

离心式与轴流式通风机

《离心式与轴流式通风机》编写组

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是在总结电力工业生产实践经验和收集有关资料的基础上编写的。全书共分八章，主要内容包括离心式与轴流式通风机的基础理论、设计计算、制造安装、运行维修、试验调整、设备改造和噪声控制等。

本书可供电力、冶金、纺织、化工、煤炭等工业部门从事风机工作的技术人员和具有高中以上文化程度的工人阅读，也可供大专院校师生参考。

离心式与轴流式通风机

《离心式与轴流式通风机》编写组

(根据电力工业出版社1980年版本重印)

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13 $\frac{1}{2}$ 印张 301千字

1980年6月第一版

1983年2月新一版 1983年2月北京第一次印刷

印数 0001—5850册 定价 1.10元

书号 15143·5089

前 言

为了适应我国工业的发展,满足广大从事风机工作的技术人员和工人的需要,为加速实现四个现代化贡献力量,我们编写了《离心式与轴流式通风机》一书。

全书共分八章,着重介绍离心式与轴流式通风机的概况、原理、设计、制造、安装、试验、运行、事故处理、设备改进和噪声控制等。全书有插图 150 余幅。此外,在附录中还汇编了部分常用风机的空气动力略图等资料。

本书在内容编排上,力求满足生产实际需要,并重视了理论基础的介绍;对目前通风机存在的问题进行了剖析并提出了改进措施。为便于工人自学,书中文字力求通俗易懂。

本书可供电力、冶金、纺织、化工、煤炭等工业部门从事风机工作的技术人员和具有高中以上文化程度的工人阅读,也可供大专院校师生参考。

本书初稿是由山东南定热电厂、山东电力修造厂、淮南电厂联合编写的,并由山东省电力科学研究试验所林精华同志初审。在修改初稿的基础上,召开了审稿会进行审稿,会后又作了进一步的修改和补充,最后由山东南定热电厂张选清同志、安徽省电力试验研究所许德与同志定稿,并经山东工学院张孟珠同志审阅。在编写过程中,曾得到许多制造部门、科研单位和有关电厂的热情支持和大力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,实践经验不足,书中难免有错误和缺点,热诚希望读者批评指正。

《离心式与轴流式通风机》编写组

1979年10月

目 录

前 言

第一章 离心通风机的概述	1
第一节 风机的用途	1
第二节 风机的分类	1
一、按介质在风机内部流动方向分类 二、按风机产生的压力大小分类 三、按叶片出口角分类	
第三节 风机的结构形式	2
一、进气方式不同的结构形式 二、旋转方向不同的结构形式 三、出风口位置不同的结构形式 四、传动方式不同的结构形式 五、叶轮的结构形式	
第四节 风机的命名	6
一、名称 二、型号 三、机号	
第五节 风机有关名称、常用术语及符号说明	8
一、大气标准状态 二、风机进口的标准状态 三、风机制造厂的设计工况 四、风机的流量及压力 五、常用参数的名称、符号及说明	
第二章 离心风机的工作原理及其性能	10
第一节 风机的工作概况	10
第二节 气体在叶轮中的运动及速度三角形	10
第三节 风机的基本方程式	11
第四节 风机的能量损失和效率	16
一、能量损失 二、效率与功率	
第五节 风机的性能曲线和叶片出口角分析	20
一、无限多叶片时风机的性能曲线 二、叶片出口角分析 三、叶片数目有限和水力损失对风机性能曲线的影响 四、风机的实际性能曲线	
第六节 相似理论在风机中的应用	28
一、相似理论简介 二、风机相似准则的推导 三、无因次特性参数和特性曲线 四、相似风机各参数间的关系 五、离心风机的选择曲线 六、比转数 n_s	
第七节 风机的结构对其性能的影响	37
一、叶片数的影响 二、叶片出口角的影响 三、叶轮宽度的影响 四、集流器的影响 五、进风箱的影响 六、进口间隙的影响 七、机壳、舌和扩压器的影响	
第三章 离心通风机的设计与计算	42
第一节 风机的设计方法及合理选择风机的工作点	42
一、风机的设计方法 二、合理选择风机的工作点	
第二节 设计参数的选择与计算	44
一、选型前要搜集的原始资料 二、设计参数的选择与计算 三、风机的选型 四、选型实例	
第三节 风机的变型设计	51
一、变型设计方法 二、叶轮变型后的流量系数 三、改变叶片出口角 四、送风机变型设计实例	
第四节 风机设计的理论计算	54
第五节 高压风机计算的修正方法	59

