



大仁科技大學

火災爆炸危害預防

主講者：曾子彥 助理教授



❖ 現職：

大仁科技大學 環境與職業安全衛生系 助理教授

❖ 學歷：

國立高雄科技大學 工學院工程科技 博士

國立高雄科技大學 環安系 碩士

❖ 經歷：

國立高雄科技大學 環安系 博士後研究員

工研院環境事故專業諮詢中心 專家委員

社團法人美國消防工程師學會台灣分會 副秘書長

❖ 研究領域：

火災動力學、油槽火災、性能設計、隧道火災、居室火災、工業安全



【播間】119消防日·重大火警 8點51分死亡19人 火警如何發生

新 大火奪19條人命

新聞



大陸

CBC 東森新聞

公共场所视频

攝自 央視

金山
礦港公共浴池
男子泡湯猝死

AQI 高雄(阿蓮) 敏感族群不良
現在溫度 大武 27.3℃

工人連番錯+同事冷眼 大火害19人命喪火窟

CBC NEWS | 下載APP看直播 |



❖ 第一篇 火災現象與危害

❖ 第二篇 火災防治技術

被動式防火

主動式防火

❖ 第三篇 新興火災

■ 鋰電池火災安全風險評估



火災現象及危害



- (一)防火安全的概念
- (二)燃燒概論與火災現象
- (三)侷限空間之火災成長
- (四)火災的危害



(一)防火安全的概念



❖ 火災是指火違反正常的用途，因燃燒作用而生獨立延燒的狀態。因會造成人員及財物的損失，故需加以防範及控制。

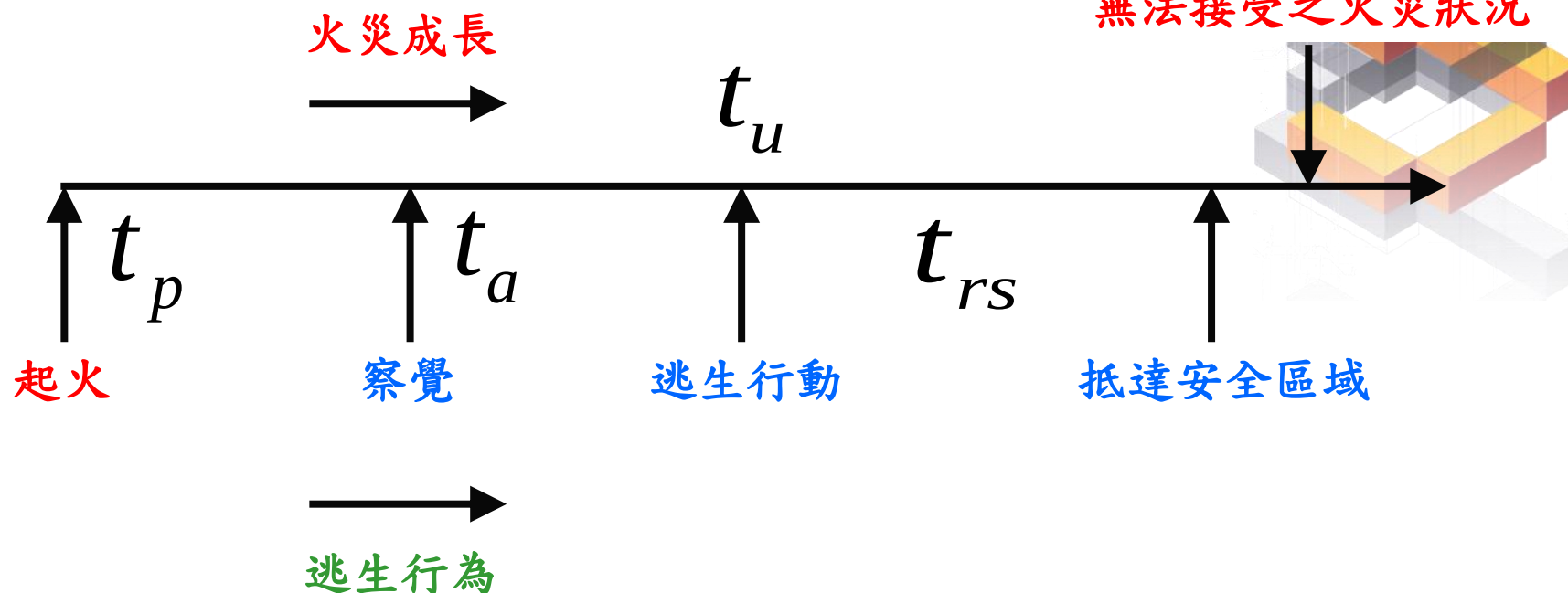
防火安全的目的：絕對安全-----NO

相對安全

財物損失在可接受範圍內，
可接受之認定由業者自行認定

人員不因火而傷亡

防火安全概念



■ 安全： $t_e < t_u$ 不安全： $t_e > t_u$ 其中 $t_e = t_p + t_a + t_{rs}$

■ 防火工程致力於

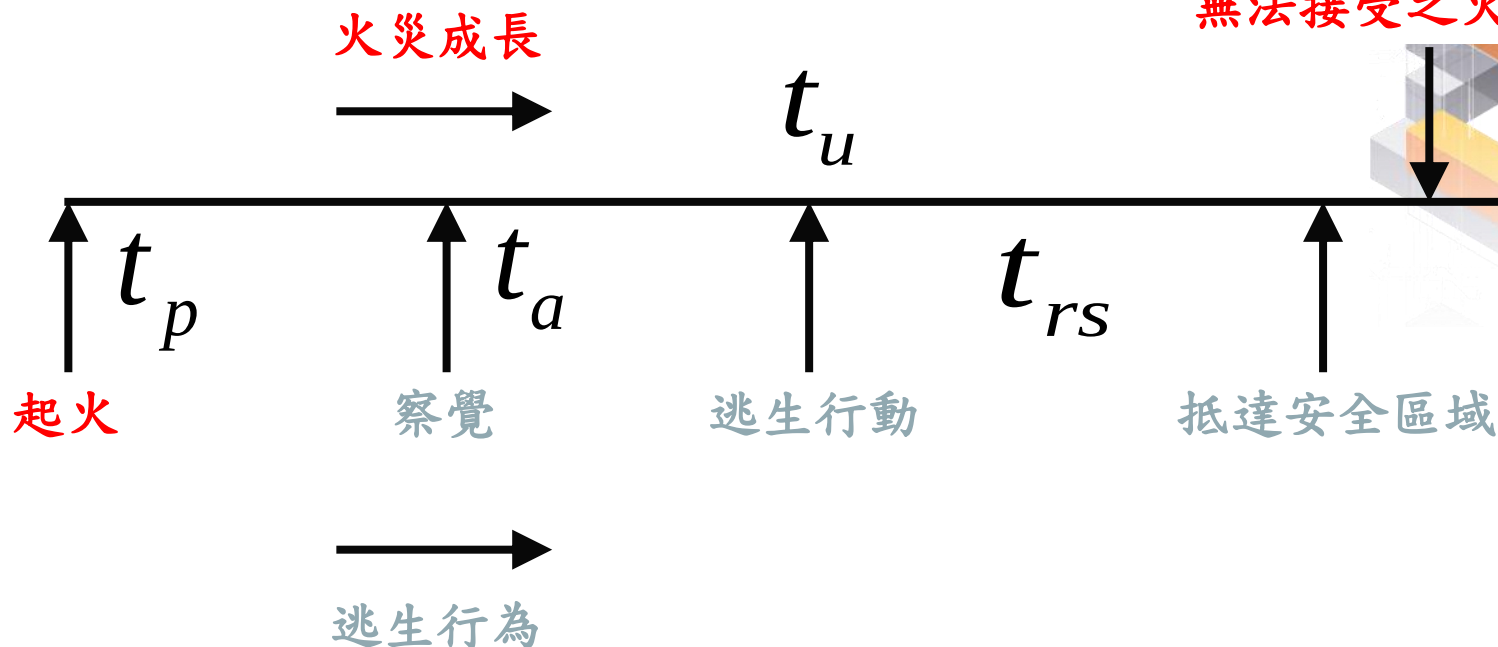
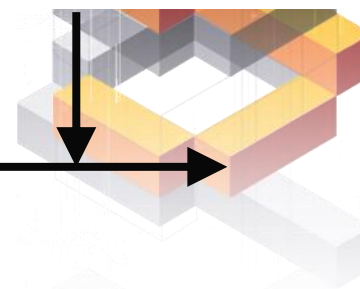
■ 1. _____ t_u : 做法 :

■ 2. _____ t_e : 做法 :

防火安全概念



無法接受之火災狀況



■ **安全** : $t_e < t_u$ **不安全** : $t_e > t_u$ 其中 $t_e = t_p + t_a + t_{rs}$

■ **防火工程** 致力於

- 1. 增加 t_u : 做法 : 防火材料、滅火設備、煙控
- 2. 減少 t_e : 做法 : 偵測/警報系統、教育訓練、指示標誌、避難逃生設備

(二)燃燒概論

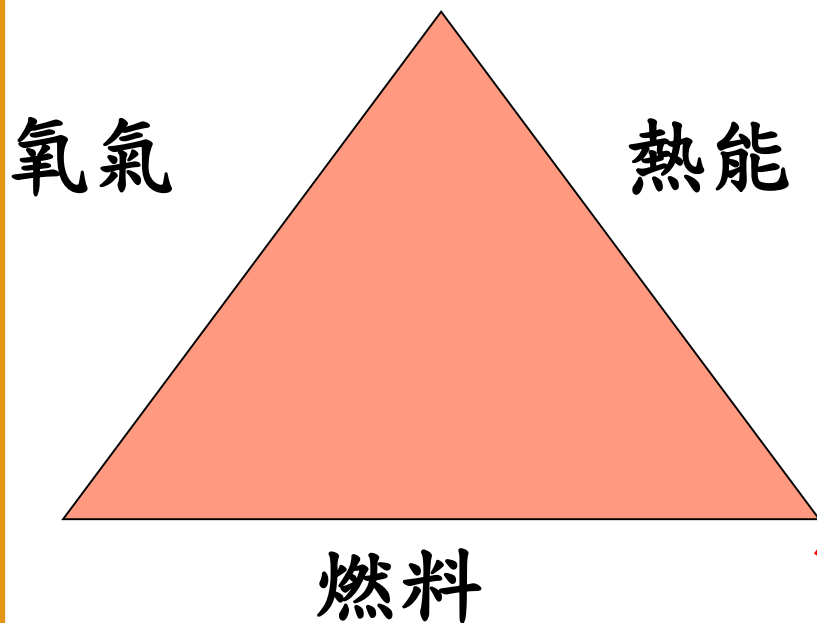


❖ 燃燒反應

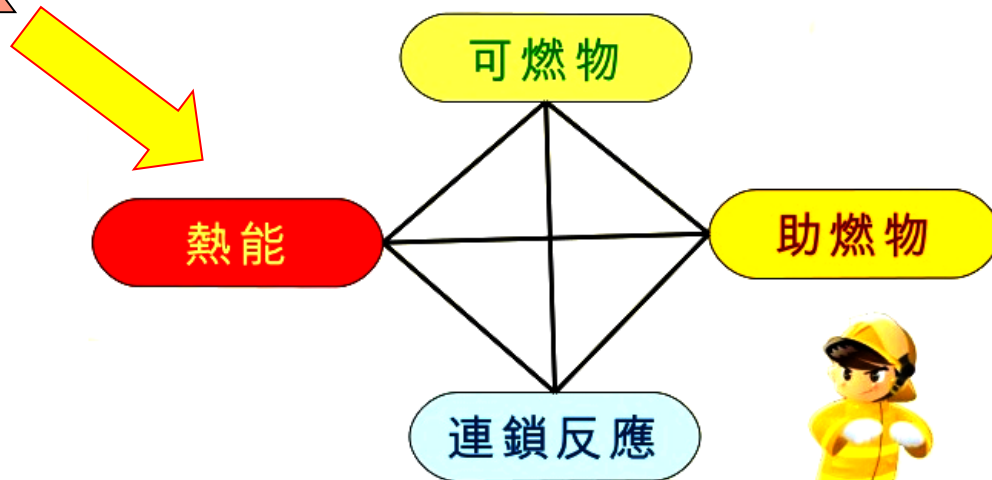
- 燃燒反應係指能產生光與熱的快速氧化還原反應。
- 燃燒反應未必要有氧參加，例如：
$$2\text{Fe} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$$
$$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$$
- 並非所有的氧化還原反應都是燃燒反應。
- 火災與爆炸均屬於一種燃燒現象。
 - 火災係指可燃物在空氣中違反人的意志燃燒所致的災害。
 - 爆炸係指密閉容器內發生大量氣體受燃燒熱膨脹產生高壓，以致破壞四周器物。

(二)燃燒概論

燃燒三要素



燃燒四要素



燃燒概論



四項要素不僅都需要存在，並需滿足適當之條件，敘述如下：

1.可燃物

燃燒能進行需有可燃物，可燃物為能與氧化合引起發熱反應，其可為固、液、氣態。

2.氧

(1)可燃物須與氧氣混合，方可燃燒

(2)一般而言，氧氣濃度低於14%即甚難燃燒。



可燃性蒸氣須與氧氣混合方可燃燒，依混合方式分為：

(a) 混合燃燒 → 可燃性氣體與空氣先混合再燃燒

(Premixed combustion)

(b) 擴散燃燒 → 可燃性氣體與空氣一邊混合一邊燃燒

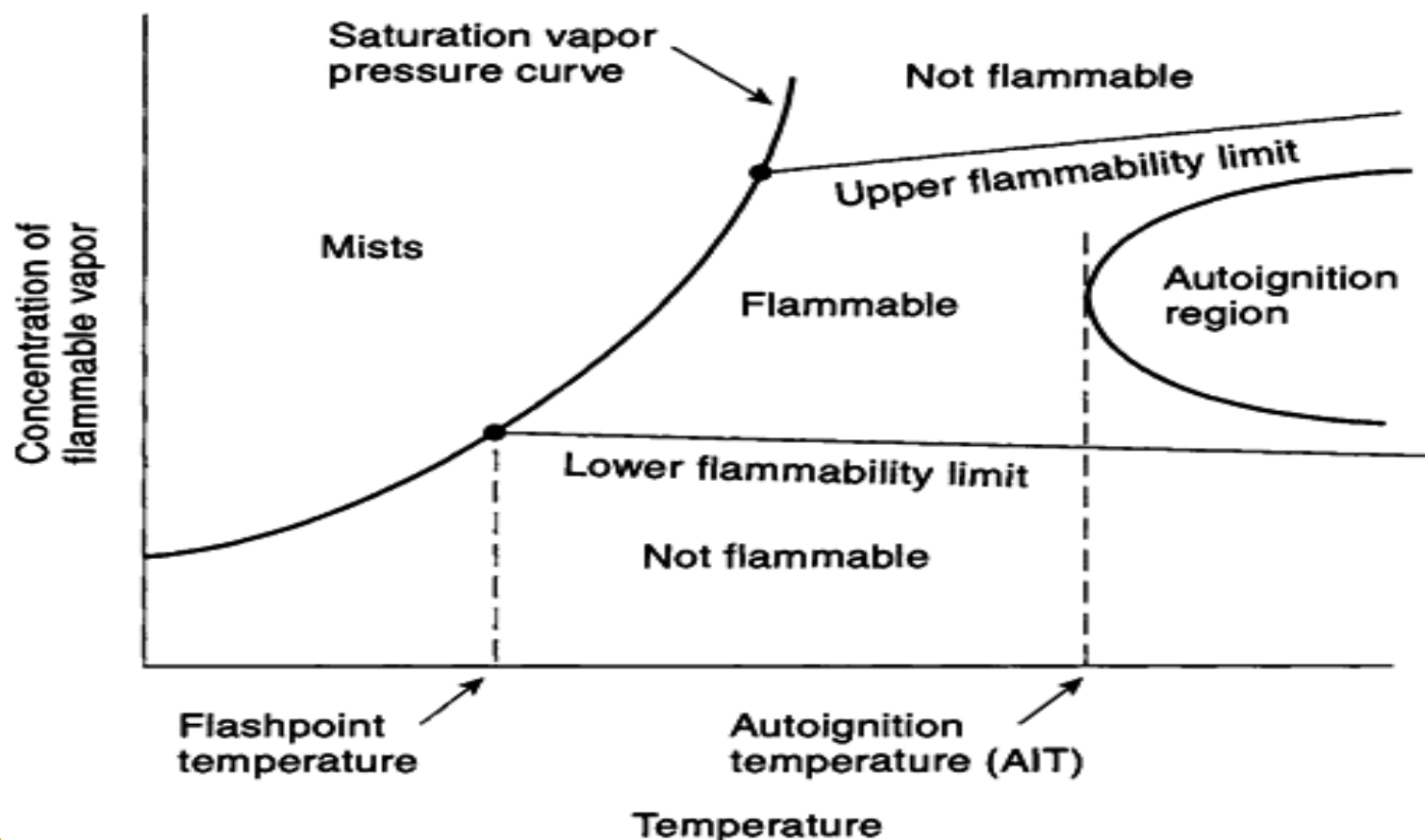
(Diffusion combustion)

(c) 蒸發燃燒 → 因液體之蒸發產生蒸氣著火而生火焰，並因火焰之溫度加熱液體表面促使繼續蒸發，而使燃燒持續不斷者。

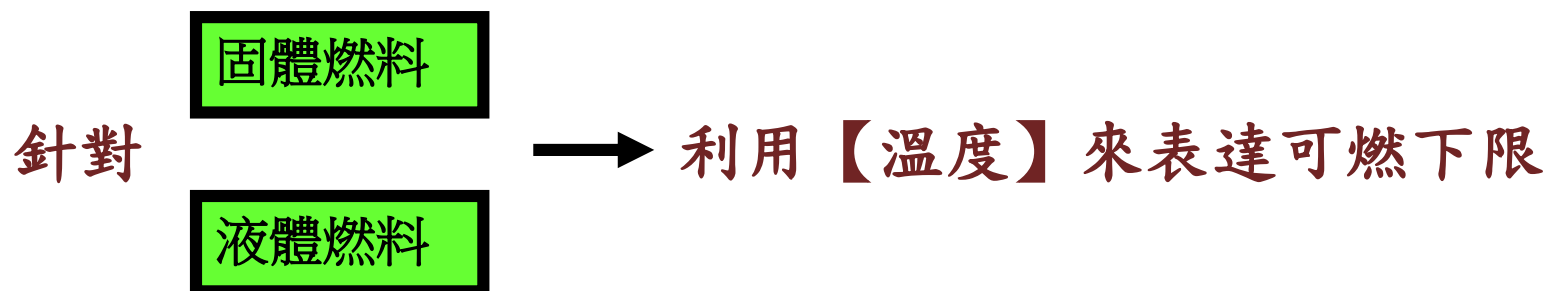
(d) 分解燃燒 → 固體可燃物或脂肪等高沸點液體可燃物，係先經熱分解，產生可燃性氣體，再引起燃燒

可燃性氣體與空氣混合時，其濃度(體積百分比)需在一特定範圍內，稱為可燃上下限

(Lower and upper flammability limits)



閃火點與火焰點(flash point and fire point)



可分為：

- (1)閃火點(flash point):當其溫度時，遇一起火源，會產生閃火
- (2)火焰點(fire point):當其溫度時，遇一起火源時，會產生持續之火焰

★討論：閃火點與火焰點何者溫度較高?為什麼?

