

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩 士 論 文

空氣污染防治系統之失效模式與影響分析- 以垃圾焚化廠為例

Failure Modes and Effects Analysis of the Air Pollution
Control Device—take Refuse Incineration Plant as an Example

研 究 生：林文輝

指導教授：陳春盛 教授

中華民國九十七年一月

空氣污染防治系統之失效模式與影響分析-

以垃圾焚化廠為例

Failure Modes and Effects Analysis of the Air Pollution
Control Device—take Refuse Incineration Plant as an Example

研 究 生：林文輝

Student：Wen-Hui Lin

指導教授：陳春盛

Advisor：Dr. Chun-Sung Chen

國 立 交 通 大 學

工學院產業安全與防災學程



A Thesis

Submitted to Degree Program of Safety and Risk Management
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in

Industrial Safety and Risk Management
January 2008
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年一月

空氣污染防制系統之失效模式與影響分析-

以垃圾焚化廠為例

研 究 生：林文輝

指導教授：陳春盛 教授

國立交通大學產業安全防災與防災學程碩士班

中文摘要

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，產生高溫高壓蒸氣，推動汽輪輪發電機發電，而焚燒產生的廢氣，也都必須經過空氣污染防制設備處理後排放。其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。

本研究以垃圾焚化廠之空氣污染防制設備為研究對象，其範圍為空氣污染防制系統，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影響分析 FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) 做研究方法，探討其失誤之模式種類，及可能對系統造成之影響，進而加以事先預防，並輔以營運之實際狀態，對空氣污染防制設備失效之各種模式組合做空氣模擬，預測污染濃度，評估焚化廠在空氣污染防制設備失效時，其排放物對周界空氣品質的影響。

經由空氣模擬，空氣污染防制設備失效其短時間造成之污染濃度有超出法規，污染環境之虞，嚴重者實務上作法為緊急停爐，是不可能讓焚化爐在失效狀態下而維持正常運轉。

關鍵詞：焚化廠、空氣污染防制設備、失效模式與影響分析、空氣模擬

Failure Modes and Effects Analysis of the Air Pollution Control Device—take Refuse Incineration Plant as an Example

Student : Wen-Hui Lin

Advisor : Dr.Chun-Sung Chen

Degree Program of Safety and Risk Management

National Chiao Tung University

Abstract

Incineration plant is the cogeneration plant making the heat energy by the rejects as the fuel. The heat energy passes through the boiler, and produces the high temperature and high pressure which leads the turbine to generate electricity. And the waste gas produced by burning should pass air pollution control device and can be released. The main procedure consists of receiving trash, dealing with slag, fly ash, waste gas, waste water, steam generator and air.

This research focuses on the air pollution control devices of incineration plants. The air pollution control device system consists of cyclones, fabric filters and spray reactors, and all of which are divided into equipment units and parts. The failure modes and effects analysis of hazard analysis was applied to discuss failure sort of the system and possible effects of the system so as to prevent it in advance. Besides, I applied air simulation to every mixture of modes of failure air pollution control devices with the condition of management, predict density of pollution, and estimated the effect of waste released by the incineration plant to the surrounding air quality when the air pollution control device did not work.

By air simulation, the density of pollution caused at a short time when air pollution control device did not work was out of regulation and could pollute the environment. The stricter had to stop the incinerator in reality because it was impossible to keep it running when air pollution control device did not work..

Key word : Incinerator plant 、 air pollution control device (APCD) 、
failure mode and effects analysis (FMEA) 、 air simulation



誌 謝

交大猶如寶山，入寶山豈可空手歸，在交大終於畢業了，學然後知不足，學問之浩瀚，所學只不過一隅，這三年時間，彷彿井底蛙看到了大海，感謝交大擴大我的視野，畢業不是學習的結束，而是終生學習的開端。

感謝恩師陳春盛教授的指導，教導的不僅是學問，待人處事亦有所獲，聽其言如沐春風，真乃博學之士。其諄諄教誨，論文之寫作，研究之方法，資料之搜尋，如醍醐灌頂，眼界大開，終身受益；並感謝口試委員黃志彬教授與洪士林教授惠賜精闢之建議及指正，使本論文更臻完備，亦致上衷心的謝意。

感謝機關長官的推薦與提攜，同窗哲禎、其怡、偉民、學穎等人互相切磋勉勵，及許多同事、好朋友的關心，常被問何時可畢業，深感壓力，如今總算有交代，沒有辜負大家的期望，畢竟交大是個好學校，但在此尋到寶後總不能賴著不走。

