

工業火災與爆炸

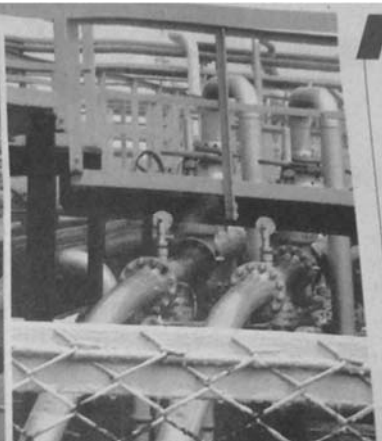
Jinluh Chen,

Senior Industrial Hygienist, MPH, Ph.D.

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

1



高雄大林廠重罰100萬

中油昨天發生丙烯外洩，消防隊灑水降溫（左圖），中油緊急吹起管內殘存丙烯降壓（右圖）。 記者簡淳琪／攝影

丙烯外洩沿路嗆 中油沒通報

【記者徐如宜、簡淳琪、楊漢嘉／高雄報導】中油高雄大林廠昨更換管線發生操作疏失，造成大量丙烯外洩，高雄市政府環保局採檢後判定汙染情節重大，依空汙法從重罰一百萬元；高市府批中油又出狀況卻未主動通報，輕忽公共安全與人命的心態令人痛心。

「好險昨天是吹南風」

事發地點在大林區中林路與沿海四路叉口，估計三個多小時外洩六百九十公斤丙烯，附近沿途都能聞到嗆鼻臭味。由於丙烯具高度易燃性，現場從上午十時管制交通至十二時。

當地的風與里里長洪富賢無奈地說，大林蒲居民每天都活在這種恐懼當中，好險昨天是吹南風，否則丙烯風向相距不到三百公尺的住宅區，後果不堪設想。

環保局昨天獲報後派員趕往現場，發現當地管線密布，多達四十一條石化管線通過，立即聯繫台塑及中油公司等周邊廠區人員協助處理，中油確認這條石化管線是輸往林園廠區的六吋丙烯管。

中油：正檢討作業疏失

初步檢查事故原因是管線出地面的法蘭接頭鬆脫，絕緣墊片老舊破裂導致丙烯洩漏，中油緊急進行管線殘氣吹掃排空，並完成法蘭墊片更換，排除狀況。中油表示，內部正檢討作業疏失。

高雄市新新聞局長丁允恭批評中油在第一時間竟未主動通報市府，令人痛心。他說，廿幾年來，中油將油管私相授受給民間業者運送石化物質，去年氣爆當晚曾隱匿石化物質洩漏之事，對緊急訊息給外層層掩蓋、輕忽人命的質疑；昨天丙烯外洩事件也一樣，中油仍學不到教訓，不論顯預無能還是惡意掩蓋，中油都應該嚴厲追究責任。

「每天鼻屎都是黑的」

大林蒲周邊有工業區環繞，過去時常發生不明化學物質外洩，洪富賢說，卅幾年來居民都只能消極地承受，這裡每天的空氣品質都很糟，「沒有一天鼻屎不是黑色的。」

他說，時常會聞到莫名的味道，空氣差是家常便飯，化學物質外洩意外時常發生，讓居民有苦難言。

可燃性液化氣體洩漏 該如何處理？

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

3

火災爆炸重要名詞

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

4

爆炸界限 (Explosive limits)

- 又稱爆炸範圍、燃燒範圍、燃燒界限等。可燃性氣體與助燃性氣體混合時，必需在一恰當濃度範圍內方能燃燒或爆炸，例如甲烷在空氣中之爆炸界限約為4.7%~14%。該界限之最高百分比稱爆炸上限，最低百分比稱爆炸下限
- 當混合濃度在爆炸上限以上或爆炸下限以下時，皆不會燃燒也不會爆炸。其原因係因濃度過低時，將造成可燃氣體分子與氧分子碰撞機會減少；過高時多餘的可燃氣體分子成為吸熱劑。二種現象均使產生之反應熱小於所散失者，無法使燃燒之連鎖反應持續進行
- 爆炸下限數字愈小表示該物質易於爆炸；(爆炸上限-爆炸下限) / 爆炸下限 = 危險指數，危險指數愈高愈危險

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

5

閃火點 (flash point) 1

- 易燃性液體受熱時在表面將揮發少量蒸氣，並與空氣混合，此時若有火源接近時將引燃液體表面附近之蒸氣而形成一閃即逝的閃火，能產生此種現象之最低溫度稱為閃火點或閃點，亦可稱為下閃點
- 在該一溫度下，液體表面揮發產生之蒸氣濃度恰為爆炸下限，火焰引燃後，表面附近之可燃蒸氣即因燃燒之化學反應而消耗，濃度降低至爆炸下限以下，無法繼續燃燒。

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

6

閃火點 (flash point) 2

- 若溫度升高至一定程度使揮發之蒸氣濃度恰為爆炸上限時，該一溫度則稱為上閃點。各種可燃性液體之閃火點因所使用儀器之不同，所得到之結果可能稍有差異，有時差異可達 10°C
- 閉杯式普遍用於常溫下液體閃點測定
- 部分可燃性液體之閃火點可經由計算而得到約略之數值。
- 閃火點以溫度表示，如：汽油之閃火點約為 -42°C ，閃火點愈低表示愈容易起火

燃點 (Combustion point, Fire point)

- 當環境溫度使液體表面蒸氣濃度可持續燃燒時(以開杯式閃點測定器，遇到火種即燃燒最少5秒鐘)的最低溫度稱為燃點，此溫度約較該物質之閃火點高約 $5\sim 20^{\circ}\text{C}$
- 閃點在 100°C 以下之物質，其燃點常與閃火點相當接近甚至相同，故在評估或表示某一物質之危險程度時，常用閃火點而較少用燃點

燃燒現象

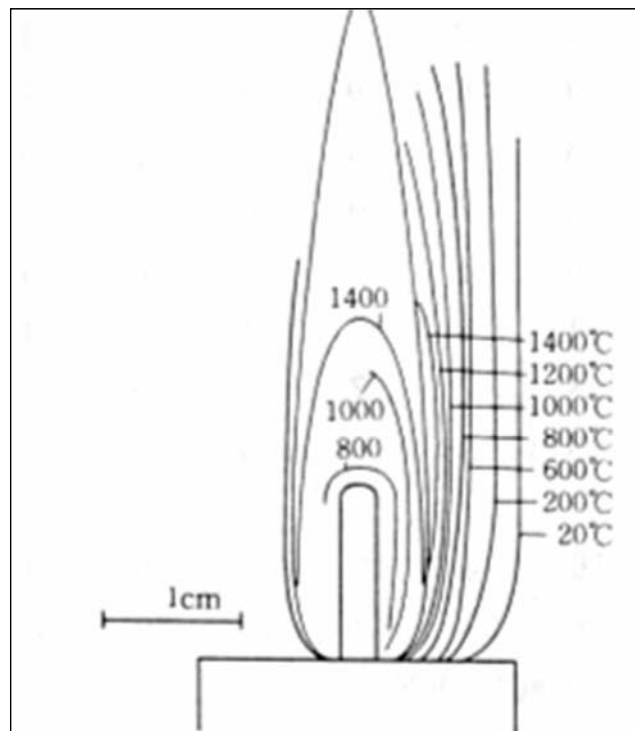
- 燃燒反應為高速發熱反應，通常伴有發光及發熱，此發光及發熱為可燃性物質及助燃性物質的化學反應所致火焰傳遞速度最高為10m/s

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

9

蠟燭火焰之溫度分佈



2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

10

發火點或發火溫度 (ignition point or temperature)

- 物質不自他處獲得火焰或電氣火花等火種引燃的情況下，可自行在空氣中維持燃燒的最低溫度，稱為該物質的發火溫度

最小著火能

- 使可燃性氣體或其混合氣體，或爆炸性的粉塵，著火燃燒爆炸的最低能量，稱為最小著火能。此能量由電器火花所產生的放電能量算出。其公式為：

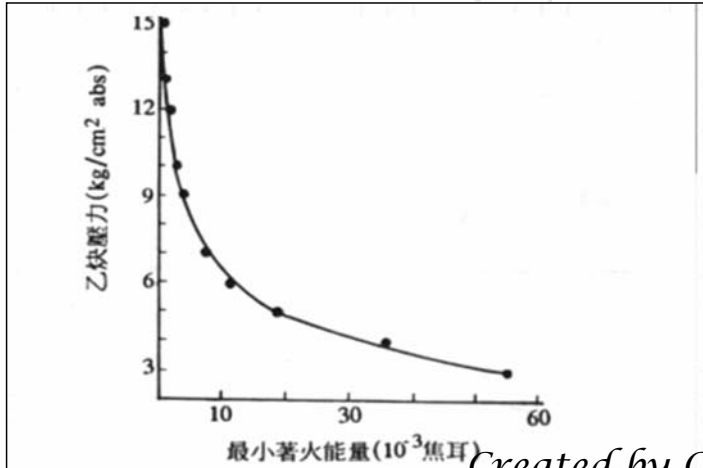
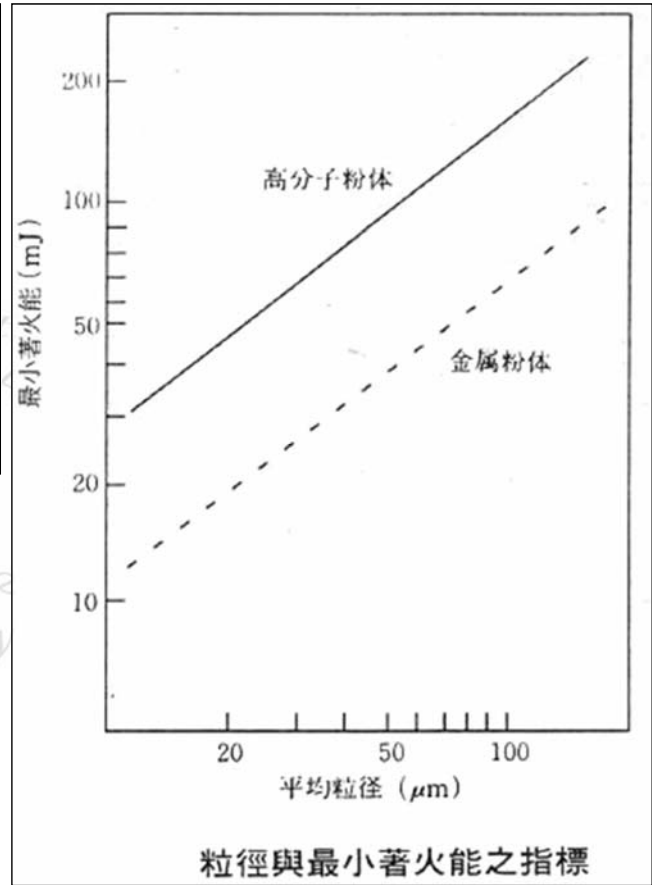
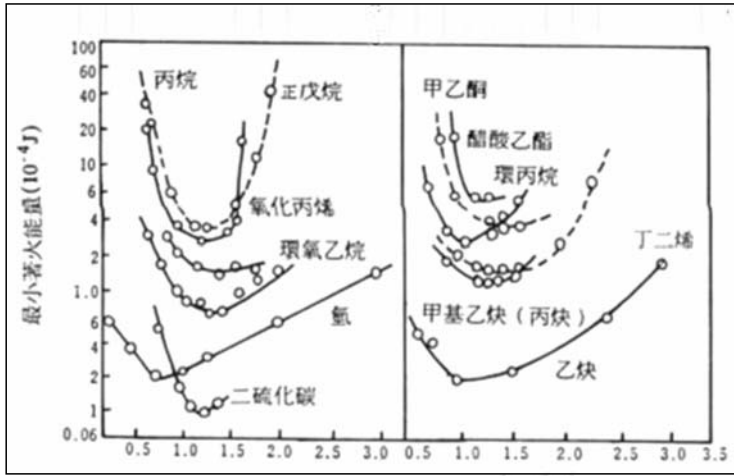
$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