★討論：閃火點與可燃下限關係是甚麼??

燃燒概論



3. 熱能

欲進行燃燒之氧化反應，依分子動力學，需克服一活化能反應方能進行。以下依有無外加熱能分為：

(1) 點火發火(Pilot Ignition)

→ 有點火源(火焰本身、火花)

(2) 自然發火(Spontaneous or Auto-Ignition)

→ 無點火源

燃燒概論



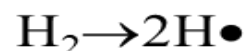
4.連鎖反應

(1)燃燒反應需自由基，主要為 $\text{O}\bullet$ 、 $\text{OH}\bullet$ 。

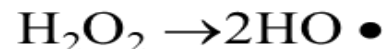
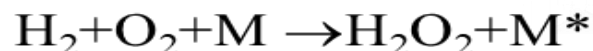
(2)除非刻意破壞(如海龍滅火器)，否則均存在。

Example: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

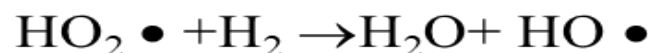
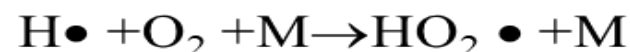
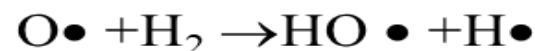
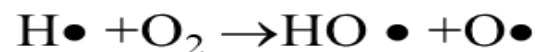
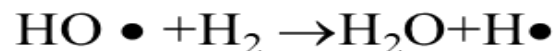
Initiation



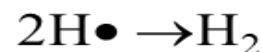
或



Propagation



Termination



燃燒重要觀念



- ❖ 燃燒反應是發生在氣相。因此，對於液態或固態的可燃物而言，必須先經過特定的物理或化學過程轉變為氣相，才會進行燃燒反應。
- ❖ 化學反應所放出的熱會自然地逸散到環境中，快速的反應將使這些熱不及逸散而累積在反應系統中，進而造成危害。
- ❖ 燃燒定義所強調的是快速反應以致反應熱來不及釋放至環境的情形，是以對化學物質火災爆炸特性的危害程度評估，除考慮放出熱量的大小外，更需考慮熱量累積的狀況。

火災分類



A類火災

木材、紙張、綿紗、布料、塑膠類等易燃物質引起的火災。



C類火災

通電中設備引起的火災
(尚未切斷電源的火災)。



B類火災

溶劑、油料類、液化瓦斯等石油系列物質引起的火災。



D類火災

鉀、鈉、鎂、鋁、與其它氧化性之金屬類物質及禁水性物質所引起的火災。

火災現象



❖ 池火(Pool Fire)

- Turbulent diffusion fire burning above a horizontal pool of vaporizing hydrocarbon fuel under conditions where the fuel has zero or very low initial momentum.



火災現象



❖ 突沸(Boilover)

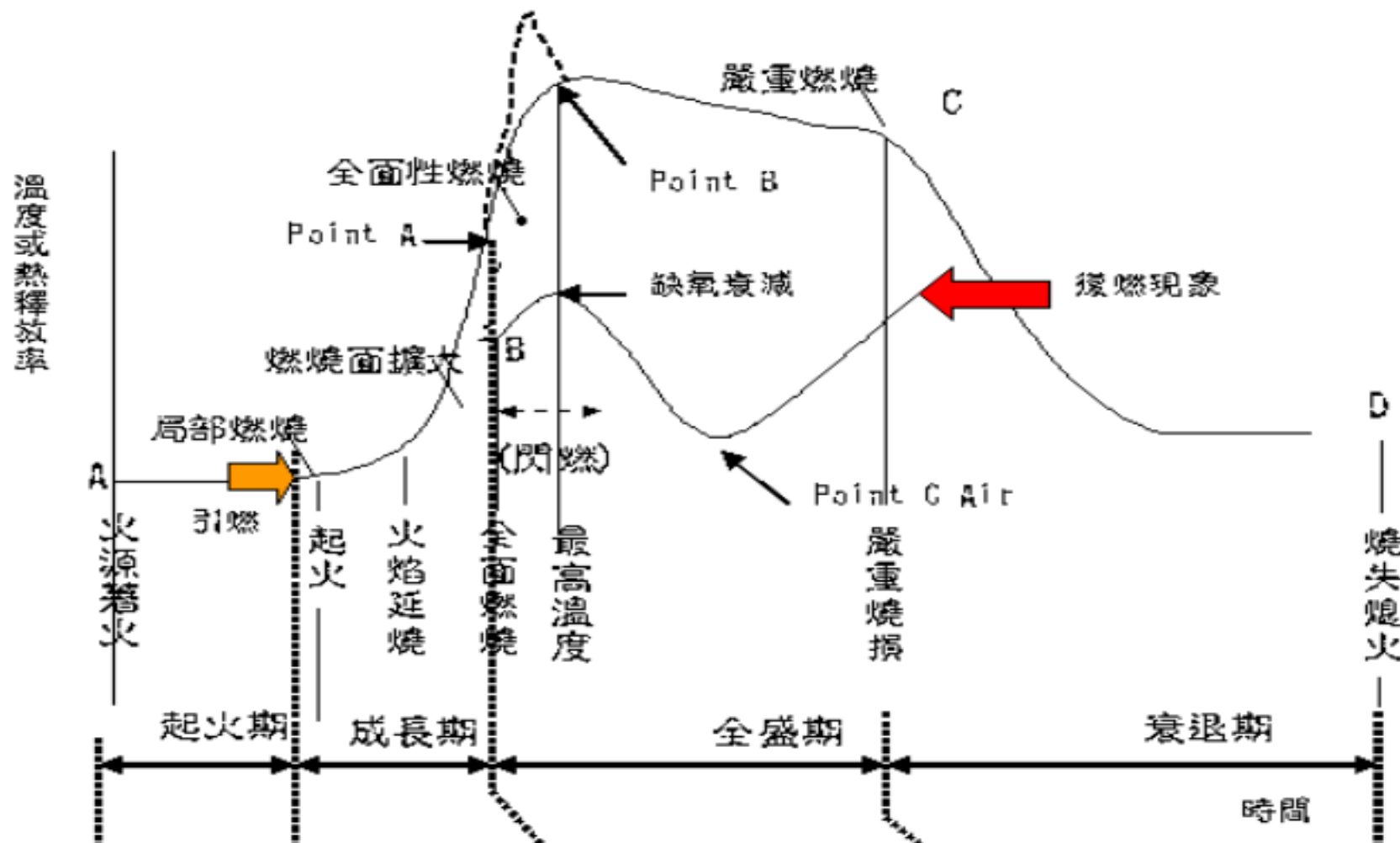
- 因水層受熱後其體積劇烈變化(1700倍)，壓力增加會將上層的油料向上、向外地從油槽排出，導致燃燒中的油擴散到容器外，擴散範圍廣大且不可控制，甚至形成火球。



(三) 侷限空間之火災成長



一般來說火災的發展可分為以下幾個階段：
起火期、成長期、閃燃or爆燃、全盛期、衰



侷限空間之火災成長



1. 火災初期(起火)(Initial fire)

2. 火災成長期

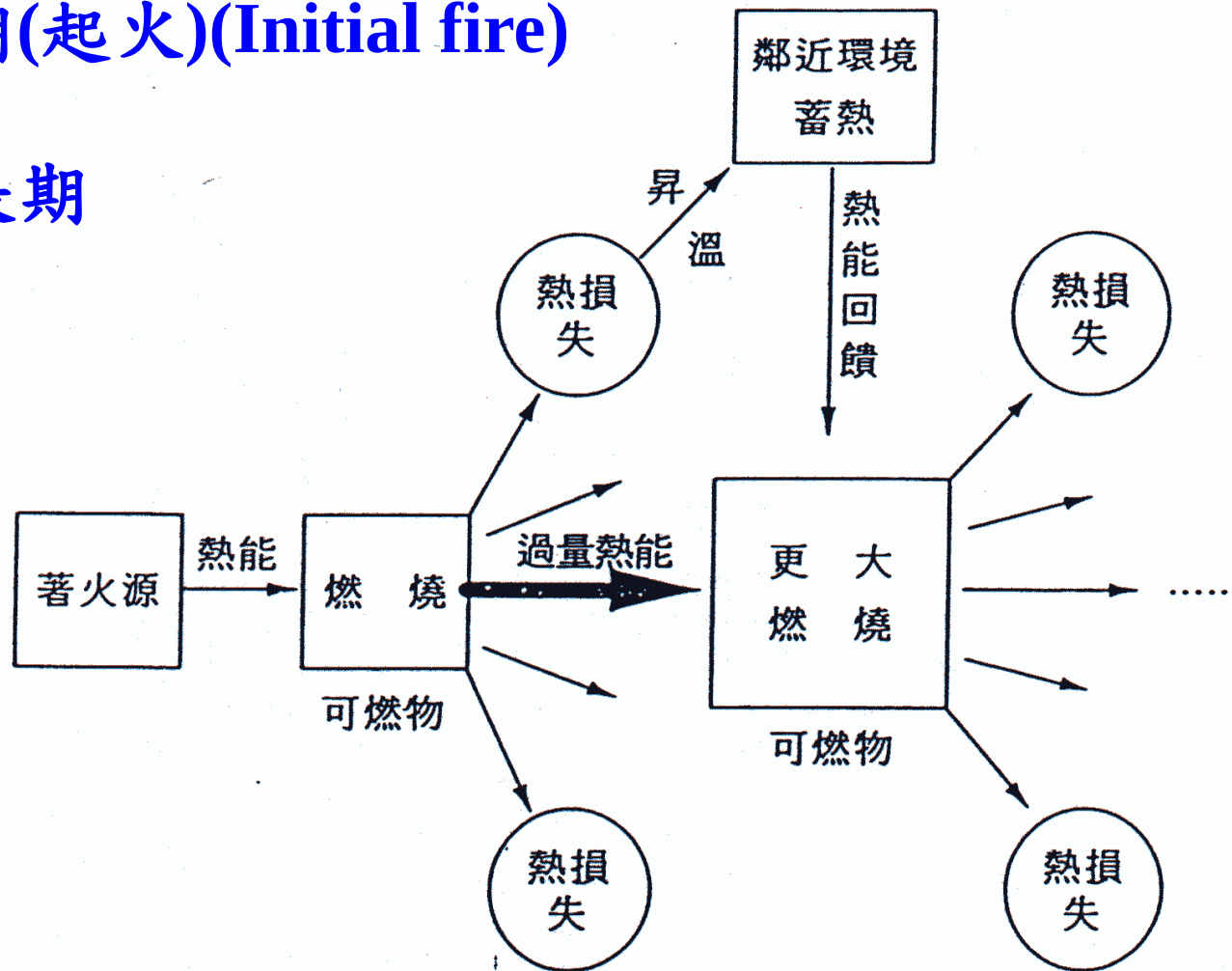
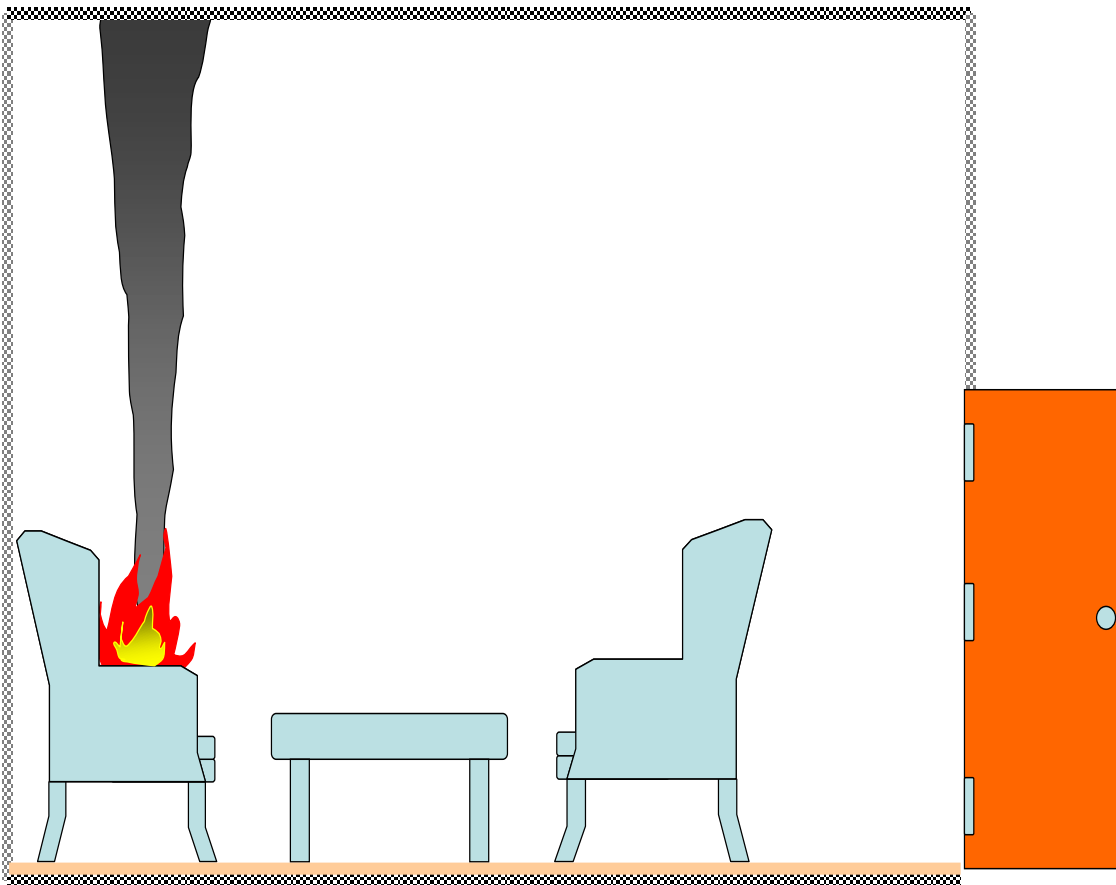


圖3 最初火災成長（延燒）

侷限空間之火災成長

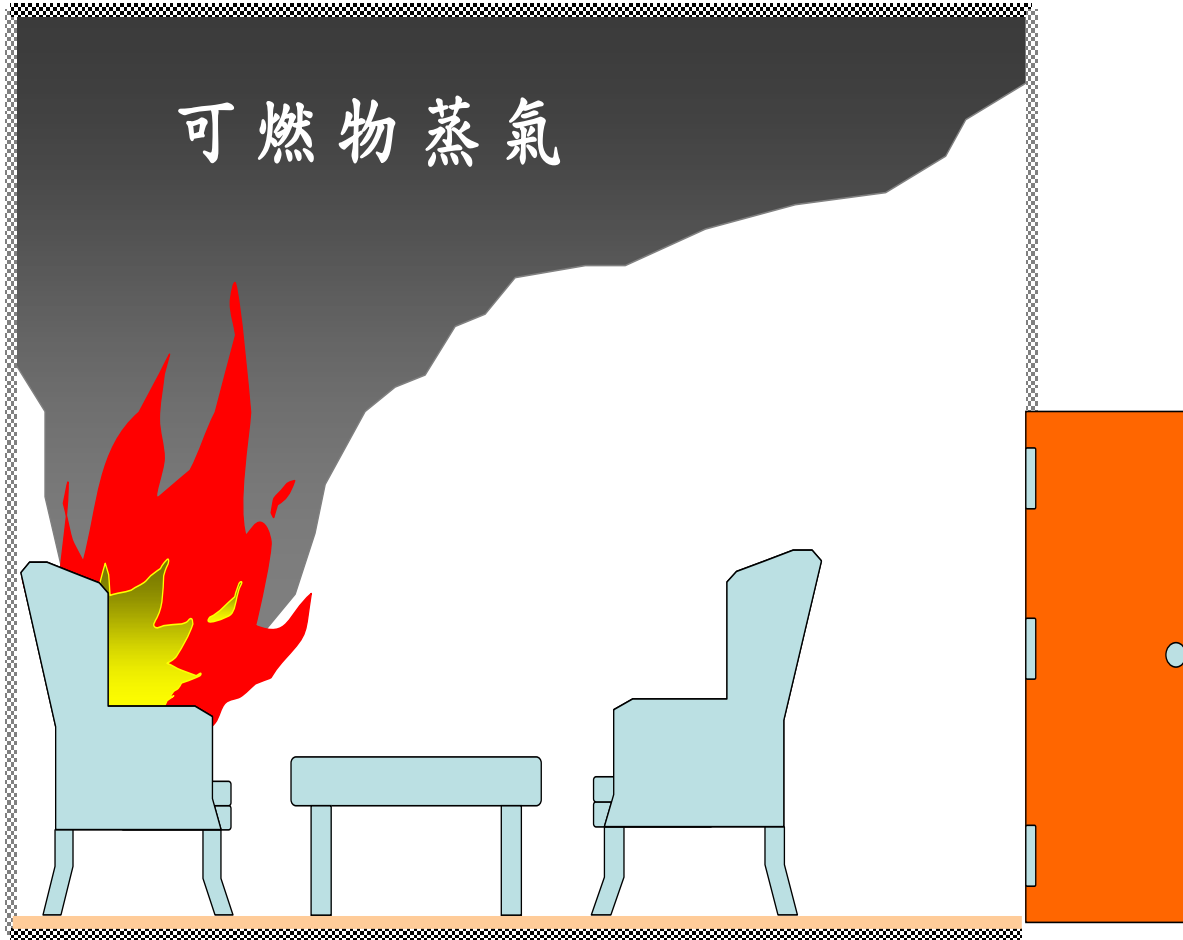


3(a).閃燃(Flashover)



