

最新世界名著

機送運力氣

施德士 原著

徐萬椿 譯

國家科學委員會補助

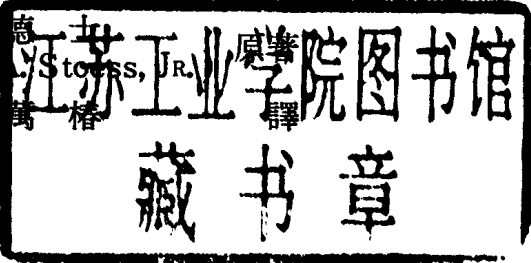
國立編譯館出版
臺灣書店印行

最新世界名著

氣力運送機

(Pneumatic Conveying)

施
(H.
徐



國家科學委員會補助

國立編譯館出版
臺灣書店印行

中華民國六十一年九月初版

最新
世界名著 氣力運送機

版權所有・翻印必究

定價：新臺幣 柒拾元伍角

原著者	施	德	士
譯者	徐	萬	椿
譯權所有人	國	立	編譯館
補助機關	國	家	科學委員會
發行人	趙	雲	溪
發行印刷	台	灣	書店

臺北市重慶南路一段十四號
業務部電話313875號
門市部電話378120號
郵政劃撥7821號

譯者序言

本書氣力運送機，其原名爲Pneumatic Conveying，爲施德士（H. A. Stoess）所著。屬於物料運送與包裝叢書之一部。是一部大專院校機械工程之專書。其內容包括：氣力運送機、氣力運送機之型式、氣力運送機之設計、氣力運送機在工業之應用，以及物料之運送性質等五章。諸凡氣力運送系統之構造，詳細之部署，線路系統之設計，自動控制之應用，對各種工業之應用，如水泥工業、麵包工業、釀酒工業、人造瓷土工業、塑膠工業、橡膠工業、紙漿及造紙工業、飼料工業、水處理廠，均列舉實例以明之。最後並指出各種物料之運送性質，諸如紫苜蓿、明礬、礬土、氫氧化鋁、硫酸銨、砷、石棉、大麥、重晶石、鐵礬土、矽酸黏土、骨粉、硼砂、硼酸、麩糠、白堊、石灰、大理石粉、活性碳、觸媒劑、水泥、高嶺土、煤、焦炭、可可、玉蜀黍、棉子、長石、白雲石、飼料、麵粉、麥芽、奶粉、米、大豆、砂糖等等重要物料，無不詳述。以我國文學撰寫之氣力運送機書籍，似尙付闕如，而工業上應用氣力運送機者，却比比皆是。譯者深感國立編譯館選譯是書之足具遠見也。

本書係以簡潔平易之筆法譯述、力求與原意吻合，並不拘泥於一字一句之推敲，惟本書僅以三十個晨昏時間譯出，書成極爲倉促，謬誤之處，在所難免，尙祈海內外先進賢達，賜予指正，則幸甚矣。

徐萬椿 謹序

中華民國六十年二月七日

作者序言節譯

在 1920 年間，氣力運送機之應用，即已大量增加。在 1866 年，氣力運送機，則僅以風扇在管路系統中操作，其用途亦局限於運送甚輕之物，諸如木飽花與木鋸屑而已。及至確實壓力之葉輪吹風機發明之後，即能產生高真空與高壓力，因而許可應用較小之管路，可用於較大密度之物料之運送，並可增加運送率，與增加運送物料之種類矣。1919 年，由於以空氣將物料粉碎成流體狀態之技術之發明，以及高壓空氣之配合，因而製成流體固態物邦浦及風壓箱。此等設施之發展，方可以最小尺寸之管路而作長距離之運送也。

由於工業之發展，勞工之工資率上漲，在第二次世界大戰前後，散裝物料之承運，乃成爲一極重要之經濟因子。由船隻卸載穀類，以及由鐵路車輛卸載化學物品與穀類，乃首先應用氣力運送設施。塑膠工業之發明與開展，由於其製造過程中需要無污染與無灰塵之運送，是以氣力運送機更有其需要。無污染運送之性質，不獨塑膠工業有其需要，其他工業亦有其需要也。

