

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

低粉塵逸散

的營建工程地坪研磨機具的開發

Development of a ground grinder of low fugitive  
dust emission for construction engineering



研究生：陳義松

指導教授：蔡春進 教授

中華民國九十六年五月

低粉塵逸散  
的營建工程地坪研磨機具的開發  
Development of a ground grinder of low fugitive  
dust emission for construction engineering

研究生：陳義松      Student : Yi-Sung Chen

指導教授：蔡春進      Advisor : Chuen-Jinn Tsai



A Thesis

**Submitted to Degree Program of Industrial 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

May 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年五月

# 低粉塵逸散的營建工程地坪研磨機具的開發

學生：陳義松

指導教授：蔡春進教授

國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士在職專班

## 摘 要

迄今有許多研究證實結晶型游離二氧化矽(Crystalline silica)經呼吸進入人體肺部後，會對人體健康造成影響。鑒於營造業為結晶型游離二氧化矽(Crystalline silica)暴露的主要行業之一<sup>[1]</sup>，如何改善作業環境的粉塵逸散問題，是本研究要探討的課題。

改善粉塵作業的空氣品質的最根本方法為污染源的改善及污染逸散的防止。對於自動化製程的作業環境來說，採取控制與管理的方法較容易執行，並且會有明顯成效。但對於具有變動性、複雜性、且依賴高度人力的營造業而言，就沒有那樣容易執行粉塵作業的管理，且成效往往並不彰顯。目前政府主管機關對營造業的空氣污染防治，主要是採取強制性的措施，徵收營建工程空氣污染防治費，執行營建工程空氣污染的稽查管制，以期能減少粉塵污染，但依然無法有效抑制營造業空氣污染的問題。

本研究依據營造業特性，針對乾式的地坪研磨粉塵作業，開發出一個低粉塵逸散的集塵式研磨機具，並實地量測改善成果。研究發現未使用集塵式研磨機時，在研磨階段室內空氣的粉塵最大濃度為 67.64 mg/m<sup>3</sup>，平均濃度 7.33 mg/m<sup>3</sup>；而使用了本研究開發的集塵式研磨機時，在研磨階段室內空氣的最大濃度為 4.41 mg/m<sup>3</sup>，平均濃度 0.84 mg/m<sup>3</sup>，平均濃度的消減率可達到 94%。依據上述實測數據顯示，本研究開發的低粉塵逸散地坪研磨機，可有效的降低研磨作業的粉塵逸散，改善作業環境的空氣品質。

關鍵字：逸散性粉塵、研磨作業、營建工程、工作場所粉塵控制

# Development of a ground grinder of low fugitive dust emission for construction engineering

Student : Yi-Sung Chen

Advisor : Chuen-Jinn Tsai

Institute of Industrial Safety and Risk Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Many researches have demonstrated that free crystalline silica causes damage to human health when inhaled into the lung. Because construction industry is one of the sector which has high expose to free crystalline silica<sup>[1]</sup>, therefore this study aims to investigate methods to reduce fugitive dust emission in the work environment.

The fundamental methods to improve the air quality of workplaces are removal of pollutant sources and prevention of the emission of pollution. For automatic manufacturing processes, it is easier to implement the control and management strategies which are effective to solve the pollution problems. However, it is much more difficult for the construction industry to adopt the management strategies due to its variability, complexity and big demand for labor-intensive operations. Our government enforced the air pollution control of construction sites by collecting air pollution fee from the industry to execute air pollution auditing and control, and to reduce the dust emission. But there is still no significant improvement of air quality in the construction sites.

This study modified a ground grinding machine with a dust collecting device and conducted field measurements in the dry grinding operation of construction sites to test its effectiveness. Test results showed that the maximum and average dust concentrations were 67.64 and 7.33 mg/m<sup>3</sup>, respectively, in the indoor work environment if the conventional ground grinder was used. In comparison, the maximum and average dust concentrations were 4.41 and 0.84 mg/m<sup>3</sup>, respectively, if the present low-emission, dust-collecting ground grinder was used. The average dust concentration was reduced by as much as 94 % for the new grinder. The low dust emission grinder developed in this study reduces the fugitive dust emission effectively and improves the air quality of the workplaces in the construction industry.

Keywords: fugitive dust emission, grinding operation, construction engineering, dust control in the workplaces

## 誌 謝

進入職場工作多年後，有感於學識不足與工作實務之需求，於是重拾書本進入產業安全與防災專班就讀。修課期間與來自不同領域的同學們一起學習與成長，並分享了同學們寶貴的工作經驗。且在各位教授的細心指導之下，讓我受益良多。

論文之所以完成，首先要感謝蔡春進教授的指導及蔡教授所領導的環工所研究團隊之協助，從實驗機具的討論與設計，經過實驗的挫折與失敗，到論文的撰寫，都在蔡教授的細心指導與其研究團隊的傾力協助之下，逐漸的克服困難，並完成論文的撰寫，心生感謝。

論文撰寫期間。更是受到環工所博士班陳聖傑、黃士軒及碩士班吳承翰的特別照顧，學生再次的感恩。

當然 更要感謝家人的支持，讓我安心無慮的完成學業，再次感恩我的家人。謝謝你們。



# 目 錄

摘 要 .....	ii
ABSTRACT.....	iii
誌 謝 .....	iv
目 錄 .....	v
表 目 錄 .....	vii
圖 目 錄 .....	viii
第一章、前言 .....	1
1.1 營建工程的種類與污染形式.....	2
1.2 建築工程的研磨作業.....	5
1.3 研磨作業的粉塵逸散問題.....	9
第二章、營建工地的揚塵控制文獻回顧.....	14
2.1 營建工程之粉塵逸散對人體健康的影響 .....	14
2.2 營建工程逸散粉塵常用之防治措施介紹.....	18
第三章、實驗方法 .....	28
3.1 本研究的集塵式研磨機.....	29
3.2 研磨作業之逸散粉塵控制效率量測方法 .....	39

第四章、結果與討論 .....	44
4.1.在工地評估集塵式研磨機的控制效率的實驗結果.....	44
4.2.成本效益評估 .....	54
第五章、結論與建議 .....	56
5-1 結論 .....	56
5-1 建議.....	56
六、參考文獻 .....	58



## 表目錄

表 1-1 營建工程之種類與污染類型 .....	3
表 1-2 營建工程之種類 <sup>[3]</sup> .....	4
表 1-3 營建工程施工中主要空氣污染物 <sup>[4]</sup> .....	4
表 1-4 建築工程主要作業項目 .....	7
表 1-5 裝修工程主要作業項目 .....	7
表 1-6 裝修工程中需要研磨的作業項目與目的 .....	8
表 1-7 目前較常用營建研磨機之規格 .....	9
表 2-1 營建工程作業引起直接污染型態與來源 <sup>[6]</sup> .....	16
表 2-2 營建工程常使用之污染防治措施 <sup>[4]</sup> .....	26
表 2-3 營建工程不同措施之防塵效率綜合評估表 <sup>[4]</sup> .....	27
表 4-1 集塵式研磨機的現場測試結果(2005) .....	46
表 4-2 集塵式研磨機的現場測試之 30 秒與 60 秒平均濃度比較表 .....	47
表 4-3 影響集塵式研磨機控制效率的因素 .....	53
表 4-4 人力比較表-以科技廠房為例 .....	55
表 4-5 成本差異比較表-以科技廠房為例 .....	55



## 圖目錄

圖 1-1 研磨作業時粉塵逸散情形(地下室作業區)—無防護措施.....	11
圖 1-2 研磨作業時粉塵逸散情形(地面樓層作業區)—無防護措施.....	12
圖 1-3 研磨作業時使用工業用電風扇通風的情形(地面樓層開放區).....	12
圖 1-4 研磨作業時使用工業用電風扇通風的情形(地面樓層封閉區).....	13
圖 1-5 研磨作業時使用手提抽送風機通風的情形(地面樓層封閉區).....	13
圖 2-1 建築物外圍包覆防塵網實照 .....	19
圖 2-2 營建工程設置洗車台與沈砂池實照 .....	20
圖 2-3 營建工程周邊道路認養維護灑水實照 .....	21
圖 2-4 營建工程周邊道路認養維護灑水與打掃實照 .....	21
圖 2-5 營建工程工區內道路設置截水溝實照 .....	26
圖 2-6 營建工程工區內外排水溝設置攔砂墩實照 .....	22
圖 2-7 營建工程工區設置小排水溝實照 .....	22
圖 2-8 營建工程工區設置大排水溝實照 .....	23
圖 2-9 營建工程工區設置大排水溝與沈砂池實照 .....	23
圖 2-10 營建工程工區周邊道路瀝青鋪面鋪設實照 .....	24
圖 2-11 營建工程工區周邊邊坡覆蓋帆布實照 .....	24
圖 2-12 營建工程工區周邊邊坡於施工階段植被實照 .....	25
圖 2-13 營建工程隧道洞口施工前階段植被與噴漿防護實照 .....	25
圖 3-1 研究流程架構圖 .....	28
圖 3-2 傳統研磨機實照 .....	30
圖 3-3 傳統研磨機研磨刀頭(鑽石刀頭)實照 .....	30
圖 3-4 研磨作業瞬間會揚起大量粉塵微粒(地下室).....	31
圖 3-5 研磨作業中瞬間會揚起大量粉塵微粒(地下室).....	31

圖 3-6 研磨作業粉塵逸散污染設備管線(地下室)-作業中 .....	32
圖 3-7 研磨作業粉塵逸散污染設備管線(地下室)-作業中 .....	32
圖 3-8 研磨作業粉塵逸散污染設備管線(地下室)-消散中 .....	33
圖 3-9 研磨作業時粉塵逸散情形(地下室)-作業勞工防護措施 .....	33
圖 3-10 研磨作業時粉塵逸散情形(地下室)-作業勞工防護措施 .....	34
圖 3-11 本研究集塵式研磨機實照 .....	36
圖 3-12 機組外視圖 .....	36
圖 3-13 集塵式研磨機側視圖 .....	37
圖 3-14 A-A 剖視圖 .....	37
圖 3-15 機組內透視圖 .....	38
圖 3-16 不織布實照 .....	38
圖 3-17 3F 採樣平面圖 .....	40
圖 3-18 DustTrak 實照 .....	40
圖 3-19 實際操作實照 .....	41
圖 4-1 ID1-有包覆及吸塵時之粉塵平均濃度 .....	51
圖 4-2 ID2-有包覆及無吸塵時之粉塵平均濃度 .....	51
圖 4-3 ID3-有包覆及吸塵時之粉塵平均濃度 .....	52
圖 4-4 ID4-無包覆及無吸塵時之粉塵平均濃度 .....	52

## 第一章、前言

隨著社會進步、科技的快速發展，營建技術亦不斷的提升，營建業者已陸續研發出高強度、高品質且多樣化之材料，及高效率高能量的機具設備，利用先進的施工方法，並導入『綠建築』的概念，大幅提高建築技術之水準。但是營建工程的工安環保技術卻未隨著營建科技的進步及技術的提升而有顯著進步，各項工程事故及職業災害仍居高不下，亟待迎頭改善。營建工程於施工期間從整地、基礎開挖、主體結構、室內外裝修甚至交屋與修繕皆會對其週遭環境產生公害問題，而其中最令人詬病的就屬空氣污染、噪音與交通等公害問題，也是陳情案件最為頻繁者。

因此 為了維護大眾生活環境的整潔及良好的生活品質，工程主辦單位、營建管理單位、營建業者與施工單位，必須做好營建工地的工程管理。而工程管理的對象是勞工作業的環境，利用工程方法來管制環境中有害勞工健康的各種因素與危害<sup>[2]</sup>，並運用科學方法與先進的技術理念去克服與降低公害問題的發生，建立安全、健康、舒適的勞工作業環境，降低施工場所的環境危害與風險，進而提高工作效率，保障勞工身體健康，同時降低與預防職業災害發生。共創勞工的健康與安全、業主的獲利與乾淨環境三贏的局面。

## 1.1 營建工程的種類與污染形式

『營建工程』為社會大眾對所有工程建設的慣稱用語，在工程界則習慣上將『營建工程』分類為土木工程與建築工程兩大類如(表 1-1)，然後再細分其他各工程。另外在行政院環保署 "營建工程空氣污染防治設施管理辦法"中第四條所稱營建工程分類則分為第一級與第二級 如(表 1-2)<sup>[3]</sup>。營建工程涵蓋的範圍相當廣泛，各種不同類型的工程所涉及的作業項目繁多，且施工過程當中，必須歷經各種不同的施工階段，這些施工階段須投入大量的人力、機具、材料與時間才能完成，表 1-3<sup>[4]</sup>所示，是營建施工過程中不同的作業環境可能產生的污染物與濃度範圍。尤其施工過程當中涉及土、石、砂等材料所造成的粉塵逸散污染問題更值得我們注意。一般而言，營建工程施工作業所造成的逸散性排放物屬於開放性排放源，而非固定的污染源，無法使用空氣污染控制設備來改善空氣污染排放問題。