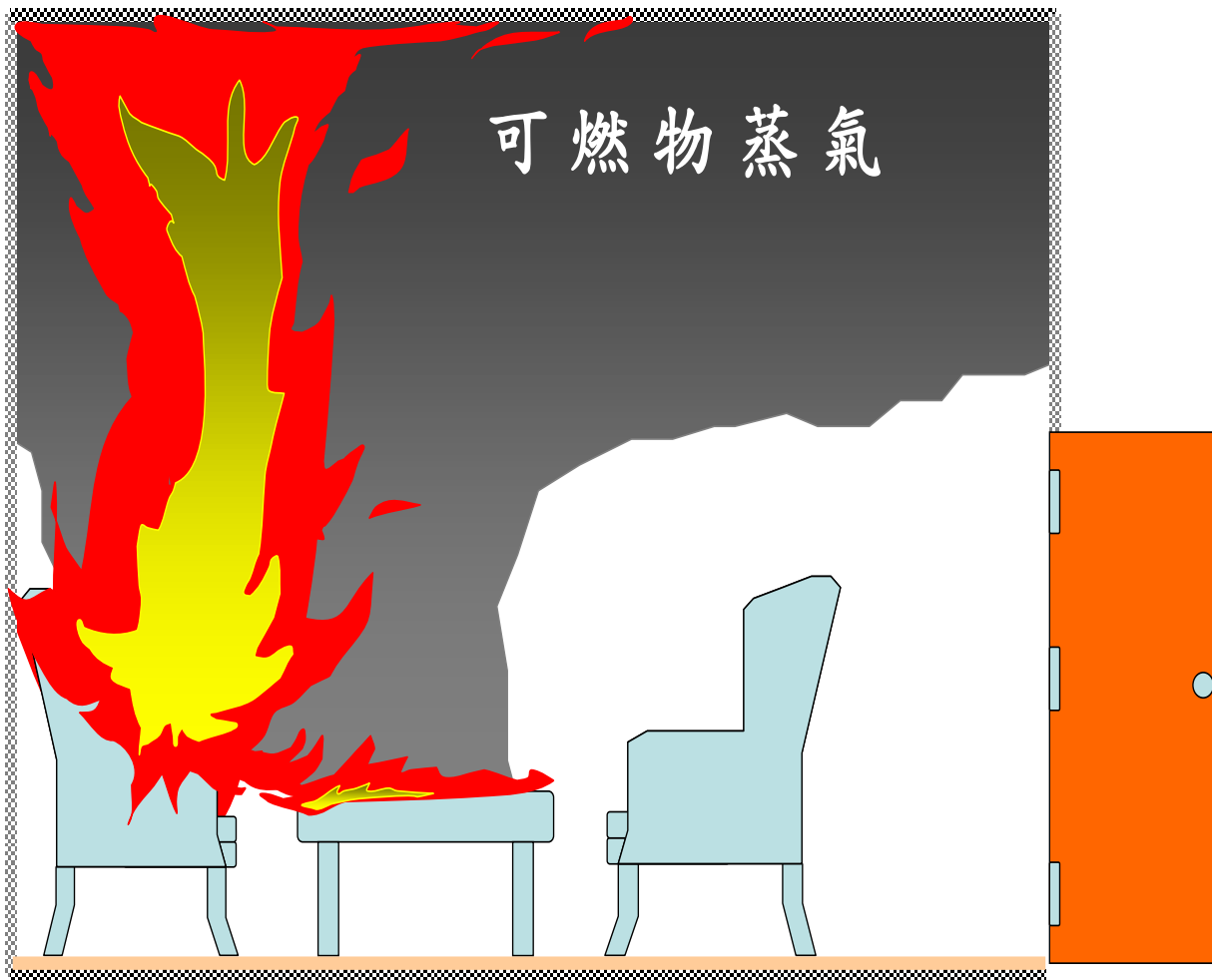
(a)可燃物及通風充足之侷限空間內，火源建立並持續燃燒

3(a).閃燃(Flashover)



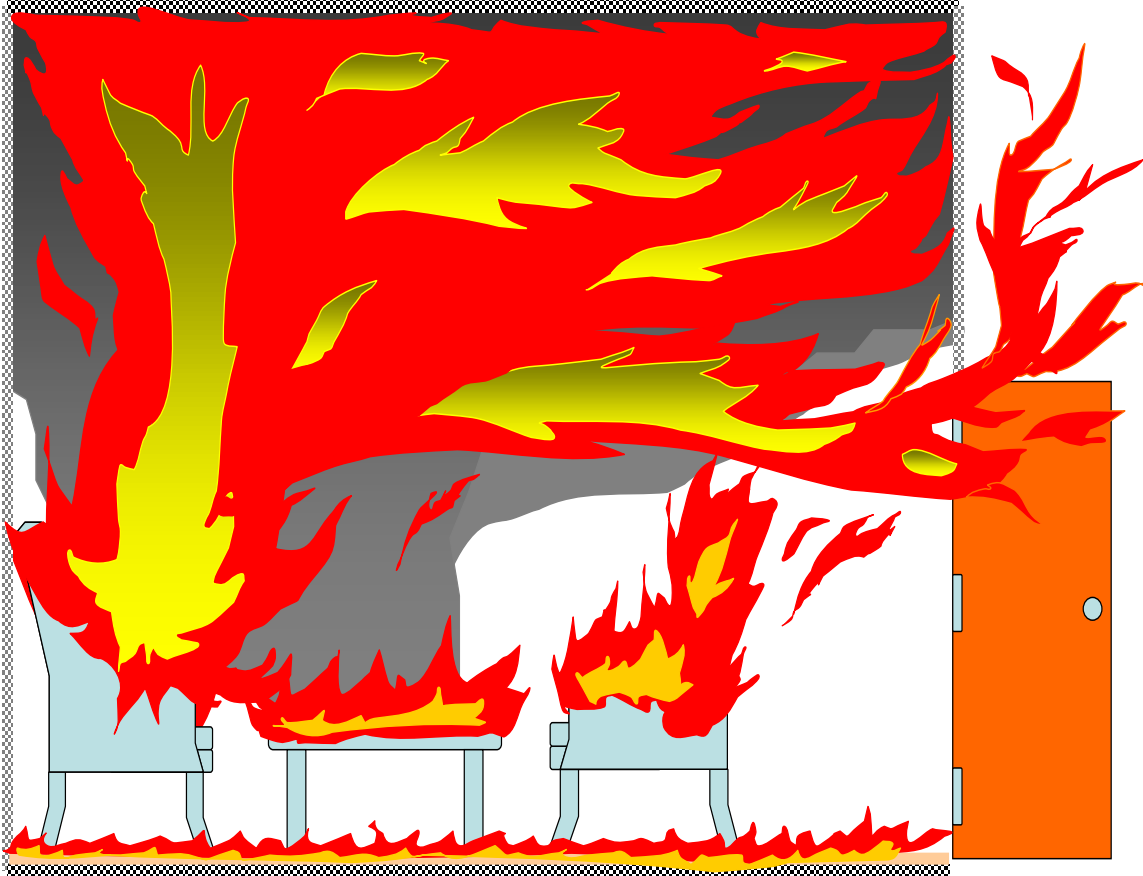
(b) 火源持續成長並產生可燃物蒸發及煙，蓄積於房間高處

3(a).閃燃(Flashover)



(c) 火源逐漸擴大，可燃物蒸氣量逐漸增加

3(a).閃燃(Flashover)



(d)當可燃物蒸氣與空氣混合濃度達可燃下限之上，且多數材料以達著火點或以上，火勢由局部燃燒瞬間轉變為全面燃燒之過程即為閃燃

3(b).爆燃(Backdraft)



0.03 s



0.067 s



0.1 s



0.13 s

局限空間之火災成長



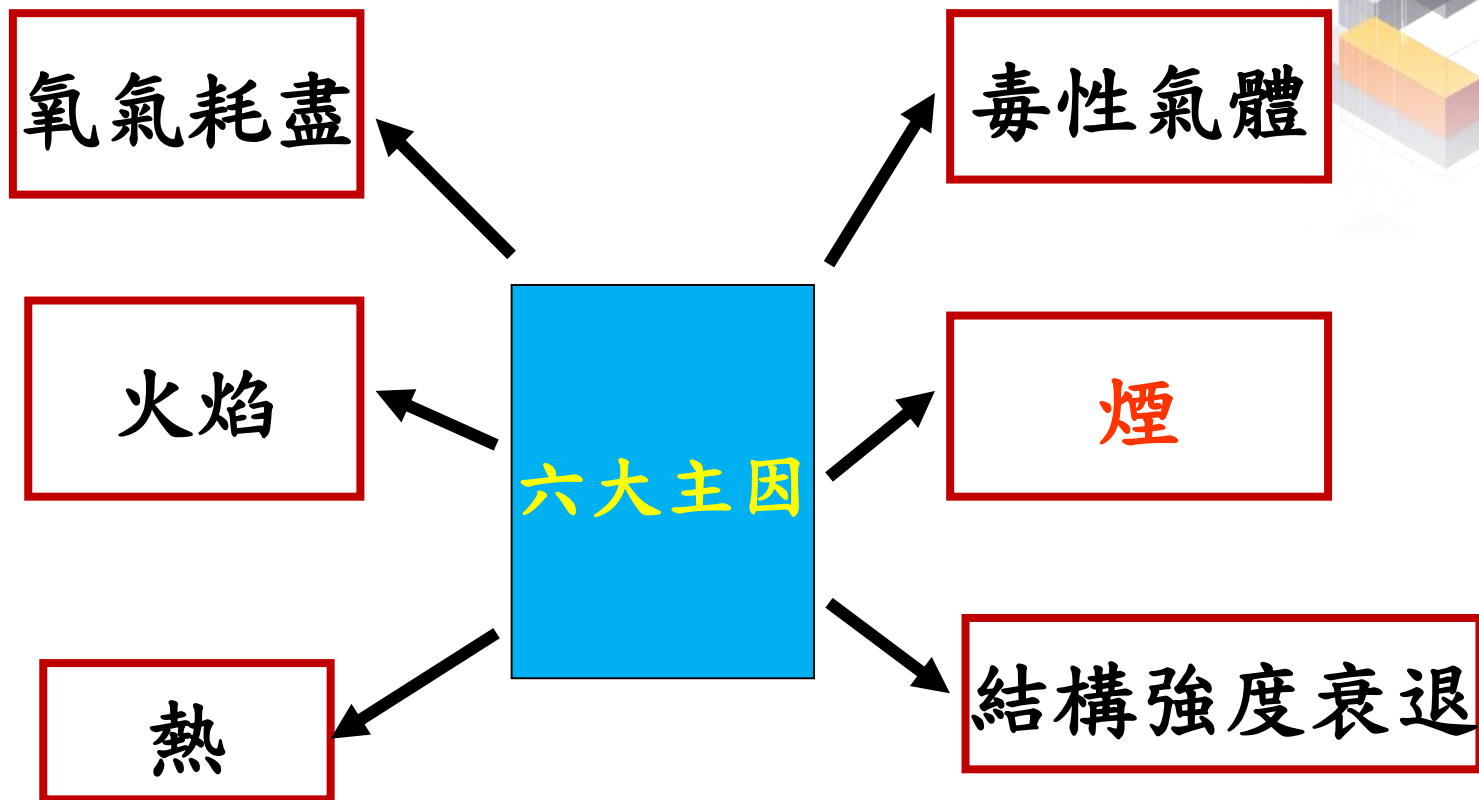
4.火災最盛期(Fully developed fire)

自閃燃起始後，火勢旺盛、溫度持續在高溫領域的時期，稱為火災最盛期。

5.衰退期(Fire decay or propagation)

火災擴大至其它結構體的階段。或者，另一方面，獨立住宅或限制於一房間之火災一旦達到最盛期的末期，即可看到室內火勢趨小，此稱為衰退期(後期)。

(四)火災的危害



煙 (Smoke)



❖ 煙的定義：

有機物燃燒時所產生之懸浮固體、液態物質及氣態產物，因燃燒氣流而形成的現象。

❖ 火災煙霧是由以下三類物質所組成：

- 未完全燃燒的液、固相分解物和冷凝物所構成之小顆粒
- 氣相燃燒產物
- 未燃的可燃性蒸氣和捲吸混入的大量空氣

❖ 煙的生成：

- 完全燃燒： H_2O 、 CO_2 、及其他穩定物質
- 不完全燃燒： CO 、Soot(煙粒)

煙的危害



火場中煙的主要危害有三：**1.煙的毒性**、**2.煙之高熱(灼傷、燙傷)**、**3.煙造成之視覺障礙(能見度降低)**。

❖ 煙的毒性：

- **一氧化碳(CO)**：CO會與血液中之血紅素結合，阻礙血液輸氧之功能，造成人窒息死亡。

CO濃度(ppm)	症狀
100	8小時內尚無感覺
400~500	1小時內尚無感覺
600~700	1小時內感覺頭痛、噁心、呼吸不暢
1,000~2,000	2小時內意識朦朧、呼吸困難、昏迷、痙攣、 逾2小時即死亡
3,000~5,000	20~30分內即死亡
10,000	1分鐘內即死亡

煙的危害



- **氰酸(HCN)**:妨礙細胞中氧化酵素之活性，一旦受到妨礙將造成細胞呼吸停止。若大量吸入HCN，數秒間即告死亡。HCN來源乃由**木、絲、尼龍等燃燒**。
- **氯化氫(HCl)**:會對身體之表面與氣到之內面造成傷害。HCl來源由**PVC的大量使用**，其燃燒會產生HCl。
- **二氧化碳(CO₂)**:CO₂本身無毒性，但可使吸入的氣體中養之分壓降低，誘導缺氧症，造成呼吸困難與窒息狀態。

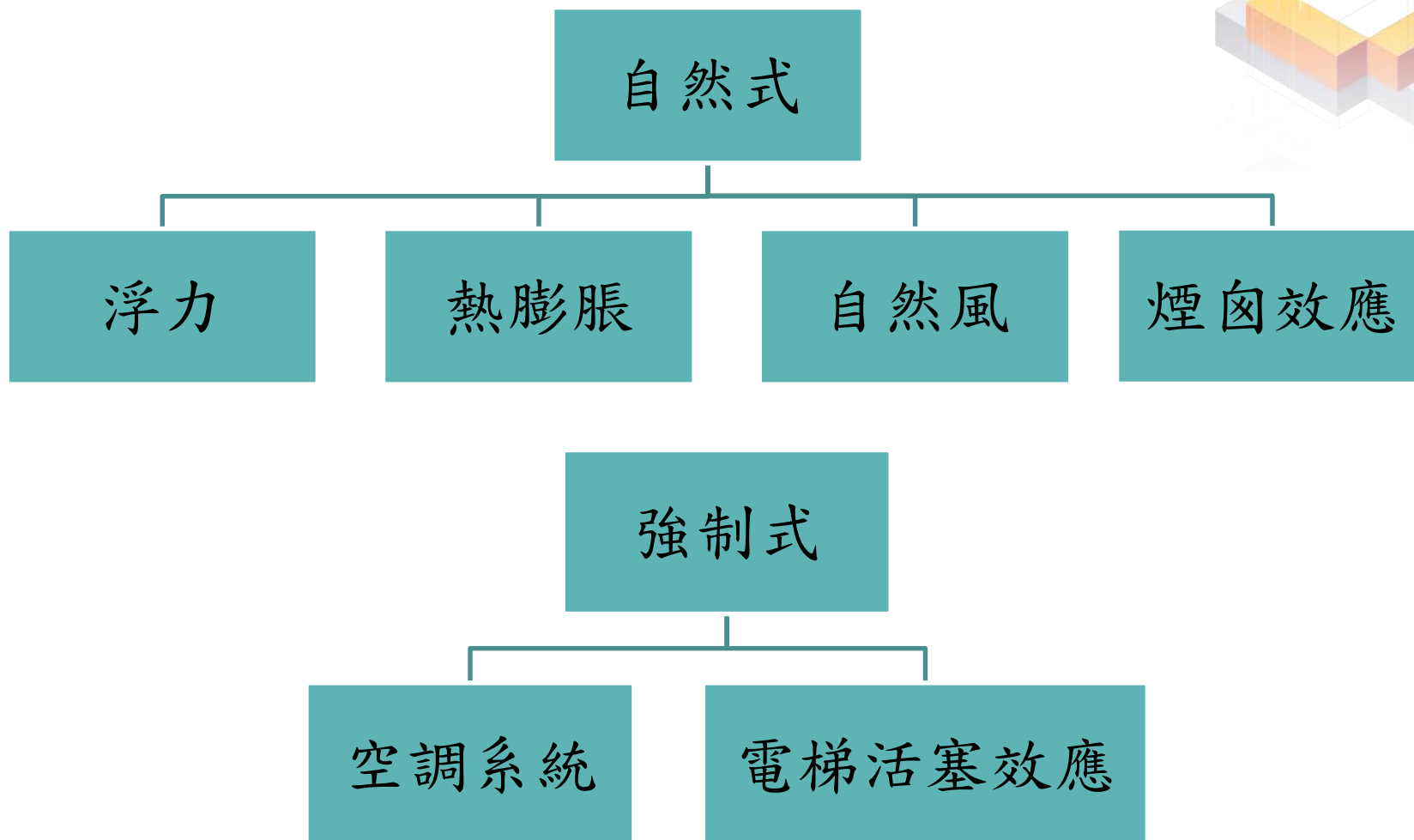
CO ₂ 濃度	症狀
1~2%	數小時內安全
3~4%	1小時內安全
5~7%	30分~1小時內即有危險
20%以上	短時間內即可死亡