第四章 离心通风机的强度计算	62
第一节 轮盘的强度计算	62
第二节 叶片的强度计算	67
一、机翼型叶片的强度计算 二、平板型叶片的强度计算 三、圆弧型宽叶片的强度计算 四、叶片强度计算的其它问题	
第三节 轴的强度计算	70
第四节 轴的临界转速计算	72
第五节 选用轮毂材料的计算	74
第六节 轮毂的铆孔带和铆钉的强度计算	75
一、铆孔带的强度计算 二、铆钉的强度核算	
第七节 启动状态验算	75
一、叶轮的飞轮力矩及计算 二、启动时间计算 三、电动机转子温度的核算 四、电动机定子温度的近似核算	
第八节 轴承的校核计算	79
一、滑动轴承计算 二、滚动轴承计算	
第五章 离心通风机的制造、安装、运行、维护、改进及防磨措施	81
第一节 风机的制造与安装	81
一、制造与安装质量 二、安装技术要求 三、制作风机用钢材的选用	
第二节 风机的运行、维护及故障处理	84
一、风机的运行和检修 二、风机的节电及提高出力的方法 三、风机常见的故障 四、风机故障的处理	
第三节 提高风机运行的经济性	87
一、低效率风机改为高效率风机 二、合理选用参数 三、保证并列运行的风机在经济工况下运行 四、降低管路系统的阻力 五、改变风机的转速 六、改变风机的几何尺寸 七、正确安装导向器 八、改善风机的运行条件 九、改善风机的调节性能	
第四节 风机防磨、防振、防积灰的措施	98
一、影响引风机磨损和积灰的主要因素 二、防止和消除风机磨损的主要方法	
第六章 轴流通风机	104
第一节 概述	104
第二节 风机叶片的常用术语及其意义	106
第三节 风机的工作原理	107
一、欧拉方程式 二、沿叶片高度气流压力和速度的分布 三、风机的基本类型和速度三角形 四、机翼理论	
第四节 风机孤立翼型法设计计算	118
一、设计步骤和方法 二、叶轮设计计算举例 三、导流部分的计算 四、扩散筒	
第五节 风机叶栅法设计计算	130
一、设计程序和计算公式 二、举例	
第六节 风机的性能特点	135
一、性能曲线 二、旋转脱流 三、喘振 四、旋转脱流与喘振的关系	
第七节 风机的调节及安全运行	140
一、风机的调节 二、风机的安全运行	
第八节 子午加速轴流通风机	146
第九节 风机叶轮的强度计算	150
第七章 通风机的试验	153
第一节 试验目的与准备工作	153
一、试验目的 二、准备工作 三、测点的选择 四、转速的测定 五、测量仪表	

第二节 试验方法.....	159
一、全特性试验 二、运行试验 三、导向器开度试验 四、烟、风道阻力试验 五、风机试验注意 事项	
第八章 通风机的噪声	168
第一节 噪声的基本概念.....	168
一、噪声的物理评价 二、噪声的频谱 三、噪声的主观评价 四、噪声的允许标准	
第二节 风机噪声的形成.....	172
第三节 风机噪声的控制.....	174
一、控制风机噪声的主要措施 二、消声器	
附 录	180

第一章 离心通风机的概述

第一节 风机的用途

风机是输送气体的设备，它在国民经济各部门应用十分广泛。随着我国工农业生产不断发展，对风机的要求越来越高。目前国内的通风机，基本上都有系列产品供使用部门选用。例如，锅炉用通风机是锅炉机组配套辅机。它对于锅炉机组的安全经济运行有着极为重要的作用。锅炉通风机有两种：一种是向锅炉内输送空气的，叫做锅炉送风机，输送的是常温下的空气；另一种是从锅炉内抽吸烟气用的，叫做锅炉引风机，输送的是温度为 $70\sim 250^{\circ}\text{C}$ 的烟气。目前我国生产的4-73型锅炉送风机和锅炉引风机系列有各种不同的机号，最大的叶轮直径在3米以上。

锅炉制粉系统中的排粉风机，一般都是离心式。它的用途有两种：一种是用在储仓式制粉系统中，布置在旋风分离器的后面，这种排粉风机吸送制粉系统的干燥剂到锅炉炉膛，干燥剂内含煤粉很少，因此磨损较轻，但叶轮圆周速度较大，要求叶轮有足够的强度；另一种是用在直吹式制粉系统中，直接吹送含煤粉浓度很高的介质，因此，对叶轮和机壳有较大的磨损，要求这种排粉风机能耐磨损。

第二节 风机的分类

从能量转换的观点来看，风机是把原动机的机械能转变为气体的动能和压力能的一种机械。根据工农业生产的需要，风机有各种各样的形式。根据作用原理，一般可分为离心式、轴流式、往复式、回转式等。目前我国电厂中用得最多的是离心式，因为它具有效率高、流量大、输出流量均匀、结构简单、操作方便、噪音小等优点。

