

LIXIN TONGFENGJI

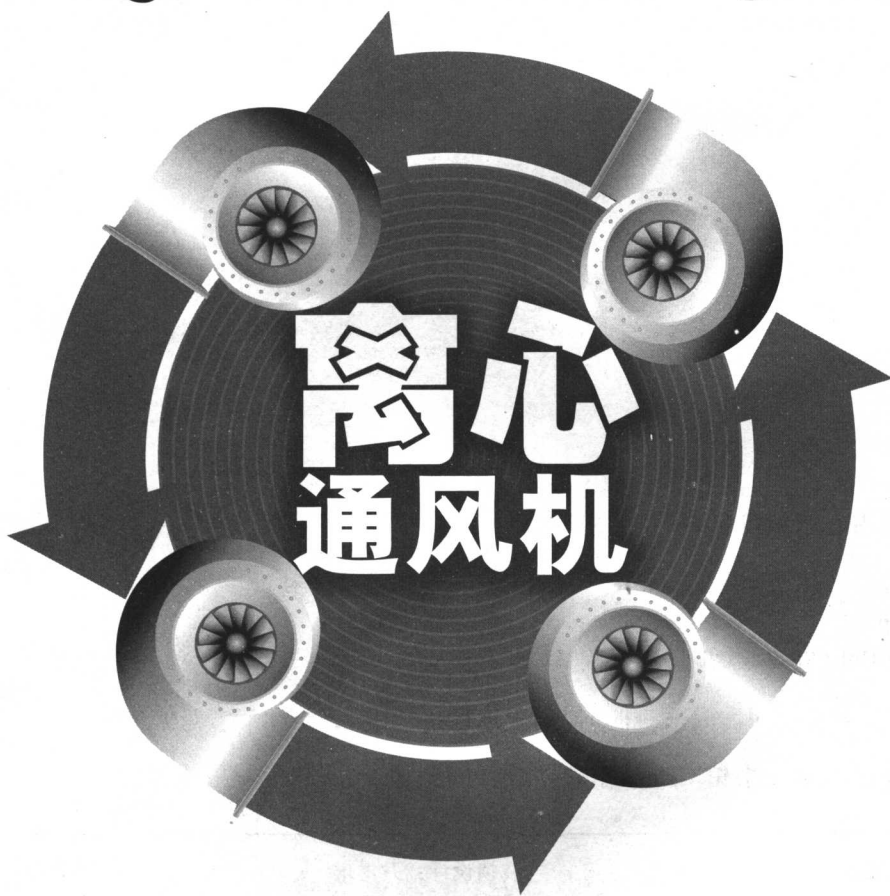


成心德 编著



化学工业出版社

LIXIN TONGFENGJI



成心德 编著



化学工业出版社

·北京·

本书详细论述了离心通风机的的工作原理，通风机的相似，通风机的噪声、气动设计及强度计算，通风机的运转特性以及离心鼓风机等内容。

本书内容实用且新颖，在书中融入了当前新的科研成果，在通风机的工作原理方面，不仅介绍了一元流动理论，还介绍了二元流动理论；在通风机的流动损失计算方面，除常用的损失系数法和管道计算法外，还介绍了计算边界层内摩擦阻力的方法。在离心通风机设计方面，充实了前弯叶片通风机的设计和叶片型线绘制等内容；书中还对要求低噪声的多叶通风机和屋顶通风机进行了重点分析。

本书可供从事离心通风机设计、应用的工程技术人员参考，也可作为高等院校相关专业的师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

离心通风机/成心德编著. —北京：化学工业出版社，  
2006.12  
ISBN 978-7-5025-9809-9

I. 离… II. 成… III. 离心式通风机 IV. TH432

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161378 号

---

责任编辑：张兴辉 李军亮                      装帧设计：尹琳琳  
责任校对：陈 静

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）  
印 刷：大厂聚鑫印刷有限责任公司  
装 订：三河市延风装订厂  
720mm×1000mm 1/16 印张 22 字数 486 千字      2007 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）      售后服务：010-64518899  
网 址：<http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：39.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

离心通风机是应用面广泛的一种通用机械，大至矿井通风、锅炉引送风和化工流程，小至工业炉鼓风以及空调、建筑物通风等无不采用通风机。精心设计制造和合理使用通风机，对节能和减小噪声污染具有重要意义。为此，本书专门论述离心通风机的工作原理，通风机的相似，通风机的噪声、气动设计和强度计算以及通风机的运转特性等内容，本书还编入“离心鼓风机”一章。

本书在通风机的工作原理方面，除一元流动理论外，还介绍了二元流动理论。在通风机的流动损失计算方面，除常用的损失系数法和管道算法以外，还介绍了计算边界层内摩擦阻力的方法。对于通风机的相似和噪声，除各自专列一章作详细的分析和计算外，还对相似原理和噪声的机理作一定的论述。在离心风机设计方面，充实了前弯叶片通风机的设计和叶片型线绘制等内容。对要求低噪声的多叶通风机和屋顶风机专列一章，重点分析了强前弯多叶通风机的速度模型和计算方法及在设计中降低通风机噪声的措施。在通风机的运转特性方面，充实了失速和喘振的机理及最常用的前导器调节方面的内容。

