



勞工安全衛生研究報告

塑膠工廠改質劑粉體入料作業爆炸研究

Investigation of the Explosion ignited during Feeding of the Modification Metablens Powder at the Plastic Factory



塑膠工廠改質劑粉體入料作業爆炸研究 IOSH99-S301

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



塑膠工廠改質劑粉體入料作業爆炸研究

Investigation of the Explosion ignited during Feeding of the Modification Metablens Powder at the Plastic Factory

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

塑膠工廠改質劑粉體入料作業爆炸研究

Investigation of the Explosion ignited during Feeding of the Modification Metablens Powder at the Plastic Factory

研究主持人：吳鴻鈞、唐繁

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 99 年 3 月 1 日至 99 年 12 月 30 日

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
中華民國 100 年 3 月

摘要

發生靜電的原因有很多種，而摩擦帶電是一般最常見的，製造合成樹脂在塑膠化工廠常使用的原料有聚氯乙烯(PVC 粉)、加工助劑、耐衝擊改質劑(MBS RESIN)等，大部分的生產流程是將原料以吊掛的方式批次投入原料桶，並將 PVC 粉、加工助劑、改質劑等原料依配方比例於計量區使用混合機混合，之後再經由押出機、軋輪機、膠布機、捲取機將成品輸出。通常裝填塑膠粉體原料多半使用大型太空袋，其內袋一般為 PE 材質，在投料時總會伴隨靜電的產生，主要是因塑膠粉體原料本身相互碰撞或是與太空袋互相摩擦產生靜電，而一般塑膠粉體皆為非導體，無法迅速將靜電消散，因此可能造成局部大量靜電的累積，若在投料製程中未適當消除靜電，很容易因靜電產生之靜電火花引發火災爆炸。

透過儀器之量測，改質劑的體積電阻率高達 $10^{13} \Omega\text{-cm}$ ，屬於非導體，在卸料與輸送過程中，太空袋、輸送管道、或是粒子間互相摩擦碰撞極易產生靜電，而改質劑物料本身電阻率高具不導電性，所產生的靜電極難散失，極易造成大量的靜電累積；從靜電累積測試結果可知，隨著改質劑粉體的增加，造成的靜電累積量也會相對提升。經由模擬實際卸料作業試驗，桶槽底部有高達 9.9KV 之靜電值，顯示卸料時於桶槽底部會產生大量靜電。當靜電累積到一定的程度就會產生放電現象，最後成為火花放電。

藉由改質劑之最小點火能量數據得知，其最小點火能量約 60~70 毫焦耳(mJ)，若是操作機台累積之靜電過高，所產生之靜電火花之能量就足以點燃改質劑甚至產生爆炸，因此應注意在維修、火工、易產生靜電或是有電氣設備的情況下，必須做好相關的危害防治措施。本計畫針對幾種常使用到之改質劑進行研究實驗，針對耐衝擊改質劑卸料時靜電產生情形、改質劑之最低點火能量及體積電阻率進一步試驗分析，並提出相關危害預防建議，供政府勞工安全輔導與業界製程設計參考之用。

關鍵詞：改質劑、靜電

Abstract

There are many ways for inducing static charges and one of the most common ones is via friction. Common raw materials for manufacturing synthetic resin are poly vinyl chloride, finishing agent, metablen and etc. Most of the manufacturing processes start by dropping batches of raw materials into the tank from the air; PVC powder, finishing agent, modifier and other raw materials are mixed based on prescribed proportions in the measurement area by mixers. Subsequently, the finished products are extracted using extrusion machine, press roller machine, taping machine and winding machine. Generally, bulk bag is used to bag plastic powder and the interior of the bag is covered by PE material. Hence, when the material is dropped, static charges will be induced, primarily due to mutual collisions between powder particles as well as the bulk bag. Ordinary plastic powder particles are non-conductive and thus static charges cannot be discharged rapidly, consequently leading to partial accumulation of large amounts of static charges. If static charges are not appropriately discharged during material feeding of the manufacturing process, sparks caused by static charges can easily ignite explosions.

Based on the measurement of the instrument, the volume resistivity of the modification agent is as high as 10^{13} Ω -cm, implying that the modification agent is a non-conductor. During the process of agent unloading and transmission, rubbing and collision between bulk bags, transmission tubes and the particles can easily induce static charges. Also, materials of the modification agent itself are non-conductive, thus the induced static charges are extremely difficult to be discharged, consequently leading to accumulations of massive amount of static charges. Based on the amount of static charges accumulated, it is thus known that the amount of static charges accumulated increases as the modification agent powder is increased. After simulating the actual unloading process, the bottom of the tank contains almost 9.9KV of static charges, indicating that the tank bottom generates large amount of static charges during the unloading process. As the static charges accumulated reach a certain level, they will be discharged and finally become sparks.

Based on the data of minimum ignition energy of the modification agent, the minimum ignition energy is approximately 60-70 micro-joules(mJ). If the static charges accumulated in operating machines become exceedingly high, the generated sparks has the energy enough to ignite modification agent and finally lead to explosions. This project focuses on a few

frequently-used modification agents and further analyzes the amount of static charges induced during unloading of the impact-resistant modification agent, the lowest ignition energy of the modification agent and the volume resistivity. In addition, the relevant hazard prevention recommendations are proposed so as to serve as a reference for labor safety guidance of the government and manufacturing process design in the industries.

Key words: Metablen , Explosion

目錄

| | |
|---------------------|-----|
| 摘要..... | i |
| Abstract | ii |
| 目錄..... | iv |
| 圖目錄..... | v |
| 表目錄..... | vi |
| 第一章 計畫概述..... | 1 |
| 第一節 前言..... | 1 |
| 第二節 目的..... | 2 |
| 第三節 工作項目..... | 3 |
| 第二章 文獻回顧..... | 4 |
| 第一節 耐衝擊改質劑..... | 4 |
| 第二節 案例分析..... | 5 |
| 第三章 耐衝擊改質劑實驗分析..... | 10 |
| 第一節 粒徑分析..... | 10 |
| 第二節 最小點火能量分析..... | 16 |
| 第三節 靜電及帶電特性分析..... | 20 |
| 第四章 結論與建議..... | 29 |
| 第一節 結論..... | 29 |
| 第二節 建議..... | 30 |
| 誌謝..... | 33 |
| 參考文獻..... | 34 |
| 附錄一 粉體粒徑檢測報告..... | 345 |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1 事故發生當時由廠外媒體拍攝廠區火勢的狀況..... | 5 |
| 圖 2 四樓改質劑中間桶投料事故位置示意圖..... | 6 |
| 圖 3 PVC 生產製程流程示意圖..... | 7 |
| 圖 4 事故現場..... | 7 |
| 圖 5 事故廠區受大火嚴重破壞..... | 8 |
| 圖 6 事故投料桶內部貌..... | 9 |
| 圖 7 銅質環狀漏斗燒毀貌..... | 9 |
| 圖 8 光散射示意圖..... | 10 |
| 圖 9 粒徑分析儀..... | 11 |
| 圖 10 改質劑 M-31 粒徑分析結果..... | 13 |
| 圖 11 改質劑 M-41 粒徑分析結果..... | 14 |
| 圖 12 改質劑 M-51 粒徑分析結果..... | 15 |
| 圖 13 公升哈特曼(HARTMANN)最小點火能量試驗儀構造圖..... | 16 |
| 圖 14 公升哈特曼(HARTMANN)最小點火能量試驗儀(MIKE 3 型)..... | 17 |
| 圖 15 M-31 改質劑塑膠粉體之最小點火能量..... | 18 |
| 圖 16 M-41 改質劑塑膠粉體之最小點火能量..... | 19 |
| 圖 17 M-51 改質劑塑膠粉體之最小點火能量..... | 19 |
| 圖 18 體積阻抗儀器組件..... | 22 |
| 圖 19 ETS MODEL 828 儀器本體..... | 22 |
| 圖 20 圓筒狀容器與風扇..... | 24 |
| 圖 21 小型粉塵靜電量測試容器..... | 24 |
| 圖 22 靜電累積曲線..... | 26 |
| 圖 23 不同粉體之比較圖..... | 27 |
| 圖 24 模擬卸料示意圖..... | 28 |
| 圖 25 改善投料方式，以輸送帶代替以往投料..... | 31 |
| 圖 26 卸料格板..... | 31 |

表目錄

| | |
|--------------------------|----|
| 表 1 改質劑粒徑分析比較 | 12 |
| 表 2 改質劑 M-31 體積電阻率 | 22 |
| 表 3 改質劑 M-41 體積電阻率 | 23 |
| 表 4 改質劑 M-51 體積電阻率 | 23 |
| 表 5 靜電累積數據對照表格 | 25 |
| 表 6 改質劑機台各點靜電值 | 28 |
| 表 7 改質劑機台各點靜電值 | 30 |

第一章 計畫概述

第一節 前言

一般合成樹脂在化學工廠製造的反應製程中，通常皆由反應器上方的入料口，依順序加入粉體或液體原料，然而在投料時往往會伴隨靜電的產生，若是在投料製程中未適當消除靜電，非常容易因靜電火花發生爆炸。發生靜電的原因包括攪拌混合帶電、摩擦帶電、剝離帶電、流動帶電…等數種原因，通常裝填塑膠粉體原料多半使用大型太空袋，其內袋一般為 PE 材質，在投料過程中，塑膠粉體原料本身相互摩擦撞擊或是與太空袋互相摩擦即產生靜電，當有大團塊突然崩落時，可能因互相剝離而帶電，而一般塑膠粉體皆為非導體，無法迅速將靜電消除，因此可能造成局部大量靜電的累積，隨時都可能因靜電引發爆炸或是火災[1]。

嘉義縣新港鄉某塑膠工廠於民國 2009 年 01 月下午約 1 時傳出火警，由於工廠內堆放大量原料，火勢迅速竄燒，大火產生的濃煙在一公里外即可看見，火勢並於下午 2 時 27 分由嘉義縣消防局新港分隊完全被撲滅。該事故僅有一名當時操作之員工因閃避不及受火流灼傷，全身約有 7%~8%面積二度燒燙傷。事故發生當時，PVC 廠房該投料員正於四樓中間桶頭料區先進行改質劑節料作業，然後再投入新的改質劑至反應槽作業，投入後立即發現火苗由中間桶料竄起，火勢隨向四樓屋頂延燒，且隨著中間桶集塵管路蔓延至廠區其他中間桶投料區。位於投料桶內用於消除靜電之銅質環狀漏斗夾層嚴重受燒毀，此外入料桶桶頂內壁上方角落處有因瞬間高溫燒灼後局部變色的痕跡，由此可知起火點是在入料桶內部，改質劑卸料落入桶內時因摩擦產生靜電火花，引燃桶內改質劑燃燒後，火勢順勢延燒周圍可燃性原料引起火災。

工業製程中靜電可能伴隨各種不同作業而產生。如原料入料、攪拌、成品輸送、分裝等。若靜電蓄積至危險程度，即會發生靜電放電，輕者造成人員電擊事件，嚴重者可能引燃周圍易燃性物質，發生火災或爆炸事故，造成人員傷亡及財產損失。

第二節 目的

一般合成樹脂在化學工廠製造的反應製程中，通常皆由反應器上方的入料口，依順序加入粉體或液體原料，然而在投料時總會伴隨靜電的產生，若是在投料製程中未適當消除靜電、控制系統氧氣含量及控制系統溼度，非常容易發生爆炸[2]。本計劃爲了進一步了解改質劑卸料時的相關特性，首先研究改質劑於卸料所產生之靜電大小，接著針對改質劑粉體之電阻率與最小點火能量做詳細實驗與分析，並綜合以上數據探討各數據間的關聯性，建立相關實驗數據與參數，推廣予業主、勞檢單位及安衛處作爲預防參考應用，以增進事業單位對合成樹脂製程危害之重視及預防技術之觀念。

大部份工業製程都可能產生靜電荷的累積，輕則使人感到不舒適，重則對人體造成傷害，甚至產生火災爆炸事故。當電荷在物體上累積到使電場達空氣的介電強度時，就會產生放電現象，將其所儲存的全部或部份能量釋放出來，形成具有光與熱的放電路徑，並可能引燃易爆性物質。根據易燃性物質的最小引火能量數據，可推知靜電放電的能量是否足以引燃該易燃性物質。因此本計畫將探討合成樹脂作業時，改質劑粉體所潛在的引火特性，以增進事業單位對改質劑卸料作業靜電危害之重視及預防技術之觀念，本計畫預計完成目標如下：

1. 透過最小點火能量試驗儀分析改質劑之引火物質特性，彙整實驗數據並以圖表的方式分析改質劑最小點火能量之趨勢曲線，並由改質劑質量與點火能量之數據計算出其最小點火能量數值。
2. 籌備與規劃模擬裝置，透過不同實驗參數設定，分析改質劑互相碰撞摩擦所產生之靜電危害大小；並以電子阻抗儀器設備分析耐衝擊改質劑之帶電特性，進而了解改質劑物質帶電特性與產生靜電之關聯性。

第三節 工作項目

本研究將針對耐衝擊改質劑之爆炸相關物性化性進行試驗，首先以哈特曼最小點火能量試驗儀分析改質劑之火爆特性，同時設置小型裝置量測改質劑的靜電危害，並以電子阻抗設備分析改質劑之體積電阻率，期能將相關數據提供給業界相關製程作為爆炸危害之預防策略，以下針對其個別所使用的研究方法與步驟分項說明。

1. 蒐集分析國內外相關文獻：

合成塑膠產品已經廣泛的應用於生活及工業上各類產品，不論食衣住行皆可看到其附加產品，在國內傳統產業中更有龐大的產能，由於塑膠類製品可透過添加劑及改質劑使產品具有多樣化多功能之特性，然而相關爆炸危害資訊仍然不夠完備，本計劃將蒐集相關文獻、規範或修正之測試方法與標準等，使實驗測試設定參數更加準確。

2. 改質劑燃爆危害之分析：

以 1.2 公升哈特曼最小點火能量試驗儀，藉由高壓電極火花來誘發粉塵氣雲爆炸，試驗過程中以目視判斷粉塵氣雲是否有被電極火花引燃，透過不同電極點火能量與不同改質劑試驗樣品質量，進行交叉分析試驗。並將結果以圖表方式分析點火能量之趨勢曲線，並由 Cesana 及 Siwek 運用統計模式提出之式子，可依實驗結果計算出改質劑質量之最小點火能量數值[3]。

