

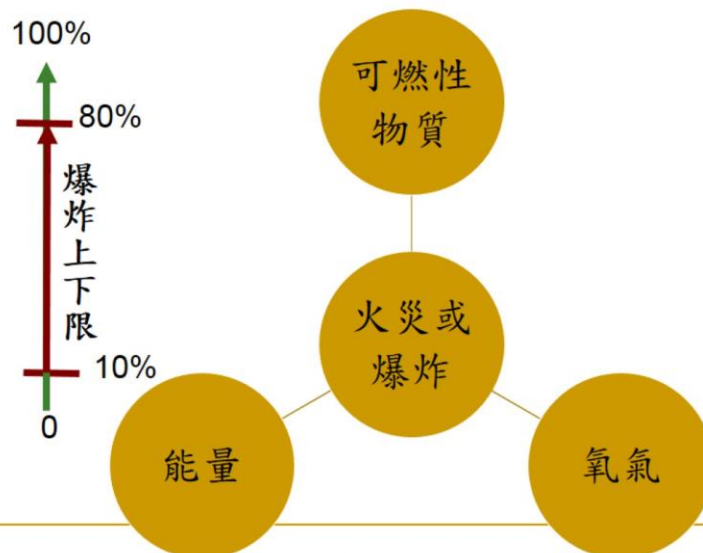
火災爆炸危害預防

勞動部職業安全衛生署
科長 蔡建成

2018/11/25

1

火災爆炸三要素



2018/11/25

cctsai @copyright

2

最小點火能量 (Minimum ignition energy, MIE)

表1 塗料常用溶劑的最小點火能量 (MIE)

品名	最小點火能量	品名	最小點火能量
苯	0.225 mJ	丙酮	1.150 mJ
甲苯	0.240 mJ	2-丁酮	0.215 mJ
二甲苯	0.200 mJ	正己烷	0.230 mJ
甲醇	0.215 mJ	環己烷	0.220 mJ
異丙醇	0.650 mJ	正庚烷	0.240 mJ
乙酸甲酯	0.400 mJ	松節油	10.00 mJ
乙酸乙酯	1.420 mJ	汽油	0.200 mJ

表2 不同工作環境/濕度下，所測得之靜電值

	低相對濕度環境 (10~20 RH%)	高相對濕度環境 (65~90 RH%)
在地毯上行走	184 mJ	0.3 mJ
在乙烯塑料地板上行走	22 mJ	0.009 mJ
作業人員在工作台旁	5 mJ	0.002 mJ
使用乙烯塑料封袋	7 mJ	0.05 mJ
從工作台取放普通塑料袋	60 mJ	0.2 mJ
有尿胺泡沫墊的工作椅	49 mJ	0.3 mJ

可燃性粉塵最小點火能量 (MIE)

Data from: Dust Explosions in the Process Industries

PLASTICS RESINS RUBBER	PARTICLE SIZE DISTRIBUTION							IGNITABILITY AND EXPLOSIBILITY OF DUST CLOUDS						DUST LAYERS			
								1 m ³ or 20 l vessel			Mod. H.	G.G.	BAM	VDI	DN		
	WEIGHT % < SIZE [μm]							C _{min}	P _{max}	K _{St}	EXPLOS. < 63 μm	T _{min}	MIE	Glow temp.	Flamm. < 250 μm		
DUST TYPE	500	250	125	71	63	32	20	μm	g/m ³	bar(g)	bar·m/s	Class	°C	°C	mJ	°C	Class
Synthetic caoutchouc			66	46	16	9	80	15	8.6	145	(St. 2)	450			240	5	
Methylmethacrylate- Butadiene-Styrene			45	18			135	30	8.6	120		470		11	melts	5	
Methylmethacrylate- Butadiene-Styrene			34	11			150	30	8.4	114		480		30	melts	5	
Polyacrylamide (from filter)			100		95	81	10	250	5.9	12	St. 1	780			410	2	
Polyacrylate (from filter)			100	63		11	1	62	125	6.9	38		460		>1800	420	5