氧氣濃度	症狀
21降至17%時	妨礙運動肌肉之調節
14降至10%時	尚有意識、疲勞、判斷易錯誤
10降至6%時	昏迷、數分內需供氧始可甦醒

煙流動的因素



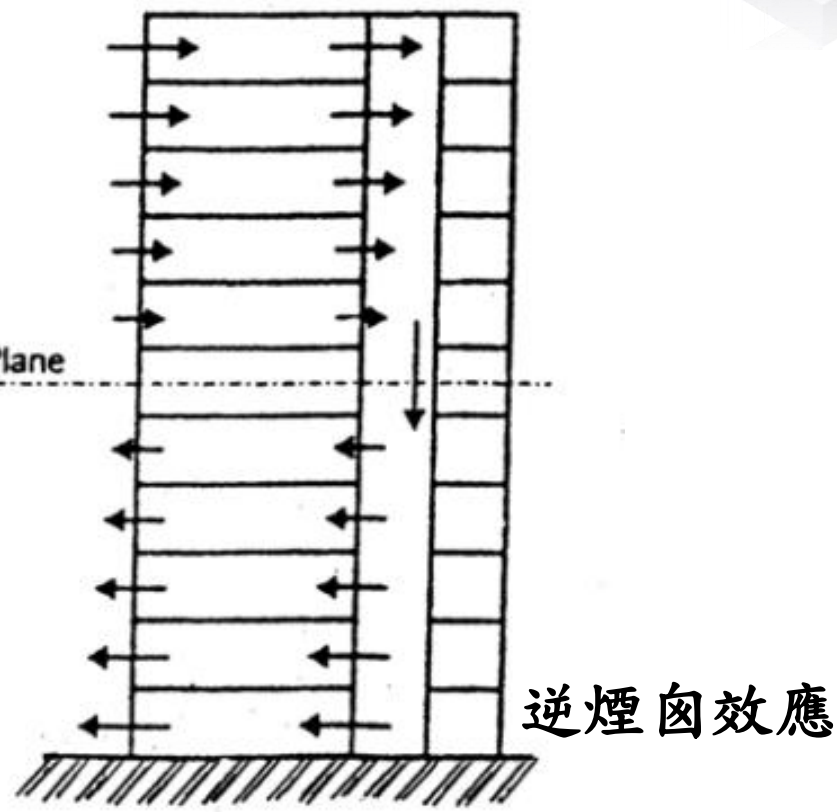
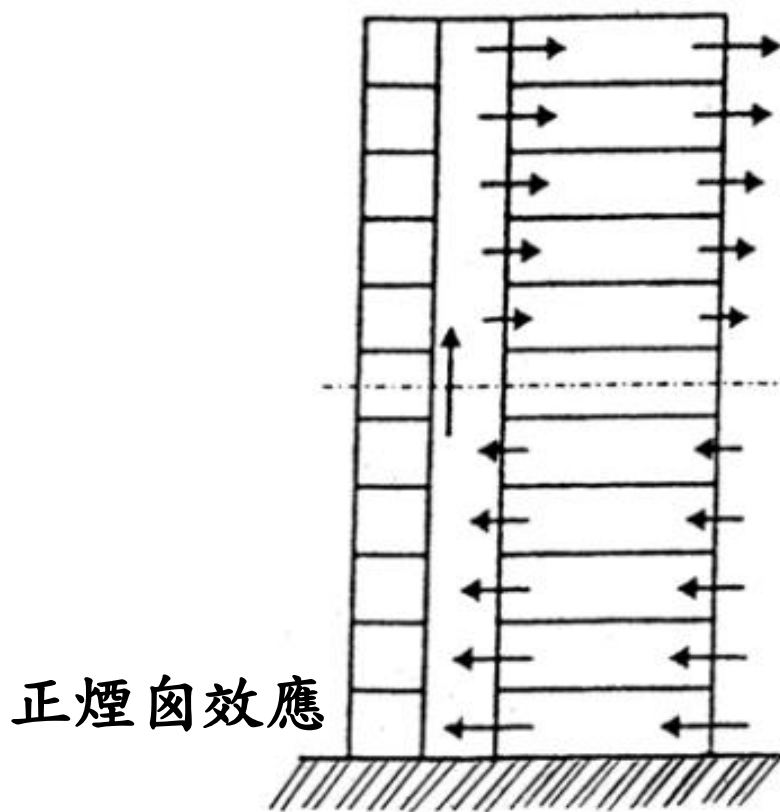
❖ 依擾動的性質可分自然式、強制式兩類。



煙囪效應 Stack Effect



- ❖ 當火災發生時，垂直空間區劃(樓梯間、電梯豎井等)中，因熱空氣向上對流，冷空氣下方遞補而形成煙在垂直空間比水平空間快流動之現象。
- ❖ 可分成**正煙囪效應**及**逆煙囪效應**



錢櫃KTV火災

錢櫃KTV林森北路大樓火警撲滅 54人送醫5死1命危【更新】

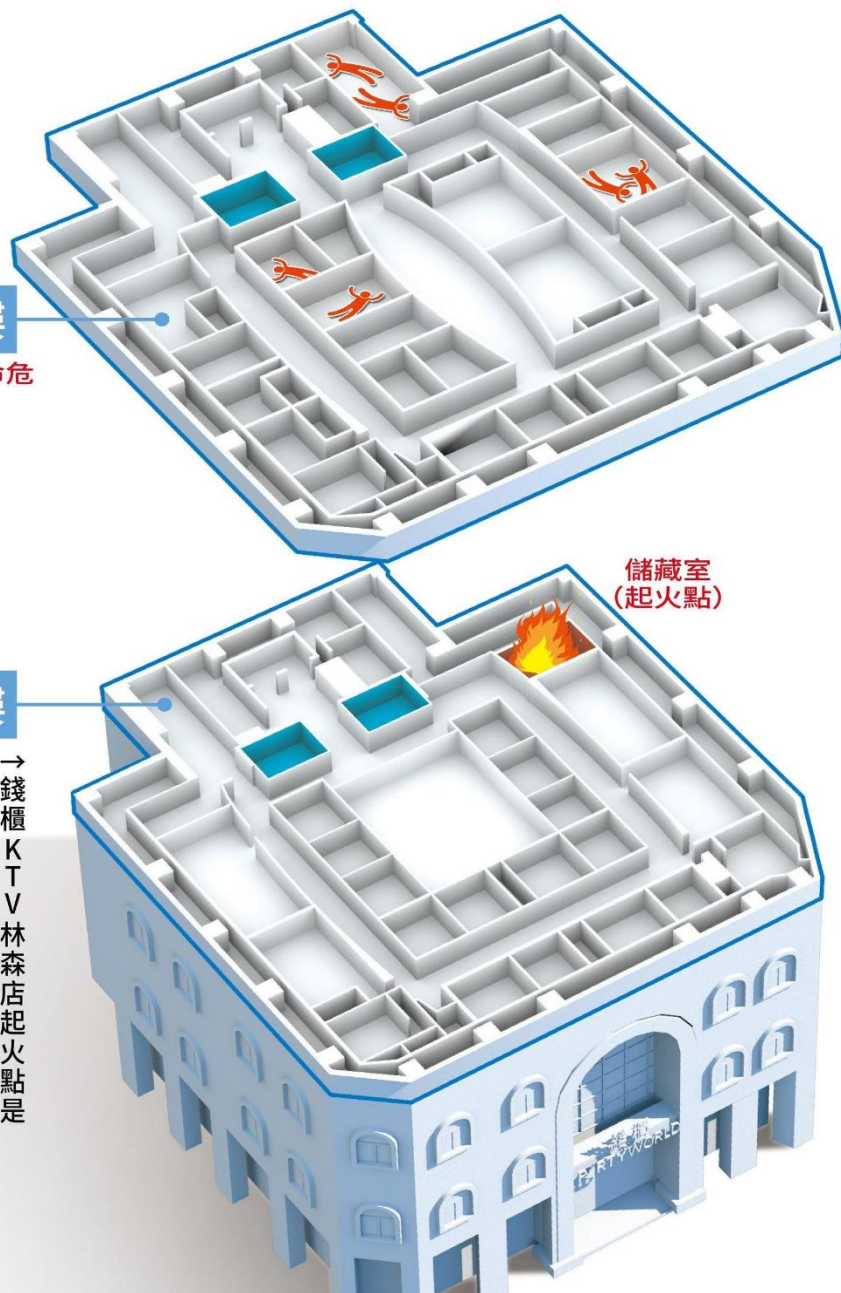
2020/4/26 11:36 (4/27 12:05 更新)



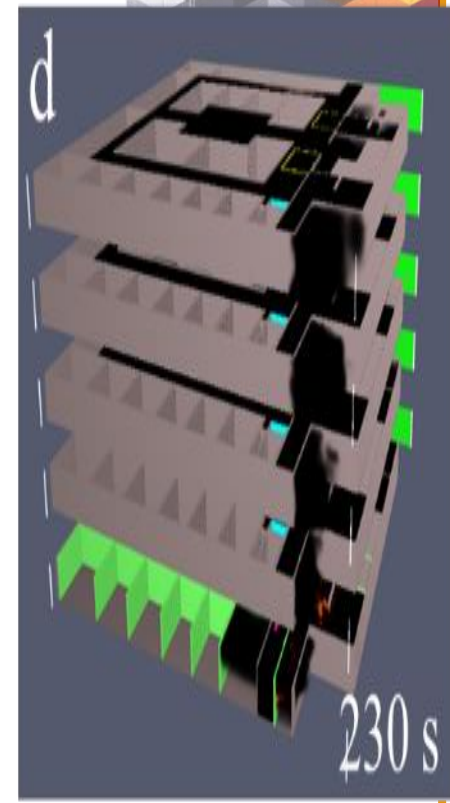
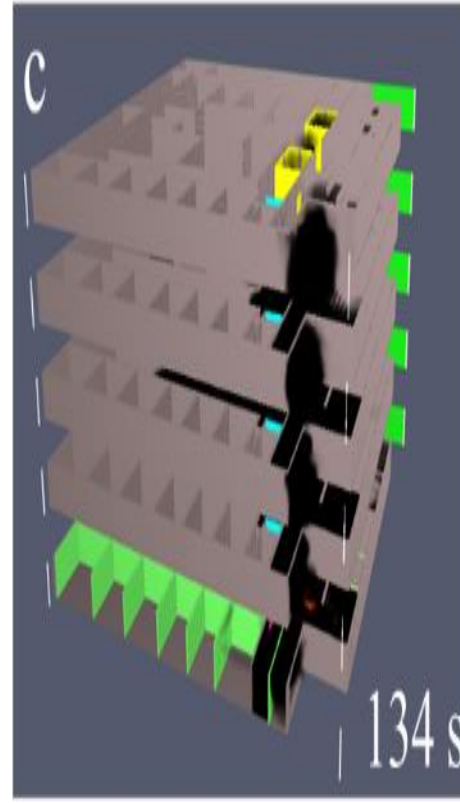
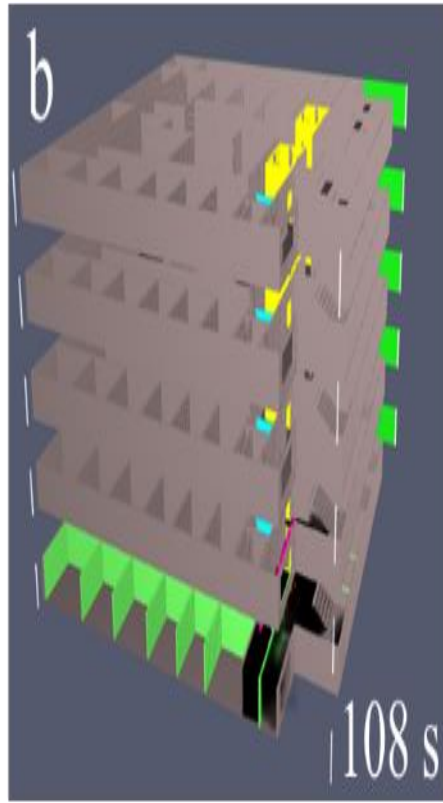
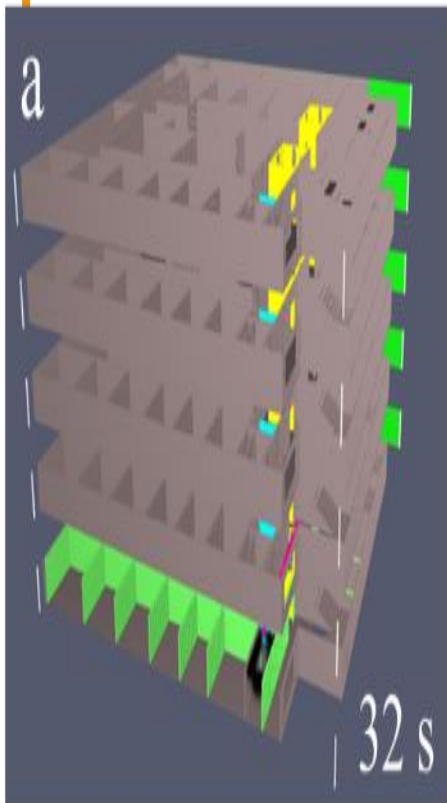
錢櫃林森店起火點及罹難命危者位置圖

8樓
5死1命危

4樓
→ 錢櫃KTV林森店起火點是
四樓儲藏室，延燒至六、七、
八樓包廂，造成五死一命危。



錢櫃KTV火災





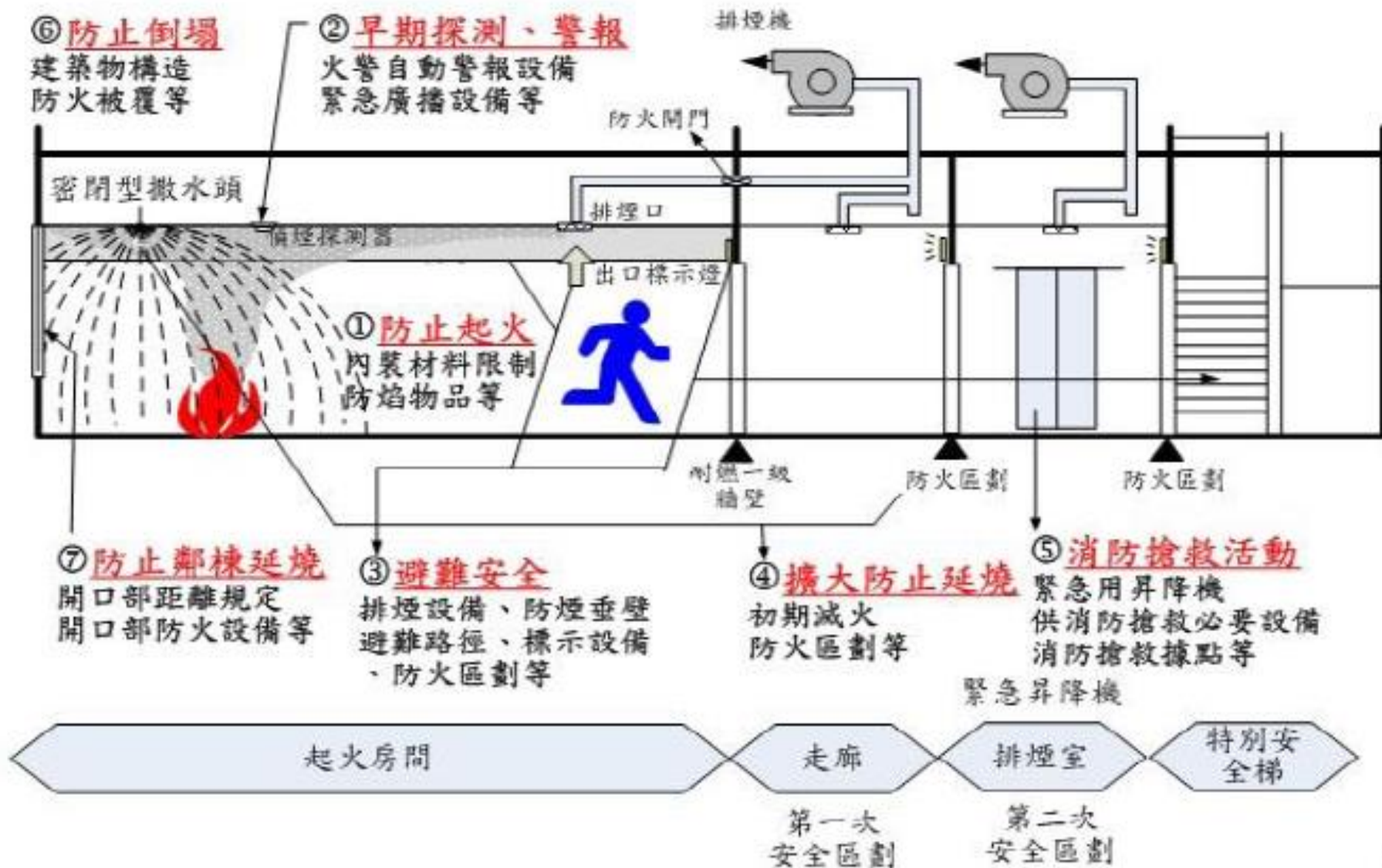
第二篇 火災防制技術

火災防制策略



熱釋放率 或 溫度變化				
防火目標	防止起火	成長期的耐燃性	防止擴大延燒	防止破壞
火災控制 機制	可燃物量		通風量	可燃物量
人類行為	逃生避難		死亡	
感應	人員自行發現或 偵煙器	偵煙器 偵溫器	延燒出去的火焰和煙	
主動式 防火	人員自行或消防人員滅火 灑水頭 煙控		消防人員滅火	
被動式 防火	材料燃燒性		防火時效（區劃）和防火建築物	

建築物防火對策



被動式防火



以**建築材料、構件及構造本身之性能為主**，用以達成防火目的，常見如建築物防火構造、防火及防煙區劃、室內裝修材料限制等。



- 防火材料
- 防火門、捲門
- 防火牆
- 防火、防煙區劃



防火材料



建築材料

防火材料

一般材料

- ❖ 防火材料其熱特性較一般材料佳，亦使得防火材料較不容易點燃，進而控制火勢的蔓延。

防火材料分類



1. 防焰材料(薄材料)

具防止因微小火源，而起火或迅速延燒性能的裝修薄材料或裝飾製品。

如：地毯、窗簾、展示用廣告版等

2. 耐燃材料(裝修板材)

建築材料在火災初期受高溫時，不易著火延燒及發熱、發煙及有毒氣體的生成量均低者。

如：耐燃合板、耐燃塑膠板、石膏板等

3. 耐火材料(建築構件)

一定標準火災試驗條件下，能維持耐火穩定性、完整性、及隔熱性要求之材料、構件及構造。

如：混凝土、磚、瓦、鋼鐵等

耐火材料與防火時效



何謂「防火時效」??

