

商景泰 主编

# 通风机手册



# 通 风 机 手 册

商景泰 主编



机 械 工 业 出 版 社

(京)新登字054号

### 内 容 简 介

通风机是广泛应用于国民经济各个行业的一种通用机械。本手册是一本全面地介绍通风机原理、设计、结构强度、制造工艺、运行调节、选型应用、性能试验、噪声及其控制以及维护使用方面的工具书。本手册共有19章。1~4章介绍通风机的概念、主要性能参数、离心式和轴流式通风机的气动力设计与计算。5~11章介绍通风机的标准化、系列化、通用化原则；离心式和轴流式通风机的典型结构；通风机的主要零部件刚度与强度计算；通风机的配套件与选用件；通风机的制造工艺要求；通风机的转子平衡与振动测量；通风机常用金属材料和非金属材料的力学性能与化学成分。12~19章介绍通风机在管网中的工作；通风机的调节及其装置；通风机的选用原则及部分常用通风机的技术参数；通风机的试验及计算实例；通风机的噪声估算与测试方法、消声器的设计及选用、降噪措施；通风机的安装、使用、维护、常见故障及其消除方法；通风机的实用设计计算、诱导排风系统的计算、通风机联接管道的设计。

本手册适用于全国风机厂，有关设计院、研究所和广大通风机用户使用，也可供有关大专院校作为教学参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

通风机手册/商景泰主编. —北京: 机械工业出版社, 1994

ISBN 7-111-03997-1

I. 通…

II. 商…

III. 通风机-基本知识-手册

IV. TH43-62

出 版 人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑: 蒋有彩 沈红 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚 毅 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1994年8月第1版·1994年8月第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·56印张·2插页·1382千字

0 001—5 000册

定价: 49.00元

## 《通风机手册》编者名单

**主 编**      商景泰  
**副主编**      乐志成      续魁昌

### 参加编写人员

商景泰	续魁昌	上官心乐
汪景昌	孙 研	乐志成
黄振华	步天浚	昌泽舟
张 轸	刘树华	王志清

## 前 言

随着国民经济的发展,通风机的应用日趋广泛。在我国,急需一本通风机设计、结构强度、制造工艺、运行调节、选型应用、性能试验、噪声及其控制,以及维护使用方面的综合性工具书。

本手册由沈阳鼓风机研究所组织编写,得到沈阳鼓风机厂马将发总工程师的大力支持。商景泰任主编,乐志成、续魁昌任副主编。

本手册的编写工作分工如下:沈阳鼓风机研究所商景泰编写第15、16、19章,审校第13、14章;续魁昌编写第6、7章,第8章的7~9节,第18章的21~40节,审校第5、16章,第18章的1~20节,第19章;上官心乐编写第4、5章,第8章的1~6节;汪景昌编写第9、11章,审校第8章;孙研编写第14章、第18章的1~20节,审校第18章的21~40节;华中理工大学乐志成编写第1、2章,审校第3、4章;黄振华编写第10章,审校第7章;东北大学步天浚、昌泽舟编写第3章;步天浚审校第1、2、15章;聂能光审校第12章;武汉鼓风机厂张轸编写第17章,审校第6、9章;陕西鼓风机厂王志清编写第13章,审校第10、17章;刘树华编写第12章,审校第11章。

本手册积累了我国风机工业30多年来设计与应用方面的经验,也适当地反映了我国风机专业的科研成果。在编写过程中,参考了大量的中外著作和文献资料,在此谨向这些作者致以真挚的感谢!

在手册的编写过程中,沈阳鼓风机研究所张国新、历秉仁、梁德春等同志做了大量资料整理及标准统一工作,在此表示感谢!