Table A1, continued

methyl methacrylate butadiene styrene
(甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯)
最小點火能量 11~30 mJ



你知道
麵粉也會爆炸嗎？

2018/11/25 cctsai @copyright 5

災害發生經過

- 104年7月23日台南市某製藥工廠合成課，二樓反應槽在進行粉體投料時忽然由反應槽中產生大火，並發生氣爆，造成二名勞工受傷住院治療。



2018/11/25 cctsai @copyright 6

災害原因分析

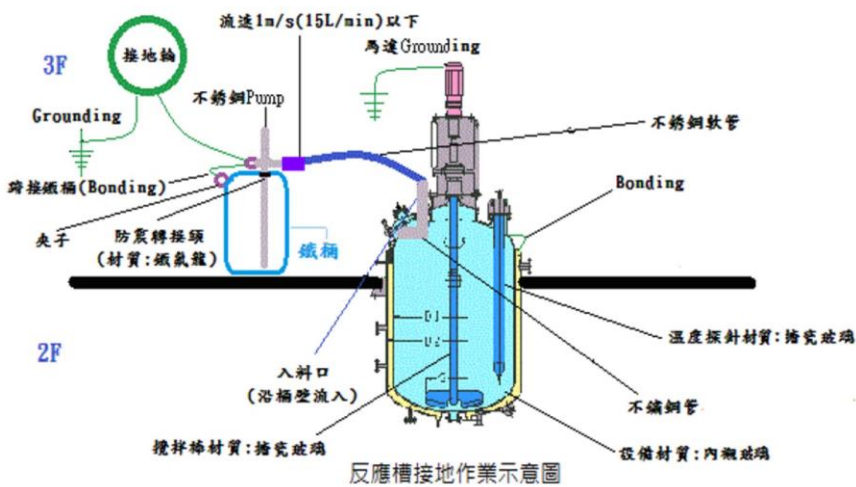
火源類別	研判分析	火源評估發生可能性	說明
明火		X	現場無任何工程施工
吸煙		X	現場及衣物未發現香煙及火種
人為破壞		X	排除可能性
熱表面		X	無
自燃		X	反應槽內容物不會自燃
化學放熱反應		○	反應槽使用蒸氣在槽側加熱至45°C，內容物有甲酸乙酯，其沸點為45°C
電氣火花		X	中間桶內無任何電氣設施
摩擦靜電		○	機率高，粉體投料時與反應槽壁或揮發性有機氣體摩擦產生靜電

