

高等学校试用教材



通 风 机

华中工学院李庆宜 主编



高等学校试用教材

通 风 机

华中工学院李庆宜 主编



机械工业出版社

通 风 机

华中工学院李庆宜 主编

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经营

开本 787×1092 1/16·印张 21 1/4·字数 521 千字

1981 年 9 月北京第一版 1981 年 9 月北京第一次印刷

印数 0,001—3,600·定价 2.20 元

统一书号: 15033·5067

前 言

本书系根据 1978 年在天津召开的“高等学校一机部对口专业座谈会”精神和同年召开的透平压缩机专业教材大纲审查会确定的“通风机大纲”而编写的统编试用教材。

全书共分十三章,系统地介绍了通风机的基本理论、结构型式、设计方法、强度计算、运行和调节、测试方法以及噪声等问题。为便于工程技术人员参考,在内容安排上也作了适当考虑。

通风机广泛而大量应用于国民经济各部门中,但目前有关通风机的书籍较少,为适应四个现代化的需要,本书在内容安排上既可作为通风机的教学用书,亦可供从事通风机设计、测试及实际运行等方面工作的工程技术人员参考。

全书采用国际单位制,并附有单位换算表和其他实用图表,以便查阅。

本书由华中工学院气体动力机械教研室副教授李庆宜主编。参加编写的有白蔚君同志,方先清同志,黄振华同志和吴克启同志。

本书由西安交通大学透平压缩机教研室冯卫国同志主审。

在审定过程中,西安交通大学透平压缩机教研室提出了宝贵意见,并承武汉通风机及消声器研究所提供资料,在此表示感谢。

由于编者水平有限,难免存在一些缺点和错误,欢迎读者批评指正。

本书主要符号表

A ——蜗壳张开度; 面积	Δp ——压力损失; 压差
a ——音速	Q ——容积流量
at ——工程大气压	\bar{Q} ——流量系数
B ——蜗壳宽度	R ——气体常数; 半径
b ——叶片宽度	Re ——雷诺数
c ——流体速度; 蜗壳出口长度; 系数	SPL ——声压级
c_x ——阻力系数	T ——绝对温度
c_y ——升力系数	t ——栅距; 摄氏温度
D ——直径	u ——圆周速度
d ——直径	V ——容积
E ——材料弹性模数	v ——比容
e ——偏心距	W ——重量; 声功率; 瓦
F ——力; 面积	w ——相对速度
f ——频率	x ——含湿量
G ——重量	y ——挠度
g ——重力加速度	z ——叶片数
H ——海拔高度	α ——绝对速度气流角; 攻角
h ——能量头; 液柱高度; 小时	β ——相对速度气流角
Δh ——能量头损失	β_A ——叶片安装角
I ——惯性矩; 声强	$\Delta\beta$ ——气流转折角
IL ——声强级	Γ ——环量
i ——冲角	γ ——重度; 系数
J ——转动惯量; 焦耳	δ ——直径系数; 气流落后角
K ——系数	ε ——平衡精度; 角度; 系数
M ——马赫数; 转矩; 质量	η ——效率; 动力粘度
N ——功率	θ ——角度
\bar{N} ——功率系数	λ ——系数
n ——转速	μ ——分子量; 系数
n_c ——临界转速	ν ——运动粘度; 轮毂比
n_s ——比转速	ξ ——损失系数; 角加速度
P ——全压; 气动力	ρ ——密度
\bar{P} ——压力系数	σ ——转速系数; 应力
P_d ——动压	σ_r ——径向应力
PS ——马力	σ_t ——切向应力
P_s ——静压	τ ——叶栅稠度
PWL ——声功率级	φ ——速度修正系数; 相对湿度; 角度
p ——流体压力; 声压; 力	χ ——角度
p_a ——表压力	Ω ——反应度
p_b ——大气压力	ω ——角速度
p_s ——水蒸汽饱和压力	

