

通风机和压缩机

吴玉林 陈庆光 刘树红 编著



清华大学出版社

通风机和压缩机

吴玉林 陈庆光 刘树红 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从介绍风机和压缩机的分类、应用、结构和主要工作参数入手,首先使初学者对风机和压缩机有一个基本的认识,然后主要介绍通风机和压缩机的基本原理、基本的气动力设计计算方法以及通风机的性能试验。本书还结合作者的部分研究成果介绍了通风机内部三维湍流计算、通风机气动噪声预测计算和通风机内部流动测量等方面的内容和进展情况,期望能为流体机械教学和科研人员的研究工作提供一些帮助。

本书适合于机械、石油和化工、矿山和冶金工程、能源与动力工程等专业的本科生使用,也可作为研究生教学用书,还可作为广大风机和压缩机使用者和设计人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

通风机和压缩机/吴玉林,陈庆光,刘树红编著. —北京:清华大学出版社,2005.2

ISBN 7-302-10100-0

I.通… II.①吴…②陈…③刘… III.①鼓风机②压缩机 IV.①TH44②TH45

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第130486号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:刘建龙

文稿编辑:李春明

封面设计:陈刘源

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市召亮装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:19.25 字数:456千字

版 次:2005年2月第1版 2005年2月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-10100-0/TH·156

印 数:1~4000

定 价:25.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

前 言

风机和压缩机是一种用量最大的通用机械,在矿山和冶金工程、石油和化学工业、航空航天和航海工程、能源工程和车辆工程等国民经济的各个部门都有广泛的应用。由于应用场合、性能参数、输送介质和使用要求的不同,风机和压缩机的品种及规格繁多,其结构形式多种多样。为此,作者根据多年来在清华大学的教学讲义和部分科研成果编写了本书,本书主要介绍通风机和压缩机的基本原理、基本的气动力设计计算方法和通风机的性能试验。在风机和压缩机的选型设计和运行分析方面,本书可作为广大风机和压缩机使用者的参考书,对风机和压缩机的设计人员也会有所帮助。同时,本书还介绍了通风机内部三维湍流计算、通风机气动噪声预测计算和通风机内部流动测量等方面的内容及其研究进展情况。本书也可以作为流体机械教学和科研人员的参考书。

本书共分 13 章,其中,第 1~7 章由吴玉林和刘树红编写,第 8 章和第 9 章由张扬军和郑孟伟编写,第 10 章由陈庆光、吴玉林和唐宏芬编写,第 11 章至第 13 章由陈庆光和吴玉林编写。全书由陈庆光最后统稿。本书的编写,得到了编著者在清华大学的前辈和同事们的帮助,还得到了西安交通大学流体机械研究所的徐忠教授、北京航空航天大学周盛教授和陆亚钧教授,以及其他高校的专家和有关科研单位技术人员的大力帮助。另外,本书的出版还得到国防重点实验室研究基金对本书部分内容研究的资助(基金编号:51459010101JW0104),在此一并表示衷心的感谢。

随着科学技术的进步和计算流体动力学、叶轮机械转子动力学和流动测量技术的迅速发展,风机和压缩机研究的新成果不断涌现,本书的编著者希望读者能够以本书为基础并参考国内外的最新文献,共同推进风机和压缩机的研究发展。

对于书中存在的缺点和错误,敬请读者批评指正。

编著者于清华大学

2005 年 1 月

目 录

第 1 章 概述.....1	
1.1 风机和压缩机的分类和应用.....1	
1.1.1 风机和压缩机的分类.....1	
1.1.2 风机和压缩机的应用.....6	
1.2 风机的结构和主要参数.....10	
1.3 气体的物理性质.....12	
1.3.1 标准大气状态.....12	
1.3.2 风机标准进口状态.....12	
1.3.3 空气的参数.....13	
1.4 气体的状态变化和能量转换.....14	
1.4.1 热力学第一定律.....14	
1.4.2 理想气体状态方程.....15	
1.4.3 气体机械中的能量转换.....15	
1.4.4 封闭系统中气体的 状态变化.....16	
1.4.5 开式系统中气体状态变化 和功的计算.....19	
第 2 章 离心式通风机的的工作原理.....21	
2.1 流体力学基本方程.....21	
2.1.1 理想流体的基本方程.....21	
2.1.2 离心式通风机叶轮中的 相对运动.....22	
2.2 通风机的基本方程.....24	
2.2.1 叶轮进、出口速度三角形.....24	
2.2.2 欧拉方程.....24	
2.2.3 欧拉方程的物理意义.....25	
2.3 叶轮的反作用度和叶轮叶片的 型式.....25	
2.3.1 叶轮的反作用度.....25	
2.3.2 叶片的型式.....27	
2.4 气体在叶轮中的实际流动.....29	
2.4.1 作用在叶轮中 气体的作用力.....29	
2.4.2 有限叶片数的影响.....31	
2.4.3 考虑压缩性影响的 理论全压升.....33	
2.4.4 进口气流冲角.....34	
2.5 通风机的无因次系数.....34	
2.5.1 压力系数.....34	
2.5.2 流量系数.....35	
2.5.3 功率系数.....36	
2.5.4 比转速、转速系数和 直径系数.....36	
2.6 通风机的损失和效率.....39	
2.6.1 流动损失.....39	
2.6.2 泄漏损失.....43	
2.6.3 叶轮的轮阻损失.....44	
2.6.4 轴承损失.....45	
2.6.5 通风机的功率及效率.....45	
2.7 离心式通风机的性能曲线.....47	
2.7.1 不计任何损失时的 性能曲线.....47	
2.7.2 计入损失后的性能曲线.....48	
2.7.3 无因次性能曲线.....49	
2.7.4 通风机的空气动力学略图.....49	
2.7.5 系列产品的综合性能曲线.....50	
2.7.6 系列产品的对数坐标曲线.....51	
2.7.7 对数坐标曲线的原理.....51	
2.8 离心式通风机中的内部流动.....53	
2.8.1 一般离心叶轮中的射流—尾 迹流动结构.....53	
2.8.2 离心通风机叶轮的 内部流态.....55	

