

穀塵爆炸的起因和歐美塵爆預防的新趨勢*

The Cause of Grain Dust Explosion and New Trends for Preventing Grain Dust Explosion in U. S. A. and Europe

行政院國科會客座專家
國立臺灣大學農機系客座副教授

蕭 介 宗
Jai-tsung Shaw

摘 要

為減少穀塵爆炸所產生的生命和財產的損失，作者說明穀塵爆炸的起因，和介紹最近歐美對穀塵爆炸預防措施的優先次序。

Abstract

To reduce the loss of life and property due to grain dust explosion, the author explained the cause of grain dust explosion and introduced the latest preventive measures applied in the United States and in Switzerland.

1.1. 引 言

在穀倉及磨粉廠中發生爆炸的記錄已超過一百年以上，但是可能在大量穀物的儲運設備被開發及使用之後才開始有塵爆事件。雖然穀倉塵爆早已被認定為工業傷害之一，却一直到最近的 1977 年 12 月 21 日到 28 日之間，在八天之內相繼發生五次爆炸，造成 59 人死亡，48 人受傷的慘劇之後；穀倉塵爆問題才受到美國舉國的重視。由表一美國穀物儲運設備之爆炸次數，從 1958 到 1977 年有直線上昇的趨勢，可能穀物儲運工業處理穀物量增加，儲運設備處理速度加快，工廠中粉塵量亦隨之增加。1978 之後，爆炸的次數有趨向緩和的象徵。可能由於穀儲業重視穀倉安全的結果。

最近，在臺灣北部港口和高雄的一飼料加工廠都發生穀塵爆炸，造成不少生命和財產的損失。有鑑於此，作者特將穀塵爆炸的形成和預防方法在此介紹，希望倉儲業者有所借鏡之處。

1.2. 穀塵爆炸

大家都曉得燃燒必備條件是燃料、氧化劑，和引燃源。這些也是塵爆所需的一部份因素。穀塵爆炸是火焰傳播透過空氣中懸浮的可燃粉塵，和隨帶的壓力影響。

為了發生塵爆，五個條件必須同時滿足：

1. 具有可燃性的粉塵。
2. 具有外來的引燃源有足夠的能量和時間來引發每一特有穀塵爆炸的連鎖反應。
3. 空氣（氧）。
4. 上列三個條件的混合之後，在粉塵濃度介於 20~2000 克/立方米和引燃溫度在 190° C 以上(4)。

5. 這化學作用必須發生在閉封的體積內。

假如只有首先三個條件都滿足，快速的化學作用，閃火的火燒，爆炸的部份特性將會發生。無論如何，穀塵爆炸固有的定義是快速過度壓力的形成，這作用只有發生在封閉的空間譬如一個房間，一個斗昇機或穀倉內時才會發生。

不像氣體，穀塵不會自動自發地散布；而需要

* 此文乃根據台灣區雜糧基金會舉辦七十二年十二月穀倉防爆技術研討會作者的講義濃縮而成

表一 美國穀物儲運設備之爆炸次數(6)

年份	穀倉 (GAO 1979)	爆炸 (USDA 1979a)	飼料加工廠之 爆炸 (USDA 1979a)	穀物儲 運設備 之爆炸
1958	8	8	2	—
1959	7	8	2	—
1960	7	8	4	—
1961	9	8	2	—
1962	8	8	1	—
1963	9	8	6	—
1964	3	2	6	—
1965	7	6	3	—
1966	10	9	5	—
1967	13	12	5	—
1968	10	9	7	—
1969	1	1	5	15(a)
1970	12	10	0	21(a)
1971	10	9	1	17(a)
1972	4	2	6	14(a)
1973	7	6	2	22(a)
1974	8	10	5	25(a)
1975	6	6	3	9(a)
1976	13	18	4	28(a)
1977	10	13	8	31(a)
1978	—	7	5	20(a)
1979	—	—	—	29(a)
1980	—	—	—	45(a)
1981	—	—	—	25(5)
1982	—	—	—	12(5)

註：穀倉及加工協會 (1977) 報告在1860至1956年中有 203 次爆炸，1925到1956年中有 151 次，1958到 1975 年則有 137 次，Hall (1978) 報告在 1900 到 1957 年間有 490 次爆炸。

(a)：資料由美國農業部穀倉安全聯合辦公室提供，包括實際的發生日期及地點，1979 年以前的資料有幾個無法證實，最後一行的數字並非第 3 行及第 4 行的數據之和。

外來的刺激譬如氣流或機器作用才能懸浮在空氣中幾秒或幾分鐘。除非穀塵懸浮於密閉空間內的空氣中，其濃度超過了最低爆炸限，否則不會發生爆炸。這些條件必須同時發生，而且在同一點——一個密閉的空間，穀塵懸浮於其內的空氣中，有足夠的濃度，而且有引燃源。

因此，穀倉在發生爆炸之前，必先有下列四件事發生：

- 穀物粉塵集中在穀倉中的某一處。
- 穀物粉塵懸浮於穀倉內的空氣中且其濃度超過了最低爆炸限。
- 懸浮的穀塵被引燃。
- 在最先被引燃的穀塵附近有足夠的穀塵以延續快速的燃燒。