在本书编写中，作者注意阐述清楚基本概念。对重要计算公式，尽可能予以推导，力求使读者不但知其然，而且知其所以然。为了帮助消化理论和加强应用，列入了许多结合实际的例题。还酌情介绍了一些有关的科研成果。

本书可供从事离心风机设计、应用的工程技术人员参考，也可作为高等院校的教学参考书。由于本人水平有限，书中不妥之处，欢迎读者给予批评指正。

作者

2006年8月于东北大学

## 常用符号说明

|           |            |          |                  |
|-----------|------------|----------|------------------|
| $A$       | 蜗壳张开度, 等积孔 | $M$      | 质量流量, 力矩         |
| $\bar{A}$ | 等积孔系数      | $Ma$     | 马赫数              |
| $a$       | 声速, 叶道宽度   | $m$      | 质量, 多变指数         |
| $B$       | 蜗壳宽度       | $N$      | 功率               |
| $b$       | 叶道宽度       | $n$      | 转速, 沿法线方向长度      |
| $C$       | 常数, 系数     | $n_s$    | 比转速              |
| $c$       | 绝对速度, 系数   | $P$      | 通风机压力, 作用力       |
| $c_p$     | 比定压热容      | $p$      | 气体压力             |
| $c_v$     | 比定容热容      | $Q$      | 容积流量             |
| $D$       | 直径         | $q$      | 热量               |
| $D_s$     | 比直径        | $R$      | 半径, 气体常数, 管网阻力系数 |
| $d$       | 直径         | $Re$     | 雷诺数              |
| $E$       | 能量, 弹性模量   | $r$      | 半径               |
| $Eu$      | 欧拉数        | $S$      | 截面积, 流面          |
| $e$       | 自然对数, 调节深度 | $s$      | 焓, 沿流线方向长度       |
| $F$       | 面积, 力      | $T$      | 周期, 热力学温度        |
| $Fr$      | 弗劳德数       | $t$      | 温度, 叶栅栅距, 时间     |
| $f$       | 频率, 摩擦力    | $u$      | 周向速度, 比内能        |
| $G$       | 重量         | $V$      | 体积               |
| $g$       | 重力加速度      | $v$      | 比容               |
| $H$       | 压头, 流体柱高度  | $W$      | 声功率, 抗弯模量        |
| $h$       | 能量头        | $w$      | 相对速度             |
| $I$       | 声强, 惯性矩    | $Z$      | 叶片数              |
| $i$       | 冲角, 比焓     | $\alpha$ | 气流角              |
| $K$       | 常数         | $\beta$  | 叶片角              |
| $k$       | 等熵指数, 系数   | $\Gamma$ | 速度环量             |
| $L$       | 噪声级, 长度    | $\gamma$ | 角度               |
| $l$       | 翼弦长度, 压缩功  |          |                  |

|               |                               |      |              |
|---------------|-------------------------------|------|--------------|
| $\delta$      | 厚度, 角度                        | d    | 动压           |
| $\varepsilon$ | 压缩比, 应变, 偏心距                  | dif  | 扩压器、扩散器      |
| $\zeta$       | 损失系数                          | dif' | 叶片扩压器        |
| $\eta$        | 效率                            | e    | 有效           |
| $\theta$      | 扩散角, 边界层动量厚度                  | eg.  | 当量           |
| $\lambda$     | 功率系数, 波长                      | f    | 摩擦           |
| $\mu$         | 滑移系数, 截面气流充满系数,<br>动力黏度, 泊松比  | h    | 流动, 水力, 小时   |
| $\nu$         | 运动黏度, 轮毂比                     | i    | 内部, 序号       |
| $\xi$         | 损失系数                          | imp  | 叶轮           |
| $\Pi$         | 相似准则                          | in   | 入口           |
| $\rho$        | 气体密度                          | m    | 子午分量, 平均, 机械 |
| $\sigma$      | 叶栅密度, 应力                      | max  | 最大           |
| $\tau$        | 截面堵塞系数, 切应力                   | min  | 最小, 分        |
| $\phi$        | 流量系数, 相对湿度, 预旋系<br>数, 速度势, 角度 | n    | 额定值, 序号      |
| $\psi$        | 压力系数, 能量头系数                   | o    | 外部           |
| $\Omega$      | 反作用度                          | opt  | 最佳值          |
| $\omega$      | 角速度                           | out  | 出口           |
|               |                               | p    | 压力面, 声压      |
|               |                               | pol  | 多变           |
|               |                               | r    | 径向           |
|               |                               | s    | 吸力面, 冲击, 秒   |
|               |                               | st   | 静压           |
|               |                               | T    | 理论           |
|               |                               | t    | 切向           |
|               |                               | u    | 周向           |
|               |                               | v    | 容积, 蜗壳       |
|               |                               | w    | 壁面           |

### 下标

|                |            |
|----------------|------------|
| 0              | 叶轮喉部       |
| 1              | 叶道入口       |
| 2              | 叶道出口       |
| A              | 噪声级        |
| a              | 大气条件, 轴向分量 |
| ad             | 等熵         |
| b              | 叶片         |
| c              | 计算值        |
| c <sub>r</sub> | 临界值        |

### 上标

|   |              |
|---|--------------|
| ' | 叶道入口前, 叶道出口后 |
| — | 相对值, 平均值     |