风机的分类方法不一，习惯上有下面几种分类方法：

一、按介质在风机内部流动

方向分类

分为离心、轴流及混流通风机。

离心通风机的特征是：介质沿着轴向进入，而在叶轮内沿着径向流动，如图1-1所示。

轴流通风机的特征是：介质沿着轴向进入，在叶轮后也沿着轴向流动，如图1-2所示。

混流通风机的特征是：介质沿着斜向流动，如图1-3所示。它是属于轴流式与离心式两者之间的形式。

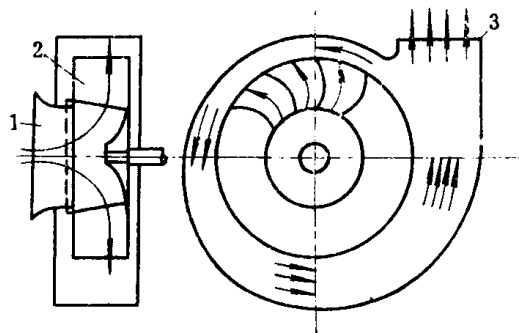


图 1-1 离心通风机示意图

1—集流器； 2—叶轮； 3—机壳

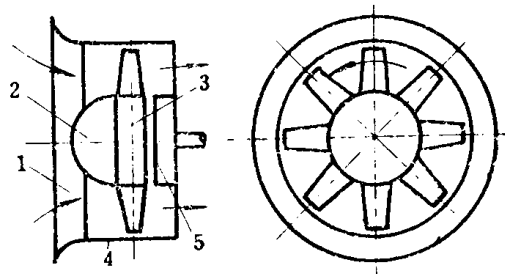


图 1-2 轴流通风机示意图

1—集流器； 2—整流罩；
3—叶轮； 4—机壳； 5—后整流罩

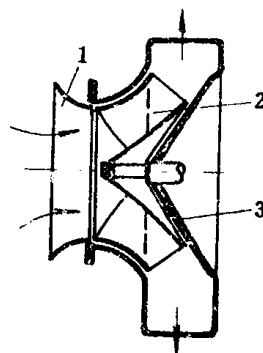


图 1-3 混流通风机示意图

1—集流器； 2—叶轮； 3—机壳

火力发电厂中应用最多的是离心通风机，但近年来由于大容量机组不断增加，轴流通风机在大容量机组中也逐渐获得应用。

二、按风机产生的压力大小分类

可分为低压、中压和高压风机。

低压风机 全压值小于或等于100毫米水柱。

中压风机 全压值大于100小于300毫米水柱。

高压风机 全压值大于300小于1500毫米水柱。

三、按叶片出口角^①分类

可分为后弯（后向）式、径向式和前弯（前向）式风机，如图1-4所示。

后弯式风机 叶片出口角 $\beta_2 < 90^\circ$ 。

径向式风机 叶片出口角 $\beta_2 = 90^\circ$ 。

前弯式风机 叶片出口角 $\beta_2 > 90^\circ$ 。

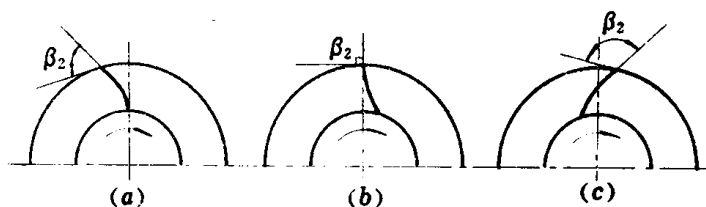


图 1-4 按叶片出口角分类的风机类型

(a) 后弯式； (b) 径向式； (c) 前弯式

第三节 风机的结构形式

离心通风机结构简单，制造方便。叶轮和机壳一般都用钢板制成，通常采用焊接结构，有时也用铆接。图1-5是一台离心通风机的结构示意图。

① 叶片出口角即叶片出口装置角，也有用 $(180^\circ - \beta_2)$ 角表示的，与本书的定义互为补角关系。

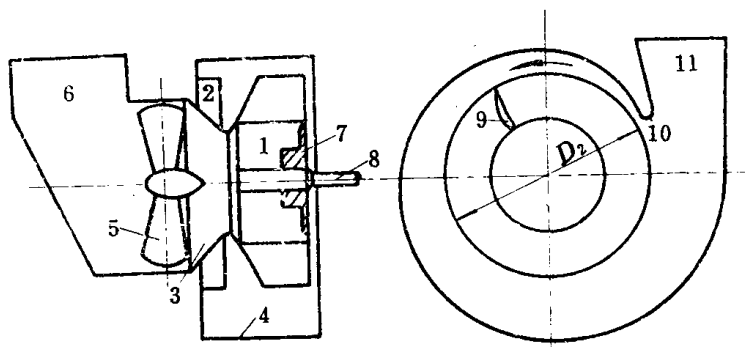


图 1-5 离心通风机结构示意图

1—叶轮； 2—稳压器； 3—集流器； 4—机壳；
5—调节器； 6—进风箱； 7—轮毂； 8—主轴；
9—叶片； 10—舌； 11—扩散器

(1) 叶轮（风轮、工作轮） 是风机产生压头传递能量的主要构件，由前盘，叶片和后盘组成。叶轮的宽度一般小于 $0.45D_2$ 。

(2) 整流器（稳流器、稳压器、扩压环） 是为了减少机壳内涡流损失、入口区的压力差和漏泄，起稳定气流的作用。

(3) 集流器（喇叭口） 在损失最小的情况下，将气体均匀导入叶轮。

(4) 机壳（蜗壳） 是收集从叶轮出来的气体，引向排出口；同时将气流的部分动能转变为压力能。它大多采用矩形截面。

(5) 调节器（导流器、挡板） 通过调节开度，控制风量。

(6) 进风箱（耳子） 其横断面积与叶轮进口面积之比为 $1.75 \sim 2.0$ 适宜。进风箱与风机出口的夹角 90° 为最好， 180° 时最差。

(7) 轮毂（葫芦头、轴盘） 将叶轮固定于大轴上。

(8) 大轴 传递轴功率。

(9) 叶片 将机械能转变为气体的能量。

(10) 舌（喉部） 影响效率和噪音。

(11) 扩散器（扩压器） 是为了在能量损失最小的情况下，将部分动能转变为压力能。它的扩散角一般小于 15° 。

一、进气方式不同的结构形式

离心通风机一般都是采用单级叶轮，单侧进气的结构，称为单吸通风机，用符号“1”表示。流量大的通风机叶轮有时做成双侧进气的，称为双吸通风机，用符号“0”表示。风压高的通风机也可做成两级串联的结构形式，用符号“2”表示。