良好之通風可以改善營建工地之作業場所空氣污染問題，但是高樓皆為平地起，其施工作業場所具有複雜性、多樣性、繁瑣性及變動性，若要裝置換、排氣設備及空氣污染控制設備，必需隨著建築物高度的增高而逐層設置，最好的方法是將整棟建物包覆，再做通風與排氣的效果最佳。但是必須考慮到建築物內的人員作業及活動、機具運轉與作業流程、材料進出與存放、內部施工的噪音等等問題。尤其施工人員是屬於高度勞動者，經常汗流如注，因此 要做到工地整體換氣就必須全面考慮施工流程的問題。若是將通風設備設置在作業層樓，然後隨著建物高度升高而移動，是個可能的解決方法之一，但因工程進度的安排往往是重疊的，在主體結構工程尚未完全結束前，即需進行裝修工程，且在裝修階段之初、中、後期施工作業場所會由局部的點到整個樓層，因此 必然會產生不斷的拆卸、移動、安裝等循環作業當中，這樣的拆、移、裝作業會耗費大量的時間、人力與間接的成本增加，也會延長工程建設完成時間，並對其週遭環境、交通與生活品質產生更多的影響，這些都不是我們樂於見到的。再者換、排氣設備除導管以外尚需要其他的空間來容納除塵設備之主機以及通風設備之馬達等設置，在現今

寸土寸金都市裡實在很難有此空間。上述的因素阻礙營建業者改善作業環境的意願，加上經濟效益的考量，更加影響業者投入資金進行污染防治的誘因。因此如何以最少的成本減少營建工程開發所衍生的環境污染問題，為吾人必須努力的地方。本論文的重點即是針對營建工程中的研磨作業，研究一個低成本的研磨作業逸散性粉塵污染控制方法，期能有效改善粉塵污染問題。

表 1-1 營建工程之種類與污染類型

工程分類	工程名稱	共同的污染類型
土木工程	道路工程	噪音、振動、空氣污染、廢棄物、水污染、地層下陷、交通問題、土壤污染、惡臭、有毒物質、輻射危害、景觀破壞、社經文化。
	橋樑工程	
	地下管道工程	
	隧道工程	
	山坡地開發	
	區域開發	
	其他相同性質工程	
	特殊工程 (註)	除上述外另有生態、生物、環境、水域、陸域、氣候、歷史價值等特殊污染類型。
建築工程	集合住宅	噪音、振動、空氣污染、廢棄物、水污染、地層下陷、交通問題、土壤污染、惡臭、有毒物質、輻射危害、景觀破壞、社經文化。
	辦公大樓	
	醫院大樓	
	科技廠房	
	拆屋工程	
	其他相同性質工程	

註:特殊工程包含河川、海洋、鐵路、水壩、水庫、污染防治與軍事等工程

表 1-2 營建工程之種類<sup>[3]</sup>

工程分類	工程名稱	範圍
第一級營建工程	建築工程	施工規模達四、六 00(平方公尺/月)以上者。
	道路隧道工程	施工規模達二二七、000(平方公尺/月)以上者。
	管線工程	施工規模達八、六 00(平方公尺/月)以上者。
	橋樑工程	施工規模達六一八、000(平方公尺/月)以上者。
	區域開發工程	施工規模達七、五 00、000(平方公尺/月)以上者。
	其它營建工程	工程合約經費達新台幣一百八十萬者。
第二級營建工程	第一級以外營建工程屬之	—

表 1-3 營建工程施工中主要空氣污染物<sup>[4]</sup>

工程作業項目	污染物質	污染濃度範圍(概略值)	備註
使用柴油引擎之 施工機械作業 (含打樁作業)	CO	100-2000 ppm	排氣濃度
	CxHy	50-500 ppm	
	NOx	100-2000 ppm	
	黑煙	100-1000 mg/m <sup>3</sup>	
開挖作業	粉塵	10-1000 mg/m <sup>3</sup>	屋內之濃度
裝載作業	粉塵	10-1000 mg/m <sup>3</sup>	屋外之濃度
搬運作業	粉塵	10-1000 mg/m <sup>3</sup>	非鋪面道路
鑽孔作業	粉塵	10-1000 mg/m <sup>3</sup>	屋內之濃度
爆破作業	CO	100-1500 ppm	屋內之濃度
	NOx	10-2000 ppm	
	粉塵	10-300 mg/m <sup>3</sup>	
碎石作業	粉塵	10-100 mg/m <sup>3</sup>	屋外之濃度
拆除作業	粉塵	10-1000 mg/m <sup>3</sup>	屋外之濃度
混凝土噴漿作業	粉塵	10-200 mg/m <sup>3</sup>	屋內之濃度

## 1.2 建築工程的研磨作業

建築工程之裝修作業項目中為甚麼會有研磨作業呢？它的主要目的是甚麼？有其必要嗎？少了研磨這個程序可不可以？會有發生甚麼不良的後果？

首先來了解裝修工程在建築工程中的重要性。在工程管理中有一個非常貼切的比喻：『假如鋼筋結構是人體的骨骼與肌肉，那麼機電系統就是血管、筋脈與內臟，裝修等同就是人體的衣服與修飾了』三者缺一不可。建築物的氣派與美觀必須靠裝修建材的組合與呈現來襯托出她的美感可見裝修工程的重要性。裝修工程雖只是建築工程中主要的項目之一如(表 1-4)，但卻是整個建築物工程最後階段甚至完工後成敗的重要關鍵(對建築業者與建築師來說“建築物是一項作品”)。裝修工程所涉及的作業項目多樣且繁雜(如表 1-5)環環相扣，在作業與作業之間都互有垂直與橫向的介面存在，工程師們須做好相互溝通與協調以利推展工程進度。在裝修工程的作業項目中的油漆作業、地磚作業、地坪石材作業、防水作業、二次水泥砂漿粉光以及 EPOXY 等作業項目的施工過程當中，會涉及地坪研磨作業(如表 1-6)，而地坪研磨作業施做與否卻會影響該分項工程施工品質的優劣，若少了研磨作業這道程序，除了油漆作業會影響完成後表面不平、有顆粒感與不平順外，其他的作業則會直接或間接影響表面建材與地坪的黏著強度，時間久了就會產生空心(黏著強度不足)或嚴重者起拱(因粘著不實造成材料本身收縮而鼓起或外力行為造成材料相互擠壓)。

營建工程的施工過程屬於高度勞動的作業，需要大量的人力來完成的。無論科技如何發展，但最終仍須靠人力的施工來組合與整合機器設備，『機器設備是輔佐技術的被運用，而人力卻是決定技術的被使用程度』，因此工程管理者在運用機具、技術、人力及時間等相關成本上必須花費更多的心思去整合這四種決定工程成敗的重要因素。工程管理者在整合介面時溝通不佳或運用不當會產生技術問題，如此會導致人力與時間的浪費以及工程進度停滯延宕，就以裝修工程中的地坪研磨分項作業來說(如表 1-6 中之 2、3、4、5、6 項)，若少了研磨作業程序可能

導致部分、全部需敲除重做或是局部的維修，無論如何都會增加人力與延長工期，造成營建成本提高、獲利降低，另外營建廢棄物也會增加，運輸費用隨著提高，同時也增加了空氣污染與交通問題。

一般而言營建業者的獲利來自直接成本與間接成本，用最短時間及花費極低成本來承造營建工程為其最主要的獲利來源。因此 工程管理者與工程師要應思考如何以低成本、高效率來完成工程建設外，並又須顧及作業勞工的安全衛生問題，是一項極具挑戰的工作。以乾式研磨地坪而言，其所產生之粉塵濃度對人體會造成健康之危害。尤其是在密閉或通風不良之科技廠房、大賣場、地下室停車場及室內作業更為嚴重，到了地坪研磨分項作業的施工階段，建築物外牆或帷幕牆大部分已完成，更造成研磨作業時的粉塵擴散不良，而這樣的作業行為已違反空氣污染防制法<sup>[5]</sup>、營建工程空氣污染防治設施管理辦法<sup>[6]</sup>、粉塵危害標準<sup>[7]</sup>、空氣污染行為<sup>[8]</sup>與空氣污染行為管制執行準則<sup>[9]</sup>等有關法令規定之規範。

因此，要如何減少作業場所中的粉塵發生源、降低粉塵濃度、改善通風條件或是機具設備的改善，以便改善營造業作業環境中的粉塵污染情形，進而照顧到作業勞工的健康，以防止職業性疾病隱性危害。成為當前營造業的重要的課題。



表 1-4 建築工程主要作業項目

項次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
作業名稱	拆屋工程	整地工程	連續壁工程	基樁工程	地盤改良工程	土方工程	地下結構工程	地上主結構工程	鋼構工程	混凝土工程	裝修工程	鋪面工程	搬運工程	機電工程

表 1-5 裝修工程主要作業項目

項次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
作業名稱	泥作(含磁磚)工程	油漆工程	木作工程	天花板工程	石材工程	帷幕工程	預鑄工程	隔間工程	門窗工程	防水工程	機電工程	設備工程	EPOXY 工程	清潔工程

表 1-6 裝修工程中需要研磨的作業項目與目的

項次	作業名稱	施作位置	研磨清潔度要求等級 (註 1)	溼度要求等級 (註 2)	研磨的目的
1	油漆作業	1.牆表面 2.批土	中等	中等	1.清理砂子或其它顆粒凸出牆表面以便批土。 2.批土完成後其面需研磨平順以便油漆。
2	地磚作業	地坪表面	普通	基本	主要清除地坪表面之混凝土漿、粉刷泥漿、油漬以及其他足以妨礙與後續作業之黏著強度之雜質。
3	地坪鋪石材	地坪表面	普通	基本	主要清除地坪表面之混凝土漿、粉刷泥漿、油漬以及其他足以妨礙與後續作業之黏著強度之雜質。
4	露天防水作業	地坪表面	高	高	主要清除地坪表面之混凝土漿、粉刷泥漿、油漬以及其他足以妨礙與後續作業之黏著強度之雜質。
5	二次地坪(整體)粉光(註 3)	地坪表面	普通	基本	主要清除地坪表面之混凝土漿、粉刷泥漿、油漬以及其他足以妨礙與後續作業之黏著強度之雜質。
6	EPOXY 地坪	地坪表面	高	高	主要清除地坪表面之混凝土漿、粉刷泥漿、油漬以及其他足以妨礙與後續作業之黏著強度之雜質。

註 1：※研磨清潔度要求等級

普通級：基本清潔，不能有大面積之泥漿、雜質附著其表面亦不得有油漬。

中等級：將表面泥漿、雜質清除，但不得有油漬。

高級：表面不得有泥漿、雜質與油漬。施作前須再用工業用吹風機將表面雜質顆粒乾淨，以免影響粘著強度。

註 2：※溼度要求等級

基本級：表面容許有水漬（但不得有大量積水）。

中等級：施作時表面需乾燥。

高級：施做前，須測量溼度約在 8% 以下。

註 3：一般以地下室 EPOXY 與室內木地板居多。

1.地下室：主要因為有支撐層的高度限制與中間柱妨礙，一次施作地坪平整度精度較難要求，所以會事先規劃預定降低地板高程約 5~7 cm 待適當時機施作第二次地坪，以求平整度（除非業主於合約內事先編列該預算，否則營造廠很難在再支出該項費用。若是自建案之建設公司則可能使用此方法）。

2.室內木質地板：業主會在合約內註明木地板是否架高，若不架高則會編列水泥砂漿粉光之預算。

### 1.3 研磨作業的粉塵逸散問題

營建業使用的研磨機不同於其他業界使用的電動研磨機，它是由大榮電機老闆連再添先生為因應客戶需求而自行發明並申請專利之產品，目前專利權已過。大榮公司主要為以電機、馬達及開關等五金為業，因應營造業的需求，於是連老闆才運用自己的電機及機械等專業知識研發出專為營造業而生的研磨機(行話為ㄉㄤ、土機或清土機)，其規格如表 1-7。研磨機主要是用來清除混凝土地坪表面之雜質、土屑或因樓板澆置時混凝土漿掉落至下層地板而凝固的泥漿。研磨機目前有做外銷，主要地區以大陸及印尼為主，但是有訂貨才會製造，幾乎無存貨。

表 1-7 目前較常用營建研磨機之規格

規格		雙盤	單盤	電力
馬達		3P	2P	皆為 3 相 220V
材質	鑄鐵(生鐵)	180 kg	×	
	鐵	150 kg	70 kg	
	鋁合金	80~100 kg	×	

說明：1、『×』：表因太輕，不生產。(電話訪問連先生轉述)

2、2P、3P 馬達為較常設計，若因客戶需求亦可達 5P。

3、一般較常用的為鑄鐵材質。

大榮電機公司住址：三重市重新路四段 29 號 連再添先生

電話：02-2971-6800

02-2980-1456

營建工程地坪研磨階段，外牆及天花板之管路與機具設備大部分已安裝完成，尤其以科技廠房地坪 EPOXY 作業最為明顯。地坪研磨可分為濕式與乾式兩種施工方式，除了表 1-6 中的第 4、6 項外，其他作業項目皆容許濕式作業。這是因為第 4 項露天防水作業與第 6 項 EPOXY 作業之溼度的要求高，若以濕式作業研磨則等待時間至少需 5~7 天不等，甚至多達 10 天的工期才能進行下一個作業項目，若在屋頂或露天的作業其等待時間有可能較短，但必須考慮天候問題，尤其北部更需注意氣候關係，若是遇到雨季則等待時間更具不確定性。乾式研磨的優點是研磨作業完成清理粉末後即可接續下一個作業工作不耽誤工期進度時間;缺點則是粉塵逸散懸浮於空氣中不易散去如(圖 1-1、1-2)，尤其在地下室或密閉的空間做研磨作業時更會危害到作業勞工的健康。對於含水率與溼度要求不高之地坪，則較常使用濕式研磨，其優點為粉塵較不容易被揚起，對人體健康危害較小，但缺點則是研磨後粉末與水混合後，若不及時清理則粉末會結塊反而又增加清潔上的困難度，清潔費用增加。

