載，以減少其排出量，甚至埋火停爐。

半乾式洗煙塔如果故障，廢氣將不能降溫與去除酸性氣體，袋濾式集塵器亦不能使用，因為濾袋會燒毀，操作袋濾式集塵器只能旁通，大量粒狀

污染物藉由煙囪排放，造成空氣污染，實務面上廢氣處理系統已失效，焚化爐需停爐，待緊急修復後，重新啟動。

半乾式洗煙塔失效，連鎖保護作用，袋濾式集塵器將停止運轉，造成廢氣處理系統形同整體失效，如不能快速修復，需焚化爐停爐，故半乾式洗煙塔為重要系統。

### 三、袋濾式集塵器失效之影響

袋濾式集塵器為去除粒狀污染物，其收集效率可達 99%，在同樣為去除粒狀污染物，旋風集塵器為前處理設備，收集大顆粒粒狀污染物，袋濾式集塵器一旦失效，袋濾式集塵器只能旁通，大量粒狀污染物藉由煙囪排放，造成空氣污染，實務面上廢氣處理系統已失效，焚化爐需停爐，待緊急修復後，重新啟動。

袋濾式集塵器失效，粒狀污染物大量增加，造成空氣污染，袋濾式集塵器的核心即為濾袋，集塵器共有 5 個集塵室，每室有 16 排，每排有 14 個袋，每個濾室有 224 個濾袋，故一線有 1024 濾袋。濾袋之損毀阻塞可藉由壓力差觀察，袋濾式集塵器有清除裝置，清除順序是 1—3—5—2—4，吹入空氣做濾室袋清潔作用，避免濾室袋阻塞，維持該濾室袋正常操作，清除裝置如果失效故障，實務面上尚可維持正運轉操作，但收集效率會下降。每個濾室並可旁通單獨清除，如果單一濾室假設燒毀，仍可做動，除非其入口閥門故障或排灰裝置架橋阻塞，袋濾式集塵器失效之風險不大。

廢氣處理系統有風門，為氣動控制，可能因積灰阻塞，如果久無作動，影響其開啟之閉合度，如袋濾式集塵如因需旁通，實務尚須手動操作，以確保期能正常操作，不至於廢氣仍經濾室，影響濾袋壽命。

濾袋的材質相當重要，包括其物理化學性質，其耐熱溫度可達 260°C，濾袋並由濾袋籠支撐著，濾袋難免損毀，整體而言不影響袋濾式集塵器之操作，但濾袋的損壞如果是由點到面，例如集中在某一濾室，廢氣可不經該濾室，而走旁通路線，5 個濾室有 4 組濾室，袋濾式集塵器仍可維持正常操作，但其他濾室負荷增加，便可能要降載因應，如果擴及到面，袋濾式集塵器只能旁通，實務面上廢氣處理系統已失效，焚化爐需停爐。

袋濾式集塵器的反應生成物排出系統，為經鏈輸送帶，旋轉閥，螺旋輸送帶，送至緩衝櫃、壓力櫃，再藉由氣送至反應生成物儲槽，如果阻塞，或故障，反應生成物不能順利排出，將造成架橋，導致鍋爐需降載，以減少其排出量，甚至埋火停爐。

#### 四、排灰裝置失效之影響

旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器皆有排出裝置，旋風集塵器為飛灰，其量約為焚化量之 0.4~0.6%，半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器為反應生成物，其量約為焚化量之 2.5~3.0%，排出裝置如果故障，形成架橋，導致鍋爐需降載，以減少其排出量，甚至埋火停爐。故巡檢人員需廠區定期巡檢，發生狀況，及時排除。

排灰裝置為重要設備，需定期排灰，避免灰斗內貯滿了粉塵後而造成堵塞，或因為設備不是連續操作，停機後灰斗內的粉產溫度逐漸下降到露點溫度以下，致使粉塵內的水份因冷凝後由氣態轉變為液態，而與粉產混合結塊，造成堵塞及無法排灰的現象。更嚴重的是，倘若廢氣中含有硫酸成份，則與水結合成硫酸液體而逐漸腐蝕灰斗的內壁，甚至造成穿孔的現象。此外，長期的貯存亦使得粉塵有機會產生化學反應，增加粉塵凝聚的機會，而造成堵塞。

集塵器灰斗的功能為粉塵的匯集點，它將粉塵導引到螺旋輸送機或氣動輸送系統的各種密閉式的輸送設施，再轉送到最終的貯存地點。應儘量避免將粉塵長期貯存於灰斗內，唯有當粉塵輸送設施故障維護，粉塵無法連續排放時，才可暫存於灰斗內。故灰斗設計時須考慮足夠因應緊急維修時的暫存容量及強度。