3. 改質劑帶電特性之分析：

分析耐衝擊改質劑互相碰撞摩擦所產生之靜電危害大小，並透過電子阻抗儀器分析耐衝擊改質劑體積電阻率，由其數據判別耐衝擊改質劑之導電特性，了解是否容易產生靜電、靜電是否易於消散及靜電蓄積之可能性。

第二章 文獻回顧

第一節 耐衝擊改質劑

耐衝擊改質劑(MBS 樹脂)是由甲基丙烯酸甲酯(MMA)、丁二烯(Bt)及苯乙烯(St)採用乳化接枝聚合法製備的三元共聚物，生產過程是丁二烯和苯乙烯作為單體在水和乳化劑中進行乳化，在引發劑的引發作用下進行聚合，生成丁苯膠乳(SBR 膠乳)，在加入苯乙烯和甲基丙烯酸甲酯進行乳液接枝聚合，得到 MBS 接枝乳膠(MBS 膠乳)，然後經過凝聚、脫水、乾燥後得到 MBS 粉料。在 MBS 的整個生產過程中，有三大關鍵技術：其一是 SBR 膠乳的合成技術，因為 SBR 膠乳的粒徑控制將會決定 MBS/PVC 合成的抗衝擊性能，同時還決定它的透光性，其二是 MBS 膠乳的合成技術，因為核殼比、接枝率和接枝過程單體的加料順序等對 MBS 膠乳的凝聚和後處理、MBS 粉料的粒子型態、MBS 與 PVC 的相容性和光學性能等均有非常顯著的影響；其三是 MBS 膠乳的凝聚技術，因為凝聚水平的高低直接決定最終產品的粒度分布、顆粒規整性、流動性和表觀密度及 MBS 在 PVC 中的分散性和相容性指標。其別名有很多例如：2-甲基-2-丙烯酸甲酯、1,3-丁二烯、乙烯基苯的聚合物；PVC 耐衝擊改質劑；甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物。

由於耐衝擊改質劑與 PVC 樹脂溶解度參數相近，在加工混合過程中與 PVC 有良好的相容性形成均相；而橡膠相則以粒子狀態分布於 PVC 連續介質中，呈現海島結構，這種特殊結構賦予製品優異的抗衝擊性能，以及良好的熱穩定性，同時由於其折白性特徵易於成型。因此 MBS 樹脂是目前既能提高 PVC 製品抗衝擊強度又能保持其透明性的最好增韌劑。耐衝擊改質劑是白色粉末狀，密度約為 1.16 g/cm³，無味道且不溶解於水、乙醇，可在丁酮、三氯甲烷中溶脹，其分解溫度為 250℃、自燃溫度為 400℃。

第二節 案例分析

民國 98 年 1 月 18 日下午 13 時 11 分左右，嘉義縣新港某塑膠工廠發生大火，濃煙衝天，數公里外清晰可見，如圖 1 所示。大火發生時，工廠周邊的住戶，聞到塑膠燃燒後的刺鼻味道，赫然看到衝天的濃煙，紛紛聚集到工廠前關切。其中一名員工奮力救火卻遭大火灼傷，全身有 7%~8%面積二度燒燙傷，燒傷部分在臉、頭部、兩手及右腿後側，送往嘉義基督教醫院治療。此事件是生產塑膠硬布的廠房，因下料時產生靜電引發火警，火勢一發不可收拾，濃煙竄老高，黑煙不停地往上竄，遠從 2、3 公里外就可以看到，還伴隨著陣陣爆裂聲響，由 TVBS 新聞台的照片可看出當時火勢相當猛烈，如圖 1 所示，由於處理得宜，大火在一個小時後就控制並撲滅，整座倉庫被燒毀約三分之一，也造成一名員工灼傷送醫。



圖 1 事故發生當時由廠外媒體拍攝廠區火勢的狀況(照片出處 TVBS 新聞)

事故發生當時，硬布一廠 PVC 廠房，投料員正於原料課四樓 AT05 中間桶頭料區進行 M-31 改質劑節料作業，待桶內原料用畢後，改投 M-51 改質劑，當投入 M-51 後立即發現火苗由中間桶料竄起，現場設備以及投料示意，如圖 2 所示。由於火勢隨太空包向四樓屋頂延燒，且隨著中間桶集塵管路蔓延至其他中間桶投料區，導致無法有效在第一時間抑制火勢。改質劑入料桶以及料口設備裝置是將一個銅質環狀漏斗置入料口，此銅質環狀漏斗是用於消除原料互相摩擦碰撞所造成的靜電，藉由與粒子接觸將帶電轉移消除，漏斗置入後再擺放一框型檔板，防止洩物料於桶內時外漏，最外圍還有擺放一鋼絲框架，此框架可以乘載裝洩物料的太空包於上方作為固定用。

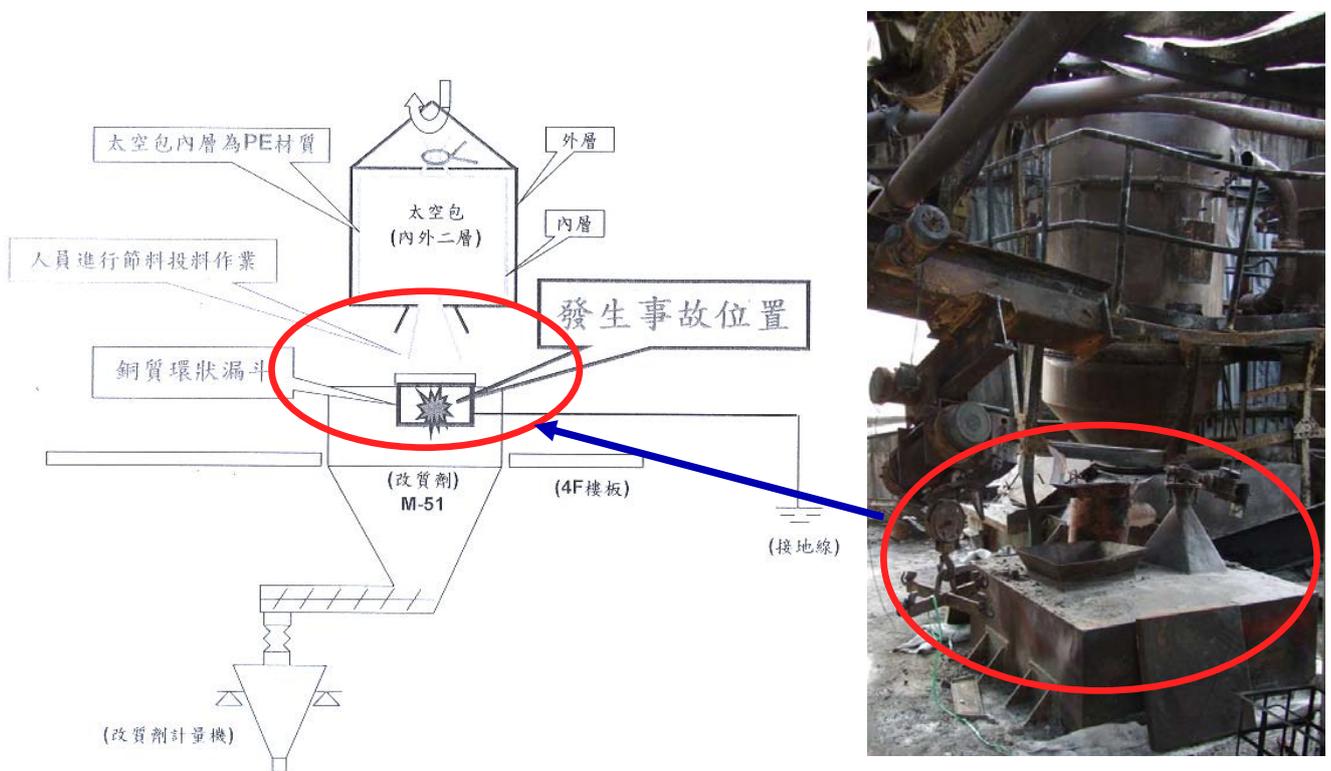


圖 2 四樓改質劑中間桶投料事故位置示意圖

裝送物料是原料的太空包內層為 PE 材質，下方有一麻繩束袋，可以控制卸料時的大小。事故廠區共有四層樓，廠區生產製造的流程如圖 3 所示，火源是從四樓 AT05 改質劑投料桶竄出，事故現場的如圖 4 所示，四樓內部受到猛烈火勢的悶燒，由圖 5 可以看到四樓廠房的屋頂因為大火嚴重倒塌變形，廠區部份鋼樑也不敵高溫的燒融，呈現彎曲變形貌，此外廠房內部因長時間高溫燒融下，多處廠壁鐵皮呈現變形燻黑貌，管線也在猛烈大火下，嚴重斷裂倒塌。

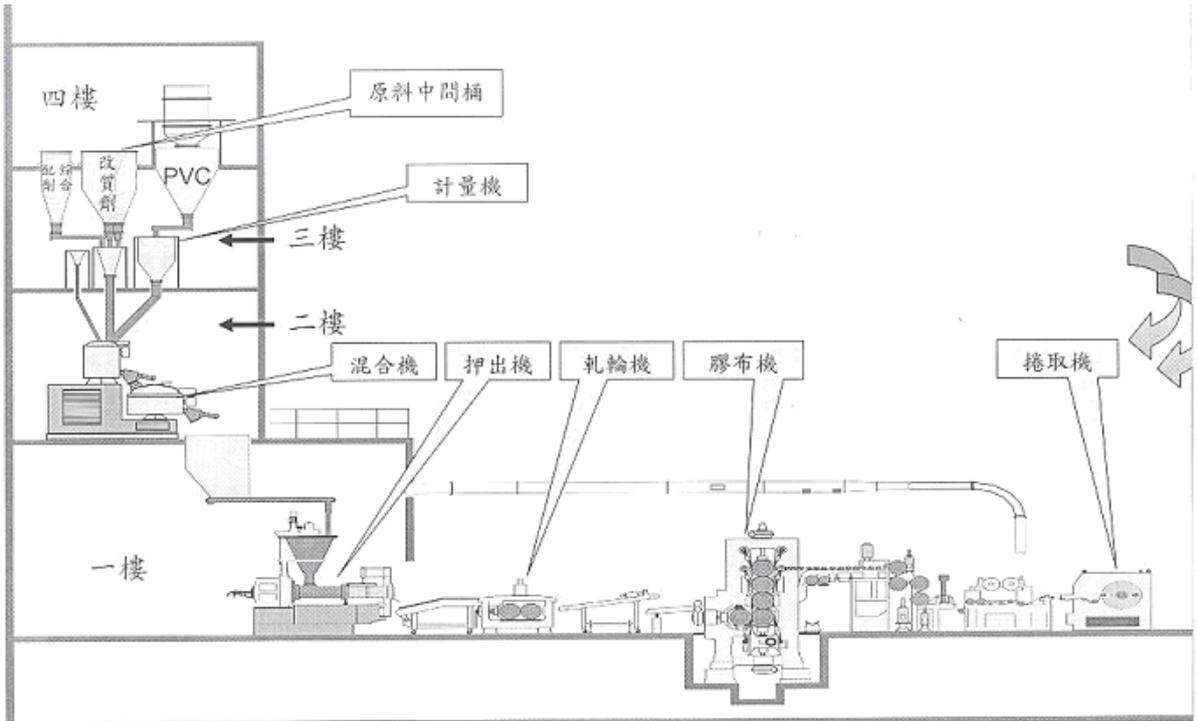


圖 3 PVC 生產製程流程示意圖



圖 4 事故現場



圖 5 事故廠區受大火嚴重破壞

發生事故投料桶週遭的機具與管線嚴重扭曲毀損倒塌，從入料口上方俯視可以觀察到入料桶內壁因大火燒灼呈現薰黑貌，另外由圖 6 中可以發現桶底有些許殘留的改質劑，圖中可以觀察到桶內因接近點火源燒灼變色的部分，圖 7 為銅質環狀漏斗事故前後的比較圖，經由比較可以看出發生事故後的銅質環狀漏斗側面嚴重燒毀變形，由其燒熔毀損貌可以判斷位於此處為起爆點。由圖 6 桶內壁的照片可看出內部嚴重薰黑，經由其薰黑程度可以判斷當時在桶內燃燒的溫度頗高，並且是經由長時間的焚燒，才會造成內壁薰黑的如此嚴重，桶頂內壁上方角落處可以觀察到，內壁有局部變色的痕跡並非一般燻黑貌，由此可以判定起火點應該是在內部上方處，因為高溫的燒灼才會造成桶壁色因高溫變色呈現不均勻的痕跡。根據圖 7 中銅質環狀漏斗事故前後外觀圖比較，由銅質環狀漏斗破壞的程度，可以推測當時在此處有極高溫的火源，才會將環狀漏斗夾層幾乎完全燒毀，圖片中可以發現其側面的一角被燒毀的最為嚴重，另外與圖 6 桶頂內壁一角落局部變色痕跡作對照，由此可以確定起火源應該就是從此處引燃。

