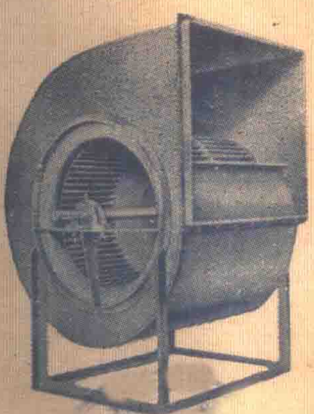
離心式通風機及鼓風機之設計

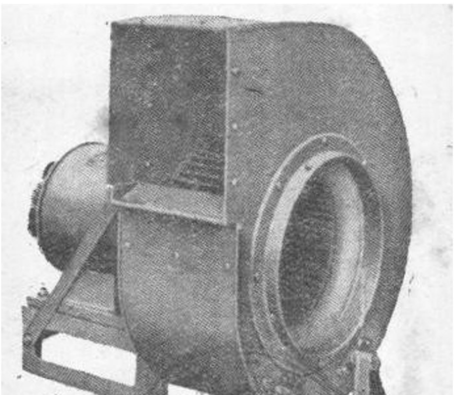
薛宗柏　編著



大東書局出版

離心式通風機及鼓風機之設計

薛宗柏 編著



大東書局出版

離心式通風機及鼓風機之設計內容提要

本書可作專科學校教材及機械工程技術人員之設計參考。第一章敍述氣體熱力學之基本部份，第二章敍述氣體在管內及各種接頭凡爾中之阻力損失，第三章詳述各種通風機之型類、構造及其設計，第四章詳述高壓通風機及鼓風機之構造及其設計。書末附錄中分別載入各種通風機之實例製造尺寸以供參考。

書號:5111

離心式通風機及鼓風機之設計

編著者　薛宗柏

出版者　大東書局
上海福州路310號

印刷者　導文印刷所
上海威海衛路357弄

25開 95印刷頁 130,000字 定價15,000元

一九五三年十一月初版

一九五四年三月再版(重一)

(3001—6000)

上海市書刊出版業營業許可證出043號

上海市書刊發行業營業許可證發061號

序　　言

通風機及鼓風機在工業上之應用，甚爲廣泛。例如鍊鐵爐、鎔鐵爐以及馬力較大之鍋爐等所需風量，均由通風機或鼓風機產生之。又如室內及工礦船舶等之通風採暖、調節室温裝置、乾燥木材以及化工廠中吸去有礙健康之氣體等，亦均應用吸氣式或壓氣式通風機。際茲祖國偉大五年建設計劃之初，對於通風機、鼓風機之作用原理及設計計算之知識，已日見需要；惟國內坊間討論有關通風機及鼓風機之書籍極少，尤其對於設計方面之資料，更乏專書討論。作者有鑒於此，爰將以往所搜集之有關資料編成此書，旨在供給參加工業建設的同志們參考。

本書討論範圍限於離心式通風機及鼓風機之原理、計算及設計，並約略述及螺旋槳式通風機之計算方法，至於通風管路等之設計等則並不討論。

本書所用單位，均爲公制，編寫順序及應用符號，大致與作者所編"泵浦"一書中之離心泵浦部份相似，可供互相參閱。

本書參考以下各書寫成：

1. Die Ventilatoren, von Dr. E. Wiesmann;
2. 送風機工學，後藤一雄著；
3. Hütte II;
4. Centrifugal Pumps & Blowers, By Church;
5. Die Kreiselpumpen für Flüssigkeits & Gase, von Dr. C. Pfleiderer;
6. Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide 1950;

7. Die Grundzüge der Technischen Wärmelehre, von Gustav Puschmann。

作者經驗學識淺陋，本書於工餘寫成，諒遺漏錯誤，在所不免，讀者諸君，如能惠予指正或提供意見，實不勝感盼之至。

薛宗柏識於滬上 一九五三年九月

目　錄

第一章　氣體熱力學概論

(1·1) 壓力、溫度、容積、比容、比重及熱量單位之定義

1. 壓力　單位面積上所受氣體或液體之作用力，簡稱**壓力**，在工業上，相當於每平方公分受力一公斤的壓力，即 $1\,kg/cm^2$ 稱爲**一工業大氣壓力**，以 at 表之。