E=放電能量，單位為焦耳 (joule)

C=電容量，單位為法拉弟 (farad)

V=電壓，單位為伏特 (volt)

- 最小著火能愈低者，愈具危險性。
- 一般而言，粉塵的最小著火能高於混合氣體



2016/3/9

Created by Chen, Jin-

13

導電性與燃燒熱

■ 導電性

- ◆ 引火性液體的導電性與靜電的累積有關。凡導電性低者，在管壁內流動或經過篩網，很容易累積靜電，而放出電弧火花

■ 燃燒熱

- ◆ 物質的燃燒熱愈大者，在火災爆炸的過程中，危害程度愈大

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

14

沸點與熔點(boiling point & melting point)

■ 沸點

- ◆ 引火性液體的沸點愈低，愈易蒸發，其閃火點也低，產生火災爆炸的可能性也較高

■ 熔點

- ◆ 可燃性的固體物，如石蠟、萘等易熔融的有機物，一遇火源，即形成液態，與可燃性液體一樣具有相同的危害

閃燃

- 在一密閉室內或隔間中，可燃物吸收足夠熱量而釋出大量易燃氣態物時，在獲得氧氣處於燃燒範圍下，會突然發出吞沒式的火焰而遍及該空間
- 閃燃係指火災自成長期進入擴大期之短暫現象

煙囪效應

- 密閉空間內的燃燒往往因為空間氧氣不足，火勢會慢慢減緩，最後便可能會自動地熄滅。若密閉空間變開放空間後，因增加空氣的對流，有充分的氧氣及風勢，便會助長火勢，如同煙囪向上釋放熱能

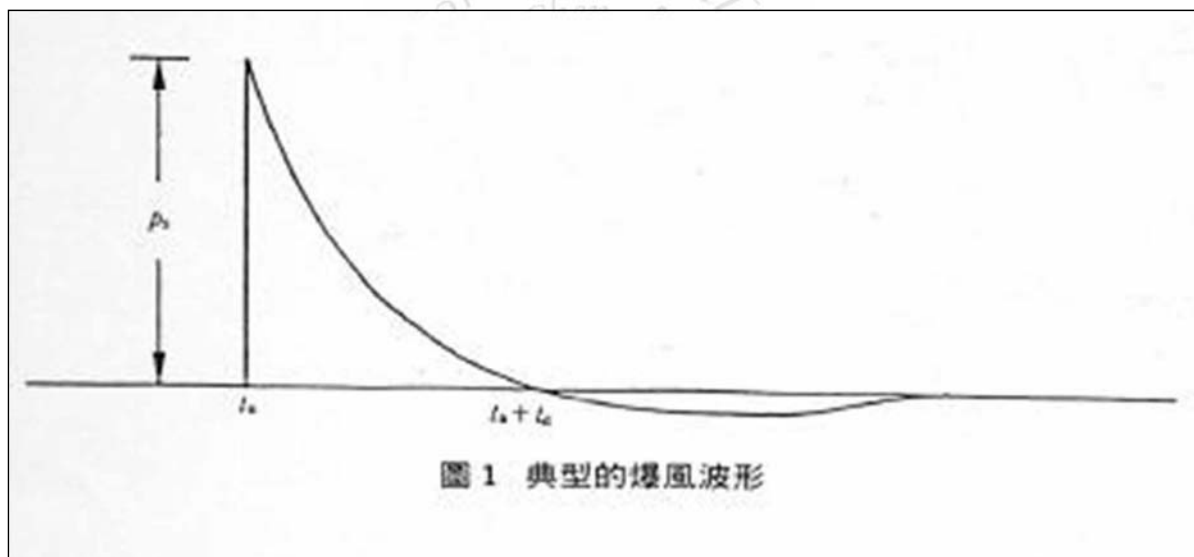


2016/3/9

17

爆風

- 因爆炸產生之氣體高速膨脹而發生高速氣流，並發生衝擊波，將其生成氣體之高速膨脹，因而造成周邊空氣流動及向周圍傳播之衝擊波稱爆風



2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

18

火災概論

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

19

火災的形成1

- 可燃物與氧氣混和後，自外在環境接受能量而開始燃燒
- 起火燃燒必須具備條件：燃料(可燃物或易燃物)、氧氣(氧化劑或氧化物)、火源(明火、電弧或熱能)等
- 前述條件必須同時存在，火災燃燒才會發生
- 在不受外界其他因素影響下，燃燒面積與燃燒時間的平方成正比

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

20

火災的形成1

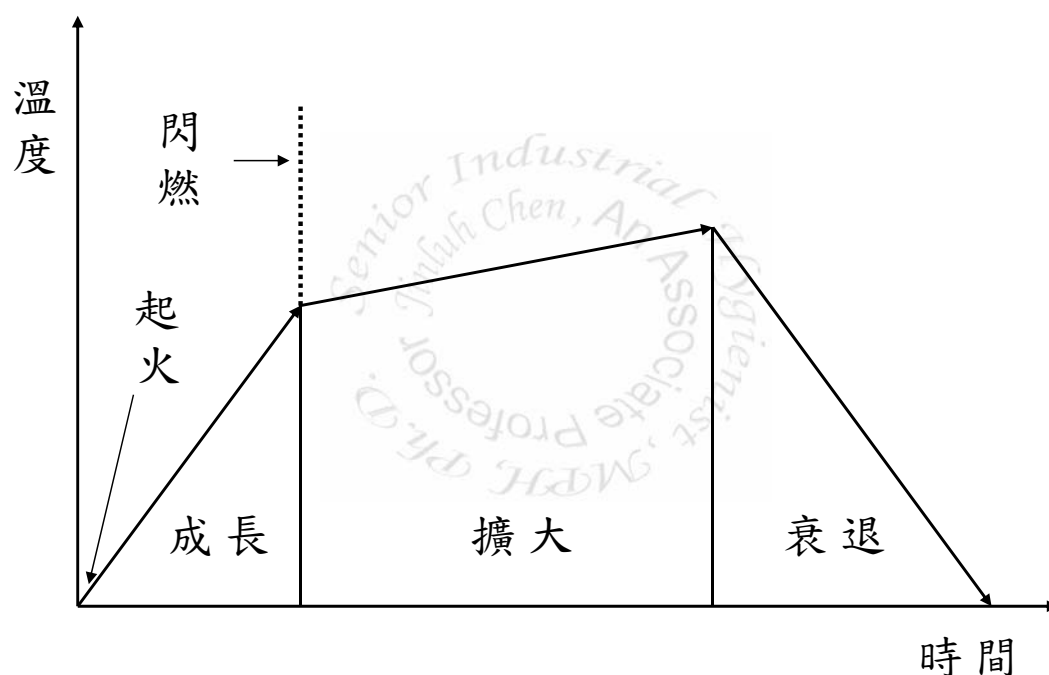
- 火勢的大小與燃燒方式及燃燒速率有關，如燃燒反應前可燃物分子與氧分子充分混合時，則會增加燃燒速率，若混合不完全時；分子間的擴散及混合程序往往可成為限制燃燒反應進行之主要參數
- 任何一種燃燒最重要的部分就是熱傳遞（Heat Transfer），這是對於燃料是否能夠繼續燃燒及燃燒範圍的影響是非常重要的
- 在所有燃燒現象中燃燒物質所釋放出氣態產物之熱量最大，而且在火源周圍的空氣也會同時受熱此乃熱能擴散和對流的速度相當快速的原因所造成之現象

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

21

火災歷程



2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

22

火災歷程

1. 起火 initial fire
2. 成長 fire build-up
3. 閃燃 flashover
4. 最盛期 fully developed fire
5. 擴大或衰退 fire propagation or delay

影響火災劇度之因素

- 可燃物之總量
- 燃燒物之有效表面積
- 氧氣之供給
- 火災之擴展-傳導、對流、輻射熱交換

著火三階段

1. 可燃性基質受到預熱，發生足量可燃性蒸汽及氣體
2. 蒸汽及氣體與氧化劑在氣相中混合
3. 產生自動加速性的氧化反應之充分高溫，或因有母火將混合氣之一部分加熱至火焰溫度而著火

物質燃燒之型式

- 擴散燃燒
- 蒸發燃燒
- 分解燃燒
- 表面燃燒
- 通常只有元素無須經過分解，可燃物均需經過分解後再氧化燃燒

火災之分類1

■ 固態物質火災-- A類

- ◆ 固態物質之火災係指可燃物質為固體之火災。
- ◆ 固體之燃燒必需將物質給予火源加熱至燃點，加熱係促使其發生化學分解並釋出易燃性氣體，火源係給予其發生燃燒連鎖反應之初始能量。
- ◆ 當固體表面之氣體被點燃後，即可對固體本身繼續加熱，促使釋出更多可燃氣體，遂增加燃燒之劇烈程度及燃燒速率。