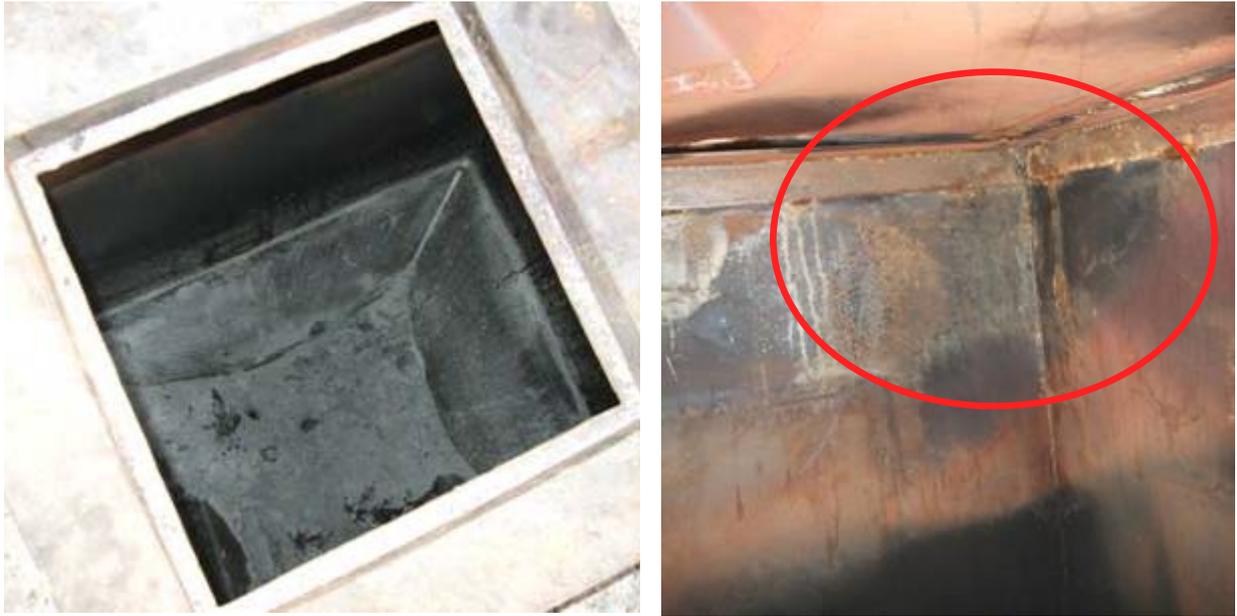


圖 6 事故投料桶內部貌



圖 7 銅質環狀漏斗燒毀貌

爲了進一步判斷起火於入料桶內部的原因及引火物質特性，擬針對耐衝擊改質劑卸料時靜電產生情形、改質劑之最低點火能量及體積電阻率進一步試驗分析。

第三章 耐衝擊改質劑實驗分析

第一節 粒徑分析

自然界中有各種不同的粒子，依它們的形態和特性，可以區分為氣體、液體和固體。其中，固體的微粒又常稱作粉粒體。此外，在應用時這些粒子經常分散在氣、液或固相中。有些粒子和人類的日常生活有密切的關係，卻很少被人察覺。在工業上，礦物質顏料會因為粒子的粗細不同而呈現深淺不同的色澤；醫學上，藥物顆粒的大小會影響在人體內的吸收率和藥效發揮的速率；科技上，陶瓷材料的細緻度會影響商品柔韌性和可加工性。如果使用奈米級的鎳粉做為火箭固體燃料的反應觸媒，可以大幅度提高燃料的燃燒效率，並且改善燃燒的穩定性。在公共衛生上，殺蟲劑噴霧藥粒的大小會影響殺蟲效果和空間瀰漫效應。量測顆粒大小和它們的空間分布的儀器相當多，不同種類粒子適用的檢測方法也有所不同。每一種儀器都有各自的理論依據、優缺點和適用的量測範圍。從早年用的篩網分類，隨後的顯微鏡觀察法，到最近的雷射光阻斷法，在這些檢測方法中，應用的原理包括沉降、遮光、電感帶、靜（動）態光散射(如圖 8 所示)、離心沉降、聲波衰退、水力層析等。這些儀器主要是分析粉粒體的表面形態，如大小、形狀等。

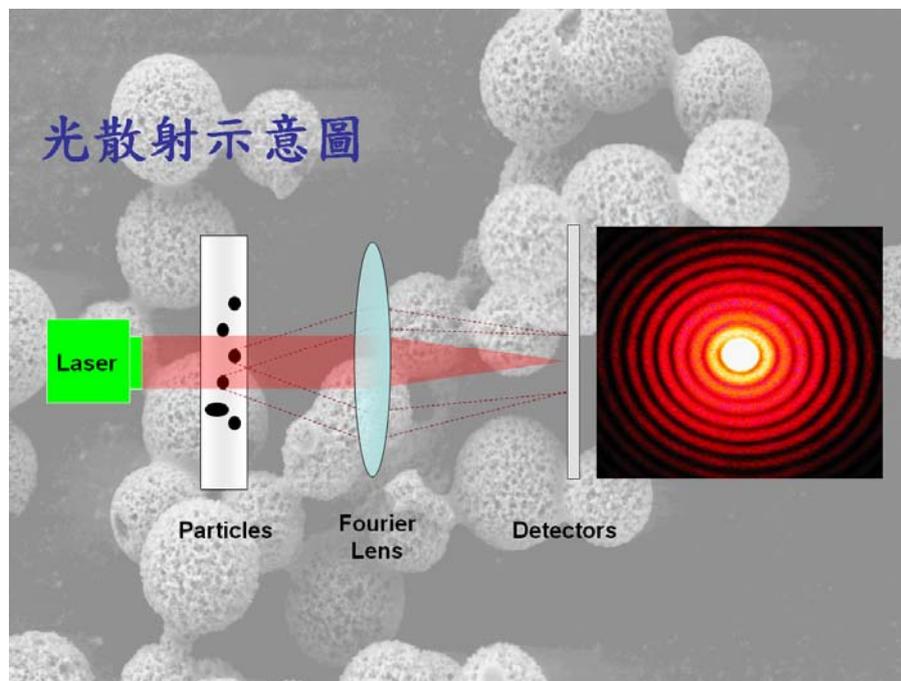


圖 8 光散射示意圖

在此以光繞散法的方式進行測量，光散射儀使用單一波長的雷射光、X光或中子射線照射在分散在液相中的待測粒子表面，量測在幾個反射角的反射光強度，或者固定在某一角度量測反射光強度的衰變情形，再配合理論分析模式，便可以得到粒子的平均大小及分布。除了量測粒子粒徑的大小及分布以外，光散射儀也可以得到粒子的形狀、擴散係數、甚至細微的結構等訊息。結合粒子影像測速，光散射儀甚至還可以量測粒子表面的界面電位（zeta potential）。值得一提的是，如果要量測數百奈米以下的固態或液態的粒子，到目前為止，光散射儀是主要、也可能是最好的選擇。本實驗透過粒徑分析儀 LS 230(Coulter) 進行量測；其原理為利用平行雷射光入射懸浮於分散相中之粒子，在不同角度接收到不同的光散射訊號，其訊號改變與角度有關，與分子或粒子的運動無關，在通過透鏡後聚焦在一特定點上後由光電偵測器量測強度，再經數據處理換算成粒徑分佈。雷射光對粒子產生 Fraunhofer 繞射，亦即假設粒子為具有相同散射效率的不透明圓球，以量測粒徑大小分佈，粒徑分析儀設備如圖 9 所示。

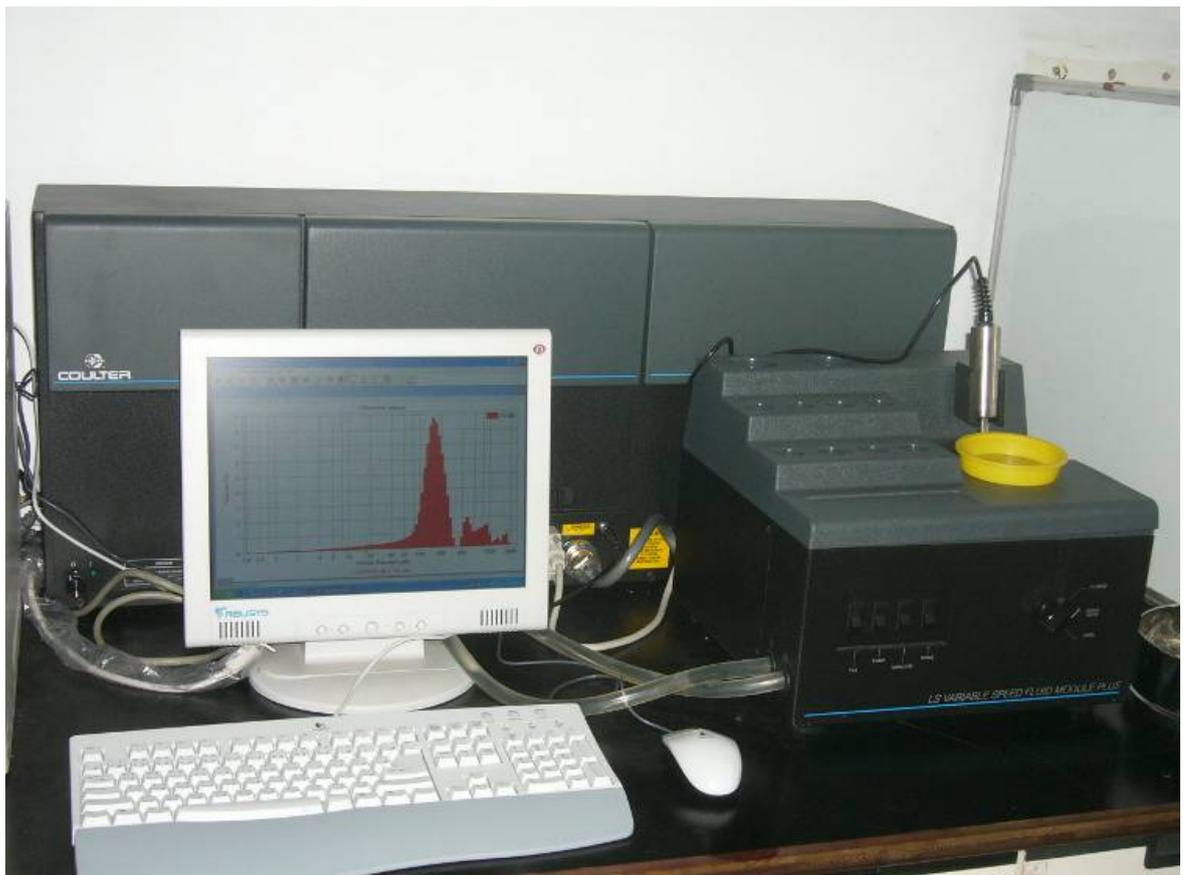


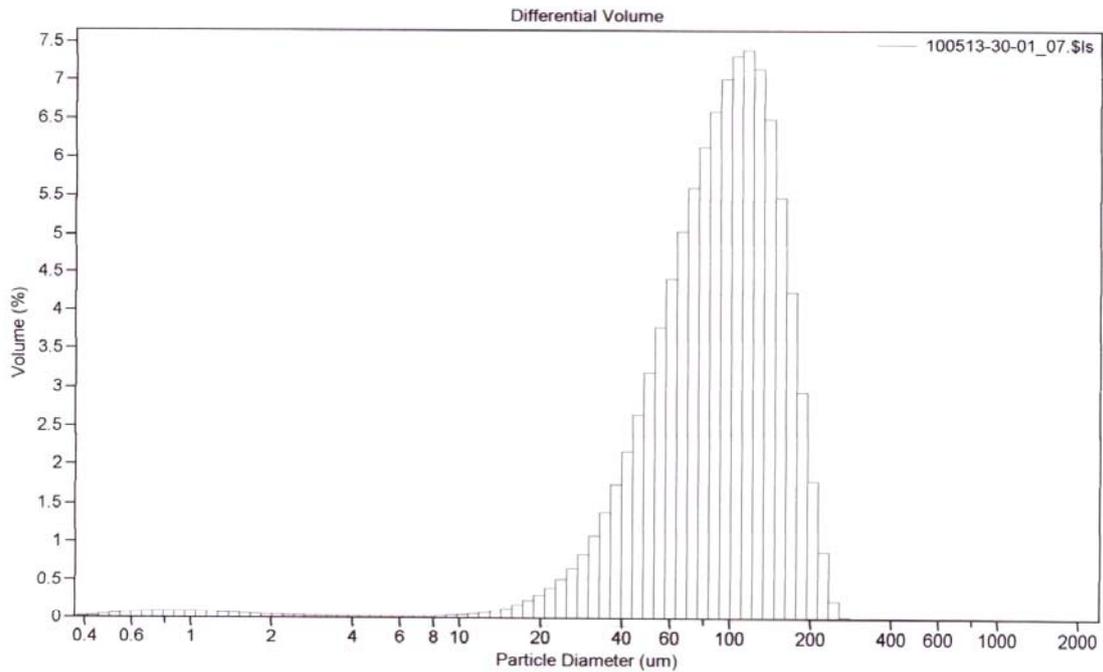
圖 9 粒徑分析儀

透過粒徑分析儀得到的是數據如圖 10~12 所示，將三種改質劑之粒徑分析統整如下表 1，三者的粒徑大小分別是 M-31 < M-51 < M-41，不過從眾數粒徑的數據可發現 M-31 與 M-51 數值相同，兩者的粒徑大小非常接近。

表 1 改質劑粒徑分析比較

| | M-31 | M-41 | M-51 |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mean Diameter 平均粒徑 | 97.74 μm | 121.4 μm | 102.1 μm |
| Median Diameter 中數粒徑 | 93.41 μm | 119.7 μm | 100.6 μm |
| Mode Diameter 眾數粒徑 | 116.3 μm | 140.1 μm | 116.3 μm |

File name: C:\LS32\data\2010_May\100513-30-01_07.\$ls
 File ID: 100513-30-01_07.\$ls
 Operator: Hank
 Run number: 7
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 Residual: 0.32%
 LS 230 Small Volume Module
 Start time: 11:24 18 May 2010 Run length: 90 seconds
 Obscuration: 10%
 Fluid: Water
 Software: 3.29 Firmware: 2.02



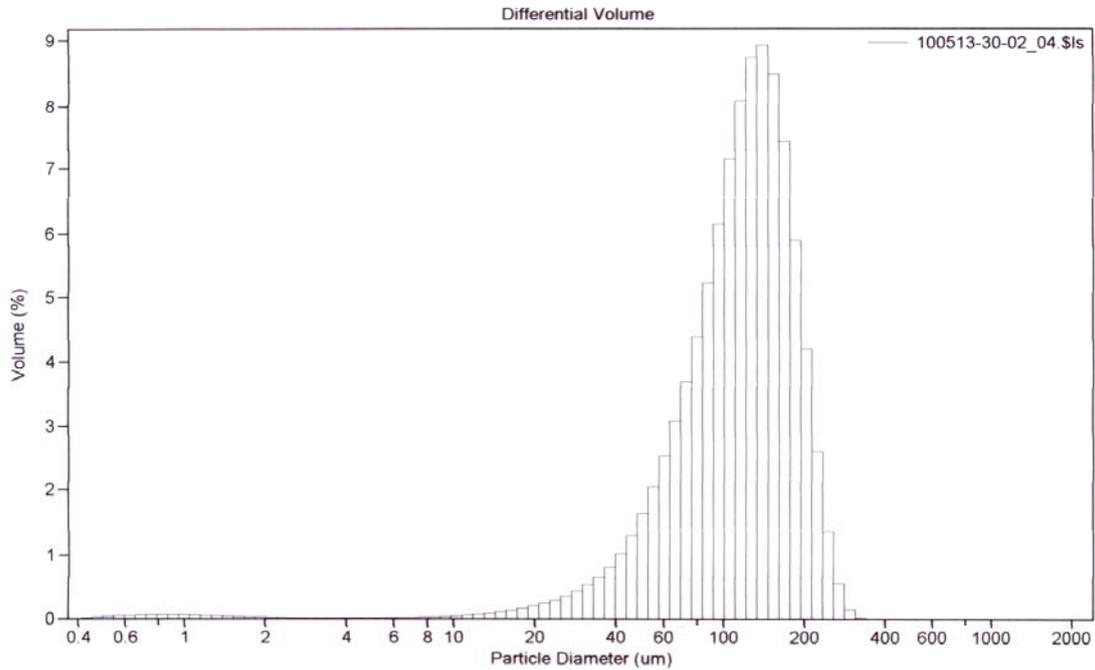
Volume Statistics (Arithmetic) 100513-30-01_07.\$ls