对于本手册中存在的错误和不足之处,敬希读者惠予指正。

编 者

1993年2月

# 目 录

<b>第1章 概述</b> .....	1
第1节 通风机分类 .....	1
第2节 通风机的型号与规格 .....	2
第3节 气体的主要状态参数 .....	4
第4节 理想气体的状态方程 .....	5
第5节 气体的过程方程 .....	5
第6节 连续性方程式 .....	6
第7节 伯努利方程式 .....	6
第8节 伯努利方程式的典型应用实例 .....	7
第9节 混合气体、湿空气 .....	8
第10节 雷诺数和马赫数 .....	11
第11节 通风机的主要性能参数 .....	12
第12节 通风机的主要无因次性能参数 .....	15
第13节 比转速 .....	16
第14节 通风机的其它系数 .....	17
第15节 考虑可压缩性影响时的气动力 功率和效率 .....	20
<b>第2章 离心通风机设计</b> .....	22
第1节 离心通风机的主要零部件 .....	22
第2节 离心通风机的基本方程式 .....	24
第3节 叶片出口角对风机性能的影响 .....	25
第4节 叶片数目对压力的影响与理论 压力 .....	27
第5节 离心通风机的叶片数 .....	29
第6节 离心通风机的实际压力与压力 系数 .....	30
第7节 离心通风机的损失、功率 与效率 .....	32
第8节 离心叶轮进出口的主要几何 尺寸的确定 .....	35
第9节 叶片绘制 .....	40
第10节 多翼叶叶轮设计 .....	41
第11节 蜗壳型线 .....	45
第12节 蜗壳主要参数的确定 .....	48
第13节 集流器与进气箱 .....	50
第14节 离心通风机气动力计算举例 之一 .....	53
第15节 离心通风机气动力计算举例 之二 .....	59
第16节 多翼叶通风机设计 .....	63
第17节 叶片型线理论设计 .....	65
第18节 旋转无叶扩压器 .....	67
第19节 三元叶轮 .....	68
<b>第3章 轴流通风机气动设计</b> .....	70
第1节 轴流通风机基本理论 .....	70
第2节 普通轴流通风机的空气动力 设计 .....	82
第3节 子午加速轴流通风机的空气 动力设计 .....	111
<b>第4章 通风机的相似设计</b> .....	121
第1节 通风机的相似理论 .....	121
第2节 通风机的基本无因次性能参数 .....	122
第3节 通风机的几个重要无因次性能 参数 .....	124
第4节 空气动力学略图和无因次性能 曲线 .....	126
第5节 通风机性能的相似换算 .....	129
第6节 通风机的选择性能曲线 .....	133
第7节 通风机的相似设计 .....	138
第8节 影响通风机相似设计和计算公式的 几个主要因素 .....	143
<b>第5章 通风机的标准化、系列化、通     用化设计</b> .....	157
第1节 概况 .....	157
第2节 离心通风机三化产品设计原则 .....	157
第3节 优先数和优先数系 .....	159
第4节 通风机的进、出口法兰尺寸 .....	161
第5节 通风机的叶轮 .....	165
第6节 离心通风机的进、出口和机壳 .....	170
<b>第6章 通风机典型结构</b> .....	175
第1节 结构的分类 .....	175
第2节 一般低、中、高压离心通风机 典型结构 .....	176
第3节 一般轴流通风机典型结构 .....	182

第4节	特殊用途离心通风机	186
第5节	特殊用途轴流通风机	201
第6节	横流通风机	209
<b>第7章</b>	<b>通风机主要零部件强度计算</b>	<b>211</b>
第1节	离心通风机叶轮的强度计算	211
第2节	轴流通风机叶轮叶片强度计算	222
第3节	主轴的强度计算	224
第4节	主轴的临界转速	228
第5节	轴流通风机叶片的振动问题	234
<b>第8章</b>	<b>通风机的选用件</b>	<b>243</b>
第1节	Y系列三相异步电动机	243
第2节	联轴器	248
第3节	底脚垫板	251
第4节	V带与带轮	252
第5节	电动机导轨	260
第6节	地脚螺栓	261
第7节	风机配套专用电动机	262
第8节	通风机用减震器	277
<b>第9章</b>	<b>通风机制造技术要求</b>	<b>279</b>
第1节	焊接技术要求	279
第2节	铆焊件技术要求	282
第3节	铸件技术要求	290
第4节	涂漆技术要求	293
第5节	主要机械加工部位的配合与表面粗糙度	294
<b>第10章</b>	<b>通风机的转子平衡与振动测量</b>	<b>296</b>
第1节	平衡的基本原理	296
第2节	转子的许用不平衡量	298
第3节	平衡工艺与方法	306
第4节	平衡设备	309
第5节	通风机的振动测量	318
附录		323
<b>第11章</b>	<b>通风机常用材料</b>	<b>324</b>
第1节	常用材料	324
第2节	材料选择	334
<b>第12章</b>	<b>通风机在管网中的工作</b>	<b>337</b>
第1节	通风机管网及管网特性	337
第2节	管网阻力的计算	339
第3节	串联管网及并联管网的特性	348
第4节	通风机在管网中的工作	349
第5节	通风机的联合工作	353
第6节	通风机与管网的各种组合	357
<b>第13章</b>	<b>通风机调节及其装置</b>	<b>366</b>
第1节	通风机调节的一般概念	366
第2节	通风机出口节流调节	368
第3节	通风机进口节流调节	369
第4节	通风机进口导叶调节	371
第5节	通风机变转速调节	376
第6节	通风机液力耦合器变转速调节	378
第7节	轴流通风机动叶调节	382
第8节	通风机调节方法的经济技术分析	390
附录		391
<b>第14章</b>	<b>通风机的选用</b>	<b>398</b>
第1节	通风机的选用原则	398
第2节	通风机的选型	400
第3节	通风机进出口风管的合理布置	412
第4节	部分通风机的技术参数	415
<b>第15章</b>	<b>通风机试验</b>	<b>617</b>
第1节	通风机试验的分类及目的	617
第2节	测量大气压力、温度、湿度的仪表及测量方法	617
第3节	测量气体压力的仪表及测量方法	618
第4节	测量通风机轴功率的设备、仪表及方法	621
第5节	测量转速的仪表及方法	624
第6节	通风机空气动力性能试验装置	624
第7节	通风机空气动力性能试验例题	629
<b>第16章</b>	<b>通风机噪声及其控制</b>	<b>640</b>
第1节	通风机噪声的基本概念	640
第2节	通风机噪声的有关标准	643
第3节	通风机噪声频谱特性及预算方法	645
第4节	通风机的噪声源	652
第5节	通风机噪声测量技术	656
第6节	降低风机空气动力噪声方法	658
第7节	吸声降噪	660
第8节	消声器	666
<b>第17章</b>	<b>通风机的使用与维护</b>	<b>673</b>
第1节	通风机的安装、运转、定期维修保养注意事项	673
第2节	电动机的选择和转子启动时间的计算	702