目 录

前言	§ 5-4 轴流通风机的几种方案	119
本书主要符号表	§ 5-5 叶型及叶栅的主要几何参数和气流参数	121
第一章 通风机的基础知识	§ 5-6 叶型和叶栅的空气动力特性	122
§ 1-1 概述	§ 5-7 叶栅的气动力基本方程式	127
§ 1-2 气体的基本状态参数	§ 5-8 沿叶高气流参数的变化	129
§ 1-3 气体的物理性质	§ 5-9 叶栅中的损失和级效率	132
§ 1-4 理想气体的状态方程	§ 5-10 轴流风机的特性分析	138
§ 1-5 连续性方程	第六章 轴流通风机的设计计算	141
§ 1-6 不可压缩流体的伯努利方程	§ 6-1 设计方法概述	141
§ 1-7 流动损失	§ 6-2 孤立叶型试验数据	143
§ 1-8 混合气体	§ 6-3 主要结构参数的选取	148
§ 1-9 湿空气	§ 6-4 孤立叶型设计方法之一	150
§ 1-10 压缩性的概念	§ 6-5 孤立叶型设计方法之二	154
第二章 离心通风机的基本理论	§ 6-6 平面叶栅吹风试验数据	160
§ 2-1 概述	§ 6-7 平面叶栅吹风试验的翼叶造型	162
§ 2-2 叶轮工作原理	§ 6-8 叶栅设计法之一	165
§ 2-3 不同叶片型式对压力的影响	§ 6-9 叶栅设计法之二	166
§ 2-4 气体在叶轮中的实际流动	§ 6-10 导叶的计算	168
§ 2-5 离心通风机的损失、功率和效率	§ 6-11 径向间隙和轴向间隙	171
§ 2-6 叶轮	§ 6-12 集流器、整流罩和扩散筒	172
§ 2-7 离心通风机的进气装置	第七章 通风机的其他型式	175
§ 2-8 蜗壳	§ 7-1 横流式通风机	175
第三章 相似理论在通风机中的应用	§ 7-2 混流式通风机	181
§ 3-1 通风机的相似原理	§ 7-3 对旋型轴流风机	184
§ 3-2 通风机性能的相似换算	§ 7-4 筒形离心风机	186
§ 3-3 比转数	第八章 通风机的强度计算	188
§ 3-4 通风机的其他系数	§ 8-1 轮盘强度计算	188
§ 3-5 相似设计	§ 8-2 叶片强度计算	194
§ 3-6 通风机的性能曲线	§ 8-3 转子受力及回转力矩的计算	203
第四章 离心通风机设计计算	§ 8-4 主轴强度计算	207
§ 4-1 离心通风机的理论设计	§ 8-5 转子的临界转速计算	209
§ 4-2 特殊用途通风机设计	第九章 转子的平衡	217
§ 4-3 多翼式离心通风机的设计	§ 9-1 平衡基本概念	217
第五章 轴流式通风机的基本理论	§ 9-2 平衡精度	220
§ 5-1 概述	§ 9-3 静平衡与动平衡选用条件	222
§ 5-2 基元级	§ 9-4 静平衡设备及要求	223
反应度和预旋	§ 9-5 动平衡机	226

第十章 通风机在管网中的工作及调节	230	§ 13-4 声压级的合成	293
§ 10-1 管网的性能曲线	230	§ 13-5 声功率与声功率级	295
§ 10-2 通风机与管网的联合工作	232	§ 13-6 倍频程	297
§ 10-3 通风机的联合运行	233	§ 13-7 噪声的评价	298
§ 10-4 通风机的调节	237	§ 13-8 通风机噪声产生的原因	301
§ 10-5 非稳定工况及喘振	243	§ 13-9 通风机声功率级和比声功率级	302
第十一章 通风机的选型、安装、运行和维护	247	§ 13-10 通风机噪声和性能的关系	304
§ 11-1 通风机的型号选择	247	§ 13-11 通风机的噪声频谱	306
§ 11-2 通风机的安装与运行	251	§ 13-12 通风机的噪声特性	307
§ 11-3 通风机主要零、部件的材料	252	§ 13-13 通风机噪声测量仪器	311
§ 11-4 通风机的常见故障	253	§ 13-14 通风机噪声的测定	314
第十二章 通风机性能试验	258	§ 13-15 通风机的噪声控制	318
§ 12-1 概述	258	附录	325
§ 12-2 压力的测量	260	附录 1-1 SI 的基本单位和辅助单位	325
§ 12-3 流量的测量	266	附录 1-2 力和功率单位换算	325
§ 12-4 温度的测量	269	附录 1-3 压力和应力单位换算	325
§ 12-5 转速的测量	272	附录 1-4 粘度单位换算	326
§ 12-6 功率的测量	273	附录 1-5 声学单位表	326
§ 12-7 试验装置及性能计算	275	附录 2 气体物性参数表	326
§ 12-8 考虑压缩性影响的修正计算	283	附录 3 水蒸汽的饱和压力	327
§ 12-9 性能换算及特性曲线的绘制	285	附录 4 相对湿度 φ 换算表	328
第十三章 通风机噪声	289	附录 5 国际标准大气表	330
§ 13-1 声波和噪声	289	附录 6 全国各主要城市空气温度及大气压力参考数据	330
§ 13-2 声强与声强级	290	附录 7 几种通风机产品例图	334
§ 13-3 声压与声压级	292	参考书	334

第一章 通风机的基础知识

通风机是用于输送气体的机械,从能量观点来看,它是把原动机的机械能转变为气体能量的一种机械。

为学习、了解通风机,本章先介绍一些最基本的概念。

§ 1-1 概 述

通风机种类繁多,各有其不同的结构特点和适用范围。本节着重叙述通风机的分类、应用及其主要性能参数。

一、分类

通风机的分类方法常用的有两种:

