

科學圖書大庫

工業通風設計基礎

譯者 王洪鎧

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

工業通風設計基礎

譯者 王洪鎧

徐氏基金會出版

譯 序

本書原名“Industrial Ventilation Manual”，係由美國政府工業衛生會議“American Conference of Governmental Industrial Hygienists”的會員們經多年的研究經驗所編撰出來的一本有關於工業通風系統的設計，維護及研判的資訊。其目的在提供從事於工業通風工程人士一種有價值的參考資料，同時也可作為工業衛生課程的教科書。

本書內容豐富，尤其資料係出自權威人士之手筆，各種工業通風系統之理論，設計，計算，與製作等之記載均足值得信賴。近年來我國工業發展迅速，工廠林立，其對通風設施之需求更勝於往昔，爰特將此實用資料譯出以饗讀者。

惟工業通風之技術不斷因研究而有新的發現與成就。本書亦當不斷蒐集新資訊加以修訂補充，使成一本完善之專書。如讀者對本書內容有所賜教，更毋任歡迎。

編譯者 王洪鎧 敬識
民國六十九年九月

「你雖有工程頭腦，也希望你有商業頭腦」一譯者願與讀者共勉之

讀者請參閱本書之姊妹書

1. “風管之標準設計與製作” (High and Low Velocity Duct Construction Standards) 美國國家板金與空調承裝業協會 (SMACNA) 發行，王洪鎧譯，徐氏基金會發行，發行編號 1307。
2. “空調調節設計基礎” (Handbook of Air Conditioning System Design) 美國 Carrier 空氣調節公司發行。王洪鎧譯，徐氏基金會發行，發行編號 0917。

專門名詞

霧氣 (aerosol) 固體或液體懸浮於空中之微粒子集團，微粒之直徑自 100 微米 (公忽) (microns) 至 0.01 微米或更小，如塵粉，霧，烟等。

空氣清潔器 (air cleaner) 一種設備，其設計目的在移除空氣中之不潔物質諸如灰塵，氣體，蒸氣，氣味及烟霧等 (空氣清潔器包括空氣洗滌室，空氣過濾器，電子集塵器，及木炭過濾層等)。

空氣過濾網 (air filter) 一種裝置在使外氣引入建築內以前，能移除空氣中懸浮之粒子者。通常使用範圍為高至每千立方呎 3 格林 (grains, 1 grain = 1/7000 lb)，即每立方呎 0.003 格林 (0.003 grain/ft³)。註：在密集工業區或在許多工廠內之空氣有較大之空氣含塵粒量，此時要用集塵器 (dust collectors) 作為空氣清潔方為適當。

空氣馬力 (air horsepower) 如果風扇沒有損失，即效率為 100% 時，驅動此風扇所需之理論馬力即為空氣馬力。

標準空氣 (air standard) 70F 及 29.92" Hg 下之乾空氣，其重量為 0.075 lb/ft³，比熱為 0.24 BTU/lb/F。

展弦比 (aspect ratio) 寬度對長度之比，即 $AR = W/L$ 。

肘管展弦比 (aspect ratio of an elbow) 沿彎曲軸線之寬度 (W) 被彎曲平面上之深度 (D) 所除之值， $AR = W/D$ 。

鼓風閘 (blast gate) 滑動節氣閘。

射程 (blow (throw)) 在空氣配佈上，當氣流自一出風口吹出，直到風速降到 50 fpm 時，沿吹出路徑軸線的距離。如為單位加熱器時 (unit heaters)，為自加熱器吹出之氣流，在未達由於空氣溫度差及風速損失所造成可覺察之上升之前的一段距離。

剎車馬力 (brake horsepower) 驅動一風扇實際所需之馬力。此包括在風扇中的能量損失，且只能用風扇的實際試驗才能決定。(不包括在馬

達和風扇間之驅動損失)

捕集風速 (capture velocity) 在氣罩前方任一點或在氣罩開口處之風速，足以能克服相對的氣流及捕集於該點處之污染空氣，且導致其流入氣罩者。

進口係數 (coefficient of entry) 由一特定氣罩靜壓所導致的實際氣流率與理論氣流率之比較，後者係假定靜壓力能以 100% 效率轉換成速度壓力者。亦為實際對理論流量之比。符號為 C_e 。