2018/11/25

cetsai @copyright

7

改善對策



2018/11/25

cetsai @copyright

8

改善對策



反應槽加料作業前，先通入氮氣降低揮發性有機氣體及氧含量，使反應槽內氧含量為6%以下



以氣體偵測器測定反應槽內氧含量，確定反應槽內氧含量為6%以下。

2018/11/25

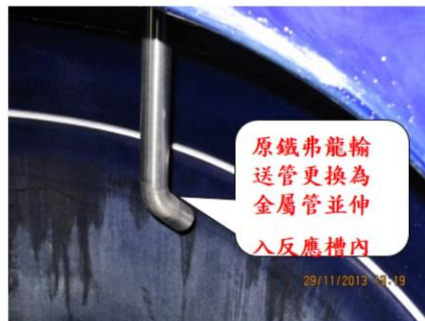
cctsai @copyright

9

改善對策



原料輸送前先以靜電計量測反應槽之靜電值，確定低於2Kv以下，才開始輸送原料。



將原鐵弗龍輸送管更換為金屬管並伸入反應槽內角度與槽壁呈45°切面。

2018/11/25

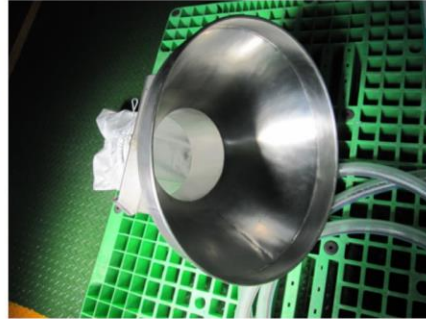
cctsai @copyright

10

改善對策



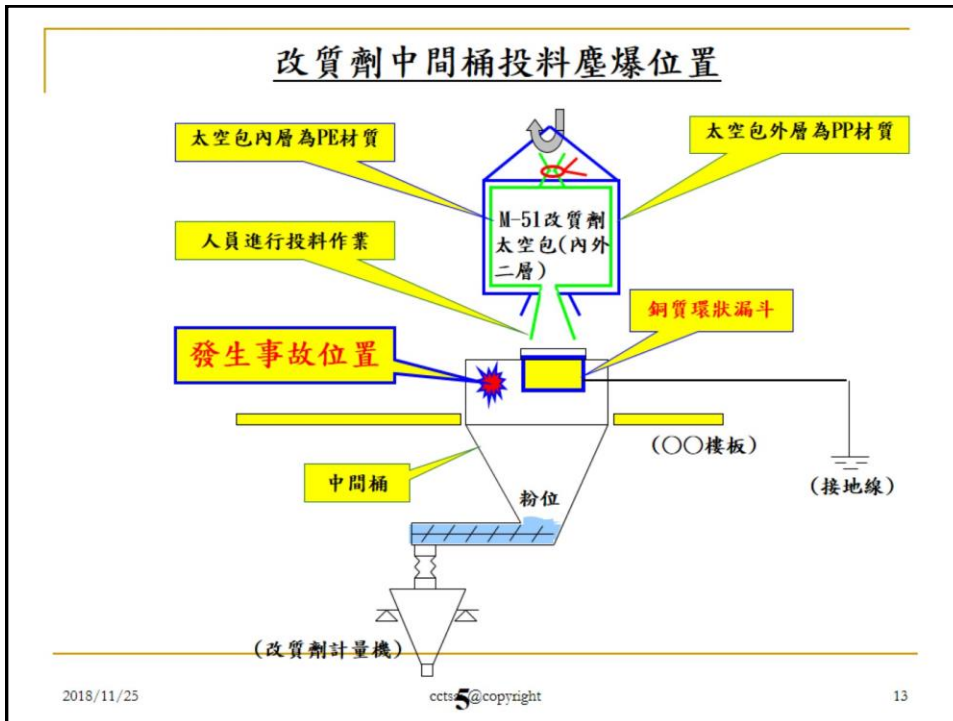
要求員工確實使用接地線



粉體投料時使用專用漏斗

災害發生經過

98年1月約在13:00左右，四樓塑膠粉體中間桶投料區中，投料員於中間桶快呈空桶狀態時，依製程進行塑膠粉料最後150kg投料作業，在投料未完全完成前，突然聽到“轟”一聲，且同時發現火苗由中間桶投料口竄出，引燃吊卸中的太空包向四樓屋頂延燒，並造成中間桶竄出的火苗灼傷投料員，所幸並無大礙，經送醫診療後目前已返回工作崗位。



(一) 改質劑發生塵爆原因分析：

1. 火警爆炸之火源分析：

研判分析 火源類別	火源評估 發生可能性	說 明
明火	X	現場無任何工程施工
吸煙	X	現場及衣物未發現香煙及火種
人為破壞	X	排除可能性
高溫	X	無
熱表面	X	無
自燃	X	製品之物料不會自燃
化學放熱反應	X	依物料分析不會產生，製程已運轉30幾年
電氣火花	X	中間桶內無任何電氣設施
撞擊或摩擦	X	M51改質劑與中間桶摩擦不會產生火源
靜電	○	機率高，實際量測中間桶底粉體靜電值超過理論管制值10KV(19.2-35KV)

2. M-51改質劑之物質安全分析：

物性 品別	物品名稱	物態	比重		爆炸 下限	粒徑分佈
			假比重	真比重		
M51 改質劑	甲基丙烯酸甲酯 /丁二烯/苯乙烯 樹脂共聚合物	粉末	0.338	0.958	20.02 g/m³	細粉含量高容易達 到爆炸下限