(一)按作用原理分类

从使气体压力升高的原理出发,按表 1-1 把所有的输送气体机械进行分类。

透平式风机的共同特点是通过旋转叶片把机械能转变成气体能量,因此又称叶片式机械。

透平是外来语,即 Turbine 的音读。

(二)按产生压力的高低分类

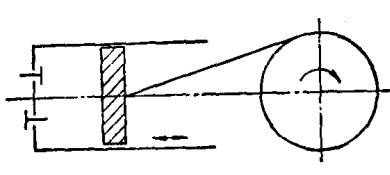
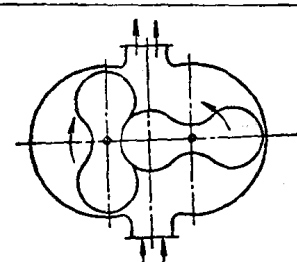
根据排气压力(以绝对压力计算)的高低,输送气体机械又可分为:

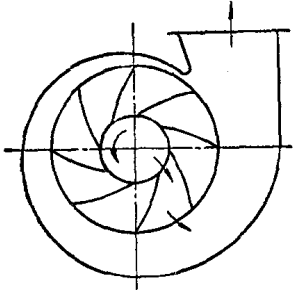
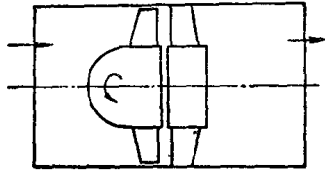
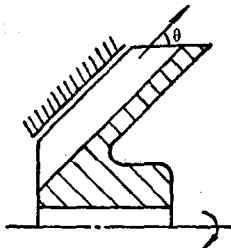
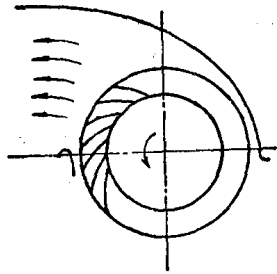
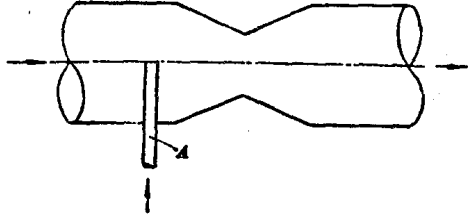
通风机: 排气压力低于 $11.27 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ (牛顿/米²);

鼓风机: 排气压力在 $(11.27 \sim 34.3) \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 范围内;

压缩机: 排气压力高于 $34.3 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以上。

表 1-1 输送气体的机械按原理分类

类别	说明	结构示意图	简单原理
容积式	往复式		用曲柄连杆机构使活塞在气缸内做往复运动,以减小气体所占的容积,从而使压力上升。
	回转式		这里介绍的是罗茨风机,靠两个转子做相反的旋转,把吸进的气体压送到排气管道。

类别	说明	结构示意图	简单原理
透	离心式		<p>气体进入旋转的叶片通道, 在离心力作用下气体被压缩并抛向叶轮外缘。</p>
	轴流式		<p>气体轴向进入旋转叶片通道, 由于叶片与气体相互作用, 气体被压缩并轴向排出。</p>
平	混流式		<p>气体以与主轴成某一角度的方向进入旋转叶道, 而获得能量。</p>
	横流式		<p>气流横贯旋转叶道, 而受到叶片作用升高压力。</p>
喷射式			<p>气体通过装设在管道中的喷嘴时, 其速度上升、压力相应下降, 从而使 Δ 管中的低速气体得到输送。</p>

由于容积式的排气压力较高,它们均属鼓风机、压缩机的范围。故通风机是指透平式,即离心、轴流、混流、横流等型式的排气压力在 $11.27 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以下的输送气体机械。因通风机排气压力低,常用表压(相对于大气)表示排气压力或称升压,即升压在 14700 N/m^2 以下者为通风机。

通风机中最常用的离心通风机及轴流通风机按其升压的大小又可分为:

高压离心通风机,升压为 $2940 \sim 14700 \text{ N/m}^2$;

中压离心通风机,升压为 $980 \sim 2940 \text{ N/m}^2$;

低压离心通风机,升压为 980 N/m^2 以下;

高压轴流通风机,升压 $490 \sim 4900 \text{ N/m}^2$;

低压轴流通风机,升压在 490 N/m^2 以下。

另外,通风机还可以按其用途分类,如锅炉引风机、矿井通风机、耐磨风机、高温风机等。

二、应用

通风机广泛地用于各个工业部门,一般讲,离心式通风机适用于小流量、高压力的场所,而轴流式通风机则常用于大流量、低压力的情况,如图 1-1 所示。目前,各种用途的通风机基本上都已系列化,下面举例说明各种用途通风机的特点。