第3节	通风机的减振 .....	705	第3节	管道的局部压力损失 .....	801
<b>第18章</b>	<b>通风机应用计算例题 .....</b>	<b>711</b>	第4节	管道内的压力分布 .....	811
<b>第19章</b>	<b>通风机联接管道设计 .....</b>	<b>760</b>	<b>附录A</b>	<b>室外气象参数 .....</b>	<b>843</b>
第1节	管道设计的基本知识 .....	760	<b>附录B</b>	<b>通风机生产厂家名录 .....</b>	<b>866</b>
第2节	管道的沿程压力损失 .....	763	<b>参考文献</b>	.....	<b>882</b>



# 第1章 概 述

## 第1节 通风机分类

### 一、按气流运动方向分类

- (1) 离心通风机 气流轴向进入风机叶轮后主要沿径向流动, 或称径流式通风机。
- (2) 轴流通风机 气流轴向进入风机叶轮后近似地在圆柱形表面上沿轴线方向流动。
- (3) 混流式通风机 在风机的叶轮中气流的方向处于轴流式和离心式之间, 近似沿锥面流动, 或称斜流式通风机。

离心式、轴流式、混流式统称透平式, 而涡轮式、叶片式、叶轮式皆为义同词异的叫法。

### 二、按压力分类

在标准状况下, 风机的全压 $p_{t,r}$ 小于14710Pa者称为通风机。相应地分类如下:

- (1) 低压离心通风机 在标准状态下, 通风机全压 $p_{t,r} \leq 980$ Pa。
- (2) 中压离心通风机 在标准状态下, 通风机的全压 $p_{t,r} = 980 \sim 2942$ Pa。
- (3) 高压离心通风机 在标准状态下, 通风机全压 $p_{t,r} = 2942 \sim 14710$ Pa。
- (4) 低压轴流通风机 在标准状态下, 通风机全压 $p_{t,r} < 493$ Pa。
- (5) 高压轴流通风机 在标准状态下, 通风机全压 $p_{t,r} = 493 \sim 4930$ Pa。

### 三、按通风机的用途分类

习惯上常按通风机的用途来分类, 如引风机、排尘风机、纺织风机等。通风机的用途以汉语拼音字头代表, 如表1-1所示。

表1-1 风机产品用途代号

序号	用途类别	代 号		序号	用途类别	代 号	
		汉字	简 写			汉字	简 写
1	工业冷却水通风	冷却	L	11	锅炉通风	锅通	G
2	微型电动吹风	电动	DD	12	锅炉引风	锅引	Y
3	一般用途通风换气	通用	T(省略)	13	船舶锅炉通风	船锅	CG
4	防爆气体通风换气	防爆	B	14	船舶锅炉引风	船引	CY
5	防腐气体通风换气	防腐	F	15	工业用炉通风	工业	GY
6	船舶用通风换气	船通	CT	16	排尘通风	排尘	C
7	纺织工业通风换气	纺织	FZ	17	煤粉吹风	煤粉	M
8	矿井主体通风	矿井	K	18	谷物粉末输送	粉末	FM
9	矿井局部通风	矿局	KJ	19	热风吹吸	热风	R
10	隧道通风换气	隧道	CD	20	高温气体输送	高温	W