依據日本粉體工業技術協會塵爆委員會著作【粉じん爆炸火災對策】文獻記載，粉塵 20.02g/m³屬高爆炸性物質，其分類如下表：

爆炸下限濃度(g/m ³)	爆炸性
40以下	高
40~100	中
100以上	低

2018/11/25

ccts@copyright

15

(三)勞工安全衛生研究所調查原因：

南檢所○○檢查員暨勞工安全衛生研究所○○研究員等三位，入廠協助本廠追查發生原因，經現場會勘認為是由靜電所引起的典型塵爆，研判桶內亮點處(如下圖)應為塵爆點。



塵爆點

2018/11/25

ccts@copyright

16

(四)調查原因分析：

1. 粉體墜落再產生靜電：

經以現狀使用之各品別改質劑實際測試，以太空包投料經銅質環狀漏斗後，量測桶底粉體靜電值，相同高度墜落所產生之靜電值，以台塑改質劑較高（如下表）。

品別	M-51 (國內)	M-41 (國內)	M-31 (國內)	B-513 (進口)
量測值 (KV)	24	19.2	35	9.8

(1)靜電測試方法：將靜電計延伸至桶底，投入太空包200kg，量測其靜電最大值。

(2)檢測儀器型式：MONROE ELECTRONICS model 282。

2018/11/25

cctsa @copyright

17

2. 粉塵濃度達到爆炸下限值：

改質劑細粉(粒徑44 μm 以下)含量比例偏高，經追蹤廠內使用不同種類之改質劑比較，細粉含量比例分佈實測數據如下表。

品名	細粉比例分佈	R值
M-51 (國內)	0.35%~5.25%	4.90%
M-41 (國內)	0.30%~1.08%	0.78%
M-31 (國內)	1.32%~4.54%	3.22%
B-513(進口)	0.69%~1.28%	0.59%

(1)試驗方法：以篩分析法將100公克樣品進行篩選，將通過325mesh(44 μm)篩網以下所取得之細粉，稱重後除以100公克即為細粉比例。

(2)事故當時使用之M-51改質劑細粉比例為2.38%。

2018/11/25

cctsa @copyright

18

3. 氣候乾燥易蓄積靜電：

當日發生事故當時投料區交代簿，所記錄溫度為21℃，相對濕度為50%，氣候較乾燥容易蓄積靜電。

(五)原因分析：

1. 直接原因：製程更換進行原料節料控制，改質劑M-51以太空包投料作業中，剛投入5kg時不料造成中間桶內，粉塵濃度達到爆炸極限值 $20.02\text{g}/\text{m}^3$ 且因原料分子量分佈太小不均一，粉塵飛揚、粉粒摩擦，產生靜電火花造成塵爆異常。
2. 間接原因：(1)改質劑太空包原以單層PP編織，○○年底發生棉絮異常，太空包改以雙層（內襯袋為PE材）因表面較光滑且粒子分子量分布不均，粒子呈凹凸多角形，互相碰撞產生靜電火花。
(2)國內太空包內襯袋表面，比日本內襯袋黏附較多細粉末，其表面抗靜電值（國內 $10^{13}\Omega$ 、日本 $10^{12}\Omega$ ），改質劑自由落體靜電測試，國內改質劑粉體流動時，靜電產生明顯較強