Calculations from 0.375 um to 2000 um

| | | | | |
|----------|----------|-----------|--------------------|----------|
| Volume: | 100% | S.D.: | 46.75 um | |
| Mean: | 97.74 um | C.V.: | 47.8% | |
| Median: | 93.41 um | Skewness: | 0.407 Right skewed | |
| D(3,2): | 35.90 um | Kurtosis: | -0.198 Platykurtic | |
| Mode: | 116.3 um | | | |
| <10% | <25% | <50% | <75% | <90% |
| 40.95 um | 62.68 um | 93.41 um | 129.0 um | 161.7 um |

圖 10 改質劑 M-31 粒徑分析結果

File name: C:\LS32\data\2010_May\100513-30-02_04.\$ls
 100513-30-02_04.\$ls
 File ID: 100513-30-02
 Operator: Hank
 Run number: 4
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 Residual: 0.27%
 LS 230 Small Volume Module
 Start time: 13:39 18 May 2010 Run length: 90 seconds
 Obscuration: 9%
 Fluid: Water
 Software: 3.29 Firmware: 2.02



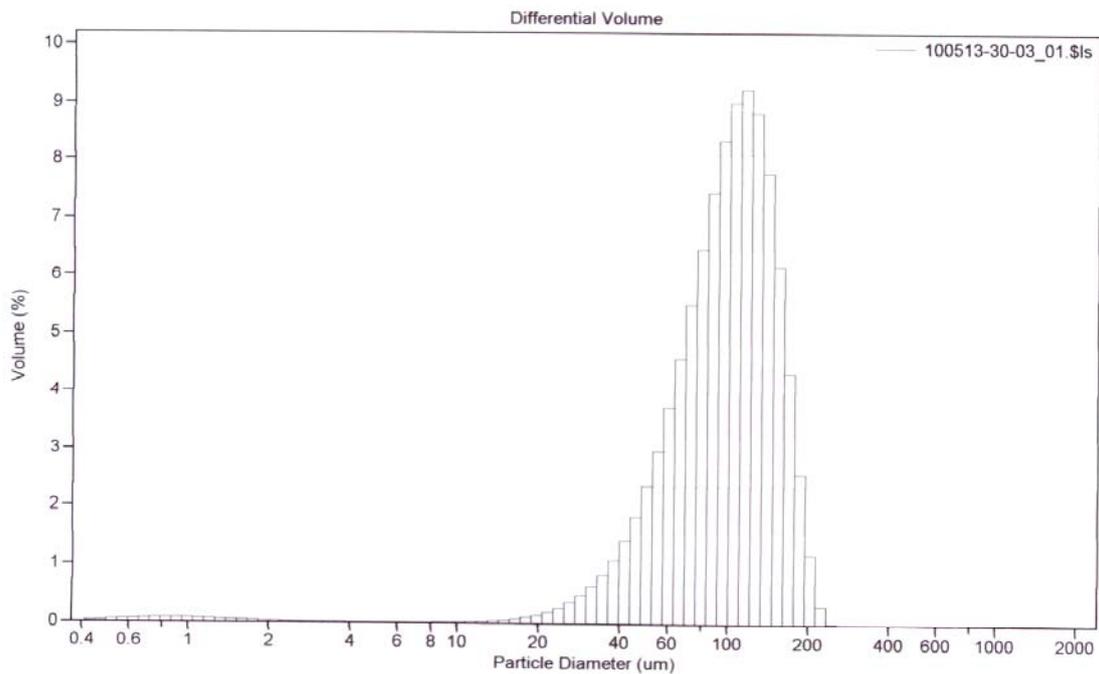
Volume Statistics (Arithmetic) 100513-30-02_04.\$ls

Calculations from 0.375 um to 2000 um

| | | | | |
|----------|----------|-----------|--------------------|----------|
| Volume: | 100% | S.D.: | 52.63 um | |
| Mean: | 121.4 um | C.V.: | 43.3% | |
| Median: | 119.7 um | Skewness: | 0.231 Right skewed | |
| D(3.2): | 48.35 um | Kurtosis: | -0.131 Platykurtic | |
| Mode: | 140.1 um | | | |
| <10% | <25% | <50% | <75% | <90% |
| 54.56 um | 83.93 um | 119.7 um | 156.5 um | 191.0 um |

圖 11 改質劑 M-41 粒徑分析結果

File name: C:\LS32\data\2010_May\100513-30-03_01.\$ls
 100513-30-03_01.\$ls
 File ID: 100513-30-03
 Operator: Hank
 Run number: 1
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 Residual: 0.22%
 LS 230 Small Volume Module
 Start time: 14:14 18 May 2010 Run length: 90 seconds
 Obscuration: 11%
 Fluid: Water
 Software: 3.29 Firmware: 2.02



Volume Statistics (Arithmetic) 100513-30-03_01.\$ls
 Calculations from 0.375 um to 2000 um

| | | | |
|---------|----------|-----------|--------------------|
| Volume: | 100% | S.D.: | 41.52 um |
| Mean: | 102.1 um | C.V.: | 40.7% |
| Median: | 100.6 um | Skewness: | 0.156 Right skewed |
| D(3,2): | 40.89 um | Kurtosis: | -0.200 Platykurtic |
| Mode: | 116.3 um | | |

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| <10% | <25% | <50% | <75% | <90% |
| 49.94 um | 72.51 um | 100.6 um | 130.3 um | 157.6 um |

圖 12 改質劑 M-51 粒徑分析結果

第二節 最小點火能量分析

最小點火能量之試驗在國際間被廣泛使用的實驗方法是以最小點火能量試驗儀進行最小點火能量試驗，哈特曼(Hartmann)測試儀其形狀為一圓筒狀，是美國礦物局首先發展出來的測試裝置，設置有點火裝置，壓縮空氣帶著粉體由底部向頂部噴出，形成粉塵雲，此一粉塵雲通過點火裝置被引爆，火焰沿著圓筒之軸向傳播。本研究最小點火能量測試設備所採用之 1.2L Modified Hartmann 為玻璃製的圓柱形垂直管，其內徑約為 68mm，高度為 300mm，內容積約為 1.2L，由瑞士 Kühner AG 公司製造，型號為 MIKE3，此設備乃藉由高壓電極火花來誘發粉塵氣雲爆炸[4]，在試驗過程中，須以目視判斷粉塵氣雲是否有被電極火花引燃，其可選擇試驗的電極點火能量有 1、3、10、30、100、300 及 1,000mJ 等 7 種，其外觀如圖 13、14。

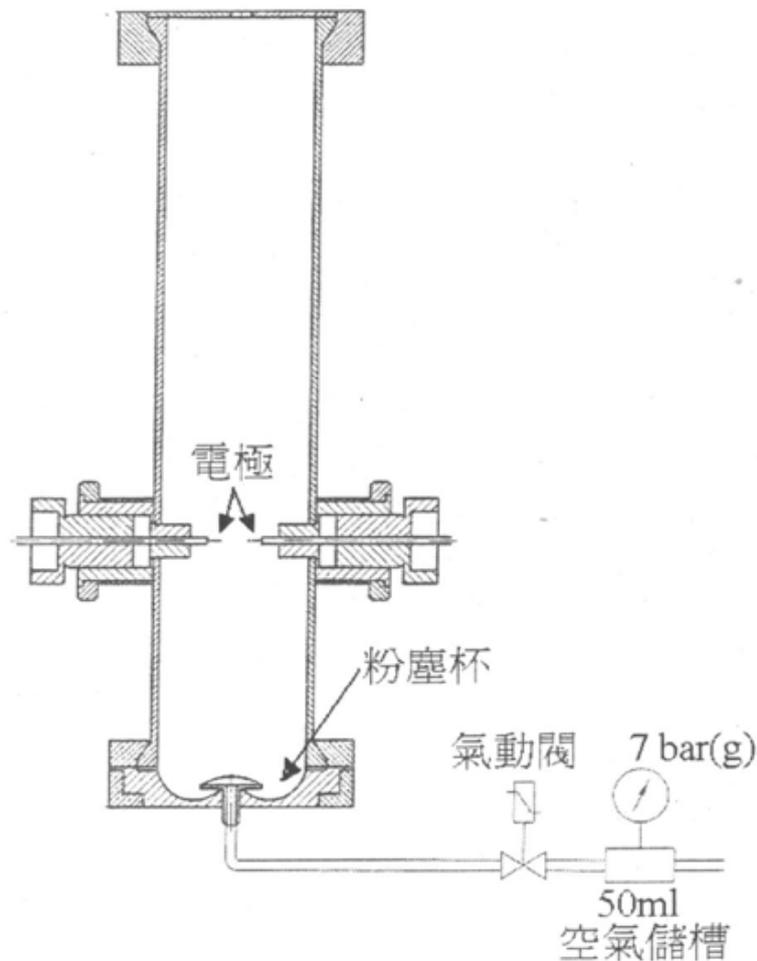


圖 13 公升哈特曼(Hartmann)最小點火能量試驗儀構造圖



圖 14 公升哈特曼(Hartmann)最小點火能量試驗儀(MIKE 3 型)

由於哈特曼最小點火測試儀的形狀與儀器材質不適用火藥點火源，所以使用的點火方式為電子點火，本計畫所使用的最小點火能量測試儀為 1.2 L 的哈特曼測試儀，須以目視判斷粉塵雲是否有被電極火花引燃，選擇試驗的電極點火能量有 1、3、10、30、100、300、1000 mJ，本計畫預計試驗 M-31、M-41、M-51 三種不同改質劑，並設定不同的粉塵重量，分別為 300 mg、600 mg、900 mg、1200 mg、1500 mg、1800 mg 搭配上列七種不同點火能量，試驗出上述不同重量粉塵之最小點火能量。

實驗的規範是參照美國標準測試方法 ASTM E2019[5]，其中對最小點火能量（MIE）的判定原則為在 10 次相同粉塵濃度及點火能量的試驗中，僅要有 1 次能引爆粉塵氣雲，即認定此點火能量可引爆粉塵氣雲，並將可引爆粉塵氣雲的最低點火能量紀錄為 IE，若 10 次試驗中階無法引爆粉塵氣雲，即認定此火能量為無法引爆粉塵氣雲，並將無法引爆粉塵氣雲的最高點火能量紀錄為 NIE；因此該粉塵濃度下的 MIE 則是介於 IE 及 NIE 之間，此外，ASTM E2019[5]並建議 IE 與 NIE 的比值不應超過 3.3。

首先針對事故當時所使用的 M-51 改質劑粉狀顆粒進行最小點火能量的測試，由圖 17 可知 M-51 改質劑粉塵在重量 1500mg 以上(包含 1500mg)時，只要 100mJ 的點火能量就能引燃；而重量介於 300mg~1200mg 時，須以 300mJ 的點火能量才能引燃。從數據曲線可知其最小點火能量介於 30~100 毫焦耳，經由儀器系統內之軟體公式計算，M-51 改質劑塑膠粉體之最小點火能量約為 71 毫焦耳；此外本單位也針對該事故工廠另外使用的 M-31、M-41 兩種改質劑進行最小點火能量的測試，圖 15 可知 M-31 改質劑粉塵只有在重量 300mg 以及 1200mg 時需要 300mJ 的點火能量才能引燃；其他重量只需要 100mJ 的點火能量即可引燃粉體，以公式換算 M-31 的最小點火能量約為 65 毫焦耳，是這三種改質劑中最容易被點燃的。由圖 16 可觀察到 M-41 改質劑粉塵的最小電火能量曲線，隨著粉體質量增加，所需的點火能量也隨著減少，由公式計算 M-41 的最小點火能量約為 67 毫焦耳，圖其中實心點表示在該粉塵量在該點火能量下會被引燃，空心點則為不會引燃。

