

性質介紹

1. 使用範圍：粉塵（Dust）係來自土石、岩石或礦物等之無機物或木材、穀物等有機物質，經粉碎、剪斷、鑽孔、研磨、衝擊、裝袋或爆炸等產生，而懸浮於空氣中之固體粒子（一般粒徑大致為 $100\ \mu\text{m}$ 以下），其化學成份與其原發生源之母體物質大致相同。
2. 介紹：從粉塵進入人體呼吸道的沈積作用來看，粒徑大於 $10\ \mu\text{m}$ 之粉塵在人體呼吸系統，可能在鼻孔、上呼氣道時即被擋除，而無法深入肺部，而粒徑在 $5\ \mu\text{m}$ 至 $10\ \mu\text{m}$ 間之粉塵則主要沈積上呼氣道之粘液纖毛；粒徑在 $7\ \mu\text{m}$ 左右可深入肺部，這種可深入肺部之粉塵稱為可呼吸性粉塵。在 1961 年美國原子委員會（NEC）定義呼吸性粉塵為 $10\ \mu\text{m}$ 以上為零， $3.5\ \mu\text{m}$ 以下百分之五十， $2\ \mu\text{m}$ 以下則百分之百沈積可在人體肺部。故就影響人體肺部健康而言，危害性最高者為可呼吸性粉塵。
3. 存在之行業
 - (1) 舉凡廠內有研磨機、磨碎機、粉碎機等粉塵製造機械
 - (2) 有集塵機、袋裝或粉塵儲存倉庫等。

危害

1. 潛在危害
 - (1) 肺對吸入游離二氧化矽粉塵(以下簡稱矽塵)的病理反應：吸入矽塵微粒 $2-5\ \mu\text{m}$ 大小者，會發生間質網狀內皮反應，在初期沈積肺實質中的矽塵微粒被巨噬細胞吞入，包藏其吞噬體中，石英能吸引巨噬細胞細胞漿內許多的溶小體，前來進入吞噬體內並使破裂，石英晶體乃沾連在吞噬體四周的脂蛋白膜上，而與其周圍斷裂分離，遂使現已包含無數活性溶解酵素的吞噬體內容物漏出，進入細胞漿中破壞了細胞漿中各種小機體，吞噬細胞乃被殺死，釋放出所含大量酵素之液體和石英晶粒到肺泡中一部份石英晶粒又被其他巨噬細胞所吞食，反覆經過上述過程；如果已無巨噬細胞可用(或者巨噬細胞的數目，不足以處理存在的石英晶粒)，則石英晶

粒乃被顆粒型肺泡細胞（**Granula Pneumocytes**）所吞食，使這些細胞排放出環層體（**Lamellar Bodies**）和相連之脂質到空隙中，造成局部的肺泡內脂蛋白堆積現象（**Alveolar Lipoproteinosis**），如果被破壞的顆粒型肺泡細胞為數極多，即可能產生全面的肺泡脂蛋白堆積症（**Alveolar Lipoproteinosis**）。在呼吸性細支氣管的階層，二氧化矽晶體被結締組織的吞噬細胞所吞食，在吞噬細胞內遂進行與肺泡巨噬細胞相同的過程，步向破壞的命運，結果此處的小動脈遂被一團特殊組織所圍繞，這團組織是由於增殖的單核細胞，死或將死的巨噬細胞，和產生網絲及膠原纖維以網住各細胞的纖維母細胞所組成；同時，部份石英晶粒和其它物質更順沿淋巴管直上，抵達肺門激起網狀內皮細胞的聚集；造成如前述的病灶，最後在淋巴腺的竇內也形成結節。尚有部份肺泡內容物則順沿淋巴管到達肋膜的內臟層，最後在肋膜下淋巴腺造成纖維化結節的出現。由於纖維增生漸多，阻擋了各種細胞成份，使無法到達結節中心，而聚集在結節四周邊緣位置，並且抓住石英晶粒在一起，因此，在一個發展完成的矽病結節（**Silicotic Nodule**）中，石英晶粒在人體是找不到的，它們都在結節邊緣進行破壞聚集該處的巨噬細胞。若沈積在肺實質中的石英晶粒數量極多，由於小動脈旁淋巴管完全阻塞，導致小葉四周間質纖維化。此外，顆粒型肺泡細胞被破壞，造成全面性的肺泡內脂蛋白堆積現象，此為急性矽肺病（**Acute Silicosis**）的特徵。中度而長期曝露在石英粉塵中以後，肺實質和淋巴腺中，矽病小島（**Silicotic Islands**）繼續不斷增生；淋巴腺的侵犯更遠超過肺門以外，甚至在頸部淋巴腺或沿主動脈淋巴腺下至鼠蹊淋巴腺，都可以發現到矽病結節。在肺內，矽病小島起初為散見，以上葉和下葉的頂尖部份最常見，較大的小島在其中心即有壞死現象，隨著病程演進，個別病灶互相融接在一起，佔據了肺的大部份地區，可能發生缺血性的壞死。

