

通风机

实用技术手册

商景泰 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



通风机实用技术手册

商景泰 主编



机械工业出版社

通风机是广泛应用于国民经济各行业的一种通用机械。本手册以我社1994版《通风机手册》为基础,从实用技术出发,在内容上作了较多的删减和增补,是一本以通风机设计为主,全面系统地介绍了通风机的原理、设计计算、结构、强度计算、材料选用、通风机型号与规格的选择计算、试验、噪声与降噪措施、管网设计及损失计算、气力输送计算例题、计算机在通风机设计中的应用,以及提供大量常用便查参数图表等方面的工具书。全书15章,以及7个附录。

本手册适用于风机制造厂、有关设计研究所,以及广大通风机用户使用。也可供大专院校相关专业师生教学参考用。

图书在版编目(CIP)数据

通风机实用技术手册/商景泰主编. —北京:机械工业出版社,2005.4

ISBN 7-111-15963-2

I. 通… II. 商… III. 通风机—技术手册 IV. TH43-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第142633号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红 吕德齐

版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新 魏俊云

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年4月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·44.75印张·2插页·1406千字

0 001—4 000册

定价:75.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本手册由中国通用机械工业协会风机分会组织编写,商景泰主编。该手册是继 1994 年由机械工业出版社出版的《通风机手册》之后的又一本行业工具书。本手册主要以设计为主,与《通风机手册》相比,增加了设计理论基础,扩展了设计应用范围的介绍,尤其对风机在新的领域里的应用中产生的新产品以及材料新应用的介绍,还编入了计算机在通风机设计中的应用实例。

本手册编写分工如下:商景泰编写第 1、3、5、15 章,白石编写第 2、14 章,王新编写第 4 章,孙研编写第 7 章,周庆山编写第 8 章,石雪松编写第 9 章,唐秀文编写第 10 章及附录,田树鳌编写第 11、14 章,官延鹏编写第 12 章,兆鹏举编写第 6 章,刘永庆编写第 13 章,商景泰审校第 2、4、13 章,唐秀文审校第 1、7 章,田树鳌审校第 3、9 章,白石审校第 5 章,周庆山审校第 11 章,石雪松审校第 14 章,王新审校第 15 章,孙研审校附录,官延鹏审校第 10 章,兆鹏举审校第 12 章,赵贞太审校第 6 章,刘永庆审校第 8 章。

编写工作还得到了佛山市南海九洲普惠风机有限公司、四川望江风机制造有限公司的大力支持。在编写过程中还参考了一些中外文献,商晓红提供了英译汉资料,乐志成、续魁昌、上官心乐、步天浚、昌泽舟、汪景昌、黄振华、刘树华等也提供了大量的参考资料,在此一并表示诚挚的谢意!

本手册存在的错误和不足之处,敬请读者指正。

编者
2004 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 综述 1

- 1.1 通风机的型号与规格 1
- 1.2 离心通风机的结构形式及主要部件 3
- 1.3 轴流通风机的结构形式和主要部件 6

第 2 章 通风机设计的理论基础 9

- 2.1 理想气体的一元流动理论 9
- 2.2 理想气体的方程式 9
- 2.3 通风机的理论压力方程式 13
- 2.4 离心通风机的理论特性曲线 14
- 2.5 混合气体、湿空气 16
- 2.6 气体的物性参数 17

第 3 章 离心通风机的设计 20

- 3.1 通风机的特性参数 20
- 3.2 通风机的主要无因次性能参数 22
- 3.3 考虑可压缩性影响时的气动力功率和效率 26
- 3.4 环流系数 27
- 3.5 离心通风机的叶片数 30
- 3.6 离心通风机的实际压力与压力系数 31
- 3.7 气体在离心通风机叶轮内的实际流动情况 32
- 3.8 离心通风机的损失、功率与效率 34
- 3.9 通风机的实际特性曲线 37
- 3.10 通风机的管网特性曲线 39
- 3.11 通风机的工况和合理工作区域 40
- 3.12 对离心通风机设计的要求 43
- 3.13 叶轮主要尺寸的确定 46
- 3.14 多叶通风机 60

- 3.15 叶轮的气动力计算步骤与例题 63
- 3.16 无叶扩压器 65
- 3.17 机壳 68
- 3.18 扩散器 72
- 3.19 集风器与进气箱 73
- 3.20 离心通风机气动力计算举例 76

第 4 章 轴流通风机气动设计 83

- 4.1 概述 83
- 4.2 轴流通风机基本理论 83
- 4.3 普通轴流通风机的空气动力设计 93
- 4.4 子午加速轴流通风机的空气动力设计 116
- 4.5 动叶栅的反作用度 123
- 4.6 对旋式轴流通风机 124
- 4.7 对旋式通风机 OBB—79—80 型气动略图 125
- 4.8 OBB—76JI—91 型气动略图 127
- 4.9 OBB—84—84B 型气动略图 130