在多粉塵的建築物裡發生的爆炸，有一個特性就是在初次的或原始的爆炸之後，跟隨著有續發的爆炸現象，而續發爆炸的威力和破壞性可能比第一次爆炸要大。如果在一設備內部灰塵很多，一個災害不大的初次塵爆，可能產生一團很大的懸浮粉塵雲。由第一次塵爆而來的高溫顆粒或火焰（或其他的引燃源）將此團粉塵雲引燃的話，即產生續發塵爆。已知的續發塵爆，大都在初次塵爆後數秒鐘內發生。甚至還有過一連串的續發塵爆的例子，一個爆炸接著一個爆炸。

在現代的穀倉或磨粉工廠中，下列三條件——空氣、穀塵及封閉的空間經常是存在的。下面敘述的事件說明如何一系列的事件，會導致所有爆炸所需的條件同時發生：

1. 在進行架設工程的時候，座落於主機房外的斗昇機附近，焊接導管的工作正在進行著，有些熾熱的鐵屑在不注意的情況下，落入穀物之中，而該穀物正由開放式螺旋輸送機送入斗昇機內。熾熱鐵屑送入了斗昇機的靴部，在那兒引燃了穀物。接著燃著的穀物又引燃了斗昇機中的粉塵而造成了爆炸。因為斗昇機是在穀倉的外面，所以沒有續發塵爆。
2. 當穀倉正在運轉時，斗昇機內的箕斗皮帶因為靴部的穀物太多而阻塞住了。一個職員開始利用開關抖動皮帶採用的步驟是使輸送皮帶的驅動馬達反覆的啟動和停止，企圖使皮帶能自由轉動，由於主驅動皮帶輪和受阻皮帶之間的摩擦所產生的熱能引燃了皮帶，隨後整個皮帶都燒起來了。當燃燒的皮帶落下時，金屬外殼裂開。帶著火焰的物質落入底部的塵雲中，因而在底部及機軸發生塵爆。熱空氣及燃燒的顆粒經由斗昇機機頭分配系統吹入各個倉庫中而引發了續發塵爆。此續發塵爆的燃料則來自初次塵爆所震落的牆壁上的粉塵。
3. 在如圖一所示的穀倉中，圓筒倉沿着主機房的兩側延伸，在一個卸料倉又稱轉運或工作倉內產生了初次塵爆。接著在主機房內三個斗昇機

的穀物，生產的穀物在處理時較容易破裂。因而粉塵量也比正常的穀物為多。例如，收割含水量高的玉米，送入穀倉後再經過熱風乾燥，其穀殼的破裂將比自然乾燥來得多。所以能產生的粉塵也較多，由表二可知一些常見穀塵的爆炸特性。

忽視或延遲清潔工作會導致穀倉或磨粉廠中粉塵的堆積，不良的清潔方法或一個初次的塵爆會形成足夠的粉塵雲而造成爆炸災害。不幸的是，如果穀倉的旺季來到（在收穫季節穀倉要連續不斷的運轉），通常清潔及維護工作是第一個被延遲的工作。外表看來很清潔的穀倉，其內部的密閉空間如倉庫及通風管內所堆積的粉塵也曾引起過塵爆的災害。所以在設計時，各項設備的內部應該盡量避免有水平面的存在，以免粉塵堆積其上。

沿着穀物在穀倉內經過的路線如上節圖一所述者，即可確認出在那些地區會產生粉塵並且懸浮在空中。即使是具有粉塵控制系統的最新的斗昇機，當其操作時，就在靴部的上方，粉塵的濃度仍經常的大於最低爆炸濃度。實際測量四個穀倉，發現在

此一部位粉塵的濃度介於 27 及 500g/m³ 之間。而在斗昇機中其他部位的粉塵濃度只比此部位的濃度稍為低一點而已。因此許多塵爆的起因是由於斗昇機中懸浮的粉塵被引燃而產生初次塵爆的危險地區(6)。

在斗昇機或傾斜皮帶輸送機的頂部，穀物由此倒入分配器或輸送機皮帶中。當穀物經過空氣而落下時，一部份在穀物流中的粉塵會發散出來。另外當穀物傾卸於輸送機頂部或落於鋼皮倉或圓筒倉的底部時，衝擊的力量又產生額外的粉塵。圓筒倉、鋼皮倉及貯留倉由於是封閉的建築，當它們在進料時，造成大空間內高濃度的懸浮粉塵，因而成為特別危險的地區。而在清倉之後，倉壁上還會附著一層粉塵。

當穀物移出穀倉時，通常是由倉內直接卸入倉底的一個通道中的輸送機上，這是另一個產生粉塵並且將小顆粒吹散於空氣中的地方。在倉底的通道中，層積的粉塵特別普遍。穀物被送到斗昇靴部，而後重覆一次提昇及分配的過程，伴隨而來的是產