第3章 离心式通风机设计	57	4.2 轴流式通风机的几种方案	89
3.1 通风机设计的任务和要求	57	4.2.1 叶轮前设置前导叶	89
3.2 叶轮尺寸的确定	57	4.2.2 叶轮后设置导叶	89
3.2.1 最佳进口宽度 b_1	58	4.2.3 单独叶轮的级	90
3.2.2 最佳进口直径	59	4.2.4 叶轮前后都设置导叶	90
3.2.3 进口叶片角 β_{1A}	60	4.2.5 多级轴流式通风机	90
3.2.4 前后盘的圆角半径和叶片进口边斜切	63	4.3 叶栅的空气动力学特性	91
3.2.5 叶片数 z 的选择	64	4.3.1 叶型和叶栅参数	91
3.2.6 叶片进出口宽度 b_1, b_2	65	4.3.2 叶栅的升力	92
3.3 叶片形状的确定	66	4.3.3 空气动力学特性	93
3.3.1 平直叶片	66	4.3.4 叶栅的气动力基本方程	94
3.3.2 圆弧形叶片	67	4.3.5 平面叶栅吹风试验数据	97
3.3.3 叶片流道的决定	69	4.3.6 无因次参数	99
3.3.4 叶片造型的解析法和图解法	70	4.4 气流参数沿叶片高度方向的变化	100
3.4 离心式通风机的进气装置	74	4.4.1 转速沿半径的变化	101
3.4.1 进气室	74	4.4.2 气流速度沿半径的变化	101
3.4.2 进气口(或集流器)	75	4.4.3 气流角沿半径的变化	102
3.4.3 进口导流器	75	4.4.4 $C_y \frac{b}{l}$ 沿半径的变化	102
3.5 导叶设计	75	4.5 叶栅中的损失和效率	103
3.6 蜗壳设计	77	4.5.1 实际气流动过叶栅时的损失	103
3.6.1 概述	77	4.5.2 扩压器中的损失	105
3.6.2 基本假设	77	4.6 轴流式通风机的特性分析	105
3.6.3 蜗壳内壁型线	77	第5章 轴流通风机的设计计算	108
3.6.4 蜗壳宽度 B	79	5.1 概述	108
3.6.5 蜗壳内壁型线实用计算	80	5.2 孤立叶型试验数据	109
3.6.6 蜗壳出口长度及扩压器	80	5.2.1 RAF-6E 叶型	109
3.6.7 蜗舌	81	5.2.2 CLARK Y 叶型	110
3.7 离心式通风机设计	82	5.2.3 LS 叶型	111
3.7.1 方案选择	82	5.2.4 哥廷根叶型	111
3.7.2 离心通风机的设计步骤	82	5.2.5 圆弧板叶型	112
第4章 轴流式通风机	86	5.3 主要参数的选取	112
4.1 轴流式风机的工作原理和概况	86	5.3.1 轮毂比 ν	112
4.1.1 基元级上的速度三角形	87	5.3.2 叶轮外径 D_t	113
4.1.2 叶轮对气体所做的功	87	5.3.3 叶片数 z	114
4.1.3 反作用度和预旋	88	5.4 第一种孤立叶型设计方法	114
		5.5 第二种孤立叶型设计方法	117

5.5.1 轴流通风机无量纲量表表达式	117
5.5.2 计算步骤	119
5.6 平面叶栅的翼叶造型	120
5.6.1 原始叶型	120
5.6.2 翼叶造型的几何角	120
5.6.3 叶型中心线	121
5.6.4 各种叶型中心线的长度	122
5.7 第一种叶栅设计方法	123
5.8 第二种叶栅设计方法	123
5.9 导叶的设计计算	125
5.9.1 前导叶	125
5.9.2 后导叶	126
5.10 径向间隙和轴向间隙	129
5.10.1 径向间隙	129
5.10.2 轴向间隙	129
5.11 集流器、整流罩、整流体和扩散筒	129
5.11.1 集流器	130
5.11.2 整流罩	130
5.11.3 整流体和扩散筒	130
第 6 章 通风机在管网中的工作及调节	133
6.1 管网及其性能曲线	133
6.1.1 管网的概念	133
6.1.2 管网的阻力计算	133
6.1.3 管网的性能曲线	135
6.2 通风机与管网的联合工作	135
6.3 通风机的联合运行	136
6.3.1 并联运行	136
6.3.2 串联运行	138
6.4 通风机的调节	139
6.4.1 调节方法	139
6.4.2 各种调节方法的比较	142
6.5 非稳定工况及喘振	143
6.5.1 工况变化及其性能稳定性	143
6.5.2 喘振	144