二、旋转方向不同的结构形式

离心通风机可以做成右旋和左旋两种。从原动机一端正视，叶轮旋转为顺时针方向的，称为右旋，用“右”表示；叶轮旋转为逆时针方向的，称为左旋，用“左”表示。但必须注意，叶轮只能顺着机壳螺旋线的展开方向旋转，否则，叶轮出现反转时，流量会突然下降。

三、出风口位置不同的结构形式

离心通风机的出风口位置，根据使用的要求，可以做成向上、向下、水平向左、向右、各向倾斜等各种形式。为了方便起见，出风口往往做成可以自由转动的结构。一般情况下，风机制造厂规定八个基本出风口的位置，如图1-6所示。

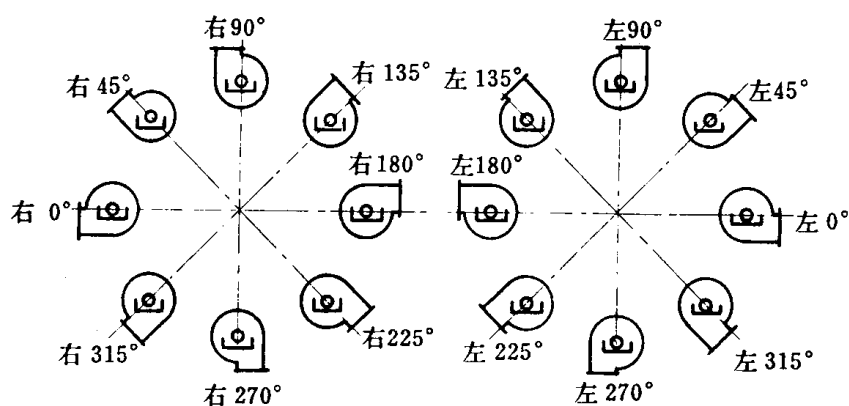


图 1-6 离心通风机八种出风口位置

四、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亦有多种。如果风机的转数和电动机的转数相同，对于机体较大的风机可以采用联轴器将风机和电动机直联的传动方式，结构简单、紧凑；对于机体较小、转子较轻的风机，则可以取消轴承和联轴器，将叶轮直接装在电动机轴上，结构更加简单、紧凑。如果风机的转数和电动机的转数不相同，则可以采用皮带轮的传动方式。

目前，风机制造厂把离心通风机的传动方式规定为六种形式，用汉语拼音字母表示（如图1-7所示）：

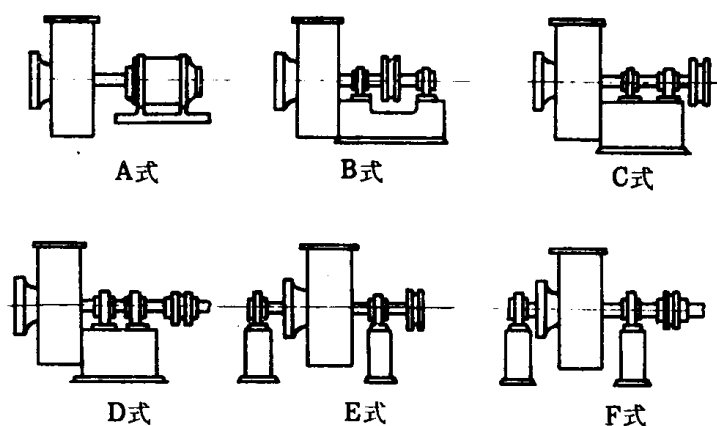


图 1-7 离心通风机六种传动方式

A式——无轴承箱，以电动机直接传动。

B式、C式——悬臂支承，皮带传动。B式的皮带轮在轴承之间。

D式——悬臂支承，以联轴器传动。

E式——双支承装置，皮带传动。

F式——双支承装置，联轴器传动。

五、叶轮的结构形式

叶轮是风机的主要部件。它的尺寸和几何形状对风机的性能有着重大的影响。离心通风机的叶轮由前盘、后盘、叶片和轮毂组成，用焊接和铆接均可。叶轮前盘的形式有平前盘、圆锥前盘和圆弧前盘等几种，如图 1-8 所示。平前盘制造简单，但对气流的流动有不良影响，效率较低。8-18型离心通风机就是采用这种平前盘。圆锥前盘和圆弧前盘叶轮虽然制造比较复杂，但效率和叶轮强度都比平前盘优越。4-72型和4-73型离心通风机都采用了圆弧前盘。