氣力運送之迅速發展，可以一個事實來證明，1945 年，只有六家公司從事製造氣力運送設備，但至 1969 年，已有八十五家至九家公司製造氣力運送設備矣。由於氣力運送設施之迅速發展，有時對於其運用之技巧，未必完全明瞭，爲此，常導致運用不當。而使氣力運送設施之使用者與供應者，爲之愕然。由於氣力運送設施之多數設計資料，多係基於經驗者，故此種應用，有時確成爲一個問題。由於多數公司均優先考慮其經驗資料，故缺乏基本設計之一般知識。此雖屬閉關自守之道，但是其運送機應用之知識，以及其運送機在逆境操作之能力，近似設計之資料，仍屬極爲有用者也。

本書之撰寫，具有三個目標：(1)提供氣力運送機可有之型式，以處理甚多不同散裝之物料。首先之四章，描述氣力運送機，列舉各種型式，提供用以決定型式，安排，與空氣要求之資料。(2)指出氣力運送機在各種工業上之應用，圖文並載，並說明何者當做，何者不當做；(3)列舉並描述，其可以應用氣力運送機處理之散裝物料，應包括用以決定散裝物料之運送性與流動性者。

作者對於甚多公司之提供資料，甚為感謝。對於故英格哈特上校之鼓勵，促使筆者在過去十年中，對紐約工業管理中心之物料處理課程，提出甚多篇技術性之論文，特別銘感。此等論文，在實質上乃構成本書之主體者。

作者復對哈佛大學商學院教授，兼工業管理中心主任，勃拉脫氏之鼓勵，特致誠摯之謝意。

施德士 序

氣力運送機

目 錄

譯者序言

作者序言節譯

第一章 氣力運送機	1
1.1 緒言	1
1.2 優點	3
1.3 缺點	5
1.4 限制	6
第二章 氣力運送機之型式	7
2.1 真空系統	8
2.2 低壓系統	16
2.3 中壓系統	23
2.4 高壓系統	29
2.5 真空與壓力系統之配合系統	30
2.6 空氣激動之重力運送機	35
2.7 關閉線路系統	40

第三章 氣力運送機之設計..... 43

3.1 設計與應用之規範..... 43

3.2 設計步驟..... 51

3.3 系統之總成..... 79

3.3-1 吹風機..... 79

3.3-2 濾清接納器..... 83

3.3-3 旋風接納器..... 92

3.3-4 旋轉供應器..... 94

3.3-5 門鎖..... 107

3.3-6 管子..... 108

3.3-7 管子換轍開關..... 112

3.3-8 流體固態物邦浦..... 117

3.3-9 風壓箱..... 123

3.3-10 空氣激動之重力運送機..... 125

3.3-11 成套可移動之運送機..... 129

3.4 自動控制..... 130

3.5 由貯存倉外流..... 136

第四章 氣力運送機之工業應用..... 141

4.1 水泥工業之應用..... 142

4.2 麵包工業之應用..... 148

4.3 釀酒工業之應用..... 156

4.4 高嶺土工業之應用..... 166

4.5 塑膠工業之應用..... 167

4.6 橡膠工業之應用..... 189

4.7	紙漿及造紙工業之應用·····	192
4.8	飼料工業之應用·····	235
4.9	水處理廠之應用·····	240
第五章 物料之運送性質·····		243

第一章

氣力運送機

1.1 緒言

(General Description)

所謂氣力運送 (Pneumatic conveying)，乃是以一負空氣壓力流或正空氣壓力流，將乾燥而散裝之物料通過一管路而運送之技藝，亦即利用空氣之移動，而完成其運送之工作者。此項空氣流，或空氣移動，只是空氣之運動而已。空氣在運動時，即變成風，此種風力，可為麥浪春風，文靜飄動；或可以揚帆推舟，或可為強風而吹毀連綿之森林也。

最簡單之氣力運送機，只是一種小型颶風，以一管路將此颶風導至一定之目標，由於空氣之移動，可使導入管路之壓力高於通常之大氣壓力（此大氣壓力在海平面，於 70° F 之溫度，為每平方吋 14.7 磅），或可使在輸出端低於大氣壓力者。在任何一種方法，此項空氣之移動，可復得其正常之壓力或絕對壓力，當具有足夠之速度時，此