第 7 章 通风机的噪声	147
7.1 基本概念	147
7.1.1 声波	147
7.1.2 声强	148
7.1.3 声压与声压级	149
7.1.4 声功率和声功率级	151
7.1.5 倍频程	153
7.1.6 噪声的评价	153
7.2 通风机的噪声	154
7.2.1 通风机噪声产生的原因	154
7.2.2 通风机的声功率级和比声功率级	155
7.2.3 通风机的噪声与性能的关系	156
7.2.4 通风机的噪声频谱	157
7.2.5 通风机的噪声特性	158
7.3 通风机的噪声控制	160
7.3.1 通风机噪声减噪量的确定	160
7.3.2 通风机噪声的控制	162
第 8 章 通风机内部三维湍流计算	163
8.1 通风机内部流动的控制方程	163
8.2 通风机内部三维湍流的计算方法	164
8.2.1 无粘性流动解	164
8.2.2 粘性流动计算	165
8.3 湍流模型及其应用	167
8.4 通风机内部三维非定常湍流的计算	168
8.4.1 概述	168
8.4.2 数值算法	172
8.4.3 动静干扰对尖部区域流动的影响	173
8.5 小结	178
第 9 章 通风机气动噪声预测计算	180
9.1 物理数学模型	180
9.2 数值算法	182
9.3 计算结果	185

9.3.1 对规则翼型冷却风扇的 噪声预测	185	10.8.4 试验方法的比较与选用	207
9.3.2 对复杂翼型冷却风扇的 噪声预测	187	10.9 通风机性能试验的一般规则 及注意事项	207
第 10 章 通风机性能试验		10.9.1 试验前对仪表及试验 设备的检查	207
与内部流场测量	191	10.9.2 试验测量程序 及注意事项	208
10.1 通风机性能试验的目的 及试验的分类	191	10.10 考虑压缩性影响的修正计算	208
10.1.1 通风机性能试验的目的	191	10.10.1 流量的修正计算	208
10.1.2 通风机试验的分类	191	10.10.2 功率的修正计算	209
10.2 压力的测量	192	10.10.3 通风机效率的修正 计算	210
10.2.1 压力显示仪器	192	10.10.4 空气密度的计算	211
10.2.2 皮托管	192	10.11 通风机性能参数的换算及 特性曲线的绘制	211
10.3 流量的测量	193	10.11.1 性能换算	211
10.3.1 进口集流器测流量	193	10.11.2 特性曲线的绘制	212
10.3.2 皮托管测流量	194	10.12 通风机内部流场的测量	213
10.4 转速的测量	196	10.12.1 概述	213
10.4.1 光电转速传感器	196	10.12.2 皮托管测速技术	214
10.4.2 手持式数字转速表	196	10.12.3 环型叶栅内部流动的 PIV 测量	214
10.4.3 转矩转速测量仪	197		
10.5 功率的测量	197	第 11 章 离心式压缩机原理	219
10.5.1 用转矩转速传感器 与转矩转速功率仪 配套测量通风机的 轴功率	197	11.1 离心式压缩机的结构及应用	219
10.5.2 扭矩法测功率	197	11.2 离心式压缩机的基本方程	220
10.5.3 电测法测功率	198	11.2.1 欧拉方程	220
10.6 环境大气参数及通风机进、 出口温度的测量	198	11.2.2 能量方程	220
10.6.1 环境大气参数的测量	198	11.2.3 伯努利方程	220
10.6.2 通风机进、出口气流 温度的测量	199	11.2.4 压缩过程在 $T-s$ 图上的表示	222
10.7 通风机噪声的测量	199	11.2.5 总耗功和功率	224
10.8 通风机性能试验装置 及性能计算	199	11.2.6 滞止参数的表示	225
10.8.1 进气试验	200	11.2.7 压缩机效率的表达式	226
10.8.2 出气试验	203	11.3 压缩机内的基本过程变化	227
10.8.3 进出气试验	205	11.3.1 压缩机进气道	228
		11.3.2 工作级间的等熵 压缩过程	229
		11.3.3 级中实际压缩过程	229

11.4 进气道气动计算.....	230	12.2 压缩机的相似条件.....	260
11.4.1 进口截面的气流参数	230	12.2.1 几何相似	260
11.4.2 截面 1—1 处的气流 参数	231	12.2.2 进口速度三角形相似.....	261
11.5 叶轮	231	12.2.3 绝热指数 k 相等.....	261
11.5.1 叶道中的流动	232	12.2.4 马赫数 M 相等	261
11.5.2 叶轮中的损失	234	12.3 相似理论的应用	263
11.5.3 叶轮设计参数的确定	236	12.3.1 同一压缩机在不同 工作条件下的相似.....	263
11.6 无叶扩压器	238	12.3.2 几何相似的压缩机的 相似工况	266
11.6.1 气体在无叶扩压器中的 流动.....	239	12.3.3 用无因次参量表示 压缩机的性能	267
11.6.2 无叶扩压器进口参数的 确定	239	12.4 相似设计.....	268
11.6.3 无叶扩压器出口参数的 确定	240	12.5 性能换算.....	269
11.7 叶片扩压器	241	12.5.1 符合相似时的性能换算.....	269
11.7.1 气体在叶片扩压器中的 流动	241	12.5.2 近似相似时的换算.....	269
11.7.2 叶片扩压器的损失 和效率	242	第 13 章 轴流式压缩机原理	273
11.7.3 叶片扩压器主要参数的 确定	244	13.1 基元级速度三角形	273
11.8 蜗壳(排气室).....	245	13.2 级中的气体压缩过程.....	274
11.9 离心压缩机气动参数计算.....	247	13.3 轴流压缩机气动参数 沿径向的变化.....	277
11.9.1 原始数据	247	13.4 轴流压缩机的叶型和叶栅	279
11.9.2 进气道参数	247	13.4.1 平面叶栅的主要参数.....	279
11.9.3 压缩机叶轮参数	248	13.4.2 压缩机叶栅的特性.....	281
11.9.4 无叶扩压器段参数	251	13.5 压缩机平面叶栅设计	284
11.9.5 叶片扩压器参数	253	13.5.1 “名义工况”关系式.....	284
11.9.6 蜗壳参数	254	13.5.2 “最大升阻比”关系式.....	288
11.9.7 压缩机参数校核	255	13.5.3 “最小损失”关系式.....	289
11.10 离心压缩机的特性曲线.....	255	13.5.4 根据平面叶栅数据 设计基元级	289
第 12 章 压缩机的相似率	259	13.6 轴流压缩机的损失	289
12.1 压缩机相似的基本准则.....	259	参考文献	292