(一) 锅炉用通风机

锅炉用通风机根据电站锅炉的规格可选用离心式或轴流式。又按它的作用分为锅炉通风机——向锅炉内输送空气;锅炉引风机——把锅炉内的烟气抽走。由于锅炉运行中所需流量的变化,锅炉通风机及引风机进口都装有导流器,以调节流量。锅炉引风机输送的烟气温度高(一般为 $70 \sim 250^\circ\text{C}$)又含有煤屑,所以采用水冷轴承,用耐磨材料制造叶轮和壳体。

(二) 通风换气用通风机

这类通风机一般是供工厂及各种建筑物通风换气或采暖通风用,要求压力不高,但噪声要低,可采用离心式或轴流式通风机。

(三) 工业炉(化铁炉、锻工炉、冶金炉等)用通风机

此种通风机要求压力较高,一般为 $2940 \sim 14700 \text{ N/m}^2$,即高压离心通风机的范围。因压力高、叶轮圆周速度大,故设计时叶轮要有足够的强度。

(四) 矿井用通风机

它有两种:一种是主通风机(又称主扇),用来向井下输送新鲜空气,其流量较大,采用轴流式较合适,也有用离心式的;另一种是局部通风机(又称局扇),用于矿井工作面的通风,其流量、压力均小,多采用防爆轴流式通风机。

(五) 特殊用途通风机

1. 高温通风机

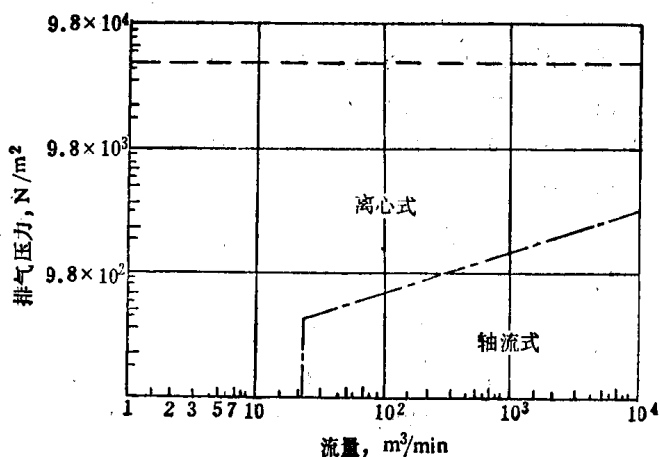


图 1-1 通风机的适用范围

为各种加热炉排送气体用,例如,退火炉的热空气循环就需用高温通风机来完成,它所输送的气体温度高达 $400\sim 800^{\circ}\text{C}$,故叶轮甚至壳体都要选用耐热材料。

2. 防爆通风机

用于输送易爆性气体。为了防止由于转子与壳体相碰产生火花而引起的爆炸事故,叶轮或蜗壳采用铝板材料。

3. 耐腐蚀通风机

它用于输送有腐蚀性的化工气体,为了防止气体对机器的腐蚀,常用耐腐蚀的塑料制造。

(六)煤粉通风机

输送热电站锅炉燃烧系统的煤粉,多采用离心式风机。煤粉通风机根据用途不同可分两种:一种是储仓式煤粉通风机,它是将储仓内的煤粉由其侧面吹到炉膛内,煤粉不直接通过风机,要求通风机的排气压力高;另一种是直吹式煤粉通风机,它直接把煤粉送给炉膛。由于煤粉对叶轮及壳体磨损严重,故应采用耐磨材料。

其他还有冷却塔用通风机、纺织厂空调用通风机、排尘通风机等等,这里不再一一叙述。

目前,通风机正向高效率、低噪声、大型化、调节自动化方向发展。

三、通风机的主要性能参数简述

流量、压力、转速、功率及效率是表示通风机性能的主要参数,称为通风机的性能参数。这里先简单地说明它们的概念,有些参数在后面的章节中还要详细叙述。

(一)流量

单位时间内流经通风机的气体容积或质量数,称为流量(又称风量)。

1. 容积流量

它是单位时间流经通风机的气体容积。常用单位为 m^3/s (米³/秒)、 m^3/min (米³/分)、 m^3/h (米³/时),分别用 Q_v 、 $Q_{v\min}$ 、 $Q_{v\max}$ 表示。由于气体在通风机内压力升高不大,容积变化很小,故一般设通风机的容积流量不变。无特殊说明,通风机的容积流量是指标准状态(见本章第二节)下的容积。

2. 质量流量

即单位时间内流经通风机的气体质量。单位为 kg/s (公斤/秒)、 kg/min (公斤/分)、 kg/h (公斤/时),分别用 M_s 、 $M_{s\min}$ 、 $M_{s\max}$ 表示。

(二)压力

通风机的压力是指升压(相对于大气的压力),即气体在通风机内压力的升高值,或者说是通风机进出口处气体压力之差。它有静压、动压、全压之分(见本章第二节)。性能参数是指通风机的全压(它等于通风机出口与进口全压之差),其单位有 N/m^2 、 mmH_2O 、 mmHg 等。