第 5 章 通风机的相似设计 132

- 5.1 相似原理概述 132
- 5.2 空气动力学略图和无因次性能曲线 134
- 5.3 同系列通风机的对数坐标图 137
- 5.4 通风机性能的相似换算 142
- 5.5 通风机的选择性能曲线 145
- 5.6 通风机的相似设计 148
- 5.7 影响通风机相似设计和计算公式的几个主要因素 152

第 6 章 计算机在通风机设计中的应用 162

- 6.1 计算机基础知识 162
- 6.2 计算机在通风机设计中的具体应用实例 163

第 7 章 不同用途通风机的结构与性能	170	11.2 通风机噪声的有关标准	298
7.1 结构的分类	170	11.3 通风机噪声频谱特性及 预算方法	299
7.2 通风机典型结构与性能	171	11.4 通风机的噪声源	306
第 8 章 通风机主要零部件强度 计算及材料选用	200	11.5 通风机噪声测量技术	308
8.1 离心通风机叶轮的强度计算	200	11.6 降低风机空气动力噪声 方法	310
8.2 轴流通风机叶轮叶片强度 计算	208	11.7 吸声材料	312
8.3 主轴的强度计算	210	11.8 消声器	318
8.4 转子的临界转速	213	11.9 消声器的选用实例	322
8.5 轴流通风机叶片的振动	217	第 12 章 通风机型号与规格的 选择计算	343
8.6 转子的转动惯量	222	12.1 通风机型号与规格的选择条件	343
8.7 轴向推力的计算与滚动 轴承的选用	224	12.2 通风机型号、规格选择计算	345
8.8 通风机主要零件材料的选用	227	12.3 供选型用不同用途通风机的 性能	351
第 9 章 通风机转子平衡	242	第 13 章 通风机试验	473
9.1 刚性转子平衡的力学原理	242	13.1 通风机试验的类别及目的	473
9.2 通风机转子种类及平衡 品质等级	245	13.2 测量大气压力、温度、湿度的 仪表及测量方法	473
9.3 平衡品质等级表示方法	246	13.3 测量气体压力的仪表及测量 方法	473
9.4 许用不平衡的确定	247	13.4 测量通风机轴功率的设备、仪表 及方法	476
9.5 平衡品质的检验与复验	248	13.5 测量转速的仪表及方法	478
9.6 平衡误差	250	13.6 通风机流量的测定	479
9.7 平衡工艺与方法	250	13.7 现场性能测试举例	479
9.8 平衡设备	253	第 14 章 通风机管网设计	527
9.9 整机全速现场动平衡	260	14.1 管道设计的基本知识	527
第 10 章 通风机的配套件	262	14.2 通风机管网及管网特性	529
10.1 联轴器	262	14.3 串联管网及并联管网的特性	531
10.2 底脚垫板	265	14.4 通风机在管网中的工作	533
10.3 V 带与带轮	266	14.5 管道的沿程压力损失	536
10.4 电动机导轨	275	14.6 管道的局部压力损失	573
10.5 地脚螺栓	276	第 15 章 通风机设计计算例题	615
10.6 减振器	277	附录	657
10.7 膜片联轴器	281	附录 A 法定计量单位和常用单位 换算	657
10.8 风机配套专用电动机	283		
第 11 章 通风机噪声及降噪 措施	296		
11.1 通风机噪声的基本概念	296		

附录 B 滚动轴承的选择与计算	669	附录 G 通风机系统阻力	689
附录 C 通风机振动检测及其限值	676	中国通用机械工业协会风机分会	
附录 D 估算风机三相电动机输出功率的		会员通信录	701
相位电流法	678	参考文献	707
附录 E 带驱动损失	679		
附录 F 密度的测定	680		

第 1 章 综 述

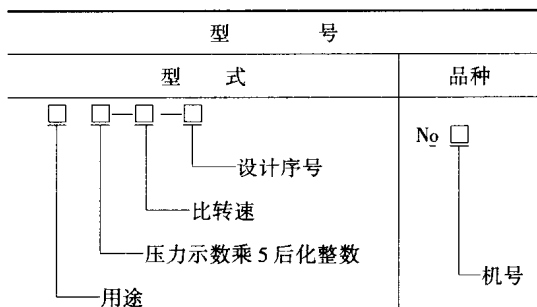
(续)

1.1 通风机的型号与规格

1.1.1 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 1-1 所示。

表 1-1 型号组成的顺序关系



1) 用途代号按表 1-2 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。

表 1-2 风机产品用途代号

序号	用途类别	代 号	
		汉字	简写
1	工业冷却通风	冷却	L
2	微型电动吹风	电动	DD
3	一般用途通风换气	通用	T (省略)