# 目 录

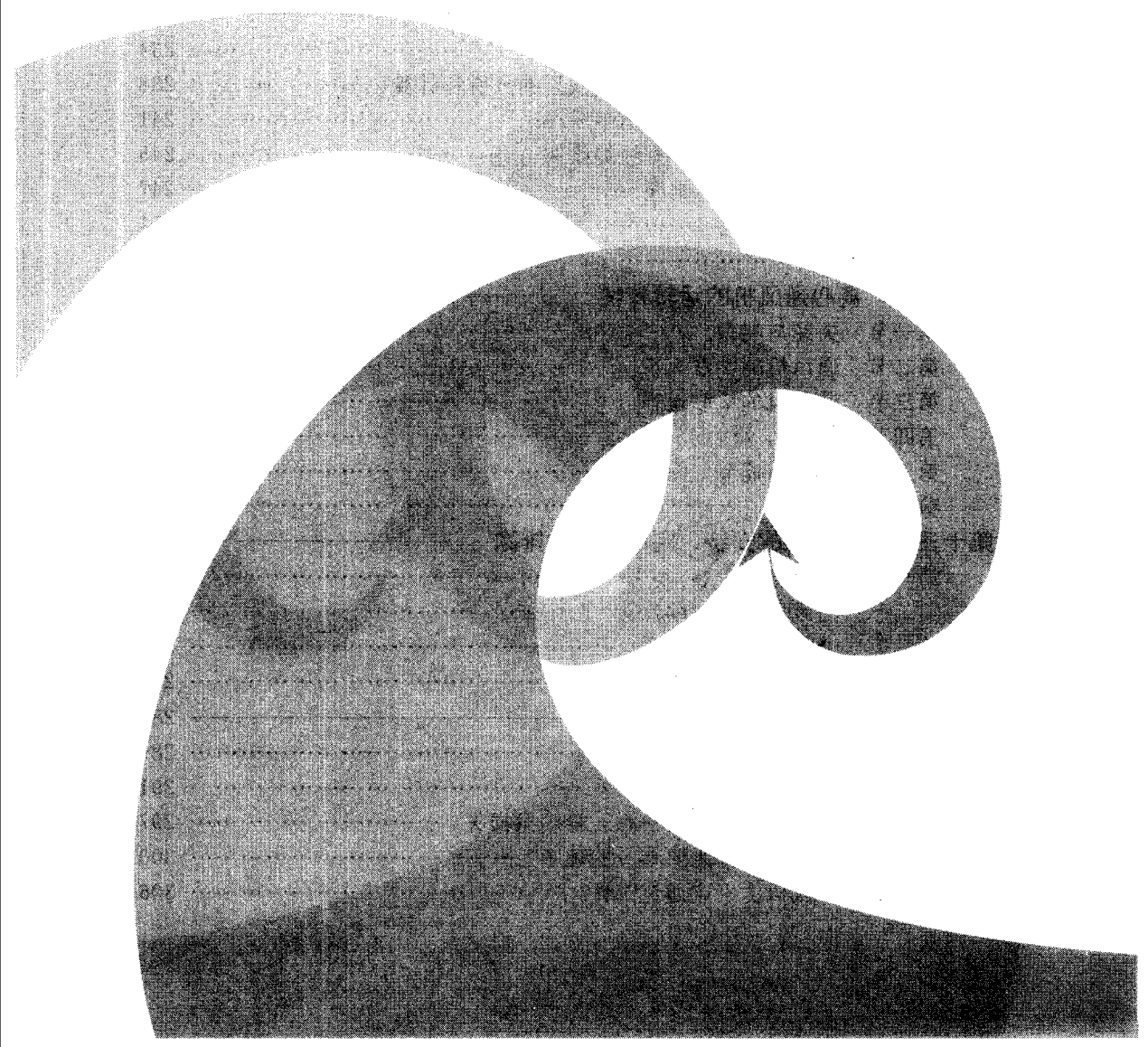
|                      |    |
|----------------------|----|
| ■第一章 绪论              | 1  |
| 第一节 流体机械的分类          | 1  |
| 第二节 离心通风机的结构及主要部件    | 2  |
| 第三节 通风机的性能参数         | 3  |
| ■第二章 离心通风机叶轮内的无黏流动   | 6  |
| 第一节 通风机的基本方程式        | 6  |
| 第二节 叶片出口角对离心通风机性能的影响 | 9  |
| 第三节 离心叶轮内二元无黏流动概述    | 11 |
| 第四节 回转面内的二元无黏流动      | 12 |
| 第五节 子午面内的二元无黏流动      | 17 |
| 第六节 有限叶片数的影响         | 19 |
| 参考文献                 | 26 |
| ■第三章 损失和效率           | 27 |
| 第一节 离心叶轮内的实际流动状态     | 27 |
| 第二节 通风机内的流动损失        | 31 |
| 第三节 容积损失             | 40 |
| 第四节 轮盘摩擦损失           | 41 |
| 第五节 通风机的效率           | 44 |
| 第六节 气体压缩性对通风机性能参数的影响 | 52 |
| 参考文献                 | 54 |
| ■第四章 性能曲线和工况         | 55 |
| 第一节 通风机的性能曲线         | 55 |
| 第二节 管网特性曲线           | 58 |
| 第三节 通风机的工况和合理工作区域    | 61 |
| 参考文献                 | 63 |
| ■第五章 通风机的相似          | 64 |
| 第一节 相似原理概述           | 64 |
| 第二节 通风机的相似准则与准则关系式   | 72 |
| 第三节 比转速              | 74 |
| 第四节 无因次性能曲线与空气动力学略图  | 79 |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 第五节        | 比例定律与通用性能曲线 .....       | 82         |
| 第六节        | 系列通风机的对数坐标性能曲线 .....    | 84         |
| 第七节        | 考虑气体压缩性的相似换算 .....      | 88         |
| 第八节        | 考虑雷诺数和尺寸影响的相似换算 .....   | 91         |
| 第九节        | 通风机的相似设计 .....          | 96         |
|            | 参考文献 .....              | 101        |
| <b>第六章</b> | <b>通风机的噪声</b> .....     | <b>103</b> |
| 第一节        | 声波及其传播 .....            | 103        |
| 第二节        | 噪声的物理量度 .....           | 105        |
| 第三节        | 噪声的主观评价 .....           | 109        |
| 第四节        | 噪声测量与声功率级计算 .....       | 113        |
| 第五节        | 通风机的噪声源 .....           | 117        |
| 第六节        | 通风机的噪声特性 .....          | 119        |
| 第七节        | 一般声场条件下测量偏差的修正 .....    | 121        |
| 第八节        | 通风机设计中降低噪声的思考 .....     | 123        |
|            | 参考文献 .....              | 126        |
| <b>第七章</b> | <b>离心通风机叶轮的设计</b> ..... | <b>127</b> |
| 第一节        | 对通风机设计的要求和设计步骤 .....    | 127        |
| 第二节        | 转速、叶片出口角与叶轮外径的确定 .....  | 128        |
| 第三节        | 叶片入口宽度的确定 .....         | 131        |
| 第四节        | 叶轮入口直径的确定 .....         | 133        |
| 第五节        | 叶片入口角的确定 .....          | 136        |
| 第六节        | 确定叶片数 .....             | 138        |
| 第七节        | 叶片出口宽度的确定与轮盖形状的绘制 ..... | 141        |
| 第八节        | 叶片的形状 .....             | 145        |
| 第九节        | 叶片强度计算 .....            | 152        |
| 第十节        | 轮盘和轮盖的强度计算 .....        | 156        |
| 第十一节       | 叶轮用铆钉的强度计算 .....        | 159        |
| 第十二节       | 叶轮材料的选用 .....           | 160        |
|            | 参考文献 .....              | 161        |
| <b>第八章</b> | <b>固定通流部件</b> .....     | <b>163</b> |
| 第一节        | 无叶扩压器 .....             | 163        |
| 第二节        | 蜗壳外周型线设计 .....          | 165        |
| 第三节        | 蜗壳宽度、蜗舌和蜗壳出口 .....      | 169        |
| 第四节        | 蜗壳内流动损失的计算 .....        | 172        |
| 第五节        | 进气装置 .....              | 174        |
| 第六节        | 扩散器 .....               | 180        |
|            | 参考文献 .....              | 183        |