火災之分類2

■ 易燃物質火災-- B類

- ◆ 易燃物質火災可分為液體易燃物質火災及氣體易燃物質火災，液體火災中較常見者為油類火災，液態物質若於開口容器內發生火災時，較易處理，但若容器破裂時將因燃燒液體之流動而可能導致難以收拾之後果，故一般而言液體火災之破壞力較固體火災為大。
- ◆ 液體於燃燒時與固體相似，需先於表面揮發產生一層可燃性氣體，該氣體接觸火源後即引燃。在一般之情況下，液體揮發為氣體較固體受熱產生氣體容易，因此液體也較固體容易引燃。
- ◆ 可燃氣體本身極易燃燒，且易於散布延燒。如氣源為小型容器時，可藉由關閉容器閥門而滅火，但氣體若已擴散或已延燒時則常可能產生爆炸等極具破壞力之後果。

火災之分類3

■ 電氣火災—C類

- ◆據美國工廠聯合防火保險公司(Factory Mutual Engineering Corporation)對25000次工業火災之統計，電氣火災佔23%，為第一位
- ◆電氣火災主要由於電氣設備之設計、選用、安裝、操作、維護等發生缺失，導致短路、過負載、接觸不良、漏電等問題，進而產生高熱、火花引燃可燃物品
- ◆發生問題之線路若位於較不明顯處所時，可能長時間緩慢積蓄熱量而發火。

火災之分類4

■ 金屬火災—D類

- ◆金屬在大塊之情形下極不易燃，但為粉末、鑽屑、鋸屑之情形下，則因受熱時溫度較易升高，且與空氣接觸面大而易於燃燒
- ◆多數金屬約需 500°C 以上方能點燃，但若干活性較大之金屬則可於相當低之溫度下被點燃，例如鋰、鈉等。
- ◆以粉末型式存在時，將更易點燃，有時金屬粉末本身會緩慢氧化而生熱，熱量無法排出時會因熱量之積蓄而導致自然發火
- ◆若干金屬除本身易燃燒外，尚會與水反應生成氧化物與氫氣以及反應熱，產生之氫氣常會因伴隨之反應熱而引燃。因此鎂、鋁等金屬粉末置於高溼度之空氣中時相當危險

引火源原因及比例

引火源原因	佔引燃之比例 (%)
電氣火花 (Electrical Sparks)	23%
吸煙 (Smoking)	18%
機械摩擦 (Mechanical Friction)	10%
過熱物質 (Overheated Materials)	8%
明火 (Burner Flames)	7%
燃燒火花 (Combustion Sparks)	7%
熱表面 (Hot Surfaces)	7%
切割與焊接 (Cutting and Welding)	4%
自然發火 (Spontaneous Ignition)	4%
熱輻射 (Heat Radiation)	3%
縱火 (Incendiarism)	3%
靜電 (Static Sparks)	1%
熔融物質 (Molten Substances)	1%
閃電 (Lightning)	1%

2016/3/9

31

火災的危害

1. 煙的危害
2. 毒性氣體危害
3. 缺氧危害
4. 熱危害

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

32

煙的危害

- 眼睛、呼吸器官黏膜損傷、呼吸道灼傷
- 80%傷亡係吸入火場煙霧所致
- 定義：材料燃燒或熱分解時所釋出散播於空氣之固液態微粒及氣體(ASTM E 176)
- 煙的生成量(M, kg/sec)火焰周圍長度(m)及上生熱氣柱高度(m)之關係

$$M = 0.1188PY^{\frac{3}{2}}$$

煙及毒性氣體的危害

- 煙的毒性
 - ◆ 氧氣濃度降低造成缺氧
 - ◆ 完全燃燒生成物少：CO₂、H₂O、NO₂、SO₂、P₂O₅、HX
 - ◆ 不完全燃燒尚可能產生：CO、有機酸、碳氫化合物、酮類、醛類、PAH's、焦油、碳煙等
 - ◆ 危害包括：窒息昏迷、眼及呼吸器官刺激、化學性缺氧及中毒

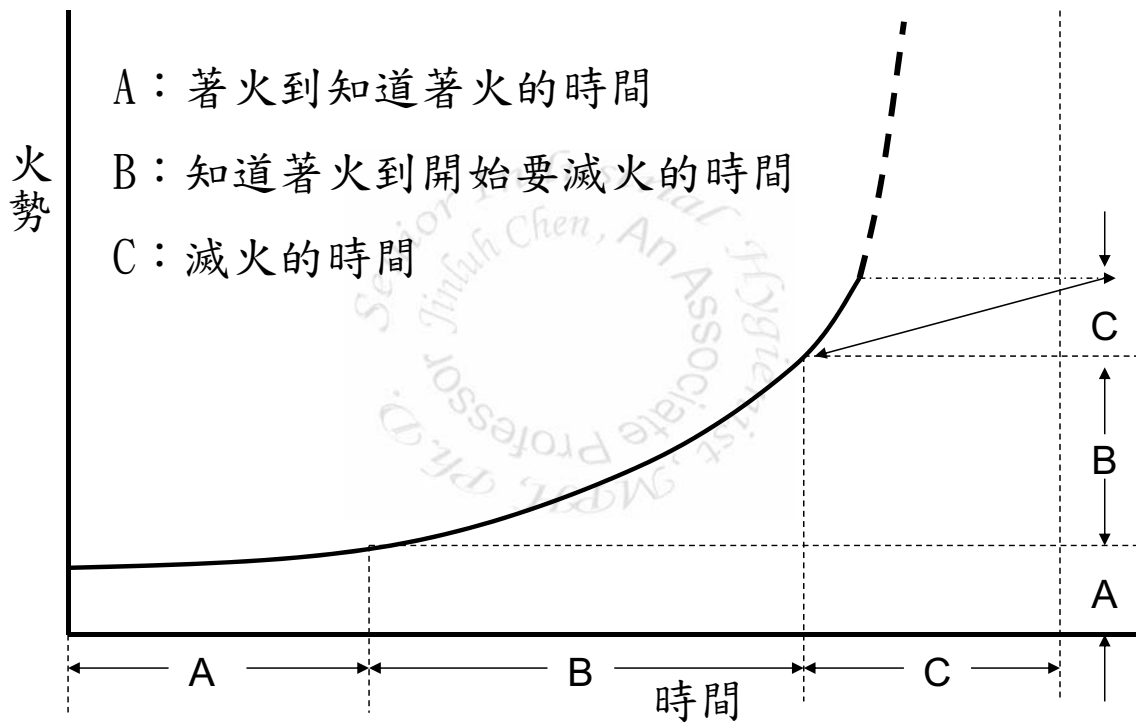
熱危害

- 人體皮膚在 66°C 以上或熱輻射 $3\text{W}/\text{m}^2$ 一秒鐘造成灼傷
- 人體之生存極限呼吸其呼吸極限溫度約 131°C

燃燒原理與滅火方法

Fire pyramid theory	滅火方法
燃料	隔離
溫度(熱能)	冷卻
氧(氧化劑)	窒息
連鎖反應	抑制自由基

滅火與反應時間



氣體安全基礎物學

氣體的性質1

■ Le System International d'Unit's 1960年國際度量衡大會公佈的國際單位系統

質量	公斤	Kg	國際度量衡局在法國Sevres保存之Pt-Ir合金柱訂為一仟克。
長度	公尺	m	真空中 ^{86}Kr 所放射橙色光譜波長的1,650,763.73*倍。
時間	秒	s	與 ^{133}Ce 原子內某一特定量子轉移週期的9,192,631.770*倍的相同時間。
熱力學溫度	克爾文	K	純水在其三相點規定為273.16*K，以0 K為絕對零度
物質質量	莫耳	mol	與 ^{12}C 0.012*Kg相等之原子數之基本實體 (elementary entities)所構成之物質質量。
電流	安培	A	在自由空間通電於相距1m之二長且平行之導線，二導線在每m長度間之作用力為 $2 \times 10^{-7}\text{N}$ 時之電流量。
亮度 (光通量密度 (candel))	燭光 a)	cd	一大氣壓[101,325N/m ² (Pa)]下白金(Pt)黑體於凝固點溫度時在1/600,000m ² (1/60 cm ²)表面積之垂直方向亮度

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

39

氣體的性質2

■理想氣體的性質

1. 分子相互間引力小至可以忽略—低分子量
2. 分子本身體積小至可以忽略—小分子團
3. 分子可以自由在空間中運動—足夠動能

◆ 實際氣體在高溫低壓下視為理想氣體

■波以耳定律

$$P_T \times V_T = \text{constant}$$

■查理定律

$$V_p / T_p = \text{constant}$$

■亞佛加厥定律

$$PV = nRT = w/M (RT) \quad R = 0.08205 (\text{atm-L/mol-k})$$

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

40

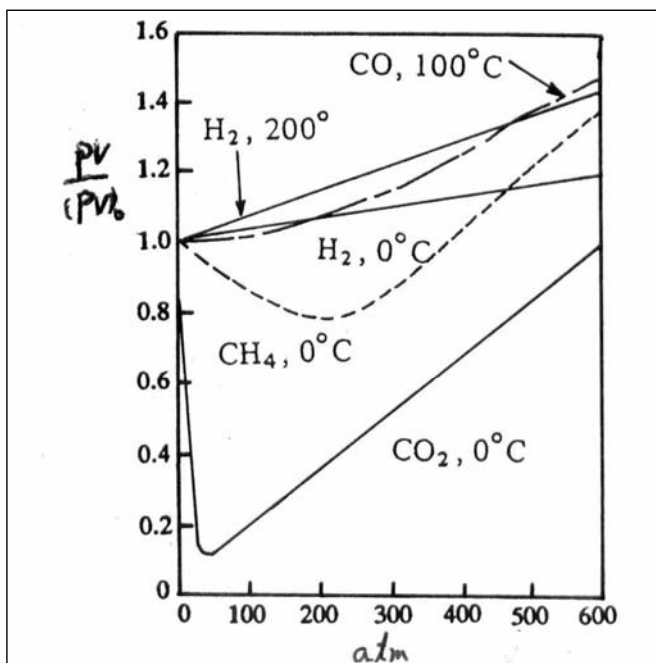
氣體的性質3

- 實際氣體 (下頁左圖)
- 臨界溫度 (下頁右圖曲線 T_c)
 - ◆ 能將氣體液化所允許的最高溫度
- 臨界壓力 (點 P_c)
 - ◆ 在臨界溫度時，能將氣體液化所需的最小壓力
- 絕熱壓縮與絕熱膨脹