第 1 章 概 述

风机和压缩机是用于输送气体的机械，被广泛应用于国民经济的各个部门，尤其是在矿山、冶金、石油、化工、航空航天、航海、能源和车辆工程等领域；从能量转换的观点来看，它们又都是把原动机的机械能转换为气体的动能和压强能的机械。为了便于学习和了解风机和压缩机，本章先介绍一些基本知识。

1.1 风机和压缩机的分类和应用

1.1.1 风机和压缩机的分类

1. 按工作原理分类

风机和压缩机按工作原理可分为 3 类：

(1) 容积式，包括活塞式(图 1.1)和回转式，后者又可分滑片式(图 1.2)、罗茨式(图 1.3)和螺杆式(图 1.4)等；

(2) 叶片式，又称透平式，包括离心式(图 1.5)、混流式(图 1.6)、轴流式(图 1.7)和横流式(图 1.8)；

(3) 喷射式(图 1.9)。

活塞式或往复式风机通常由两部分组成，一部分是直接和气体进行能量交换的工作端，另一部分是和其他机械进行动力传递的传动端。工作端主要包括缸体、活塞(或柱塞)、吸入阀和排出阀。

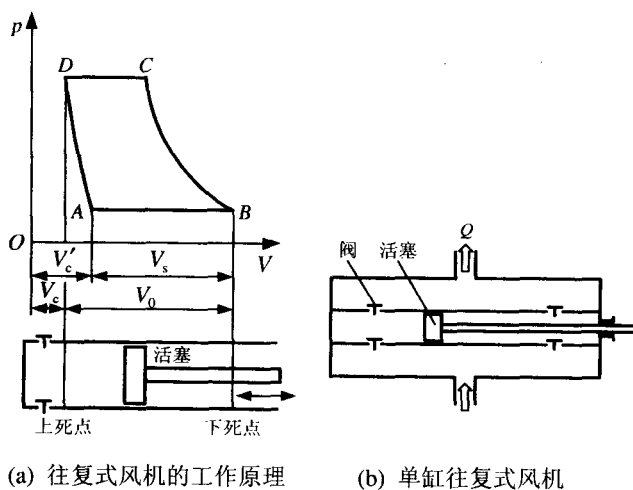


图 1.1 活塞式

现以工作过程的示功图(图 1.1(a))来说明往复式风机的工作原理。示功图的横轴为缸体的容积,纵轴为缸体内气体的压强。当用作气体输送机械时,缸体内的压强沿 $ABCD$ 线按逆时针方向变化。在活塞向右方移动的瞬间,缸体内的压强降到 A 点,这时吸入阀开启,排出阀关闭,随着活塞向右移动,低压气体被吸入缸体,这期间缸体内的气体压强保持不变,吸入过程至活塞移动到缸体容积最大的下死点 B 为止。随后排出过程开始。在活塞向左移动的瞬间,缸体内的压强从 B 点上升到 C 点,吸入阀关闭,排出阀开启,活塞继续向左移动并排出高压气体,至活塞到达缸体容积最小的上死点 D 为止。活塞往复一次完成一个工作循环。图 1.1(b)是单缸往复式风机的示意图。

在回转式风机中,转子和壳体之间(或两个转子之间)形成封闭气体的工作腔,当转子转动时,工作腔的容积发生变化以达到和气体交换能量的目的。回转式机械的工作原理和往复式机械相同,但回转式风机不再设置吸入阀和排出阀,而代之以和叶片式风机相似的吸入口和排出口。

在回转式风机圆筒状的转子上开有沟槽,槽内装有可以自由滑动的叶片,称作滑片,转子中心偏离壳体中心。如图 1.2 所示,当转子转动时,滑片在离心力的作用下向外滑出紧压在壳体内壁上,同时滑片和壳体围成的工作腔容积沿周向变化。调节转子的偏心率可以改变流量。用于气体时,为了提高滑片和壳体之间的密封效果并加强润滑,有时可以采取喷油的措施。喷油对压缩机可以起到冷却气体、减少能耗的作用。

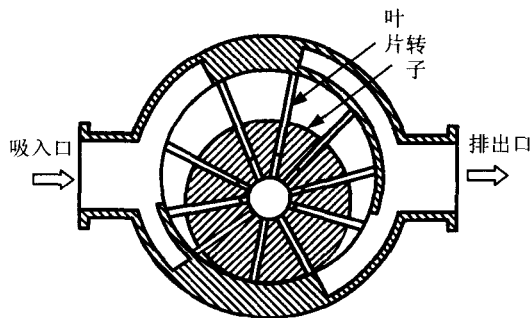


图 1.2 滑片式

图 1.3(a)所示为一台双叶回转式风机的示意图。两个转子由一对同步齿轮驱动作反向旋转,在转动过程中,转子表面和壳体内壁围成的工作腔容积周期性地变化。转子之间保持很小的间隙以免互相接触,因而不需要润滑,寿命长。由于间隙对泄漏效率有影响,所以该种机械不宜用于高压流体,多用来输送气体,又名罗茨式。转子型线有由外摆线和内摆线组合而成的组合摆线、基圆半径等于转子节圆半径的 $1/\sqrt{2}$ 的渐开线以及包络线等。此外,还有图 1.3(b)所示的单叶回转式、图 1.3(c)所示的三叶回转式以及更多叶的回转式等。