|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>■第九章 主轴设计与转子平衡</b>       | 184 |
| 第一节 主轴承受的力                  | 184 |
| 第二节 主轴尺寸的确定                 | 185 |
| 第三节 轴的临界转速                  | 189 |
| 第四节 轴承的选用                   | 195 |
| 第五节 转子平衡的基本概念               | 198 |
| 第六节 静平衡                     | 202 |
| 第七节 动平衡                     | 208 |
| 参考文献                        | 215 |
| <b>■第十章 离心通风机设计举例</b>       | 216 |
| 第一节 设计举例一                   | 216 |
| 第二节 设计举例二                   | 228 |
| <b>■第十一章 多叶通风机与屋顶通风机</b>    | 234 |
| 第一节 多叶通风机概述                 | 234 |
| 第二节 强前弯多叶通风机速度模型的分析 and 计算  | 238 |
| 第三节 叶轮几何参数的确定               | 241 |
| 第四节 多叶通风机叶片型线的绘制            | 245 |
| 第五节 多叶通风机的蜗壳                | 247 |
| 第六节 屋顶通风机                   | 251 |
| 参考文献                        | 255 |
| <b>■第十二章 离心通风机的运转特性</b>     | 256 |
| 第一节 失速与喘振                   | 256 |
| 第二节 通风机的并联运行                | 261 |
| 第三节 通风机的串联运行                | 265 |
| 第四节 离心通风机调节综述               | 267 |
| 第五节 前导器调节                   | 271 |
| 参考文献                        | 277 |
| <b>■第十三章 通风机的安装、启动与故障排除</b> | 278 |
| 第一节 通风机的安装                  | 278 |
| 第二节 通风机启动时间计算               | 282 |
| 第三节 运行中应注意事项                | 285 |
| 第四节 故障及排除方法                 | 286 |
| <b>■第十四章 离心鼓风机</b>          | 289 |
| 第一节 能量方程                    | 289 |
| 第二节 压缩功和效率                  | 291 |
| 第三节 鼓风机的泄漏损失和轮盘摩擦损失         | 297 |
| 第四节 级数和叶轮主要参数的确定            | 300 |
| 第五节 鼓风机的固定通流部件              | 306 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第六节 鼓风机的模型化 .....       | 326 |
| 参考文献 .....              | 331 |
| ■附录一 .....              | 332 |
| ■附录二 .....              | 336 |
| ■附录三 .....              | 337 |
| ■附录四 .....              | 338 |
| ■附录五 .....              | 339 |
| ■附录六 通风机常用材料的力学性能 ..... | 340 |