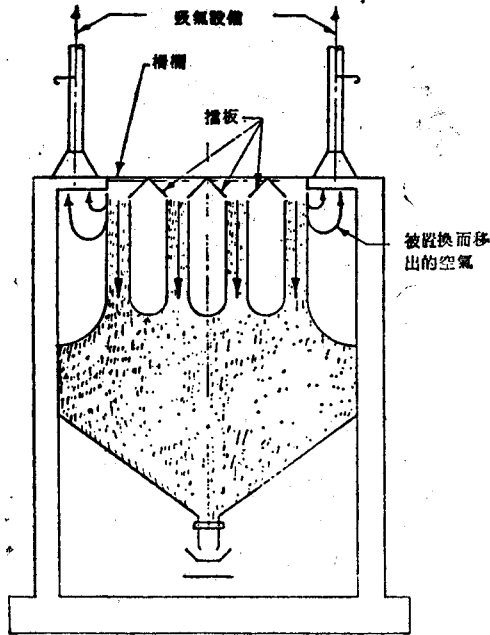
表二 常見穀塵的爆炸性質 (6,9)

粉 塵 名 稱	最大壓力 (KPa)	最大壓升 (MPa/s)	引燃溫度		最 小 引燃能 (J)	塵爆濃度 下限值 (g/m ³)
			塵雲 (°C)	塵層 (°C)		
苜蓿飼料	455	7.6	460	200	0.32	100
穀 草	360	3.5	550	220	0.80	200
玉 米	655	41	400	250	0.04	55
玉米心	760	21	450	240	0.045	45
純玉米糊精	725	48	400	370	0.04	40
商用玉米澱粉	745	48	380	330	0.04	45
小於 325 篩目的玉米澱粉	790	62	390	350	0.03	40
亞 麻	560	5.5	430	230	0.08	80
冬麥、玉米和燕麥穀塵	790	38	430	230	0.08	55
綠草籽	185	1.4	490	180	0.26	290
稻 穀	640	18	440	220	0.05	50
米 糠	420	9.0	490	—	0.08	45
紅花飼料	580	20	460	210	0.025	55
大豆粉	540	5.5	540	190	0.10	60
大豆蛋白質	660	65	520	260	0.05	35
小 麥	710	25	500	220	0.06	65
麵 粉	655	26	380	360	0.05	50
小麥澱粉	690	45	420	—	0.025	45
麥 莖	680	41	470	220	0.050	55

生額外的粉塵及懸浮於空氣中的細顆粒。穀倉中其他的加工過程如乾燥、清掃及混合等也都需要斗昇機及其他的輸送機來搬運穀物，因而再一次增加粉塵的產生及飛揚。

因此，在穀倉中有很多地方會使穀物的外殼受到機械應力而產生粉塵，同時細的顆粒被激揚於空氣中，最後沉積在各個表面上成了粉塵層。雖然飛散於空中的粉塵可能只是所有穀物的一小部份，經過一段時間之後，在表面上沉積的粉塵量可能就變得很大。唯一防止飛散於空中的粉塵沉積於穀倉的地板上、樑上、通風管上等地方以及附著在牆上、天花板上等的方法，只有採用一粉塵控制系統。

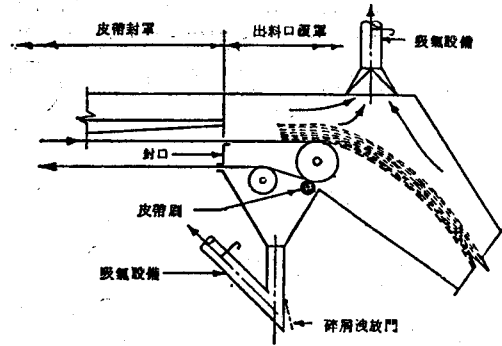
常用的粉塵控制系統是在斗昇機和輸送系統中容易產生粉塵的地方加裝吸塵設備(3)。圖二是裝在卡車、貨櫃車和傾卸車的卸料坑。



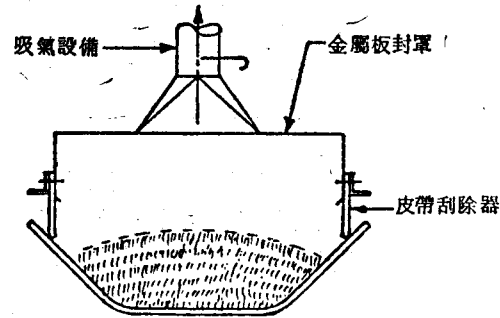
圖二 卡車卸料坑的吸氣設備

要使粉塵完全不會在皮帶輸送系統在進料點和卸料點之間外逸，如圖三只要在出料點使用帶有吸氣設備的長型粉塵封罩(長 10~20 呎)即可。

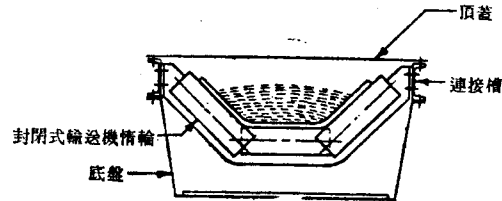
在地下儲藏室中，有許多不同的進料點，利用連續式的皮帶封罩，如圖四然後在固定間隔處裝上吸氣設備，可以使皮帶輸送部份保持在負壓的狀態。如果又裝有皮帶刮除器，則必須增加皮帶輸送機的馬力。這種型式的輸送系統，頂端的出料口要盡