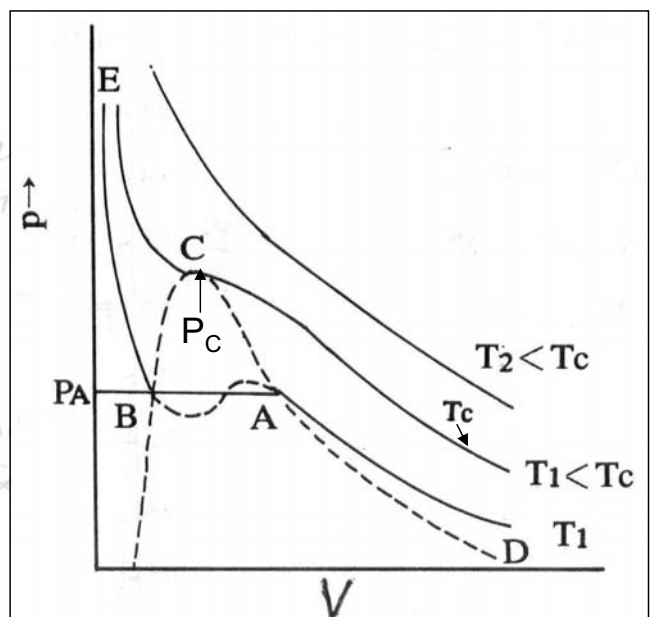
$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{where: } \gamma_{Air} = 1.4$$

例：空氣 $T_1 = 15^\circ\text{C}$ (288K), $P_1 = 1\text{kg/cm}^2$, 當 $P_2 = 100\text{kg/cm}^2$, 時
 $\Rightarrow T_2 = 1068\text{K}$

氣體的性質4



實際氣體 (pv) 理想氣體 (pv)₀ 間之偏差



實際氣體之 PVT 關係圖

熱傳遞

火災爆炸中質傳及熱傳

- 在熱傳學中的三定律
 - ◆ 傅立葉定律 (Fourier's Law)
 - ◆ 史蒂芬·波茲曼輻射定律 (Stefan-Boltzmann Law of Radiation)
 - ◆ 牛頓冷卻定律 (Newton's Cooling Law)
- 此三定律正可解釋在火災爆炸中質傳及熱傳之現象，且其理論及公式亦可作為火災爆炸防制之基礎理念。

Fourier's Law

- 當一物質在火災燃燒時有溫度區間存在，熱能會由高溫區傳送至低溫區，此種能量傳遞之現象稱之為熱傳導。

$$\frac{q}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta n}$$

A=等溫表面之面積 (m²)

q =單位時間內垂直通過表面的熱量 (J/s 或 W)

n=垂直於表面之距離 (m)

$\Delta T/\Delta n$ =熱流動方向的溫度梯度 (K/m)

k= 材料的熱傳導度 (W/m·K)

Created by Chen, Jin-Luh

2016/3/9

45

熱傳導係數對於火的影響

- 熱傳導是藉由分子運動的效應來傳遞熱能，因此在燃燒時並需與震動的分
子直接接觸才會產生傳遞的效應。
- 在火災燃燒發生時，熱傳導係數對於火的擴散和影響有很重要的關係，因為它不僅是燃燒的要素之一(熱能必須經由火焰傳播到燃料開始燃燒)，並且可顯現出燃燒發生時所將造成損害的嚴重程度。

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

46

常見物質之熱傳導度 (W/m · K)

物質名稱	溫度°C	熱傳導度	溫度°C	熱傳導度
空氣	0	0.0242	100	0.0317
氫氣	0	0.1730	100	0.2233
甲烷	0	0.0303	100	0.0372
正丙烷	0	0.0135	100	0.0234
正己烷	0	0.0125	100	0.0138
水	0	0.5940	100	0.6800
金屬鋁	0	203	100	206
銅	0	377	100	388
石綿板	0	0.1510	100	0.1920

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

47

Stefan-Boltzmann Law of Radiation

- 火災燃燒時，熱傳導及熱對流之能量必須經由界質傳遞，但熱輻射可以在完全真空的狀態下不需要介質傳遞時，謂之理想熱輻射傳遞，二巨大面間之輻射傳遞如下：

$$R = \varepsilon \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

ε ：輻射係數

σ ：史蒂芬-波茲曼常數, 1.798×10^{-8} (W/m² · K⁴)

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

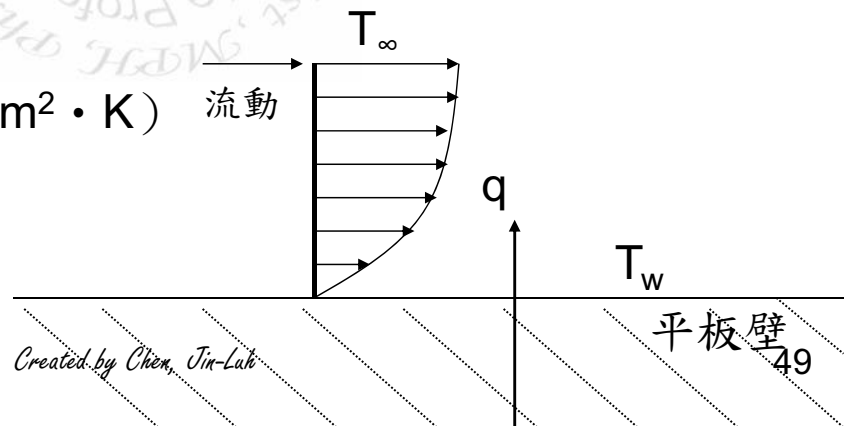
48

Newton's Cooling Law

- 火場中燃燒區域之溫度為 T_w ，流體之溫度為 T_∞ ，因流體具有黏滯性，使靠近區域介面之速度幾乎為零，故其熱傳遞方式屬於熱對流。熱對流之熱通量會與燃燒介面及熱流體的溫度差成正比，亦如下列所示：

$$\frac{q}{A} = h\Delta T = h(T_w - T_\infty)$$

h = 熱傳導係數 ($W/m^2 \cdot K$)



2016/3/9

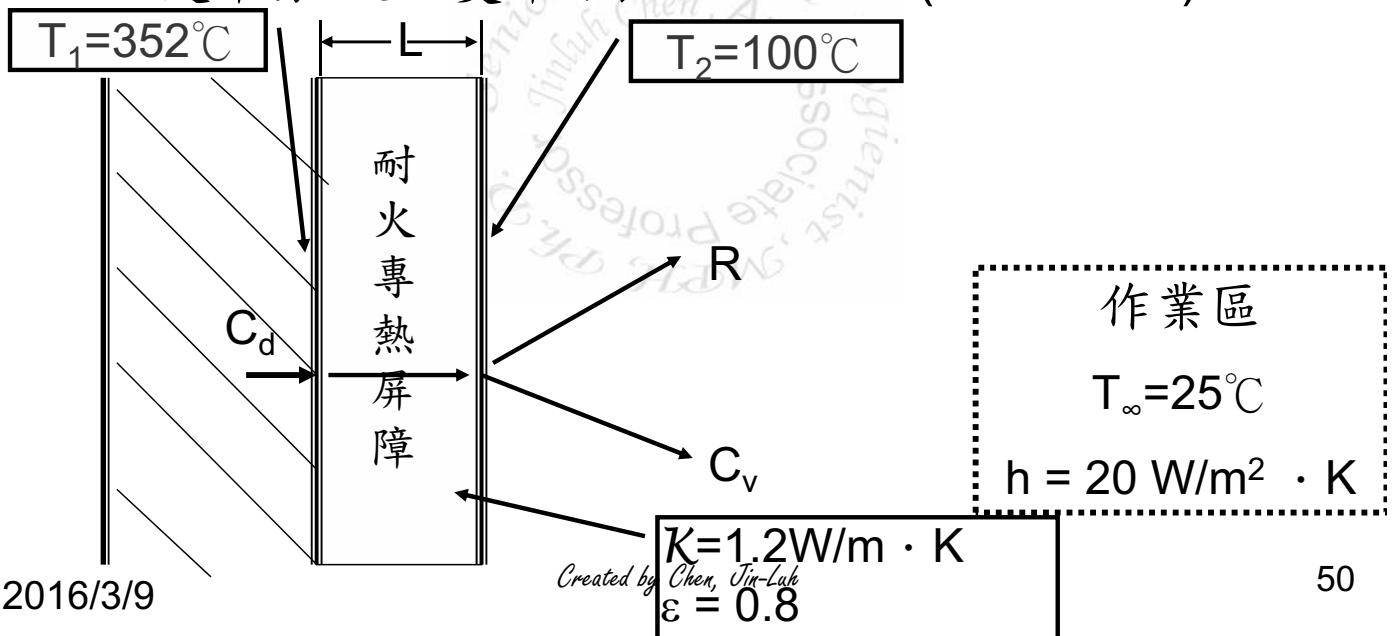
Created by Chen, Jin-Luh

49

熱傳遞計算例

ε : 輻射係數

σ : 史蒂芬-波茲曼常數, $1.798 \times 10^{-8} (W/m^2 \cdot K^4)$



2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

50

熱傳遞計算例

ex：上圖欲使內牆溫度 352°C 傳導至外牆時為 100°C ，計算耐火磚厚度=? cm

sol: $q_{\text{cond}} = q_{\text{conv}} + R$ (熱平衡之假設)

$T_1=352+273=625\text{K}, T_2=100+273=373\text{K}, T_{\infty}=298\text{K}$

NFPA閃點分類

■ 液體閉杯式閃點低於 100°F (37.8°C)時歸類為易燃液體

類級別	F_p & B_p 條件
Class I A	$F_p < 73^{\circ}\text{F}$ (22.8°C) \cap $B_p < 100^{\circ}\text{F}$
Class I B	$F_p < 73^{\circ}\text{F}$ (22.8°C) \cap $B_p \geq 100^{\circ}\text{F}$
Class I C	$73^{\circ}\text{F} \leq F_p < 100^{\circ}\text{F}$ (37.8°C)
Class II	$100^{\circ}\text{F} \leq F_p < 140^{\circ}\text{F}$ (60°C)
Class III A	$140^{\circ}\text{F} \leq F_p < 200^{\circ}\text{F}$ (93°C)
Class III B	$F_p \geq 200^{\circ}\text{F}$ (93°C)