图 1.4 所示为三螺杆式风机,是由瑞典 IMO 公司发明的。该风机的转子由一根主动螺杆和两根从动螺杆组成。从理论上讲,采用以摆线和次摆线的组合型线作为齿形的双头螺纹后,主、从动螺杆间的啮合线能将螺旋槽严密地切断,从而形成完全封闭的工作腔。为了保持运行平稳,在设计从动螺杆的齿形时,还应使作用在螺旋表面上的液体压强对从动

螺杆形成一很小的力矩，用以克服摩擦，保证从动螺杆自行转动，避免和主动螺杆之间有动力传递。三螺杆式机械的摩擦损失小，使用转速高。

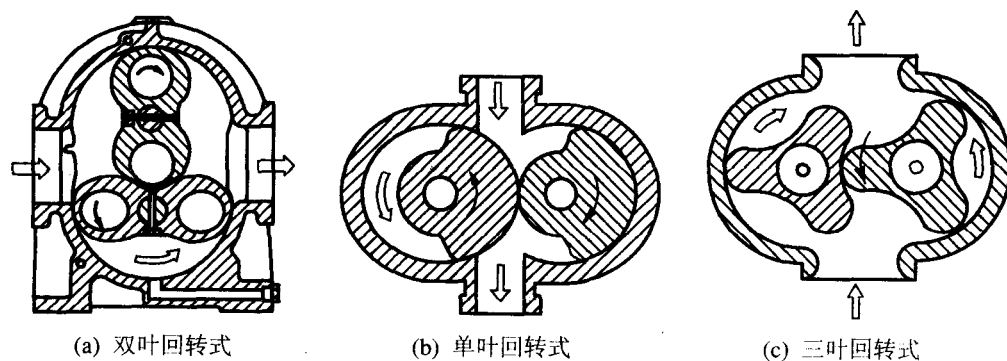


图 1.3 罗茨式

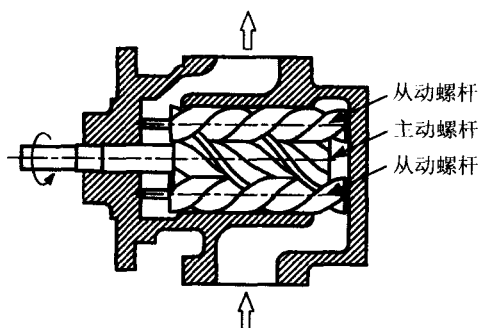


图 1.4 螺杆式

在叶片式风机中，离心式风机和压缩机是应用最广泛的一种。在图 1.5 所示的离心式风机中，气体在几乎与转动轴线垂直的流面上流过叶轮。由于这种形式的风机主要是利用转动离心力来产生压强升，而一般说来，该部分压强升总是远大于相对速度改变产生的压强升，故适用于高压升的情况。不过，该种风机的使用流量相对较小，因为如果叶片的轴向宽度过大将会导致效率下降。因此，离心式风机通常用于高压强升和小流量的情况。

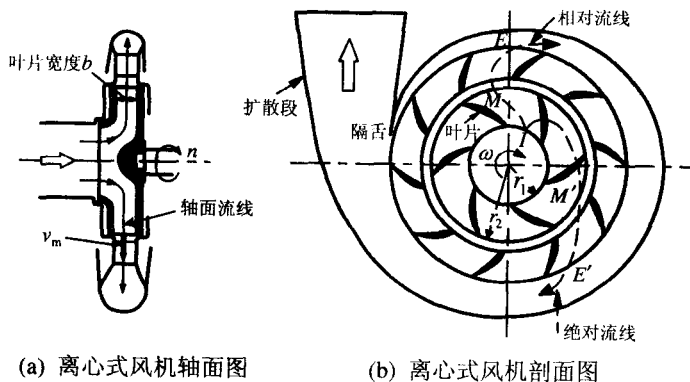


图 1.5 离心式

目前,混流式风机的应用也日益广泛。图 1.6 所示为混流式风机的剖面图,它主要由叶轮、扩压器和蜗壳等部分组成。混流式风机的叶轮轮毂和主体风筒的形状为圆锥形。一般,气体沿轴向进入叶轮,而气体在叶轮中的流动方向则与轴线成某一角度,气体的流动具有强烈的三维特征。混流式风机兼有离心式和轴流式风机的特点,其压强系数高于轴流式风机,而流量系数则比离心式风机高。