③ 混流式——气体与主轴方向成一角度由旋转叶道流出的机械称为混流式，其示意图见图 1-1(c)。

## 第二节 离心通风机的结构及主要部件

离心通风机的结构简单，制造方便，叶轮和机壳一般都由钢板制成。通常采用焊接，有时用铆接。图 1-2 是常见的单吸离心通风机的结构示意图。图 1-3 是双吸离心通风机的外形示意图。

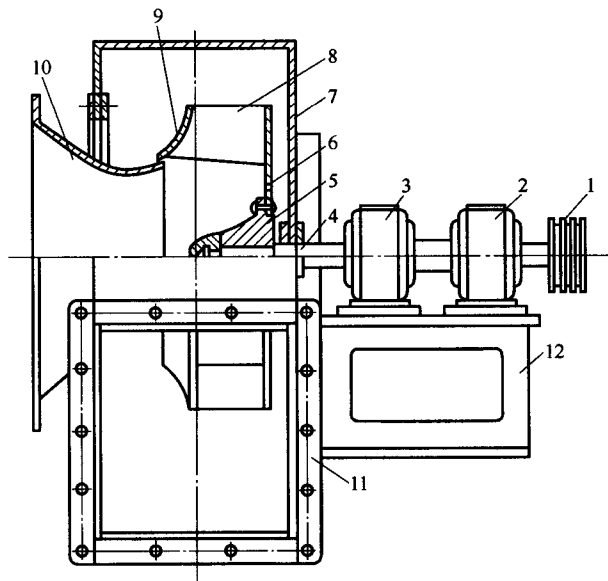


图 1-2 离心通风机结构示意图

1—V 带轮；2,3—轴承座；4—主轴；5—轴盘；6—轮盘；7—蜗壳；  
8—叶片；9—轮盖；10—前导器；11—出风口；12—底座

离心通风机的主要部件如下：

### (1) 叶轮

叶轮是通风机的“心脏”。它由原动机驱动。叶轮旋转时便将原动机的机械能传递给气体，使气体的压力升高。离心通风机的叶轮一般由图 1-2 中的轮盖 9、轮盘 6、叶片 8 和轴盘 5 组成，其结构有焊接和铆接两种形式。叶片有后弯、前弯和径向三种。

### (2) 蜗壳

蜗壳是由蜗板和左右两块侧板焊接或咬口而成，见图 1-2 中的蜗壳 7。蜗壳的作用是收集从叶轮出来的气体，并引导到蜗壳的出口，把气体输送到管道中或排到大气中去。有的通风机的蜗壳将气体的部分动能转变为压力。为了制作方便，蜗壳一般设计成等宽度截面。

### (3) 集流器与进气箱

集流器的作用是将气体导向叶轮，见图 1-2 中的前导器 10。集流器的形状要精心设计和制作，以保证叶轮入口的气流状态良好。

集气箱只使用在大型的或双吸通风机上，见图 1-3 中的进气箱。它的主要作用是使轴承装在通风机机壳的外面，便于安装和检修。进气箱的出口与集流器的入口相连接。

### (4) 前导器

有的通风机装有前导器。它是由可调节的叶片制成，其作用是用改变叶片角度的方法，获得不同的性能曲线，以扩大通风机的使用范围。轴向前导器装在集流器的通道内。径向前导器则装在进气箱内。

### (5) 扩散器

有的通风机的出口装有扩散器，其作用是将出口气流的部分动能转变为压力，以减少出口的动压损失。扩散器紧接蜗壳的出口，其截面一般为方形或圆形。

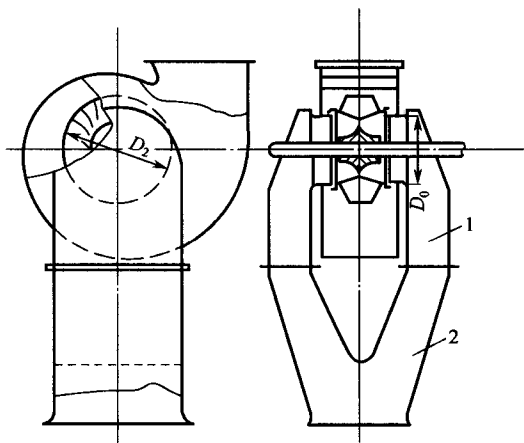


图 1-3 双吸离心通风机简图

1—进气箱；2—进气弯道

## 第三节 通风机的性能参数

流量、压力、功率、效率和噪声是表示通风机性能的参数。

### (1) 通风机的流量

通风机的流量一般是指单位时间内流过通风机入口截面的气体体积，又叫体积流量，单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ 、 $\text{m}^3/\text{min}$  或  $\text{m}^3/\text{h}$ ，依次用  $Q_s$ 、 $Q_m$  或  $Q_h$  表示。