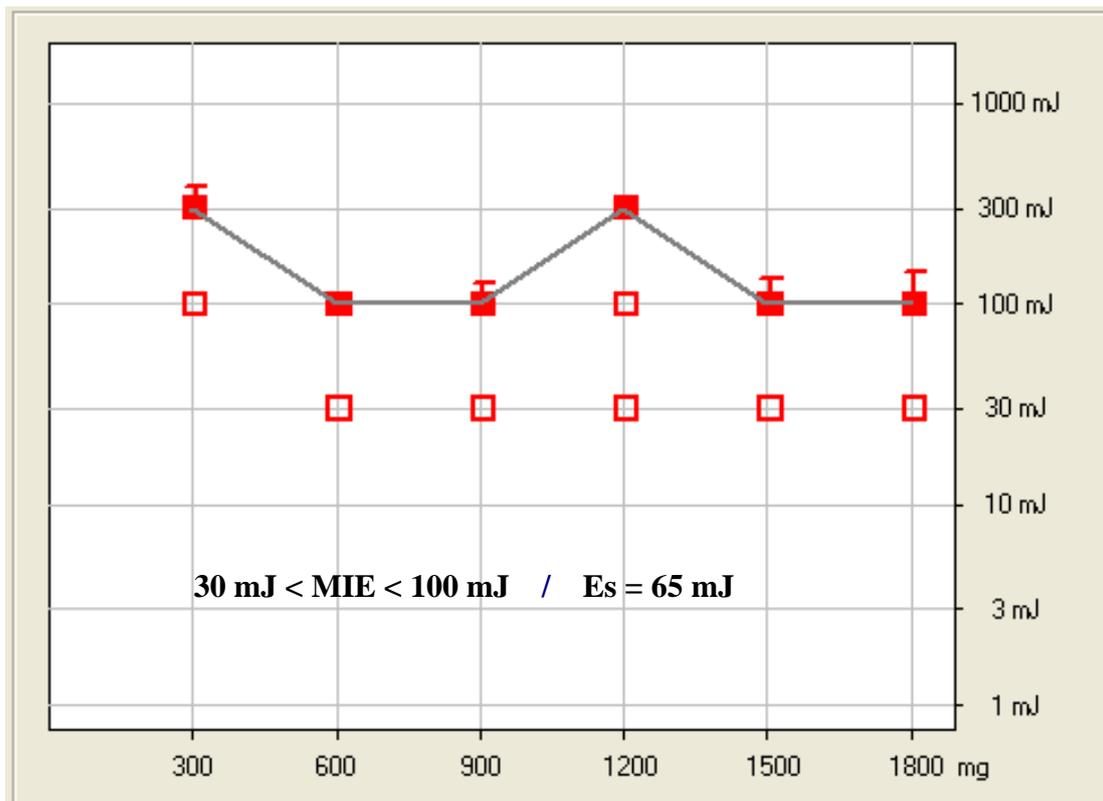


圖 15 M-31 改質劑塑膠粉體之最小點火能量

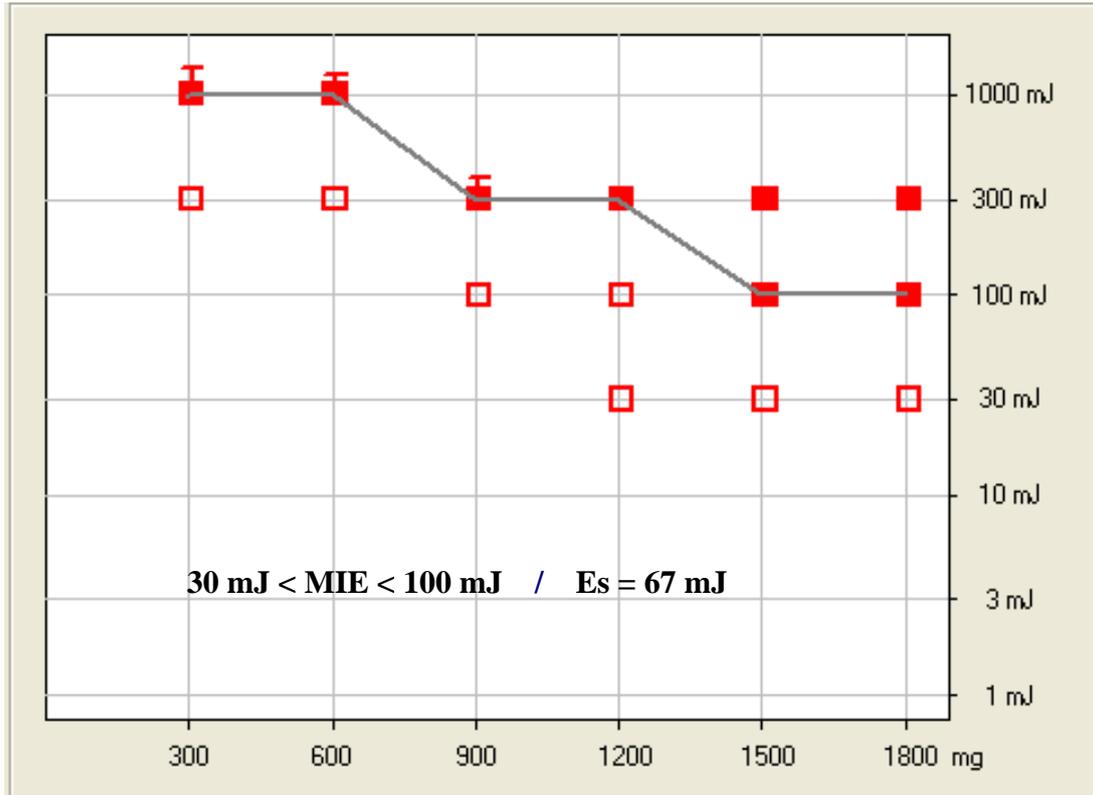


圖 16 M-41 改質劑塑膠粉體之最小點火能量

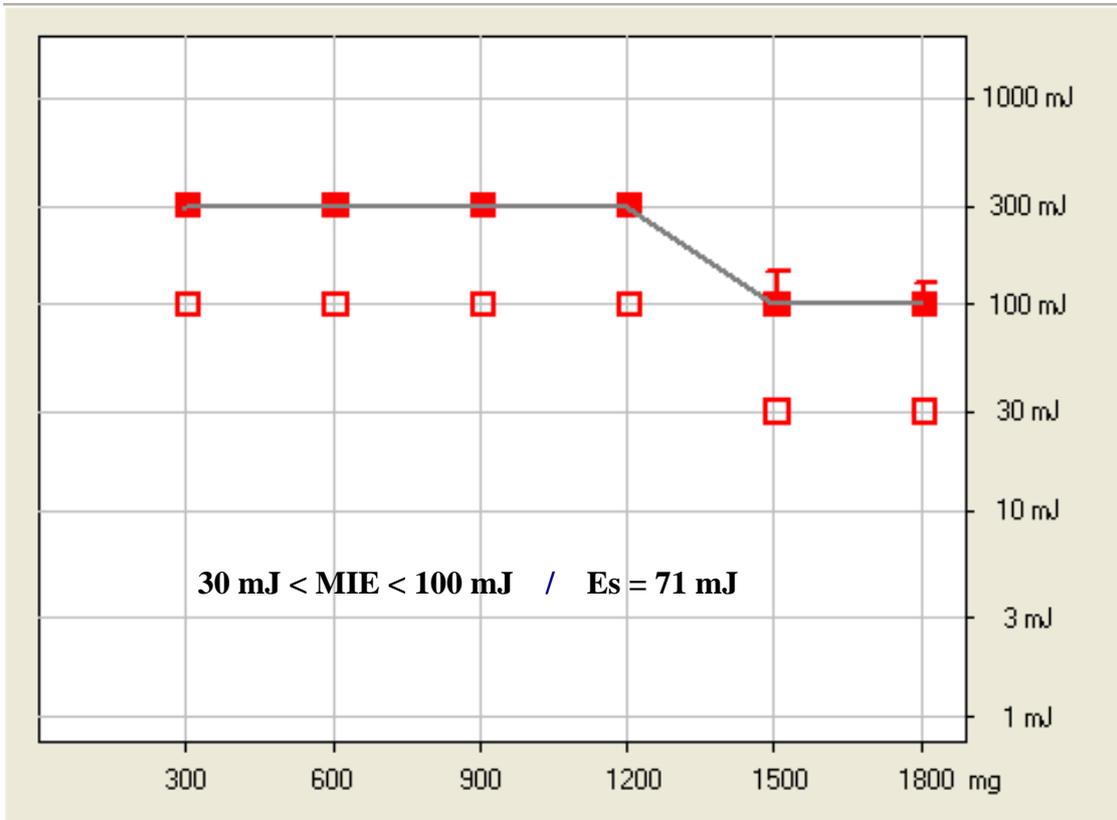


圖 17 M-51 改質劑塑膠粉體之最小點火能量

第三節 靜電及帶電特性分析

在工業生產過程中，靜電荷常會伴隨於各種不同作業環境而產生，如因摩擦、感應或傳導等方式產生靜電。若電荷蓄積在對地絕緣的金屬設備、導電性產品或人員上，一旦靜電蓄積至危險程度，即會發生靜電放電將所蓄積的電荷會在一次放電中將能量釋放，輕則使人感到不舒適，重則對人體造成傷害，甚至在易燃性氣體、液體和粉塵的裝卸與輸送過程中，產生火災爆炸事故。尤其在某些具潛在靜電危害的行業，如：化學、石油、塗料、塑膠、製藥、食品、印刷和電子等行業，容易有靜電危害產生的問題，此類靜電放電為發生靜電危害事故之主要原因，往往會造成靜電電擊、火災及爆炸、產品品質不良與設備絕緣破壞等事故。

1. 一般可將產生靜電的情況分為以下幾種：

- (1) 固體摩擦與剝離時產生靜電：絕緣電阻高的物質如塑膠、橡膠及化纖類都很容易因磨擦與剝離而產生靜電，其靜電電位可能高達數十 kV。事實上對地絕緣之導體一樣會儲存電荷，因此對於任何固體的磨擦與剝離皆應注意靜電的產生。例如皮帶、布匹、或紙張與驅動滑輪的接觸與剝離即會造成靜電荷的累積，其靜電之大小與驅動速度有關，速度越快靜電荷的累積速度亦愈快。人體在地毯上走動亦是接觸與分離的動作，靜電荷因此會在人體上累積。
- (2) 粉體粒子碰撞產生靜電：粉體粒子在管子內高速流動時會與管壁碰撞產生非常高之靜電，在輸送帶、升降機、鼓風設備中時亦很容易產生靜電，例如塑膠粉末、化學粉末、金屬粉末、煤碳粉塵、穀物及其粉塵、食品粉末等在製造過程中的輸送皆會產生靜電。此外，塵埃、煙霧、水氣、雪、冰結晶體等與飛機在空中或地面的撞擊摩擦也會在飛機上累積靜電。
- (3) 液體流動產生靜電：石油及其他絕緣性液體在輸送管中流動時，因液體與管壁反覆的發生接觸與分離過程而產生靜電，此時液體及管壁分別帶有不同極性之電荷。如液體的絕緣很高時，液體中之電荷會隨液體而流動，由於電荷的流動即為電流，此種電流稱為「流動電流(Streaming Current)」。
- (4) 高壓氣體噴出時帶靜電：純粹氣體由噴嘴噴出時並不太會帶靜電，但當氣體中含有固體粒子或霧狀液體時就會帶靜電，例如石化工業中高壓原料氣體洩漏，氮氣、液化石油氣由儲氣統噴出時多會帶有靜電，尤其是帶有碳粒時會發生放

電著火現象。

- (5) 水或水汽噴射時帶靜電：水在噴出時如成爲霧狀或水汽狀時就很容易帶靜電，例如以噴水沖洗儲油庫或油罐車時，帶靜電的水滴及水蒸汽會形成電荷雲，此電荷雲可能與油庫或油罐車發生放電現象。
- (6) 感應產生靜電：帶電荷的物體會在臨近的物體上造成電荷的分離，靠近帶電荷物體會出現與該電荷不同極性之感應電荷。事實上只要帶有靜電荷即會在周圍產生靜電場，物體出現在靜電場內就會出現靜電感應現象，尤其應注意與大地絕緣的良導體因感應出現靜電時，需注意由感應靜電所造成的火花放電災害。例如帶電之雲塊便會在大地、地上物、甚至飛行中之飛機感應出靜電，另外被搬運的物體如帶有電荷，則搬運車輛亦會感應出靜電。

2. 體積電阻率量測：

電阻率(resistivity)是用來表示各種物質電阻特性的物理量。是指單位長度、單位截面的某種物質在常溫下(20°C時)的電阻，常用單位爲「歐姆·厘米」，其倒數爲電導率。電阻率較低的物質被稱爲導體，常見導體主要爲金屬，而自然界中導電性最佳的是銀。其他不易導電的物質如玻璃、橡膠等，電阻率較高，一般稱爲絕緣體。介於導體和絕緣體之間的物質(如矽)則稱半導體。

體積電阻是指在試樣的相對兩表面上放置的兩電極間所加直流電壓與流過兩個電極之間的穩態電流之商；該電流不包括沿材料表面的電流。在兩電極間可能形成的極化忽略不計。而體積電阻率是指在絕緣材料裡面的直流電場強度與穩態電流密度之商，即單位體積內的體積電阻，體積阻抗儀器組件如圖 18 所示。

爲了了解耐衝擊改質劑之帶電特性，在此使用本所之 ETS Model 828M 體積阻抗儀器(如圖 19)，來求出耐衝擊改質劑物料的體積電阻率，由數質大小可以判斷其是否容易產生靜電以及靜電消除難易之特性，其結果如下表 2~4。



圖 18 體積阻抗儀器組件



圖 19 ETS Model 828 儀器本體

表 2 改質劑 M-31 體積電阻率

| 物質名： <u>M-31</u> 溼度： <u>90%</u> | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 厚度t(mm) | 電阻R(Ω) | 體積電阻率 $\rho_v(\Omega\text{-cm})$ |
| 3.54 | 1.86×10^{11} | 1.31×10^{13} |
| 3 | 1.64×10^{11} | 1.36×10^{13} |
| 2.04 | 4.65×10^{11} | 5.7×10^{13} |

表 3 改質劑 M-41 體積電阻率

| 物質名：M-41 溼度：80.8% | | |
|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 厚度t(mm) | 電阻R(Ω) | 體積電阻率 $\rho_v(\Omega\text{-cm})$ |
| 1.65 | 1.06×10^{11} | 1.6×10^{13} |
| 1.56 | 1.36×10^{11} | 2.2×10^{13} |
| 1.41 | 2.3×10^{11} | 4.1×10^{13} |

表 4 改質劑 M-51 體積電阻率

| 物質名：M-51 溼度：90% | | |
|-----------------|-----------------------|----------------------------------|
| 厚度t(mm) | 電阻R(Ω) | 體積電阻率 $\rho_v(\Omega\text{-cm})$ |
| 5.7 | 3.93×10^{11} | 1.48×10^{13} |
| 3.5 | 2.80×10^{11} | 2.42×10^{13} |
| 1.53 | 2.22×10^{11} | 1.59×10^{13} |

由實驗結果換算得知 M-31、M-41 及 M-51 改質劑之體積電阻率約為 $10^{13} \Omega\text{-cm}$ (如表 2~4)，就靜電防制而言，電阻率在 $10^6 \sim 10^8 \Omega\text{-cm}$ 數量以下者，即使產生靜電荷亦可在瞬間流失，此物體稱靜電導體； $10^8 \sim 10^{10} \Omega\text{-cm}$ 通常所產生之靜電量不大； $10^{11} \sim 10^{15} \Omega\text{-cm}$ 者最易產生靜電，危害亦為最大，一般大於 $10^8 \Omega\text{-cm}$ 者之物質可稱為靜電之非導體，由此可知 M-31、M-41 及 M-51 改質劑非導體之性質極易產生靜電且靜電不易消散，容易導致大量靜電之蓄積。事故當時所使用之 M-51 改質劑塑膠顆粒之電阻率約 $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ，在卸料與輸送過程中，與太空袋、輸送管道、或是粒子間互相摩擦碰撞，極易產生靜電，且物料本身電阻率高具不導電性，所產生的靜電極難散失，故容易產生靜電火花。