(三)转速

通风机转子旋转速度的快慢将直接影响通风机的流量、压力、效率。单位为每分钟转数即 rpm,常用 n 表示。

(四)轴功率

驱动通风机所需要的功率 N 称轴功率,或者说是单位时间内传递给通风机轴的能量,单位为 kW(千瓦)、PS(马力)、两者关系为:

$$1\text{kW} = 1.36\text{PS}$$

(五)效率

通风机在把原动机的机械能传给气体的过程中,要克服各种损失,其中只有一部分是有用功。常用效率来反映损失的大小,效率高,即损失小。从不同角度出发有不同的效率,(以后介绍)。效率常用 η 表示。

四、通风机的主要无因次参数

将通风机的主要性能参数:流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 、压力 $P(\text{N}/\text{m}^2)$ 、功率(kW)、转速 $n(\text{rpm})$ 与通风机的特性值:叶轮外径 $D(\text{m})$ 、叶轮外缘的圆周速度 $u(\text{m}/\text{s})$ 以及气体密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 之间的关系用无因次参数来表示,它们分别是:

(一)压力系数 \bar{P}

$$\bar{P} = \frac{P}{\rho u^2}$$

(二)流量系数 \bar{Q}

$$\bar{Q} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2 u}$$

(三)功率系数 \bar{N}

$$\bar{N} = \frac{1000N}{\frac{\pi}{4} D^2 \rho u^3}$$

(四)比转数 n_s

$$n_s = n \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{3}{4}}}$$

关于这些无因次参数的推导及应用将在第三章中详细介绍。

§ 1-2 气体的基本状态参数

表示气体状态特性的物理量称为状态参数。其中压力、温度、比容称为气体的基本状态参数。

一、压力

气体的压力是指气体垂直作用于容器单位面积上的力。根据分子运动学说,气体压力是由于大量分子撞击容器内壁的结果。

(一)压力的单位可用下式确定:

$$p = \frac{F}{A}$$

式中 F ——垂直作用于容器壁的力, N(牛顿);

A —— F 力作用的面积, m^2 。

压力的单位是 N/m^2 , 称为帕斯卡用符号 Pa 表示即

$$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$$

它的分数为毫帕 mPa、微帕 μPa , 它们之间的关系为:

$$1\text{Pa} = 10^3\text{mPa} = 10^6\mu\text{Pa}$$

目前与上述国际单位 $\text{N}/\text{m}^2(\text{Pa})$ 暂时并用的单位还有: 物理大气压 atm (又称标准大气

压),毫米汞柱 mmHg 等,我国还常用毫米水柱 mmH₂O (这是目前通风机中最常见的)、工程大气压 at 等单位。它们与国际单位 N/m² 之间的关系见表 1-2。本书中的计算一律用国际单位制(简写 SI)。在附录 1 中列出与通风机计算有关的国际单位制(SI)及其换算。

表 1-2 压力单位换算

N/m ²	atm	mmHg	mmH ₂ O	at
1	0.99 × 10 ⁻⁵	0.0075	0.102	1.02 × 10 ⁻⁵
101325	1	760	10332	1.033
133.32	0.00132	1	13.6	0.00136
9.807	0.9678 × 10 ⁻⁴	0.0736	1	0.0001
98067	0.9678	735.6	10 ⁴	1

(二)绝对压力、表压力、真空度

气体的压力可用各种仪表来测量。在通风机中,由于气体压力较低,常用“U”形管测量压力,见图 1-2。它是在“U”形的玻璃管内充满液体(如水或汞),再用细软管与欲测压力容器相联,另一端则与大气相通。

设“U”形管内的液体密度为 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$, $h(\text{m})$ 是“U”形管两侧的液体高度差,大气压力为 $p_b(\text{N}/\text{m}^2)$,则容器内气体的压力 p 为:

$$p = p_b + \rho gh \quad \text{N}/\text{m}^2 \quad (1-1)$$

$$p - p_b = \rho gh = p_a \quad \text{N}/\text{m}^2 \quad (1-1, a)$$

这里, p 称为绝对压力, ρgh 显然是气体压力与大气压力之差,即气体相对于大气的压力。故 p_a 称为表压力,它们之间的关系可表示为:

$$p = p_b + p_a \quad (1-2)$$

若欲测气体的绝对压力低于大气压力,如图 1-3 所示,则

$$p = p_b - \rho gh \quad (1-3)$$

这里 ρgh 称为真空度。

以上压力之间的关系式中,各项要采用相同的单位,如压力用 N/m²,密度单位为 kg/m³,液柱高 h 为 m,重力加速度 g 用 m/s²。

例题 1-1 某气体表压为 1000 mmH₂O,大气压力是 760 mmHg,问绝对压力是多少 N/m²?