(续)

序号	用途类别	代号		序号	用途类别	代号	
		汉字	简写			汉字	简写
21	烧结炉烟气	烧结	SJ	28	化工气体输送	化气	HQ
22	一般用途空气输送	通用	T(省略)	29	石油炼厂气体输送	油气	YQ
23	空气动力	动力	DL	30	天然气输送	天气	TQ
24	高炉鼓风	高炉	CL	31	降温凉风用	凉风	LF
25	转炉鼓风	转炉	ZL	32	冷冻用	冷冻	LD
26	柴油机增压	增压	ZY	33	空气调节用	空调	KT
27	煤气输送	煤气	MQ	34	电影机械冷却烘干	影机	YJ

注：1. 上表内容摘自风机产品分类及名词术语，并略有增加。

2. 若用途代号不够表达时，允许增填代号，但不得有重复代号出现。

## 第2节 通风机的型号与规格

### 一、离心通风机型号编制规则

1. 离心通风机系列产品的型号用型式表示，单台产品型号用型式和品种表示。型号组成的顺序关系如表1-2。

表1-2 型号组成的顺序关系

型		号	
型	式	品	种
□	□ - □ - □	№	□
用途	压力系数乘5后化整数		机号
	比转速		
	设计序号		

(1) 用途代号按表1-1规定。

(2) 压力系数的5倍化整后采用一位数。个别前向叶轮的压系数5倍化整后大于10时，亦可用二位整数表示。

(3) 比转速采用两位整数。若用二叶轮并联结构，或单叶轮双吸入结构，则用2乘比转速表示。

(4) 若产品的型式中产生有重复代号或派生型时，则在比转速后加注序号，采用罗马数字 I、II 等表示。

(5) 设计序号用阿拉伯数字“1”，“2”等表示，供对该型产品有重大修改时用。若性能参数、外形尺寸、地基尺寸，易损件没有更动时，不应使用设计序号。

(6) 机号用叶轮直径的分米(dm)数表示。

2. 离心通风机的名称型号表示举例如表1-3。

表1-3 型号表示举例

序号	名称	型号		说明
		型式	品种	
1	(通用)离心通风机	4-72	№20	一般通风换气用, 压力系数乘5后的化整数为4, 比转速为72, 机号为20即叶轮直径200mm
2	(通用)离心通风机	4-2×72	№20	示叶轮是双吸入型式, 其他参数同第一条
3	矿井离心通风机	K4-2×72	№20	矿井主扇通风用, 其他参数同2条
4	防爆离心通风机	E4-72	№20	防爆通风换气用, 其他参数同1条
5	(通用)离心通风机	4-72I	№20	与4-72型相同的另一(系列)产品。其他参数同1条
6	锅炉离心通风机	G4-72	№20	用在锅炉通风上, 其他参数同1条
7	锅炉离心引风机	Y4-72	№20	用在锅炉引风上, 其他参数同1条
8	(通用)离心通风机	4-72-1	№20	某厂对原4-72型产品有重大修改, 为便于区别加用“-1”设计序号表示其他参数同1条
9	空调离心通风机	KT11-74	№5	用于空调通风上, 压力系数乘5后的化整数11, 比转速74, 机号为5即叶轮直径500mm
10	空调离心通风机	KT11-2×74	№5	叶轮为并联型式, 其他参数同9条

## 二、轴流通风机型号编制规则

1. 轴流通风机系列产品的型号用型式表示, 单台产品的型号用型式和品种表示, 型号组成的顺序关系如表1-4。

表1-4 型号组成

型 式					品 种	
□	□	□	□	□	№	□
示用途      示叶轮数      示叶轮数比      示转子位置      示设计序号					示机号	