因　　　　$1\,m^2=10{,}000\,cm^2$

故　　　　$1\,at=1\,kg/cm^2=10{,}000\,kg/m^2$

壓力之值，亦可以水柱或水銀柱高度爲單位，設 γ 爲比重以 kg/m^3 計，H 爲液柱高度以 m 計，則每一 m^2 液柱底面積上所受之壓力爲 $p=\gamma\cdot H$。

由物理學知水之比重在 4°C 時爲 $\gamma=1{,}000\,kg/m^3$

水銀之比重在 0°C 時爲 $\gamma=13{,}596\,kg/m^3$

如水柱高度 $H=10m$，　則 $\gamma\cdot H=1{,}000\cdot 10=10{,}000\,kg/m^2$

故一工業大氣壓力亦可以 10m 之水柱表之，即：

$$1\,at=10{,}000\,kg/m^2=\frac{10{,}000}{1{,}000}=10m\text{ 水柱 }(4°C)$$

又　　　$1\,kg/m^2=1\,mm$ 水柱 (4°C)

或

$$1\,at=10{,}000\,kg/m^2=\frac{10{,}000}{13{,}596}=0.7355m\text{ 水銀柱}(0°C)$$

$$=735.5\,mm\text{ 水銀柱}$$

在 0°C 海平面上，平均大氣壓力爲 760 mm 水銀柱，稱爲**一物理的大氣壓力**以 atm 表之。

$$1\,\text{atm}=760\,\text{mm 水銀柱}=10{,}000\cdot\frac{760}{735.5}$$
$$=10{,}332\,\text{kg/m}^2=1.0332\,\text{kg/cm}^2$$

通風機中之氣體壓力，一般較小，故壓力單位，每以mm水柱表之。

較大氣壓力爲高之壓力用壓力表測量，表上所示爲貯器內超出大氣壓力之壓力值，稱爲**超壓力**（或表壓力），又較大氣壓力爲低之壓力，用眞空表測量，表上所示爲大氣壓力與貯器內氣體壓力之差值，稱爲**眞空壓力**，氣體在貯缸內實際所具之壓力值 (kg/cm²) 稱爲**絕對壓力**，以 ata 表之。超壓力，眞空壓力與絕對壓力之關係如下：

超壓力加大氣壓力＝絕對壓力

大氣壓力減眞空壓力＝絕對壓力

2. 溫度 氣體之溫度，以攝氏溫度計之度數 t°C 表之，但在氣體熱力學之各種計算中，則以絕對溫度 T°K (Kelvin) 表之，其關係如下：

$$T(°\text{K})=t\,(°\text{C})+273 \qquad (1)$$

3. 體積、重量及比重 氣體之體積以 V (m³) 表之，氣體之重量以 G (kg) 表之，又每 1 kg 氣體所具之體積，稱爲氣體之比容，以 v 表之，每一 m³ 氣體所具之重量，稱爲氣體之比重，以 γ 表之，故：

$$v=\frac{V}{G}\,(\text{m}^3/\text{kg}) \qquad (2)$$

$$\gamma=\frac{G}{V}\,(\text{kg/m}^3) \qquad (3)$$

$$V=G\cdot v\,(\text{m}^3)$$

$$G=V\cdot\gamma\,(\text{kg})$$

$$v=\frac{1}{\gamma}(\text{m}^3/\text{kg}) \qquad (4)$$

$$\gamma=\frac{1}{v}(\text{kg/m}^3) \qquad (5)$$

氣體在 0°C 及 760mm 水銀柱壓力下之狀態，稱爲氣體之標準狀態。

4. 熱量單位 在物理學上，將一克水自攝氏表14.5°加熱至15.5°時所需之熱量，稱爲 1 cal（卡路里或簡稱卡）。在工業上之熱量單位爲上述卡之千倍，卽將1公斤水自攝氏表 14.5° 加熱至 15.5° 時所需之熱量，稱爲**一仟卡**(kcal)或大卡路里，亦可稱爲**一熱量單位**(W.E.)。