舒適區 (平均的) (comfort zone) 有效溫度之範圍，在該範圍內，主要部分 (50% 或以上) 的成人感到舒適者。

對流 (convection) 一流體之運動得自密度之差別以及重力之作用者。在熱傳遞上之意義延伸至包括強制與自然之運動或環流二者。

密度 (density) 一樣品物質之質量對其體積之比，或一單位體積下物質之質量，如質量與重量不致相混淆時，亦可謂之一單位體積下物質之重量。

密度因數 (density factor) 實際空氣密度對標準空氣密度之比。以密度因數乘標準空氣 (0.075 lb/ft^3) 將得到實際空氣密度之 lbs/ft^3 數，即 $d \times 0.075 = \text{實際空氣密度, lbs/ft}^3$

塵粉 (dust) 由於壓碎，研磨，鑽切，爆炸等過程使較大粒塊破碎成微小固體粒子而成塵粉，或原存在於混合物料中經刮起，運送，網篩，清掃等作業而飛揚到空氣中者。

集塵器 (dust collector) 一種空氣清潔裝置，能自抽風系統使抽風排出戶外以前移除較大之微粒。通常的範圍為每立方呎含有 0.003 格林 (grains) 塵粉或更高者。

進口損失 (entry loss) 空氣流入一風管或氣罩所導致的壓力降損失 (吋水柱)。符號為 h_e 。

煙氣 (fumes) 固體物料蒸氣 (vapors) 凝結所形成的小固體微粒。

氣體 (gases) 無一定形態之流體，在通常的溫度和壓力下趨向於均勻佔據所存在之全部空間者。

比重 (gravity specific) 一物質單位體積之質量對一標準物質在標準溫度下同體積質量之比。在 39.2°F 下之水常作為標準物質。若為氣體，常以與氣體同溫及同壓下之乾空氣作為標準物質。

氣罩 (hood) 一種有特定形狀之開口，用以捕集污染空氣並將之引導入抽風風管系統中者。

絕對濕度 (humidity, absolute) 單位體積下水蒸氣的重量，單位為 lbs/ft^3 ，或 $\text{grains}/\text{ft}^3$ 。

相對濕度 (humidity, relative) 在一空間中水蒸氣之實際分壓力對同溫下純水飽和壓力之比。

吋水柱 (inch of water) 在標準溫度下，壓力能使水柱升起 1 吋高度者為一單位壓力。

下爆炸限制值 (lower explosive limit) 一氣體或蒸氣在通常週圍溫度下之可燃性或爆炸性之下限值，以空氣中所佔氣體或蒸氣的百分比體積表示之。此限制係假定溫度高達 250 F 以前是穩定的。超過這個溫度，應以 0.7 之因數降低之，因為溫度愈高，爆炸性亦愈加大。

液體氣壓計 (manometer) 一種測量氣體壓力之儀器，主要為一種部份充了液體，常為水，水銀，或輕質油之 U 形管，當有壓力施於 U 形管之一端，液體必將被排代一部份，排代之量可反映出壓力之大小。

微米 (公忽) (micron) 長度單位，為一毫米 (公厘) (mm) 的千分之一，約為 $1/25,000 \text{ in}$ 。

最小設計風管風速 (minium design duct velocity) 所需用以運送在氣流中微粒之最低風速， fpm 。

霧 (mists) 物料之小微滴，在正常溫度及壓力下通常為液體。

充氣室 (plenum) 壓力均等室。

大氣壓力 (pressure, atmospheric) 由於大氣重量所產生之壓力，由氣壓計指示之。標準大氣壓力或標準大氣為 29.92 吋汞柱壓力。

靜壓力 (pressure, static) 由一靜止流體對各方向所施出之位勢壓力。若為移動之流體應在垂直於流動之方向上測量。若流體為空氣，以吋水柱作單位表示靜壓力。(靜壓力有使水管破裂的趨向)