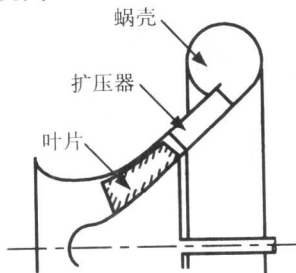
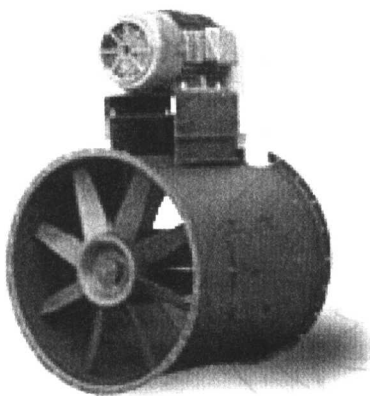
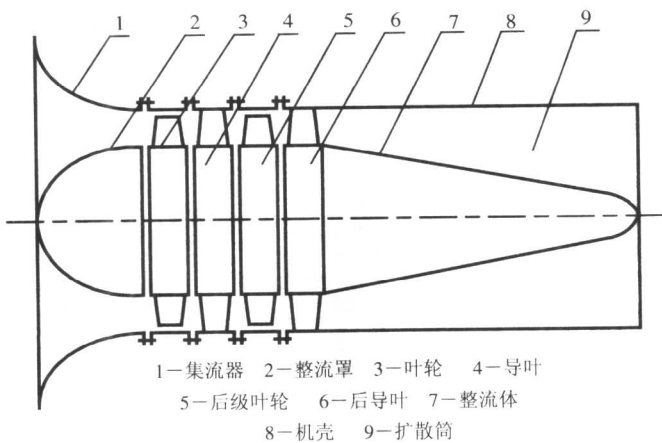


图 1.6 混流式

如图 1.7 所示,轴流式通风机由集流器 1、整流罩 2、叶轮 3、导叶 4、整流体 7、机壳 8 等部分组成,整流体和机壳形成扩散风筒。根据所需要的压强,分为单级和多级式(图 1.7(b))。多级轴流通风机上还有后级叶轮 5 和后导叶 6。在轴流式通风机中,流体质点基本上沿着以转动轴线为中心的圆柱面或圆锥面流动。在同一流面上,叶轮进口和出口处的圆周速度基本相同,其压强升主要是由扩压而产生,因此,轴流式通风机的压强升比离心式低。由于轴流式通风机叶片根部的圆周速度较小,不可能产生很大的压强升,这也限制了其单级压强升的提高,因为尽管叶片端部可以产生较高的压强升,但如果叶片端部和根部之间的压强升差别过大,在根部会发生回流而影响性能。另外,当流量变化时,叶片端部和根部的过流情况也随之改变,因而轴流式通风机的最高效率也比离心式低。但是,由于轴流式通风机叶轮的进口断面面积较相同外径的离心式叶轮为大,所以过流能力较大。由此可知,轴流式通风机一般用在低压强升大流量的场合。



(a) 轴流式通风机



(b) 多级轴流式通风机剖面图

图 1.7 轴流式

图 1.8 所示为横流式风机的工作原理示意图, 过流部分由叶轮、蜗壳和隔舌组成, 叶片采用不扭曲的二元前弯叶片。当不带壳体的叶轮在流体中开始转动时, 由于离心力的作用, 叶轮内的气体被向外排出, 在叶轮中心部分形成低压区。低压达到一定程度后, 叶轮外的气体在叶轮的部分区域开始回流, 并形成横穿叶轮的流动, 即流体从叶轮的一部分区域流入而从另一部分区域流出, 同时在流入流出区域的相间处产生中心不在叶轮旋转中心的偏心漩涡。偏心漩涡的中心位置沿着圆周向叶轮旋转的方向缓慢地移动, 从而导致气体的流入、流出方向也不断地改变。当在叶轮外配置不对称的蜗壳以后, 漩涡中心的位置被固定在隔舌附近, 流动方向也稳定下来, 这样就构成了可供实用的横流式气体输送机械。若使流体从相反的方向流入, 带动叶轮转动以输出动力, 这就成为了横流式流体动力机械。

喷射式风机主要由喷嘴、吸入室、混合室和扩散管等部分组成, 如图 1.9 所示。高压流体(工作流体)通过喷嘴加速喷出时, 由于湍流粘性应力的作用, 将喷嘴附近的气体带走, 使那里形成真空, 吸入管内的气体被吸入, 在混合室内与射流混合并进行能量交换, 能量趋于一致的混合流体进入扩散管后将大部分动能转换为压强能。由于是通过两种速度不同的流体混合来传递能量, 故射流风机的损失较大, 最高效率约为 30%~40%。不过, 因为此种风机结构简单, 工作可靠, 使用方便, 所以被广泛用于高温、高压等特殊工作条件下。

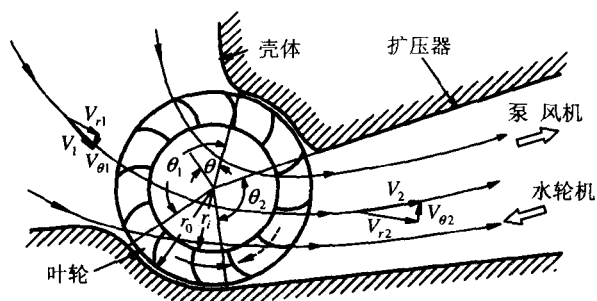


图 1.8 横流式

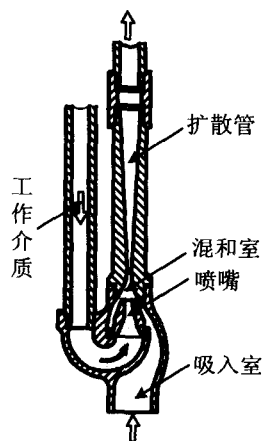


图 1.9 喷射式

本书主要介绍叶片式风机中离心式和轴流式通风机和压缩机的原理及气动设计, 在此基础上读者不难了解其他类型风机和压缩机的原理和气动设计。

2. 按产生的压强高低分类

根据排气压强(以绝对压强计算)的高低, 输送气体的机械可分为

通风机, 排气压强低于 $11.27 \times 10^4 \text{ Pa}$;