序号	用途类别	代 号	
		汉字	简写
4	防爆气体通风换气	防爆	B
5	防腐气体通风换气	防腐	F
6	船舶用通风换气	船通	CT
7	纺织工业通风换气	纺织	FZ
8	矿井主体通风	矿井	K
9	矿井局部通风	矿局	KJ
10	隧道通风换气	隧道	CD
11	锅炉通风	锅通	G
12	锅炉引风	锅引	Y
13	船舶锅炉通风	船锅	CG
14	船舶锅炉引风	船引	CY
15	工业用炉通风	工业	GY
16	排尘通风	排尘	C
17	煤粉吹风	煤粉	M
18	谷物粉末输送	粉末	FM
19	热风吹吸	热风	R
20	高温气体输送	高温	W
21	烧结炉烟气	烧结	SJ
22	一般用途空气输送	通用	T (省略)
23	空气动力	动力	DL
24	高炉鼓风	高炉	GL
25	转炉鼓风	转炉	ZL
26	柴油机增压	增压	ZY
27	煤气输送	煤气	MQ
28	化工气体输送	化气	HQ
29	石油炼厂气体输送	油气	YQ
30	天然气输送	天气	TQ
31	降温凉风用	凉风	LF
32	冷冻用	冷冻	LD
33	空气调节用	空调	KT
34	电影机械冷却烘干	影机	YJ

2. 离心通风机的名称型号表示举例如表 1-3 所示。

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	N _φ 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2000mm
2	(通用)离心通风机	4-2×72	N _φ 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	N _φ 20	矿井主扇通风用,其他参数同2条
4	防爆离心通风机	B4-72	N _φ 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	N _φ 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	N _φ 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	N _φ 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	N _φ 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	N _φ 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	N _φ 5	叶轮为并联型式,其他参数同9条

1.1.2 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所示。

表 1-4 型号组成

型号	
型式	品种

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1-2规定。

3) 叶轮毂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) 若产品的型式中产生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所示。

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	N _φ 18	矿井主扇引风用,叶轮毂比为0.7,机号为18即叶轮直径1800mm
2	矿井轴流引风机	2K70	N _φ 18	两个叶轮结构,其他参数同1条

(续)

序号	名 称	型 号		说 明
		型式	品种	
3	矿井轴流引风机	2K70I	N ₀₁₈	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	N ₀₁₈	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	N ₀₈	一般通风换气用, 叶轮轮毂比为 0.3, 机号 8 即叶轮直径 800mm
6	(通用) 轴流通风机	T30B	N ₀₈	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	N ₀₈	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	N ₀₈₀	工业用水冷却用, 叶轮轮毂比为 0.3, 机号 80 即叶轮直径为 8000mm。转子为立式结构

1.2 离心通风机的结构形式及主要部件

1.2.1 离心通风机的结构形式

离心通风机的结构简单, 制造方便, 叶轮和蜗壳一般都用钢板制成, 通常都采用焊接, 有时也用铆接。图 1-1 是常见的中压离心通风机简图。

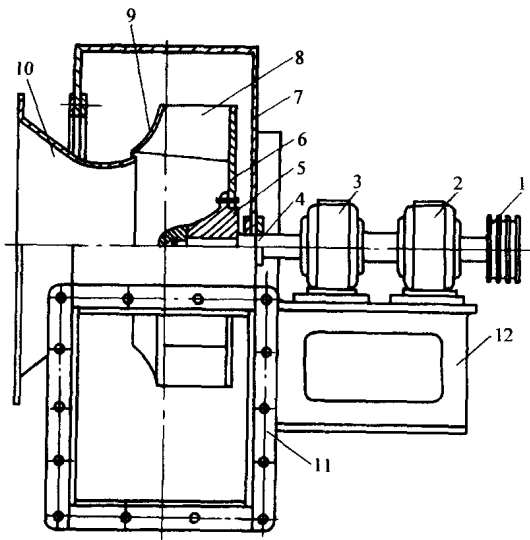


图 1-1 离心通风机结构示意图

1—V 带带轮 2、3—轴承座 4—主轴
5—轴盘 6—后盘 7—蜗壳 8—叶片
9—前盘 10—进风口 11—出风口 12—底座

1. 旋转方式不同的结构形式

离心通风机可以做成右旋转或左旋转两种。从原动机一端正视, 叶轮旋转为顺时针方向的称为右旋转, 用“右”表示; 叶轮旋转为逆时针方向的称为左旋转, 用“左”表示。但必须注意叶轮只能顺着蜗壳螺旋线的展开方向旋转。

2. 进气方式不同的结构形式

离心通风机的进气方式有单侧进气 (单吸) 和双侧进气 (双吸) 两种。

单吸通风机又分单侧单级叶轮和单侧双级叶轮两种。在同样情况下, 双级叶轮产生的风压是单级叶轮的两倍。

双吸单级通风机是双侧进气、单级叶轮结构, 如图 1-2 所示。在同样情况下, 这种风机产生的流量是单吸的两倍。

在特殊情况下, 离心通风机的进风口装有进气室, 按叶轮“左”或“右”的回转方向, 各有五种不同的进口角度位置, 如图 1-3 所示。

3. 离心通风机出风口位置不同的结构形式。

根据使用的要求, 离心通风机蜗壳出风口方向, 规定了如图 1-4 所示的 8 个基本出风口位置。

如基本角度位置不够, 可以采用表 1-6 所列的补充角度。

4. 传动方式不同的结构形式

根据使用情况的不同, 离心通风机的传动方式也有多种。如果离心通风机的转速与电动机的转速

相同时，大号风机可以采用联轴器，将通风机和电动机直联传动，这样可以使结构简化紧凑，减小机体。小号风机则可以将叶轮直接装在电动机轴上，可使结构更加紧凑。如果离心通风机的转速和电动机的转速不相同，则可以采用通过带轮变速的传动方式。