3. 靜電累積量測：

(1) 小型粉塵靜電量測試容器〈如圖 21〉：採用中型 PS 材質圓筒狀容器〈直徑 13.9 公分，高 16.8 公分，容量 1600 毫升〉，內置一強力風扇〈如圖 20〉，並使用 KASUGA-Model KSD-0303-靜電電位測試器偵測靜電累積量，量測儀器置於圓筒容器外側，倒入定量粉體後開啓風扇，當風扇轉動時產生粉塵流動，造成電位變化，觀察並予以記錄。



圖 20 圓筒狀容器與風扇

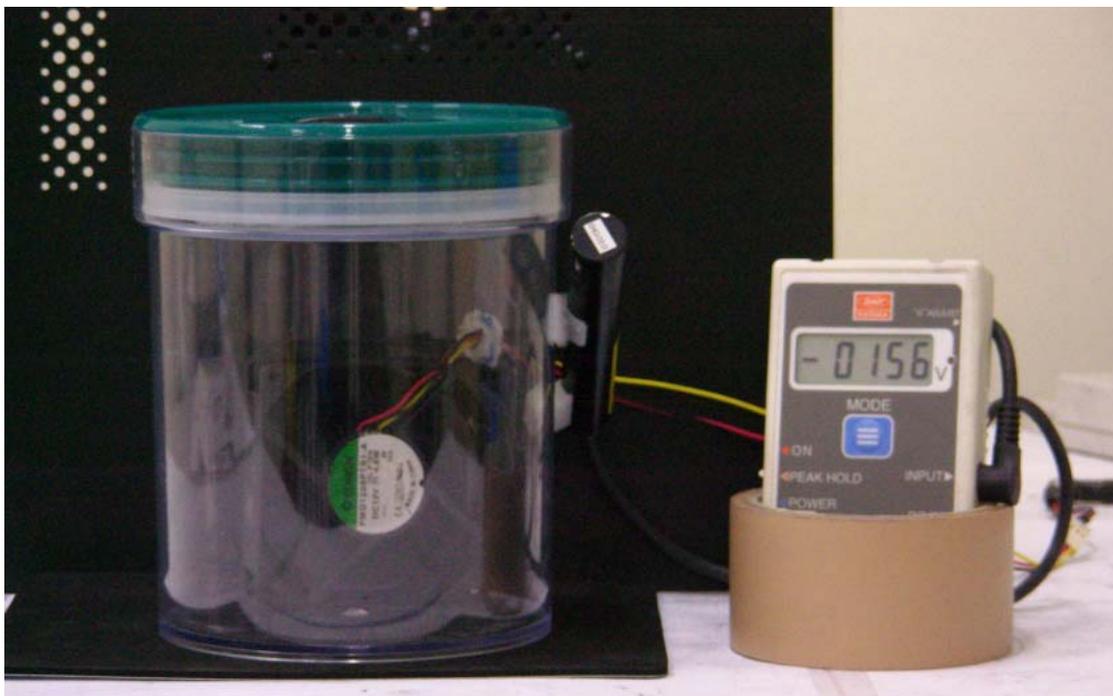
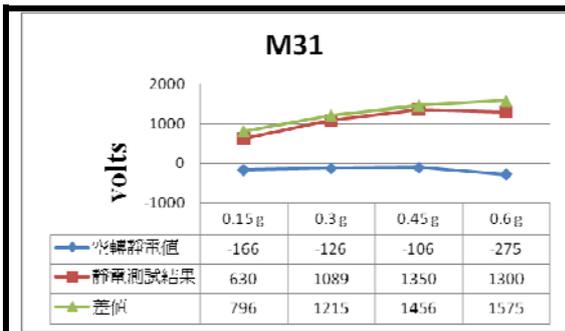


圖 21 小型粉塵靜電量測試容器

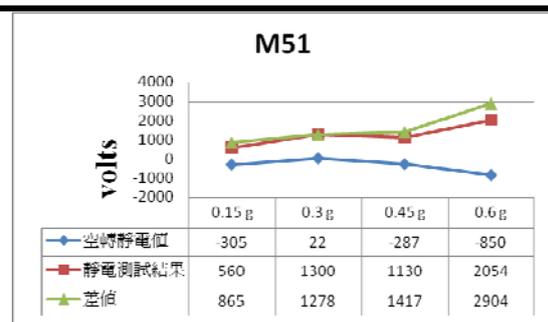
實驗分別針對 M-31、M-41 及 M-51 改質劑塑膠粉體，於四種不同濃度情況下，於 PS 塑膠容器中進行高速旋轉時之靜電累積測試，實驗以伏特計量測塑膠容器外圍因粉體轉動造成之電壓變化情形，取其最大值作為該條件下所對應之粉體靜電累積值。實驗測試記錄整理如表 5，圖 22 則為不同規格粉體與濃度下量測值之比較。最後以圖 23 進行四種塑膠粉體之相對靜電累積比較。

表 5 靜電累積數據對照表格

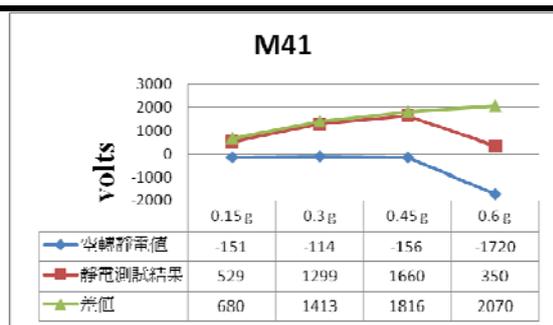
| 規格 (nm) | 重量 (g) | 空轉靜電值 (V) | 差值 |
|---------|--------|------------|------|
| | | 靜電測試結果 (V) | |
| M31 | 0.15 g | -166 | 796 |
| | | 630 | |
| | 0.30 g | -126 | 1215 |
| | | 1089 | |
| | 0.45 g | -106 | 1456 |
| | | 1350 | |
| | 0.60 g | -275 | 1575 |
| | | 1300 | |
| M51 | 0.15 g | -305 | 865 |
| | | 560 | |
| | 0.30 g | 22 | 1278 |
| | | 1300 | |
| | 0.45 g | -287 | 1417 |
| | | 1130 | |
| | 0.60 g | -850 | 2904 |
| | | 2054 | |
| M41 | 0.15 g | -151 | 680 |
| | | 529 | |
| | 0.30 g | -114 | 1413 |
| | | 1299 | |
| | 0.45 g | -156 | 1816 |
| | | 1660 | |
| | 0.60 g | -1720 | 2070 |
| | | 350 | |



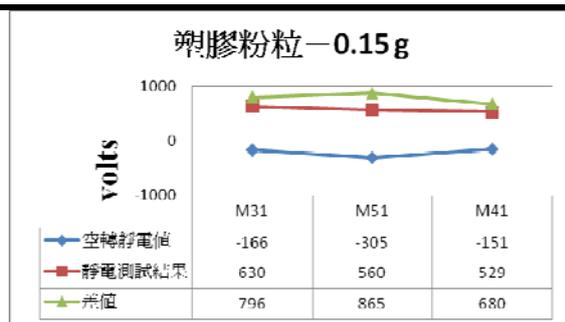
M31 不同克數比較圖



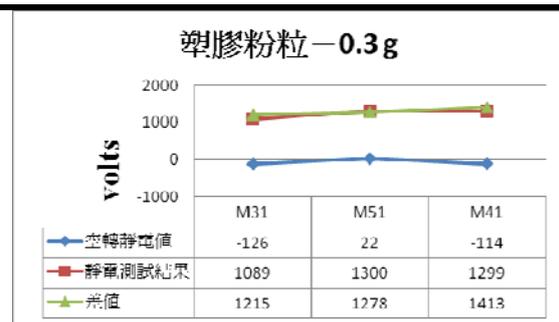
M51 不同克數比較圖



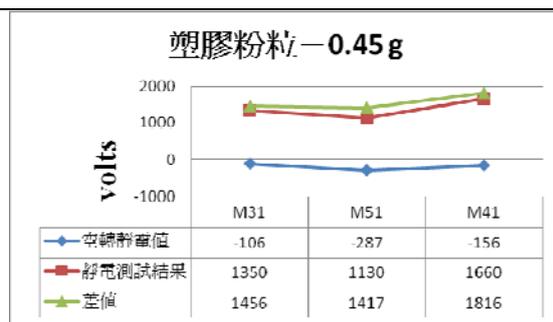
M41 不同克數比較圖



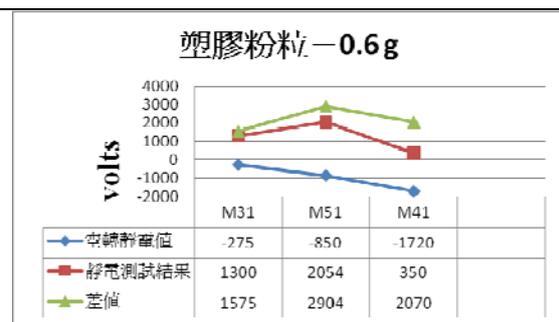
不同粉體 0.15 g 比較圖



不同粉體 0.30 g 比較圖



不同粉體 0.45 g 比較圖



不同粉體 0.60 g 比較圖

圖 22 靜電累積曲線

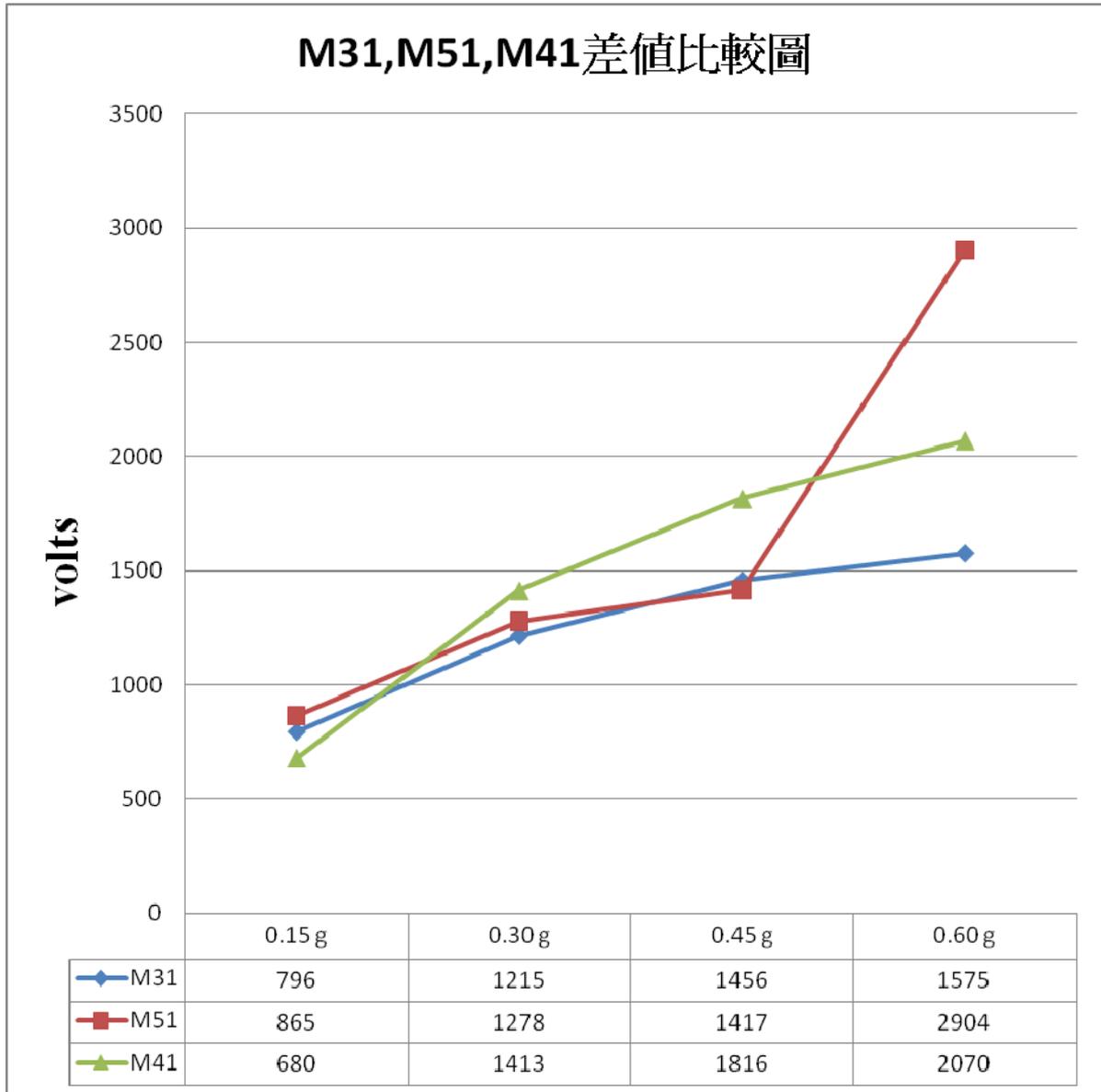


圖 23 不同粉體之比較

靜電累積測試結果，相同條件下，M-31、M-41、M-51 靜電累積量差異不大，其中 M-51—0.6 克靜電數值明顯偏高，可能為實驗誤差；由數據可以觀察到，在 0.15g 時靜電累積的差值約 700~800V，增加到兩倍 0.30g 靜電累積達到 1200~1400V，增加到四倍時可以達到 2000V 之靜電累積量，從以上可知隨著粉體使用量的增加，造成的靜電累積量也會相對提升。

(2) 模擬實際卸料作業之靜電量測：於投料過程中量測入料桶內，因改質劑互相摩擦碰撞所產生靜電之大小，其模擬卸料示意圖如下(圖 24)，分別量測 A 上太空包卸料口表面、B 銅質濾網表面、C 銅質濾網出口處、D 下方物料桶底層表面，4 處之靜電數據，分析卸料過程中於各個位置之靜電累積變化量。