通风机的体积流量，如无特殊说明，是指单位时间内流过入口截面的空气在标准状况下的体积，即在压力为 760mmHg、温度为  $20^\circ\text{C}$ ①、相对湿度为 50% 时的体积，其密度为  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。

当介质非空气或为非标准状态的空气时，需按实际情况计算其密度。例如当通风机用于抽引锅炉的烟气时，可根据烟气的成分、温度、压力按照混合气体的计算方法求出其密度。

因为通风机内气体的压力变化不大，一般可忽视其压缩性。因此通风机的体积流量亦即单位时间内流过通风机内任一截面的气体体积。

通风机的流量有时用质量流量表示。质量流量是指单位时间内流过通风机入

① 通风机标准状态的温度为  $20^\circ\text{C}$  与物理学的标准状态为摄氏度不同。

口截面的气体质量，单位为 kg/s、kg/min 或 kg/h，依次用  $M_s$ 、 $M_m$  和  $M_h$  表示。

## (2) 通风机的压力

根据不可压缩流体的伯努利方程，流过某截面的单位体积流体具有的总能量包括势能和动能两部分。对于气体，不考虑重力的影响，单位体积气体具有的势能可用气体的压力  $p_{st}$  表示，称为气体的静压。单位体积气体具有的动能可用流动速度产生的动能  $p_d$  表示，称为气体的动压。截面上气体的静压与动压之和称为气体的全压，亦即流过截面的单位体积气体具有的总能量。用  $p_t$  表示全压，可得关系式

$$p_t = p_{st} + p_d \quad (1-1)$$

式中， $p_t$ 、 $p_{st}$  和  $p_d$  的单位为 Pa。

通风机的全压是指通风机出口截面上气体的全压与通风机入口截面上气体的全压之差，即单位体积的气体流过通风机后所获得的能量。通常把通风机的全压称为通风机的压力。如用下标 1 和 2 表示通风机的入口截面和出口截面，用大写  $P$  表示通风机的全压或通风机的压力，则

$$P = (p_{st2} + p_{d2}) - (p_{st1} + p_{d1}) \quad (1-2)$$

在截面上气体流动速度较均匀的情况下，截面上气体的动压可用下式表示

$$p_d = \frac{\rho}{2} c^2 \quad (1-3)$$

式中  $c$ ——流过截面的气体平均速度，m/s；

$\rho$ ——气体的密度，kg/m<sup>3</sup>。

因此式(1-2)可写成

$$P = \left( p_{st2} + \frac{\rho}{2} c_2^2 \right) - \left( p_{st1} + \frac{\rho}{2} c_1^2 \right) \quad (1-4)$$

通风机的动压是指通风机出口截面上气体的动压，即通风机中未被利用的能量，用大写  $P_d$  表示，可写成

$$P_d = p_{d2} = \frac{\rho}{2} c_2^2 \quad (1-5)$$

通风机的全压与通风机的动压之差，称为通风机的静压，即被人们有效利用的能量，用大写  $P_{st}$  表示，可写成

$$P_{st} = P - P_d \quad (1-6)$$

## (3) 通风机的功率

通风机所输送的气体在单位时间内从通风机中获得的能量称为通风机的有效功率或全压有效功率，以  $N_e$  表示，单位为 kW。一般不考虑气体的压缩性， $N_e$  的计算公式如下

$$N_e = \frac{PQ_s}{1000} \quad (1-7)$$

式中  $P$ ——通风机的全压，Pa；

$Q_s$ ——通风机的流量，m<sup>3</sup>/s。

通风机的静压有效功率为

$$N_{\text{est}} = \frac{P_{\text{st}} Q_s}{1000} \quad (1-8)$$

式中  $P_{\text{st}}$ ——通风机的静压, Pa。

单位时间内通风机的叶轮对气体所做的功, 称为通风机的内部功率, 用  $N_i$  表示。内部功率等于通风机的有效功率加上通风机内部损失掉的所有功率。

单位时间内原动机传递给通风机轴的能量称为通风机的轴功率, 以  $N$  表示。通风机的轴功率减去通风机轴承内机械损失所耗去的功率等于通风机的内部功率。

#### (4) 通风机的效率

通风机的有效功率与轴功率之比称为通风机的效率或全压效率, 以  $\eta$  表示, 可写成

$$\eta = \frac{N_e}{N} = \frac{P Q_s}{1000 N} \quad (1-9)$$

通风机的静压有效功率与轴功率之比称为通风机的静压效率, 以  $\eta_{\text{st}}$  表示, 可写成

$$\eta_{\text{st}} = \frac{N_{\text{est}}}{N} = \frac{P_{\text{st}} Q_s}{1000 N} \quad (1-10)$$