通常是将叶轮装在主轴的一端，这种结构叫作悬臂式，其优点是拆卸方便。对于双吸或大型单吸离心通风机，一般是采用叶轮放在两个轴承的中间，这种结构叫双支承式，其优点是运转比较平稳。

目前，我国生产通风机的企业，把离心通风机的传动方式规定为如图 1-5 所示的几种型式。

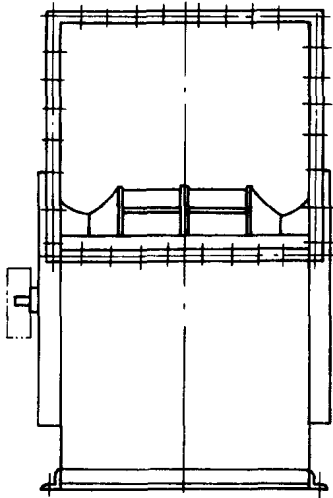


图 1-2 双吸单级离心通风机示意图

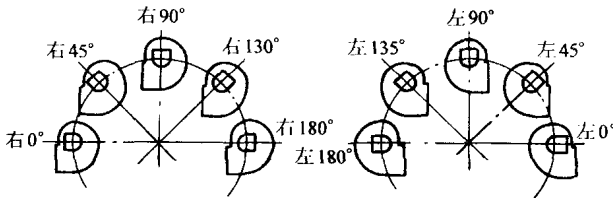


图 1-3 进气室角度位置示意图

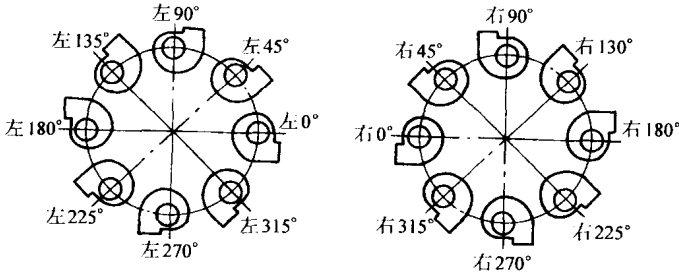


图 1-4 出风口角度位置示意图

表 1-6 补充角度

补充角度	15°	30°	60°	75°	105°
补充角度	120°	150°	165°	195°	210°

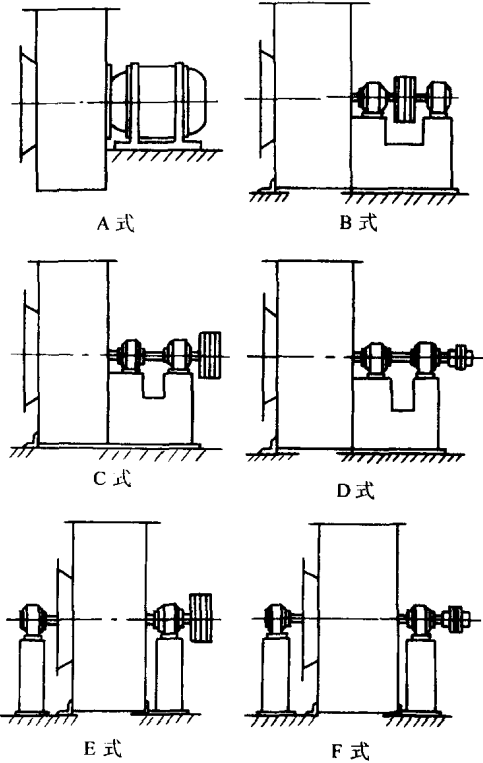


图 1-5 离心通风机传动结构形式

1.2.2 离心风机的主要部件

离心风机的主要零部件如下。

1. 叶轮

叶轮是通风机的核心部分，它的尺寸和几何形状对通风机的特性有着重大的影响。离心通风机的叶轮一般由前盘、后(中)盘、叶片和轴盘等组成，其结构有焊接的和铆接的两种型式。

叶轮前盘的型式有平前盘、锥形前盘和弧形前盘等几种，如图 1-6a、b、c 所示。平前盘制造简单，但一般对气流的流动情况有不良影响。我国生产的 8-18 型离心通风机就是采用这种平前盘。