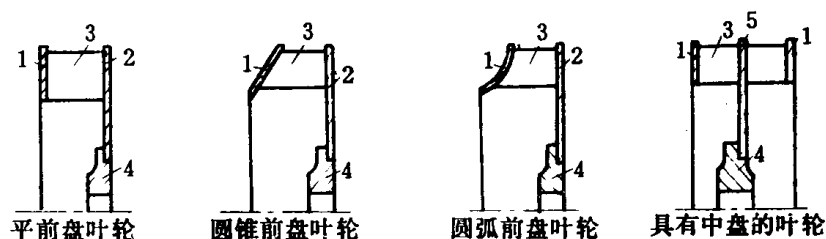


图 1-8 叶轮的结构形式

1—前盘； 2—后盘； 3—叶片； 4—轮毂； 5—中盘

双吸离心通风机的叶轮是两侧各有一个相同的前盘，中间有一个公用的中盘，而中盘铆在轮毂上。

叶片是叶轮最主要的部分，它对于风机的工作有很大的影响，特别是叶片出口角和叶片形状。

(一) 叶片出口角

离心通风机的叶轮，根据叶片出口角的不同，可分为前弯、径向和后弯三种（见图 1-4）。在叶轮圆周速度相同的情况下，叶片出口角 β_2 越大，则所产生的压力越高。所以两台同样大小和同样转速的离心通风机，前弯叶轮的压力比后弯叶轮的壓力要高。但一般后弯叶轮的流动效率比前弯叶轮要好，所以在一般的情况下，使用后弯叶轮通风机的耗电量比前弯通风机要少。

(二) 叶片形状

离心通风机叶片形状有平板型、圆弧型和机翼型等几种，如图 1-9 所示。平板型叶片制造简单。机翼型叶片具有良好的空气动力性能，强度高，刚性大，风机的效率一般较高。如果将机翼型叶片的内部加上补强筋，还可以增强叶片的刚度。但机翼型叶片的缺点是输送含尘气流浓度高的介质时，叶片容易磨损，叶片磨穿后，杂质进入叶片内部，使叶轮失去平衡而产生振动。

前弯叶轮一般都采用圆弧型叶片。后弯叶轮中，对于大型风机多采用机翼型叶片。对于除尘器效率低的燃煤锅炉引风机可采用圆弧型或平板型叶片。当前，采用6-30和5-48等平板型叶片离心通风机的较多。



图 1-9 各种不同形状的叶片示意图

第四节 风 机 的 命 名

风机的叫法很多，很不一致。一般的说，作为吸气用的叫引风机、抽风机或吸风机。作为送风用的叫送风机、通风机、排风机或吹风机。凡产生压力在1500公斤/米²以下的，不论是作为吸风或送风之用，统称为通风机。压力在1500公斤/米²以上的，则称为鼓风机。

离心通风机有各种不同的几何参数，有前弯式，径向式和后弯式，有宽叶片和窄叶片的，有叶片多和叶片少的。不同的通风机，产生的压力高低和流量大小也不同。因此，很有必要将各种离心通风机用不同的名称来加以区别。

风机制造厂对各种风机的命名都有明确的规定，离心通风机命名的全称包括名称、型号、机号、传动方式、旋转方向、风口位置等六部分内容。风机的形式通常指型号和机号。风机的性能则指压力、流量、效率、主轴转速和功率。

一、名称

为了区别相同的型号而用途不同的风机，在型号前可冠以用途代号。例如锅炉引风机代号为Y，锅炉送风机代号为G。

二、型号

由三组数字组成。三组之间用短横线隔开。



1 组 2 组 3 组

第一组数字以全压系数 $\bar{H} = H / (\rho u^2)$ 乘于10，取整数值表示。

第二组数字表示比转数 n_s 化整后的整数值。有时后面也算出叶轮直径的分米数值。如 $62 * 3$ ，表示 $n_s = 62$ ，叶轮直径 $D = 3$ 分米 = 300毫米。

第三组数字是补充型号。“0”表示双吸，“1”表示单吸，“2”表示二级串联。有的还加注设计次序号。

三、机号

用风机叶轮直径的分米数表示，前冠以符号No，如No 14表示叶轮直径为14分米，即1400毫米。

传动方式、旋转方向及风口位置在第三节中已叙述过，不再重复。

【例 1】 G 4-73-11No.18D 右 90°

表示此风机为锅炉送风机, 在最高效率点的全压系数为 0.4, 比转数为 73, 单吸, 第一次设计, 第 18 号风机(即风机叶轮直径为 1800 毫米), 以弹性联轴器连接传动, 右旋方向, 风机出口角为 90°。

【例 2】 Y 9-35-02No.22D 左 90°

表示此风机为锅炉引风机, 在最高效率点的全压系数为 0.9, 比转数为 35, 双吸, 第二次设计, 第 22 号风机(即风机叶轮直径为 2200 毫米), 以弹性联轴器连接传动, 左旋方向, 风机出口角为 90°。