解: 由表 1-2 查得:

$$1000 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.807 \times 1000 = 9807 \quad \text{N}/\text{m}^2$$

$$760 \text{ mmHg} = 133.32 \times 760 = 101325 \quad \text{N}/\text{m}^2$$

由(1-2)式得:

$$p = p_b + p_a = 101325 + 9807 = 111132 \quad \text{N}/\text{m}^2$$

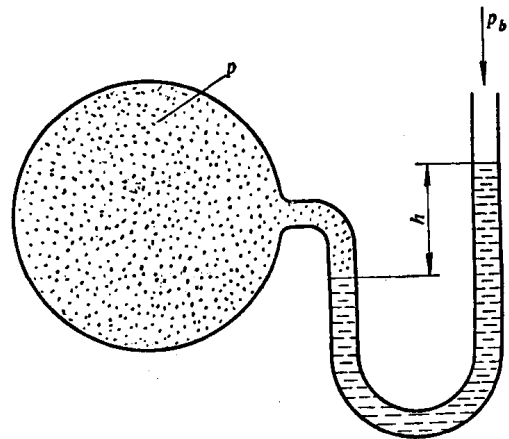


图 1-2 “U”形管测压力

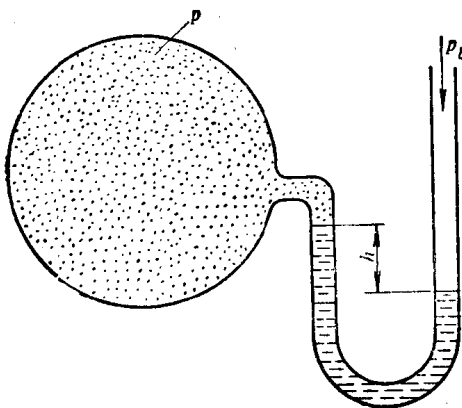


图 1-3 真空度的测量

(三) 静压、动压及全压

气体给予与气流方向平行的物体表面的压力称为静压，用垂直于此表面的孔测量，如图 1-4 所示，图中的 ρgh 是气体的静压 P_{st} (用表压表示)。设气体流动的速度为 c (m/s)，则动压 P_d 为：