(1·2) 氣體之基本定律

1. 波衣耳氏定律 有一定重量之某種氣體，在等溫度下，其體積與其絕對壓力成反比，其比重，與絕對壓力成正比。

設 V_1 表氣體在絕對壓力 p_1 時之體積 (m^3)

V_2 表氣體在絕對壓力 p_2 時之體積 (m^3)

v_1 及 v_2 表每一公斤氣體在 p_1 及 p_2 時之體積卽比容 (m^3/kg)

G 表氣體之重量 (kg)

則波氏定律可用下式表之：

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{G\cdot v_1}{G\cdot v_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{p_2}{p_1}$$

或
$$p_1V_1=p_2V_2, \quad p_1v_1=p_2v_2=\text{常數} \tag{6}$$

又
$$v_1=\frac{1}{\gamma_1}, \quad v_2=\frac{1}{\gamma_2}$$

$$\therefore \quad \frac{p_2}{p_1}=\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \tag{7}$$

在氣體之狀態變化中，如溫度之變更極小而可略去者，則上述波衣耳氏定律甚爲適用。

例題 1 在攝氏表零度及 760 mm 水銀柱的壓力下，每一立方公尺空氣之重量爲 1.293 公斤，卽 $\gamma_1=1.293\ kg/m^3$，試求空氣在攝氏表零度及 720 mm 水銀柱高度的壓力下之比重。

〔解〕 按公式(7)　$\gamma_2=\gamma_1\frac{P_2}{P_1}=1.293\cdot\frac{720}{760}=1.227\text{kg/m}^3$

2. 格路薩克定律　有一定重量之某種氣體，在等壓力下，其體積與其絕對溫度成正比。

即
$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{G\cdot v_1}{G\cdot v_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{T_1}{T_2} \tag{8}$$

或
$$v_2=v_1\frac{273+t_2}{273+t_1} \tag{8a}$$

3. 波衣耳及格路薩克合律　一定重量之氣體，在溫度 t_1°C 及壓力 p_1 (kg/m²) 時之容積爲 V_1(m³)，如溫度不變，則在壓力 p_2(kg/m²) 時之容積，按波氏定律應爲：

$$V_2'=V_1\cdot\frac{p_1}{p_2}(\text{m}^3)$$

令上式中 V_2' 氣體之壓力 p_2 不變，而溫度則自 t_1°C 變爲 t_2°C，則其容積，按格路薩克氏定律應爲：

$$V_2=V_2'\cdot\frac{T_2}{T_1}(\text{m}^3)$$

將 V_2' 之值代入，則得：

$$V_2=V_1\cdot\frac{p_1}{p_2}\cdot\frac{T_2}{T_1}(\text{m}^3) \tag{9}$$

或
$$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2} \tag{9a}$$

例題 2　在 0°C 及 760 mm 水銀柱的壓力下，空氣之比重爲 1.293 kg/m³。問在 20°C 及 680 mm 水銀柱的壓力下其比重爲若干？

〔解〕 按第(9)式，如氣體之重量爲 1 kg，則：

$$v_2=v_1\cdot\frac{p_1T_2}{p_2T_1}$$

因　$\gamma_2=\frac{1}{v_2}$，$\gamma_1=\frac{1}{v_1}$，　$\gamma_2=\gamma_1\cdot\frac{p_2}{p_1}\cdot\frac{T_1}{T_2}$