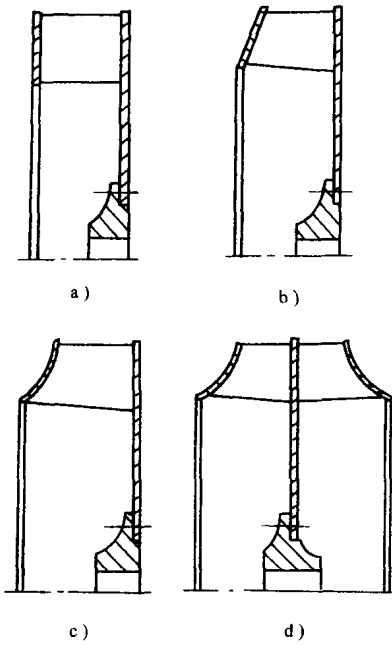


图 1-6 叶轮结构形式示意图
a) 平前盘叶轮 b) 锥形前盘叶轮
c) 弧形前盘叶轮 d) 双吸叶轮

锥形前盘和弧形前盘的叶轮，制造比较复杂，但其气动效率和叶轮强度都比平前盘优越。我国生产的 4-72 型和 4-73 型离心通风机都采用了弧形前盘。

双侧进气的离心通风机叶轮，是两侧各有一个相同的前盘，叶轮中间有一个通用的中盘，中盘铆在轴盘上。

叶轮上的主要零件是叶片。离心通风机叶轮的叶片，一般为 6~64 个。由于叶片出口安装角和叶片形状的不同，叶轮的结构形式也有不同。

(1) 叶片出口角不同 离心通风机的叶轮，根据叶片出口角的不同，可分为如图 1-7 所示的前向、径向和后向三种。叶片出口角 β_{2A} 大于 90° 的叫作前向叶片，等于 90° 的叫作径向叶片，小于 90° 的叫作后向叶片。

(2) 叶片形状不同 离心通风机叶片形状有如图 1-8 所示的平板形、圆弧形和中空机翼形等几种。平板形叶片制造简单。中空机翼形叶片具有优良的空气动力特性，叶片强度高，通风机的气动效率一般较高。如果将中空翼形叶片的内部加上补强筋，可以提高叶片的强度和刚度。但工艺性较复杂。中空机翼形叶片磨漏后，杂质易进入叶片内部，使叶轮失去平衡而产生振动。

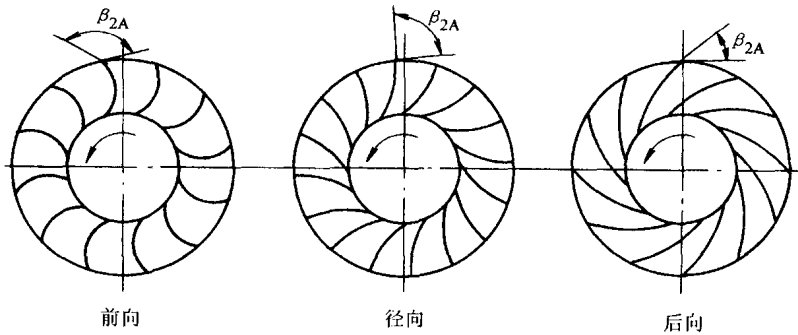


图 1-7 前向、径向和后向叶轮示意图

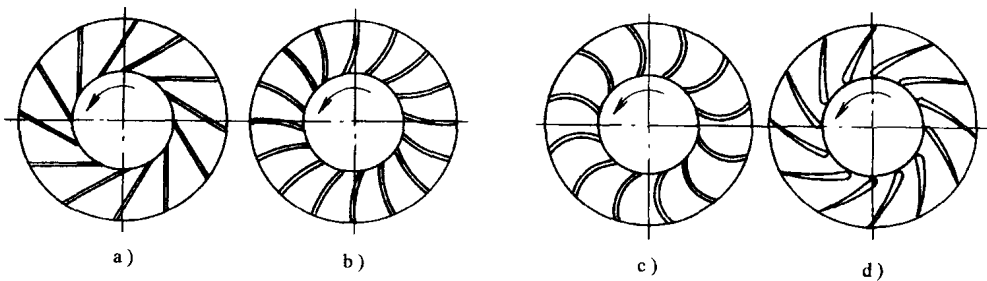


图 1-8 叶片形状
a) 平板叶片 b) 圆弧窄叶片 c) 圆弧叶片 d) 机翼型叶片

目前,前向叶轮一般都采用圆弧形叶片。在后向叶轮中,对于大型通风机多采用机翼形叶片,而对于中、小型通风机,则以采用圆弧形和平板形叶片为宜。我国生产的4-72型和4-73型离心通风机均采用中空机翼形叶片。

2. 机壳

离心通风机的机壳由蜗壳、进风口和风舌等零部件组成。

(1) 蜗壳 蜗壳是由蜗板和左右两块侧板焊接或咬口而成。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,经过出风口,把气体输送到管道中或排到大气中去。有的通风机将气体的一部分动压通过蜗壳转变为静压。蜗壳的蜗板是一条对数螺旋线。为了制造方便,一般将蜗壳设计制成等宽矩形断面。

(2) 进风口 进风口又称集风器,它是保证气流能均匀地充满叶轮的进口,使气流流动损失最小。离心通风机的进风口有筒形、锥形、筒锥形、筒弧形、弧形、弧锥形、弧筒形等多种。