【例 3】 8-18-11No.5 A 右 0°

表示此风机为送风机, 风机全压系数为 0.8, 比转数为 18, 单吸, 全国风机行业联合第一次设计, 第五号风机(即叶轮直径为 500 毫米), 电动机直联传动, 右旋方向, 风机出口角为 0°。

旧的风机型号有很多表示方法, 现仅举目前还常用的五例:

【例 1】 9-37-2 型 18 (用无因次特性来表示)

9——表示全压系数 $\bar{H} \times 10$ 后的整数, 即 $\bar{H} = 0.9$;

37——叶片出口角 $\beta_2 = 37^\circ$;

2 型——双吸;

18——叶轮直径 $D = 18$ 分米 = 1800 毫米。

【例 2】 0.68-162° (用几何尺寸来表示)

0.68——叶轮进口直径和叶轮直径的比值;

162°——叶片出口角 $\beta_2 = 180^\circ - 162^\circ$ 。

【例 3】 u_4-76 (用无因次量来表示)

u ——表示离心式;

4——表示全压系数 $\bar{H} \times 10$ 后的整数, 即 $\bar{H} = 0.4$;

76——表示比转数 $n_s = 76$ 。

【例 4】 BM 50/1000 (用有因次量来表示)

BM——排粉机代号;

50——指流量为 50 千米³/时;

1000——指压头为 1000 毫米水柱。

还会见到字头 $u_u H$ 或 $u_u B$ 的, 它们的含义为:

u_u ——离心式;

H ——叶片后弯式;

B ——叶片前弯式。

【例 5】 厂家自定型号

如捷克 $\frac{\text{IDM } 2300/2 \text{ B}}{\text{形式 } D_2 \text{ 双吸}}; \frac{\text{DM } 1600/2 \text{ B}}{\text{形式 } D_2 \text{ 双吸}}; \frac{\text{DM } 1800}{\text{形式 } D_2}$ 。

又如东德 $\frac{\text{SDMK } 1450/2180}{\text{形式 转速 } D_2}; \frac{\text{H}_E \text{ } 1400/1700}{\text{形式 转速 } D_2}$ 。

第五节 风机有关名称、常用术语及符号说明

一、大气标准状态

指大气压力 p_a 为760毫米汞柱，大气温度 t 为 0°C ，大气相对湿度 φ 为50%，大气重度 γ 为1.293公斤/米³。它是国际上通用的大气标准状态。

二、风机进口的标准状态

指介质为空气，大气压力为760毫米汞柱，空气温度为 20°C ，空气相对湿度为50%，空气重度为1.2公斤/米³的状态。

三、风机制造厂的设计工况

锅炉离心送风机的设计工况为： $p_a=760$ 毫米汞柱， $t=20^\circ\text{C}$ ， $\gamma=1.2$ 公斤/米³。

锅炉离心引风机设计工况为： $p_a=760$ 毫米汞柱， $t=200^\circ\text{C}$ ， $\gamma=0.745$ 公斤/米³。

送风机工作温度必须小于 80°C ，引风机工作温度必须小于 250°C 。

四、风机的流量及压力

风机的流量指进风口的体积流量，以米³/秒或米³/时表示。

风机的压力指表压力，以毫米水柱或公斤/米²表示。

五、常用参数的名称、符号及说明

名 称	符 号	单 位	说 明
风 机 几 何 尺 寸			
叶 轮 外 径	D_2	米	叶片外缘直径
叶 轮 内 径	D_1	米	前盘上叶片内缘直径。 $\bar{D}_1 = \frac{D_1}{D_2} \times 100\%$
叶 轮 内 径	D_1'	米	后盘或中盘上叶片内缘直径。 $\bar{D}_1' = \frac{D_1'}{D_2} \times 100\%$
叶轮进口直径	D_0	米	前盘进风口直径。 $\bar{D}_0 = \frac{D_0}{D_2} \times 100\%$
叶轮圆盘外径	D_2'	米	后盘或中盘外缘直径
叶轮圆盘内径	D_e	米	后盘或中盘内孔直径
叶片进口宽度	b_1	米	D_1 处的叶片宽度。 $\bar{b}_1 = \frac{b_1}{D_2} \times 100\%$
叶片出口宽度	b_2	米	D_2 处的叶片宽度。 $\bar{b}_2 = \frac{b_2}{D_2} \times 100\%$
叶 片 数	z		叶轮的叶片数
叶片进口角	β_1	度	
叶片出口角	β_2	度	
叶 轮 面 积	F_2	米 ²	以 D_2 计算的圆面积， $F_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$
机壳张开度	A	米	机壳蜗形板出口端与叶轮外径间的距离。 $\bar{A} = \frac{A}{D_2} \times 100\%$
机壳宽度	B	米	机壳出口轴向的边长。 $\bar{B} = \frac{B}{D_2} \times 100\%$
机壳出口长度	C	米	机壳出口垂直于轴向的边长。 $\bar{C} = \frac{C}{D_2} \times 100\%$