∴　$\gamma_2=1.293\cdot\frac{680}{760}\cdot\frac{273}{293}=1.08\ \text{kg/m}^3$

4. 氣體之一般狀態方程式　每1公斤氣體按第(9)式爲:

$$\frac{p_1v_1}{T_1}=\frac{p_2v_2}{T_2}=\text{常數}$$

因上式中 p_1, v_1, T_1 及 p_2, v_2, T_2 均爲任意情況下之氣體狀態,故在一般氣體狀態方程式中,亦可以 p, v, T 表之,令 R 表上式中之常數,則:

$$R=\frac{p\cdot v}{T}\ (\text{mkg/kg}^\circ) \tag{10}$$

或

$$R=\frac{p}{\gamma\cdot T} \tag{10a}$$

按第(10)式每1 kg 氣體之一般狀態方程式爲:

$$p\cdot v=R\cdot T \tag{10b}$$

$$\text{又因 } v=\frac{V}{G},\ \text{故 } R=\frac{p\cdot V}{TG}(\text{mkg/kg}^\circ) \tag{11}$$

或 G (kg) 重氣體之一般狀態方程式爲:

$$p\cdot V=G\cdot R\cdot T \tag{11a}$$

以上各式中之 R 稱爲氣體常數,同一氣體在各種不同狀態時,其氣體常數恆爲一定值。各種不同氣體,各有其各別的氣體常數。如某氣體在某一狀態時之溫度,壓力及比容或比重爲已知,卽可按第(10)式求出其氣體常數。由第(10a)式知,氣體之比重越小,則 R 之值越大,反之則小。乾燥空氣之氣體常數爲 29.27,中等濕度空氣之氣體常數爲 29.4,由此可見,濕空氣較乾空氣爲輕也。

如將1 kg 氣體在等壓下加熱,氣體因受熱膨脹而作功 L,設氣體在開始狀態時之比容爲 v_1,加熱後之比容爲 v_2,則按氣體一般狀態方程式爲:

$$pv=RT$$

故

$$L=p(v_2-v_1)=R(T_2-T_1)$$

令上式中之溫度差 $T_2-T_1=1$,則上式中:

$$L=R \tag{12}$$

故氣體常數 R 亦可解釋爲每一公斤氣體在等壓力下加熱1°C時所作之功。

幾種重要氣體之氣體常數 R 如下:

乾燥空氣	$R=29.27$
氧氣	$R=26.5$
氮氣	$R=30.13$
氫氣	$R=420.9$

例題3 已知空氣在 0°C 及 760 mm 水銀柱高度時之比重爲 $\gamma=1.293$,試求空氣之氣體常數。

〔解〕 $R=\dfrac{pv}{T}=\dfrac{p}{\gamma\cdot T}=\dfrac{10,332}{1.293\times 273}=29.27$ mkg/kg°

5. 道爾頓氏定律 在混合氣體內,各組成氣體,均佔有整個體積,一若其他組成氣體不存在者然,又混合氣體所具壓力 p 爲各組成氣體所具壓力 p_1, p_2, p_3 之總和。

故

$$V=V_1=V_2=V_3=\cdots\cdots \tag{13}$$

$$p=p_1+p_2+p_3+\cdots\cdots \tag{14}$$

6. 阿服加特路氏定律 在等壓力及等溫度下,各種完全氣體之比重與其分子量成正比,亦卽在等溫度及等壓力下,在相等容積內,各種氣體之分子數爲相等。

設 $m_1, m_2, m_3\cdots\cdots$ 爲各種完全氣體之分子量以公斤計; v_1、v_2、$v_3\cdots\cdots$ 爲各相應氣體之比容,則:

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\gamma_2}{\gamma_1}=\frac{m_2}{m_1} \tag{15}$$