通风机的有效功率与内部功率之比称为通风机的内部效率或全压内部效率, 以  $\eta_i$  表示, 可写成

$$\eta_i = \frac{P Q_s}{1000 N_i} \quad (1-11)$$

通风机的静压有效功率与内部功率之比称为通风机的静压内部效率, 以  $\eta_{\text{st}i}$  表示, 可写成

$$\eta_{\text{st}i} = \frac{P_{\text{st}} Q_s}{1000 N_i} \quad (1-12)$$

#### (5) 通风机的噪声

从生理学观点讲, 凡是使人烦躁的讨厌的声音称为噪声。噪声是污染环境的主要因素之一, 对人体健康有害。通风机的噪声主要来自气体动力噪声和机械噪声。用电动机作为原动机时还有电磁噪声。噪声是通风机的另一个性能参数。噪声的高低通常用 A 声级来评定, 以  $L_A$  表示, 单位为 dB(A)。

#### (6) 通风机的转速

转速本来不属于性能参数。由于通风机的流量、压力、功率、噪声等都随着通风机的转速改变而改变, 所以也把它列为通风机的性能参数之一。转速用  $n$  表示, 单位为 r/min。

## 第二章 离心通风机叶轮内的无黏流动

### 第一节 通风机的基本方程式

气体在通风机叶轮内的流动非常复杂。先分析简化了的一元无黏流动。

通过轴线的任一平面称为子午面。与叶轮轴线垂直的平面称为径向面，图 2-1(a) 和 (b) 为叶轮的子午面图和径向面图。

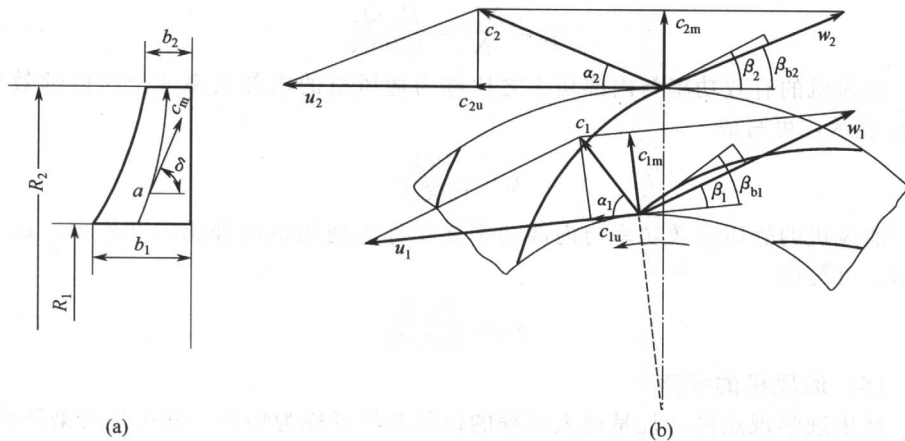


图 2-1 子午面和径向面速度图

在通风机叶轮中的气体质点，相对于叶轮有一个运动，而通风机的叶轮相对于地球有一旋转运动，因此气体质点的运动是一复合运动。如果用  $w$  表示相对速度，用  $u$  表示牵连速度，用  $c$  表示绝对速度，则叶片出入口处的速度关系式为

$$\begin{aligned}\vec{c}_2 &= \vec{w}_2 + \vec{u}_2, \\ \vec{c}_1 &= \vec{w}_1 + \vec{u}_1.\end{aligned}$$

根据此关系式可做出叶片出口和入口气体质点运动的速度三角形图，如图 2-1(b) 所示。

为了进一步分析速度，现在取叶道中任一气体质点  $a$  来讨论。图 2-2 中的  $OO'$  为轴线。通过  $a$  点，根据相应的速度关系可作出一六面体。平面  $abde$  为子

午面，平面  $abif$  为径向面，平面  $aegf$  为周向面。平面  $adhf$  为与子午面垂直并与流线相切的截面，因为由  $\vec{c}$ 、 $\vec{u}$  和  $\vec{w}$  构成的速度三角形在此平面内，所以把它叫做速度三角形平面。在此平面内的绝对速度  $c$  可分解为周向速度  $c_a$  和子午速度  $c_m$  两个分速度。子午面  $abde$  内的子午速度  $c_m$  又可分解为径向速度  $c_r$  和轴向速度  $c_a$  两个分速度，且

$$c_r = c_m \sin \delta$$

$$c_a = c_m \cos \delta$$

式中  $\delta$ ——子午面内子午速度与轴线方向的夹角。

对于径向叶轮， $\delta = 90^\circ$ ，所以

$$c_r = c_m$$

对于轴向叶轮， $\delta = 0^\circ$ ，所以

$$c_a = c_m$$

当  $c_m \neq c_r$  时，应按垂直于  $c_m$  的旋转截面积来计算流量。

需要指出的是图 2-1(b) 中的出入口速度三角形都是在各自的速度三角形平面内，只有当  $\delta_2 = 0$  且  $\delta_1 = 0$  时，它们才在径向面内。

这里所分析的一元无黏流动，作出下列基本假定。

① 叶轮的叶片数为无限多，叶片厚度为无限薄，则气流被叶片分成微小流束，其形状与叶片的形状完全一致，且叶片入口与出口没有突然收缩和突然扩大现象。因此可认为沿圆周各点的速度相等，即气流是轴向对称的。