目前在工作環境中最常使用來降低空氣媒介的有害物的方法是通風，藉由通風用以稀釋並排除製程中之污染物以避免毒性物質的聚集，這種方式通常用來處理低濃度且較不具危害的物質<sup>[10]</sup>。而在營建工地中最常使用工業型電風扇如(圖 1-3、1-4)或小型工業用抽風機如(圖 1-5)對研磨作業區通風，以降低作業區的粉塵濃度。但是若作業時間較長，其被抽送出的粉塵量會產生以下幾種可能：1.被抽送出含有粉塵的空氣可能再度送至作業區而產生循環污染。2.被送離作業區的粉塵並未送離安全距離外，反而被送進相距不遠或相鄰的作業區而危害到另一作業區之勞工。3.被送離的粉塵已被送出安全距離外但卻已危害到大氣環境的空氣品質。4.當研磨作業區粉塵產生量太高時，此時作業區內的粉塵會因風扇氣流不斷的擾動而再揚起於室內。因此若以電風扇及抽風機做換排氣時，只能降低小區域的粉塵濃度或是短暫的避開粉塵之危害，但未真正解決粉塵污染的問題，只是浪費工地資源而已，且會造成鄰近作業區及環境的污染及周邊的設備（如窗戶、帷幕、消防設備與風管）的污損，需要再花人力及時間清理。因此 根本解決問題的方法為

去除研磨作業時所產生的粉塵量，以降低對作業勞工健康的危害。本研究即以改善研磨機具降低粉塵污染為主要目標。



圖 1-1 研磨作業時粉塵逸散情形(地下室作業區)—無防護措施



圖 1-2 研磨作業時粉塵逸散情形(地面樓層作業區)—無防護措施



圖 1-3 研磨作業時使用工業用電風扇通風的情形(地面樓層開放區)



工業用  
電風扇  
通風-局  
部研磨

圖 1-4 研磨作業時使用工業用電風扇通風的情形(地面樓層封閉區)



手提式抽送  
機換氣-局  
部研磨

圖 1-5 研磨作業時使用手提抽送風機通風的情形(地面樓層封閉區)

## 第二章、營建工地的揚塵控制文獻回顧

### 2.1 營建工程之粉塵逸散對人體健康的影響

營建工程作業中較常見的污染物質有氣狀污染物與粒狀污染物，其污染的來源可分為四種作業型態<sup>[11]</sup> 如表2-1：(1)施工機械運轉部份(2)施工作業進行部份(3)車輛裝載運送部份(4)其他施作及相關設置部份，這四種型態在工程作業程序中互相交錯的被運用著，藉以完成工程建設。在整個建設工程的過程當中難免會有裸露的表面，而這些裸露的表面通常藉由風力的侵蝕或機械擾動等機制作用於曝露表面的微粒，使之產生逸散性污染稱為開放式污染源（open source）<sup>[12]</sup>。

在營建工程作業過程中所引起之粉塵皆屬於人為粒狀污染物質，人為粒狀污染物的主要來源可概分為：燃料燃燒、工業製程、廢棄物燃燒、逸散性排放或經由氣體的化學反應而形成。人為粒狀污染物的種類可依其來源及形成機制概分為物理研磨及傳播、燃燒灰燼、同相核凝、異相核凝和液滴揮發後殘留不純物等。通常粒狀物、微粒或粉塵等名詞是可以相通的<sup>[13]</sup>。

迄今已有許多研究證實結晶型遊離二氧化矽(Crystalline silica)例如：石英(Quartz)、方矽石(Cristobalite)與鱗矽石(Tridymite)，經呼吸進入人體肺部後的确會對人體健康會造成影響<sup>[1]</sup>。塵肺症是有關呼吸系統職業暴露最常見的疾病，起因於吸入含有粉塵與纖維的氣體。塵肺症是所有因吸入這些物質造成的呼吸系統變化之通稱<sup>[14]</sup>。美國國家安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)於 1996 年曾針對建築工人關於吸入可呼吸性結晶型游離二氧化矽之健康危害提出一項警告，即對於從事下列活動的工人，包括噴砂、切割、捶打、鑽孔、研磨、切碎混凝土，和乾式掃除等，均可能成為結晶型游離二氧化矽高濃度暴露及致矽肺症的高風險族群。一般粉塵的濃度，係以單位容積內所含的粒子數目或重量來表示，濃度愈高，危險程度愈大<sup>[2]</sup>。

文獻研究已知空氣污染對人體健康的影響有急性與慢性二部份<sup>[15]</sup>。急性影



響：污染物於某種特殊的大氣條件下，常突然形成高濃度污染，在此偶發狀況下，沒有及時預防對幼兒、老人、心臟病患或肝病的人會有非常不利的影響。慢性影響：是指人體長期暴露於污染空氣環境裡慢慢地受侵害而致病，其影響首先出現於呼吸器官，最後導致慢性支氣管炎、肺氣腫、肺性心臟病等。氣狀或微粒狀的污染物質在進入肺泡囊之前有機會被排出呼吸道，氣狀污染物質可以在進入咽喉或氣管時被黏液吸收，微粒狀物質則可能沈積在氣管的黏液層內再以纖毛運動排出。然而若長期暴露在汙濁的空氣中將使得呼吸系統自清作用的負荷過大，導致呼吸系統所沈積的污染物質之平衡濃度過高。因此空氣污染對人體的影響大部分是引發呼吸系統的疾病，簡單的說空氣污染與呼吸系統的生理作用有必然的關係 [16]。



表 2-1 營建工程作業引起直接污染型態與來源<sup>[11]</sup>

工程作業類別	污染型態	污染來源
構造物拆除作業	噪音、振動	·拆除破壞等機械運作時產生
		·廢料傾卸車行駛所引起
	空氣污染	·拆除作業之粉塵揚起
	廢棄物	·拆除過程中所產生的建材廢料
基礎工程	噪音、振動	·基樁打設過程產生
		·空壓機、搬運機具等操作時所產生
	空氣污染	·打樁機、空壓機、搬運機具排放之廢氣
	水污染	·場鑄樁、連續壁施工之廢氣泥水
	廢棄物	·泥漿及施作使用材料廢棄物
土壤污染	·機具使用的機油滲漏及廢棄泥漿	
擋土支撐作業	噪音、振動	·壁體打拔時所產生
	空氣污染	·施工機械排放之廢氣
	水污染	·廢泥漿水
	廢棄物	·棄土及其他五金零件
	土壤污染	·土質改良所使用的穩定藥液等
	地層下陷	·擋土設施漏水、湧水至地下水下降或土砂流失
土方開挖工程	噪音、振動	·開挖、裝載等施工機械操作時所引起
	空氣污染	·施工機具操作時排放之廢氣及揚起之粉塵
	水污染	·機具漏油及灌漿作業引起
	土壤污染	同 上
	廢棄物	·棄土處理不當時所產生
	地層下陷	·擋土設施漏水、湧水至地下水下降或土砂流失
鋼結構工程	噪音、振動	·鋼材鏢栓接合、起重吊車及搬運拖車等造成
混凝土工程	噪音、振動	·混凝土車拌合、搬運、澆灌等施工機具所產生
	水污染	·預拌車之殘餘混凝土、骨材之清洗廢水及施工機具漏油
	土壤污染	同 上

(續上表) 營建工程作業引起直接污染型態與來源<sup>[11]</sup>

工程作業類別	污染型態	污染來源
裝修工程	空氣污染	室內裝修、粉刷引起之粉塵飛散
		石棉材料之拆除切割引起之粉塵飛散
		外部噴將、塗裝之漿液或塗料飛散
	廢棄物	裝修廢料處理不當所引起
鋪面工程	噪音、振動	瀝青拌合與搬運時所引起
	空氣污染	柏油加熱及骨材拌合所產生之惡臭粉塵
	水污染	瀝青熱拌骨材之清洗廢水、施工道路之防塵鋪面用油化學品等處理不當時所引起
搬運作業	噪音、振動	搬運機具車輛行駛所引起
	空氣污染	搬運過程中之粉塵飛散
	廢棄物	廢棄物品處理不當所引起
岩石開挖作業	噪音、振動	岩石開鑿、炸藥爆破、二次破碎等產生
	空氣污染	開鑿作業及棄土載運時之粉塵排放 施工機具等排放之廢氣
	水污染	機具漏油及灌漿作業等所引起
	土壤污染	同上
	廢棄物	棄土處理不當時所產生
隧道工程	噪音、振動	開挖、出渣作業機具及通風機、空壓機等時所產生
	空氣污染	開挖、噴漿作業等引發之粉塵
	水污染	混凝土澆置灌漿作業等所引起
	土壤污染	土質改良所使用的穩定藥液等
	地層下陷	開挖面、湧水、崩塌、超挖或支保變形等所引起
軟弱地盤改良作業	噪音、振動	施工機具操作時所引起
	水污染	灌漿作業等所引起
	土壤污染	灌漿作業等所引起及機具所使用的機油滲漏引起
臨時設備工作	噪音、振動	臨時設備之使用及材料等之拆除、組立、搬運等作業所引起

## 2.2 營建工程逸散粉塵常用之防治措施介紹

營建工程施工作業所造成的粒狀物屬於逸散性排放物，是一種開放性排放源，在防治上的整合技術困難度比較高。因為營建施工作業與一般製造業性質不同，營造業的施工作業特性具有變動性、多樣性及繁雜性，而且作業勞工也常有變動，所以在污染防治技術上與勞工個人防護工作上都有相當大的變異性與不確定性需要克服。也因為上述的因素，營造工程建設除大型工程、知名的營造公司(或上市公司)或地標性工程會編列預算，執行法令所要求或自發性的污染防制工作外，其他大部分的營建工程案僅就法定要求項目編列最低預算去執行污染防制，或即使有編列預算也並不一定會完全執行。就工業衛生的觀點而言，作業場所懸浮微粒的危害可由下列三個方向予以工程控制<sup>[17]</sup>：

1. 發生源：減少懸浮微粒發生的機會，包括改良製程以降低微粒的飛散，隔離包圍發生源，採用局部排氣裝置等。
2. 輸送的路徑：減少懸浮微粒輸送至作業人員的機會包括拉長發生源與作業人員的距離以整體換氣裝置稀釋作業場所的懸浮微粒等。
3. 污染接受者：減少懸浮微粒進入人體的機會，如以控制室包圍作業人員，使用個人防護具等。

在實務上營建工地常使用防止粉塵逸散之工程管理方法如下：

1. 防塵網或防護網：包圍發生源，減少建築物內部產生的粉塵外洩如圖 2-1。
2. 定期灑水或於派勞工打掃：營建工程周邊道路的認養並定期派灑水車與勞工進行道路清掃減少因工程車輛行進間揚起路塵或工程車輛輪胎夾帶污泥污染周邊道路如圖 2-3、2-4。
3. 設置洗車設備：在工程車輛進出口處設置洗車台清洗工程車輛輪胎如圖 2-2。
4. 設置截水溝：於工區內進出口處設置截水溝(大型工程工區內可能有主要與次要道路須分段設置)，攔截有因 a. 工程車輛行經洗車台所溢出的污泥水 b. 工區內因施工所需清洗後的污泥水 c. 或因下雨造成工區內污泥水如圖 2-5。

5. 設置大、小排水溝與沈砂池:主要是排放工區內因開發後表土裸露被雨水沖刷、道路鋪面灑水的污染水源以及截水溝所攔截的污泥水流入沈砂池，並定期清理如圖 2-6、2-7、2-8、2-9。
6. 工區周邊道路瀝青的鋪設:於工程車輛進出的主要道路路面作修繕或重新鋪設防止路塵揚起如圖 2-10。
7. 工區周邊邊坡覆蓋帆布、植被及噴漿防護: 主要是防止因開發後表土裸露造成粉塵的飛散或因下雨造成表土流失而造成災害如圖 2-11、2-12、2-13。



圖 2-1 建築物外圍包覆防塵網實照



圖 2-2 營建工程設置洗車台與沈砂池實照



圖 2-3 營建工程周邊道路認養維護灑水實照



圖 2-4 營建工程周邊道路認養維護灑水與打掃實照



圖 2-5 營建工程工區內道路設置截水溝實照



圖 2-6 營建工程工區內外排水溝設置攔砂墩實照



圖 2-7 營建工程工區內設置小排水溝實照





圖 2-8 營建工程工區內設置大排水溝實照



圖 2-9 營建工程工區內設置大排水溝與沈砂池實照



圖 2-10 營建工程工區周邊道路瀝青鋪面鋪設實照



圖 2-11 營建工程工區周邊邊坡覆蓋帆布實照



圖 2-12 營建工程工區邊坡於施工階段植被實照



圖 2-13 營建工程隧道洞口施工前階段植被與噴漿防護實照

過去的文獻研究已針對目前營建工程的污染防制措施種類及使用情形做過整理如表 2-2<sup>[4]</sup>，污染防制措施之防塵效率也曾被列舉於表 2-3<sup>[4]</sup>