(三) 基本原因：

M-51改質劑投料、節料于桶內落下時，發生蓄積靜電火花。

2018/11/25

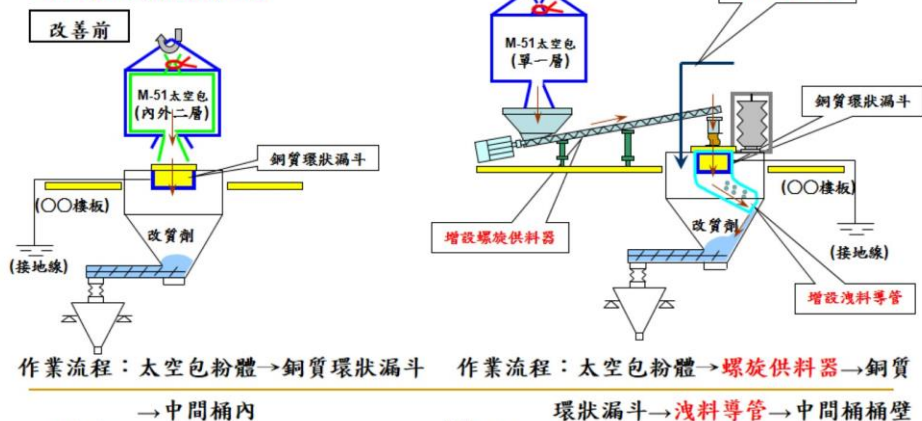
cctsai@copyright

19

五、改善對策：

(一)設備面改善：

1. 增設螺旋供料器
2. 增設洩料導管
3. 增設人造霧系統
4. 增設氮氣系統



2018/11/25

cctsai@copyright

20

1. 增設螺旋供料器

改質劑入料作業改由增設螺旋供料器輸送入料，可有效管制投料速度，每包太空袋500kg輸送時間在7分鐘以上，可減少粉粒體間摩擦。



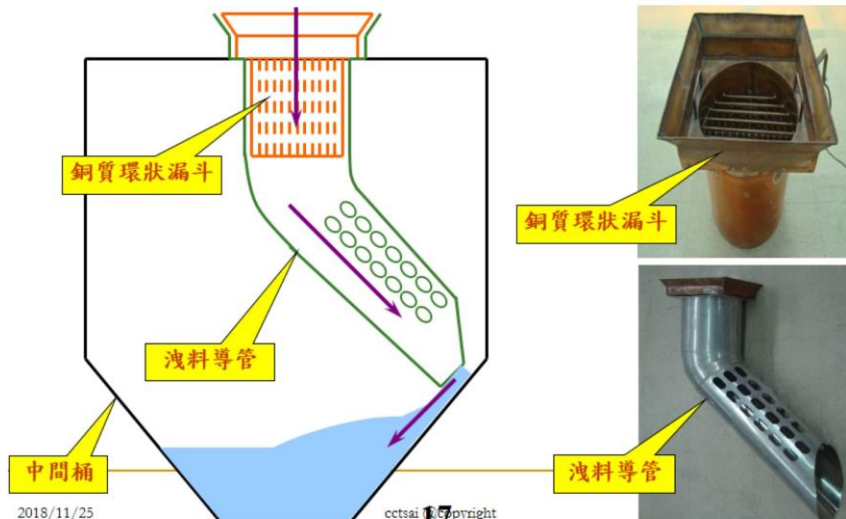
2018/11/25

cctsai 16 copyright

21

2. 增設洩料導管

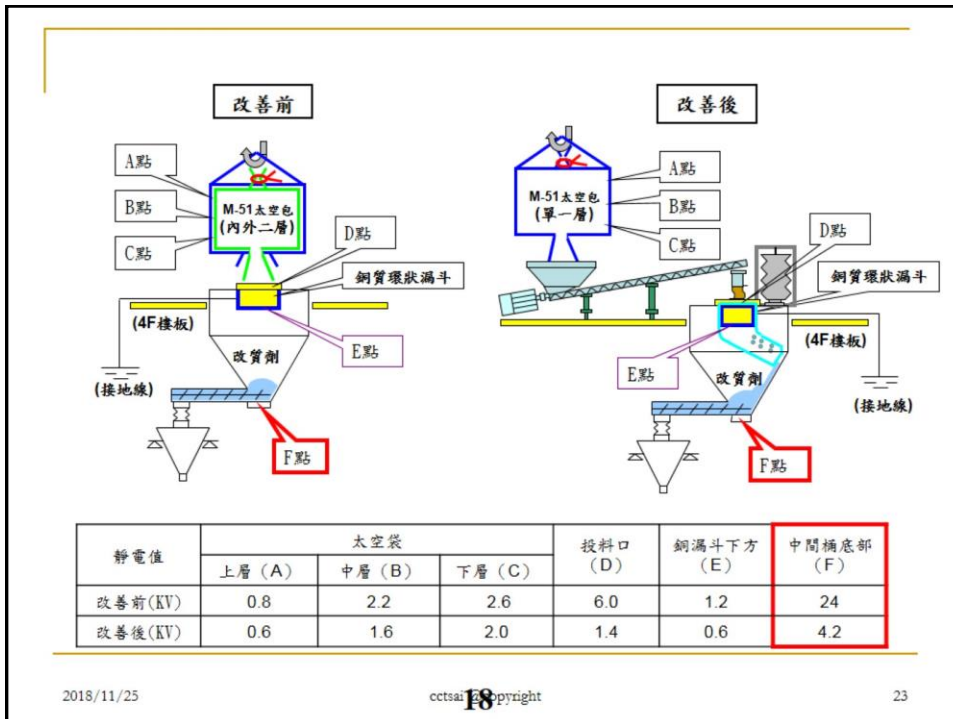
改質劑投料口除原有銅質環狀漏斗外，桶內增設洩料導管，引導改質劑沿桶壁入料消除靜電，並避免粉塵飛揚，及降低粉體間摩擦所產生之靜電，靜電值由24KV降至4.2KV。



2018/11/25

cctsai 17 copyright

2



2018/11/25

copyright

23

3. 增設人造霧設備

作業環境加裝人造霧設備噴出水霧，自動控制作業環境，相對濕度控制於70%以上。



噴霧前相對濕度：32%~72%



噴霧後相對濕度：70%~75%

2018/11/25

copyright

24

4. 增設氮氣系統