- (1) 叶轮数代号, 单叶轮可不表示, 双叶轮用“2”表示。
- (2) 用途代号按表1-1规定。
- (3) 叶轮数比为叶轮底径与外径之比, 取二位整数。
- (4) 转子位置代号卧式用“A”表示, 立式用“B”表示。产品无转子位置变化可不表示。
- (5) 若产品的型式中有重复代号或派生型时, 则在设计序号前加注序号。采用罗马数字体 I、II 等表示。
- (6) 设计序号表示方法同前离心通风机型号编制规则。

2. 轴流通风机的名称型号表示举例如表1-5。

表1-5 型号表示举例

序号	名称	型号		说明
		型式	品种	
1	矿井轴流引风机	K70	№18	矿井主扇引风用, 叶轮数比为0.7, 机号为18即叶轮直径1800mm
2	矿井轴流引风机	2K70	№18	两个叶轮结构, 其他参数同1条
3	矿井轴流引风机	2K70I	№18	该型式产品的派生型(如有反风装置)用I代号区分, 其他参数同2条
4	矿井轴流引风机	2K70-1	№18	某厂对原2K70型产品有重大修改为便于区别用“-1”设计序号表示, 其他参数同2条
5	(通用)轴流通风机	T30	№8	一般通风换气用, 叶轮数比为0.3, 机号8即叶轮直径800mm
6	(通用)轴流通风机	T30B	№8	该型式产品转子为立式结构, 其他参数与5条相同
7	化工气体排送轴流通风机	HQ30	№8	该型式产品用在化工气体排送, 其他参数与5条相同
8	冷却轴流通风机	L30B	№80	工业用水冷却用, 叶轮数比为0.3, 机号80即叶轮直径为8000mm, 转子为立式结构

### 第3节 气体的主要状态参数

用以表示气体状态物理特性的各物理量称为气体状态参数。其中最主要的状态参数是压力、温度和比容(或密度)。

#### 一、压力

根据气体分子运动理论, 气体的压力是由于大量分子对容器内壁撞击的总效果。它以单位面积 $A$ 上所受的力 $F$ 来度量, 故亦称压强。用 $p$ 表示, 其单位为pa。现有的通风工程中还使用非法定计量单位:  $\text{mmH}_2\text{O}$ 或 $\text{kgf/m}^2$ 作为压力单位( $1\text{mmH}_2\text{O}(4^\circ\text{C时})=1\text{kg}/\text{m}^2$ , 但在工程实用中 $4^\circ\text{C}$ 的条件常忽略, 即令 $1\text{mmH}_2\text{O}=1\text{kgf/m}^2$ )。此外尚有 $\text{mmHg}$ 、 $\text{bar}$ 、 $\text{mbar}$ 、物理大气压 $\text{atm}$ 和工程大气压 $\text{at}$ 等, 其单位换算列于表1-6。

表1-6 压力单位换算

Pa(或 $\text{N/m}^2$ )	mbar	bar	$\text{mmH}_2\text{O}$ (或 $\text{kgf/m}^2$ )	mmHg	atm	at
1	0.01	$10^{-5}$	0.102	0.0075	$0.99 \times 10^{-5}$	$1.02 \times 10^{-5}$
100	1	0.001	10.2	0.7501		
$10^5$	1000	1	10197	750.1	0.9869	1.02
9.807	0.0981		1	0.0736	$0.9678 \times 10^{-4}$	$10^{-4}$
133.32	1.333		13.6	1	0.00132	0.00136
101325	1013	1.013	10332	760	1	1.0332
98067	980.7	0.9807	$10^4$	735.6	0.9678	1

压力可用压力计测量, 但压力计上所读出的压力数值为测量处气体的压力与外界大气压 $p_a$ 的差值, 称为表压, 用 $\Delta p$ 表示。测量处气体的实际压力为绝对大气压, 用 $p$ 表示。且

$$p = p_a + \Delta p \quad (1-1)$$

如测量处的气体压力低于大气压力,则大气压力与绝对压力之差值称为真空度,以 $\Delta p_{z\cdot}$ 表示,故

$$\Delta p_{z\cdot} = p_a - p \quad (1-2)$$

或

$$p = p_a - \Delta p_{z\cdot} \quad (1-3)$$

## 二、温度

温度是表征物体冷热程度的物理量。

在工程应用中大多采用国际百分温标,即 $t(^{\circ}\text{C})$ 。这种温标以标准大气压下(760mmHg)冰的溶解温度为 $0^{\circ}\text{C}$ ,水的沸点温度为 $100^{\circ}\text{C}$ ,称之为摄氏温标。