或

$$m_1v_1=m_2v_2=V_m \tag{15a}$$

上式中 V_m 爲各相應氣體在 m 公斤時之容積,稱爲氣體之分子量

容積，在等壓力及等溫度下，各種氣體之分子量容積，均爲相等。

例如在 0°C 及 760 mm 水銀柱的壓力下，氧氣之比重爲 $\gamma_{(O_2)}=1.429234\ \mathrm{kg/m^3}$，則其比容爲：

$$v=\frac{1}{1.429234}\ \mathrm{m^3/kg}$$

氧氣之分子量爲 32，故在 0°C 及 760 mm 水銀柱下 32 kg 氣體所具之容積爲：

$$\frac{32}{1.429234}=22.4\ \mathrm{m^3}$$

同理任何氣體在 0°C 及 760mm 水銀柱的壓力下，m 公斤氣體所具之容積均爲 22.4 m³，故：

$$\frac{m}{\gamma}=22.4$$

或
$$\gamma=\frac{m}{22.4} \tag{16}$$

由氣體之一般狀態方程式知：

$$pV=GRT$$

如上式中 $G=m$ 公斤，則在 0°C 即 $T=273°\mathrm{K}$，760 mm 水銀柱壓力下，$V=V_m=22.4$。

故
$$10333\cdot 22.4=mR\cdot 273$$

$$\therefore\quad mR=848$$

或
$$R=\frac{848}{m} \tag{17}$$

例題 4 已知氧氣之分子量 $m=32$ 問氧氣之氣體常數爲若干？

〔解〕
$$R_{(O)}=\frac{848}{32}=26.52$$

同理可求得其他各種氣體之氣體常數如下：

一氧化炭	$m=28$	$R=\frac{848}{28}=30.28$	$\gamma=\frac{28}{22.4}=1.25$
二氧化炭	$m=44$	$R=\frac{848}{44}=19.25$	$\gamma=\frac{44}{22.4}=1.97$
二氧化硫	$m=64$	$R=\frac{848}{64}=13.25$	$\gamma=\frac{64}{22.4}=2.86$
氫　氣	$m=2.016$	$R=\frac{848}{2.016}=420.9$	$\gamma=\frac{2.016}{22.4}=0.09$
氮　氣	$m=28.08$	$R=\frac{848}{28.08}=30.13$	$\gamma=\frac{28.08}{22.4}=1.26$
水蒸氣	$m=18.016$	$R=\frac{848}{18.016}=47.1$	$\gamma=\frac{18}{22.4}=0.805$

(1·3) 混合氣體之氣體常數

由前述道爾頓氏定律知，混合氣體之總壓力爲其各個組成氣體分壓力之和，又各氣體佔有整個體積，一若其他氣體並不存在者然。

設混合氣體中各個氣體之重量爲 $G_1, G_2, G_3\cdots\cdots$

則 $$p_1V=G_1R_1T,\quad p_2V=G_2R_2T;$$

$$p_3V=G_3R_3T\cdots\cdots\cdots\cdots$$

又 $$p=p_1+p_2+p_3\ \cdots\cdots\cdots$$

故 $$pV=T(G_1R_1+G_2R_2+G_3R_3\cdots\cdots)$$

設混合氣體之氣體常數爲 R_m，則：

$$pV=(G_1+G_2+G_3+\cdots\cdots)R_m\cdot T$$

由以上二式可得：$R_m=\dfrac{G_1R_1+G_2R_2+G_3R_3\cdots\cdots}{G_1+G_2+G_3\cdots\cdots}$

$$=\frac{G_1R_1+G_2R_2+G_3R_3}{G} \tag{18}$$

如令 $\dfrac{G_1}{G}=g_1$，$\dfrac{G_2}{G}=g_2$，$\dfrac{G_3}{G}=g_3\cdots\cdots$表各組成氣體在整個氣體內之重量百分比，則上式亦可寫爲

$$R_m=g_1R_1+g_2R_2+g_3R_3+\cdots\cdots \tag{19}$$

又各組成氣體之分壓力，可按狀態方程式得：

$$p_1=\frac{G_1R_1T}{V},\ \ p_2=\frac{G_2R_2T}{V}\cdots\cdots$$

總壓力為　$$p=\frac{GR_mT}{V}$$

故　$$\frac{p_1}{p}=\frac{G_1R_1}{GR_m}=g_1\frac{R_1}{R_m},\ \ \frac{p_2}{p}=\frac{G_2R_2}{GR_m}=g_2\frac{R_2}{R_m}$$