3. 进气箱

进气箱一般只使用在大型的或双吸的离心通风机上。其主要作用可使轴承装于通风机的机壳外边,便于安装与检修,对改善锅炉引风机的轴承工作条件更为有利。对进风口直接装有弯管的通风机,在进风口前装上进气箱,能减少因气流不均匀进入叶轮产生的流动损失。一般断面逐渐有些收敛的进气箱的效果较好。

4. 前导器

一般在大型离心通风机或要求特性能调节的通风机的进风口或进风口的流道内装置前导器。用改变前导器叶片角度的方法,来扩大通风机性能、使用范围和提高调节的经济性。前导器有轴向式和径向式两种。

5. 扩散器

扩散器装于通风机机壳出口处,其作用是降低出口气流速度,使部分动压转变为静压。根据出口管路的需要,扩散器有圆形截面和方形截面两种。

1.3 轴流通风机的结构形式和主要部件

1.3.1 轴流通风机的结构形式

轴流通风机的叶轮由轮毂和叶片组成。轮毂和叶片的联接一般为焊接结构。为调节叶片安装角

度,叶片和轮毂的联接为可调式。可停机调节叶片安装角度,有的可在运转中调节叶片安装角,称为动叶可调式。图1-9是一般轴流通风机示意图。

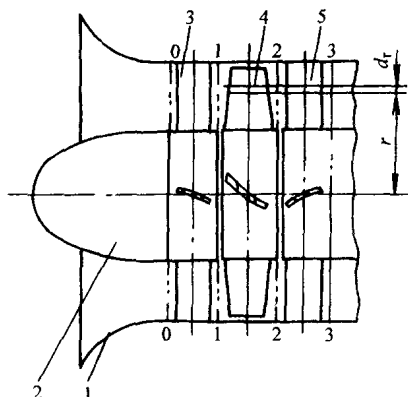


图 1-9 单级轴流通风机示意图

1—集流器 2—流线罩 3—前导流器 (P)
4—叶轮 (R) 5—后导流器 (S)

(1) 传动形式 轴流通风机的传动形式通常有电动机直联、带轮、联轴器等3种形式(图1-10、表1-7)。

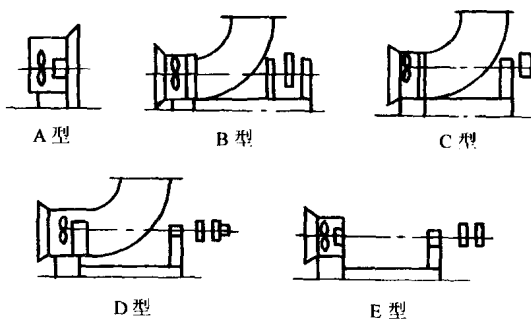


图 1-10 轴流通风机传动形式

表 1-7 轴流通风机传动形式代表符号与结构说明

传动形式	符号	结构说明
电动机直联	A	风机叶轮直接装在电动机轴上
带轮	B	带轮在两轴承中间
	C	带轮悬臂安装在轴的一端,叶轮悬臂安装在轴的另一端
联轴器	D	叶轮悬臂安装(有风筒)
	E	叶轮悬臂安装(无风筒)