中間桶於改質劑投料前灌入氮氣，降低桶內含氧濃度。



2018/11/25

cctsai 20 copyright

25

(二) 改善方式：

1. 改質劑粒徑 $44\mu\text{m}$ 以下之細粉含量，目標管制在 1.5%以下(已反應檢討，目前追蹤改善中)。
2. 修訂工作規範，規定投料時必須以螺旋供料器定量投入，經洩料導管導入中間桶。
3. 將作業環境相對濕度條件納入T. Q. C. 每二小時記錄一次，管制相對濕度在70%以上。
4. 原規定每六個月量測設備接地電阻（標準值 1歐姆以下），量測頻率改為每個月量測一次並記錄。
5. 規定投料前灌入氮氣 8分鐘後進行投料作業，管制中間桶內含氧濃度在12.5% 以下。

2018/11/25

cctsai 21 copyright

26

安全衛生研究所的建議

- (1) 接地金屬棒與噴霧增濕系統對於太空包粉體與卸料時靜電之消除，並無明顯之效益；
- (2) 金屬螺旋輸送器銜接於太空包卸料口，對粉體輸送至槽體卸料口之靜電防護有很好之功效；
- (3) 多層環狀銅質漏斗及金屬卸料導管，對於減低卸料粉體之靜電有其功效，但無法完全將靜電導掉

袋式集塵器

- 製程中的微細粉塵被抽至空氣清淨裝置，粉塵會沉集在袋式集塵器中的集塵袋，一旦因為外力或不正常的操作，導致集塵袋破裂，大量的氣流進入，擾動粉塵即可能引起爆炸。
- 一般常見的集塵裝置有下列幾種：
 - cotton fabric collection bag;
 - synthetic fabric collection bag; or
 - disposable paper collection bag.