$$p_1=g_1\frac{R_1}{R_m}p,\quad p_2=g_2\frac{R_2}{R_m}p \tag{20}$$

例題 5　已知空氣之重量百分比為 23% 氧氣及 76.4% 氮氣，如空氣之總壓力為 760 mm 水銀柱，求（1）空氣之氣體常數（2）氧氣及氮氣之分壓力。

〔解〕　氧氣之氣體常數 $R_{(O)}=25.62$，氧氣之重量百分比 $g_{(O)}=0.236$

氮氣之氣體常數 $R_{(N)}=30.13$，氮氣之重量百分比 $g_{(N)}=0.764$

空氣之總重量　$G=1.000$

按第(19)式：$R_m=g_{(O)}R_{(O)}+g_{(N)}R_{(N)}=0.236\times25.62+0.764\times30.13=29.27$

又按第(20)式：$p_{(O)}=g_{(O)}\dfrac{R_{(O)}}{R_m}p=0.236\times\dfrac{25.62}{29.27}\cdot760=161.8$ mm 水銀柱

$p_{(N)}=g_{(N)}\dfrac{R_{(N)}}{R_m}\cdot p=0.764\times\dfrac{30.13}{29.27}\cdot760=598.2$ mm 水銀柱

(1·4) 熱和功的互換及氣體之比熱

1. 熱力學第一定律　在任何情況下，消耗一定的熱量，可以產生相當數量的功；反之，消耗一定的功，亦可以產生相當數量的熱量。功與熱是可以互相變換的，由實驗知每一熱量單位（1 kcal）=427mkg，其倒數$\frac{1}{427}=A$稱為熱功當量。

2. 比熱　加熱於 1 kg 重之某一物質，使其溫度在攝氏表上增高 1° 所需之熱量（即仟卡數），稱為該物質之比熱，以 C (kcal/kg°)表之。

各種物質之比熱值，各不相同。固體及液體之比熱值隨溫度而異，與壓力無關，惟各種溫度下之比熱相差極少，故一般可視作一不變的數

值，水之比熱 $C=1\ \mathrm{kcal/kg^\circ}$。

氣體之比熱值，不僅與溫度有關，且與壓力有着密切的關係，故一般將氣體之比熱分別爲等容比熱及等壓比熱。前者指一公斤氣體在一定容積內加熱時，其溫度在攝氏表上增加一度時所需之仟卡數，以 C_v 表之。此項熱量，係用於增加氣體之內能者，換言之，卽增強氣體內部分子之動能，因而使氣體之溫度增高也。等壓比熱係一公斤氣體在一定的壓力下加熱，其溫度增加 1°C 時所需之仟卡數，以 C_p 表之。此時所消耗之熱量，不僅用以增加內能，且因氣體膨脹而對外作功，故 C_p 之值必較 C_v 爲大。

由前第(12)式知，氣體在溫度增高 1° 時（卽 $T_2-T_1=1^\circ$）所作之功爲：

$$L=p(v_2-v_1)=R(T_2-T_1)=R$$

按等壓及等容比熱之定義，則：

$$C_p-C_v=AR \tag{21}$$

令

$$\frac{C_p}{C_v}=k \tag{22}$$

k 值在二原子氣體（如 H_2, O_2, N_2 等）爲 1.40，在乾燥而純潔之空氣亦爲 1.40。

由第(21)及(22)式，$kC_v-C_v=AR$，故：

$$C_v=\frac{AR}{k-1} \tag{23}$$

又

$$C_p=\frac{k}{k-1}AR \tag{24}$$

各種氣體在某一溫度下之比熱值，可以下式表之。

$$C_v=a+bt\ \ (\mathrm{kcal/kg^\circ}) \tag{25}$$

$$C_p=a'+bt\ \ (\mathrm{kcal/kg^\circ}) \tag{26}$$