各類結構構件所能防護火災的時間長短，
就是建築物結構的防火時效。



防火、防煙區劃之意義



將建築物或其他大型空間以防火牆、防火門等方式區隔成數個小空間，使萬一某一居室著火，**將火勢限制在一固定之範圍內**，其火、煙、毒性氣體不會竄流至其他空間。

區劃類型	區劃功能目標	區劃構成
防火區劃	建築物發生火災時， 防止火焰擴大及侷限延燒範圍為目標 。要求具有一定時間以上之耐火性(主要為遮焰性)，亦可兼具遮煙性(兼防煙區劃)	已具有耐火時效之助、樑、承重牆壁、樓地板及屋頂等防火構造及防火門、窗構成。
防煙區劃	建築物發生火災時， 為控制火場產生濃煙的擴散及流動而設置的區劃 。並不需要如防火區劃一般的遮焰性，但須要求有遮煙性，一般被認定由垂壁所區劃。	以具有氣密性且不燃材料構成區化為原則；固定垂板(壁)或活動板(幕、捲簾皆可採用)
安全區劃	為確保建築物內人員避難安全而 必須防止火焰、煙氣進入避難通路 及提供遮熱性保護所設置的區劃。	依循避難的通路，走廊、大廳附室等以下不燃區劃構成。以具有某種程度耐火性、氣密性之耐火材料構成區劃原則。

防火、防煙區劃



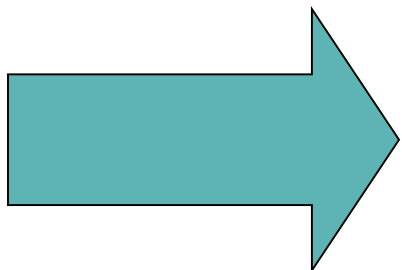
- ❖ 門是人員進出的通道，如何維持區劃？
- ❖ 如何維持「鐵捲門」區劃？



煙控系統



防止煙由災區蔓延，並保持逃生路
經暢通，但僅用區劃阻擋煙之流動
不足以減少煙危害，需加以引導排
出！



煙控

煙控系統



防止煙由災區蔓延，並保持逃生路經暢通，但僅用區劃阻擋煙之流動不足以減少煙危害，需加以引導排出！

➤ 煙控系統可分為：

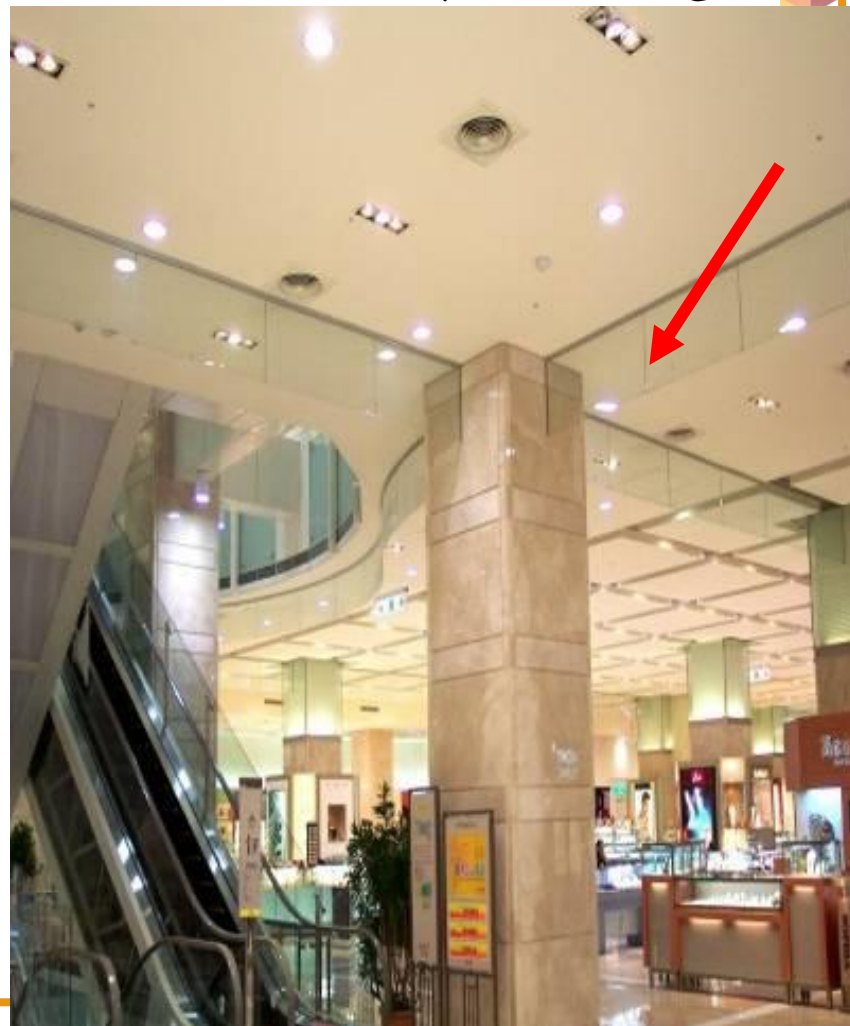
- 機械排煙：利用排煙機把著火房間中所產生的煙氣和熱量通過排煙口排至室外，同時在著火區形成負壓，防止煙氣向其他區域蔓延。
- 自然排煙：利用外窗、陽台、凹廊或專用排煙口、豎井等將煙氣排走或稀釋煙氣的濃度。

防煙垂壁 Draft Curtain

- ❖ 利用居室內部之防火牆壁，形成蓄積煙的空間，**減緩煙往水平方向擴散**。廣泛被使用在樓地板面積很大的建築物中，以彌補因面積太大，煙不易控制的缺點。
- ❖ 常見的防煙壁設計，為自居室天花板下垂某一長度，而成**防煙垂壁**。



台南新光三越



防煙區劃

Smoke Compartment



❖ 以防火防煙之牆板樓板將建築物內部區隔成數區，讓煙的移動被限制在一個區劃內。而該區內須具有獨立的排煙系統將煙排出。

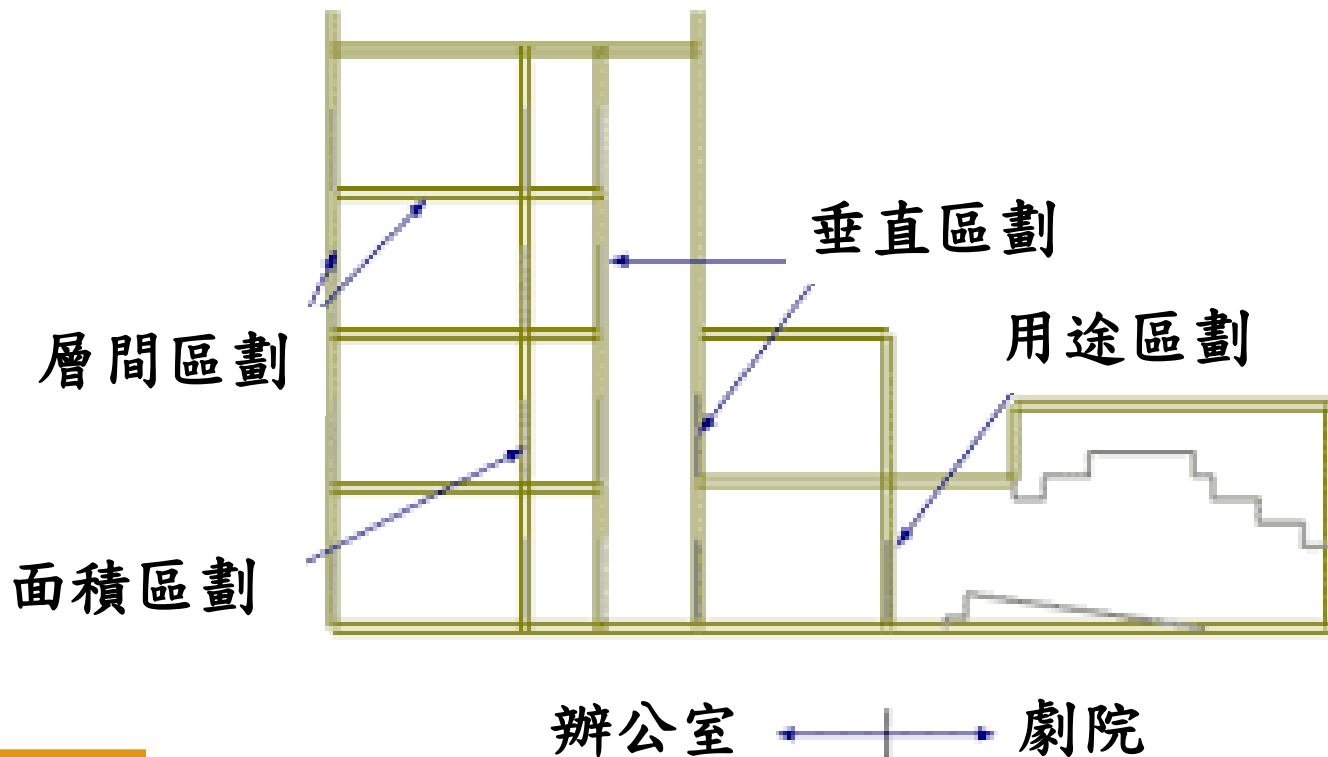
❖ 防煙區劃之種類可分為：

a. 平面區劃

b. 垂直區劃

c. 層間區劃

d. 用途區劃



自然排煙 Smoke Vent



- ❖ 利用牆面、天花板、中庭或天井頂部的開口讓煙藉由風，或直接排出建築物外。此開口於平常時可由擋板控制開或關，遇有火災時則自動或人工手動開啟，以利室內的煙排出。其重要的設計因素為排煙口的位置、形狀及大小。



主動式滅火



以**消防安全設備**為主來達成防火的目的，如滅火設備、警報設備、標示設備及輔助消防人員搶救活動之設備。

❖ 各類場所**消防安全設備**依消防法暨各類場所消防安全設備設置標準分為：

- (1) 滅火設備
- (2) 警報設備
- (3) 避難逃生設備
- (4) 消防搶救上之必要設備
- (5) 其他經中央消防主管機關認定之消防安全設備。



火警探測器



火災發生時，產生煙、熱及光之現象和燃燒所生物質，而使其得到感應，向火災受信總機發出信號之設備。

(1) 感熱式:偵測周圍溫度上升率。

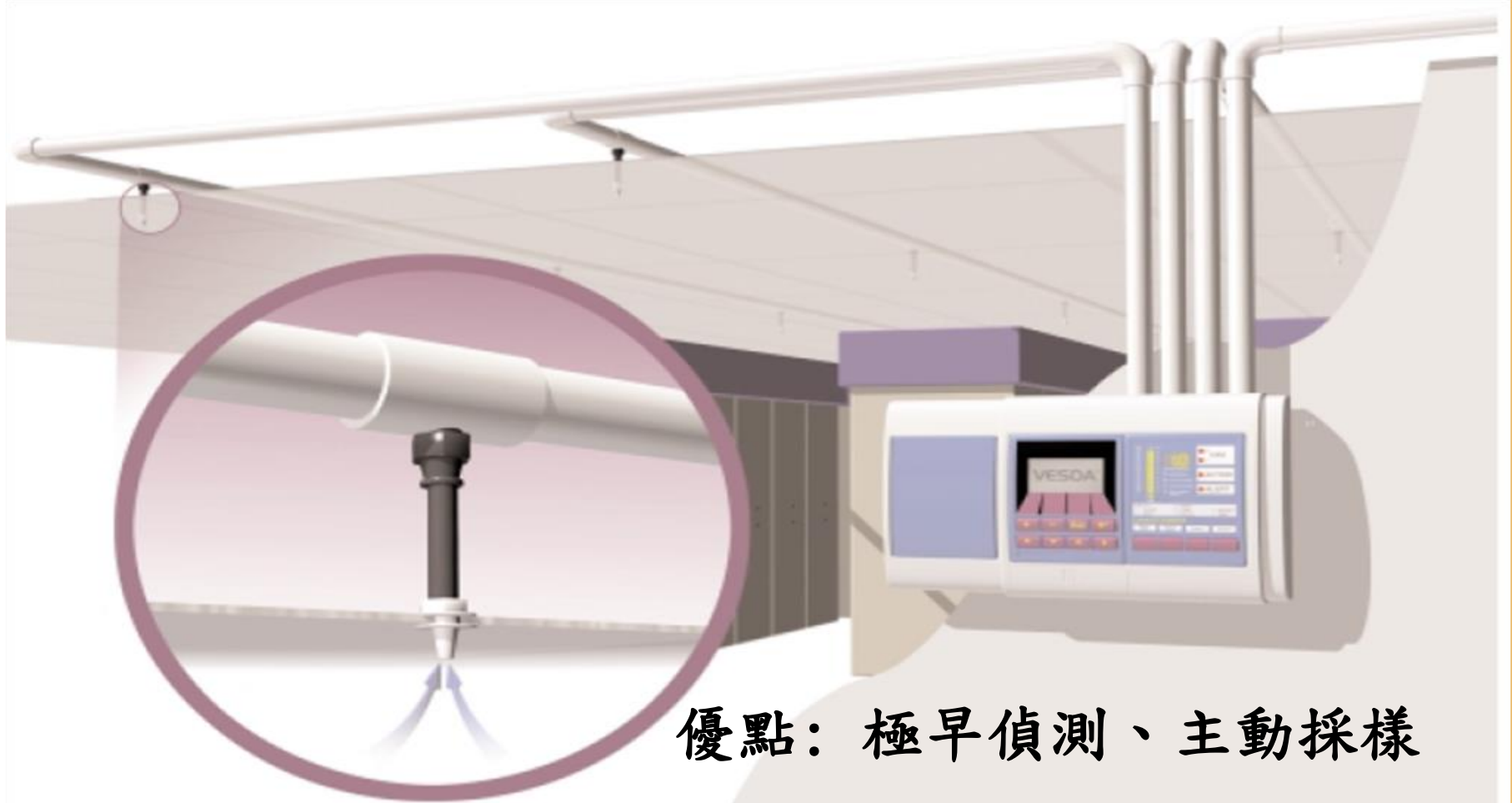
(2) 偵煙式:偵測周圍空氣所含煙濃度。

(3) 熱煙複合式:同時具備感熱式及偵煙式探測器兩種作動原理之型式。

(4) 火焰式:對於火焰所產生之紫外線及紅外線，其輻射答一定程度時，利用熱電效應之檢知元件或紫外線偵測管，受輻射而放電，影響其放電電壓大小，而發生變化知原理

Very Early Smoke Detection Application (VESDA)