$$P_d = \rho \frac{c^2}{2} \quad (1-4)$$

式中 ρ ——气流的密度， kg/m^3 。

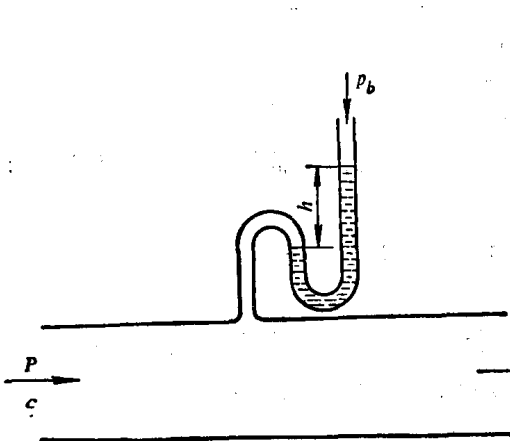


图 1-4 静压测量的示意图

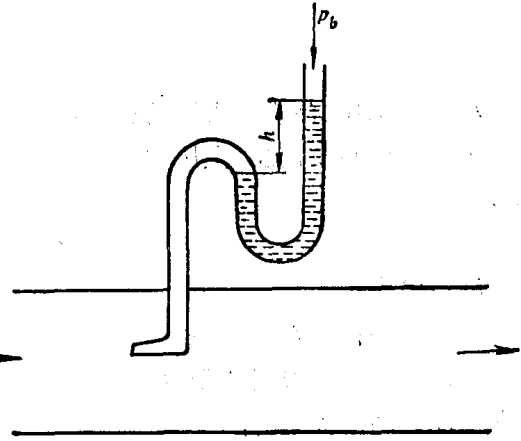


图 1-5 全压的测量示意图

气体在管道某一截面上的速度分布是不均匀的，常采用截面上的平均速度来代替。在同一截面上气体的静压与动压之代数和，称为气体的全压 P ：

$$P = P_{st} + P_d \quad (1-5)$$

注意式中各项的单位要相同、全压的测量如图 1-5 所示。

通风机的全压是指通风机进、出截面上的全压之差：

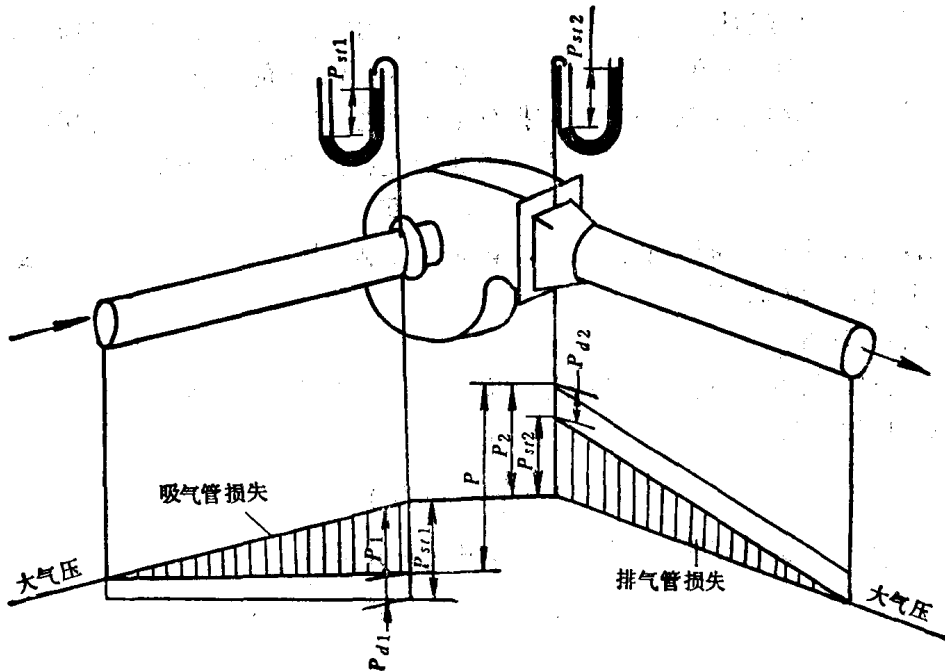


图 1-6 通风机的全压、静压及动压的关系

$$\begin{aligned}
P - P_2 - P_1 &= (P_{st2} + P_{d2}) - (P_{st1} + P_{d1}) \\
&= \left(P_{st2} + \rho \frac{c_2^2}{2} \right) - \left(P_{st1} + \rho \frac{c_1^2}{2} \right) \\
P &= P_{st2} - P_{st1} + \rho \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}, \text{ N/m}^2
\end{aligned} \tag{1-6}$$

通风机的静压是指通风机的全压与通风机出口动压之差,即

$$\begin{aligned}
P_{st} &= P - P_{d2} = P_{st2} - P_{st1} + \rho \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} - \rho \frac{c_2^2}{2} \\
P_{st} &= P_{st2} - P_{st1} - \rho \frac{c_1^2}{2}, \text{ N/m}^2
\end{aligned} \tag{1-7}$$

通风机全压、静压及动压的关系可用图 1-6 表示。

从做功的角度出发,全压代表着通风机叶轮对 1 m^3 容积气体所做的有效功(用焦耳 J 表示),即

$$P = \text{N/m}^2 = \text{N} \cdot \text{m/m}^3 = \text{J/m}^3$$

二、温度

温度是物体冷热程度的标志,当两物体接触时,若有热量从一物体传给另一物体,即表明它们的温度不同。根据分子运动的理论,温度是大量分子平均移动之动能的结果,温度与分子运动动能之间的关系为:

$$\frac{m}{2} c^2 = BT \tag{1-8}$$

式中 c ——分子平移运动的均方根速度;

B ——比例常数;

T ——绝对温度;

m ——分子的质量。

当 T 为零时,显然速度 c 就等于零,故绝对零度就是分子停止运动的温度。

测量物体温度高低的标尺称温标,工程上常采用国际百度温标及绝对温标。国际百度温标规定在标准大气压下(即 760 mm Hg),冰的熔点为 0°C ,水的沸点为 100°C ,这又称为摄氏温标。绝对温标又称热力学温度单位,它把分子运动速度为零时的温度定为 0 K ,把纯水的三相点温度规定为 273.16 K ,它与国际百度温标的分度相同,两种温标的关系为:

$$t = T - 273.15^* \tag{1-9}$$

气体的热力计算一律采用绝对温标 K ,国际单位制也规定用绝对温标。在式(1-9)中为计算方便、工程上常取 273 K 。

三、比容及密度

单位质量物体所占有的容积称为比容,以 v 表示。如 M 质量(单位用 kg)的气体,占有 V (m^3)的容积,则比容为:

$$v = \frac{V}{M}, \text{ m}^3/\text{kg}$$

单位容积的物体所具有的质量称为密度,用 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{M}{V}, \text{ kg/m}^3$$

* 摄氏温标的 0°C 相对于开尔文温度上的 273.15 K ,即水的三相点 273.16 比摄氏温度的 0°C 高 0.01°C 。

显然,比容 v 与密度 ρ 互成倒数,即

$$v = \frac{1}{\rho} \quad \text{或} \quad \rho = \frac{1}{v}$$

它们之中只有一个独立参数,选定其中的一个,则另一个可根据上式确定。

有时计算也用重度 γ , 即单位容积所具有的重量:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad \text{N/m}^3$$