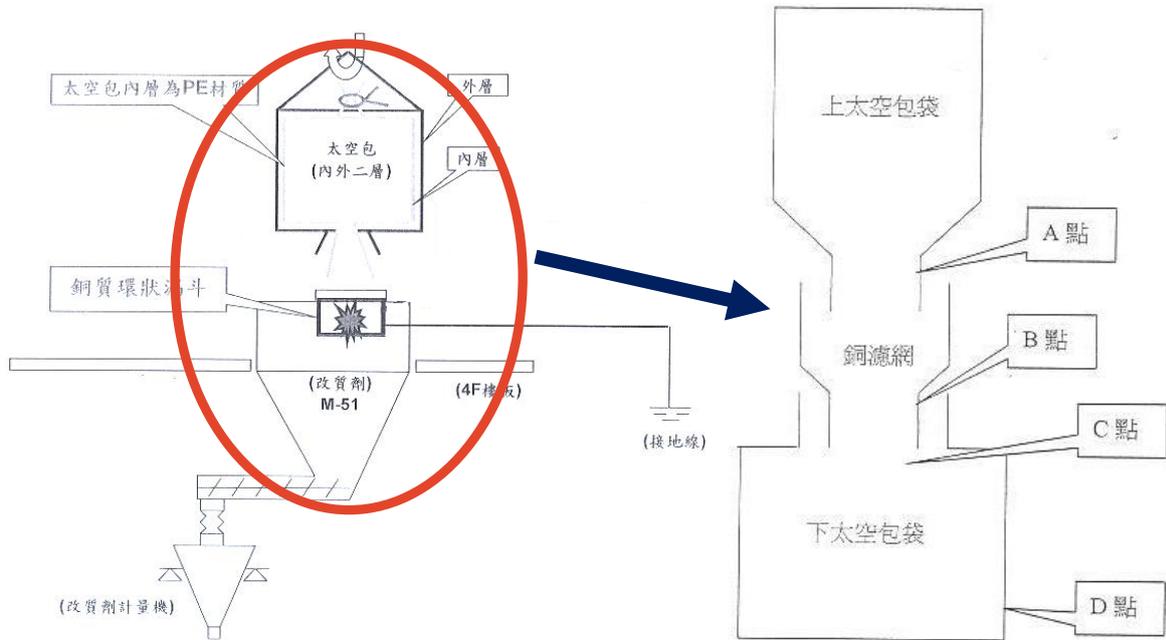


圖 24 模擬卸料示意圖

靜電量測分析結果如表 6，由數據可知於上方卸料口處已經能測到高達 -4.5KV 的靜電值，主要是因粉體在太空袋內擾動互相碰撞摩擦引起，其中以下方 D 點測到的靜電值最高，因粉體至底部有一高度落差，此過程增加粉體碰撞摩擦的次數，故累積之靜電量也相對最高。A 點因未加裝靜電消除裝置，瞬間卸料加速靜電產生，靜電值瞬間升高，D 點底層的靜電值最高，乃因顆粒間互相摩擦碰撞，且無靜電消除設備，導致靜電大量累積。

表 6 改質劑機台各點靜電值

| 物質名：M-31、M-41、M-51 | | |
|--------------------|------------|-------------|
| 位置 | 起始靜電值 (KV) | 卸料過程靜電值(KV) |
| A | -0.2 | -0.4 ~ -4.5 |
| B | -0.2 | -0.2 ~ -0.4 |
| C | -0.2 | -0.4 ~ -3.6 |
| D | -0.2 | -2.0 ~ -9.9 |

第四章 結論與建議

第一節 結論

總結上述文獻整理、實驗數據以及實驗分析結果，對於耐衝擊改質劑之危害分析有以下結論：

- 一、 進行模擬改質劑卸料作業時，即使裝置銅質濾網靜電消除器，桶槽底部仍有高達 9.9KV 之靜電值，顯示卸料時於桶槽底部會產生大量靜電電流。
- 二、 改質劑的體積電阻率高達 $10^{13} \Omega\text{-cm}$ ，屬於靜電之非導體，在卸料與輸送過程中，太空袋、輸送管道、或是粒子間互相摩擦碰撞極易產生靜電，而改質劑物料本身電阻率高具不導電性，所產生的靜電極難散失，因而造成大量的靜電累積，當靜電累積到一定的程度就會產生放電現象，靜電的放電會由產生電暈放電開始，接著由電暈放電發展至為線條電暈，最後成為火花放電。
- 三、 靜電火花產生的能量足以引燃附近易燃物質。其能量等於 $E(\text{毫焦耳}) = CV^2$ 。式中 C 為電容($\mu\mu\text{F}$)、 V 為電壓。大多數的機器設備的電容自數百至數千 $\mu\mu\text{F}$ 皆有。人體的電容估計約為 $200 \mu\mu\text{F}$ 。若絕緣體累積電壓達 1 萬伏特，放出的火花的能量可達 50~100 毫焦耳(mJ)，此能量足可點燃許多可燃性物質。由改質劑之最小點火能量數據得知，其最小點火能量約 60~70 毫焦耳，若是操作機台累積之靜電過高，所產生之靜電火花之能量就足以點燃改質劑甚至產生爆炸[6]。
- 四、 由以上數據推論引發此事故主要是改質劑粉體顆粒間以及顆粒與 PE 塑膠內袋間互相摩擦碰撞所產生之靜電作用，而該製程設備區域僅於入料口裝設銅質環狀靜電消除設備外，於太空包與桶槽內部皆無靜電消除裝置，因此提高蓄積靜電的產生，當靜電累積過量而引發靜電火花，靜電火花進而引燃改質劑釀成之後的災害。

第二節 建議

靜電危害防制方法可分為接地、增加溼度、限制速度、抗靜電材料、與靜電消除器等五種(如表 7)。工業製造過程中，因作業環境、程序及材料的不同，所實施的靜電危害防制方法亦會有所不同。選用時必須考量現場製程環境、條件與限制，甚至經費、管理系統與人力素質等因素。沒有一種靜電危害防制方法可以適用於所有的工業製程或情況，有時同時採用二種或二種以上的靜電危害防制方法[7]，針對塑膠粉體卸料作業提出 6 點建議如下。

表 7 改質劑機台各點靜電值

| 種類 | 特點 | 時機與對象 |
|----------|---|-------------------------|
| 接地 | <ul style="list-style-type: none"> ● 為最經濟的靜電消除方法 ● 其處理重點為確實連接 ● 僅侷限於導體物體 | 主要對象為導體、靜電消散材料 |
| 增加濕度 | <ul style="list-style-type: none"> ● 增加電荷消散度速度 ● 需視工作場所而定，一般較不建議作為主要處理方式 | 對於物體表面於水氣潤濕後，可增快電荷消散之物體 |
| 使用靜電消散材料 | <ul style="list-style-type: none"> ● 可使材料表面電阻率下降 ● 需考慮是否會改變物質特性或造成不適用性 | 主要選用作為地板、桌面、包裝袋等物質之材料 |
| 降低摩擦速度 | <ul style="list-style-type: none"> ● 必須與工廠製程作合理配合 | 主要在粉體、液體之輸送過程中，作為減緩速度 |
| 使用靜電消除器 | <ul style="list-style-type: none"> ● 利用中和方式，降低物質表面所蓄積之靜電荷 ● 需注意若不得法反而會成危險源 | 主要對象為絕緣體或被絕緣之導體 |

- 一、 可考慮去除太空袋內部 PE 內襯材質，並於太空袋材料中加入少量的抗靜電劑，使絕緣性能受到破壞，增加材料的導電性和親水性，使得體積電阻率下降，促進材料的靜電荷被導走。進一步可增設加濕設備以控制作業環境的溼度，降低靜電的產生並有效的將產生的靜電排除。
- 二、 建議可以先朝投料方式進行改善，如圖 25 所示，以輸送帶代替以往投料之模式，並於入料桶內增設卸料格板或是引導管線，達到控制入料速度並降低桶內因高度落差速度產生的危害，同時降低粉塵飛揚及粉體顆粒間因互相摩擦碰撞所產生的靜電。

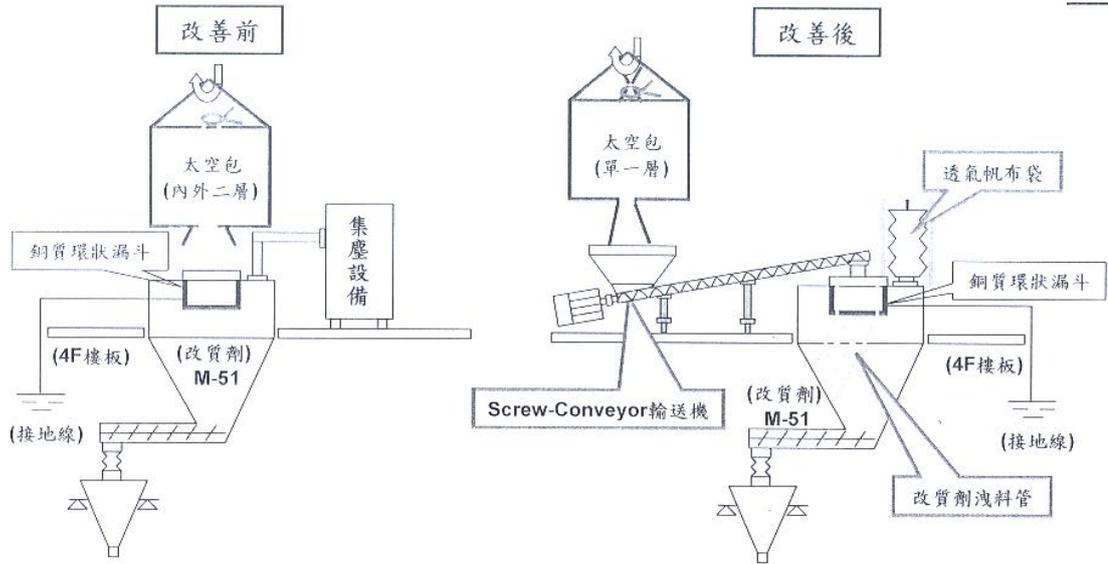


圖 25 改善投料方式，以輸送帶代替以往投料

- 三、 此外於輸送帶、卸料格板以及引導管線上裝設接地或是靜電消除設備，達到靜電導除之作用，如圖 26 所示。

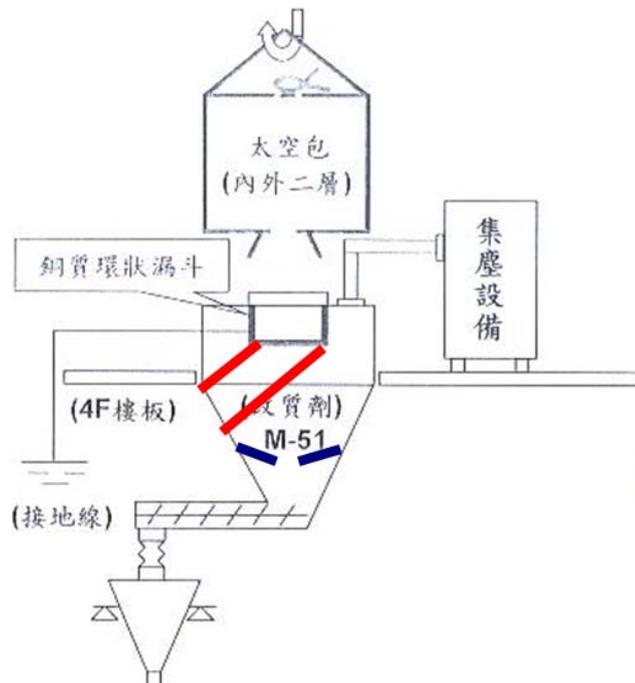


圖 26 卸料格板

- 四、 於系統內加入氮氣或是惰性氣體，以減少氧氣含量使其降低到 9.3%以下。作業環境用水霧或蒸氣增加濕度，控制環境溼度 70%以上，以提高空氣的相對

濕度，消除靜電的危險。

- 五、 建議人員穿戴導電材料的衣服、鞋帽和手套，並且導電服應作良好接地，排除身上衣物間或鞋與地面間因摩擦產生之靜電。
- 六、 從事塑膠粉體製程時須注意靜電的產生，應採取相關靜電危害防制措施，例如使用防爆電氣以及靜電消除設備，並建立緊急冷卻滅火以及安全防護設備，且時常演練火災應變訓練，管理單位確切落實監督查核之安全管理[8]。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所吳研究員鴻鈞、唐繁；另對於本所蘇研究員文源、李玉璽於體積電阻率實驗上所有的協助及支援，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 王慈仁、許龍智：合成樹脂粉體投料製程靜電危害控制研究。工業安全科技 2006；58：54-59。
- [2] 吳鴻鈞：含低碳之碳、氫、氧類聚合物粉塵爆炸特性之探討。台北：國立台灣大學化學工程研究所碩士論文；1993。
- [3] Center for Chemical Process Safety (CCPS). Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids. New York: American Institute of Chemical Engineering; 2005.
- [4] Birringen R. Nanocrystalline materials: Materials Science and Engineering 1989; A117: 33-43.
- [5] American Society for Testing and Materials (ASTM). E2019 Standard Test Method for Minimum Ignition Energy of a Dust Cloud in Air.
- [6] 蘇文源、葉芳俊：工廠靜電危害防制之接地與搭接技術。台北：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2007。
- [7] 冉存仁：工業界的靜電危害與防範措施。台北：財團法人豐泰文教基金會；2003。
- [8] 吳鴻鈞、歐新榮：奈米研磨作業爆炸預防研究。台北：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2006。

附錄一 粉體粒徑檢測報告



粉粒體技術實驗室

檢驗報告書

B5-11-04 REV 1.5

委託者：行政院勞委會勞工安全衛生研究所 唐繁先生

報告編號：100513-30-01

委託者地址：22143 台北縣汐止縣橫科路 407 巷 99 號

報告頁數：1 of 1

<以下測試樣品係由委託者所提供>

報告日期：99.05.18

樣品名稱：塑膠粉體(M-31)

收樣日期：99.05.13

樣品描述：白色粉體，配置成懸浮液後量測。結果以 Fraunhofer 模型計算。

測試日期：99.05.18

樣品數量：1 件。

測試項目：微米粉體粒徑分佈

測試儀器及方法：Beckman Coulter LS 230 (Small Volume Module)/ ISO 13320-1

測試結果

| 樣品名 | 結果 |
|--|--|
| 塑膠粉體(M-31) (100513-30-01) (以下空白) | Mean diameter: 97.74 μm Median diameter: 93.41 μm Mode diameter: 116.3 μm (以下空白) |