圖三 皮帶出料口覆蓋



圖四 皮帶封罩



圖五 滑動皮帶

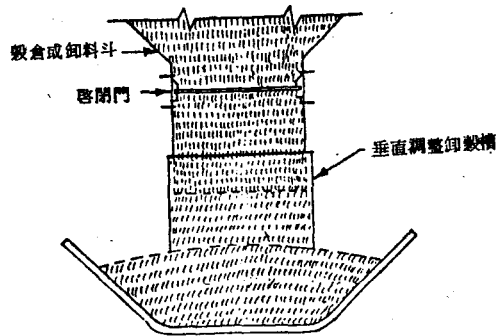
可能做到完全封閉，並且在頂部和底部要有吸氣設備。

有一種密封更確實的皮帶輸送機已經被廣泛採用，一般稱之為「滑動」皮帶(參考圖五)。這種皮帶的外部完全被封閉起來，上層皮帶在惰輪上滑動，下層皮帶在底盤上滑動。

有不少皮帶進料的裝置已經採取完全不同的方法。他們把穀物由穀倉或卸料斗卸出，然後用伸縮式或是可調整的柱塞出料器的高度來控制穀物的體積。因為穀物不是直接落下，所以這種出料器不虞粉塵會外逸，而且通常都不需裝設吸氣設備(參考圖六)。

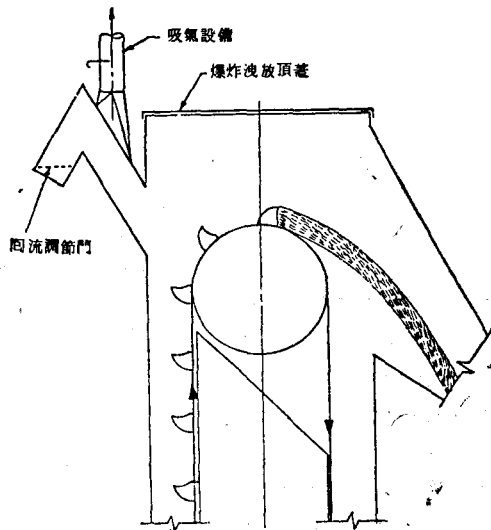
完全封閉的輸送機(比如螺旋機和拖曳式輸送

機)，通常都須要吸氣設備負責吸取被置換而逸出的空氣。而吸氣設備若能裝在輸送機的頂部則更有利。粉塵控制系統所產生的空氣順著穀物進行的方向移動時應該比逆著穀物的方向有效。



圖六 伸縮式出料器

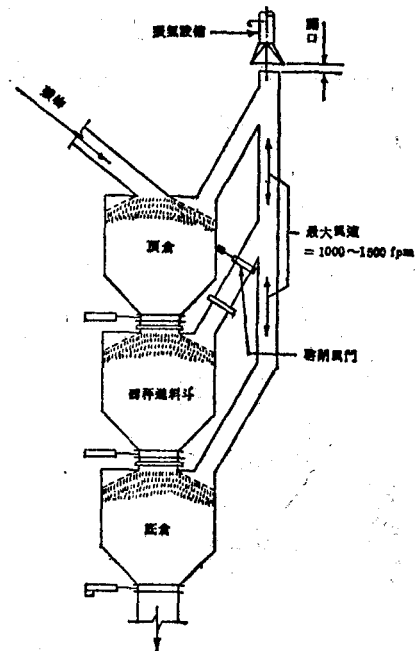
斗昇機必須像封閉式輸送機一樣的降低壓力，因為底部的進料口須要吸氣設備以控制被置換出去空氣。有時我們只要把頂蓋做得比底部的蓋子大，即可產生吸氣的效果，然後由頂部抽出的空氣就會比由底部送出的空氣多。頂部的狀態可能是正壓也可能是負壓，這完全視外殼的大小以及由頂部排出的穀物而定。在現行的環境衛生對粉塵控制要求之前，過去的作法是在斗昇機頂部設置透氣口以應付正負壓兩種狀態。如今，吸氣設備並不是絕對需要，而是根據斗昇機頂部外面的情形而定。有些設施已經把斗昇機頂部的吸氣設備與回流重量調節門



圖七 由斗昇機頂部吸氣的情形

結合使用（參考圖七）。如果頂部在負壓的狀態下，調節門會打開使空氣進入；如果頂部為正壓，吸氣系統會控制調節門使其關閉。調節門應該配合洩爆裝置使用，而不是取代洩爆裝置。

秤量用的進料斗和穀倉也必須加以控制。舊式的系統，穀倉出料的速率大約為每分鐘 2000 至 3000 立方呎，不過一些新型的自動秤，流量已達到每分鐘 6000 至 7000 立方呎。不採用大量的空氣的吸氣裝置，磅秤和暫貯倉的共同通氣系統已經被廣泛地採用（參考圖八）。



圖八 磅秤和暫貯倉的共同通風系統

1.4. 引燃源的產生和控制

初次塵爆可能有多種不同的引燃源。由表三美國農部調查資料，列出了 147 次爆炸的 26 個不同的引燃源。另外還有 103 次爆炸的引燃源則不能確定。其他的出版物也顯示了差不多數目的引燃源，但是其不能確定引燃源的百分比則較高。由於不明引燃源的數目和未經報告的爆炸事件的數目太多，根據現有的每一種引燃源引發塵爆的次數的資料，不能建立一套正確的分級標準以評定每一種引燃源的危險程度。若根據表三在已知引燃源中熔接和切割所佔的比例最高，所以要建立一套熔接和切割的作業程序。如表四所列，並且嚴格執行。