氣體燃燒速度

- 元素氣體分子只需受熱、氧化；NG、LPG、乙炔等需經過受熱、分解、氧化，因此元素氣體分子燃燒速度較快
- 擴散燃燒：擴散速度快者(通常分子量較低)燃燒速度較快
- 混合燃燒：化學反應速度快者燃燒速度較快
- 通常混合燃燒速度高於擴散燃燒
- 氣體的燃燒速度常以火焰傳播速度表達
- 火焰傳播速度隨管道直徑增加而增加
- 火焰傳播速度向上 > 水平 > 向下

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

53

火焰傳播速度 (m/s) 在 $\Phi=10$ inch 管中

氣體種類	最大火焰傳播速度	空氣中百分比% _(v/v)	氣體種類	最大火焰傳播速度	空氣中百分比% _(v/v)
氫	4.83	38.5	丁烷	0.82	3.6
一氧化碳	1.25	45	乙烯	1.42	7.1
甲烷	0.67	9.8	煉焦煤氣	1.70	17
乙烷	0.85	6.5	焦炭發生煤氣	0.73	48.5
丙烷	0.82	4.6	水煤氣	3.1	43

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

54

液體燃燒速度

■ 液體燃燒的速度取決於液體的蒸發速度

- ◆ 燃燒的重量速度— $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$
- ◆ 燃燒的直線速度— 每小時燒去的液位高度(cm/hr)
- ◆ 初溫高燃燒的速度快
- ◆ 低液位燃燒的速度快
- ◆ 不含水分的燃燒的速度快

■ 液體燃燒是蒸發燃燒

固體燃燒速度

■ 固體燃燒形式有蒸發燃燒、分解燃燒、表面燃燒等方式

■ 同一固體燃燒的速度取決於比表面積

■ 不同種類固體燃燒的速度與是否需經過熔化或分解、蒸發或氣化、分解及氧化有關(如木材、萘與硫燃燒方式之比較)

■ 具不穩定官能機之有機化合物燃燒較快(如硝機化合物、硝酸酯類)

燃燒熱值與火焰溫度

理論燃燒溫度 = $\frac{\text{燃燒之發熱量淨值}}{\text{燃燒生成物之量} \times \text{燃燒生成物平均比熱}}$

- 高熱值：單位質量燃料完全燃燒，生成水蒸氣完全冷凝成水所放出之熱量
- 低熱值：單位質量燃料完全燃燒，生成的水蒸氣不冷凝成水所放出之熱量

爆炸概論

爆炸的形成1

- 爆炸係指在某一空間或狀態下，其物理能與化學能急遽轉變的一種過程，而在此一過程中系統內在位能急遽轉換為動能、機械能、光及熱輻射
- 爆炸亦可以說是一種極為迅速的物理或化學能量釋放過程。

爆炸的形成2

- 物理性爆炸現象是物質本身發生劇烈之變化，而物質其分子架構在爆炸反應前後均未發生改變。
- 化學性爆炸則為物質發生急速之化學反應，並產生高溫高壓所引起之爆炸現象
- 爆炸是劇烈的物化變化，伴隨著光、熱、壓力之產生，造成爆炸區域內解離及缺氧之狀況，故有很大破壞作用。

爆炸的形成3

- 爆炸所造成之破壞作用與物質特性、數量、位置及爆炸參數有關，主要之破壞形式有：爆炸沖擊波、火災、飛濺碎片、震盪效應、毒氣外洩...等。
- 爆炸效應：在爆炸區域內，空氣壓力會隨時間產生快速的變化，壓力突然遽增而後又降低，反覆循環數次而衰退，使爆炸時因高溫高壓形成之產物對周遭的物體產生變形、壓縮、破壞及飛散之有害效應

爆炸種類—依性質區分

- 物理性爆炸（高壓容器洩漏、水蒸氣爆炸....）
- 化學性爆炸（易燃性化學品爆炸、霧滴或蒸氣爆炸、粉塵爆炸、失控反應爆炸、可易性氣體爆炸....）
- 物理化學性爆炸（沸騰液體膨脹蒸氣雲爆炸BLEVE...）
- 核爆炸

爆炸種類—依爆炸速度區分

■ 輕爆 —

- ◆ 爆炸波傳播速度每秒數十公分～數公尺

■ 爆炸

- ◆ 爆炸波傳播速度每秒數十公尺～數百公尺

■ 爆轟

- ◆ 爆炸波傳播速度每秒一千公尺～數千公尺

爆炸種類—依反應相區分

■ 氣相爆炸 —

- ◆ 可燃性氣體混合物爆炸：氣體、蒸氣
- ◆ 氣體熱分解爆炸：乙炔、乙烯、疊氮化鉛
- ◆ 可燃性粉塵爆炸：鎂、鋁、鈦、硫、麥粉、煤
- ◆ 可燃性液體霧滴爆炸：例如液壓油噴出霧化
- ◆ 可燃性蒸氣雲爆炸：可燃液體大量洩漏產生蒸氣雲與空氣混合，再遇火源引爆

■ 凝相爆炸 —

- ◆ 液相爆炸：聚合爆炸、水蒸氣爆炸、異類液體混合爆炸
- ◆ 固相爆炸：固體火藥爆炸

粉塵爆炸

1. 燃燒時間長，釋放能量大，破壞力大
2. 因為最初爆炸而揚起周圍粉塵，引起接二連三爆炸
3. 最小著火能較氣體爆炸大
4. 易引起不完全燃燒，故有機粉塵爆炸會生成大量一氧化碳
5. 爆炸時粒子一面燃燒一面飛散

丙二酚粉塵係屬易燃物質，粉塵散布於空間，濃度達 19.7 g/m^3 ，即具備粉塵爆炸可燃物條件。而內裝丙二酚之包裝袋於靜止狀態時，其靜電位即高達 $7-10 \text{ KV}$ ，如經由高速摩擦包裝袋，即已超出其安全作業標準 10 KV ，即可能產生靜電火花，引起粉塵爆炸

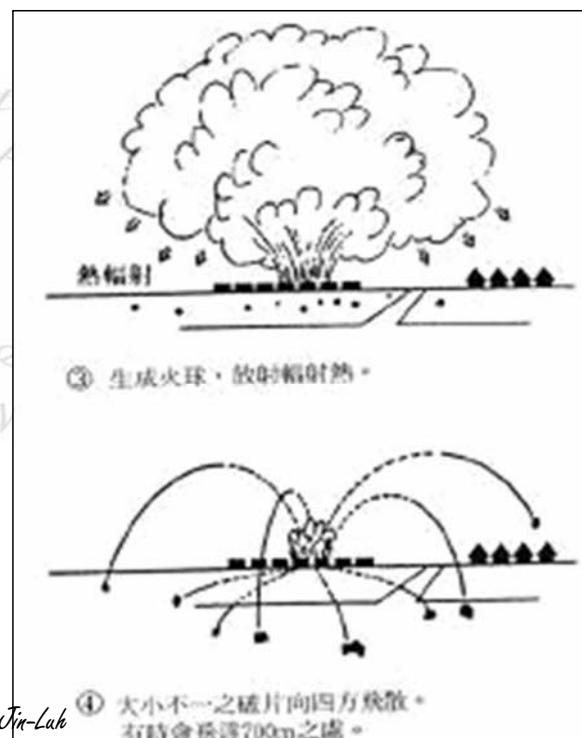
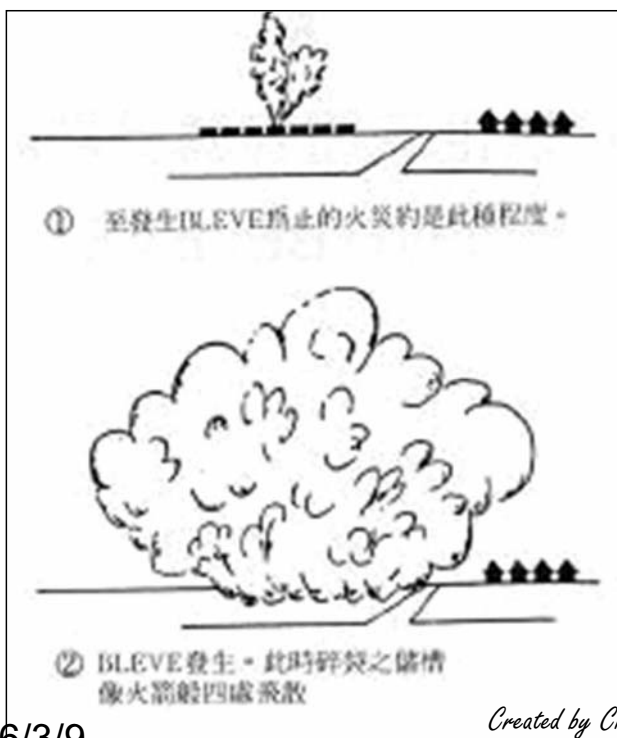


生產線抽氣風管金屬氣管外之塑膠片上鎂鋁粉塵開始燃燒，燃燒粉塵經過風管管線進入集塵器內，引起浮游於集塵器內粉塵發生塵爆。檢視其工作流程，拋光過程會產生粒徑小於 100 um 粒子，（該粒徑以下，才能作拋光之用，且該粉塵可作為一種固體推進劑）極容易爆炸。其最嚴重爆炸事件如下：



BLEVE (Boiling liquid expanding vapor explosion)