全壓 (pressure, total) 速度壓力和靜壓力之代數和 (要注意到符號之正負)。

蒸氣壓力 (pressure, vapor) 由一蒸氣所施出之壓力。如果蒸氣能限制在其液面之上，如在一容器中者，溫度若保持一定，蒸氣壓力會趨向一固定限制值，稱為最大或飽和蒸氣壓力，該壓力僅視液體溫度而變。蒸氣壓力

一詞有時用爲飽和蒸氣壓力之同義字。

速度壓力 (pressure, velocity) 在流動方向之動能，足以導致一流體由靜止到達一特定之流速者，常以吋水柱表示之。

輻射，熱輻射 (radiation, thermal (heat) radiation) 能量之傳遞靠著波長非常大之電磁波行之。任何波長之輻射能當被吸收後，會變成熱能，使得吸收體之溫度上升。

槽縫風速 (slot velocity) 經過槽縫污染空氣之線性流率， fpm。

烟 (smoke) 懸浮空氣中之微粒，常爲但不一定必需爲固體，常由一實體核所組成，靠著燃燒或昇華所形成。

有效溫度 (temperature, effective) 將空氣溫度，濕度，及流動等因素相結合作成一任意的單值溫度指標，作爲人體冷熱感覺上的一種指示。這個數值與同值靜止，飽和空氣對人體而言有相同的感覺。

濕球溫度 (temperature, wet-buld) 熱動力濕球溫度爲在某一溫度下液體或實體水靠著蒸發進入空氣能使空氣在該同一溫度作絕熱飽和者。濕球溫度亦爲感溫球外覆濕絨之溫度計所指示出的溫度。

限界值 (threshold limit valuse (TLV)) 空氣傳播的有毒物料值，用爲控制危害健康的一種指導，代表一種時間濃度，即工作者每日暴露於該環境不八小時經歷一段長時期對健康不致構成危害者。

運 (輸) 送風速 (transport (conveying) velocity) 見最小設計風管風速。

蒸氣 (vapor) 物質之氣體狀態，該物質通常能以增減溫度和壓力使其轉變成氣態或液態者，蒸氣能夠流佈於所佔空間內。

縮寫字

A	面積	hr	小時
AHP	空氣馬力	in	吋
acfm	實際 cfm	LEL	下爆炸限制
AR	展弦比	ME	機械效率
B	氣壓計壓力	mg	毫克
bhp	剎車馬力 (軸馬力)	MRT	平均輻射溫度
bhpa	剎車馬力, 實際	mm	毫米 (公厘)
bhps	剎車馬力, 標準空氣	min	分
btu	英熱單位	MW	分子量
btuh	btu/hr	ppm	百萬分率
Ce	進口係數	lb	磅
cfm	ft ³ /min	psi	每平方吋磅
cu ft	ft ³	Q	空氣量, cfm
d	密度係數	R	朗氏溫度
D	直徑	RH	相對濕度
ET	有效溫度	ρ	空氣密度 lb/ft ³
F	華氏溫度	rpm	每分鐘轉數
fpm	ft/min	SFM	每分鐘表面呎
fps	ft/sec	sq ft	ft ²
g	重力, ft/sec/sec	sq in	in ²
gpm	加侖 / min	SP	靜壓
gr	格林 (grains)	SPa	實際 S P, 標準外之空氣
he	氣罩進口損失	SPh	氣罩靜壓
hp	馬力	SPs	S P, 系統處置之標準空氣

scfm 於標準空氣狀況下之 cfm
sp.gr 比重
STP 標準溫度及壓力
TLV 限界值

TP 全壓力
V 風速, fpm
VP 速度壓力
wg 水柱壓力鉅

請研習國際公制(SI)單位

(本書內均為英制，讀者可利用下表轉換成SI制)