極早型偵煙器



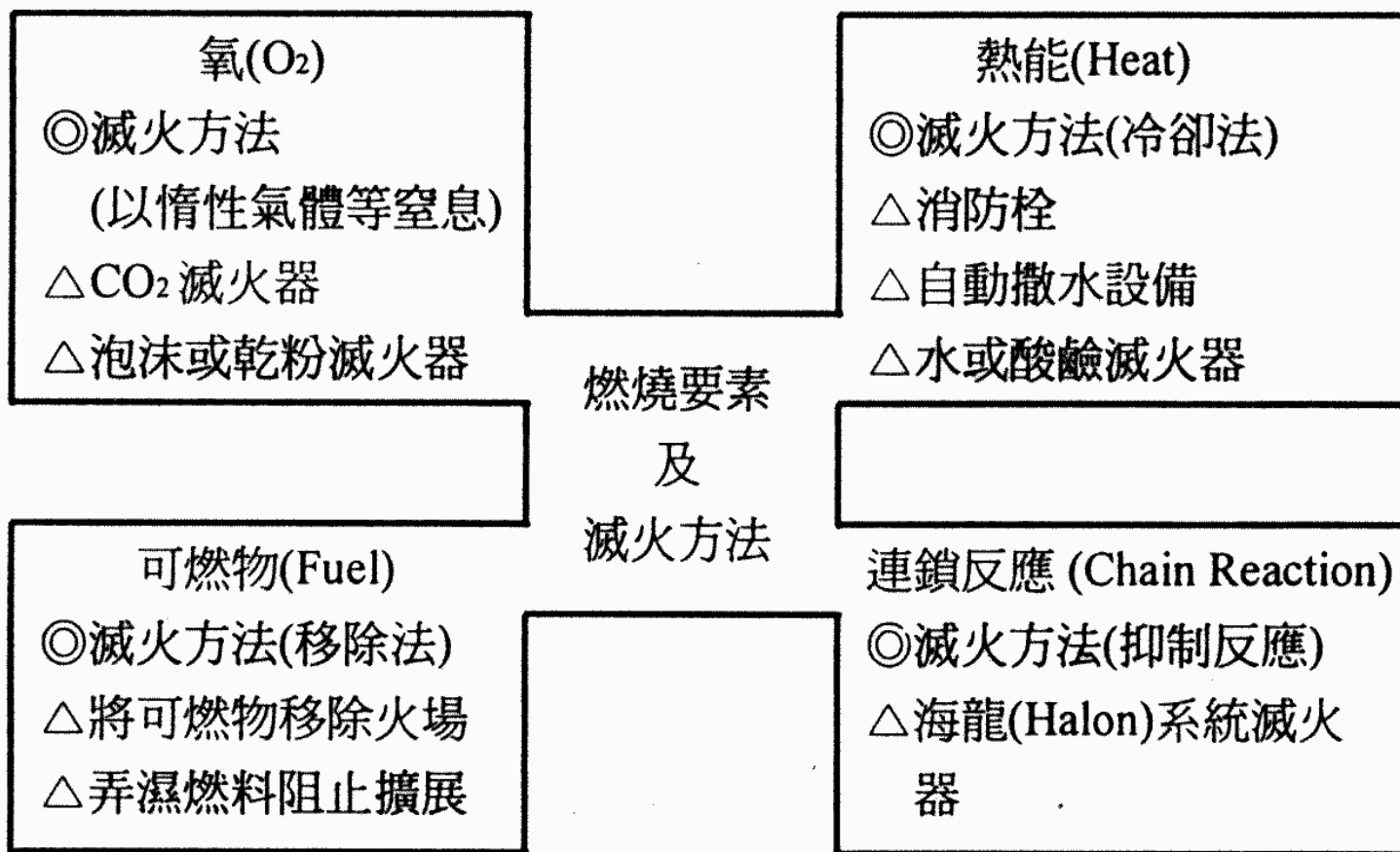
優點：極早偵測、主動採樣

缺點：容易誤作動、價格昂貴

滅火的原理



- ❖ 構成燃燒，必須燃燒之四個要素（即可燃物、氧氣/空氣、能量以及連鎖反應等）同時存在，方能持續進行。
- ❖ 因此要滅火，只需將其中任一要素移開或隔離，即能控制火的延燒與擴散，而達到撲滅的目的。



滅火的原理(續)



燃燒條件	方法名稱	滅火原理	滅火方法
可燃物	隔離法	搬離或除去可燃物	將可燃物搬離火中或自燃燒的火焰中除去。
助燃(氧)	窒息法	除去助燃物	排除、隔絕或者稀釋空氣中的氧氣
熱能	冷卻法	減少熱能	使可燃物的溫度降低到燃點以下
連鎖反應	抑制法	破壞連鎖反應	加入能與游離基結合的物質，破壞或阻礙連鎖反應

火災之控制與滅火



「各類場所消防安全設備設置標準」第8條

- ❖ 滅火器、消防砂
- ❖ 室內消防栓設備
- ❖ 室外消防栓設備
- ❖ 自動撒水設備
- ❖ 水霧滅火設備
- ❖ 泡沫滅火設備
- ❖ 二氧化碳滅火設備
- ❖ 乾粉滅火設備



水滅火方式



❖ 冷卻式：

在室溫下將水灌入火場中，每克的水蒸發成 100°C 之水蒸氣所帶走之熱量為619大卡。

❖ 窒息式：

水蒸發成水蒸氣，體積膨脹1700倍，可提供稀釋氧氣之效果。

❖ 稀釋式：

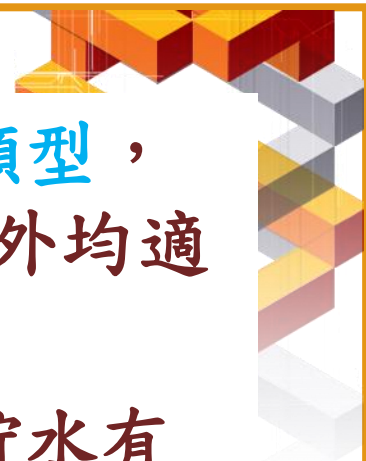
當燃料本身具有水溶性質，則水可使燃料濃度降低，造成可揮發之可燃性蒸氣減少。

水滅火之限制



- ❖ 不可用於撲滅D類火災(金屬火災)。
- ❖ 不可用於撲滅油類火災(B類火災)。
- ❖ 水雖然有冷卻作用，但當可燃氣體和閃火點低於所用水溫之易燃性液體產生之火災，則水滅火之效果不佳。
- ❖ 水具導電性，因此較不適用於通有電流之電氣火災(C類火災)，會對搶救人員造成感電危害。
- ❖ 水滅火方式於寒冷地區，會產生結冰問題。

撒水設備分類

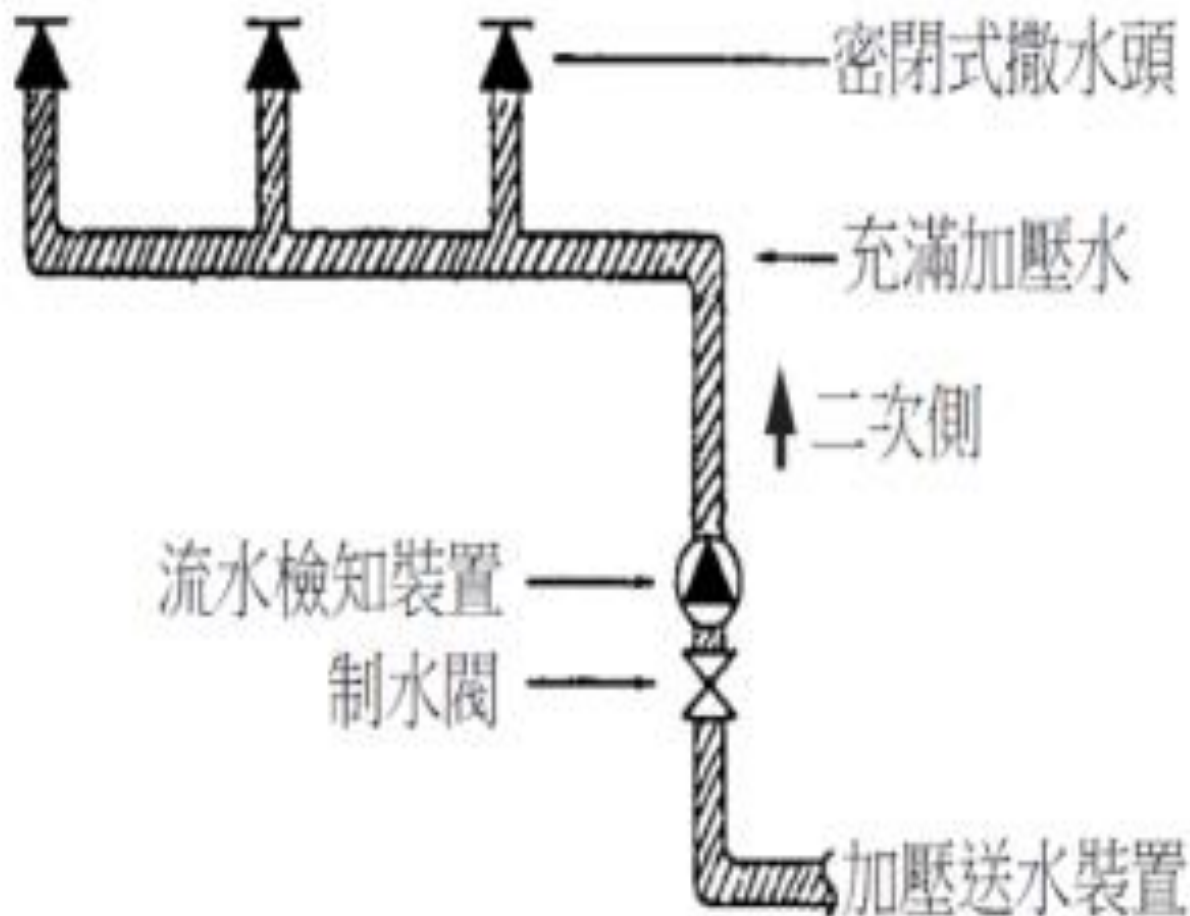


- ❖ **密閉濕式**: 目前較為常見且普遍使用之類型，除寒帶地區、精密電腦機房及開放舞台外均適用。
- ❖ **密閉乾式**: 適用於寒冷地區，管線內部貯水有結冰之虞之場所。
- ❖ **開放式**: 適用於密閉式撒水設備無法有效滅火且有迅速擴大火勢之場所。
- ❖ **預動式**: 採雙層感應確認，有效防止誤動發生，適用於電腦等精密電氣室。