在气体热力学中则采用绝对温标, $T(\text{K})$ 。绝对温标与百分温标的每一量度是相等的,只是绝对温标的零度在百分温标零度下 $273^{\circ}\text{C}$ (精确值为273.16),故两种温标的关系式为

$$T = 273 + t \quad (1-4)$$

## 三、比容和密度

单位质量气体所占有的容积称为比容,以 $v(\text{m}^3/\text{kg})$ 表示。如质量为 $M\text{kg}$ 的气体所占有的容积为 $V(\text{m}^3)$ 则气体的比容为

$$v = \frac{V}{M}$$

单位容积气体所具有的质量称为密度,以 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 表示,即

$$\rho = \frac{M}{V}$$

显然,比容 $v$ 与密度 $\rho$ 互为倒数,即

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (1-5)$$

## 第4节 理想气体的状态方程

气体的主要状态参数压力 $p$ 、比容 $v$ 和温度 $T$ 之间存在着一定的关系式:

$$f(p, v, T) = 0 \quad (1-6)$$

在理想气体的情况下,上述关系式可表达为:

$$pv = RT \quad (1-7)$$

或

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-8)$$

## 第5节 气体的过程方程

气体在与其周围外界发生能量传递和转化时,其状态将发生变化,即由开始状态,经过一系列的中间状态变化到最终状态。其整个变化过程,称为气体的热力过程。开始的状态称为始态,终了时的状态称为终态。

气体在风机中任意两流通截面1和2上的状态变化关系可用下述关系式表达

$$p_1 v_1^m = p_2 v_2^m = \text{常数} \quad (1-9)$$

式中  $m$ ——过程指数，有时称为多变指数。

式(1-9)称为过程方程，其特例有

$m = 0$ ，则  $p = \text{常数}$ ，称定压过程。

$m = 1$ ，则  $p\nu = \text{常数}$ ，称等温过程。

$m = k$ ，则  $p\nu^k = \text{常数}$ ，称绝热过程， $k$ 为绝热指数，对于空气  $k = 1.4$ 。

$m = \pm \infty$ ，则式(1-9)可写成  $p_1^{\frac{1}{m}} \nu_1 = p_2^{\frac{1}{m}} \nu_2$ ，或  $\nu_1 = \nu_2 = \text{常数}$ ，称定容过程。

式(1-9)亦称为多变过程方程式。根据式(1-7)则式(1-9)可写成如下关系式：

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \quad (1-10)$$

## 第6节 连续性方程式

连续性方程式是物质不灭定律的一种表达形式。即在稳定流动的管路系统中，任意二截面上的质量流量  $m$  保持不变，即

$$m = \int_{A_1}^{A_2} \rho c_n dA = \text{常数} \quad (1-11)$$

其中  $c_n$  为垂直于微截面  $dA$  上的速度，参见图 1-1。

如果我们取管路截面或风机通流截面上的速度平均值，则可将式(1-11)写成最简单的一元流动连续性方程式

$$m = \rho_1 c_{1n} A_1 = \rho_2 c_{2n} A_2 = \rho c_n A \quad (1-12)$$

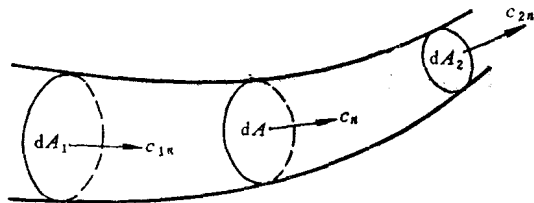


图1-1 连续性方程原理图

由于通流截面乘上该截面上的垂直速度等于该截面上的容积流量  $q_v$ ，故式(1-12)可写成

$$m = \rho_1 q_{v1} = \rho_2 q_{v2} = \rho q_v \quad (1-13)$$

在低压通风机中，可以近似地认为气体密度不变，即  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ，故有

$$q_{v1} = q_{v2} = q_v \quad (1-14)$$

或

$$A_1 c_{1n} = A_2 c_{2n} = A c_n \quad (1-15)$$

式(1-14)、(1-15)称为不可压缩流体的连续性方程式。它说明，在不可压缩流体流动的管路或通风机中，各截面上的容积流量保持不变，且流动速度与其横截面积成反比。

## 第7节 伯努利方程式

伯努利方程式是能量守恒和转换定律的一种表达形式。在研究通风机及其管道流动中经常应用，甚为重要。

伯努利方程的实质是：在稳定一元流动的通风机进出口管路系统中，风机叶轮传给气体的机械功，用于压缩气体、使气体的动能和位能产生变化、并克服流动损失，即

$$H_M = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1) + h_r \quad (1-16)$$