馬達

- 粉塵經過袋式集塵器後即經由馬達和風扇排放至大氣
- 此時，馬達和風扇應注意粉塵不要沉積在葉片或馬達內部，否則可能會使有機類的粉塵產生悶燒現象，引起火災或爆炸。
- 馬達的使用應考慮粉塵的特性，不用隨便使用一般通用的工業馬達和風扇。

2018/11/25

cctsai @copyright

29

有機溶劑作業場所火災

101 年9 月7 日9 點



2018/11/25

cctsai @copyright

30

起火點



2018/11/25

cctsai @copyright

31

改善對策



2018/11/25

cctsai @copyright

32

CNS3376-10 防爆等級設定標準(Class1 Zone2)

CNS 3376-10, C 1038-10

-2-

1.2 參考標準

下列的標準為本標準所參考，且構成本標準之條文：

CNS_[](IEC 60050(426)：國際電機技術詞彙 (IEV) · 第 426 節：爆炸性氣體環境用電機設備

CNS 3376-4：爆炸性氣體環境用電機設備 - 第 4 部分：引燃溫度測試方法

2. 用語釋義

下列定義及名詞適用於本標準

2.1 爆炸性氣體環境(Explosive gas atmospheres)：在大氣壓條件下可燃性物質以氣體或蒸氣之形式與空氣混合，如果引燃時，爆炸會經由擴散至未燃之混合物。

備考：雖然有些混合物之濃度在爆炸上限以上時 (UEL) 並非爆炸性氣體環境，在做某些區域劃分目的時可能如此，但仍建議將其當成爆炸性氣體環境。

2.2 危險區域(Hazardous area)：出現爆炸性氣體環境或預期可能出現之數量需要特別注意使用電機設備構造、安裝的場所。

2.3 非危險區域(Non-hazardous area)：不預期出現爆炸性氣體環境之數量需要特別注意使用電機設備構造、安裝的場所。

2.4 區：危險區域依據其發生之頻率和時間將爆炸性氣體環境分成下列數種區：

2.4.1 0 區 (Zone 0)：爆炸性氣體環境連續性或長期存在之場所。

2.4.2 1 區 (Zone 1)：爆炸性氣體環境在正常操作下可能存在之場所。

2.4.3 2 區 (Zone 2)：爆炸性氣體環境在正常操作下不太可能發生，如果只有偶爾發生且只存在短期間之場所。

2018/11/25

cctsai@copyright

33

改善對策

可燃性物質明細及特性表

廠區：										參考值：傳真圖	
編號	可燃性物質		閃火點℃	LEL		揮發性 ^a		相對密度 ^b	引燃溫度℃	群和溫度等級	備註
	中文化學名稱	分子式		kg/m ³	Vol%	蒸氣壓 20℃ kPa	沸點℃				
1	甲醇	CH ₄ O	12	-	6.9-36.5	-	64.7	1.1	385	IIA(T2)	
2	甲苯	C ₇ H ₈	4.4	-	1.2-7.1	22mmHg	110.6	3.1	480	IIA(T1)	
3	乙醇	C ₂ H ₆ O	13	-	3.3	44.3	74.8	1.6	C ₂ H ₆ O	IIA(T2)	
4	甲基乙基酮	C ₄ H ₈ O	-6.2	-	1.8-10	77.5mmHg	79-80.5	3.0	404		
5	丙酮	C ₃ H ₆ O	-17	-	2.9-12.8	180mmHg	2.9-12.8	2	465	IIA(T1)	
6	二甲苯	C ₈ H ₁₀	17	/	1	6 mmHg/20度	137	3.7	527	IIA(T1)	
7	醋酸丁酯		47-48		1.5%-7	0.02 mm Hg @20	100 °C	5.5			
8	異丁醇	(C ₄ H ₁₀ O)ISOBUT	28	/	1.7	8.8mmHg/20度	108	2.6	415		

註：a. 通常會有蒸氣壓之值，如果沒有時以沸點做參考。

b. 相對密度：氣體或蒸氣與空氣相對密度小於 0.8 時視為比空氣輕，大於 1.2 時視為比空氣重。

表單編號：

2018/11/25

cctsai@copyright

34

改善對策



2018/11/25

cctsai @copyright

35

有機溶劑火災 2017/4/30

2018/11/25

cctsai @copyright

36

有機溶劑火災



2018/11/25

cctsai @copyright

37

災害照片



◆ 溶劑抽引裝置

說明敘述

人員在使用氣壓油抽打取甲苯溶劑至小鐵桶過程中，疑似因靜電引燃甲苯溶劑，導致火焰延燒其他範圍。

2018/11/25

cctsai @copyright

38

改善對策

c. 氣壓油抽增設按壓式控制開關，為強化於異常狀況下可及時關閉溶劑的抽引動作

氣壓源壓力開關(調壓裝置)