(2) 风口位置 轴流通风机的风口位置，用入（出）若干角度表示，基本风口位置有 4 个，特殊用途可补充增加（图 1-11，表 1-8）。

1.3.2 轴流通风机的主要部件

轴流通风机的主要部件有集流器、流线罩、导叶、叶轮、扩散器、风筒等（图 1-12 ~ 1-14）。

表 1-8 风口位置

基本	0°	90°	180°	270°
补充	45°	135°	225°	315°

注：分进风口与出风口两种，用入（出）若干角度表示。若无进、出风口位置则可不予表示。基本风口位置有 4 个，特殊用途的则另加。

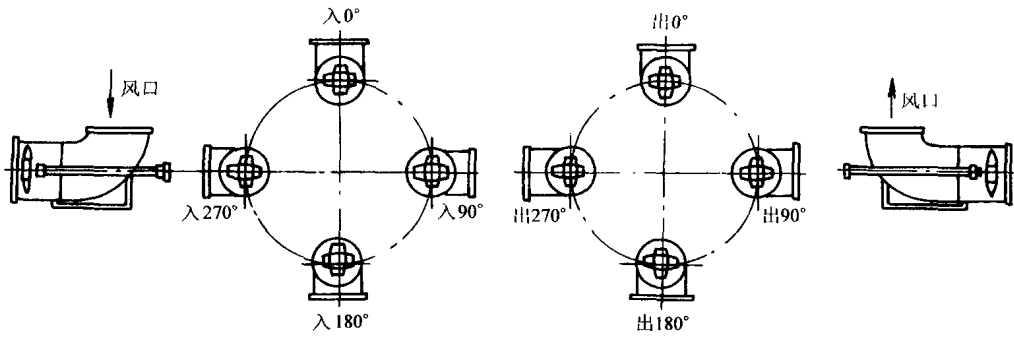


图 1-11 轴流通风机风口位置

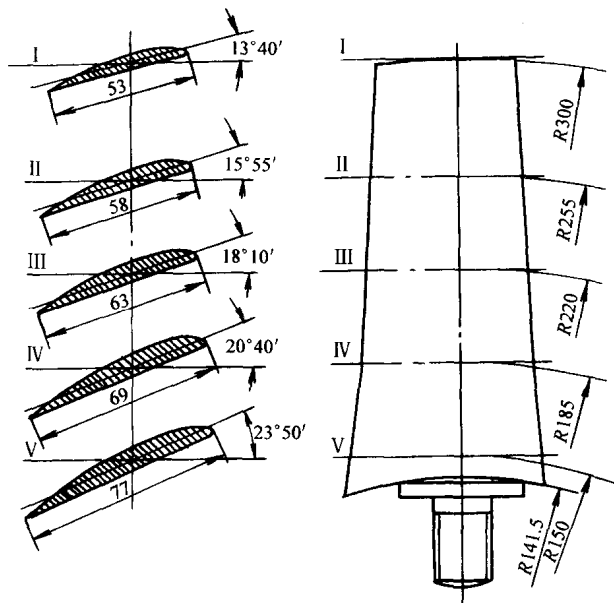


图 1-12 轴流通风机叶片

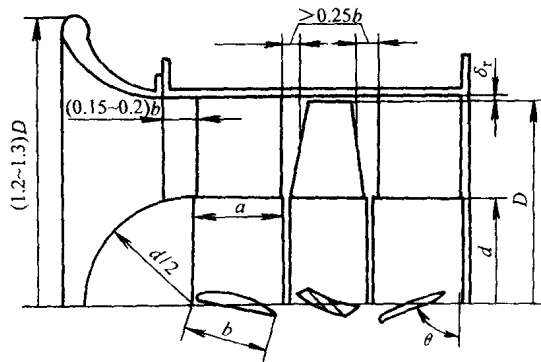


图 1-13 集流器与流线罩在轴流通风机中的配置

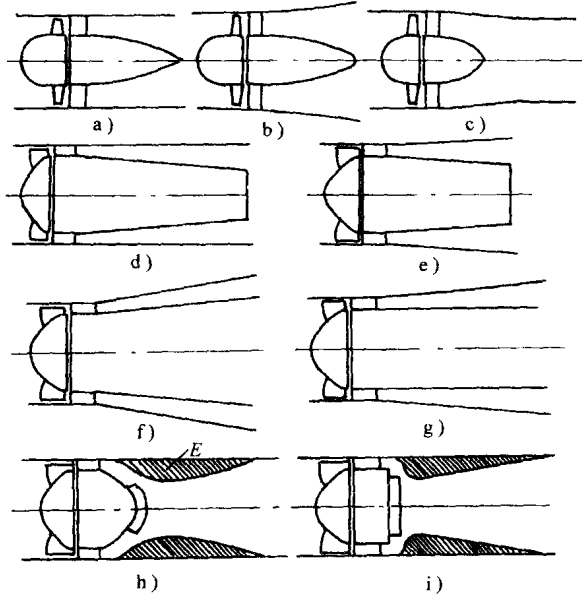


图 1-14 轴流通风机扩压器

标准轴流通风机扩压器形状:

- a) 外壳为圆筒形带尾流锥的扩压器
- b) 带尾流锥的机壳向外渐扩的扩压器
- c) 外壳稍作收缩、带短促尾流锥扩压器

各种子午加速轴流风机的扩压器:

- d) 外壳呈圆筒形、钝头尾流锥扩压器
- e) 外壳向外渐扩、带钝头尾流锥扩压器
- f) 外壳向外扩散的, 内机壳成钝头锥状向外扩大的扩压器
- g) 外壳渐扩、内机壳为圆筒状的扩压器
- h) 外壳呈圆筒状、内壁有向里隆起状嵌块 E 的、并有紧凑的带有分流片的尾流锥之扩压器
- i) 外壳为圆筒状、有嵌块、无尾流锥的扩压器。

气流的残留旋绕被分流片或导叶所消除

第2章 通风机设计的理论基础

2.1 理想气体的一元流动理论

如果在流动中,所有动力学的和热力学的量都只是时间和一个坐标的函数,这样的流动就叫作一维流动。一维流的最简单的例子如:平行于某坐标轴的空间流动——其中速度、压力、密度和温度都只是这一个坐标和时间的函数;空间的径向流——其中径向速度、压力、密度和温度都只是向量半径 r 和 t 的函数。

理想液体或气体的直线流动的所有流线都与 x 轴平行,而唯一的速度分量 u 以及压力 p 、密度 ρ 和温度 T 都是 x 和 t 的函数。

在这种情形下,欧拉方程和连续性方程就化为具有三个未知函数 u 、 p 、 ρ 的一阶非线性偏微分方程组:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