表 2-2 營建工程常使用之污染防治措施<sup>[4]</sup>

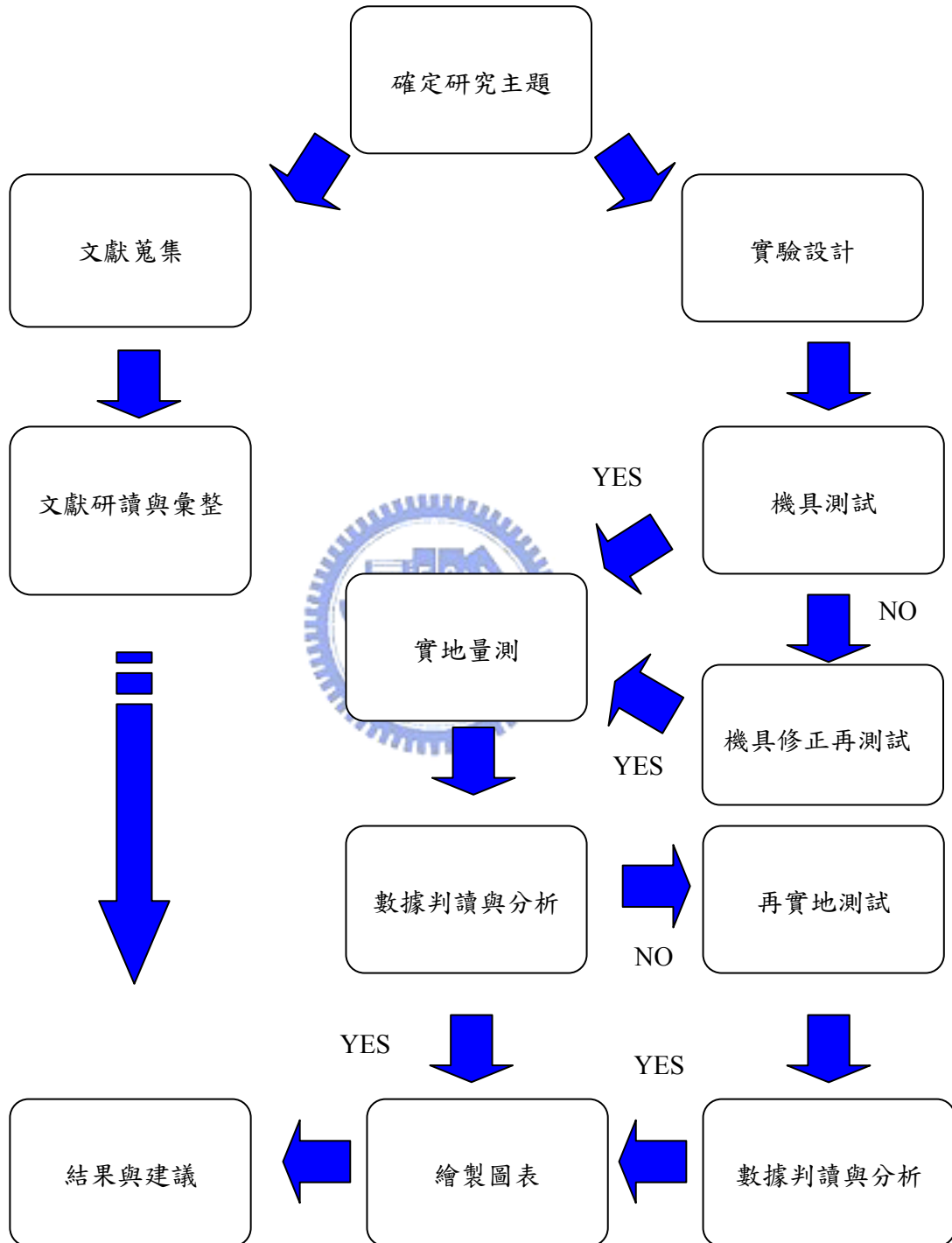
類別	常見工程應用	國內一般使用情形說明	備註
灑水噴霧措施	* 建築工程	* 普遍應用於各種營建工程	
	* 道路工程		
	* 砂石土運輸		
	* 管線開挖工程		
	* 區域開發工程		
防塵罩(網)措施	* 建築工程	* 砂石土運輸業普遍使用	* 日本列入空氣防制法規稽核項目中 * 美國部分州列入工地安全查報項目
	* 拆除工程	* 拆除業使用上稱良好	
	* 砂石土運輸	* 建築土方開挖期甚少使用	
	* 管線開挖工程	* 偶見管線開挖工程使用	
		* 砂石開採等少用	
防塵屏措施	* 拆除工程	* 偶見於砂石土作業場及區域開發工程	
	* 砂石土運輸		
	* 區域開發工程		
集塵系統	* 建築工程	* 國內仍少使用於營建工程類	* 美國大型區域開發案已使用
	* 道路工程		
	* 砂石土運輸		
	* 管線開挖工程		
	* 區域開發工程		
防制管理措施	* 建築工程	* 國內此方向管理措施未見成效	* 美日地區將列防制管理措施列入
	* 道路工程		
	* 砂石土運輸		
	* 區域開發工程		
其他(如植被、噴化學藥劑...)	各種營建工程(特別是區域開發)	* 國內部分重大公共工程已建使用惟小型工程案未曾被使用	* 美國部分州已列入工地要點

表 2-3 營建工程不同措施之防塵效率綜合評估表<sup>[4]</sup>

類別	施用對象或設備	防塵效率(%)		備註
		範圍	平均	
灑水噴霧措施	車行無鋪面道路	30~70	50	
	車行鋪面道路	70~90	80	
	儲料堆棄土區	50~75	60	
	運土作業/傾卸作業	20~50	35	
	裸露地面	40~65	50	
	砂石場	30~50	40	
防塵罩(網)措施	網徑 1 mm, $nx/L=0.2$	<20	15	粉塵粒徑 <100 $\mu$ m
	網徑 0.5 mm, $nx/L=0.33$	<30	20	粉塵粒徑 <100 $\mu$ m
	不透氣防塵塑膠布	80~100	90	
防塵屏措施	一般營建工程	10~70	40	完全阻隔式
集塵系統	重力沉降室	50~80	70	需配合收集導管
	慣性衝擊板	70~90	80	
	離心式集塵器	70~95	90	
	袋式集塵器	95~99	97	
	文式洗塵器	90~99	95	
	噴淋式洗塵器	80~90	85	
管理措施	一般行政管理	0~40	20	
其他	如植被、化學穩定劑	10~80	60	

### 第三章、實驗方法

研究架構：



文獻蒐集、研讀、資料彙整階段

機具設計、測試、實地量測階段

圖 3-1 研究流程架構圖

### 3.1 本研究的集塵式研磨機

#### 傳統之研磨機

營造業使用的傳統式研磨機不同於其他行業使用的電動研磨機，它是由大榮電機所開發，行話為ㄉㄤ、土機或清土機如圖 3-2，其主要目的是用來清除混凝土地坪表面之雜質、土屑，或因樓板澆置時混凝土漿掉落到下層地板而凝固的泥漿，或是混凝土地坪在澆置時所造成凹凸不平的表面將其研磨平整。營造業用的研磨機使用時有兩種方式：一為濕式研磨，二為乾式研磨，濕式研磨在使用上危害比較少而乾式研磨危害性就比較大了。研磨機的研磨刀是可以更換的如圖 3-3，可依地坪粗糙度及平整成度更換研磨刀，但不論使用哪種研磨刀頭都會有粉塵逸散問題。

在實務操作，對溼度要求較嚴格的作業項目如 EPOXY 地坪工程在使用傳統研磨機就只能運用乾式研磨作業方法，但是作業勞工甚至工程師的自我防護卻僅使用口罩來防止粉塵的吸入如圖 3-9、3-10，而且口罩的使用大部分也不是針對粒狀物質環境所用之專業口罩，而是購買市售一般口罩對於防止粉塵吸入效果有限。呼吸防護具是有害物對人體造成危害的最後一道關卡<sup>[18]</sup>。因此呼吸器的選擇就格外的重要了。



圖 3-2 傳統研磨機實照



圖 3-3 傳統研磨機研磨刀頭(鑽石刀頭)實照





圖 3-4 研磨作業瞬間會揚起大量粉塵微粒(地下室)



圖 3-5 研磨作業中瞬間會揚起大量粉塵微粒(地下室)



圖 3-6 研磨作業粉塵逸散污染設備管線(地下室)-作業中



圖 3-7 研磨作業粉塵逸散污染設備管線(地下室)-作業中



圖 3-8 研磨作業粉塵逸散污染設備管線(地下室)-消散中



圖 3-9 研磨作業時粉塵逸散情形(地下室)—作業勞工防護措施



圖 3-10 研磨作業時粉塵逸散情形(地下室)—作業勞工防護措施



## 本研究集塵式研磨機

本研究之集塵研磨機主要是將傳統工業用乾濕兩用吸塵器加以改良，增設 1 個氣密的粉塵出閘口配有上拉式拉門，門邊設有 2 個掛鉤以便吊掛粉塵垃圾袋，另設 1 連通管連接到 1 個 3 通接頭，後再接 3 個連通管路至研磨機之研磨腔室，並於傳統研磨機的馬達上方增設 1 個微微傾斜的平台架放置集塵機，然後在研磨腔室外圍鎖上膠片，主要目的是確保粉塵微粒在仍研磨腔室內時，能立即被集塵機吸入並收集於粉塵收集室內，因此粉塵微粒就不會逸散到空氣之中。由上述各單元所組成的集塵研磨機如(圖 3-11~16)克服了傳統研磨機使用上的缺點如：1. 使用時不會因研磨作業而造成作業環境揚起大量的粉塵懸浮微粒。2. 不會因粉塵微粒揚起而污染其他設備管路。3. 不需另設排換氣設備(除作業環境悶熱除外)。4. 作業勞工無需特殊的防塵口罩。5. 無須另設 2 個以上之清潔工清掃地上研磨後的粉塵，只需定時清潔不織布與粉塵收集室內的粉末即可。6. 無須因更換作業區域而須多餘人力搬運作業工具與機具(如清潔器具、通風設備與導管)。7. 使用集塵研磨機時僅需 1 組 2 人，1 為操作手、另 1 為助手。8. 操作與拆卸皆容易不需另做教育訓練。使用本集塵研磨機可立即且明顯地改善作業區域之粉塵濃度，經濟、實惠可立即免除作業勞工處於粉塵危害之作業環境中，又可 1. 無須依賴通風設備來稀釋空氣中粉塵濃度而降低危害。2. 無須等待粉塵揚起再做濃度檢測、分析辨識危害。3. 無須閃躲工安檢查員或勞檢所檢查員之稽查。4. 不會影響相鄰作業區域環境與作業勞工。5. 降低造成環境污染、提供舒適且安全健康的作業環境。6. 無需依賴佔地寬廣、巨大體積、昂貴費用、且須專人維護與繁雜的操作之集塵設備。7. 以及因操作而衍生的後端問題等等而煩惱。