使用不是專門為多粉塵地區設計的馬達，接線盒及控制盤，燈光及其它的電氣設備等；是一件非常危險的事。電氣設備沒有（或不當）接地可能產生火花而引燃穀物粉塵，不論是堆積的或雲狀的粉塵。缺乏防止異物進入穀物中的機械，可能造成火花，摩擦或阻塞。而缺乏皮帶打滑及偏位的指示器可能產生摩擦起火或電弧。馬達、軸承及輸送系統等設備的保養不良會造成足以引燃粉塵的熾熱表面。當各項設備在運轉的同時，進行電焊或氣炬切割及電工等高溫作業更是特別危險，不遵守吸煙的有

關規定顯然是危險的。

相對及絕對濕度和靜電現象對引燃粉塵雲的影響是一個大受爭議的題目。雖然與靜電有關的數據尚未有定論，某些人認為低相對濕度有助於導致塵爆，因為當相對濕度降低時，發生靜電火花的可能性即增加，而低相對濕度又降低了穀物粉塵的水分含量，因而降低了引燃的溫度及能量。基於此，美國聯邦穀物檢查室的人員已奉命在相對濕度低於一定百分比之下及懸浮的穀物粉塵濃度超過某一數值時，不得進入穀倉。

表三 美國農部調查可能引燃源 (1,6)

	次 數	百分比
不 明	103	41.2
熔接、切割	43	17.2
電器故障	10	4.0
金屬片	10	4.0
熔接切割以外之烟火	10	4.0
不明外物	9	3.6
斗昇機阻塞之摩擦	8	3.2
軸承過熱	7	3.8
不明火花	7	2.8
摩擦火花	7	2.8
閃 電	6	2.4
斗昇機延長線	4	1.6
馬達故障	4	1.6
靜 電	3	1.2
斗昇機皮帶打滑之摩擦	3	1.2
可燃氣體外溢	3	1.2
輸送穀物燃燒	2	0.8
烟 火	2	0.8
爆 竹	1	0.4
大豆加工廠揮發性化學品外洩	1	0.4
倉外玉米穗堆之烟火	1	0.4
加熱系統	1	0.4
倉內產生之氣體	1	0.4
滅火時	1	0.4
氣體管路洩漏	1	0.4
電表板爆炸	1	0.4
輸送機皮帶打滑	1	0.4
合 計	250	100

表四 熔接和切割準則 (2,7,8)

1. 須熔接和切割的機件，宜携出廠外施工。
2. 不能携出廠外施工者，是否能用螺絲或膠接合來代熔接。
3. 如不能携出施工，在半徑十公尺範圍內，所有堆積的塵粉，或其他易燃物品，必須清除乾淨，不能清除者加蓋防火罩。熔接和切割地區的下一層樓面，亦須清掃。並將上下兩層地

板弄濕。

4. 開掉並上鎖要熔接和切割的機器和附近會產生粉塵的機械，以免傷人或揚起粉塵。
5. 覆蓋地板與機械，接管、穀斗，和卸貨槽之間的開口。
6. 檢查熔接和切割器械是否正常。
7. 請廠長檢查是否可以開始熔接和切割工作。
8. 以一消防和警衛人員在場戒備。
9. 熔接和切割工作人員，必須是合格和有經驗的技術員。
10. 完工後，必須小心檢查在熔接和切割現場，上下地板和留人看守至少二小時（視情況而定）。

在相對濕度較低的時候，不導電的物質有增加其靜電電荷的趨勢。因而增加了靜電放電的可能性。一般都承認，在運轉中，導電不良的皮帶，隨時可能放出火花。而在穀倉的斗昇機中則經常有靜電放電的現象。然而，在穀倉或磨粉工廠中所產生的靜電放電的火花是否有足夠的能量引燃粉塵。

由於氧化化學作用或由於潮濕狀況的生物活動，每一粉塵層會自然生熱。穀倉內穀物溫度可以利用遙控溫度系統，偵查出來。每兩公尺間隔裝有熱偶線的電纜由倉庫屋頂垂掛下來到倉庫內。當溫度變化，熱偶線的電阻起變化，溫度記錄器可自動地打出溫度。利用這一控制系統，可以避免壞穀循環作用達到自然點。

1.5. 其他預防措施

1.5.1. 洩爆口

為防止穀倉塵爆，控制粉塵列為第一優先，控制引燃源列為第二優先。上列二措施若沒有達到防止塵爆發生時，則採用第三優先是應用洩爆口，雖然代表性的穀類和飼料的粉塵爆炸壓力是可能超過 8 巴，但是大部份內涵建築結構將會在這壓力之前倒塌。無窗的坑道，水泥斗昇機井孔和巨石建造的民房受到爆炸，仍然繼續加速，所以洩爆口只是用小型的爆炸以免成為大型爆炸。洩爆方式是非常有效的方法來控制破壞性的爆炸壓力。當然這是很簡單的觀念，僅利用密閉空間一部份較弱的地方，當壓力達到洩爆口的壓力，破壞性的壓力透過洩爆口，密閉空間的壓力減輕而得以保全。所以洩爆口不是用於防爆的首要措施，而是用以限制爆炸結果，工廠附近的建築物和機械的損害程度仍然在可以接受的程度。更進一步的說，洩爆口不是很容易做得到的事。必須有很好的設計方法和二件主要事情必須考慮到的是：第一洩爆口面積、體積和形狀方位