密閉濕式作動



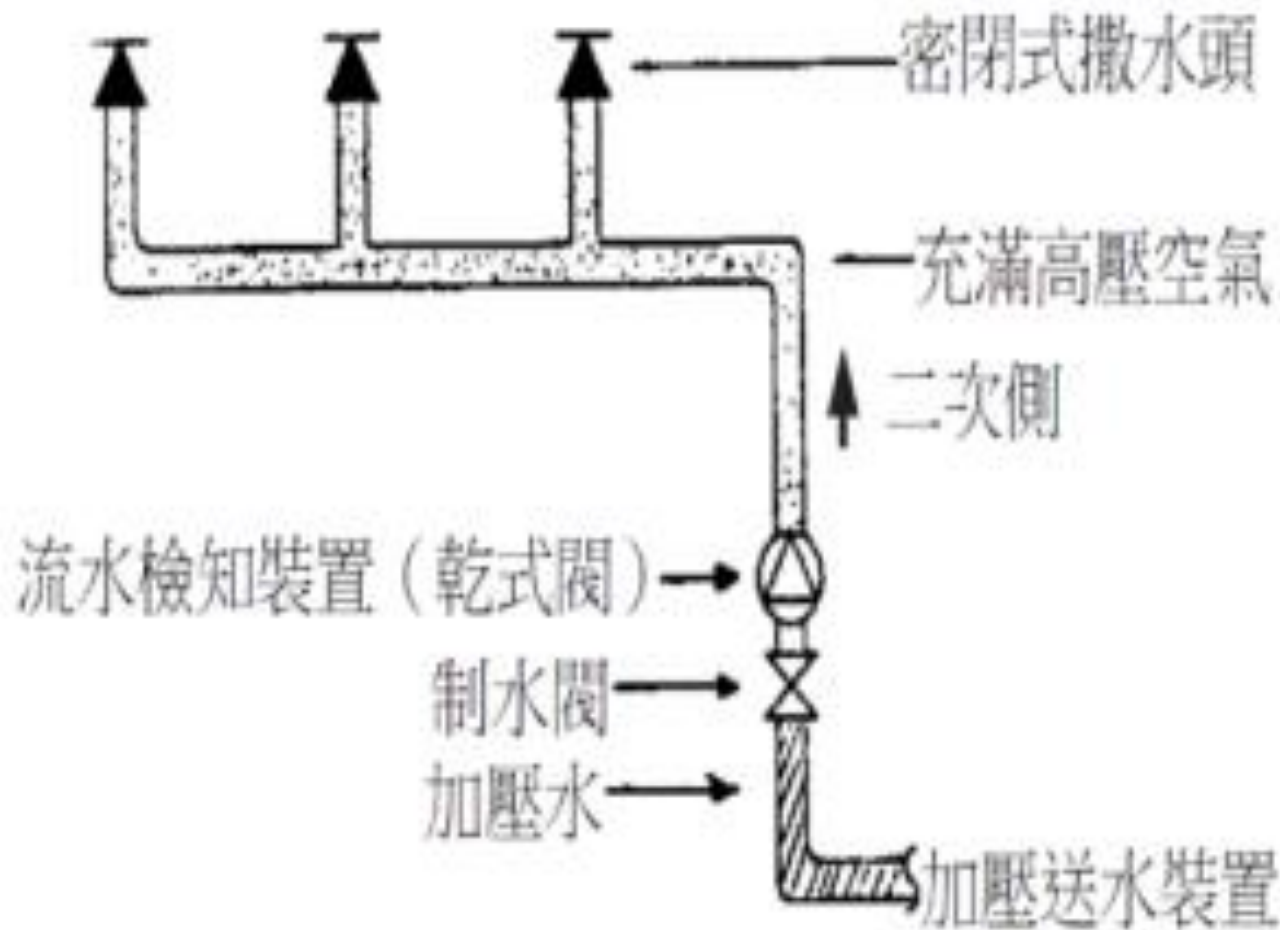
- ✦ 平時管內儲滿高壓水，撒水頭作動時，即由撒水頭將水撒出。



密閉乾式作動



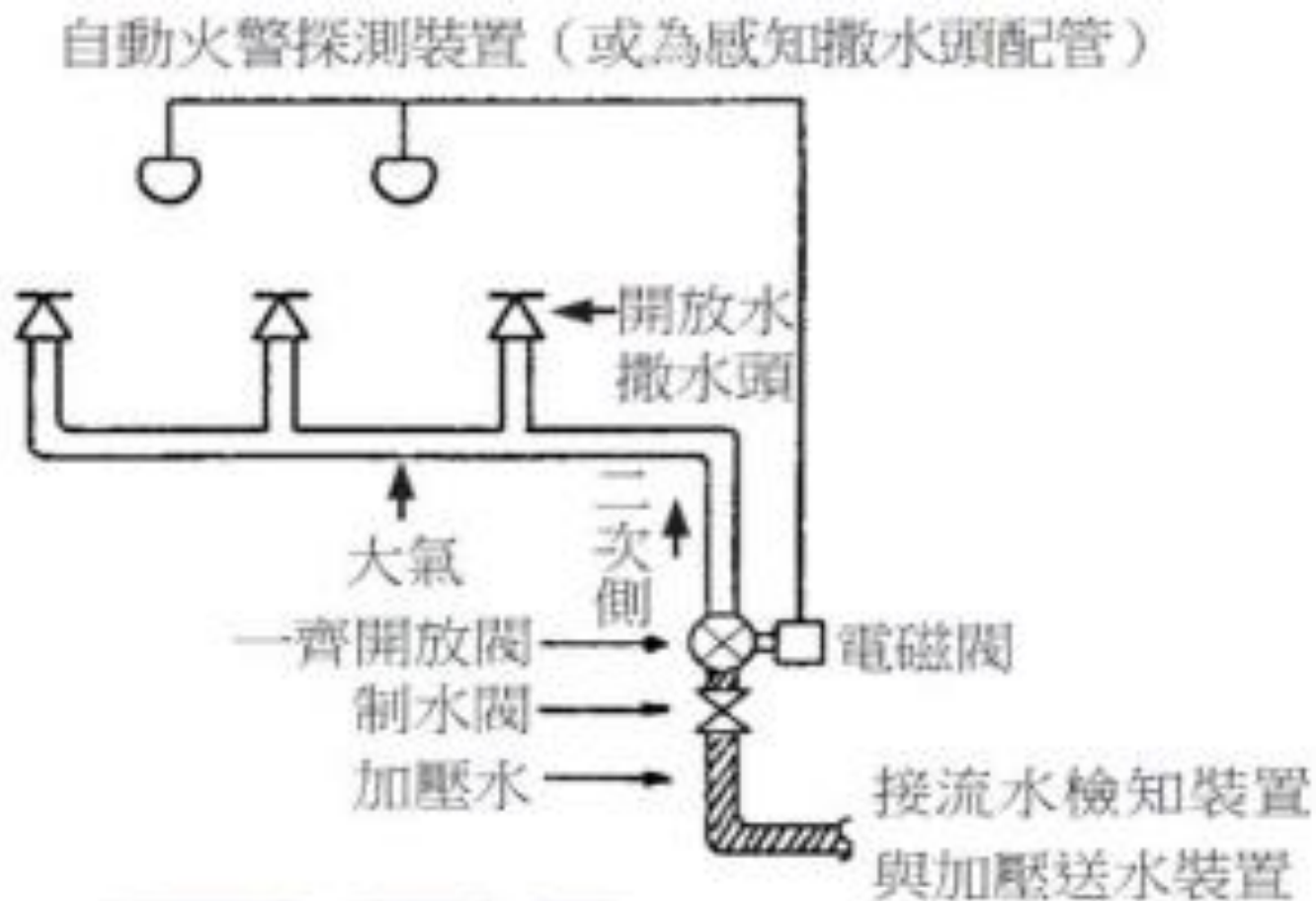
❖ 平時管內儲滿高壓空氣，撒水頭作動時先排空氣，隨即撒水。



開放式作動



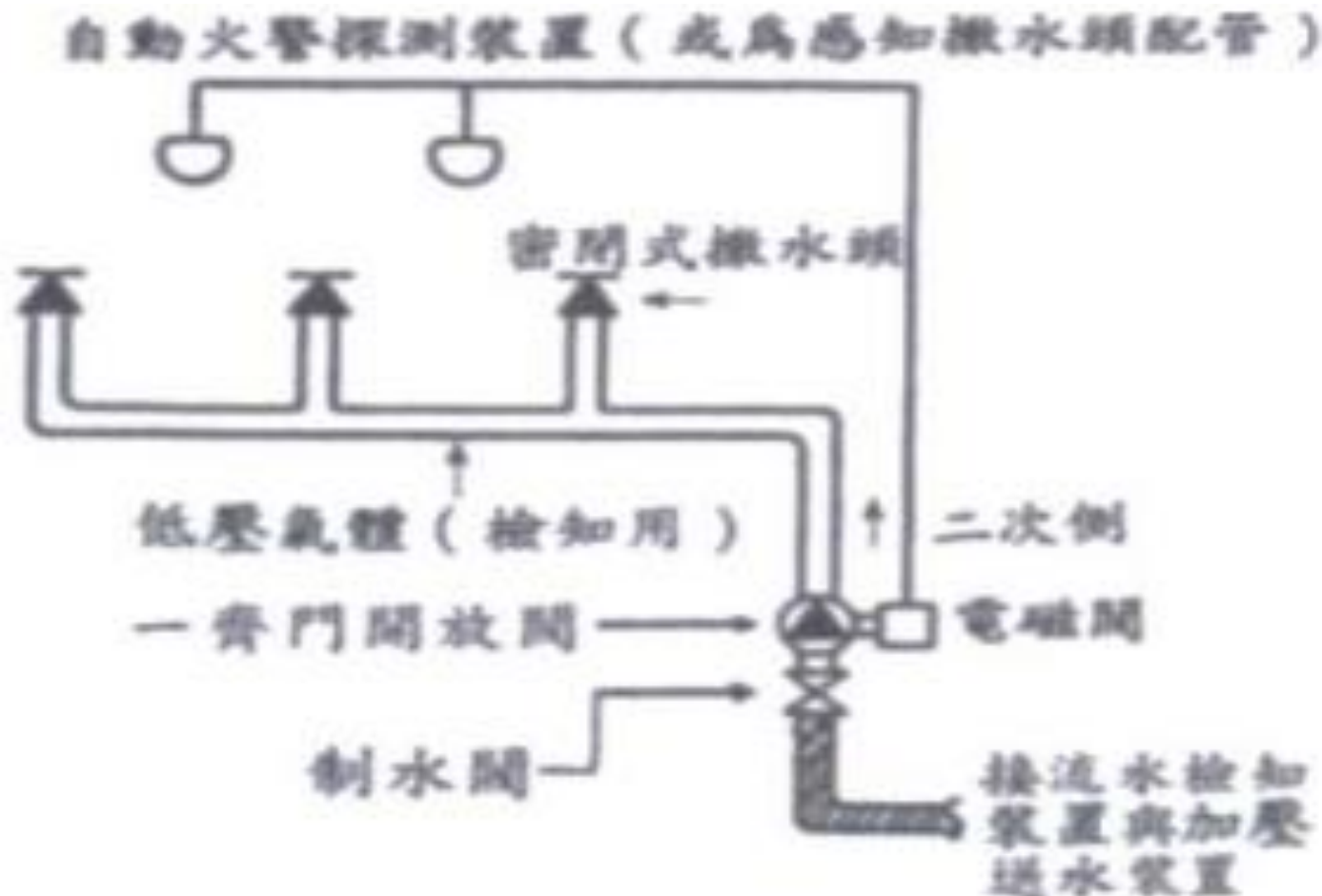
- ❖ 平時管內無水，作動時由探測器火感知撒水頭自動或手動啟動一齊開放閥，隨即整個放水區域同時撒水。



預動式作動



- ❖ 平時管內儲滿低壓空氣，以感知裝置啟動流水檢知裝置，讓水流入二次側配管且撒水頭動作立即撒水。



水霧滅火設備



- ❖ 水霧滅火設備是一種能發揮滅火、壓制火勢、防止延燒及預防火災等**多功能之消防設備**。適用於化學工廠、室內停車場、危險物品儲藏庫、石化工業等處所。
- ❖ 水霧滅火設備是利用**特殊設計之水霧噴頭**，將**高壓力之水**以**霧狀均勻放射**之設備。
 - 當水滴粒子變小，則**總表面積增加**，加速**水的吸熱反應**，形成**冷卻效果**。且利用水粒子受熱汽化，**體積膨脹形成窒息作用**。
 - 對**水溶性可燃物質之稀釋作用**，使燃點提高，造成燃燒無法持續。
 - 水霧打入油類中，**可攪動油面層**，於可燃性油類表面形成**不燃性乳化層**，阻止可燃氣體釋出，達滅火目的。
 - 因水滴粒子小，**減少導電效果**，使其可**使用於電氣火災**。

細水霧滅火系統



❖ 何謂細水霧？

即利用高壓幫浦，將傳統消防水霧化成非常細小的水滴，但究竟多小的粒徑水滴，方可稱為細水霧，於此將以較科學且量化的方式予以定義及說明。

❖ NFPA 750對細水霧之定義

系統必須以最低設計壓力動作時，在距離噴頭1公尺處測得的99%體積水滴粒徑($Dv0.99$)應在 $1000\mu m$ 以下，遂可稱為細水霧。



細水霧滅火系統之滅火機制



滅火機制	滅火原理
吸收熱能	利用高壓系統及孔徑較小之噴頭，製造出細微的水滴，因為就相同體積的水而言，較細微的水滴可形成較大之表面積，故使得水與火之接觸面積得以擴大，進而達到提高吸收熱量、冷卻火場之效果。
隔絕氧氣	當細水霧噴撒於火場時，因為粒徑較小的水滴可被快速蒸發，而被蒸發成水蒸氣的體積會膨脹1300~1700倍，進而取代原空間之空氣，使得空氣中的氧氣濃度降低，最終達到窒息之效果。
阻絕輻射熱	霧氣能形成一熱障層，可籠罩火焰避免熱輻射回饋至燃料，亦可避免其人員受到熱輻射危害。

細水霧優缺點

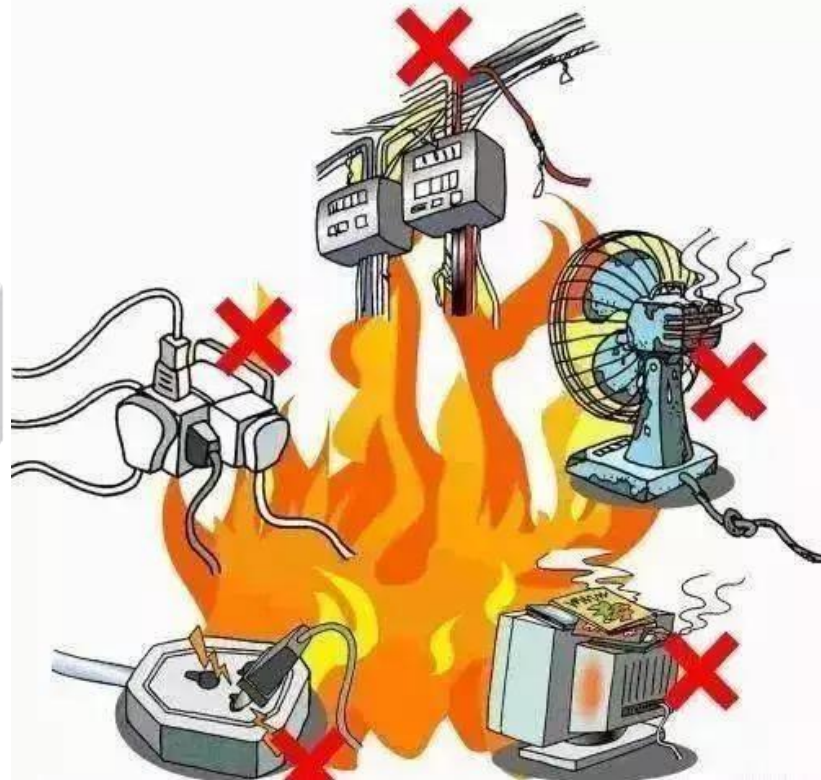


優點

- 1.滅火效率高、用水量小，系統不需龐大儲水設備。相同滅火時間內，噴水量為傳統撒水的10~20%。
- 2.滅火後幾乎無水漬殘留，且對環境與人員無害。
- 3.細水霧可有效吸收和降低火災區域煙氣中的固體顆粒濃度，提高能見度並減低煙塵對人體損害。
- 4.降溫作用強，火場周圍的環境溫度低，以利救災人員接近。
- 5.具有良好的電氣絕緣性能，撲救電氣設備火災安全性好。

缺點

- 1.無法於空曠地區設置，因其粒徑小容易飛散。
- 2.細水霧系統之噴頭造價較一般傳統撒水系統昂貴。
- 3.對於消防用水的水質要求較高。



第三篇 新興火災 鋰電池火災安全風 險評估



鋰電池及儲能貨櫃火災

深坑火災惡臭瀰漫雙北 電子產品燒毀鋰電池復燃增滅火難度

2024/2/21 03:38 (2/21 21:18 更新)



台中戶外高溫 綠能密閉儲櫃起火損失百萬



鋰電池熱失控階段



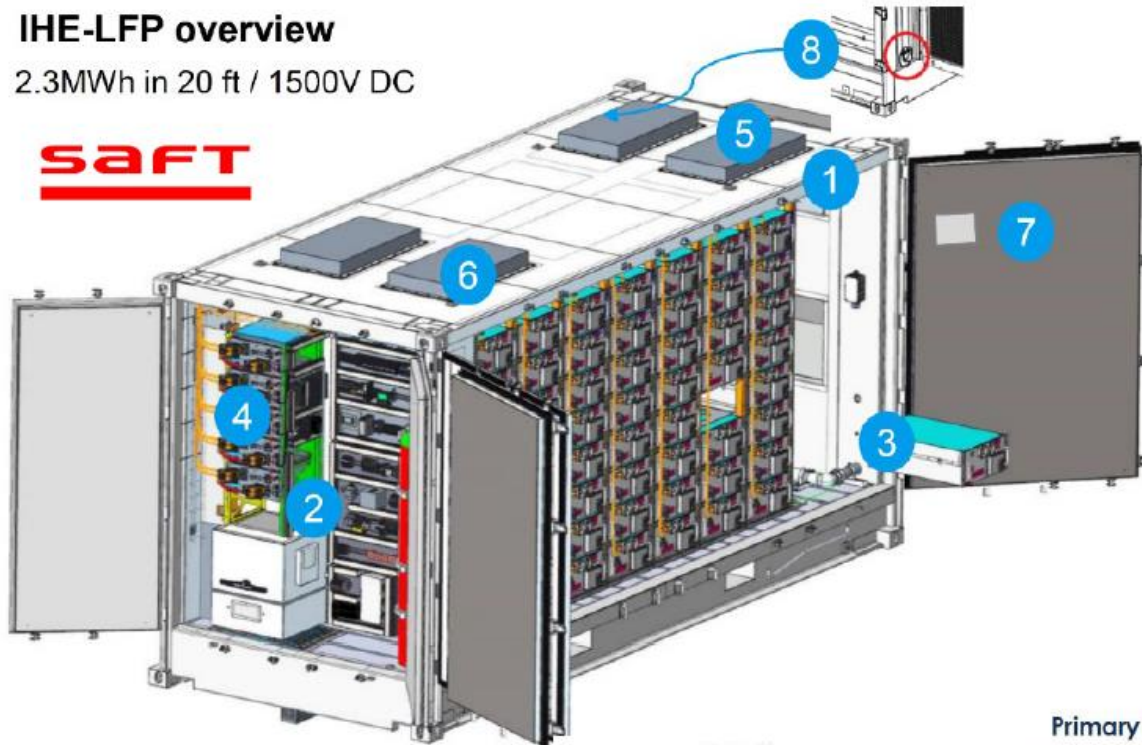
1. 溫度於 90°C 以上，負極易產生反應，同時SEI分解導致傳導電子作用的電解液於負極端之氧化鋰層造成還原反應。
2. 於 120°C 以上，防止電池正負極短路的隔離膜會發生裂解，造成內短路而引起放熱速率增快。
3. 正極材料目前以有鈷酸鋰、錳酸鋰、鎳錳鈷三元材料及磷酸鐵鋰等主，正極材料於 140°C 時會放熱分解造成熱失控反應並生成大量氧氣。
4. 正極材料分解與電解液氧化反應於 180°C 以上，隨著溫度上升而劇烈放熱並造成氣體釋放之熱爆炸。

儲能貨櫃

IHE-LFP overview

2.3MWh in 20 ft / 1500V DC

saft



- 1 20 ft container
- 2 Control room
- 3 LFP modules, rack sizing
- 4 Battery Management software
- 5 HVAC
- 6 Explosion mitigation blast panels
- 7 Overpressure valve
- 8 Water FSS



Primary FSS



消防滅火及相關偵煙、偵溫安全設備

UL 9540A 測試方法



- Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems (評估電池儲能系統中熱失控火災蔓延的測試方法)。



UL 9540A

- Scope:
- 評估經歷熱失控後電池儲能系統的火災特性，該資料將用於確定安裝電池儲能系統所需之防火和防爆保護。

Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems

- Levels of Tests:
- 電芯級別試驗(Cell Level Test)
- 模組級別試驗(Module Level Test)
- 單位級別試驗(Unit Level Test)
- 安裝級別試驗(Installation Level Test)

UL COPYRIGHTED MATERIAL –
NOT AUTHORIZED FOR FURTHER REPRODUCTION OR
DISTRIBUTION WITHOUT PERMISSION FROM UL

測試順序



Cell Level Test

- Whether cell can exhibit thermal runaway
- Thermal runaway characteristics
- Gas composition (flammability)



Module Level Test

- Propensity for propagation of thermal runaway
- Heat and gas release rates (severity/duration)
- Flaming/deflagration hazards



Unit Level Test

- Evaluation of fire spread
- Heat and gas release rates (severity/duration)
- Deflagration hazards
- Re-ignition hazards



Installation Level Test

- Effectiveness of fire protection system(s)
- Heat and gas release rates (severity/duration)
- Deflagration hazards
- Re-ignition hazards

提升儲能系統消防安全管理 指引(消防署公告)



提升儲能系統消防安全管理指引

一、為因應儲能系統之發展，提升儲能系統消防安全管理，以降低災害損失，保障人員安全，特訂定本指引。

二、本指引適用對象為裝置容量達 20kWh 以上之併網型儲能系統（以下簡稱儲能系統）。

本指引用詞，依用戶用電設備裝置規則、建築技術規則及各類場所消防安全設備設置標準（以下簡稱設置標準）用詞定義之規定。

三、設置儲能系統應評估及分析下列資料，並據以製作火災風險評估報告：

十、消防安全設備設計人員完成儲能系統消防安全設備設計，應檢核完備下列設計書圖及文件：

(一)火災風險評估報告。

(二)消防安全設備設計圖說。

(三)消防安全設備原廠英（中）文型錄、性能說明、規格構件細目（詳細圖說）及設計安裝手冊（英、中文）。

風險(Risk)



➤ 風險(Risk)的定義

社團法人美國消防工程師學會(SFPE)

- The potential for realization of unwanted adverse conditions, **considering scenarios** and their associated **likelihoods and consequences**.
- **考慮情境**及其**相關的可能性**和**後果**，對潛在不想要之不利狀況之認知。

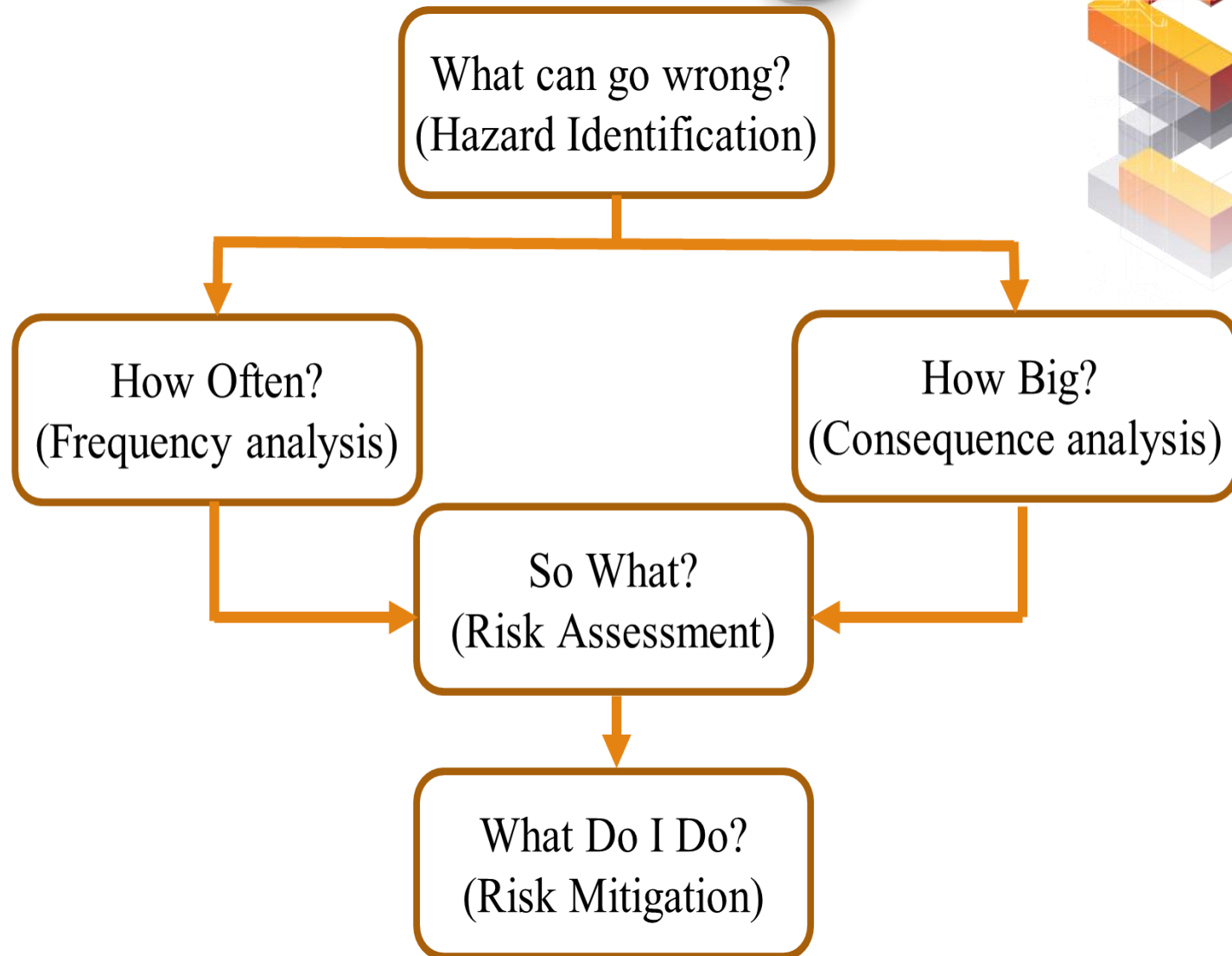
$$\text{風險(Risk)} = \frac{\text{發生可能性(Likelihood)}}{\text{後果嚴重性(Consequences)}} \times$$