- (2) 若可燃性粉塵在空氣中的濃度達到爆炸下限時，遇到火源，極有可能產生爆炸的狀況，輕則毀損設備，重則造成人員傷亡。

2. 粉塵之容許濃度

- (1) 美國職業安全衛生署（**OSHA**）：（1987）

$$\text{可呼吸性粉塵(PEL)} = \frac{100\text{mg}/\text{m}^3}{\text{石英}\% + 2 \times \text{白矽石}\% + 2 \times \text{鱗矽石}\% + 2}$$

$$\text{游離二氧化矽 (PEL)} = 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$$

(2) 美國職業安全衛生研究所 (NIOSH) : (1991)

$$\text{可呼吸性粉塵 (REL)} = 5 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$\text{游離二氧化矽 (REL)} = 0.05 \text{ mg}/\text{m}^3$$

(3) 美國政府工業衛生技師協會 (ACGIH) : (1990)

$$\text{總粉塵 (TLV)} = 5 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$\text{游離二氧化矽 (PEL)} = 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$$

(4) 英國 : (1991)

$$\text{可呼吸性粉塵 (REL)} = 5 \text{ mg}/\text{m}^3$$

(5) 瑞士 : (1991)

$$\text{可呼吸性粉塵 (REL)} = 4 \text{ mg}/\text{m}^3$$

(6) 芬蘭 : (1991)

$$\text{可呼吸性粉塵 (REL)} = 5 \text{ mg}/\text{m}^3$$

(7) 我國勞工安全衛生法規 : (1995)

表 1 我國勞工作業環境空氣中粉塵容許濃度

粉塵種類	容許濃度	
	可呼吸性粉塵	總粉塵
含游離二氧化矽 10%以上之礦物性粉塵	$\frac{10 \text{ mg}/\text{m}^3}{\% \text{SiO}_2 + 2}$	$\frac{30 \text{ mg}/\text{m}^3}{\% \text{SiO}_2 + 2}$
未滿 10%游離二氧化矽之礦物性粉塵	1 mg/m ³	4 mg/m ³
石綿纖維	每立方公分一根	
厭惡性粉塵	5 mg/m ³	10 mg/m ³

作業程序

在粉體製程中處置之粉體種類有自穀類等之農產品或藥品、塑膠等化學合成品或金屬化合物等原材料，其種類極為繁多，其多數為可燃性物質，又此等粉體之處理量極為龐大。另一方面雖產量為數不多之新原材料或功能性粉體中卻有價格極其昂貴之粉體。隨著新技術之開

發、利用，在企業之生產活動也有高度化之趨勢。粉體處理技術高科技工業中已成為不可或缺之技術。今日已有一遇空氣就會發火之比表面積較大的超微粉體之製造。如此之可燃性粉體中之一部分粉體外，一般仍停留在如文義所示之因某一著火源即可在空氣中燃燒之概念，而尚未被列在消防法或勞動安全衛生法之危險物指定範圍之內，故其製造也未被管制。然而，一旦發生可燃性粉體之火災或爆炸（粉塵爆炸），可因其處置量，不但使粉體成品燒毀，甚至可使設備遭受毀滅性之破壞或造成人身事故。因此，在粉體製程中，對爆炸與火災之預防為重要之防範對策之一。以下將以飼料穀倉為例，說明含有粉塵之作業場所的作業程序。