焓	$\text{Btu/lb} \times 2.326 = \text{KJ/Kg}$
比熱	$\text{Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F} \times 4.187 = \text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$
熵	$\text{Btu/lb} \cdot ^\circ\text{R} \times 4.187 = \text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$
黏度	百分泊 (centipoise) $\times 0.001 = \text{Pa} \cdot \text{s}$
長度	$\text{in} \times 0.0254 = \text{m}$ $\text{ft} \times 0.3048 = \text{m}$
面積	$\text{ft}^2 \times 0.093 = \text{m}^2$
體積	$\text{ft}^3 \times 0.0283 = \text{m}^3$ 加侖 (gal) $\times 0.0038 = \text{m}^3$
重量	$\text{lb} \times 0.454 = \text{Kg}$
密度	$\text{lb/ft}^3 \times 16.019 = \text{Kg/m}^3$
比容	$\text{ft}^3/\text{lb} \times 0.06243 = \text{m}^3/\text{Kg}$
速度	$\text{fps} \times 0.3048 = \text{m/s}$ $\text{fpm} \times 0.0051 = \text{m/s}$ $\text{mph} \times 0.447 = \text{m/s}$
加速度	$\text{ft/s}^2 \times 0.3048 = \text{m/s}^2$
力	$\text{lb} \times 4.448 = \text{N}$
平面角	度 (degree) $\times 0.017453 = \text{弧度 (radian)}$
壓力	$\text{psi} \times 6.895 = \text{KPa}$ 吋汞柱 (" Hg) $\times 3.377 = \text{KPa}$ 吋水柱 (" Wg) $\times 0.249 = \text{KPa}$ 呎水柱 (' Wg) $\times 2.989 = \text{KPa}$ $\text{Kg/cm}^2 \times 98 = \text{KPa}$

	$\text{mmAq} \times 0.0098 = \text{KPa}$
	$\text{mAq} \times 9.8 = \text{KPa}$
	$1 \text{ KPa} = 1000 \text{ Pa (N/m}^2)$
	$1 \text{ bar} = 100 \text{ KPa} \quad 1 \text{ KPa} = 0.01 \text{ bar}$
	$1 \text{ psi} \times 0.069 = \text{bar}$
	$1 \text{ bar} \times 14.5 = \text{psi}$
摩擦阻力	$Wg / 100' \times 8.2 = \text{Pa / m}$
	$Wg / 100' \times 98.1 = \text{Pa / m}$
	$\text{mmAq / m} \times 9.8 = \text{Pa / m}$
體積流率	$\text{cfm} \times 0.00047 = \text{m}^3 / \text{s}$
	$\text{cfm} \times 0.0282 = \text{m}^3 / \text{min}$
	$\text{gpm} \times 0.000063 = \text{m}^3 / \text{s}$
	$\text{gpm} \times 0.00378 = \text{m}^3 / \text{min}$
質量流率	$1 \text{ b / s} \times 0.4536 = \text{Kg / s}$
	$1 \text{ b / min} \times 0.0076 = \text{Kg / s}$
	$1 \text{ b / hr} \times 0.000126 = \text{Kg / s}$
轉速	$\text{rpm} \times 0.1047 = \text{rad / s}$
溫度	$(\text{°F} - 32) / 1.8 = \text{°C}$
能量	$\text{Btu} \times 1.055 = \text{KJ}$
	$\text{ft} \cdot \text{lb} \times 0.00136 = \text{KJ}$
	$\text{KCal} \times 4.187 = \text{KJ}$
功率	機械馬力 (hp) $\times 0.746 = \text{KW}$
	鍋爐馬力 (boiler hp) $\times 9.81 = \text{KW}$
	美制冷凍噸 (USRT) $\times 3.52 = \text{KW}$
	$\text{Btu / hr} \times 0.000293 = \text{KW}$
導熱度	$\text{Btu / hr} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F} \times 1.73 = \text{W / m} \cdot \text{°K}$
	$\text{Btu} \cdot \text{in} / \text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F} \times 0.144 = \text{W / m} \cdot \text{°K}$
總傳熱 u 值	$\text{Btu / hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F} \times 5.678 = \text{W / m}^2 \cdot \text{°K}$
	$\text{KCal / hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C} \times 1.163 = \text{W / m}^2 \cdot \text{°K}$
	$\text{Btu / hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F} \times 4.88 = \text{KCal / hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}$