必須恰當，第二來自洩爆口的巨大能量，火焰和熱氣導致開放的地方。

利用洩爆口做為預防措施的首備之物是被考慮的機械，必需有相當的結構強度。就是說，例如一密閉空間必須設計能夠接受比最大爆炸壓力稍小的震壓，結構強度通常利用計算來決定。斗昇機是最容易產生初爆的地方，所以斗昇機最好安裝在主要工作房的外面，並且每兩公尺的距離加上洩爆口，在塵爆時頭蓋要能自動打開，並在斗昇機的接貨和下貨的地方，裝上利用壓力偵查器控制的阻氣閥(4)。

1.5.2. 遲惰或抑制

第四優先是指派遲惰或抑制系統來對付有特別危險性部門例如斗昇機和分送機，首先說明遲惰作用是用惰性氣體如氮和二氧化碳能避免點燃。這些惰性氣體必需永久性地存在工廠內，且在某一檢定的濃度，除了成本高之外，主要的難題是必須有足夠監視設備來偵查任何工廠內的漏氣和處理漏氣問題。利用惰性氣體在整個密閉工廠內空氣能夠循環地利用，可使再加添的惰性氣體減至最少。這個方式是相當受人注目的。

其次我們談到抑制系統，因為一個爆炸只需很短時間就能形成爆炸力，這爆炸力是可以利用壓力感應儀器偵查出在引燃的一瞬間加以撲滅火焰以免造成損害，滅火化學藥品戰略性地擺設在機械之旁，可以自高壓桶內施放出來。因為高壓的關係，化學藥品可以高速到達粉塵爆炸的火焰先端。這樣爆炸不可能有時間產生噪音，惟一可聽到的聲音是滅火化學藥品施放的聲音。抑制系統在某一特殊情況下是很有用的，但只能依賴妥當粉塵爆炸預防項目中的配角而已。只有洩爆口防爆行不通的地方，才用快速投射滅火粉抑爆。

1.5.3. 粉塵爆炸屏障設施

為對粉塵爆炸儘最大的保衛功能，在工廠內的每一單元應該互相隔離。兩種常用的型式是迴轉式活門的主風門和螺旋式輸送機。一旦爆炸發生，他們的操做必須立即停止，以免輸送正在燃燒的物質到下一個單元。

為避免塵爆透過管道傳播出去，利用適當的感壓器裝置在爆炸方面的上游，來控制快速活門，把管道封死。偵測儀在管道的距離和屏障活門裝設的位置全看關閉的時間和預料的爆炸速度。最好應用足夠高的氣體推動壓力以便能得到最短的關閉時間。

通常雇用有專才的商業機構來提供有關於自動抑爆屏障的裝置。只要工廠開動時，必須有規律的維護來確保這系統總是能夠正常操作。

1.5.4. 控制粉塵和空氣的混合

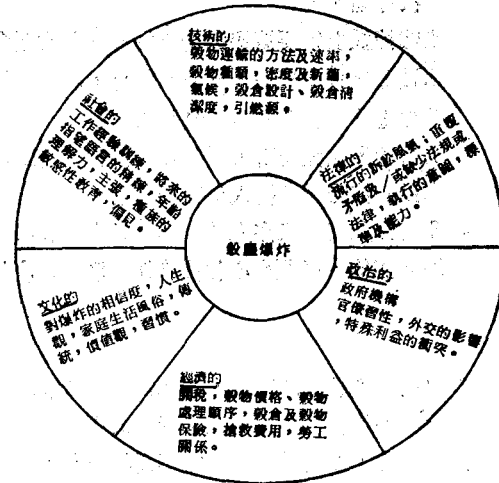
在轉運地點，穀類掉下的地方和附近，應盡力避免穀類和飼料的粉塵和空氣的混合。假如不能，那麼粉塵和空氣的混合物必須經過粉塵控制系統加以收集。粉塵抑制器組合氣門供給和裝有彈簧的固定箱，在這裝置的一端裝有重量感應門來放開穀類。以比較直接自噴口慢一點的速度和限制流量，這種情形僅需要在噴口上端用少量的空氣抽氣即可。

1.5.5. 設計

空間是防護爆炸影響最好的保護者。特別靠近主要的機械，要留有足夠適當維護工作的地方。粉塵運搬地點應與辦公室和控制室分離。穀倉和飼料加工廠應限制跟工作間，接貨處和貯藏處相連接的程度，所有的設備，不應該讓粉塵爆炸予理想傳佈的情況，粉塵收集器應特別注意，出口設備要使所有工作人員近便所及。

1.6. 其他影響塵爆的因素

當考慮到意外事件的發生時，包括穀物粉塵的爆炸在內，有一個趨勢就是將焦點集中在當時的物理狀況，即使意外事件可能是由多項不同因素的組成而產生的。因此，人為的操作及其他外在因素，不論是單一的或是集合多項的，都常常被忽視。如圖九所示，在穀倉塵爆系統研究中所包涵技術、法律、政治、經濟、文化和社會的因素，都會影響塵爆的產生。