吾幼年失怙，母親大人獨力撫養小孩，不離不棄，誠偉大不足以言之。母為模範母親，嫻淑聰慧，堅毅樂觀，感謝母親之照顧與栽培。母為大家長，家族凝聚的力量支撐著我完成學業，感謝家族內每個成員，感謝大姊、大哥、二哥、小弟之關心與鼓勵，感謝岳母、妻子之支持與鼓勵，還有兒女純真無邪之笑容，讓我在公餘得以完成學業。

古人說立德立功立言，不敢稱「立言」，在不惑之年取此學位，願真能「不惑」，再回首一路走來，有許多關心我的親友，長官、同事，那是無形的財富，真的衷心感謝大家，最後僅以此文獻給我最摯愛的家人及關心我的親朋好友，一同分享這份喜悅。

林文輝 謹誌於交大

目 錄

中文摘要·····	i
英文摘要·····	ii
誌謝·····	iv
目錄·····	v
表目錄·····	ix
圖目錄·····	xii
第一章 緒論·····	1
1.1 研究背景·····	1
1.2 研究目的·····	2
1.3 研究方法與範圍·····	3
1.4 研究流程與步驟·····	4
第二章 文獻探討·····	6
2.1 高危險性工作場所審查規定與危害分析技術·····	6
2.1.1 國內外對於高危險性工作場所審查或檢查規定·····	6
2.1.2 國內外常用之危害分析方法·····	9
2.2 失效模式與效應分析·····	18
2.2.1 FMEA 介紹·····	18
2.2.2 FMEA 之應用·····	19
2.2.3 FMEA 之目的與功能·····	22

2.2.4	FMEA 之相關名詞定義	23
2.2.5	FMEA 之實施程序	24
第三章	焚化廠之空氣污染防制設備	27
3.1	焚化廠之特性介紹	27
3.1.1	垃圾焚化處理流程說明及主要流程簡介	27
3.1.2	研究個案垃圾焚化廠系統介紹	30
3.2	空氣污染防制設備介紹	36
3.2.1	空氣污染之防制	36
3.2.2	空氣污染排放物之特性	42
3.3	研究個案垃圾焚化廠廢氣處理說明	43
3.3.1	廢氣處理流程	43
3.3.2	空氣污染防制設備與功能說明	45
第四章	空氣污染防制系統之 FMEA	48
4.1	空氣污染防制系統之 FMEA	48
4.1.1	個案 FMEA 分析模式之建立	48
4.1.2	旋風分離器之 FMEA	56
4.1.3	半乾式洗煙塔之 FMEA	58
4.1.4	袋濾式集塵器之 FMEA	67

4.2 分析結果之討論·····	72
4.2.1 分析結果之統計·····	72
4.2.2 改善策略之分析·····	78
4.2.3 設備失效之模式組合·····	80
第五章 失效模式之空氣模擬 ·····	83
5.1 廢氣組成及管制標準·····	83
5.1.1 廢氣之組成·····	83
5.1.2 空氣污染法規·····	85
5.2 空氣污染模擬·····	87
5.2.1 空氣模擬 ISCST3 模式介紹·····	87
5.2.2 資料蒐集·····	91
5.2.3 氣象條件分析·····	93
5.3 失效模式之空氣模擬·····	99
5.3.1 各種模式之排放物濃度·····	99
5.3.2 各種模式之空氣模擬·····	104
5.3.3 模擬結果之統計分析·····	120

第六章結論與建議·····	128
6.1 結論·····	128
6.2 建議·····	130
參考文獻·····	131
附錄一 旋風集塵器失效模式與效應分析·····	137
附錄二 半乾式洗煙塔失效模式與效應分析·····	140
附錄三 袋濾式集塵器失效模式與效應分析·····	147
作者簡歷·····	155



表 目 錄

表 2.1-1 FMEA 工作表	15
表 2.1-2 製程各階段之危害分析適用方法	17
表 2.2-1 FMEA 相關的研究成果簡介	20
表 4.1-1 FMEA 分析表	50
表 4.1-2 發生度給分表	50
表 4.1-3 嚴重度給分表	51
表 4.1-4 難檢度給分表	51
表 4.2-1 FMEA 高風險優先數次序表	73
表 4.2-2 系統失效之組合模式	81
表 5.1-1 典型廢棄物焚化廠廢氣中主要污染物濃度參考值	84
表 5.1-2 一般廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準	85
表 5.1-3 研究個案廠空氣污染物排放標準與設計值比較表	86
表 5.1-4 周界空氣品質標準	86
表 5.2-1 研究個案垃圾焚化廠 90~95 年空污排放值	91
表 5.2-2 2001 年每月最大風速風向	94
表 5.2-3 2002 年每月最大風速風向	95
表 5.2-4 2003 年每月最大風速風向	96
表 5.2-5 2004 年每月最大風速風向	97
表 5.2-6 2005 年每月最大風速風向	98