鼓风机, 排气压强在 $(11.27 \sim 34.3) \times 10^4 \text{ Pa}$;

压缩机, 排气压强高于 $34.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

注: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

1.1.2 风机和压缩机的应用

风机和压缩机广泛地应用在国民经济的各个领域和人们的日常生活中。在家庭中,广泛使用的电风扇和吹风机属于通风机;空调机和电冰箱中使用制冷压缩机和冷却风扇。

空调制冷系统的压缩机要求尺寸小、重量轻、密封性好、制冷量大、噪声小、抗震性好,且在不同的运行工况下都能正常工作。常用的制冷压缩机类型主要有以下几种。

斜盘式压缩机:斜盘式压缩机又分单向和双向两种,气缸数一般有5, 6, 10等几种,斜盘的运动使进入气缸的润滑油飞溅到各润滑部位,高速时容积效率低。

旋转滑片式压缩机:滑片式压缩机的气缸有圆柱面和椭圆面两种,前者的转子在气缸内偏心配置;后者同心配置。滑片安装在转子上的纵向凹槽内,转子旋转时通过离心力使滑片紧贴气缸壁,故低速时容积效率高。这种压缩机结构简单,成本低。

滚动活塞式压缩机:压缩机的滚动活塞装在曲轴上,自转的同时绕气缸中心线公转,转子与气缸的接触点转到进口处时开始吸气,到下侧时停止吸气,转子旋转,容积减少,气压增高,高于排气压强时排气。这种压缩机易损件较少、寿命长。

汪克尔式(Wangkel)压缩机:又称摆线式压缩机,于1962年由德国的Borsig公司生产。它的气缸型线为双弧外摆线,转子为三顶点内包络线,两者同一方向旋转改变基元容积大小。该压缩机采用接触式密封,可靠性和稳定性高,但高速时容积效率较低。

螺杆式压缩机:靠气缸内螺杆的回转造成螺旋状齿型空间的容积变化来完成气体的压缩过程。为适应车用空调小而轻的要求,螺杆式压缩机需要向小型化发展,但存在相对泄漏量大、相对喷油量多、动力损失大、对轴承的要求较高等问题,必须进一步提高压缩机的性能。

涡旋式压缩机:是用于车辆空调系统较为理想的一种容积式压缩机,近年来备受重视而发展迅速。涡旋压缩机的动涡旋盘借助曲轴机构绕静涡旋盘转动,两者之间形成月牙腔。压缩机工作时,静涡旋盘外侧的进气口引入气体封闭于月牙腔内,气体在向中心运动过程中容积减小,压强提高,最后通过静涡旋盘轴向中心孔排出。

以下举例说明风机和压缩机在国民经济主要工业部门中的应用。

在煤炭工业和矿山工业中,通风机用于矿井中的通风,又叫作主扇和局扇。在冶金工业中,鼓风机为高炉和各种冶炼设备提供氧气或空气。

在石油天然气工业的气举法开采原油中,压缩机是关键设备。用高压压缩机,将天然气加压注入油层夹管和油管的环形空间,再使油气混合物沿油管举升到地面。为了更有效、更容易地使油气混合物举升到地面,必须提高加注天然气的压强,因此活塞式压缩机和透平压缩机是比较合适的压缩机械。

随着石油化工和化工工业的发展,压缩机被广泛用来压缩和输送石油化工和化工生产过程中的气体。近20年来,由于离心压缩机技术和水平的不断提高,离心压缩机已经成为石油化工和化工生产过程中应用最广泛的压缩机。下面介绍最具代表性的30万t/a乙烯装置中的3种压缩机以及大化肥装置的5种压缩机。

乙烯装置中的离心压缩机:乙烯是衡量一个国家石油化工工业发展水平的重要标志,是生产石化产品中最基础的原料,因此乙烯装置在石油化工中具有特别重要的地位。与乙烯装置配套的简称为三机的压缩机,包括裂解气压缩机、丙烯压缩机和乙烯压缩机。

由美国Dresser-Rand和日本三菱重工合营的MHIDresser-Rand公司是我国乃至全球乙

烯用压缩机最大的供应商。此外，意大利的新比隆公司、德国的伍德公司和德马格公司、丹麦的诺文科公司以及日本日立制作所等也都是世界上著名的压缩机制造商，我国的沈阳鼓风机厂基本上代表了我国离心压缩机的技术水平。目前，我国现有的乙烯装置配套的三机基本上都是引进的，如目前已投产的 30 万 t/a 乙烯装置中的 3 种压缩机基本上都是从 MHIDresser-Rand 公司引进的，其基本参数如表 1.1 所示。

大化肥装置中应用的离心压缩机包括原料气压缩机、空气压缩机、合成气压缩机、氨压缩机和二氧化碳压缩机。表 1.2 表示大化肥装置中的 5 种压缩机的基本参数。图 1.10 所示为一种离心式压缩机的外形图。

表 1.1 乙烯装置中的 3 种压缩机的基本参数

压缩机	型号	级数	介质	进口 流量 /(m ³ /h)	进口 温度 /℃	进口 压强 /MPa	出口 压强 /MPa	转速 /(r/min)	总功率 /kW
裂解气 压缩机	低压缸	4M9-5	裂解气	95 509	40	0.135	0.579	5 105	17 606
	中压缸	4M3		22 003	38	0.539	1.133		
	高压缸	3M10-8		12 037	40	1.023	3.793		
丙烯压缩机	4M-9	9	丙烯气	14 888	-40	0.133	1.706	4 638	13 792
乙烯压缩机	4M-7	7	乙炔气	7 229	-101	0.109	1.873	9 777	2 368