从物理学得知,物体的重量 G 与质量 m 的关系为:

$$G = mg$$

故有

$$\rho = \frac{G}{g} / V = \frac{G}{V} \cdot \frac{1}{g} = \frac{\gamma}{g}$$

或

$$\gamma = \rho g \quad (1-10)$$

这里需提出注意的是,国际单位制中的密度 ρ (kg/m^3)、重度 γ (N/m^3) 与原有的工程上常用的米·公斤力·秒(简写 MKfS)单位制中 ρ ($\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$)、 γ (kgf/m^3) 有区别。

§ 1-3 气体的物理性质

叙述气体的物理性质时,着重介绍通风机中最常用的空气。

一、标准大气状态

温度为 273K (0°C)、绝对压力为 101325N/m^2 (760 mm Hg), 重力加速度 $g=9.807\text{m/s}^2$ 时干燥空气的状态称为标准大气状态, 或者叫大气的标准状态。在标准大气状态下空气的密度为 1.2931kg/m^3 。

干燥空气的标准成分如表 1-3 所示。

表 1-3 干空气的标准成分

名称	氧 (O_2)	氮 (N_2)	氩 (A)	二氧化碳 (CO_2)
容积成分 %	20.95	78.09	0.93	0.03
重量成分	23.14	75.53	1.28	0.05

众所周知,随着海拔高度的增加,大气的压力、温度、密度都在变化,设海平面的大气压力为 101325N/m^2 (760 mm Hg), 温度为 288 K (15°C), 密度为 1.2258kg/m^3 。海拔高度为 H 时的大气状态可分两种情况:

$H \leq 11\text{ km}$ (千米) 时,

$$\left. \begin{aligned} p &= 101325(1 - 0.02257H)^{5.256}, \quad \text{N/m}^2 \\ T &= 288 - 6.5H, \quad \text{K} \\ \rho &= 1.2258(1 - 0.02257H)^{4.256}, \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

$H \geq 11\text{ km}$ 时,

$$\left. \begin{aligned} p_0 &= 101325 \times 1.266e^{-0.1578H}, \text{ N/m}^2 \\ T &= 216.5, \text{ K} \\ \rho &= 1.2258 \times 1.684e^{-0.1578H}, \text{ kg/m}^3 \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

式中 e ——自然对数的底数; H 用 km 代入计算。

二、通风机的标准进口状态

我国规定的通风机进口标准状态是指: 工质为空气, 压力为 101325 N/m^2 (760 mm Hg), 温度为 293 K (20°C), 相对湿度 φ (见本章第九节) 为 50% 的湿空气状态, 其密度为 1.2 kg/m^3 。

各个国家规定的通风机标准进口状态不完全相同, 如日本规定: 101325 N/m^2 、 293 K 、 $\varphi=75\%$ 、 $\rho=1.2 \text{ kg/m}^3$ 的空气状态为通风机的标准进口状态。

三、空气的其他参数

空气的其他参数是指密度、粘度、比热等。

(一) 密度

空气在标准状态下的密度为 1.2931 kg/m^3 , 随着压力、温度、相对湿度的变化, 空气的密度亦要改变。

1. 干燥空气的密度

在任意温度 T 、压力 p 时干空气的密度可用下式表示:

$$\rho = 1.2931 \times \frac{273}{T} \times \frac{p}{101325}, \text{ kg/m}^3 \quad (1-13)$$

2. 湿空气的密度

这可用 $(p - 0.378\varphi p_s)$ 代替式 1-13 中的 p 即得:

$$\rho = 1.2931 \times \frac{273}{T} \times \frac{p - 0.378\varphi p_s}{101325} \quad (1-14)$$

式中 φ ——相对湿度;

p_s —— $T\text{K}$ 时饱和水蒸汽的压力 (N/m^2), p_s 概念见本章第九节。

(二) 粘度

固体与固体相对滑动时, 会产生与运动方向相反的摩擦力, 流体(气体或液体)也有类似的性质, 即流体的质点间做相对运动时, 也会产生阻力(即内摩擦力), 这是因为流体具有粘性。粘性产生的原因是由于分子之间有引力和动量交换。流体的粘性愈大, 流体流动时需要克服的内摩擦力愈大。内摩擦力的大小决定于流体因粘性而引起的速度变化梯度 $\frac{dc}{dy}$ (参看图 1-11)、摩擦面的大小和流体的物理性质。实验证明, 两层流体间的内摩擦力 F (单位 N) 可用下式表示:

$$F = \eta A \frac{dc}{dy}$$

式中 A ——摩擦层的表面面积, m^2 ;

dc ——两层间的速度变化, m/s ;

dy ——两层间的距离, m ;

η ——反映粘性大小的系数, η 的单位为:

$$\eta = \frac{F}{A} \frac{dy}{dc} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m/s}} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$