表 5.3-1	焚化爐廢氣處理前之濃度·····	99
表 5.3-2	半乾式洗滌塔處理效率·····	100
表 5.3-3	半乾式洗滌塔處理後之廢氣濃度·····	100
表 5.3-4	袋式集應器處理效率·····	101
表 5.3-5	袋式集應器處理後之廢氣濃度·····	101
表 5.3-6	各污染物之排放濃度及排放量·····	102
表 5.3-7	各種模式煙囪排放濃度·····	103
表 5.3-8	各種模式周界排放率·····	104
表 5.3-9	2001 年各種模式模擬月平均值·····	105
表 5.3-10	2001 年各種模式模擬 24 小時平均值·····	106
表 5.3-11	2002 年各種模式模擬月平均值·····	108
表 5.3-12	2002 年各種模式模擬 24 小時平均值·····	109
表 5.3-13	2003 年各種模式模擬月平均值·····	111
表 5.3-14	2003 年各種模式模擬 24 小時平均值·····	112
表 5.3-15	2004 年各種模式模擬月平均值 ·····	114
表 5.3-16	2004 年各種模式模擬 24 小時平均值·····	115

表 5.3-17	2005 年各種模式模擬月平均值·····	117
表 5.3-18	2005 年各種模式模擬 24 小時平均值·····	118
表 5.3-19	各種模式在 2001 年至 2005 年模擬月平均值之最大值·····	122
表 5.3-20	各種模式在 2001 年至 2005 年模擬 24 小時平均值之最大值···	123
表 5.3-21	各年模擬月平均值之最大濃度值與方位（一）·····	124
表 5.3-22	各年模擬月平均值之最大濃度值與方位（二）·····	125
表 5.3-23	各年模擬 24 小時平均值之最大濃度值與方位（一）·····	126
表 5.3-24	各年模擬 24 小時平均值之最大濃度值與方位（二）·····	126



圖 目 錄

圖 1.1-1 研究流程圖.....	5
圖 2.1-1 失誤樹分析圖.....	12
圖 2.2-1 系統機能可靠性關聯圖.....	25
圖 3.1-1 焚化廠流程圖.....	29
圖 3.1-2 焚化廠處理流程圖.....	32
圖 3.2-1 重力沈降室.....	37
圖 3.2-2 旋風集塵器.....	38
圖 3.2-3 振動式袋式集塵器	39
圖 3.2-4 逆洗式袋式集塵器	40
圖 3.2-5 脈動式袋式集塵器.....	41
圖 3.2-6 靜電集塵器	41
圖 4.1-1 廢氣處理系統方塊流程圖.....	48
圖 4.1-2 發生度、嚴重度、難檢度權重分析之 AHP 架構圖.....	52
圖 4.1-3 石灰乳液製程站 1.....	60
圖 4.1-4 石灰乳液製程站 2.....	60
圖 4.1-5 活性碳添加站.....	62
圖 4.1-6 半乾式洗煙塔.....	64

圖 4.1-7 反應生成物輸送系統 1	65
圖 4.1-8 反應生成物輸送系統 2	66
圖 4.1-9 袋濾室集塵器示意圖	68
圖 4.2-1 系統失效廢氣濃度計算點	82
圖 4.2-2 廢氣處理設備濃度計算點	82
圖 5.2-1 2001 年風花圖	94
圖 5.2-2 2002 年風花圖	95
圖 5.2-3 2003 年風花圖	96
圖 5.2-4 2004 年風花圖	97
圖 5.2-5 2005 年風花圖	98
圖 5.3-1 2001 年 SO _x 模式一 模擬圖	106
圖 5.3-2 2001 年 HC1 模式一 模擬圖	107
圖 5.3-3 2001 年粒狀污染物模式一 模擬圖	107
圖 5.3-4 2002 年 SO _x 模式一 模擬圖	109
圖 5.3-5 2002 年 HC1 模式一 模擬圖	110
圖 5.3-6 2002 年粒狀污染物模式一 模擬圖	110
圖 5.3-7 2003 年 SO _x 模式一 模擬圖	112
圖 5.3-8 2003 年 HC1 模式一 模擬圖	113
圖 5.3-9 2003 年粒狀污染物模式一 模擬圖	113

圖 5.3-10	2004 年 SO _x 模式一 模擬圖	115
圖 5.3-11	2004 年 HC1 模式一 模擬圖	116
圖 5.3-12	2004 年粒狀污染物模式一 模擬圖	116
圖 5.3-13	2005 年 SO _x 模式一 模擬圖	118
圖 5.3-14	2005 年 HC1 模式一 模擬圖	119
圖 5.3-15	2005 年粒狀污染物模式一 模擬圖	119