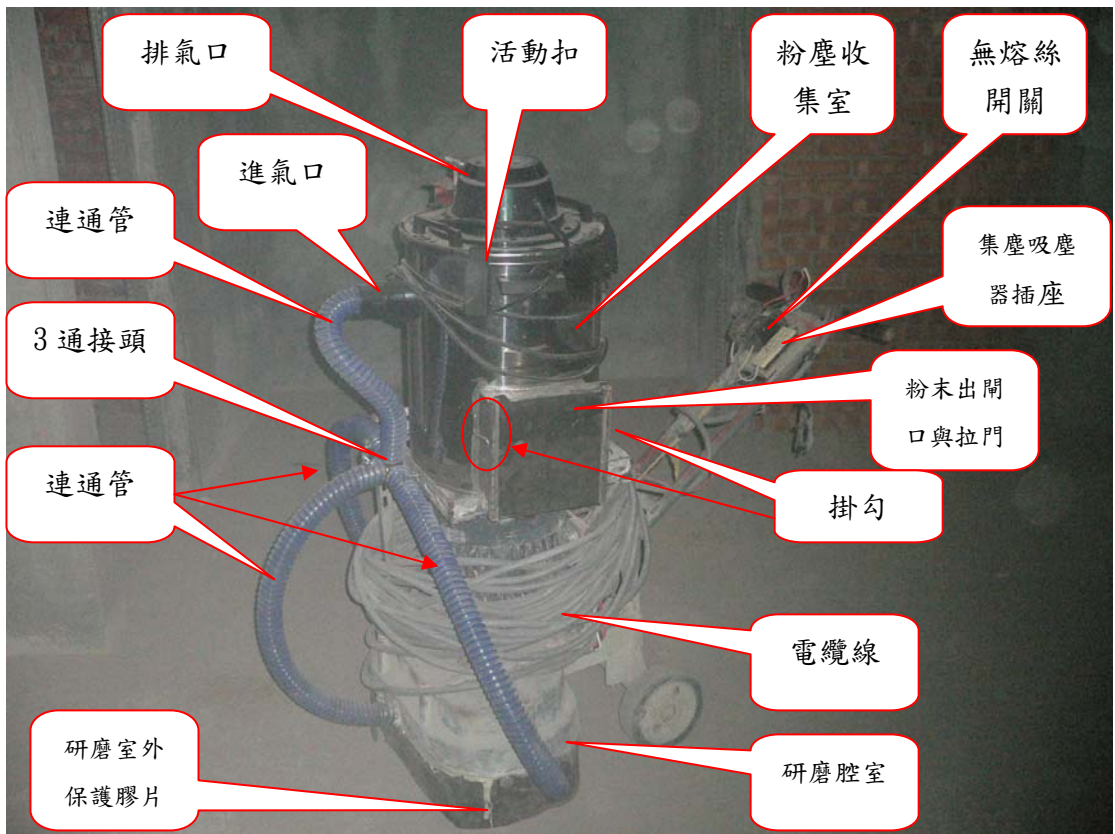


圖 3-11 本研究集塵式研磨機

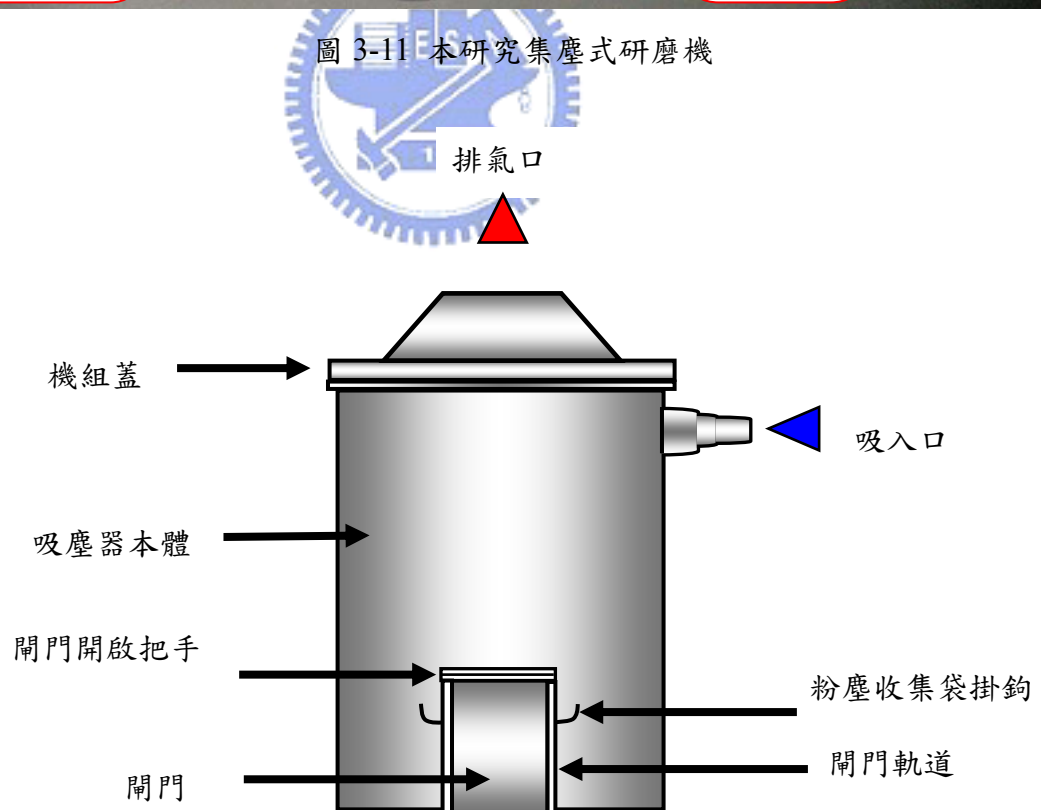


圖 3-12 機組外視圖

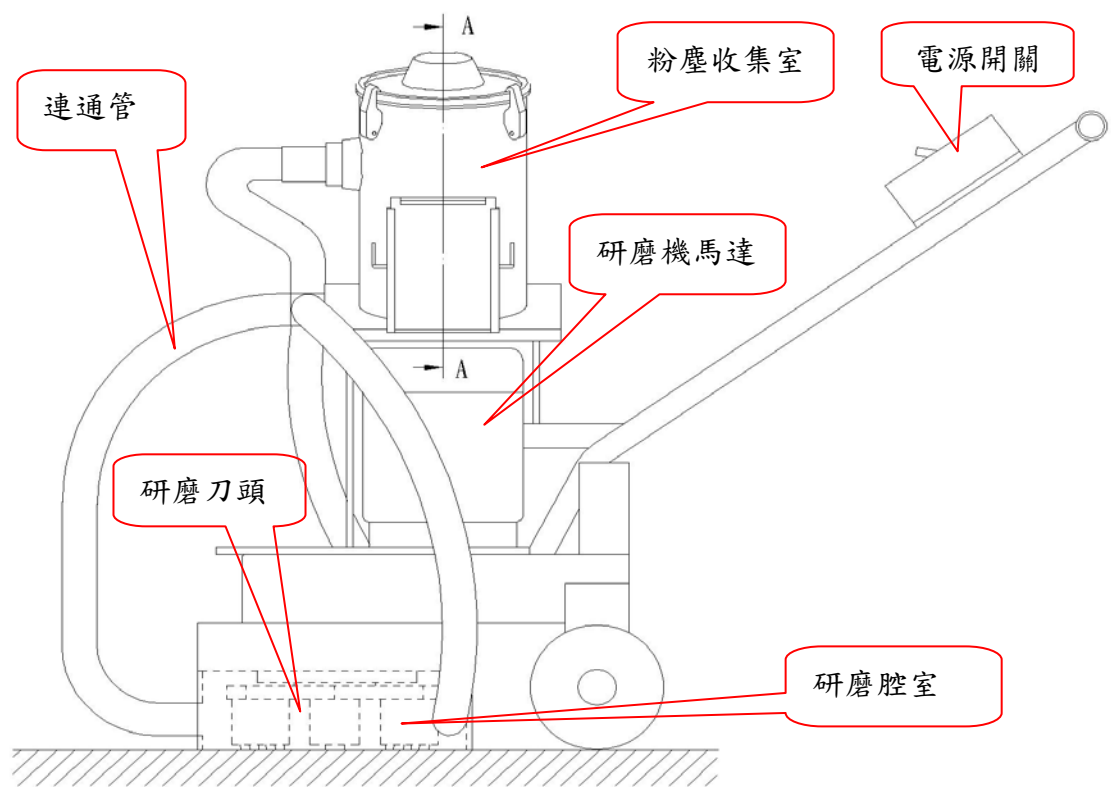


圖 3-13 集塵式研磨機側視圖

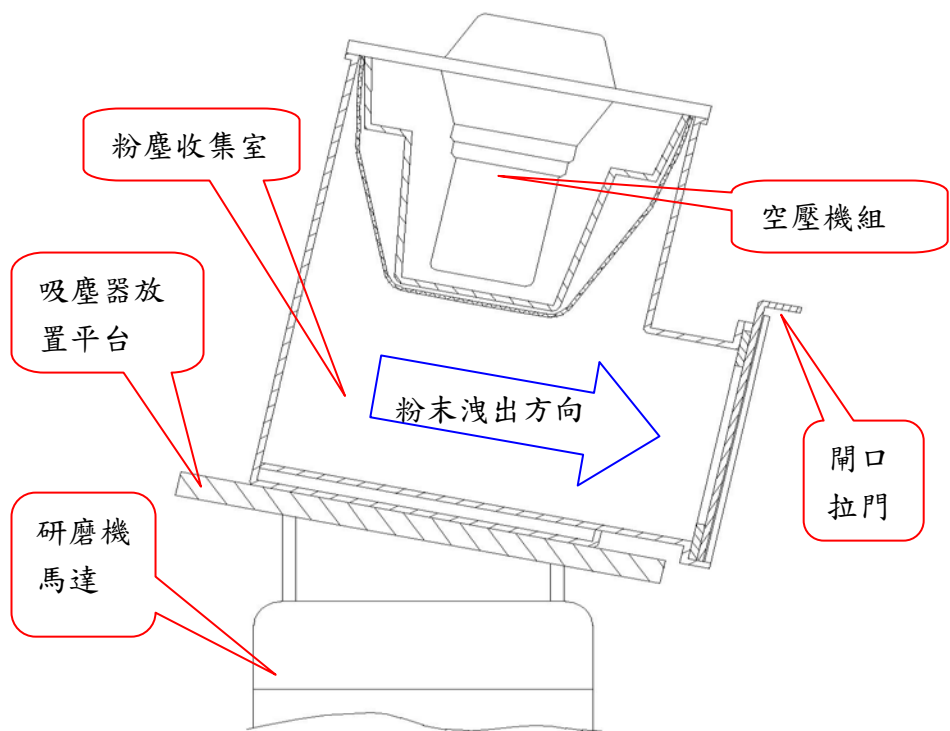


圖 3-14 A-A 剖視圖

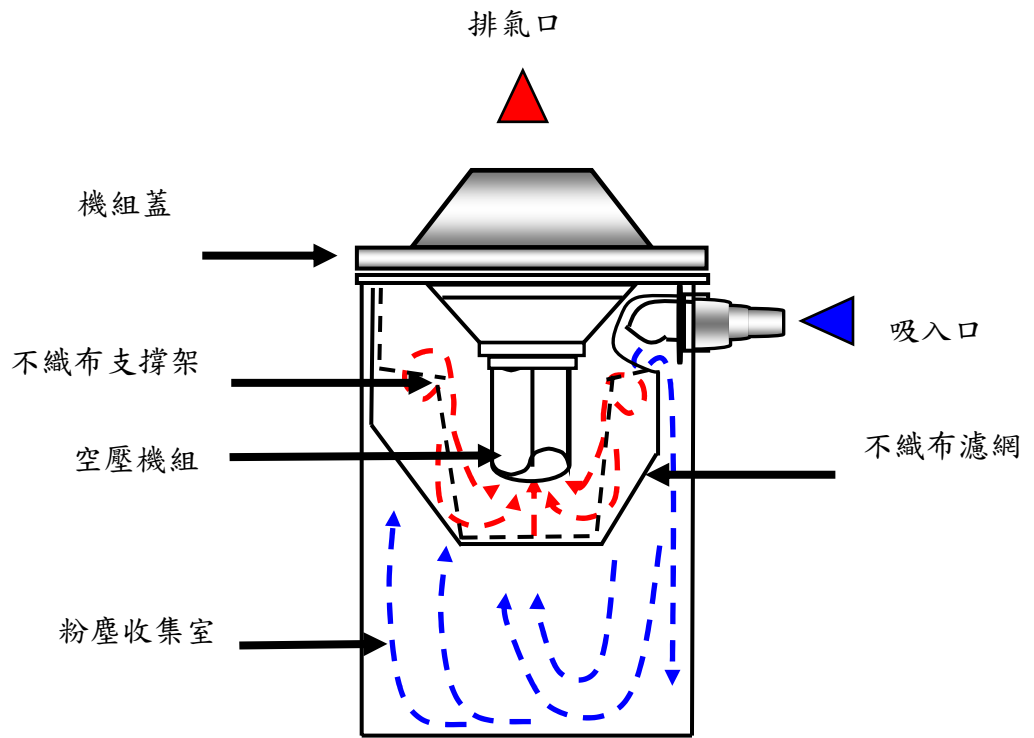


圖 3-15 機組內透視圖



圖 3-16 不織布實照



### 3.2 研磨作業之逸散粉塵控制效率量測方法

本研究利用工地實地量測，工地為台北市某大樓 3F 房間地坪，南（正）面為南京東路，南北向各有窗戶與落地窗，南北向外觀有鷹架並有防塵網包覆，東西向為隔間牆（無窗戶），研磨區域南北長約為 397 cm（不含陽台），東西寬約為 543 cm，房間高度約 315 cm 如圖 3-17，採樣器 Dust Trak 如圖 3-18 所示，放置於東南邊角落，採樣口垂直於研磨區域邊陲約 150 cm，採樣高度約為 150 cm（大約為人體呼吸空氣範圍）。當天下午氣候為雨天（小雨無間斷），相對濕度約為 70 %（氣象條件如表 4-1 所示）。

本研究共分四種模式進行實地研磨，圖 3-19 為工人進行研磨的實圖，Dust Trak 採樣間距為 1 秒鐘。四個模式分別為：ID4【不包覆亦不啟動集塵器】此模式為傳統研磨機未使用工程控制，ID2【下包覆但不啟動集塵器】此模式依『粉塵危害預防標準第九條第三款：僅將迴轉體部分包圍方式。』<sup>[7]</sup>設置，也是工地常態使用模式。ID1 及 ID3【下包覆並啟動集塵器】為本研究工程控制模式。

四個量測模式在同一個區域進行研磨，使本次在空間大小與採樣條件皆相同，以驗證本集塵式研磨機對實際勞工作業環境的粉塵逸散情形，能否具有直接降低作業環境污染的效益。

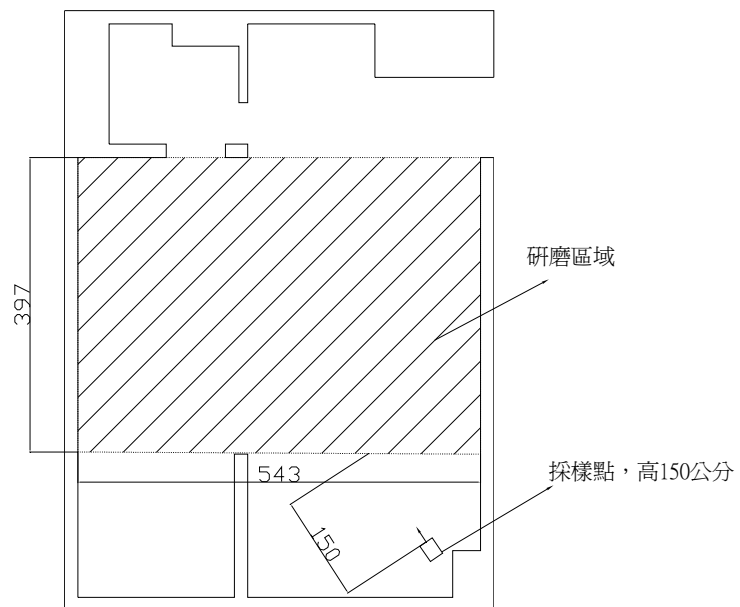


圖 3-17 3F 採樣區域平面圖



圖 3-18 Dust Trak 實照



圖 3-19 實際操作實照

### Dust Trak 基本資料

量測原理：90度雷射光散射式，直接即時粉塵濃度量測

量測範圍：LCD直讀 $0.001 \sim 100 \text{ mg/m}^3$  (以ISO 12103-1標準校正)