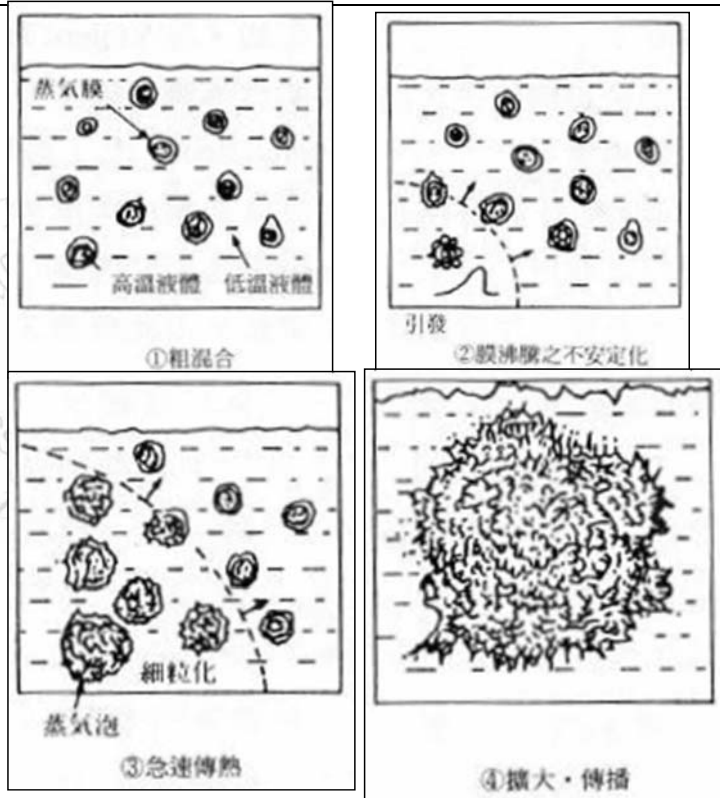
■ 將沸騰狀態的液化氣體氣化膨脹而爆炸現象



水蒸氣爆炸

■ 液體呈現過熱狀態，發生爆炸性沸騰現象

- ◆ 熔融金屬與水接觸
- ◆ 熔融鹽與水接觸
- ◆ 高溫之油與水接觸
- ◆ 低溫液化氣體與水接觸



2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

67



操作滑輪式熔鐵鐵桶，內裝有一千多度的熔鐵約六百公斤，可能因操作不慎或機械故障，鐵桶內熔融鐵傾覆至坑內，碰及積水，引起約203公斤水急速膨脹1700倍，產生345立方公尺水蒸汽。該水蒸汽沸騰爆炸，產生約4psi之衝擊壓，使坑壁倒塌

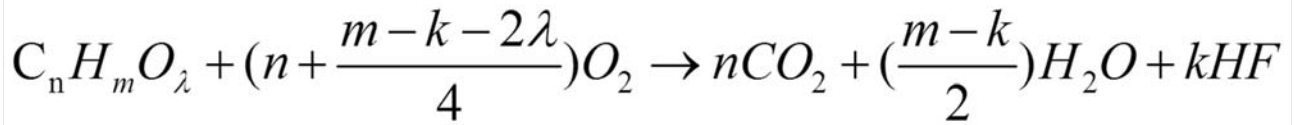


1000 Kg熔融鋁可使351公斤水突沸，產生598立方公尺水蒸汽。該水蒸汽沸騰爆炸，產生之衝擊壓

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

氣體蒸氣爆炸之理論氧量



$$C_{st} = \frac{100}{1 + 4.773\left(n + \frac{m - k - 2\lambda}{4}\right)} \%_{(v/v)}$$

n：碳原子數；m：氫原子數；λ：氧原子數；k：
鹵素原子數(無鹵素時為0)

C_{st} 稱為量論混合比(%)

量論混合比之應用

■ Spakowski指出：石油烴類25°C時

$$LEL_{25} \doteq 0.55 C_{st}$$

$$UEL = 6.5(LEL)^{1/2}$$

■ Zabetakis指出對於cool flame：

$$UEL_{25} = 4.8(C_{st})^{1/2}$$

例：C₄H₁₀計算之C_{st} = 3.24% (實驗值3.12%)

$$LEL_{25} \doteq 0.55 \times 3.24\% = 1.78\% \text{ (實驗值1.8\%)}$$

$$UEL = 6.5(1.78\%)^{1/2} = 8.67\% \text{ (實驗值8.4\%)}$$

$$UEL_{25} = 4.8 \times (3.24\%)^{1/2} = 8.64\%$$

練習題

$$C_{st} = \frac{100}{1 + 4.773(n + \frac{m-k-2\lambda}{4})} \% (v/v)$$

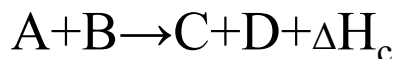
- 丁酮分子式為 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$ ，爆炸範圍實測值為1.9%~10.0%，請回答及計算下列二問題。
 1. 寫出丁酮蒸氣在空氣中完全燃燒的氧化方程式。(6%)
 2. 計算丁酮蒸氣之量論混合比(C_{st})(在空氣中完全燃燒所需之濃度百分比)。(6%)
 3. 推算丁酮之爆炸界限下限及上限各為多少%。(8%)
- 異丁烷 $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ 之爆炸範圍為1.8%~8.4%，回答及計算關於異丁烷同上題之各小題問題

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

71

爆炸下限與燃燒熱之關係



A、B=反應物； C、D=生成物； ΔH_c =反應(燃燒)熱(kcal/mol)

E = 活化能(kcal/mol)； a=活化機率

在爆炸界限時：

$$\alpha(1 + \frac{\Delta H_c}{E}) = 1 \quad \text{設LEL與反應機率}\alpha\text{成正比}$$

$$\Rightarrow \alpha = k \cdot \text{LEL} \Rightarrow \frac{1}{\text{LEL}} = k(1 + \frac{\Delta H_c}{E})$$

$$\text{當}\Delta H_c \gg E\text{時} \Rightarrow \frac{1}{\text{LEL}} = k \frac{\Delta H_c}{E}$$

如各不同氣體的活化能變化不大，則：

$$\text{LEL} \times \Delta H_c = k \text{ (constant)}$$

除甲烷之外，石油烴之k值乘積在1000~1200間

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

72

氧平衡和氧係數

- 氧平衡(O_{eq})：爆炸物中的氧用來完全氧化其本身可燃元素後，所多餘或不足的氧(% w/w)
- 氧係數(A)：爆炸物分子被氧飽和的程度，即爆炸物所含氧量與其完全氧化所需氧量的百分比

令爆炸物組成為 $C_a H_b O_c N_d$

$$O_{eq} = \frac{[c - (2a + \frac{b}{2})] \times 16}{M}$$

$$A = \frac{c}{2a + \frac{b}{2}}$$

- 正氧平衡：分子中所含的氧可完全氧化可燃元素，並有剩餘

$$c - (2a + \frac{b}{2}) > 0$$

- 零氧平衡：分子中所含的氧剛好可完全氧化可燃元素，沒有剩餘

$$c - (2a + \frac{b}{2}) = 0$$

- 負氧平衡：分子中所含的氧不足以完全氧化可燃元素

$$c - (2a + \frac{b}{2}) < 0$$

例：硝化甘油 $C_3H_5(ONO_2)_3$ 或 $C_3H_5O_9N_3$
氧平衡

$$O_{eq} = \frac{[c - (2a + \frac{b}{2})] \times 16}{M} = \frac{[9 - (2 \times 3 + \frac{5}{2})] \times 16}{227}$$
$$= 3.5\% \quad (0.035g / g \text{ 爆炸物})$$

例：TNT $C_7H_5O_6N_3$ 的氧係數

$$A = \frac{c}{2a + \frac{b}{2}} = \frac{6}{2 \times 7 + \frac{5}{2}} \times 100\% = \frac{6}{16.5} \times 100\% = 36.36\%$$

爆炸變化方程式理論確定法

■ 第一類爆炸物

$$2a + \frac{b}{2} \leq c \quad , \text{ 為正氧平衡和零氧平衡}$$

■ 第二類爆炸物

$$2a + \frac{b}{2} > c \geq a + \frac{b}{2} \quad , \text{ 為負氧平衡}$$

■ 第三類爆炸物

$$a + \frac{b}{2} > c \quad , \text{ 為負氧平衡}$$

影響爆炸界限的因素

1. Initial temperature
2. Initial pressure
3. Inert or foreign materials
4. Diameter of Test tube or Vessels
5. Type、surface area、time duration of Energy
6. Spread of flame direction

Initial temperature

- 起始溫度越高爆炸範圍越大，即爆炸下限越低，爆炸上限越高。如：Acetone

溫度	0°C	50°C	100°C
爆炸範圍%	4.2~8.0	4.0~9.8	3.2~10.0

- Zabetakis修正之Burgess-Wheeler law

$$L_t = [1 - 0.00721 (t - 25)] \times LEL_{25}$$

L_t 為爆炸之起始溫度

Initial pressure

- 起始壓力大縮短分子間距離，因碰撞機率增加而擴大爆炸範圍
- 已知可燃性氣體中僅CO會隨壓力升高縮小爆炸範圍
- 爆炸臨界壓力
 - ◆ 壓力降低時爆炸範圍縮小，當壓力低至爆炸上限與爆炸下限重合時時稱之。低於爆炸臨界壓力之系統不會發生爆炸

Inert or foreign materials

- 添加惰性氣體爆炸範圍縮小，添加至某值，混合氣體即不發生爆炸
- 依氫、氮、水蒸氣、煙道廢氣、二氧化碳、氟氣烷之順序減少爆炸範圍
- 對於會分解爆炸之氣體(如EO)添加二氧化碳或氮氣量不足時反會增加爆炸壓力

Diameter of Test tube or Vessels

- 爆炸實驗用之容器管徑越小，測得之爆炸範圍越窄，(標準裝置內徑為5cm) 但測乙炔、乙烯之上限及測鹵化烷、氨等則不適當
- 氫和氟在玻璃器皿中，即使在空氣液化溫度下，放置於黑暗中也會產生爆炸

Energy

- 火源的能量、熱表面面積、與火源接觸時間對爆炸界限均有影響
- 由著火能量大小所決定的爆炸界限(如1 mJ電流火花使甲烷-空氣混合氣之爆炸範圍在6~11.5%間) 稱為著火界限

Spread of flame direction

- 爆炸範圍之大小以傳播方向比較：
向上 > 水平 > 向下
- 為安全之目的，測定爆炸界限時均採用在垂直管下端點火的方式

混合氣體之爆炸界限1

$$\frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} + \dots + \frac{V_n}{L_n} = \frac{1}{L_{mix}}$$

or

$$L_{mix} = \frac{100}{\frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} + \dots + \frac{V_n}{L_n}}$$

L_{mix} = 混合氣體之爆炸界限(%)

L_1 、 L_2 、 \dots 、 L_n 混合氣體各成分之爆炸界限(% $_{v/v}$)

V_1 、 V_2 、 \dots 、 V_n 混合氣體各成體積百分比(% $_{v/v}$)

混合氣體之爆炸界限2

■ 對於混入惰性氣體之爆炸界限修正如下

L_{mix} = 全部混合氣體之爆炸界限(%)