另外在排灰管道，設有敲擊裝置，以敲擊管壁，震落內壁之積灰，已保持排灰管道之暢通。為防止飛灰溫度過低，皆設有電熱裝置，在啟爐啟動前，電熱裝置需先啟動，避免飛灰過濕阻塞。

#### 4.2.2 改善策略之分析

空氣污染物可分氣狀及粒狀，其中旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器主要是去除粒狀污染物，半乾式洗煙塔是去除酸性氣體，並藉由活性碳吸附去除戴奧辛及呋喃(PCDD, PCDF)以及重金屬，並由串連組成，袋濾式集塵器並有5個濾室，只要半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器其中一個失效，而半乾式洗煙塔最重要設備為噴霧器，如短時間不能修復，但其有備品，可經維修單位快速之修復，時間約15分鐘，不致影響操作，短時間雖有廢氣經袋濾式集塵器，但不致有過大影響。

袋濾式集塵器核心為濾袋，但濾袋有1024個，不至整體失效，一室旁通，仍可維持正常運作。故實務面上焚化爐操作至今六年有餘，尚未因廢氣處理系統失效而停爐，停爐原因有因水管牆破裂，一般並進行日常巡檢、週保養、月保養，年度歲修。

##### 廢氣處理系統改善策略為

###### 一、強員工教育訓練

加強教育訓練，各種標準操作程序文件之制訂。加強人員之緊急應變演練，包括通報，模擬各種可能發生之狀況，在最短的時間，有效快速整合各項資源，避免災害之擴大。

###### 二、監控操作參數控管

中控室設有各項監測設施：差壓監控系統、料斗堵料及架橋監視系統、料斗外殼溫控系統、濾袋遇高低溫保護系統、脈衝噴射空氣壓力監視，可於現場及中控室監看各監測值，若監測值超過設定值，中控室警報系統將發出警報以提醒操作人員，以採取對應之措施。

廢氣經收集，污染源所排放的廢氣溫度，將直接進入處理設備，其廢氣的溫度對處理設備會直接造成影響，故廢氣在進入主要設備前，必須先判斷其對設備的影響，並予以適當的控制，廢氣溫度過高或過低皆不適宜。

廢氣溫度太高會對處理設備造成損害或導致濾袋破裂等問題，故須於處理設備前，先降低廢氣溫度，而降低的程度，則須考慮設備材質所能承受的溫度範圍。

廢氣溫度過低，當廢氣成份中含水量高，且於露點下操作時，則廢氣中的水份將被冷凝而由氣態轉為液態，而這些冷凝水在設備中則易造成腐蝕、結垢及堵塞濾袋的現象。

### 三、落實維護保養

預防重於治療，平日落實保養重於事後之維修，其金錢、物力、人力之節省，每日之點檢、日週月保養，歲修之檢查維護。備品工具要齊全，做好各項萬全之準備，才能應付各種突發狀況，確保永續。



#### 4.2.3 設備失效之模式組合

廢氣處理系統由旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器串聯而成，當一系統失效而不能發揮功用時，會影響到廢氣處理系統。

旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器選擇單系統失效、2個系統失效、3個系統失效，共有7種之組合模式，如模式一致模式七，如表4.2-1。

另外模式八、九、十為在系統正常運轉下，其污染物煙囪排放濃度分別為原廠設計值、年平均值、月平均最大值，故共有十種模式，其中模式一與模式五廢氣濃度為在旋風集塵器之前（點1），模式二與模式八廢氣濃度為在袋濾式集塵器之後（點4），模式三與模式七廢氣濃度為在旋風集塵器與半乾式洗煙塔之間（點2），模式四與模式六廢氣濃度為在半乾式洗煙塔與袋濾式集塵器之間（點3）。點一至點四之位置示意圖如圖4.2-1與4.2-2，各點之污染物濃度計算詳5.3.1節。

雖污染防治措施齊備，理論上針對旋風集塵器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器某系統失效時，其煙囪產生之空污，並作空氣模擬（詳第五章）。各種模式詳述如下：

模式一：旋風分離器、半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器同時失效，理論上煙囪之排放物濃度為點1。

模式二：旋風分離器失效，袋濾式集塵器負擔增加，將減少其使用壽命，理論上煙囪之排放物濃度為點4。

模式三：半乾式洗煙塔失效，袋濾式集塵器將旁通，理論上煙囪之排放物濃度為點2。因為半乾式洗煙塔如果失效，其廢氣 $260^{\circ}\text{C}$ 如流過袋濾式集塵器，將會造成濾袋燒毀，故連鎖保護作用，袋濾式集塵器將停止運轉，廢氣由旁通風門排出。