所谓理想流体是不考虑内摩擦——粘性的存在,而认为相对运动着的两个体积的接触面间,只有垂直于接触面的压力作用,在这面的平面内,完全没有切向摩擦力。

将这个假定用于坐标面,我们就有:

$$p_{xy} = p_{yx} = p_{yz} = p_{zy} = p_{zx} = p_{xz} = 0 \quad (2-2)$$

再假设在倾斜于坐标轴的面上也没有切向应力,我们就可以得出:

$$p_{nx} = p_n n_x, \quad p_{ny} = p_n n_y, \quad p_{nz} = p_n n_z$$

根据笛卡尔坐标轴上的投影我们有:

$$p_{xx} = p_{yy} = p_{zz} = p_n \quad (2-3)$$

由公式(2-2)和公式(2-3)这组等式,就得出理想流体的基本性质——无论怎样选择坐标轴,在运动着的理想流体中,任何一点切向应力都等于零,法向应力则互相相等。换句话说,在一给定点的法向应力与应力所作用的面方向无关。

试用“ $-P$ ”表示在流体内一定点的法向应力的公共值,标量 P 就称为流体中该点的压力;像在平衡的情形一样,特别写出负号来是为了着重说明法向应力向量 p_n 和面的正法线方向相反。由此

可见,作用在理想流体中任意倾斜面元素的正方向上的应力,可用公式表示为:

$$p_n = p_n n = -Pn \quad (2-4)$$

刚才得到的公式只在理想液体或气体运动的情形下才成立,可是它却和任意真实流体介质相应的平衡公式一致。

公式(2-4)这一组等式相当于张量等式:

$$P = -pg \quad (2-5)$$

这和非理想流体介质在平衡时的类似等式是一致的。因为我们在理想流体的假设中,虽没有考虑由内部分子传递所产生影响的量的一面,既表现为摩擦和热传导,但保留了质的一面,即物理量分布的连续性。

具有无限多叶片的叶轮定义为理想叶轮。这样,其所有的摩擦损失就可以不计,而且空气的相对运动是和叶片方向相一致的。另外,叶片的厚度也看作无限小。以直径 d_1 表示叶片进口处的直径,该处叶片和圆周切线形成的角度为 β_1 ,而在叶片出口处相应的角度为 β_2 。

虽然这种叶轮和实际叶轮的差别很大,但却是在研究叶轮问题的一个非常有用的基础。在进行比较时,一元流动理论是绝对必要的,而且在其他方面也是非常有用的。上述的假设已在欧拉的透平理论中给出。

2.2 理想气体的方程式

2.2.1 理想气体状态方程

1. 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)。

(1) 压力 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。现有的通风机工程中还有使用非法定计量单位: mmH₂O 或 kgf/m² 作为压力单位(在工程实用中 4°C 的条件常忽略,即令 1mmH₂O = 1kgf/m²)。此外尚有 mmHg、bar、mbar,物理大气压 atm 和工程大气压 at 等,其单位换算如表 2-1 所示。

表 2-1 压力单位换算

Pa (或 N/m ²)	mbar	bar	mmH ₂ O (或 kgf/m ²)	mmHg	atm	at
1	0.01	10 ⁻⁵	0.102	0.0075	0.99 × 10 ⁻⁵	1.02 × 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 × 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的差值,称为表压,用 Δp 表示。测量处气体的实际压力为绝对大气压,用 p 表示。且

$$p = p_a + \Delta p \quad (2-6)$$

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 Δp_{zk} 表示,故

$$\Delta p_{zk} = p_a - p \quad (2-7)$$

或

$$p = p_a - \Delta p_{zk} \quad (2-8)$$

(2) 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 (°C)。这种温标以标准大气压下 (760mmHg) 冰的溶解温度为 0°C,水的沸点温度为 100°C,称之为摄氏温标。

在气体热力学中则采用热力学温标, T (K)。热力学温标与百分温标的每一量度是相等的,只是热力学温标的零度在百分温标零度下 273°C (精确值为 273.16),故两种温标的关系式为

$$T = 273 + t \quad (2-9)$$

(3) 比容和密度 单位质量气体所占有的容积称为比容,以 v (m³/kg) 表示。单位容积气体所具有的质量称为密度,以 ρ (kg/m³) 表示。显然,比容 v 与密度 ρ 互为倒数。

2. 理想气体状态方程

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:

$$f(p, v, T) = 0 \quad (2-10)$$

在理想气体的情况下,上述关系式可表达为:

$$pv = RT \quad (2-11)$$

或

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (2-12)$$

式中 R 为气体常数(kJ/kg/K)。

2.2.2 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

$$p_1 v_1^m = p_2 v_2^m = \text{常数} \quad (2-13)$$

式中 m ——过程指数,有时称为多变指数。

公式 (2-13) 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 $pv = \text{常数}$, 称等温过程。

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

$m = \pm \infty$, 则式 (2-13) 可写成 $p_1^{1/m} v_1 = p_2^{1/m} v_2$ 或 $v_1 = v_2 = \text{常数}$, 称定容过程。

式 (2-13) 亦称为多变过程方程式。根据式 (2-11) 则式 (2-13) 可写成如下关系式:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \quad (2-14)$$

2.2.3 连续性方程

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

$$m = \int_{A_1}^{A_2} \rho c_n dA = \text{常数} \quad (2-15)$$

式中 c_n 为垂直于微截面 dA 上的速度,如图 2-1 所示。