式中  $H_M$ ——叶轮传给气体的机械功；

$\int_1^2 \frac{dp}{\rho}$ ——气体压缩功；

$c_1$ 、 $c_2$ ——气体进、出口截面上的气流速度；

$Z_1$ 、 $Z_2$ ——气体进、出口截面所处的高度；

$h_r$ ——气体流动损失。

对于通风机和水泵，可当作不可压缩流体，即  $\rho = \text{常数}$ ，则有

$$H_M = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1) + h_r \quad (1-17)$$

在通风机中，气体的位能变化值很小，故可忽略不计，则式(1-17)可写成

$$H_M = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + h_r \quad (1-18)$$

当将伯努利方程式应用于通风机静止元件（如进气管、蜗壳、排气管）和管道时，由于没有外界机械功的加入（ $H_M = 0$ ），故式(1-18)可写成

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + h_r \quad (1-19)$$

如研究的是理想流体，则流动损失  $h_r = 0$ ，则式(1-19)可进一步简化为

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} \quad (1-20)$$

或

$$\frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = \text{常数} \quad (1-21)$$

此即著名的一元流动理想不可压缩流体的伯努利方程式。

## 第8节 伯努利方程式的典型应用实例

### 一、水静力学基本方程式

有一容器（如图1-2）其静止液面上的压力为  $p_0$ ，速度为  $c_0 = 0$ ；液面高度为  $Z_0$ 。在液体中任一点上的压力为  $p$ ，速度为  $c = 0$ ；液柱高度为  $Z$ 。今将伯努利方程式应用于液面和A点。因有  $H_M = 0$ ， $h_r = 0$ ， $\rho = \text{常数}$ ，则有

$$\frac{p_0}{\rho} + 0 + gZ_0 = \frac{p}{\rho} + 0 + gZ$$

或

$$g(Z_0 - Z) = \frac{p - p_0}{\rho}$$

$$p = p_0 + \rho g \cdot h \quad (1-22)$$

式中  $h = Z_0 - Z$ ，式(1-22)即为水静力学基本方程式，它表明在液面下任一点的静压力等于液面上的压力  $p_0$  与该点上的液柱高度  $h$  所产生的压力  $\rho g h$  之和。当  $p_0$  为大气压时，取  $p_0 = 0$ ，则任一点A的表压力

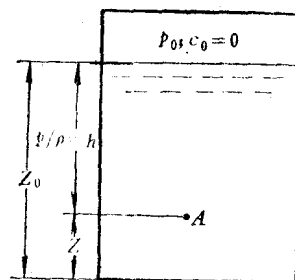


图1-2 静力学引图

$$p = \rho gh$$

(1-23)

利用式(1-23)的原理即可制造液柱压力计, 即液柱的高度等于所测点的压力。

## 二、皮托管

如图1-3, 设有一水槽中有水流动, 我们将一 $90^\circ$ 弯管迎流而置。在同一流线上有 $m$ 和 $n$ 两点。 $m$ 点的压力为 $p$ , 速度为 $c$ ;  $n$ 点迎水而置, 故其上的速度 $c_n = 0$ , 压力为 $p_n$ , 故称 $n$ 点为滞止点,  $p_n$ 为滞止压力。由于 $Z_m = Z_n$ , 则应用理想不可压缩的伯努利方程式得

$$\frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = \frac{p_n}{\rho}$$

或

$$c = \sqrt{2(p_n - p)/\rho}$$

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

(1-24)

式中  $gh$ —— $gh = (p_n - p)/\rho$ ;

$h$ —— $h = (h_n - h_m)$ 为压力计测得之液柱差。

考虑到实际气体有粘性, 且弯管对流动也有影响, 故用一系数 $\phi$ 修正之, 则式(1-24)可写成

$$c = \phi \sqrt{2gh} \quad (1-25)$$

上述弯管称皮托管, 它可用于测量流体速度。有关皮托管的具体应用, 将在试验装置中详细说明。一般 $\phi \approx 1$ 。

## 三、进气集流器测流量

图1-4为进气集流器。我们将伯努利方程应用于0-0和1-1截面上。0-0截面为大气, 故其压力 $p_0 = 0$  (表压), 且速度 $c_0 \approx 0$ 。故有

$$0 + 0 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2}$$

或

$$c_1 = \sqrt{2 \left| \frac{-p_1}{\rho} \right|}$$

集流器流量为

$$q_{v1} = A_1 \phi c_1 = A_1 \phi \sqrt{2 \left| \frac{-p_1}{\rho} \right|} \quad (1-26)$$