名 称	符 号	单 位	说 明
-----	-----	-----	-----

气 体 状 态 参 数

大 气 压 力	p_a	毫米汞柱	当地大气压力。标准状态下 $p_a = p_0 = 760$ 毫米汞柱；1毫米汞柱 = 13.6毫米水柱
气 体 温 度	t	℃	系统内气体温度。风机进口温度 t_1 ；出口温度 t_2
气 体 重 度	γ	公斤/米 ³	系统内单位体积气体的重量。进风口气体重度 γ_1 ；出风口气体重度 γ_2 。 $\gamma_1 = 0.36\gamma_0 \left(p_a + \frac{H_{st1}}{13.6} \right) \cdot \frac{1}{273 + t_1}$ γ_0 为气体在 $p_0 = 760$ 毫米汞柱、 $t = 0$ ℃时的重度， $\gamma_0 = 1.293$ 公斤/米 ³
气 体 密 度	ρ	公斤·秒 ² /米 ⁴	系统内气体密度。进风口气体密度 ρ_1 ，出口气体密度 ρ_2 。 $\rho = \frac{\gamma}{g}$
重 力 加 速 度	g	米/秒 ²	$g = 9.81$

风 机 工 作 参 数

转 速	n	转/分	每分钟叶轮的转数
叶轮圆周速度	u_2	米/秒	叶轮外径 D_2 处的圆周速度， $u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$
秒 流 量	Q_s	米 ³ /秒	流过进风口的每秒流量，或 Q_{s1}
时 流 量	Q_h	米 ³ /小时	流过进风口的每小时流量，或 Q_{h1}
风 机 静 压	H_{st}	毫米水柱	风机出、进口静压差， $H_{st} = H_{st2} - H_{st1}$ 。进风口静压 H_{st1} ，出风口静压 H_{st2}
风 机 动 压	H_d	毫米水柱	风机出、进口动压差， $H_d = H_{d2} - H_{d1}$ 。进风口动压 $H_{d1} = \gamma_1 \cdot \frac{W_1^2}{2g}$ 出风口动压 $H_{d2} = \gamma_2 \cdot \frac{W_2^2}{2g}$ W 为风速
风 机 全 压	H	毫米水柱	风机所产生的全压力 $H = H_{st} + H_d$ 或 $H = H_2 - H_1$ 进风口全压 $H_1 = H_{st1} + H_{d1}$ 出风口全压 $H_2 = H_{st2} + H_{d2}$
	H_{20}	毫米水柱	H 折算至 $p_0 = 760$ 毫米汞柱， $t = 20$ ℃状态下的风机全压， $H_{20} = H \cdot \frac{1.2}{\gamma_1}$
轴 功 率	N	千瓦	风机主轴输入的功率

特 性 计 算 参 数

有 效 功 率	N_1	千瓦	风机对气体所作的有效功率 $N_1 = \frac{Q_s H}{102}$
风 机 效 率	η	%	即全压效率， $\eta = \frac{N_1}{N} = \frac{Q_s H}{102N}$
比 容 修 正 系 数	μ		对高压风机 ($H_{20} > 300$ 毫米水柱) 考虑气体绝热压缩的修正系数： $\mu = 1 - \frac{1}{2.8} \left(\frac{H_{st}}{13.6 p_a + H_{st1}} \right)$
风 量 系 数	$\bar{Q}$		或流量系数 $\bar{Q} = \frac{Q_s}{F_2 u_2}$
风 压 系 数	$\bar{H}$		或全压系数 $\bar{H} = \frac{H}{\rho_1 u_2^2}$
功 率 系 数	$\bar{N}$		或比功率 $\bar{N} = \frac{102N}{\rho_1 F_2^{\frac{1}{2}} u_2^3}$
比 转 数	n_s		$n_s = \frac{n Q_s^{\frac{1}{2}}}{H_{20}^{\frac{3}{4}}} = \frac{n}{\sqrt{\frac{H_{20}}{Q_s}} \sqrt{H_{20}}} \quad \text{或} \quad n_s = \frac{82}{\sqrt{\frac{H}{Q_s}} \sqrt{H}}$

第二章 离心通风机的的工作原理及其性能

第一节 风机的工作概况

离心通风机主要由机壳、叶轮(包括轮毂、叶片、前盘、后盘等)、轴和轴承等组成。当原动机(一般用电动机)带动叶轮转动时,由于叶轮的旋转,迫使叶轮中叶片之间的气体跟着旋转,因而产生了离心力。在离心力的作用下,这些气体被甩向机壳,并从风机出口排出,而在叶轮中央则形成负压。由于入口呈负压,使外界的气体在大气压力的作用下立即补入。由于叶轮不停地旋转,气体便不断地排出和补入,从而达到了风机连续输送气体的目的。

可见,离心通风机是一种借助叶轮带动气体旋转时产生离心力把能量传递给气体的机械。

第二节 气体在叶轮中的运动及速度三角形

在离心通风机中,气体先是沿着叶轮轴线方向进入叶轮,然后离开轴向而转向径向,并沿叶片流动。在这个流动过程中,风压和流速不断增大。所以,叶轮是气体接受能量的场所。下面就来重点研究气体在叶轮内的流动情况。