可量測PM10、PM2.5、PM1.0和可呼吸性粉塵(通過旋風器)

操作流量：可調整 $1.4 \sim 2.4 \text{ L/min}$

操作溫度： $0 \sim 50^\circ\text{C}$

時間常數：1~60秒可調整

記錄能力：可記錄30,000以上資料點，記錄間隔可調整。

警報輸出：設定點 $0.010 \sim 100 \text{ mg/m}^3$  可調整

電源：鹼性電池或充電電池，可連續使用16小時，具交流供電轉換器

重量：含電池1.5公斤以下(含)

## 歸零檢查

- 1.把Dust Trak氣膠測監視器調整至監測模式。
- 2.在氣膠採樣入口裝上過濾器。
- 3.把時間常數設定為10秒。持續壓住TIME CONSTANT鍵直到螢幕上顯示為10，然後放開。
- 4.等待10~60秒看螢幕顯示濃度值會否降至零。
- 5.當螢幕顯示值在-0.001~+0.001mg/m<sup>3</sup>之間，Dust Trak氣膠監測器不需要歸零調整。當顯示值超過時，需遵循以下步驟6~8來對儀器校正歸零。
- 6.持續按住CALIBRATE鍵直到螢幕顯示倒數至零，然後立即放開此鍵。此時螢幕會顯示CALIBRATE ZERO，如沒顯示則在試一次。
- 7.按SAMPLE鍵並等待60秒倒數。當完成倒計時，螢幕上會顯示目前的校正值。
- 8.按CALIBRATE鍵回到監測模式，而儀器校正歸零完成。

## 清潔PM10採樣入口及採樣管

氣膠微粒採樣入口需要定期清潔，特別是在高微粒濃度環境中量測之後。當開機時螢幕顯示SERVICE 4，表示需進行噴嘴清潔。當任何訊息顯示時，Dust Trak氣膠監測器需暫停使用。

- 1.將監測器移到相對乾淨的環境中。（氣膠濃度不到0.1 mg/m<sup>3</sup>）
- 2.關掉Dust Trak。
- 3.拆開採樣入口噴嘴。
- 4.使用採樣管拆卸工具從氣膠進口處取出採樣管。
- 5.清潔採樣管及氣膠進口處。使用棉花棒來清潔進口處、噴嘴、O型橡皮圈及採樣管。（不可使用高壓空氣清潔進口處，因高壓空氣會使微粒進入光學量測腔並且污染光學設備）。並使用TSI所提供的清潔刷來清潔採樣管內部。
- 6.把採樣管在插回氣膠進口處並用卸除工具旋緊。
- 7.安裝進口噴嘴。

8.進行歸零校正。

9.關掉Dust Trak監測器並在按住CALIBRATE鍵時再次把它打開。這動作會重置內部電路中通過儀器的總氣膠量之紀錄，則進口處的清潔程序已完成。

### 校正採樣流量

原廠設定Dust Trak監測器的採樣流量為1.7 L/min。採樣流量可透過下列程序校正。

- 1.在校正流量之前，需先清潔氣膠採樣入口處。
- 2.以矽膠管連接泡沫流量計與Dust Trak監測器採樣口。
- 3.在Dust Trak監測器運作時，利用廠商提供的螺絲起子轉動在Dust Trak監測器上的流量調整螺絲，改變Dust Trak的抽氣量。調整Dust Trak的流量使泡沫流量計的讀值為1.7 L/min。
- 4.移去泡沫流量計後完成流量校正。



## 第四章、結果與討論

### 4.1.在工地評估集塵式研磨機的控制效率的實驗結果

本研究主要目的是在營建工地的乾式研磨作業中，針對使用傳統研磨機以及使用本研究集塵式研磨機所產生的粉塵濃度做比較，計算出本集塵式研磨機的微粒濃度消減率。計算公式為： $i(\text{濃度消減率}) = \left( \frac{\text{ID4} - \text{IDi}}{\text{ID4}} \right) \times 100\%$ ，其中 IDi 及 ID4 分別為使用傳統及改良後的研磨機所產生的粉塵濃度。

表 4-1 為本研究不同操作條件下的實驗結果，從表中可看出以傳統研磨機 (ID4) 所產生的粉塵污染最為嚴重，研磨階段最小濃度為  $0.08 \text{ mg/m}^3$ ，最大濃度為  $67.64 \text{ mg/m}^3$ ，平均濃度  $18.57 \text{ mg/m}^3$ 。在 ID4 實驗模式前，地坪經過 3 次的研磨，此時的地板表面比素地乾淨且平整，若將本模式移到研磨素地時，可推估 ID4 的最大濃度必定大於  $67.64 \text{ mg/m}^3$ 。粉塵濃度第二高的為 ID2 (一般工地操作模式)，研磨階段最小濃度為  $0.09 \text{ mg/m}^3$ ，最大濃度為  $26.43 \text{ mg/m}^3$ ，平均濃度  $8.44 \text{ mg/m}^3$ ，平均濃度削減率約為 54%。ID3 與 ID1 皆為集塵式研磨機操作模式，而 ID3 比 ID1 的去除效率好，主要是因為 ID3 為第三次研磨，而 ID1 為素地研磨。此兩模式的結果分別為：ID1 平均濃度削減率為 88%，研磨階段最小濃度為  $0.11 \text{ mg/m}^3$ ，最大濃度為  $6.85 \text{ mg/m}^3$ ，平均濃度  $2.09 \text{ mg/m}^3$ ；ID3 的去除效率最好，平均濃度削減率為 95%，在研磨作業階段中最小濃度為  $0.09 \text{ mg/m}^3$ ，最大濃度為  $4.41 \text{ mg/m}^3$ ，平均濃度為  $0.84 \text{ mg/m}^3$ 。

表 4-2 為本研究四個實驗模式下 30 秒及 60 秒平均粉塵濃度的結果，統計結果分別為：ID1 的 30 秒平均最大濃度為  $4.65 \text{ mg/m}^3$ ，60 秒為  $4.43 \text{ mg/m}^3$ ，30 秒與 60 秒的平均濃度同為  $2.27 \text{ mg/m}^3$ ，平均濃度削減率均為 85%。ID2 的 30 秒平均最大濃度為  $13.94 \text{ mg/m}^3$ ，60 秒為  $13.65 \text{ mg/m}^3$ ，30 秒與 60 秒的平均濃度同為  $9.17 \text{ mg/m}^3$ ，削減率均為 43%。ID3 的 30 秒平均最大濃度為  $1.95 \text{ mg/m}^3$ ，60 秒為  $1.82 \text{ mg/m}^3$ ，30 秒與 60 秒的平均濃度同為  $0.95 \text{ mg/m}^3$ ，削減率均為 94%。ID4 的 30

秒平均最大濃度為  $31.88 \text{ mg/m}^3$ ，60 秒為  $30.80 \text{ mg/m}^3$ ，30 秒與 60 秒的平均濃度同  $15.96 \text{ mg/m}^3$ 。依上述數值，在各個模式之中 30 秒與 60 秒的最大、最小濃度或平均濃度值均相當接近或相同。而 30 秒與 60 秒平均數值的平均濃度削減率為依序為 ID3 (94%) > ID1 (85%) > ID2 (43%) > ID4，ID4 依然是粉塵逸散最嚴重的操作模式。



表 4-1 集塵式研磨機的現場量測結果(2005)

### 採樣總表

次序	日期	ID	氣候	濕度	採樣 模式	採樣時間				實驗模式		採樣 間距	各階段數值			研磨時的平 均濃度削減 率%	地坪 研磨條件
						開始	結束	總計時 間	秒/ 時間	啟動 吸塵	下包 覆		最小濃 度mg/m <sup>3</sup>	最大濃度 mg/m <sup>3</sup>	平均濃度 mg/m <sup>3</sup>		
1	8/22	1	雨天	70%	研磨	14:54:34	15:15:00	00:20:26	1226	✓	✓	1 秒	0.11	6.85	2.09	88.72%	第一次 (素地)
					消散	15:15:01	15:44:13	00:29:12	1752	-	6.15		0.30				
2	8/22	2	雨天	70%	研磨	15:44:45	16:06:00	00:21:15	1275	✓	✓	1 秒	0.09	26.43	8.45	54.49%	第二次
					消散	16:06:01	16:25:14	00:19:13	1153	-	5.544		0.72				
3	8/22	3	雨天	70%	研磨	16:26:14	16:47:00	00:20:46	1246	✓	✓	1 秒	0.09	4.41	0.84	95.45%	第三次
					消散	16:47:01	17:06:41	00:19:40	420	-	3.11		0.27				
4	8/22	4	雨天	70%	研磨	17:09:08	17:20:00	00:10:52	652	×	×	1 秒	0.08	67.64	18.57		第四次
					消散	17:20:01	17:50:13	00:30:12	1812	-	42.73		3.29				

註：平均數值為每個階段時間內所有數值之平均



表 4-2 集塵式研磨機的現場量測之 30 秒與 60 秒平均濃度比較表

### 30 秒與 60 秒平均濃度比較表

次序	日期	ID	氣候	濕度	平均秒數	實驗模式		採樣間距	平均數值			平均數值的平均濃度削減率 %	地坪研磨條件
						啟動吸塵	下包覆		最小濃度 mg/m <sup>3</sup>	最大濃度 mg/m <sup>3</sup>	平均濃度 mg/m <sup>3</sup>		
1	8/22	1	雨天	70%	30 秒	✓	✓	1 秒	0.29	4.65	2.27	86.05%	第一次 (素地)
					60 秒				0.33	4.43	2.27	86.05%	
2	8/22	2	雨天	70%	30 秒	×	✓	1 秒	0.18	13.94	9.17	43.78%	第二次
					60 秒				0.61	13.65	9.17	43.78%	
3	8/22	3	雨天	70%	30 秒	✓	✓	1 秒	0.34	1.95	0.95	94.17%	第三次
					60 秒				0.48	1.82	0.95	94.17%	
4	8/22	4	雨天	70%	30 秒	×	×	1 秒	1.20	31.88	16.31		第四次
					60 秒				1.87	30.80	16.31		

註：平均數值為每個階段時間內所有數值之平均

為了要更進一步了解作業場所粉塵濃度隨著研磨機具的啟動而逐漸升高，關閉研磨機後濃度隨時間而消散的變化，本研究將 ID1~ID4 粉塵濃度隨時間變化做圖，結果如圖 4-1~4-4 所示。

圖 4-4 為 ID4 模式(不啟動集塵器，也不包覆)下粉塵平均濃度隨時間變化的結果，本模式為傳統研磨的模式，因此啟動研磨機具後微粒快速逸散於空氣之中，且粉塵濃度立即升高，雖然研磨時間只有前三次的一半，共研磨 10 分 52 秒(前三次研磨時間平均約為 20 分鐘左右)，但濃度卻比前三次大很多。當 17:09:08 開始啟動研磨機，到 17:12:37 的時候，30 秒的平均濃度達  $31.88 \text{ mg/m}^3$  為最高，只歷經 3 分 29 秒的時間，此時室內的空氣粉塵濃度達到平衡，其穩定值約為  $25\sim 32 \text{ mg/m}^3$  之間。17:20:00 關閉電源停止研磨作業，粉塵濃度因重力沉降漸漸降低，關閉電源後 5 分鐘之後，微粒濃度才降至  $5 \text{ mg/m}^3$  以下，再 15 分鐘後才降至趨近零( $0.15 \text{ mg/m}^3$ )。本研究推估，若將無工程控制的傳統研磨機移到素地研磨時，於空氣中的微粒濃度必定比本實驗模式的 ID4 來得高，且達到最高濃度時間會更短，但消散所需的時間會變的更長。

圖 4-2 為 ID2 工地常態操作模式(不啟動集塵器，下有包覆)下的粉塵平均濃度隨時間變化的結果。此時地坪為第二次研磨，所以地上的粉塵、土屑、泥漿量會比第一次少，地面的雜質經前次的研磨後，大部分已被集塵器收集於粉塵集塵室中，所以會比第一次乾淨，此外其表面的粗糙程度也因被前次研磨過而比第一次平整。本模式研磨揚起的粉塵有部分屬於機械研磨產生的粉塵，另一部分為前次研磨後留在地面(包括懸浮於空氣中自然沉降下來的粉塵微粒)。由於研磨機有包覆的關係，經由研磨起的粉塵微粒部份會被聚集於研磨腔中，但待研磨腔室內的粉塵飽和後，粉塵微粒即會被推擠或排放出研磨腔室外並懸浮於空氣中。研磨腔室的設計主要是提供研磨刀頭研磨及其旋轉空間之用，並不是專為收集粉塵微粒而設計的，因此當已被包覆的研磨腔室要同時提供收集粉塵及研磨刀頭旋轉空間時，此時研磨腔室內的粉塵累積到達某一定量後，則粉塵會被推擠或彈出於研磨腔室外，並逸散到空氣中，待粉塵因重力自然沉降到地上後再次被研磨並包覆於研磨腔室之中，接著又再被彈出腔室外回懸浮到空氣中，因為受到這樣的循環效應，使得作業場所的粉塵濃度會保持在一定的高濃度而不會降低，這樣的循環效應會不斷的重複直到研磨作業完成或關掉電源才會停止，粉塵濃度才會隨時間的增加而逐漸的消散。另外在研磨作業當中，研磨腔室包覆的粉塵達一定量時操作