式中,  $\phi$ 为流量系数, 对圆弧形集流器 $\phi = 0.99$ , 对锥形集流器 $\phi = 0.96$ , 压力 $p_1$ 为负值, 计算上取其真空液柱高度 $h_1 = |-p_1|$ 。

## 第9节 混合气体、湿空气

### 一、混合气体

通风机输送的气体有时为混合气体, 在设计时应计算混合气体的摩尔质量 $\mu_m$ 、气体常数 $R_m$ 、热容量 $c_m$ 和绝热指数 $k_m$ 。

从热力学中知, 混合气体具有如下性质

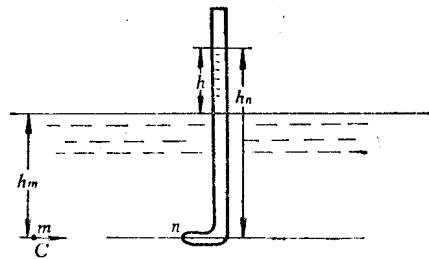


图1-3 皮托管原理简图

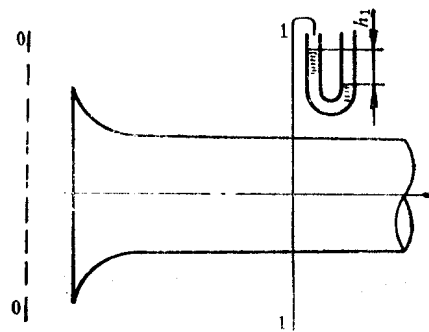


图1-4 进气集流器



$$g_i = \frac{m_i}{\sum m_i} \quad (1-27)$$

$$r_i = \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (1-28)$$

$$g_i = r_i \frac{\mu_i}{\mu_m} = r_i \frac{\mu_i}{\sum r_i \mu_i} \quad (1-29)$$

$$r_i = g_i \frac{R_i}{R_m} = g_i \frac{R_i}{\sum g_i R_i} \quad (1-30)$$

式中  $g_i$ ——混合物中单一成分气体的质量含量百分比；

$m_i$ ——单一成分气体的质量；

$r_i$ ——混合气体中单一成分气体的容积成分百分比；

$V_i$ ——在混合气体的压力和温度下质量  $m_i$  的单一成分气体所占的容积。

$\mu_i$ ——单一成分气体的分子量（摩尔质量）；

$R_i$ ——单一成分气体的气体常数。

混合气体的摩尔质量、气体常数、热容量和绝热指数按下列诸式确定：

$$\mu_m = \sum r_i \mu_i \quad (1-31)$$

$$R_m = \sum g_i R_i = \frac{R_u}{\mu_m} \quad (1-32)$$

$$c_m = \sum g_i c_i = \frac{\sum \mu_i r_i c_i}{\mu_m} \quad (1-33)$$

$$k_m = \frac{1 - \sum \frac{r_i}{k_i - 1}}{\sum \frac{r_i}{k_i - 1}} \quad (1-34)$$

式中  $c_i$ ——单一成分气体的热容量；

$k_i$ ——单一成分气体的绝热指数；

$R_u$ ——通用气体常数，其值为  $R_u = 8314.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

## 二、湿空气

空气可以当作混合气体的一个典型特例。然而，实际的空气大多为湿空气，即干气体与水蒸气的混合物。水蒸气不是理想气体，但由于大气中水蒸气的分压力很小，且大都处于过热状态，比容很大，分子间的距离足够大，故仍可将湿空气作为混合气体近似处理。

### 1. 道尔顿定律

湿空气的压力  $p$  等于干空气的分压力  $p_k$  和水蒸气分压力  $p_s$  之和，即

$$p = p_k + p_s \quad (1-35)$$

### 2. 绝对湿度

指每立方米湿空气中所含水蒸气质量，即水蒸气的密度  $\rho_s$ 。

### 3. 相对湿度

指气体中实际所含水份  $\rho_s$  和同温度下可能包含的最大水份  $\rho_s^0$  的比值，用  $\phi$  表示，即

$$\phi = \frac{\rho_s}{\rho_s^0}$$

因为水蒸气的气体常数相同，且在同一温度下，故有