風險評估(Risk Assessment)



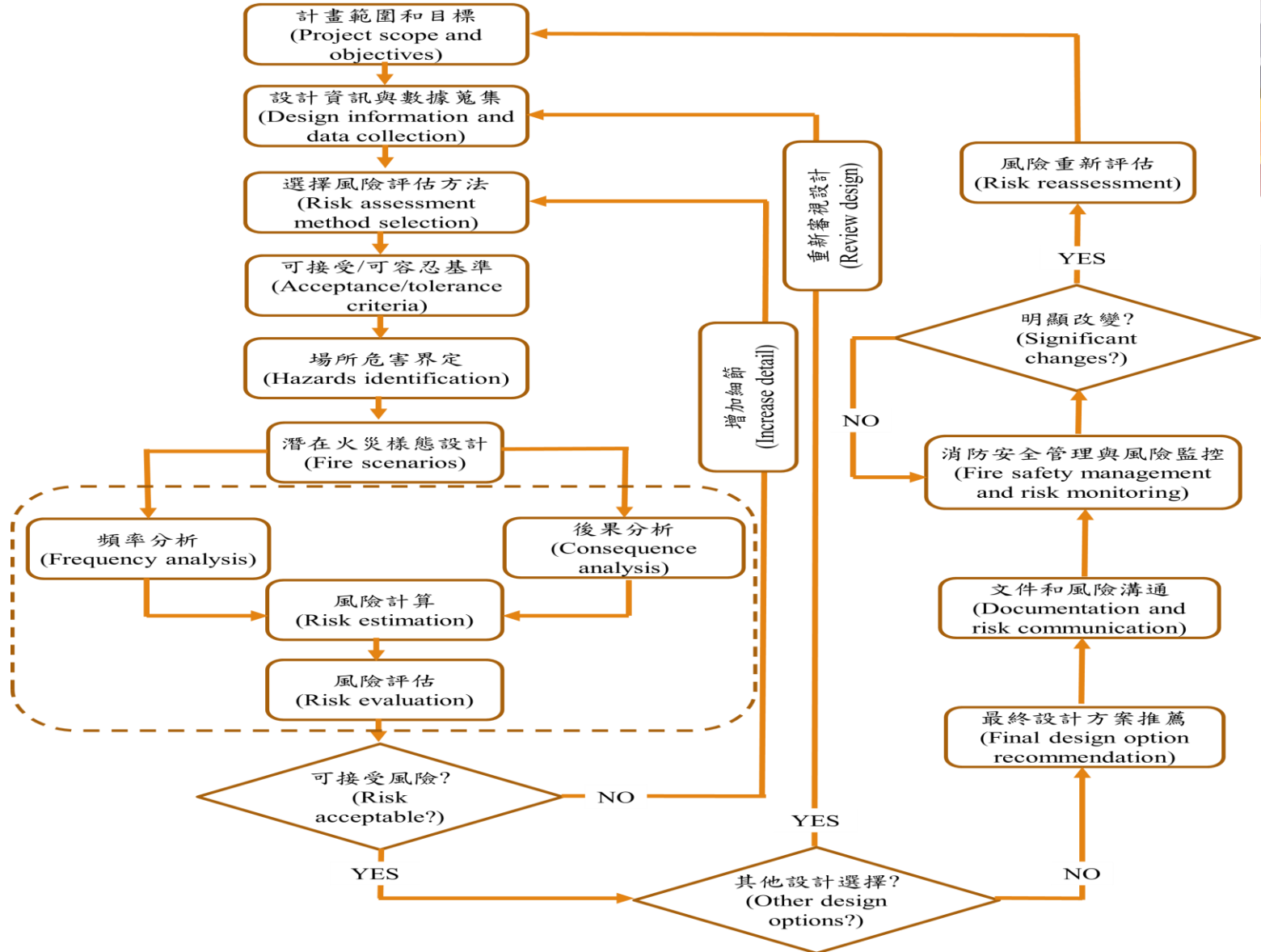
1. 風險評估、防火/消防設計，何者須先進行？
 2. 風險評估、防火/消防法規制定，何者須先進行？
- 理想狀況:須先進行**風險評估**，再訂**法規**，最後才做**消防設計**。
 - 實際情況:消防法規**常因災例而訂定**。
 - 英國藉由建築物場所之**防火安全風險評估制度(The Regulatory Reform (Fire Safety) Order, 2006)**，將建築物使用防火安全管理整合為一，不僅**廢止、刪除或整併了70項法令、規則等規定**，更大幅革新行政管理效率*。

風險評估方法 (Risk Assessment Methodology)*



* : Nick Warner, Victoria Carey, Marisa Pierce, Quantitative Risk Analysis for Battery Energy Storage Sites, DNV GL, 2019

風險評估流程 (Risk Assessment Process)*



* : Chris Jelenewicz, SFPE Guide to Fire Risk Assessment, 2nd edition, Springer, 2023.

計畫範圍和目標



➤計畫範圍(Project scope)

於本案之**物理邊界**及需面對之**危害**和參與決策過程的**不同利害關係人(stakeholders)**。**利害關係人(stakeholders)**通常為土地擁有者、儲能系統業主、鄰近區域建物或工廠擁有人或使用者等。

- 以**儲能系統為例**，計畫範圍為位於**000(地號)**之案場，裝置容量**00 kWh**之儲能系統。可能造成火災、爆炸或釋放液體或蒸氣、損壞關鍵運作設備或其他潛在危險情況。

➤計畫目標(Project objectives)

風險評估過程**從建立目標開始**，以便所有利害關係人(stakeholders)理解分析目的。

對儲能系統而言，應為：

- 降低火災、爆炸、釋放液體或蒸氣之發生可能性(likelihood)，並在危害發生時減少其危害程度(Consequence)。
- 降低對鄰近場所之影響。

設計資訊與數據蒐集



相關資訊蒐集將成為**風險評估**的**基礎**。

常見的設計資訊：

- 設施文件和設計-非消防安全部分
(Facility Documentation and Drawings: Non-fire Protection)
- 法規要求
(Regulatory Requirements)
- 人員資訊
(Occupancy Information)
- 製程文件和設計
(Process Documentation and Drawings)
- 火災危害資訊
(Fire Hazard Information)

三、設置儲能系統應評估及分析下列資料，並據以製作火災風險評估報告：

- (一)儲能系統安裝位置、設施布局及其周圍建築物、停車場、公共道路、公共危險物品或可燃性高壓氣體製造或儲存場所之設置情形。
- (二)儲能系統數量、類型及驗證安全標準。
- (三)儲能系統專用貨櫃或其他構造形式空間等防護設施之防火時效。
- (四)儲能系統相關設備管理監控作業流程。
- (五)消防人員與車輛作業空間及水源容量。

選擇風險評估方法



風險評估**方法的選擇**與描述和量化潛在風險水平的**每個情境的詳細程度**有關。

常見評估方法：

- **定性分析**(Qualitative analysis):**沒有明確數值量化的**風險評估，較適用於評估已知的簡單系統或具既定風險級別之配置。
- **半定量分析**(Semi-quantitative analysis):**以簡要量化方式進行評估**之風險評估，較適用於風險評估與法規要求有微小偏差之配置。
- **定量分析**(Quantitative analysis):**對頻率和後果進行完整明確的量化**，以產生**量化風險級別**，通常於評估具有重大風險權衡新穎、挑戰性或複雜之配置時，需進行定量評估。

定性分析之風險矩陣



後果 頻率	可忽略	輕微	重大	嚴重	災難性
頻繁發生	風險可接受	進一步評估	風險不可接受	風險不可接受	風險不可接受
可能發生	風險可接受	進一步評估	風險不可接受	風險不可接受	風險不可接受
偶爾發生	風險可接受	風險可接受	進一步評估	風險不可接受	風險不可接受
絕少發生	風險可接受	風險可接受	風險可接受	進一步評估	進一步評估
不太可能發生	風險可接受	風險可接受	風險可接受	風險可接受	進一步評估
不可能發生	風險可接受	風險可接受	風險可接受	風險可接受	風險可接受

定量分析之風險矩陣



頻率 後果		可忽略	輕微	重大	嚴重	災難性
		1.0E-06	1.0E-04	1.0E-02	5.0E-01	1.0E+00
頻繁發生	1.0E+00	1.0E-06	1.0E-04	1.0E-02	5.0E-01	1.0E+00
可能發生	1.0E-01	1.0E-07	1.0E-05	1.0E-03	5.0E-02	1.0E-01
偶爾發生	1.0E-02	1.0E-08	1.0E-06	1.0E-04	5.0E-03	1.0E-02
絕少發生	1.0E-04	1.0E-10	1.0E-08	1.0E-06	5.0E-05	1.0E-04
不太可能發生	1.0E-06	1.0E-12	1.0E-10	1.0E-08	5.0E-07	1.0E-06
不可能發生	1.0E-08	1.0E-14	1.0E-12	1.0E-10	5.0E-09	1.0E-08

風險矩陣介紹-衝擊



等級	等級描述	敘述
1	災難性	人員死亡；毒性物質洩漏，並可能造成人員傷亡；新台幣1000萬以上財務損失；持續且重大地影響公司之形象及聲譽
2	嚴重	廣泛波及使多人受傷；工作效率降低；氣體洩漏至廠區外；新台幣500萬以上財務損失；嚴重影響本公司之形象及聲譽
3	重大	造成人員受傷並須送醫；氣體洩漏且須外界協助處理；新台幣100萬以上財務損失；短期內影響公司之形象及聲譽
4	輕微	人員受傷需緊急處理；氣體洩漏但可立即處理；新台幣100萬以內財務損失；公司之形象及聲譽具潛在影響
5	可忽略	無人員受傷；財物損失輕微

危害風險矩陣



➤ 後果程度:

- Insignificant – 無人傷亡
- Minimal – 急救傷害
- Moderate – 失能傷害
- Severe – 現場1人死亡
- Catastrophic – 現場或他處多人死亡

• 發生機率(發生一次):

- Nominal – 低於10萬年
- Rare – 介於1萬年至10萬年
- Unlikely – 介於1千年至1萬年
- Probable – 介於1百年至1千年
- Almost certain – 介於10年至1百年
- Frequent – 10年內不只一次發生

		Severity				
		Insignificant	Minimal	Moderate	Severe	Catastrophic
Likelihood	Nominal	Low	Low	Low	Low	Low
	Rare	Low	Low	Medium	Medium	Medium
	Unlikely	Low	Low	Medium	Medium	High
	Probable	Low	Medium	Medium	High	High
	Almost Certain	Low	Medium	Medium	High	High
	Frequent	Low	Medium	High	High	High

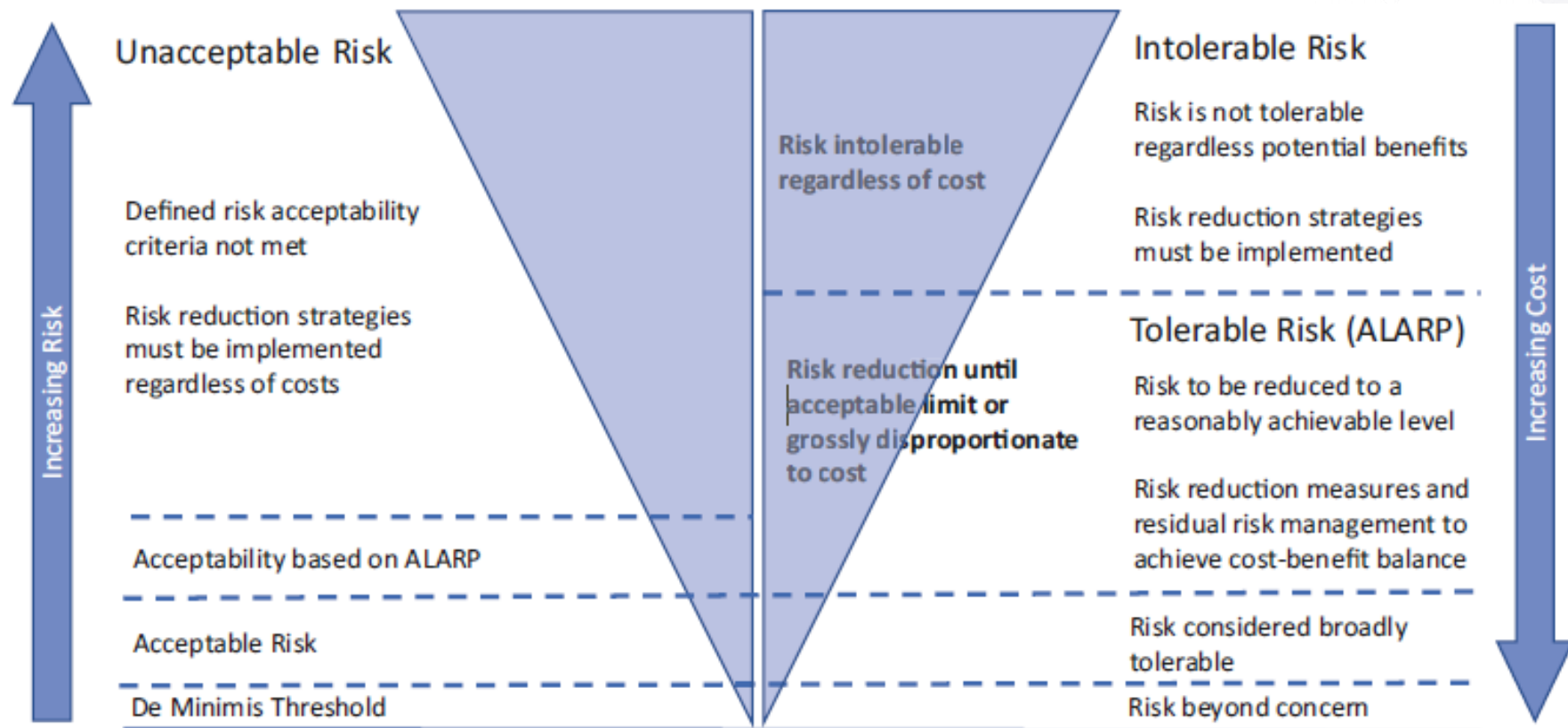
Risk Level

- Low
- Medium
- High

可接受/可容忍基準 (Acceptance/tolerance criteria)



危害風險評估需要訂定目標風險(即可容忍或可接受基準)，且應考量不同利害關係人之觀點，提供可接受之風險結果等級或「低至合理可行程度」(As Low As Reasonably Practicable, ALARP)。



場所危害界定 (Hazard Identification)



➤ 場所危害界定是制定潛在火災樣態設計的第一步。危害界定過程會列出與儲能系統相關的各種危害及其可能導致火災情境的具體位置。

前項火災風險評估報告，包括下列內容：

- (一)場所危害界定：評估可能之起火源、構造材料、可燃物質、使用情形，並說明其火載量，包括在正常充電、放電與操作過程中釋放之有毒及劇毒氣體，未超過儲能系統空間之燃燒下限濃度等。
- (二)潛在火災樣態設計：評估起火點、火災規模等火災設計之運用，與分析存在或不存在之依據、假設及限制，包括儲能系統單一模組或電池櫃之熱失控條件等。
- (三)評估火災情境：分析各種可能發生之火災過程，說明其依據、假設及限制，包括自動撤水設備、火警自動警報設備等設備失效條件等。
- (四)規劃防火概念設計：評估消防安全設備設計概念及其他強化防火方法，建立多重防火策略。

評估火災情境& 規劃防火概念設計



- 可利用風險估算(risk estimation)方式分析每種火災情境(fire scenarios)及其防火設計作為後之風險等級，並以適當之方式呈現。

風險評估(Risk evaluation)/ 接受(Acceptance)

風險評估(risk evaluation)是指評估由上述步驟產生的風險等級，通過將結果風險與預定的驗收標準進行比較，確定其是否滿足可接受基準的過程，並評估影響後續風險的因素並做出接受(risk acceptance)與否之決定。

然而，在某些情況下，風險評估過程可能需要更改設計、進一步分析或物理修改以降低風險，而將這些解決方案納入分析將需要重新估計和評估風險結果。



大仁科技大學

謝謝聆聽

曾子彥 助理教授

信箱: tsengty@tajen.edu.tw