人員須依其個人工作經驗判斷研磨腔室的粉塵量是否已飽和，若已飽和則必須將電源關閉並將手把往下壓，讓研磨腔室離地使粉塵堆置於地上。如此一來研磨過的作業區域將會有許多成堆的粉塵佈滿工作場所，若不即時清除則在開放的營建場所當中勞工常常走動將會產生第二次的污染源。

當 15:44:45 開始啟動研磨機，室內粉塵濃度逐漸升高，到 15:53:14 的時候，30 秒的平均濃度達  $13.94 \text{ mg/m}^3$  為最高，共經歷了 8 分 29 秒的時間；此時室內的空氣粉塵濃度達到平衡，其值約為  $12\sim 14 \text{ mg/m}^3$  之間。於 16:06:00 時關閉研磨機電源，粉塵濃度因重力沉降的關係，隨著時間增長而逐漸降低。於 16:16:14 時降到  $0.12 \text{ mg/m}^3$  趨近零。歷時約 10 分 14 秒。在圖 4-2 中出現濃度不連續的情況(A 點)，可能是因為實驗人員進入研磨作業區域觀察採樣器時所造成的影響。

圖 4-1 為 ID1 模式(啟動集塵器與有下包覆)下粉塵平均濃度隨時間變化的結果。此時的地坪為第一次研磨，地上的粉塵、土屑、泥漿量比較多以及表面粗糙且不平整(工地慣稱為素地)，研磨時揚起的粉塵量會比較多、濃度比較高。當 14:54:34 開始啟動研磨機(同一時間集塵器亦被啟動)，室內粉塵濃度隨著時間增加而逐漸提高，到 15:11:03 的時候，30 秒的平均濃度達  $4.65 \text{ mg/m}^3$  為最高，共經歷了 16 分 29 秒的時間，此時室內的空氣粉塵濃度達到平衡，其值約為  $4.2\sim 4.6 \text{ mg/m}^3$  之間。於 15:15:00 時關閉研磨機電源(同一時間關閉集塵器)，粉塵濃度隨著時間增長而逐漸消散，在 15:24:03 時，30 秒的平均濃度已降到趨近零的  $0.12 \text{ mg/m}^3$ ，共歷時約 9 分 3 秒。在圖 4-1 中出現濃度不連續的情況(A 點)，可能是因為實驗人員進入研磨作業區域觀察採樣器時所造成的影響。

圖 4-3 為 ID3(與 ID1 為相同模式)下粉塵平均濃度隨時間變化的結果。地坪經歷了第一次與第二次的研磨後，表面較為平整，所以在整個研磨階段，室內的粉塵濃度比 ID1 低，平均濃度削減率比第一次佳。16:26:14 開始啟動研磨機(同一時間集塵器亦被啟動)，研磨區域的室內粉塵濃度逐漸升高，到 16:29:13 的時候，30 秒的平均濃度最高只有  $1.95 \text{ mg/m}^3$ ，此時室內的空氣粉塵濃度達到平衡，其值約為  $1.5\sim 2 \text{ mg/m}^3$  之間。於 16:47:00 時關閉研磨機電源(同一時間亦關閉集塵器)，在研磨作業停止後，微粒歷時約 13 分 43 秒後其 30 秒的平均濃度降到趨近零的  $0.11 \text{ mg/m}^3$ 。在圖 4-3 中出現濃度不連續的情況(A 及 B 點)，應該是實驗人員數次進入研磨作業區域觀察採樣器時所造成的影響。

本研究在同一區域的重複研磨是為了保持研磨條件的一致性，但結果仍然有

許多的不同，這些的差異如表 4-3 所示及上述的討論。根據上述數據可得下列結論：1、以室內粉塵濃度數值為：ID3 (1.95 mg/m<sup>3</sup>) < ID1 (4.65 mg/m<sup>3</sup>) < ID2 (13.94 mg/m<sup>3</sup>) < ID4 (31.88 mg/m<sup>3</sup>)。2、各模式的收集效率為：ID1 (16 分 29 秒，平均每秒 0.005 mg/m<sup>3</sup>) > ID3 (2 分 59 秒，平均每秒 0.011 mg/m<sup>3</sup>) > ID2 (8 分 29 秒，平均每秒 0.027 mg/m<sup>3</sup>) > ID4 (3 分 29 秒，平均每秒 0.153 mg/m<sup>3</sup>)。3、微粒消散時間為：ID1 (9 分 03 秒) > ID2 (10 分 14 秒) > ID3 (13 分 43 秒) > ID4 (29 分 37 秒)。本研究認為第一次研磨之初 (ID1)，地板上的粉塵、土屑、泥漿量比較多且較粗糙(素地)，研磨時揚起的粉塵微粒成分比較複雜(不只是因機械研磨揚起的粉末，還有素地原有的粉塵微粒)且不乾淨(就研磨而言：單純由機械研磨產生的粉塵)，所以 ID1 產生微粒會比其他模式產生的微粒來的複雜，經過重力自然沉降的關係，粉塵沉降的速度也比其他模式的沉降速度快。第四次研磨時 (ID4)，因同一區域已經過三次的研磨與收集，其粉塵會比較乾淨(由機械研磨所產生的微粒)，大部分的粉塵微粒屬於機械研磨揚起較細的混凝土粉塵，因此 ID4 微粒的沉降速度會比較慢。