圖九 穀倉塵爆的系統研究

1.7. 美國塵爆專家對穀倉塵爆的起因和預防所做的結論

根據參考資料(6)，美國塵爆專家對穀倉塵爆的起因和預防所做的結論如下：

1. 在過去六十年中，有許多關於如何防止穀物儲運設備發生塵爆的報告曾經發表過。其中有許多列下了一長串所謂必須採取的措施，却並未評估這些措施是否適當、是否有效，甚至未解釋為何需要採取這樣的措施。這些報告大體均未考慮到人的特質對防止塵爆方法的影響，也未提到需要研究的問題，更未提到用任何方法以廣泛的宣傳關於塵爆及其預防措施的有用的情報。此外，這些報告似乎也不甚受人注意。
2. 由最近的資料看來，最近的20年到25年之間，美國每年所發生的塵爆次數看起來似乎有逐漸增加的趨勢，但是這也很可能是因為報告的程序改進了。不管怎樣，這顯示了穀倉塵爆問題比一般想像的要嚴重得多。
3. 斗昇機是最容易引發初次塵爆的地區。
4. 穀倉及磨粉廠中有很多地方會產生粉塵，需要特別注意的是在封閉的空間中，因為無法作適當的清理，粉塵會在所有的表面上堆積成層，因而可能引起續發性塵爆。
5. 許多報告文件提及靜電火花可引燃粉塵。然而對塵爆事件的調查中却找不到任何由靜電火花引燃塵爆的證據。

6.人員的操作及一些非勞力因素的條件（如工作人員的態度，保險的條件，及政府的規定等）的影響往往是問題的主要部份，也常被忽視。

1.8. 美國塵爆專家對預防塵爆的建議措施

根據從研究中獲得的資料及美國各專家的意見(6)，提供了一些該採取的措施以減少穀物儲運設備中塵爆發生的頻度及其嚴重性。而這些措施的評估取決於下列的條件：

- 1.此措施所能控制或減少塵爆傷害的功効或程度。
- 2.從經濟、法律、文化、政治、社會及技術的觀點看，採取此一措施是否合適？是否可被接受？以及
- 3.此一措施的效率或成本效益如何（即投入此一措施的成本，和不採此一措施可能損失的財產之比。）

以此三項評估的方法為基準，將其所建議採取的措施，依優先的順序排列第一、第二、及第三。所有的工廠都應安裝列於第一優先的措施。至於列於第二及第三優先的措施，要安裝到什麼限度則決定於各個工廠的特殊需要。每一種分類內也不再分級。

這些建議措施，一部份必須由穀物儲運業者安裝。一部份則必須由政府設置。還有一部份則由政府與廠商合作設置。其中的一部份措施適合於較大的工廠，其它的則適合較小的工廠。

第一優先的措施

- 繼續研究將斗昇機中的粉塵密度降低至最低爆炸濃度以下的方法。
- 建立一套清潔管理計劃，包括一個可由人工或其它方法輔助的機械集塵系統。
- 採取嚴格的預防保養，尤其注重斗昇機的各部零件。
- 所有的焊接、切割，或其它有火焰的工作要進行時，必須強制執行一事先建立的準則。
- 將皮帶打滑及偏位的偵測合併成一個系統。
- 重要地點的軸承，應有一種可經常檢查其溫度及振動情形的方法。
- 要有將來雜物自進料的穀粒流中剔除的裝置。
- 將所有的輸送設備及電器設備須接地。

第二優先的措施

- 檢討磨粉廠及穀倉的整體功能，發展一套全新的系統以減少塵爆所產生的災害。
- 控制穀物粉塵的產生以及在各輸送轉接點及卸料口的揚塵。
- 提醒所有的工廠經理，安全是他們的責任，賦權給對工廠經理直接負責的安全人員。
- 以最佳方法減少斗昇機中或由斗昇機飛散出來的揚塵。
- 設立一資料中心，積極的分送所有關於塵爆及其發生原因的情報。
- 每一工廠都應建立一個火災及塵爆的防護訓練計劃。
- 著手研究如何經濟的利用所收集的粉塵。
- 將鏈式粉碎機，其它的磨粉設備及其集塵裝置，安放在遠離主要設施的地方。
- 去掉所有不必要的平面，以免招致積塵。
- 在建立新的磨粉場及穀倉，或是改建現有的廠房結構時，應以避免塵爆傷害為最優先的設計規範。
- 繼續研究將斗昇機以外的密封空間中的粉塵濃度降低至最低爆炸濃度以下的方法。
- 對塵爆事件加以調查並提出報告以驗證穀倉爆炸之研究中所提出的建議事項。