目 錄

譯 序

讀者請參閱本書之姊妹書……Ⅱ

專門名詞

縮寫字

請研習國際公制 (SI) 單位……Ⅳ

第一章 通風的一般原理

- 空氣流動原理…………… 1
- 空氣的加速度與氣罩入口損失… 3
- 通過風管的壓力降…………… 4
- 有效比重…………… 5
- 送風和抽風的空氣流動特性…… 6
- 補充空氣…………… 7

第二章 稀釋通風

- 健康上的稀釋通風…………… 8
- 防止火災和爆炸之稀釋通風… 12
- 混合體之稀釋通風…………… 14

第三章 熱控制通風

- 生理上的原則…………… 17
- 控制方法…………… 28

第四章 氣罩設計

- 介紹…………… 33
- 氣罩設計原則…………… 33
- 捕集風速…………… 38
- 氣罩設計程序…………… 38
- 氣罩進口係數及靜壓…………… 39
- 計算在抽氣罩中的靜壓損失… 43
- 複式氣罩…………… 44
- 放射性及高毒性作業下的通風 47

第五章 特別作業下通風之設計

- 鑄造作業…………… 77
- 高毒性物料作業…………… 88
- 物料處置作業…………… 98
- 金屬工作機作業…………… 102
- 開放表面槽作業…………… 126
- 噴漆 (塗裝) 作業…………… 138
- 木工工具機作業…………… 142
- 低風量高風速之抽風作業…… 155
- 雜項通風作業…………… 171

第六章 設計程序

- 初步步驟…………… 198
- 設計程序…………… 198

等效呎法之計算	199
空氣流動的配佈	202
A法(平衡法)	202
B法(鼓風閘法)	202
風速改變之修正	212
風管之收縮與擴大	213
不同風管材料之修正	216
非圓形風管之摩擦損失	216
溫度, 濕度, 及高度之修正	218
風扇靜壓	225
先氣室型抽風系統	227
速度壓力法之計算	231

第七章 補充及再循環空氣

補充空氣	255
環境控制	256
換氣	257
供風溫度	257
供風設備	259
加熱補充空氣成本	267
空氣之節約	270
減少空氣量	271
未調勻空氣供給	272
能量回收	273
熱交換器	273
自工業抽風系統的空氣之再循環	275
污染物之再循環	278

第八章 局部抽風系統之構造規範

概說	279
物料	279

構造	280
系統的詳細	281
試驗	282

第九章 通風系統之測試

空氣流量之測量	288
皮氏管	288
孔口及噴嘴	293
喉部吸氣法來估計流量	293
其他方法及儀器	296
空氣測量儀器之校準	305
設計一校準風洞	305
使用校準風洞	308
孔口錶之流量計算	311
壓力測量	311
靜壓	311
液體氣壓計	313
傾斜液體氣壓計	313
無液氣壓計	314
抽風系統之評估	315
新的裝置	315
現有的裝置	319
檢查程序	320
排氣煙囪上空氣流量的測量	322
測量煙囪流量或密度上的困難	322
儀器之選用	323
溫度和濕度的修正	324
修正測量空氣流量的公式	324

第十章 風扇

風扇之類型	335
風扇之選用	335

風扇選用之	336
風扇定律	339
非標準密度空氣風扇之選用	339
風扇之安裝	344
檢查與維護	347

第十一章 空氣清潔器具

選用集塵器設備	349
集塵器之型式	355
靜電集塵器	355
纖維過濾網集塵器	359
單位集塵器	370
濕性集塵器	372
乾性集塵器	377
沉降室	378
選用集塵器之補充說明	369
烟，霧，氣體和蒸氣之污染控制	385
集塵器設備之成本	386
放射性與有毒性空氣清潔器	387

第十二章 工業通風系統之現場測試

空氣系統之現場測試	392
測量空氣流量	393
圓風管	398
方風管	401
空氣流量之計算	401
測量空氣壓力	402
靜壓	402
風扇轉速	405
其他測試儀器	405
測試資料表格	413