$L_{flammable}$ = 不混入惰性氣體時之爆炸界限(%)

B = 惰性氣體含量

$$L_{mix} = L_{flammable} \times \frac{(1 + \frac{B}{1-B}) \times 100}{100 + L_{flammable} \times \frac{B}{1-B}}$$

靜電的危害

■ 靜電可能造成

(1) 靜電電擊

(2) 火災及爆炸

(3) 產品品質不良

(4) 絕緣設備破壞等影響

靜電電擊

- 累積在人體之電荷透過接地導體放電，或外界物體上之電荷透過人體對大地放電皆會產生放電電流，此電流之電流密度到達某一程度會使人有觸電之感覺，通常靜電電擊不致於造成重大傷害，但可能因觸電感導致由高處墜落、撞擊移動中設備、心臟休克、或誤操作設備造成二次災害
- 人員電擊主要發生在造紙、塑膠、紡織及印刷業等

靜電火災及爆炸

- 靜電放電所產生之火花可能引起易燃氣體、液體或粉塵之起火燃燒爆炸，發生火災及爆炸對勞工安全危害甚巨，必須全力避免其發生
- 靜電放電導致火災及爆炸之發生需要有4個條件同時符合如下：
 - A. 產生靜電荷
 - B. 儲存電荷使電位升高
 - C. 足夠的點火能量儲存
 - D. 在易燃之環境中發生火花放電
- 靜電引起之火災爆炸主要發生在石化、塑膠、紡織及印刷業

粉塵發生爆炸所需要之最小能量

粉塵物質	最小點火能量(mJ)
鋁	50-280
黑火藥	320
巧克力粉	100
軟木粉塵	35-45
肥皂粉	60-960
木屑粉塵	20-40

靜電造成產品品質不良

- 靜電的作用力及放電兩種現象皆可能對產品造成影響，靜電作用力會使帶電體吸引粉塵微粒或其他雜質，以及兩帶電體間互相吸引或排斥，造成製程上的困擾而影響生產
- 靜電作用力會因吸引粉塵微粒使油墨印刷品質不佳，紙品及紡織品糾捲不清甚至扯破，以及因吸引雜質而污染成品
- 靜電的放電現象所產生的放電電流會造成半導體元件的破壞或誤動作，所產生的電磁波會干擾精密設備，甚至所產生的放電光芒亦可能造成影響

絕緣設備破壞

- 絕緣輸送管所傳送之液體或電氣絕緣材料所支持之固體在累積電荷後，對地電壓亦會逐漸升高，當電壓到達一定程度後即可能穿透絕緣體進行放電，使絕緣材料發生針孔現象，而引發進一步的災害

靜電災害成因分類

造成災害的帶電物體	易產生靜電的製程	易因靜電著火的物質
固定的機器裝置 移動的機器裝置 粉液狀原料 加工物品 人體 工作服	輸送、粉體傳送、捲送 乾燥、包裝、人員換裝 填灌、過濾、粉碎 研磨、洗淨、印刷 塗刷、噴漆 混合攪拌、揉搓	液體、蒸氣瓦斯飄浮粉體溶劑與粉體混合物

產生靜電的情況

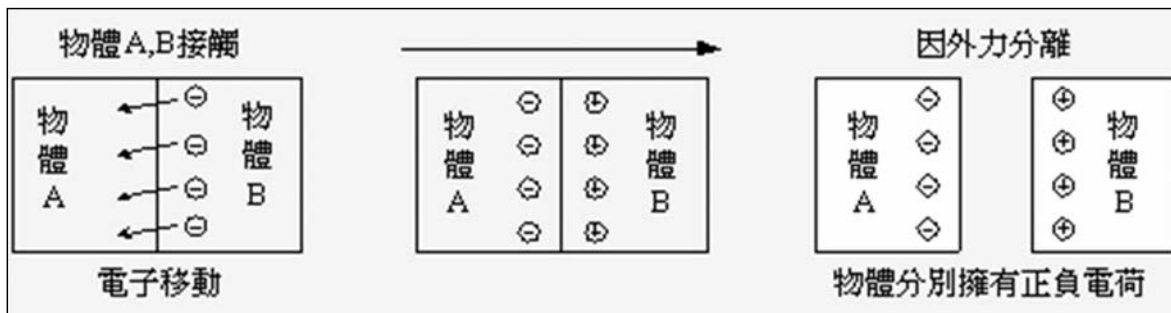
- 固體摩擦與剝離時產生靜電
- 粉體粒子碰撞產生靜電
- 液體流動產生靜電
- 高壓氣體噴出時帶靜電
- 水或水汽噴射時帶靜電
- 感應產生靜電

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

93

固體接觸與分離產生靜電



靜電感應現象



2016/3/9

94

影響靜電產生及放電速率之因素

靜電產生速度	靜電放電速度
1. 兩物體在磨擦帶電系列中的相對位置	1. 物體之導電率
2. 兩物體之密著程度	2. 相對濕度及溫度
3. 物體間之摩擦係數	3. 材料表面之水氣
4. 兩物體分離之速度	4. 結合速率

人體在不同相對濕度下的帶電狀況

動作	相對濕度(%)		
	10%	40%	55%
在地毯上走動	35,000V	15,000V	7,500V
在塑膠地磚上走動	12,000V	5,000V	3,000V
工作台操作員	6,000V	800V	400V

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

95

不同物體之電容值

物體	電容量(pF)
小型手工具	10-20
3加侖桶	30-50
55加侖桶	50-100
油罐車	1000
人體	100-300

不同設備之靜電電壓

設備	電壓範圍(kV)
皮帶傳動設備	60-100
紡織機械	15-80
紙張處理機械	5-100
油罐車	25以上
輸送帶	45以上

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

96

靜電之消除--電荷

- 利用方法將電荷疏通至大地或使正負電荷中和以避免電荷的持續累積，當靜電電壓無法達到放電電壓時，靜電災害即不會發生。常使用的方法有：
 - A. 接地與連接(Grounding and Bonding)
 - B. 濕度控制及增加導電性(Humidity Control and Conductivity Increment)
 - C. 靜電消除器(Electrostatic Neutralizer)
 - D. 導電性地板(Conductive Floor)
 - E. 靜電鞋及靜電腳輪(Anti-static Footwear and Caster)

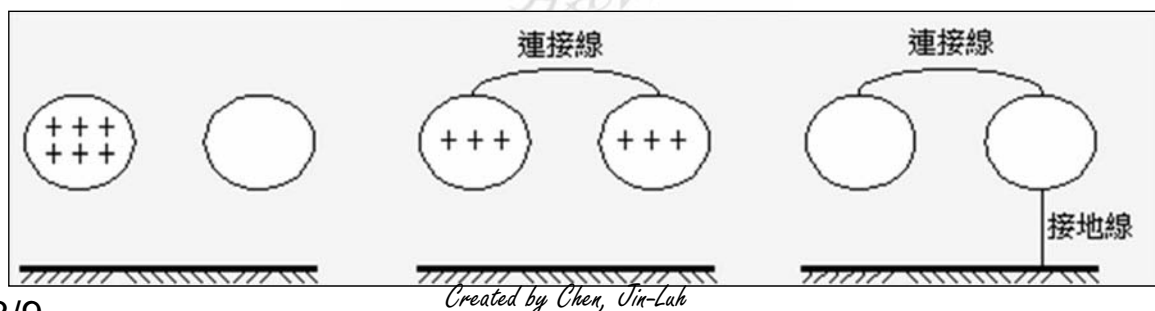
靜電之消除--防止尖端放電

- 帶電荷物體的外表周圍如有突出尖端，則這些尖端較容易產生電暈放電，尤其當尖端部份之半徑在10mm以下時，放電的危險性即較高，因此最好減少易帶靜電物體之尖端，以降低放電的機率

靜電之消除--改善易燃及易爆環境1

- 只要沒有易燃及易爆之環境，即使發生靜電放電現象，其危害也不會太大。要避免易燃及易爆環境之出現，對於易燃物之處理、工作流程、工廠設置、建築物構造、通風及氣流等皆需考量

1. 接地與連接



2016/3/9

99

靜電之消除--改善易燃及易爆環境2

2. 濕度控制及增加導電率

- ◆ 平版玻璃為例，50%相對濕度時的導電率為20%相對濕度時的1000倍。通常在30%相對濕度以上時，大部份的絕緣體上所含有的一層水份薄膜，可以提供靜電荷一個疏通路徑。但當相對濕度在30%以下時，此水份薄膜不存在，靜電荷一直產生但無法疏通，靜電問題便會出現
- ◆ 在常溫下，60-70%的相對濕度應可避免靜電問題的發生
- ◆ 除了增加相對濕度以增加絕緣物之導電率外，亦可直接在絕緣物中摻入導電性物質，以提高洩漏電荷之能力

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

100

靜電之消除--改善易燃及易爆環境3

3. 靜電消除器

- ◆ 靜電消除器是利用人為的方法把帶電體附近的空氣離子化，當帶電體碰到這些離子時，靜電荷可經由已離子化之空氣傳導至大地，或者吸引離子化空氣中相反極性之電荷加以中和

靜電消除器之種類、特點及適用對象

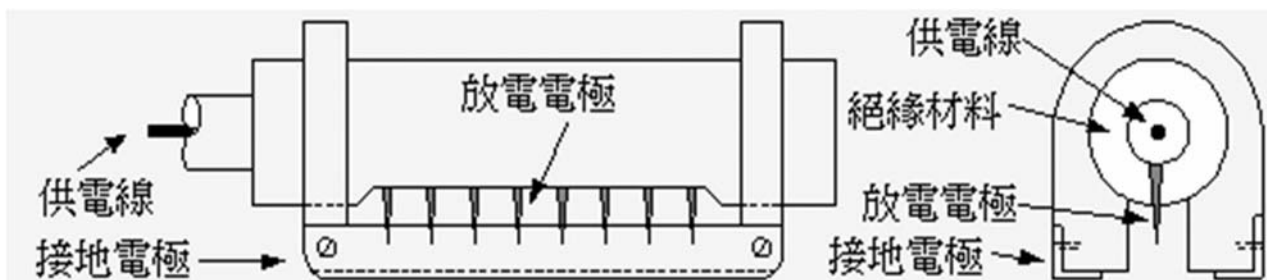
種類	特點	適用對象
加電壓式	標準型	消除能力強，種類多
	送風型	消除範圍較遠較廣
	防爆型	不會引起易燃物著火
	直流型	正負離子產生比例可控制
自放電式	簡單、便宜、易安裝，但消除能力受帶電體影響	布、紙、傳動皮帶、底片、橡膠、粉體
放射線式	沒有電暈放電問題，有放射線問題 消除能力較低	密閉空間