第三優先的措施

- 儘可能依照美國國家消防協會的標準(第68號)為所有的密閉部份設置洩爆口。混凝土結構一定要依照此一標準設置窗戶或其它開口。
- 設置一政府及工業界共同參加之小組，為穀倉及磨粉廠的塵爆預防訂定最新的法規。
- 數量化穀物儲運設備的清潔管理標準足以防火和防塵爆的清潔程度。
- 將所有暴露於飛塵之下的傾斜面使其光滑以防止粉塵的堆積。
- 調查靜電及絕對濕度對塵爆傷害的影響，包括對輸送機皮帶的導電度及未接地導電結構的帶電量的測試。
- 以最佳的工作方法，使斗昇機以外的密閉結構中的揚塵降至最低爆炸濃度之下。
- 如果穀塵歸回穀物流中，應在危險性最小的狀態下進行。
- 所有的設備及安裝標準應符合美國國家電氣法規的要求。

1.9. 歐洲(瑞士)塵爆專家建議事項

瑞士塵爆專家建議粉塵爆炸預防優先次序，列於表五(1)。表六為粉塵爆炸的預防和表列的控制方法。與美國專家建議做一比較，大體建議的事項相當一致。

表五 粉塵爆炸預防優先次序(4)

1. 控制粉塵——清潔管理
——抽氣裝置
2. 控制引燃源
——火焰、吸煙
——熱軸承
——皮帶摩擦
——焊接火花
——電磁分離器
3. 洩爆口——面積、體積、形狀和方位
——斗昇機裝於室外
4. 遲惰或抑制
——惰性氣體
——化學藥品
5. 粉塵爆炸屏障
——單元隔離
6. 控制粉塵和空氣的混合
7. 設計——適當的維護空間
——粉塵收集處與辦公室分開

表六 粉塵爆炸的預防和表列的控制方法(4)

為減少倉庫粉塵爆炸的機會，穀倉工作人員可利用下列綱要做為管理方法的參考：

1. 機械須封閉和避免粉塵外洩；利用永久性的吸塵系統並在微負壓下操作。
2. 減少粉塵堆積，例如所有的牆壁和地板要平滑，減少水平的表面積，不易靠近的表面至少有60度的傾斜角和設置機械以便清除。
3. 嚴格推行不吸煙的規則。
4. 嚴格監督和控制焊接、割切和鉚接操作。
5. 用的馬達、開關、保險絲、電線、電燈必須合於國家電路規則中第二種G組的規定。
6. 在機械之前面安裝電磁和氣壓分離器。
7. 避免用鋁鎂或同類輕金屬漆在倉庫內，因為鋁點落在生鏽鐵的鋼片上和硬物碰擊，能夠產生火花。
8. 所有的馬達、吸塵器和管道，金屬倉庫等必需接地。
9. 經常和有規律地清除和檢查電磁分離器。
10. 檢查倉庫時，導燈必需利用乾電池操作，不可用一般電燈。
11. 決不要插入金屬物到倉庫內。

12. 維持斗昇機的皮帶有適當的張力；利用反倒轉裝置；經常有規律地檢查鋼斗和螺絲；支撐要在主滑輪之下而且不能有粉塵和穀類堆積在上面；萬一斗昇機的皮帶慢下來或停止不動，而主滑輪仍然在動的情況下，要有自動機械的或電磁機械的關閉裝置和警鈴，同時在適當的清除之後，才能再繼續運轉。

13. 在建築物、斗昇機、倉庫、和輸送機走廊上要有足夠的洩爆口。
14. 對雇員要施予粉塵爆炸的危險性和預防性教育
15. 根據製造廠的指示，有規律地潤滑軸承。
16. 為確保有規律的保養，採用一種檢查報告表。
17. 利用熱水或低壓蒸汽暖氣；汽鍋應置於隔離、防火、無粉塵或可燃物的房間內。
18. 立即和有規律地清除意外堆積的粉塵；利用真空式吸塵系統而不要用推式掃帚。不要用壓縮空氣來除塵，除非附近的機器都停止，所有的引燃源都移開和除非其他方法都行不通時。

參 考 資 料

1. 朱永康，1983，穀倉塵爆災變及預防方法簡介。七十三年度穀倉安全講習班講義。經濟部農業現代化職業訓練中心印製。
2. 夏懋修，1978，穀倉起火與爆炸的成因及其防範。遠東倉儲股份有限公司。
3. 陳貽倫、鄭瑞珍、李庭槐、張森富和周楚洋合譯，1982，穀倉防爆設計實引，第十章，粉塵控制，臺灣區雜糧發展基金會發行，原作(Dust control by Robert E. Pacquer, President, Simons-Pacquer, Inc.)
4. 蕭介宗譯，1982，臺灣區雜糧發展基金會印行。From prevention of dust explosion technical seminar by Theo Pinkwasser, Buhler Miag Inc., Switzerland.
5. 蕭介宗譯，1983，臺灣區雜糧發展基金會印行。From application of dust explosion research by R. F. Hubbard.
6. _____, 1982, Prevention of grain elevator and mill explosions, Publication NMAB 367-2, National Academy Press, Washington, D. C.
7. _____, 1982, Preventing grain dust explosion: Controlling the ignition sources, Grain Industry Safety and Health Center, Box 15024, Commerce Station, Minneapolis, Minnesota 55415.
8. Bingham, E. 1978. Grain elevator industry hazard alert. The Occupational Safety and Health Administration.
9. Jacobson, M. J. Nagy, A. R. Cooper and F. J. Ball, 1961. Explosibility of agricultural dusts. U. S. Bureau of Mines Report of Investigations 5753.