表 1.2 大化肥装置中的 5 种压缩机的基本参数

压缩机	型号	级数	介质	进口 流量 /(m ³ /h)	进口 温度 ℃	进口 压强 /MPa	出口 压强 /MPa	转速 /(r/min)	总功率 /kW
空气压缩机	低压缸	5CK57	空气	54 080	162	0.0913	0.634	6 600	7 983
	高压缸	7CK31		7 935	169	0.599	3.691	10 700	
原料气压缩机	低压缸	9C26	原料气	8 878	32.22	0.431	1.472	10 800	4 075
	高压缸	9B26		2 750	43.33	1.423	4.493	10 800	
合成气压缩机	低压缸	2BC9	合成气	6 359	37.78	2.573	6.510	10 372	16 868
	高压缸	2BF9-8		2 346	7.78	6.370	15.292	10 372	
氨压缩机	低压缸	4C57	氨气	34 715	-32.2	0.101	0.330	6 700	9 165
	高压缸	7CK45		26 011	30.7	0.327	1.898	8 900	
二氧化碳 压缩机	低压缸	2MCL607	二氧 化碳	27 636	40	0.96	2.1	7 200	7 210
	高压缸	2BCL306/A		27 636	42	2.05	14.4	13 900	

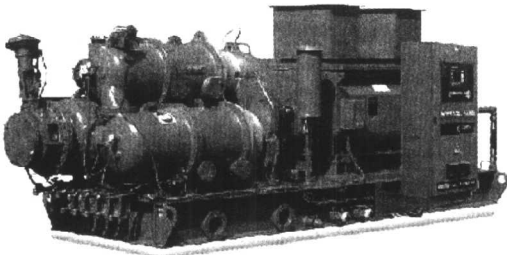


图 1.10 离心式压缩机外形图

在航空工程中,空气喷气发动机是目前飞机上用的主要航空发动机,在形式上它可以分为无压缩机的空气喷气发动机和燃气涡轮发动机两种。前者可分为超音速冲压式发动机和高超音速冲压式发动机,后者可分为涡轮喷气发动机、加力式涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、加力式涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机。在燃气涡轮发动机中就用到压缩机。

图 1.11 是燃气涡轮发动机的示意图。涡轮喷气发动机是以空气作为介质的,空气通过进气道进入压缩机进行压缩提高压强,从压缩机流出的高压空气在燃烧室与喷入的燃料混合燃烧,形成很大能量的高温高压燃气,进入涡轮膨胀并部分变为机械能带动压缩机旋转,从涡轮流出的高温高压燃气在尾喷管继续膨胀,并沿发动机轴向以高速从喷口向外喷出,从而使发动机获得反作用推力。在燃气涡轮发动机中,压缩机和涡轮都是由旋转的和静止的叶片组成,压缩机的作用是提高流过它的空气总压。

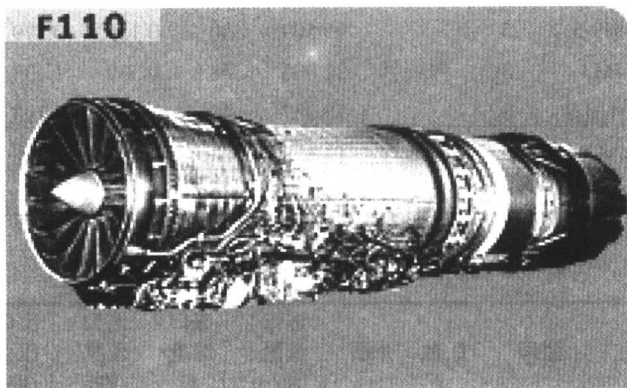


图 1.11 燃气涡轮发动机

以柴油作为主要燃料的柴油机动力装置是目前使用较为广泛的且具有较高经济性能的动力推进装置,在柴油机装置中就用到压缩机。压缩空气系统中有空气压缩机,用来启动主机和发电机组及其他需要压缩空气的设备。

船用和车用发动机已广泛采用增压技术来改善发动机性能,提高发动机动力性、经济性和降低废气排放。因为在车用发动机中使用涡轮增压器能有效地提高发动机的平均有效压强,从而大幅度提高了发动机的比功率和燃油经济性;同时又能降低废气和噪声中的有害成分;并随着技术的发展,在改善发动机的扭矩特性、提高发动机的低速性能和加速响应特性等方面也发挥了重要的作用。车用发动机涡轮增压器主要由压气机部分、涡轮部分、中间部分组成。车用发动机涡轮增压器要求整体结构尺寸小、重量轻、效率高、可工作范围广、寿命长以及成本低,这就使得结构形式上有其特殊性。压缩机一般为径流离心式,由进口段、叶轮、扩压器和集气器组成。进口段设计成圆柱形,有的还装有导向叶片;叶轮选用摩擦损失和流动阻力较小、结构又较简单的半开式,普遍采用径向叶片,目前在小型增压器中已开始并越来越多地采用前倾后弯叶片以提高效率,扩大流量范围;扩压器多采用无叶扩压器,虽最高效率较低,但随流量变化平稳,能适应较宽的流量范围;集气器的形状为蜗壳状或等截面状,视增压器在发动机中的位置和进气管数目而定。图 1.12 所示为离心式压缩机叶轮。