空氣即能循其流動路線承載物料，惟需視其物料或重量而定者。

空氣在溫度 70°F ，及絕對壓力 14.7 psi 時，其重量為 0.075 lb/cu. ft （每立方呎之磅數）。當壓力低於此絕對壓力，空氣乃遵循氣體定理，將其重量與黏度均降低。因之，在管路中減少其承載物料之能量。反之，若在管路中之壓力高於此 14.7 psi 之絕對壓力，空氣仍然遵循氣體定理，空氣較重，而具有較大之衝擊力與承載能量，可使運送較多之物料，此乃氣力運送機基本設計之藝術也。

此處之所以比喻作為藝術者，蓋氣力運送，其藝術之成份多於科學也。誠然，此乃所有散裝物料處理最富有藝術性者。芝加哥之氣力運送機公司（*Pneumatic Conveyor Co.*），其在 1917 年之說明書有一段導言，茲述於下：

“本說明書，含有本公司過去六年間所製造之若干不同型式之氣力運送機之裝置剖面圖，並說明自車輛及船隻以氣力運送機卸載，及將物料運送至遠距離倉庫之主要性能與其優點。此等系統之簡單與效率，則完全基於氣力之充分之知識與對所運送之物料之性質而精確之設計，但尤其較此兩者更為重要者，厥為實際之經驗也。”

縱然在今日，其藝術仍然繫於所運送物料之性質之熟稔，以及其在空氣中所受之影響是也。

工業界已經耗費甚多之精力，企圖求得相關之資料，使氣力運送機之設計可以公式行之。但其結果，極大部份均未成功，此係由於所運送物料之性質與設備之安排，幾乎為千變萬化者。在甚多情形，物料之名稱相同，一般外形亦相同，但其氣力運送之性能，恰有甚大之變化。舉例說，若干物料，其每立方呎約重 20 磅至 50 磅，其水份含量自零至 1%，而水份至某一點，以氣力運送即不切實際矣。但是若干物料，其重量在 70 至 110 lb/cu. ft ，仍可應用。此項問題之答案，則為經驗，在經驗中具有甚多之常識也。除此以外，尚有摩擦與晶

體之分裂問題。矽之含量，以及其他所運送之物料性質，可以決定摩擦之程度，從而可以決定所需設備不同之型式。物料在空氣影響下之流動性，對於所需要之設備亦有相當之影響者。一種易碎之物料，對於運送空氣流之速度與密度之選擇，則應妥為考慮者。一未有正確設計之氣力運送機，在市場上可為最佳之磨碎機或粉碎機，但未必為最經濟者。筆者認為並無一種萬能之氣力運送機可以運送所有之物料者，是以今日需要與應用若干型式之氣力運送機也。

1.2 優點

(Advantages)

氣力運送機之設計與安排佈置，其直線運送之避免，乃是一宗成功之事實。多數機械運送機，當必需變更方向時，則必需具有轉運點者。換言之，需要一連串之運送器，此將增加費用，並可能發生控制之問題者。應用管路作為運送結構，則可應用大半徑之彎頭以變更其方向，可以避免干擾，可將支持結構減至最少。同樣，所需之空間可減至最小，為着保養維持所需接近之空間，亦可減至最小也。

由於物料係通過管路而運送者，故工廠之清潔，其改良之程度，無以言喻。管子之接頭，無論焊接者，或以突緣連接者，或管子長度係以壓縮接頭連接者，均甚緊密。同樣，若係應用真空系統者，則在管路內之氣壓較管路外之氣壓為低，萬一發生漏氣，亦屬向管子內漏入者，而非自管子向外漏出者。就壓力系統之情形而言，其緊密之接頭，在管路內之壓力可達 100psig 而無有灰塵或物料損失者，是以可將清潔工減至最少。氣力運送系統之接頭較少，可以減免灰塵滿佈之情形。讀者記取，清潔工作，在一工廠中乃是一種開銷，而且是相當大之開銷，恰未為費用控制專家所覺察者。又，氣力運送系統無有發