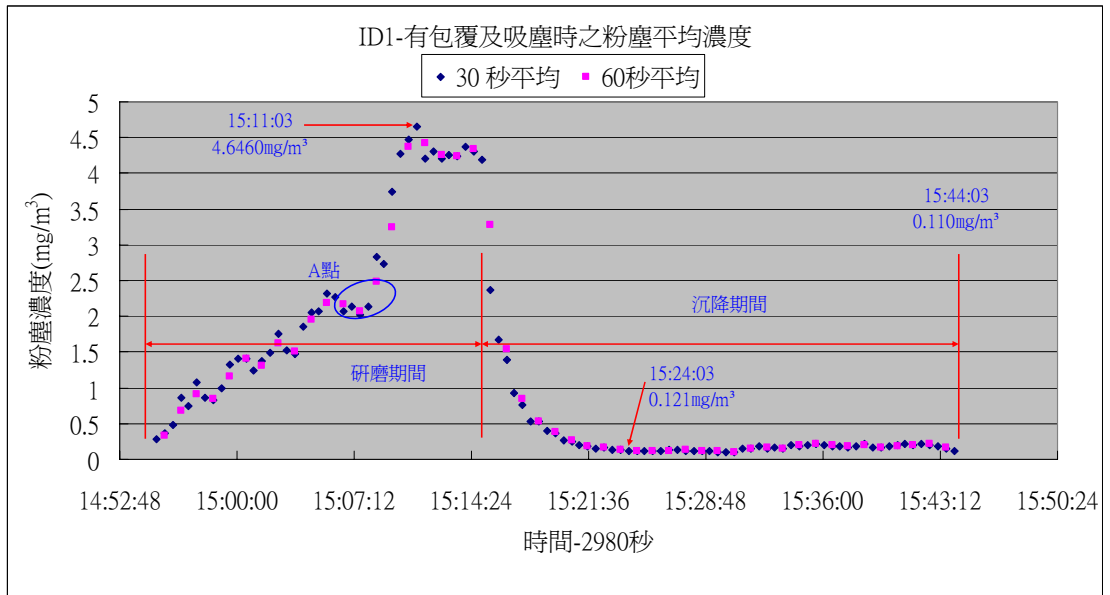


圖 4-1 ID1-有包覆及集塵時之粉塵平均濃度

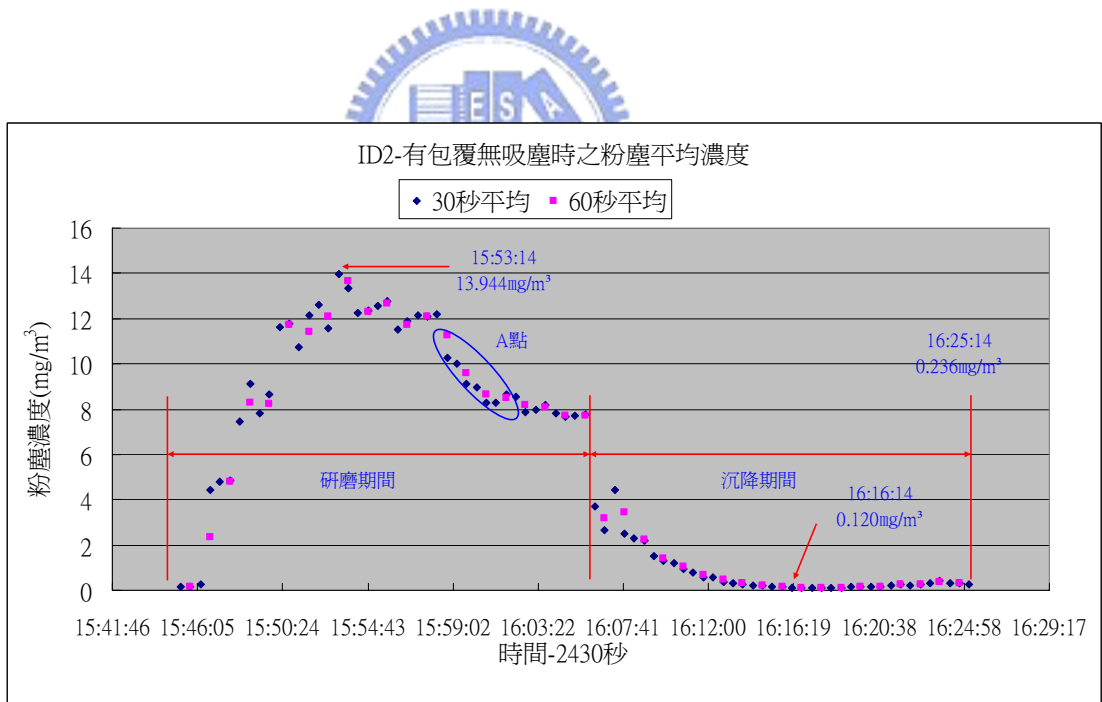


圖 4-2 ID2-有包覆無集塵時之粉塵平均濃度

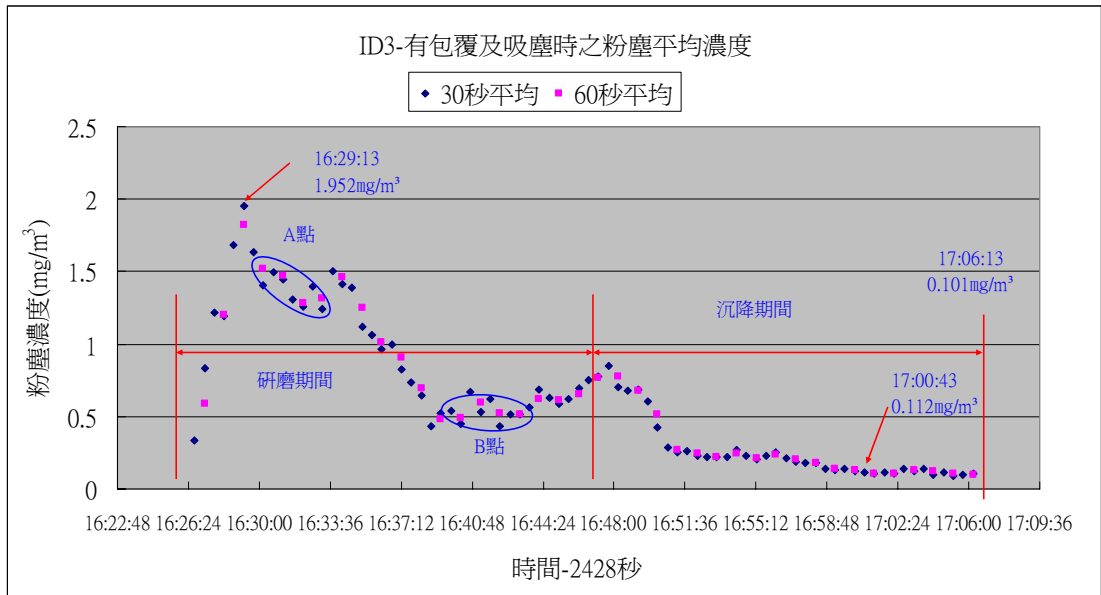


圖 4-3 ID3-有包覆及集塵時之粉塵平均濃度

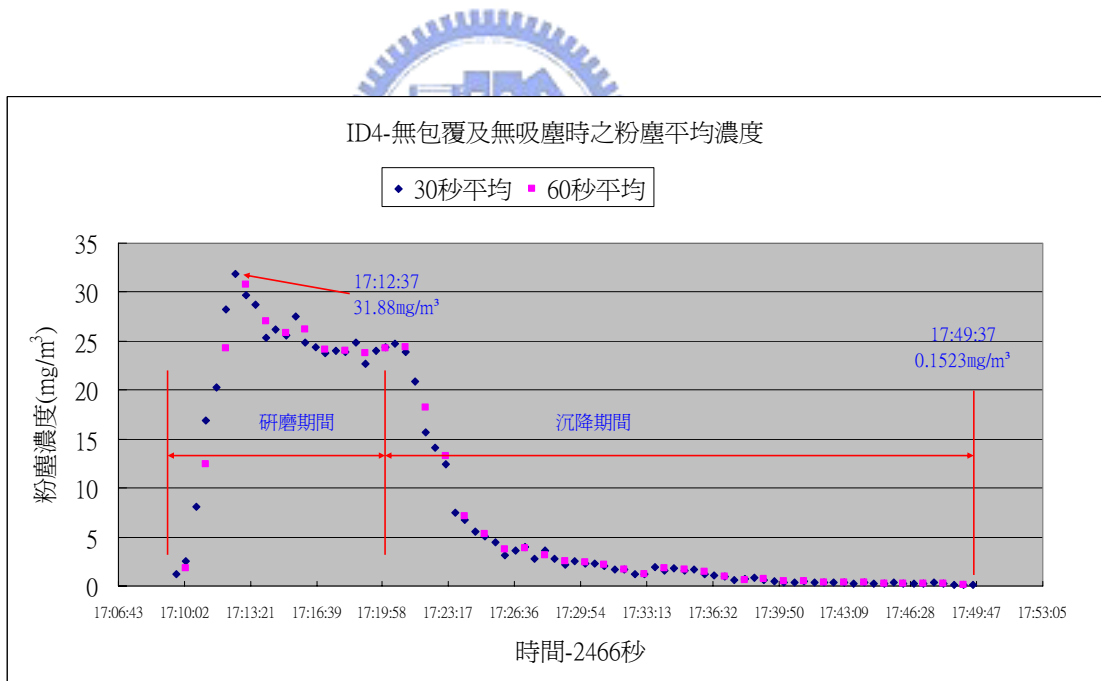


圖 4-4 ID4-無包覆及無集塵時之粉塵平均濃度

表 4-3 影響集塵式研磨機控制效率的因素：

1. 集塵研磨機轉彎時因保護膠片彈起灰塵(或地面高低差過大)造成之揚塵。
2. 膠片與地面太過密合，因地面非絕對平面而彈起灰塵造成之揚塵。
3. 操作時推進的速度快或慢會影響地面灰塵揚起的多寡。
4. 操作時的過程中若遇有障礙物(例如泥漿太大超過研磨機可研磨範圍)時而須停頓或倒退。
5. 當集塵連通管路堵塞時(包括捕集到太大或雜物累積造成連通管壁阻塞)。
6. 膠片未與集塵研磨機密合或密合不良而導致有縫隙引起之粉塵外泄。
7. 先前揚起之粉塵微粒懸浮於空氣中經過長時間累積且經人員來回運動造成氣流而增加粉塵濃度。
8. 集塵機內膽粉末已接近飽和造成集塵機無法有效率收集粉塵。
9. 集塵機未定時清理粉末會降低收集效率(視地面清潔度增減時間)。
10. 因操作者於研磨作業時吸煙而增加粉塵濃度。
11. 因地面潮濕造成研磨之粉末附著於管壁上經時間累積造成阻塞。
12. 因地面潮濕研磨之粉末附著於集塵機收集室內壁上造成研磨室阻塞影響集塵機無法有效率收集粉塵微粒。
13. 啟動集塵研磨機瞬間因磨刀頭直接與地面接觸而造成揚塵(要啟動集塵研磨機時需將集塵研磨機手把微微下壓，讓集塵研磨機之磨刀頭離開地面再啟動開關待磨刀頭旋轉後再將集塵研磨機微微放下後開始進行研磨作業。)
14. 因集塵器之輸送管破裂造成粉塵外洩造成粉塵濃度增加。
15. 操作中人員走動或清潔粉塵裝袋造成粉塵濃度增加。

## 4.2. 成本效益評估

經由上一節結果敘述得知，本研究的新型集塵式研磨機具有直接降低粉塵發生源的功能及效用，但必須也符合經濟效益、使用上的便利以及後勤容易維護等條件，才能真正被營建業者接受與應用。

本研究以傳統研磨機作業與新型集塵式研磨機分別進行人力(表 4-4)、成本(表 4-5)做比較；無論使用傳統式研磨機或集塵式研磨機的基本配備都需要操作人員與助手，但是其中的差異就在於作業時所需人力的數量與時間的長度以及作業完成後所衍生的清潔問題，這些都是管理者必須考量的直接成本。本研究研磨區域的面積為  $3.97\text{ m} \times 5.43\text{ m} = 21.56\text{ m}^2$ ，除 ID4 研磨時間為 10 分 52 秒外（因為此模式在短短的研磨時間後室內空氣平均濃度已達  $31.88\text{ mg/m}^3$ ，即關機不再進行研磨作業），其他三種模式研磨時間平均為 20 分鐘左右，每分鐘約研磨  $1.05\text{ m}^2$  的面積。

在本次實驗的地點為住宅大樓，動用人力為機具操作手 1 員，並未使用助手或清潔人員。依住宅大樓計算；1 天工作時數為 8 小時則每日 1 組機具可研磨面積約為： $8\text{ 小時} \times 60\text{ 分鐘} \times 1.05\text{ m}^2/\text{每分鐘} = 504\text{ m}^2/\text{每小時}$ ， $504\text{ m}^2/\text{每小時} \times 0.3025\text{ 坪}/\text{m}^2 = 152.5\text{ 坪}$ 。假如以目前一般的住宅大樓一戶室內實際面積約為 21~25 坪左右，取平均坪數為 23 坪/戶(含廁所與廚房，而通常這兩者是不需要研磨的)。那麼 1 天 1 組機具的研磨作業量約為  $152.5\text{ 坪}/23\text{ 坪}/\text{戶} = 6.6\text{ 戶}$ 。若是傳統研磨機則人力的需求為 1 組機具配備 1 員操作員與 2 員清潔人員，但是清潔人員的數量會依研磨作業面積或樓層的移動而增加(清潔的速度若趕不上研磨速度時，就必須增加人力清潔，因為工地常有工作人員走動，若不即時清潔研磨後堆置的粉末，則會被其他工作人員弄亂而更加費力)，則清潔人員至少需增加至 4 員。

而在科技廠房、大賣場、停車場或地下室等面積較大較空曠(沒有隔間牆的阻礙，研磨作業更順暢)的地方。若同樣以 1 組機具為例；則本研究集塵式研磨機作業人力為操作手 1 員與清潔人員 1 員，但是傳統研磨仍然至少配備 1 員操作手與 4 員清潔人員或更多(視當日作業面積而定)。因此 依據上述的分析本研究集塵式研磨機除具有降低粉塵發生源的功能外，亦具有經濟性、便利性與方便性符合營造業者實務上的需求。



表 4-4 人力比較表-以科技廠房為例

施工法 機具	濕式施工	乾式施工	備註
研磨機	操作員*1	操作員*1	
	清潔工*2~4	清潔工*2~4	視面積大小而定,但基本清潔工約為2人
	需立即清理粉末避免結塊	事後擦拭設備	
集塵研磨機	不適用	操作員*1	節省1~3人清潔工
		清潔工*1 不需清理粉末,只需更換米袋即可	打開閘門可將粉末撥入米袋內打包
		無事後擦拭問題	

表 4-5 成本差異比較表-以科技廠房為例

	集塵研磨機*1	傳統研磨機*1	金額	備註
吸塵器1台	V	V(註1)	約4500~6000元,工地必備	2005年之單價
米袋	V	V	6~7元/只	2005年之單價
操作員*1	V	V		
清潔工	1人	3人以上	4500元以上/日	視面積大小而定
污染設備	—	嚴重(註2)	難以估計	
其他	—	嚴重(註3)	難以估計	

註1.傳統研磨機雖然不需吸塵器,但因工地皆須必備所以仍會儲於倉庫內,仍屬於閒置

註2.粉塵微粒懸浮於空氣中,待一段時間自然沉降後會污染週邊的設備(如窗框、玻璃、帷幕、撒水頭、消防設備、空調與風管)交屋時需額外增加清潔費用及人力清理。

註3.如輕鋼架天花板、木作工程、電表箱、牆面油漆等等清潔費用與人力增加

## 第五章、結論與建議

### 5-1 結論

一般而言，在粉塵作業場所中，暴露時間越長，危害越大，對人體肺部造成的危害機率愈高<sup>[19]</sup>。而粉塵沉著量與呼吸的次數及潮濕有關，慢性呼吸可與大量潮氣深入肺部，由於進出肺部時間較長，有助於粉塵沉著於肺部。我國現行法令將粉塵分為四種，其中與結晶型游離二氧化矽有關者為第一種與第二種粉塵，分別代表含結晶型游離二氧化矽 10% 以上及未滿 10% 之礦物性粉塵<sup>[20]</sup>，在本研究中使用傳統研磨機作業時平均濃度超過 18 mg/m<sup>3</sup>，已超出法令規範中第二種粉塵的總粉塵容許濃度數值 4 mg/m<sup>3</sup> 許多。而使用本研究改良集塵式研磨機作業時平均濃度為 0.84 mg/m<sup>3</sup>，低於第二種粉塵的可呼吸性粉塵容許濃度 1 mg/m<sup>3</sup> 及總粉塵容許濃度 4 mg/m<sup>3</sup> 甚多。

為有效預防粉塵危害，對於粉塵發生源最好的預防是將作業場所空氣中的粉塵濃度降至無危險的程度，不要太依賴使用防護具，作業勞工也討厭使用防護具，但是防護具卻是作業勞工面對粉塵危害的最後一道防線。因此除換排氣設備外，應就營造業作業特殊性進行工程改善控制，這種的改善必須符合移動性、簡易性、方便性、經濟性、容易維護、且不需太多的人力即可使用。如此業者的接受度提高了，勞工也願意使用。政府主管單位不論在抑制或防止政策上也容易推動。

### 5-1 建議

回顧國內探討營建業工作場所粉塵逸散的研究成果，大部分是由政府環保決策單位出資委外辦理，主要是回饋環保主管機關做為施政方針，並擬定相關法令規範管制措施之參考依據，作為污染者付費基礎，甚至是罰則的依據。而對於營造業者來說，於工程開始建造之初，必須先向營建主管機關申報開工；在此同時亦需向地方環保主管單位繳納空氣污染防治費用並列入管理與追蹤。而繳納費用主要是基於使用者付費之原則，工地被列管主要是勞檢與環保兩單位於工程建造當中會不定期的去工地稽核與巡查，倘若工程建造過程中有違反勞工安全與環保法令規範時，稽核單位會依法令規範條款對營造工地處罰，輕則限期改善；重則

罰款並改善。甚至於下達停工令，停止該區域的建造行為。付費是最簡單的處理方式之一，但對於勞工而言，產生對人體危害的問題仍然存在，並沒有因付費後問題就從他們的作業場所中永遠消失。

但營造業者並不是不願意解決當前存在已久的問題，只是目前的環境與政策當中，並沒有提供營造業在工程建造過程中符合變動性大、複雜性以及高度依賴人力等特性的機具設備供業者選擇，讓業者有更多便利性且具經濟性的機具來使用。尤其在搶標競爭的微利時代，利潤每況愈下，選用經濟性的方法是業者考量的因素之一，而上述因素直接影響著營造業決策者使用的意願。

因此 本研究開發一種具經濟性誘因的粉塵去除設備，即可保護勞工安全又可降低粉塵逸散量，並且降低工程建造時間與成本，符合營造業的特性。同時也期待往後有更多符合營造業特性的機具設備陸續被開發出。



## 六、參考文獻

- [1] 湯大同，營建工地修整作業勞工結晶型游離二氧化矽暴露評估 Assessing crystalline silica exposure to construction industry workers while conducting concrete finishing works，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，技術叢書，IOSH93-A305。
- [2] 經濟部工業局，作業環境改善與衛生管理實務手冊—有害作業危害預防，92年5月初版。
- [3] 行政院環保署，營建工程空氣污染防制設施管理辦法，92年5月28日。
- [4] 章裕民等，“營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估”，行政院環保署八十五年度專案研究計畫。
- [5] 行政院環保署，空氣污染防制法，91年6月19日。
- [6] 行政院環保署，營建工程空氣污染防治設施管理辦法，92年5月28日
- [7] 行政院勞工委員會，粉塵危害預防標準，92年12月31日。
- [8] 行政院環保署，空氣污染行為，91年8月15日。
- [9] 行政院環保署，空氣污染行為管制執行準則，91年12月11日。
- [10] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，職業性疾病(Occupational Disease)-第三章職業病成因模型的含義 88年6月三版。
- [11] 彭元傑，營建安全衛生與實務管理，台北國際商學出版社，82年。
- [12] 蔡春進、江志峰、繆敦耀、彭世邦，“都會區逸散性粒狀污染物量測及管制措施研究—都會區路面揚塵之量測研究(期末報告)”，行政院環保署，86年6月30日。

- [13] 蔡春進，“粒狀物控制設備的理論與實務”，國立交通大學，環境工程研究所，  
90年11月。
- [14] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，職業性疾病(Occupational  
Disease)-呼吸系統，技術叢書，<http://www.iosh.gov.tw/frame.htm>。
- [15] 陳王琨，營建工程環境管理與污染防治，淑馨出版社，85年。
- [16] Henry C.Perkins 著，“Air pollution”。林政剛等編譯，空氣污染，  
2001年3月，六版。
- [17] 陳友剛，作業粉塵懸浮微粒的危害與控制，勞工安全衛生簡訊第7期，  
83年10月。( <http://www.iosh.gov.tw/data/f2/sp7-1.htm> )。
- [18] 陳萬春，呼吸防護具分類與性能，勞工衛生研究相關技術資料彙編，行政院  
勞工委員會勞工安全衛生研究所。
- [19] 行政院勞工委員會中區勞動檢查所，粉塵危害預防(教育宣導品)，  
93年10月。
- [20] 行政院環保署，勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，  
92年12月31日。