气体通过叶轮时的流动过程,用速度向量图解法来研究最为方便。由于速度向量图的形状呈三角形,所以称为速度三角形。

我们知道,气体在叶轮中的流动是一种复合运动,它可以分解为圆周运动和相对运动。

气体在叶轮作用下沿着圆周方向的运动,可以把气体质点看成好象固定在叶轮上随着叶轮一起转动的刚体一样。它的速度称为圆周速度,用 u 表示。 $u = r\omega$,其中 r 为半径, ω 为角速度,如图2-1a所示。

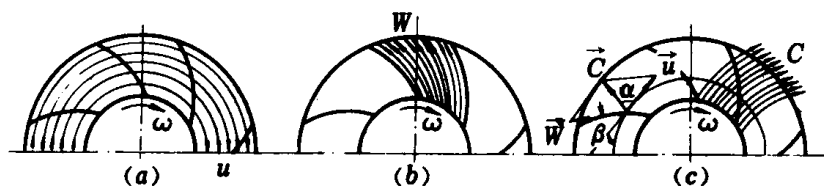


图 2-1 气体的圆周运动和相对运动

(a) 气体的圆周运动; (b) 气体的相对运动; (c) 气体的绝对运动
与气体在叶轮中任意一点的速度三角形

相对运动是指气体相对于叶轮的运动,如图2-1b所示。假设叶轮中的叶片是无限多的,这样气体的质点只能沿着叶片所确定的流道流动,每个质点的运动轨迹与叶片的型线一致,它的速度称为相对速度,用 W 表示。相对速度的方向就是相应点的叶片切线方向。

圆周运动和相对运动的合成称为绝对运动。绝对运动是气体相对于机壳等固定物体的运动，它的速度称为绝对速度，用 C 表示，如图2-1 c 所示。速度是向量，绝对速度 $\vec{C}$ 等于圆周速度 $\vec{u}$ 和相对速度 $\vec{W}$ 的向量和，即：

$$\vec{C} = \vec{u} + \vec{W} \quad (2-1)$$

用向量图表示的这个关系就是速度三角形。对叶轮上任何一点都可以画出速度三角形。不过，对于叶轮中的气体运动，主要是了解气体在叶轮进口和出口处的情况。因为从这两处的速度三角形可以比较气体经过叶轮后发生的速度变化，从而了解气体通过叶轮后所获得的能量。为了区别进口与出口的参数，用注脚 1 表示进口处参数，注脚 2 表示出口处的参数。

在速度三角形中，绝对速度 $\vec{C}$ 与圆周速度 $\vec{u}$ 的夹角用 α 表示，相对速度 $\vec{W}$ 与圆周速度 $\vec{u}$ 反方向的夹角用 β 表示。如上所述，在无限多叶片时相对速度的方向就是相应点的叶片切线方向，所以 $\vec{W}$ 与 $\vec{u}$ 反方向的夹角也就是叶片角 β 。借助三角形的余弦定理，可得出：

$$W_1^2 = C_1^2 + u_1^2 - 2 C_1 u_1 \cos \alpha_1 \quad (2-2)$$

$$W_2^2 = C_2^2 + u_2^2 - 2 C_2 u_2 \cos \alpha_2 \quad (2-3)$$

$$C_1^2 = u_1^2 + W_1^2 - 2 u_1 W_1 \cos \beta_1 \quad (2-4)$$

$$C_2^2 = u_2^2 + W_2^2 - 2 u_2 W_2 \cos \beta_2 \quad (2-5)$$

绝对速度 C 在圆周速度 u 上的投影用 C_u 来表示， $C_u = C \cos \alpha$ ；绝对速度 C 在径向的投影用 C_r 表示， $C_r = C \sin \alpha$ 。 β 角可从速度三角形求得：

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{C_{1r}}{u_1 - C_{1u}} \quad (2-6)$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{C_{2r}}{u_2 - C_{2u}} \quad (2-7)$$

第三节 风机的基本方程式

在理想条件下，叶轮传递给气体的能量全部转换为压头。风机理论压头的数学表达式称为风机的基本方程式，它是分析风机各种性能的基础。

在推导基本方程式之前，先假定介质是理想气体，叶轮中的叶片是无限多而且无限薄，也就是说气体在叶轮内是严格地沿着叶片流动，并且没有任何损失。基本方程式的推导，可以利用动量矩定理。从动量矩定理知道，物体对于回转轴的动量矩的变化率等于作用在物体上的外力对于同一回转轴的力矩。

假设气体充满于相邻两个叶片之间的空间(见图2-2)。在时间 $t = 0$ 时，它的所在位置是 $a b c d$ ，经过极短的时间间隔 dt 后，位置移到 $e f g h$ 。刚刚离开流道(即流出叶轮)的无限薄层气体为 $a b f e$ ，它的质量为 dm 。在相同的时间间隔 dt 内补充进入流道的气体质量为 $c d h g$ ，它的质量也等于 dm 。在这两片之间所包含的 $a b g h$ 部分气体，它的动量矩在 dt 时间内没有变化。所以，叶轮中两个叶片之间全部气流质量的动量矩变化率可以用流入质量 dm ($c d h g$) 和流出质量 dm ($a b f e$) 的动量矩变化率来代表。令外力矩为 T ，于是根据动量矩定理可以写出：