測試條件：源頭壓力設定 2kg/cm²



持續按壓氣壓控制開關，溶劑方可流出



手動流體開關
手動氣壓開關
氣壓接頭

氣壓接頭，加裝按壓式氣壓控制開關，手指持續按壓，壓縮空氣才能通過；手指放開，空氣即無法通過。



按壓式氣壓控制開關

改善對策

b. 增設人體靜電消除球 - 供人員在工作區入口觸摸以消除靜電

1) 裝設於工作區入口



2) 張貼使用說明



3) 使用之量測儀器資料

範圍/分辨率/準確性：
0-200kV / 100V 和 0-20kV / 10V
自動量程選擇。
校準精度優於±5%。
漂移：10秒內<0.1%。
標準：EN-500081-1 (EMC) 和 BS7506-2。

測量靜電方法
量測儀與被測物表面距離 100 mm。

4) 使用前-人體帶電值 0.12kv



5) 使用人體靜電消除球後，人體帶電值降為 0.06kv



改善對策

2)泡料 A 區防爆開關(電燈開關)

- ◆ 廠牌:三左興業-防爆電氣開關箱
- 組:
- 型號:SEB209d-001CS
- 防爆等級:Ex-d-IIB-T6 ;
- TS 認證編號: TD04005P ;
- 型式檢定合格證號:
工電(2012)第 00498 號



3)泡料 A 區防爆插座

- ◆ 廠牌:三左興業-防爆電氣插座:
- 型號:SDEB06-01CA15-01
- 防爆等級:Ex-d-IIB-T6 ;
- TS 認證編號: TD04005P ;
- 型式檢定合格證號:
工電(2013)第 00281 號



甲醛職災案例 2013.1.7



改善對策

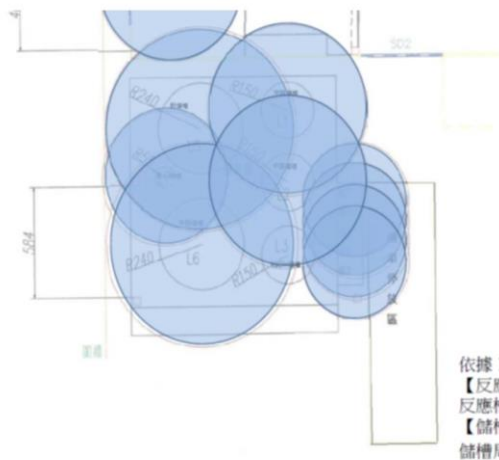
表3 洩漏源危害區域劃分標準(氣體、蒸氣、液體)--通風良好情形				
1	2	3	4	5
項目	製程設備	0區範圍	1區範圍	2區範圍
1	儲槽			
		桶槽內部	透氣口周圍3m	桶槽周圍3m
2	馬達			
				水平3m高度1m
3	反應槽			
		反應槽內部	透氣口周圍3m	反應槽周圍3m

2018/11/25

cetsai @copyright

43

改善對策



2018/11/25

cetsai @copyright

44

鋁鎂合金火災



2018/11/25

cctsai @copyright

45

電氣設備引火化學品



2018/11/25

cctsai @copyright

46

結語

- 一、對於 MIE 小於 30 mJ 之高火災爆炸危害性化學品，應採取合宜之爆炸防護措施，如耐爆防護措施、爆炸洩放防護措施、爆炸抑制防護措施及爆炸隔離防護措施等，以有效保護作業人於及作業環境之安全。
- 二、應先進行化學品爆炸特性測試(Determination of explosion characteristics (Pmax,Kmax)，再依爆炸特性值設計合宜之爆炸防護措施。
- 三、不是只有化學品會有火災爆炸的危害，粉體的危害更應小心預防。