模式四：袋濾式集塵器失效，理論上煙囪之排放物濃度為點3。

模式五：旋風分離器、半乾式洗煙塔同時失效，為點 1。因為半乾式洗煙塔如果失效，其廢氣  $260^{\circ}\text{C}$  如流過袋濾式集塵器，將會造成濾袋燒毀，故連鎖保護作用，袋濾式集塵器將停止運轉，廢氣由旁通風門排出，故模式 5 同模式 1。

模式六：旋風分離器、袋濾式集塵器同時失效，理論上煙囪之排放物濃度，為點 3。

模式七：半乾式洗煙塔、袋濾式集塵器同時失效，理論上煙囪之排放物濃度，為點 2。。

模式八：空污防制系統運轉正常，煙囪之排放物濃度（設計值），理論上煙囪之排放物濃度，為點 4。

模式九：空污防制系統運轉正常，煙囪之排放物濃度（歷年年平均值）。

模式十：空污防制系統運轉正常，煙囪之排放物濃度（歷年月平均最大值）。

模式	旋風集塵器	半乾式洗煙塔	袋濾式集塵器	排放濃度
模式一	失效	失效	失效	點 1
模式二	失效	正常	正常	點 4
模式三	正常	失效	正常	點 2
模式四	正常	正常	失效	點 3
模式五	失效	失效	正常	點 1
模式六	失效	正常	失效	點 3
模式七	正常	失效	失效	點 2
模式八	正常	正常	正常	設計值
模式九	正常	正常	正常	年平均值
模式十	正常	正常	正常	月平均最大值

表 4.2-2 系統失效之組合模式

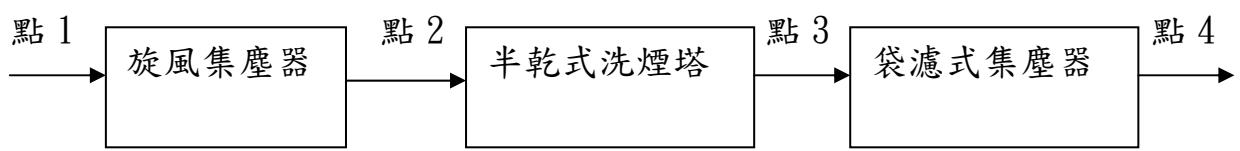


圖 4.2-1 系統失效廢氣濃度計算點

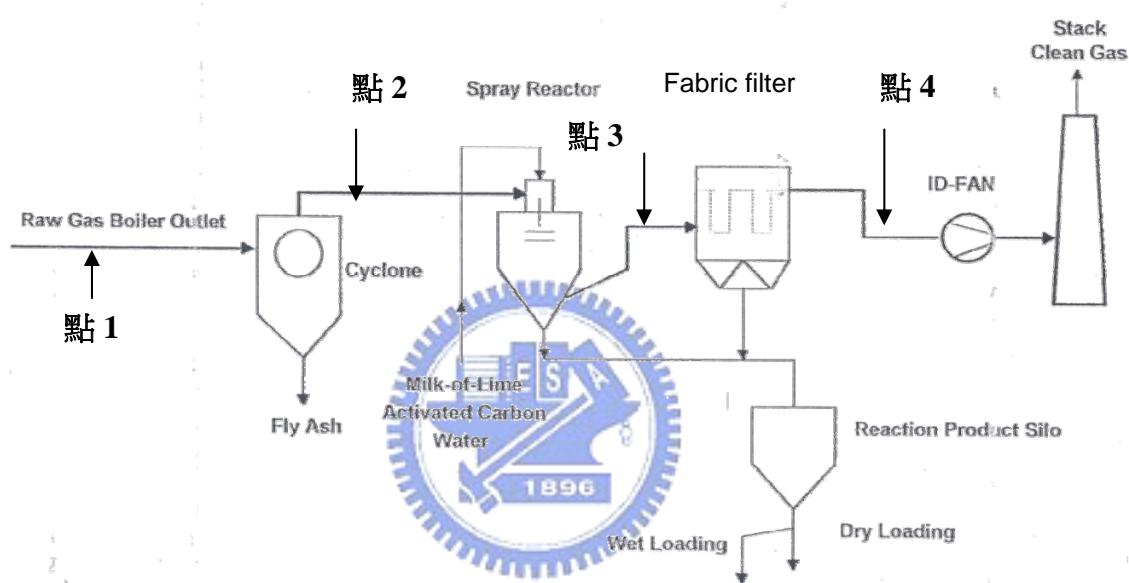


圖 4.2-2 廉氣處理設備濃度計算點