② 气体无黏性。通风机工作时没有任何能量损失。原动机加到通风机轴上的能量，等于被输送气体获得的能量。

③ 气体作稳定流动，又叫做定常流动。

④ 不考虑气体的压缩性。

实际情况与上述条件有相当大的出入，但根据这些条件得出的结果仍具有十分重要的意义。对于那些与实际条件不符的地方，以后再逐项加以修正。

根据第②条假定，原动机加到通风机轴上的外力矩等于传给气体的力矩。如果此力矩为  $MN \cdot m$ ，叶轮的旋转角速度为  $\omega 1/s$ ，则传给气体的功率为

$$N = M\omega \quad (J/s)$$

根据第③条和第④条假定，如果通风机的体积流量为  $Q_s m^3/s$ ，通风机的全压为  $P_{T\infty} Pa$ ，则气体获得的功率为

$$N = P_{T\infty} Q_s \quad (J/s)$$

两者相等，得

$$P_{T\infty} = \frac{M\omega}{Q_s} \quad (2-1)$$

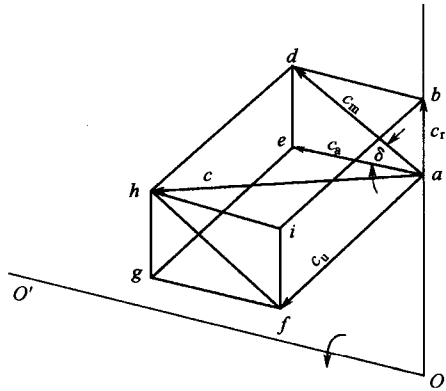


图 2-2 质点  $a$  的速度分析



根据动量定理, 叶道出口气体对轴心的动量矩与叶道入口气体对轴心的动量矩之差, 等于加给气体的外力矩。为了与叶片数有限时的出入口速度相区别, 这里将出入口周向速度用  $c_{2u\infty}$  和  $c_{1u\infty}$  表示。于是, 可得

$$M = \rho Q_s (c_{2u\infty} R_2 - c_{1u\infty} R_1) \quad (2-2)$$

式中  $\rho$ ——所输送气体的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$R_2$ ——叶片出口处半径,  $\text{m}$ ;

$R_1$ ——叶片入口处半径,  $\text{m}$ ;

$c_{2u\infty}$ ——叶片数无限多时出口处气流绝对速度的周向分速度,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$c_{1u\infty}$ ——叶片数无限多时入口处气流绝对速度的周向分速度,  $\text{m}/\text{s}$ 。

将式(2-2)代入式(2-1), 简化后得

$$P_{T\infty} = \rho (u_2 c_{2u\infty} - u_1 c_{1u\infty}) \quad (2-3)$$

此即欧拉方程。 $P_{T\infty}$ 为无限多叶片时通风机的理论压力或理论全压。

欧拉方程的另一形式为

$$H_{T\infty} = \frac{1}{g} (u_2 c_{2u\infty} - u_1 c_{1u\infty}) \quad (2-4)$$

式中  $H_{T\infty}$ ——无限多叶片时叶片式机械的理论压头,  $\text{m}$  流体柱。

考虑气体压缩性时, 欧拉方程可表示为

$$h_{T\infty} = u_2 c_{2u\infty} - u_1 c_{1u\infty} \quad (2-5)$$

式中的  $h_{T\infty}$  为无限多叶片时叶片式机械的理论能量头, 即单位质量气体的理论功, 单位为  $\text{J}/\text{kg}$ 。

欧拉方程对轴流式和混流式机械也是适用的, 因此称之为叶片式流体机械的基本方程。

当气体的绝对速度沿半径方向进入叶道时,  $c_{1u\infty} = 0$ , 则得

$$P_{T\infty} = \rho u_2 c_{2u\infty} \quad (2-6)$$

如通风机叶轮入口前有前导器, 则可用改变前导器叶片角度的方法, 以改变式(2-3)中  $c_{1u\infty}$  的大小, 从而改变通风机的压力。

式(2-3)可变换为另一形式。

由图 2-1(b), 根据余弦定理

$$w_{1\infty}^2 = c_{1\infty}^2 + u_1^2 - 2c_{1\infty} u_1 \cos \alpha_1 = c_{1\infty}^2 + u_1^2 - 2u_1 c_{1u\infty}$$

$$w_{2\infty}^2 = c_{2\infty}^2 + u_2^2 - 2c_{2\infty} u_2 \cos \alpha_2 = c_{2\infty}^2 + u_2^2 - 2u_2 c_{2u\infty}$$

代入式(2-3)后, 得

$$P_{T\infty} = \frac{\rho}{2} (c_{2\infty}^2 - c_{1\infty}^2) + \frac{\rho}{2} (u_2^2 - u_1^2) + \frac{\rho}{2} (w_{1\infty}^2 - w_{2\infty}^2) \quad (2-7)$$

式(2-7)右边的第一项表示气体经过叶轮后动压的增高, 第二项与第三项之和表示静压的增高, 公式左边的  $P_{T\infty}$  则表示全压的增高, 那种分别解释第二项是离心力使静压增高, 第三项是相对速度减小使静压升高的论点是不可信的。因为叶轮内根本没有流体质点以圆周速度  $u_2$  和  $u_1$  在运动, 所以不能把第二项解释为由离心力产生的静压<sup>[1]</sup>。根据同样的理由, 不能用离心力来解释离心风机的工作原理。确切地说, 离心风机叫做径流风机。当然, 也不能把第三项解