參考書目

附 錄

各種限界值之資訊	436
----------	-----

第一章 通風的一般原理

空氣流動原理

兩點間空氣的流動是由於兩點間發生了壓力差，此壓力差施於空氣一力量，導致空氣自高壓區流向低壓區。空氣的流量 Q 和空氣的流速 V 間有如下式的關係：

$$Q = A V$$

式中： Q = 流量，每分鐘立方呎， cfm

A = 空氣流動的橫斷面積， ft^2

V = 流速，每分鐘呎， fpm

這種基本的關係說明了空氣在所有狀況下的流動情形。

空氣在一特定流速行進下會產生一定的壓力稱之為速度壓力（動壓力），在流速和速度壓力二者之間有其一定的關係，基本敘述的公式如下：

$$v = \sqrt{2gh}$$

式中： v = 流速，每秒呎， fps

g = 重力加速度，每秒每秒呎， ft/sec^2

h = 空氣頭，呎， ft

當 $g = 32.2\text{ft}/\text{sec}^2$ 及空氣密度為 $0.075\text{lb}/\text{ft}^3$ 時，公式將成為

$$V = 4005 \sqrt{VP}$$

式中： V = 流速， fpm

VP = 速度壓力，水柱吋， in.wg

要強調的一點是速度壓力產生於風吹向的同一方向。

當空氣被困留在一封閉容器內，不論是動或靜，在垂直於容器器壁上產生另一型式的壓力，此壓力稱之為靜壓力，靜壓力正常與氣流的速度無關。

當靜壓力低於大氣壓力時為負壓力，高於大氣壓力時為正壓力。而速度

2 工業通風設計基礎

壓力常為正壓力。

靜壓力和速度壓力之代數和稱為全壓力，它們的關係可寫成公式如下，在本書內均以該符號為準：

$$TP = SP + VP$$

上述這些壓力的意義可用實際的狀況說明之。例如：假定有一密封的長方形空間內充有 0.05psi 的空氣，此 0.05psi 壓力完全由於靜壓力而來。如果我們在其上鑽一小孔接上一 U 形管，則會顯示有 1.39 吋的水柱高度（1 psi = 27.7 吋水柱）。由於無空氣流動，速度壓力為零而全壓力將為 1.39"wg，此示於圖 1-1 中。

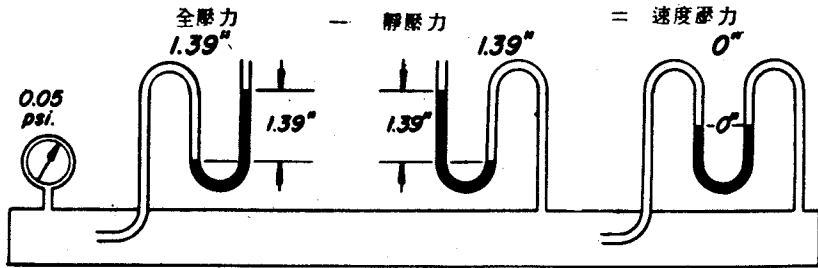
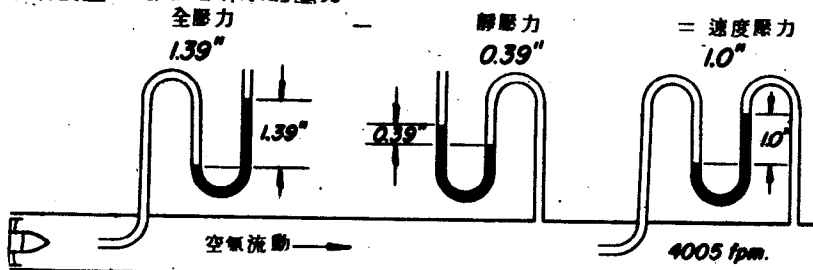


圖 1-1

如果長方形空間二端開啓，變成了一條風管，空氣可在其中流動，若風管內一旦有空氣流動，會產生兩種顯著不同的壓力，即是靜壓力和速度壓力（動壓力），二種壓力的代數和為全壓力，如一端加上風扇使空氣流過風管，結果發生如圖 1-2 所示的壓力。



此管內之壓力高於大氣壓力

圖 1-2