生灰塵，工廠不獨清潔，物料運送之損失減少，此不獨能改善工廠之外觀，尚可節省費用也。

氣力運送機，對工作人員之安全而言，則較任何其他型式之散裝物運送機為安全。美國工業上由於處理散裝物料所導致之意外事件之損失，已作過若干統計。據最近之公告數字指出，約有 22% 之賠償之傷害案件，乃發生於物料之處理。據估計其工資之損失，醫藥費用，及保險費用，每年化費於意外事件者，約為二億五千萬美金。此外，尚有間接之損失，約為一億五千萬美金。因之，直接損失與間接損失，全美國約計為四億美金。顯然，工廠管理當局，物料處理與工業工程師似不得不對更有效而更安全之物料承手之技術具有濃厚之興趣也。無疑，意外事故之問題，可以仔細分析此問題，而予糾正之。由此項觀點而言，則氣力運送機，可認為在任何應用上，均屬合適者。關於氣力運送機所發生之意外事故之頻率及其嚴重性之資料，尚無充份之紀錄，惟據美國某一州之 1951 年之報告指出，氣力運送機與氣力卸載機，並未發生任何致命之意外事故，僅有 136 件非致命之意外事故而已，但在整個機械運送機而言，此報告指出，一年中具有六個死亡事件，與 648 件非致命之事故。在機械車輛卸載與裝載，即有兩個死亡事故與 229 件非致命事故之發生。在建造一水泥廠時，而其安全規則尚未建立之前，一保險公司曾經建議應用流體固態物邦浦（fluid-solids pump），稱為葛榮邦浦（Fuller Kinyon pump），此種邦浦，可以消除由於螺旋運送機，斗式運送機，及其傳動部份所導致之 52% 意外事件之時間損失也。

氣力運送機，除去建立比較安全之工作環境之外，還可以減少火災與爆炸之災難。可經由氣力運送機運送之可燃物料，則為木粉、澱粉、麵粉、醋酸纖維素（cellulose acetate），以及火葯丸

子是也。在 1947 年，曾經以醋酸纖維素之粉末與空氣之混合物以高速度通過一運送管路作試驗，以決定其火災發生之可能性。在此試驗之狀況下，曾經得到一種結論，一局部之燃燒，不致傳播至系統之全長度者。此外又得一個結論，速度與擾動之狀況，必改變燃燒之性質，使不致發生最大之爆炸壓力與爆炸率者。

專門從事於厘訂飼料工廠與穀類升降機行業之保險率之一官廳，對於飼料工廠與麵粉工廠應用氣力運送系統之保險率，特別予以優惠者。此官廳之官員，由於經常與此等工廠接觸，咸認為具有氣力運送機之工廠，其發生火災之機會，可以大為減少者。欲享受此項降低之費率，則所有處理散裝物料之系統，必須為氣力運送管路，而此等管路，必須為不可燃燒者。在麵粉工廠，其磨粉部份乃應用氣力運送系統者，而其清淨部份則非以氣力運送設施所運送者，並且無火牆與磨粉部份隔離者，則其費率略高。飼料工廠，必須全部應用氣力運送系統，方可得優惠之費率也。

1.3 缺點 (Disadvantages)

應用氣力運送機之優點，應與其缺點比較之，而此項缺點，則正逐年減少中。氣力運送機之製造者與使用者，正逐漸學習此項藝術，因之可以改進其可靠性。在過去若干年中，氣力運送機遭受最大之批評，則為其較應用任何其他型式運送機為多之動力。由於動力之價格具有穩定降低之趨勢，是以此項缺點亦可大為減少也。

在甚多情形下，氣力運送機之第一次投資，較任何其他型式之運送機為高。不過此項較高之第一次投資，可以勞工之節省，與保險費率之降低而補償之。此外尚有一個極小之缺點，即氣力運送機只能以

一個方向運送，亦即單向運送是也。

1.4 限制 (Limitations)