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

101

加電壓式靜電消除器的一種型式



自放電式靜電消除器的一種型式



2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

102

粉塵爆炸原因比率

1. 機械性火花造成的塵爆事件約佔30%
2. 熱質點約佔5%。
3. 其他的因素如燻煙粒子(Smoldering Particle)佔10%
4. 機械過熱(Mechanical Heating)佔9%
5. 靜電(Static Electricity)佔9%
6. 明火佔8%
7. 其他未知佔29%

火災爆炸案例

液化石油氣灌裝廠 (BLEVE) 1

■八十七年二月二十七日七時四十分，五石在行量小並三十四分槽車發生BLEVE爆炸，導致四死四十三傷。該廠立即通知消防單位滅火，八時三十分槽車發生BLEVE爆炸，導致四死四十三傷。

液化石油氣灌裝廠 (BLEVE) 2

1. 槽車先爆炸著火後，經五十分鐘發生大爆炸
2. 現場目擊人員說7:45第一次爆炸，8:10第二次爆炸，8:35第三次大爆炸。第一此爆炸點係於槽車後面
3. 現場遺留拖車頭，前段已被壓平並燒毀
4. 拖車頭後段較為完整，但是左後輪已燒掉，右車輪完整，放置液化石油氣槽體車架損壞不嚴重，排氣管出口有黑色燻煙附著
5. 已燒毀左車輪下方之排氣管線已斷，於管線斷裂處下方有鐵管接頭掉落，該接頭上有熔化之鐵塊附著
6. 槽體後半段燒成黑色，且被破壞成平坦狀，前半段清晰可辨飛離約300公尺

液化石油氣灌裝廠 (BLEVE) 3

1. 由上述現場概況1中可知該事件，槽車先爆炸起火後，經由外部燃燒槽體後再爆炸，所以首先為液化石油氣體洩出，遇火源爆炸。然後槽體受熱後內部石油氣由液體膨脹成氣體，將槽體撐破，然後大量氣化之石油氣爆炸，產生巨大的火球，並使破裂槽體碎片向四方飛散，該次爆炸係造成重大傷亡的主因。所以該事件係為氣爆後BLEVE爆炸
2. 放置液化石油氣槽體車架損壞不嚴重的原因係石油氣槽體受熱部份為後端，高熱使槽體後端鐵皮強度變低，槽體前後撕裂，形成後段槽體飛撞棚架，前段槽體撞擊駕駛廂後，飛離300公尺（類似火箭由後方引爆，向前衝）
3. 排氣管出口有黑色煙煙附著，且旁邊無受爆風而使設備變形的痕跡，所以並非起爆點
4. 排氣管線斷裂處下方有鐵管接頭掉落，該接頭上有融化之鐵塊附著，該處應非被BLEVE影響之範圍，係另一小爆炸所引起之燃燒現象，因此判定該處為一爆炸點
5. 車子拖行管子數公尺，其能量大於該氣體之最低爆炸能量

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

107

化學公司ABS爆炸案 (粉塵爆炸) 1

■ 某化學公司，八十六年七月二十七日下午五時發生爆炸事件，造成八座各高約二十公尺，直徑約五公尺中之六座儲槽，在轟隆巨響中，猶如炸彈般的連續引爆，槽蓋與爆風將方圓一公里內的民房與辦公室門窗毀損，幸無人員傷亡，不過所引發的火警與濃煙，警費一小時餘才控制住，據報章刊載直接損失約二億元

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

108

化學公司ABS爆炸案（粉塵爆炸）2

■可能引起爆炸之原因:

- 1、槽頂旋風分離器粉塵下料處齒輪卡住粉餅，粉餅摩擦生熱或產生靜電火花導致儲槽爆炸。
- 2、粉塵藉由高壓空氣運送至大儲槽，運送過程中蓄積靜電，因儲槽直徑過大，不能迅速將靜電引導至大地，導致空間放電產生類似閃電火花

■有許多方法可以防止儲槽粉塵爆炸造成之傷害，例如爆炸抑制、爆炸隔離法，而最簡單的方式即可在儲槽上加裝爆炸洩放口，即可將爆炸之災害降至最低

隧道內物理爆炸1

■某一工程公司以潛盾工法開挖台北市地下汗水道，地點於北投，發生過程由加壓室之視窗破裂，導致內部高壓空氣洩出，衝擊外腔勞工，使勞工飛起，撞擊坑道頂致死。據爆炸現場工作人員說明：死者於腔外欲進入氣匣室，當時有一人正坐在腔外環壁調整，調整氣匣室壓力，突然有一聲爆炸巨響，該名死者飛離腔外約五公尺之處，後該頭蓋骨以受傷破裂，並已成昏迷狀況，經送醫不治死亡

隧道內物理爆炸2

■ 現場特徵：

1. 現場無燃燒跡象，故排除化學爆炸因素
2. 依壓力不同分為作業區(加壓區)、氣匣室、外腔部。作業區與氣匣室之間有一腔門加以隔離稱第一腔門，氣匣室與外腔部之門稱第二腔門，腔門高118公分，寬97公分，係由外向內開啟之構造
3. 第一腔門之觀測孔玻璃已破損，其玻璃視窗直徑38公分，玻璃厚度約10公厘，第二腔門之觀測孔玻璃未破損
4. 死者頭部撞擊點於腔頂，距第二腔門530公分
5. 調壓表位於外腔部，距第二腔門約3.4公尺有一專門勞工負責調壓，外腔部空氣管線壓力為三公斤/平方公分，調壓後送入作業室之壓力規範為0.5公斤/平方公分
6. 腔外部距第二腔門外18公尺之日光燈已損壞，其前方之日光燈則無損壞現象

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

111

隧道內物理爆炸3

■ 鑑識結果：

1. 死者皮膚無燒傷且周圍環境無燻黑現象，故判定為物理爆炸。利用爆風破壞物體經驗，人體被吹倒至少需15KPa為基礎，以質量不減定律計算原爆點壓力，並計算人體受力大小。經計算後該作業室壓力為表壓1.75大氣壓，腔門視窗玻璃僅能抵抗0.8大氣壓，另該死亡死者受爆風力量為446公斤
2. 調壓閥作業勞工有68cm公分距離不受爆風影響(該距離計算係水泥環塊至爆風波截面邊緣)如勞工側身(胸後約20cm)靠壁則可躲避爆風影響
- 3 該次爆炸能量估計有1.17公斤黃色炸藥的威力

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

112

隧道內物理爆炸4

■ 結論

1. 本次爆炸係為物理性爆炸
2. 害原因係為工人調整作業室空氣壓力過高及廠方未設置洩壓閥，導致視窗玻璃破裂，高壓空氣洩出，使勞工飛起撞擊腔頂致死

樹脂塗料公司化學失控爆炸案1

- 桃園縣蘆竹鄉某公司於八十五年十月七日發生爆炸火警，死亡人數十人，重傷八人，三十九人輕傷，死亡人員包括警消三人、義消三人
- 該事件係下午四時二十分接獲民眾報案，起初是該樹酯塗料公司發生火警，後來波及其他六家公司，警方迅速救出十餘人後，突然火場發生劇烈爆炸，在隔鄰紡織搶救的警義消首當其衝，傳出重大傷亡

樹脂塗料公司化學失控爆炸案2

■現場概況：

1. 經檢視爆炸現場，消防車兩輛已炸毀在現場(圖十四)，其中消防管之噴水頭在該塗料公司後方，死亡義消及警消六名在附近被炸身亡，後方廠區並發現一個直徑約十公尺寬、三公公尺深的大洞，大洞旁緊鄰一條水溝，並且四周建築物均成輻射狀倒塌，研判該大洞就是主要爆炸點

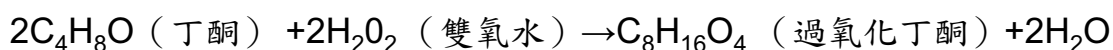
2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

115

樹脂塗料公司化學失控爆炸案3

2. 水溝中留有不銹鋼儲槽數個，並有三個已全部解體，只剩少許破片，據研判應為主要爆炸之槽體，其餘不銹鋼槽體被高速物體撞擊破裂穿透
3. 根據現場目擊者說詞，在大爆炸之前另有些小爆炸，因此應是廠區內部先著火後，溫度升高引起多種儲槽內部化學物質失控反應而爆炸
4. 該廠係以生產樹脂及硬化劑為主，製程不須加熱，所以不是鍋爐爆炸。製造流程係利用壓縮機、冷凍槽，將不銹鋼桶內的雙氧水、丁酮、磷酸、鹼粉、芒硝等混和攪拌成為產品，在用空氣幫浦打入槽體後包裝，因此該化學反應式為



磷酸、硫酸、P.A.安定劑

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

116

樹脂塗料公司化學失控爆炸案4

■ 鑑識

1. 該化學反應為低溫下放熱，可能發生爆炸之物質有雙氧水、丁酮、過氧化丁酮，該爆炸案有一爆炸坑，且深度頗深，因此判定該爆炸物為類似火炸藥的物質。該威力可能破壞槽體，但在現場建築物受到劇烈損壞，以雙氧水、丁酮亦不可能具有如此威力。
2. 過氧化丁酮其化學式 $(C_4H_8O_2)_2$ 中含有豐富氧原子，可作為燃燒爆炸所需之助燃物，無須由空氣中供給氧氣，因此過氧化丁酮類似火炸藥。以 PHI-TEC 絕熱卡計測試 50% MEKPO 於 $92^\circ C$ 後自然分解壓力與溫度變化情形，發現最高壓力上升速度在 1000bar/min 以上，最高壓力 100bar 左右。該物質受熱、震動或碰到強酸、強鹼、金屬、丙酮等物質均有可能發生爆炸。

- 民國六十八年的北市撫遠街爆炸案、民國七十三桃園蘆竹鄉立翔公司爆炸案及民國七十八年台中進興路爆炸案均為該物質所造成。由以上可知本案之主要傷亡顯而易見是過氧化丁酮所引發

2016/3/9

Created by Chen, Jin-Luh

117

報告結束
- 敬請指教 -