在飼料業的製造環境中，有許多有害物懸浮在空氣中，其中又以粉塵對於人體的危害最大。粉塵經由呼吸系統進入人體其他組織與器官，除了會損害呼吸器官的功能，亦有部分會被吸收進入循環系統或其它的器官中造成系統性中毒。因此製作飼料業穀倉操作及製程安全，以保障作業勞工安全。以下茲討論穀倉操作及製程安全：

1. 室內斗升機之設置與作業依下列規定：
 - (1) 斗升機不得以振動方式清除堵塞。
 - (2) 皮帶與防滑套應為易導電者，皮帶之表面電阻不得大於三百百萬歐姆（300 MΩ）。
 - (3) 斗升機頂部應設檢視孔，以利斗升機頂部滑輪、防滑套、皮帶與排放口之檢查。
 - (4) 斗升機底部應設適當檢視孔，以利底部之清理與底部滑輪與皮帶之檢查。
 - (5) 軸承儘可能設於斗升機殼外。軸承部份或全部設於斗升機殼內者應設置能監測軸承狀況之振動監測器，溫度監測器或其他方法。
 - (6) 偵測斗升機運轉狀況之設備於斗升機皮帶速率減低百分之二十時，應立刻發出警報，俾能適當處置。
 - (7) 設置斗升機皮帶移動監測器，當皮帶不在其正常位置時能提供勞工警告或提供皮帶保持定位之設備，皮帶發生位移時能適時調整之。
 - (8) 穀倉容量在三萬千立方公尺以下之穀倉，有日常目視檢查斗升機運轉與皮帶軌道之設施者不適用（6）、（7）之規定。

- (9) 下列情況不適用 (5)、(6)、(7) 規定：
- A. 斗升機有火災爆炸抑制系統，至少足以保護其頂部及底部者。
 - B. 斗升機設有氣壓或其他粉塵控制系統或其他方法，能使作業時斗升機內粉塵之濃度低於其爆炸下限百分之二十五者。
2. 穀物流程處理設備（粉碎機、研磨機與細碎機）應裝置能將可能產生火花之鐵金屬或石頭等自輸入穀物中取出之設備。
3. 直接加熱之穀物乾燥器依下列規定：
- (1) 儘可能設於穀倉外。
 - (2) 設於穀倉內者應有火災與爆炸之防護系統。
 - (3) 設於穀倉內而與其他設備隔離者，至少應有一小時防火時效之建築。
 - (4) 設置自動控制設備，於能源故障、燃燒困難或空氣排氣管風扇受阻時能切斷燃料供應，乾燥部分排氣管之溫度過度升高時應立即停止穀物之輸入。
 - (5) 乾燥器以液化石油氣為燃料者，其蒸發器應設於距乾燥器至少三公呎處，氣體管線應有防止機械損傷之保護措施。
4. 穀倉之濾袋集塵器依下列規定設置：
- (1) 已設濾袋集塵器，均應設置能顯示濾袋表面壓力降低之監測設備。
 - (2) 新設之濾袋集塵器應依左列規定：
 - A. 儘可能設於設備外。
 - B. 設於設備內者應以抑爆系統保護之。
 - C. 設於設備內者應以至少一小時防火時效之建築物隔離之，並與外牆為鄰向外吹洩。
5. 雇主使勞工進入穀倉桶內工作，應依下列規定。但進入平底倉或直徑大於高度之穀倉，若非由上面進入者，不在此限。
- (1) 勞工進入前應依下列規定：
 - A. 雇主應發給勞工穀倉進入許可證：但雇主或經雇主授權能代表雇主下達進倉許可之人員在場監督作業者不在此限。進倉許可證應載明進入之時間、倉號、穀倉監測資料及應採取之必要措施，應確認已依規定採取必要措施才可發給並妥為保存之。
 - B. 足以導致進入穀倉勞工危險之一切機械、電氣、水力或氣壓等