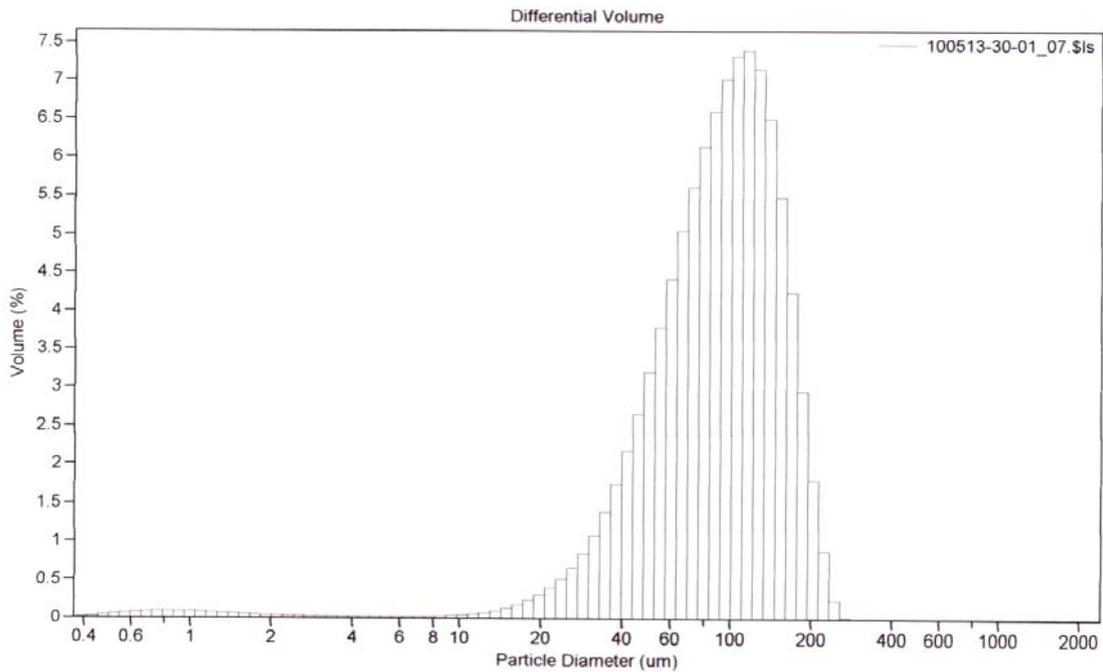
- 注意事項：1.本報告記載事項不得作為訴訟證據及廣告、出版物等商業宣傳推銷之用。
2.本報告所用樣品與各名稱係由委方提供，本實驗室僅負責試驗分析。
3.測試結果僅對測試樣品有效，試驗報告數據更正者無效。
4.報告不得摘錄複製，但全部複製例外。

備註：無。

報告簽署人

粉粒體技術實驗室
台北市羅斯福路四段一號台大化工系
Tel: 02-33663010, 33663011 Fax: 02-23623040

File name: C:\LS32\data\2010_May\100513-30-01_07.\$ls
 File ID: 100513-30-01_07.\$ls
 Operator: Hank
 Run number: 7
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 Residual: 0.32%
 LS 230 Small Volume Module
 Start time: 11:24 18 May 2010 Run length: 90 seconds
 Obscuration: 10%
 Fluid: Water
 Software: 3.29 Firmware: 2.02



Volume Statistics (Arithmetic) 100513-30-01_07.\$ls

Calculations from 0.375 um to 2000 um

| | | | | |
|----------|----------|-----------|--------------------|----------|
| Volume: | 100% | S.D.: | 46.75 um | |
| Mean: | 97.74 um | C.V.: | 47.8% | |
| Median: | 93.41 um | Skewness: | 0.407 Right skewed | |
| D(3,2): | 35.90 um | Kurtosis: | -0.198 Platykurtic | |
| Mode: | 116.3 um | | | |
| <10% | <25% | <50% | <75% | <90% |
| 40.95 um | 62.68 um | 93.41 um | 129.0 um | 161.7 um |

| | |
|------------------|-----------------|
| 審核 | 檢驗員 |
| 許詠萍 2010.5.19 | 楊林瀚 49.05.18 |



粉粒體技術實驗室

檢驗報告書

B5-11-04 REV 1.5

委託者：行政院勞委會勞工安全衛生研究所 唐祭先生
委託者地址：22143 台北縣汐止縣橫科路 407 巷 99 號
<以下測試樣品係由委託者所提供>

報告編號：100513-30-02

報告頁數：1 of 1

報告日期：99.05.18

樣品名稱：塑膠粉體(M-41)

收樣日期：99.05.13

樣品描述：白色粉體，配置成懸浮液後量測。結果以 Fraunhofer 模型計算。

測試日期：99.05.18

樣品數量：1 件。

測試項目：微米粉體粒徑分佈

測試儀器及方法：Beckman Coulter LS 230 (Small Volume Module)/ ISO 13320-1

測試結果

| 樣品名 | 結果 |
|--|--|
| 塑膠粉體(M-41) (100513-30-02) (以下空白) | Mean diameter: 121.4 μm Median diameter: 119.7 μm Mode diameter: 140.1 μm (以下空白) |

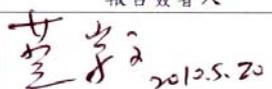
注意事項：1.本報告記載事項不得作為訴訟證據及廣告、出版物等商業宣傳推銷之用。

2.本報告所用樣品與各名稱係由委方提供，本實驗室僅負責試驗分析。

3.測試結果僅對測試樣品有效，試驗報告數據更正者無效。

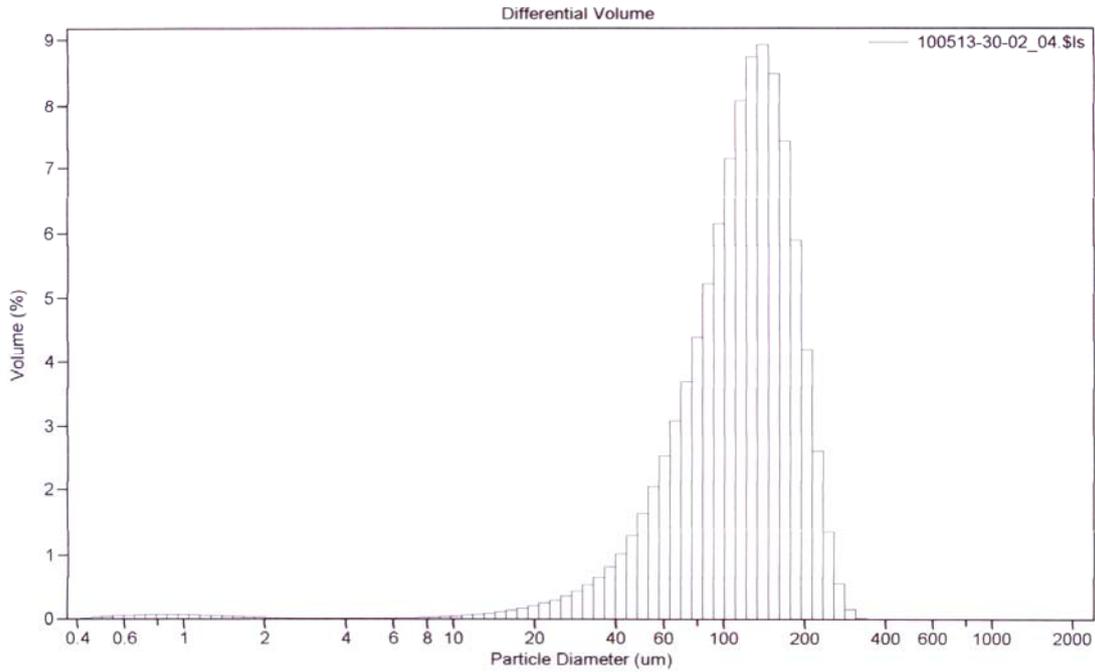
4.報告不得摘錄複製，但全部複製例外。

備註：無。

| |
|--|
| 報告簽署人 |
|  2010.5.20 |

粉粒體技術實驗室
台北市羅斯福路四段一號台大化工系
Tel: 02-33663010, 33663011 Fax: 02-23623040

File name: C:\LS32\data\2010_May\100513-30-02_04.\$ls
 100513-30-02_04.\$ls
 File ID: 100513-30-02
 Operator: Hank
 Run number: 4
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 Residual: 0.27%
 LS 230 Small Volume Module
 Start time: 13:39 18 May 2010 Run length: 90 seconds
 Obscuration: 9%
 Fluid: Water
 Software: 3.29 Firmware: 2.02



Volume Statistics (Arithmetic) 100513-30-02_04.\$ls
 Calculations from 0.375 um to 2000 um
 Volume: 100%
 Mean: 121.4 um S.D.: 52.63 um
 Median: 119.7 um C.V.: 43.3%
 D(3,2): 48.35 um Skewness: 0.231 Right skewed
 Mode: 140.1 um Kurtosis: -0.131 Platykurtic
 <10% <25% <50% <75% <90%
 54.56 um 83.93 um 119.7 um 156.5 um 191.0 um

| | |
|-----------|----------|
| 審核 | 檢驗員 |
| 許曉萍 | 楊林瀚 |
| 2010.5.19 | 09.05.18 |



粉粒體技術實驗室

檢 驗 報 告 書

委託者：行政院勞委會勞工安全衛生研究所 唐繁先生
 委託者地址：22143 台北縣汐止縣橫科路 407 巷 99 號
 <以下測試樣品係由委託者所提供>

樣品名稱：塑膠粉體(M-51)

樣品描述：白色粉體，配置成懸浮液後量測。結果以 Fraunhofer 模型計算。

樣品數量：1 件。

測試項目：微米粉體粒徑分佈

測試儀器及方法：Beckman Coulter LS 230 (Small Volume Module)/ ISO 13320-1

B5-11-04 REV 1.5

報告編號：100513-30-03

報告頁數：1 of 1

報告日期：99.05.18

收樣日期：99.05.13

測試日期：99.05.18

測試結果

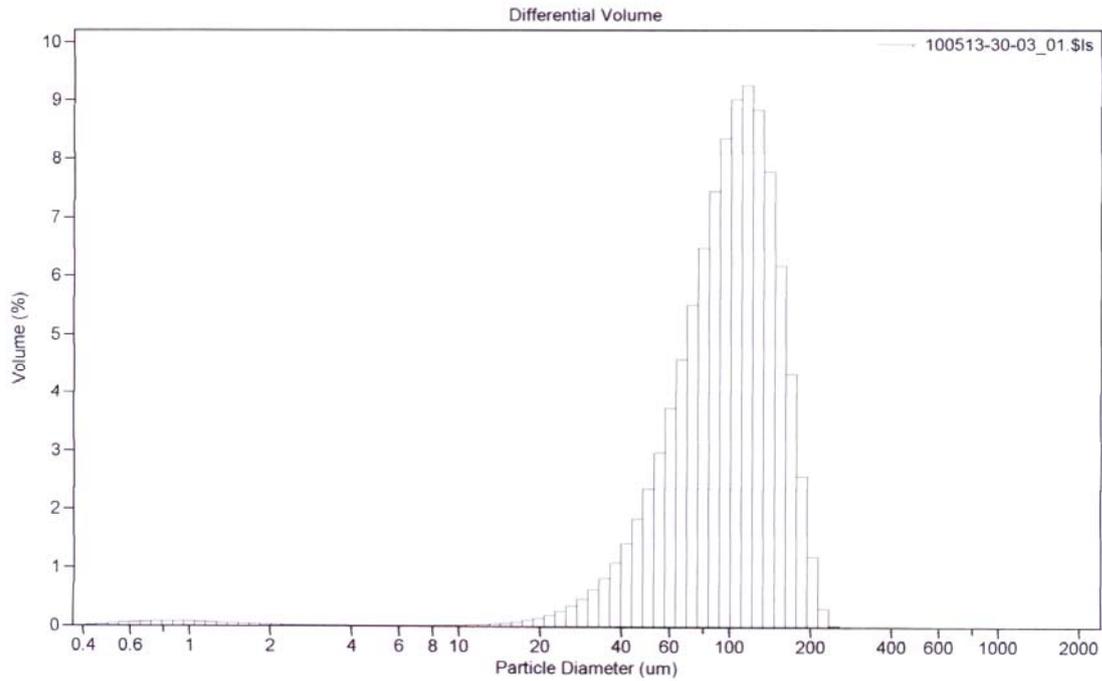
| 樣 品 名 | 結 果 |
|--|--|
| 塑膠粉體(M-51) (100513-30-03) (以下空白) | Mean diameter: 102.1 μm Median diameter: 100.6 μm Mode diameter: 116.3 μm (以下空白) |

- 注意事項：1.本報告記載事項不得作為訴訟證據及廣告、出版物等商業宣傳推銷之用。
 2.本報告所用樣品與各名稱係由委方提供，本實驗室僅負責試驗分析。
 3.測試結果僅對測試樣品有效，試驗報告數據更正者無效。
 4.報告不得摘錄複製，但全部複製例外。
- 備 註：無。

| |
|-------|
| 報告簽署人 |
| |

粉粒體技術實驗室
 台北市羅斯福路四段一號台大化工系
 Tel: 02-33663010, 33663011 Fax: 02-23623040

File name: C:\LS32\data\2010_May\100513-30-03_01.\$ls
 100513-30-03_01.\$ls
 File ID: 100513-30-03
 Operator: Hank
 Run number: 1
 Optical model: Fraunhofer.rfd
 Residual: 0.22%
 LS 230 Small Volume Module
 Start time: 14:14 18 May 2010 Run length: 90 seconds
 Obscuration: 11%
 Fluid: Water
 Software: 3.29 Firmware: 2.02

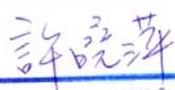


Volume Statistics (Arithmetic) 100513-30-03_01.\$ls

Calculations from 0.375 um to 2000 um

| | | | |
|---------|----------|-----------|--------------------|
| Volume: | 100% | S.D.: | 41.52 um |
| Mean: | 102.1 um | C.V.: | 40.7% |
| Median: | 100.6 um | Skewness: | 0.156 Right skewed |
| D(3,2): | 40.89 um | Kurtosis: | -0.200 Platykurtic |
| Mode: | 116.3 um | | |

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| <10% | <25% | <50% | <75% | <90% |
| 49.94 um | 72.51 um | 100.6 um | 130.3 um | 157.6 um |

| | |
|--|---|
| 審 核 | 檢 驗 員 |
|  2010.5.19 |  99.05.18 |

塑膠工廠改質劑粉體入料作業爆炸研究

著（編、譯）者：吳鴻鈞、唐繁

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

22143 新北市汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 100 年 3 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：100 元

展售處：

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為

http://www.iosh.gov.tw/Book/Report_Publish.aspx

- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

ISBN:9789860274707

GPN: 1010000727