氣力運送機之應用，其主要限制之因子，則為其所運送之物料。此種所欲運送之物料，必須乾燥而具有相對之自由流動性者。至於自由流動性，應該仔細權衡，蓋若干物料，在普通之狀況下未必能自由流動，但在氣流之影響下，則具有相當之自由流動性者。

通常易於粉碎之物料，則不宜以氣力運送機運送之，不過，物料在運送過程中之部份變質對於其最後之使用無影響者，當不在此限。甚多噴洒乾燥之產品，通常具有微簇狀者，若不欲過份之粉碎，則不能運用氣力運送者。通常此種微簇狀，具有脆性，若欲維持此種微簇狀，則其硬度與結構之穩定性，應予研究之。

應用氣力運送機，其運送之距離，乃是一個限制之因子。不過由於此項氣力運送藝術之發展，真空運送系統，其運送之長度可達1500呎，而在壓力運送系統，其運送之長度可達1英里以上，而兩者均無需任何增壓站者。

第二章

氣力運送機之型式

所謂氣力運送機，通常乃指應用負壓縮空氣動力或正壓縮空氣動力以運送散裝物料之方法者。第一種方法，乃是在管路系統中產生低速、中速，或高速之空氣流，使物料懸浮於空氣流之謂也。第二種方法，則將物料參氣，或將物料促成有流動性，然後藉壓縮空氣膨脹之能量，強迫使物料流動柱通過管路系統者。應用此兩種方法操作之基本設備，可以參照空氣之要求而分成六種顯著不同之型式。至於空氣之要求，則可在高達 125psi 之壓力，以及高達 6 吋至 12 吋水銀柱之真空下，自每分鐘數立方呎至極大容量之空氣者。

此六種氣力運送機之型式，則為：(1) 真空氣力運送機，係應用一高速度空氣流，將物料以 4000 fpm 至 8000 fpm (每分鐘之呎數) 之速度在管內懸浮之，以及在高達 12 吋水銀柱之真空中懸浮之；(2) 低壓力運送機，此係應用一中速度之空氣流，將物料在壓力高達 12psig 之管路系統中懸浮之；(3) 中壓氣力運送機，乃應用一低速度空氣流，其壓力則可達 45psig 者；(4) 高壓氣力運送機，此亦係應用一低速度空氣流，其壓力則可高達 125psig 者；(5) 真空系統與壓力系統配合之氣力運送機；及 (6) 空氣操縱之重力運送機，此乃應

用低壓空氣參氣，或粉碎之物料具有流動性，最低限度使物料可以吸收空氣於表面直接接觸而足使具有流動性，以克服在運送管壁之摩擦，而使物料之質量能以重力流動之，惟根據前述之定義，此非氣力運送機也。

2.1 真空系統 (Vacuum System)

當自多個檢拾點，或多個原點檢拾而運送至一單個輸出目的處者，則可應用真空氣力運送系統。將物料進給於具有負壓力之管路中，（其壓力小於 14.7psia），乃是比較簡單，可用任何供應安排者。真空氣力運送系統，可自鐵路箱車、櫃車、特種車輛、拖船、輪船，將乾燥之散裝物料卸載之。其以真空氣力運送機可以運送之物料，則可包括乾燥之粉狀材料、壓碎之顆粒物料，而在某種特別之情形下，其顆粒之大小，可達 2 吋者。迄目前為止，其運送機之長度可達 1500 呎者，而仍能成功地操作也。

真空運送系統，與家庭中之真空吸塵器極為類似，乃應用一空氣進口，一物料進口，或兩者之聯合進口，一物料運送管，一空氣與物料分離器，及動力廠。在自多檢拾點或原點運送物料時（見圖 2.1），當其供應係以物料之壓力頭所達成者，則在系統中需要一定量分配之供應設施。為着將漏入於系統之空氣減至最少起見，則此定量分配供應設施，必須相對密封者，特別以應用多個此等定量分配設施用以供應於單獨之管路者為更甚。若許可漏入多量之空氣，則欲保持其運送起見，即需要增加其空氣之容量，因而導致較自進口點必需之下流空氣容量為大之設備矣。

多數常用之供應設施，則為旋轉供應器。此種型式之供應器，具