設備，均應加鎖或掛牌，使其脫離、阻絕，或防止其他方式之作業。

C. 進入有可燃性氣體、蒸氣或有毒性物質存在之場所應先測定其濃度，如氧氣量少於百分之十八，可燃性氣體之濃度超過其爆炸下限百分之三十，或有毒性物質超過其容許濃度，應採下列措施：

(A) 連續予以通風。

(B) 如有毒性物質或缺氧情況存在時，使勞工配戴適當之呼吸防護具。

(2) 勞工由倉頂進入倉內時，應以適當方法使勞工進入，並應配戴安全索等護具，或使用水手椅，以備緊急救援用。

(3) 設立倉外監視人，以便提供倉內勞工必要之協助。監視人與倉內勞工間應保持確實之連絡信號（聲、光、或信號線等）。

(4) 準備及提供倉內勞工適當之救援工具。

(5) 擔任倉外監視人員應瞭解救援程序，平時多加演練，並應使其知道如何獲得外來協助之通信連絡管道。

(6) 倉內有架橋現象或其一例有穀物堆積的情況時，雇主不得使勞工進入倉內工作。

(7) 勞工有因沉陷於物料，被穀物或其它農產品埋沒，導致窒息之虞時，應禁止勞工在超過腰際高度之穀物上行走或站立。

6. 雇主使勞工從事動火作業應依下列規定：

(1) 動火作業前應確實檢查現場穀物粉塵等一切可燃性物質是否完全清除或掩蓋。

(2) 動火作業前應先查核現場狀況，符合動火條件發給書面動火許可證後始可動火作業，但在指定熔接地點工作者，不在此限。

(3) 動火許可證應註明動火之地點、時間及動火前應採取之必要措施。

(4) 動火許可證應妥為保存。

相關法令、標準及解釋令

1. 勞工安全衛生法

第五條：雇主對下列事項應有符合標準之必要安全衛生設備：

七、防止原料、材料、氣體、蒸氣、粉塵、溶劑、化學物品、含毒性物質、缺氧空氣、生物病原體等引起之危害。

2. 勞工安全衛生法施行細則

第二十一條：本法第十二條所稱特別危害健康之作業，係指：

七、粉塵作業。

3. 特定化學物質危害預防標準

第三十八條：雇主依本標準規定設置之局部排氣裝置及空氣清淨裝置應每年定期就左列事項實施自動檢查一次以上；發現異常時，應即採取必要之措施。但超過一年未使用，而於未使用期間，不在此限。

- A. 氣罩、導管、排氣機及空氣清淨裝置之磨損、腐蝕、凹凸及其它損害之狀況及程度。
- B. 導管、排氣機及空氣清淨裝置之粉塵堆積狀況。
- C. 排氣機之注油潤滑狀況。
- D. 導管接觸部份之狀況。
- E. 連接電動機與排氣機之皮帶之鬆弛狀況。
- F. 吸氣及排氣之能力。
- G. 其它為保持性能之必要事項。

雇主對前項規定之局部排氣裝置及空氣清淨裝置於開始使用、改造、修理之際，應依同項規定實施重點檢查。

主要參考資料

1. A.W. Cox., F.P. Lees and M.L. Ang,1993; "Classification of Hazardous Locations", ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, UK.
2. Vinit Mody and Raj Jakhete,1988; "Dust Control Handbook", ISBN 0-8155-1182-5, Noyes Data Corporation, NJ, USA .
3. F. P. Lees,1996; "Loss Prevention in the Process Industries", 2nd Edition, ISBN 0-7506-1547-8, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, Vol. 1: 3/12-16.
4. R. K. Eckhoff, 1997; "Dust Explosions in the Process Industries", 2nd Edition, ISBN 0-7506-3270-4, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
5. American Society for Testing and Materials, 1983; "A Guide to the Safe Handling of Hazardous Materials Accidents",USA.
6. Daniel R.Stull,1977; "Fundamentals of Fire and Explosion", AIChE, New York, NY,USA.
7. Geoff Lunn, 1992; "Guide to Dust Explosion Prevention and Protection", 2nd Edition, ISBN 0-85295-293-7, Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.
8. Daniel A. Crowl and Joseph F. Louvar,1990; "Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications", ISBN 0-13-129701-5, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
9. 高雄市政府勞工局勞工檢查所，1994年4月；"粉塵作業危害及預防"。
10. 台灣省勞工處中區勞工檢查所，1996年11月；"火災爆炸預防"。
11. 行政院勞工委員會，1991年12月；"粉塵爆炸理論及穀倉作業安全實務"。
12. 林木榮、林永芬、謝明宏，1996；"粉塵爆炸抑制效能分析報告（技術報告）"，工研院工安衛中心。