



空气冷却轴流通风机

哈尔滨空调股份有限公司

吴秉礼 高延福 编著

哈尔滨工业大学出版社

空气冷却轴流通风机

哈尔滨空调股份有限公司

吴秉礼 高延福 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍空冷风机的技术发展概况、主要特性、结构特点、设计选型、性能调节、噪声控制、测试方法及安装维护等内容,并较为详尽地叙述了空冷风机的气动设计、玻璃钢叶片结构设计以及产品系列群的开发设计等方面的问题。

本书可供从事空冷风机设计、空气冷却工艺的工程技术人员阅读,也可供电力、石油化工、冶金等部门在风机造型、运行维护等方面的技术管理人员查阅,亦可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

空气冷却轴流通风机/吴秉礼,高延福编著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2007.1

ISBN 978-7-5603-2450-0

I.空… II.①吴…②高… III.空气冷却-轴流
通风机-基本知识 IV.TH432.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162228 号

策划编辑 田 秋

责任编辑 费佳明

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂

开 本 850mm×1168mm 1/32 印张 10.25 字数 266 千字

版 次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2450-0

印 数 1~2 000 册

定 价 18.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

随着我国经济建设的发展,工业用水日趋增加。我国是水资源匮乏的国家,为了缓解水资源短缺的危急现状,节约用水的任务刻不容缓、迫在眉睫。

电力、石油化工、冶金等部门是耗水大户。现今,为了节省工业用水,这些部门均广泛采用循环冷却水系统。当前,最普遍应用的循环冷却水设备或是冷却塔或是空气冷却器。而这两种冷却设备都需配置低风压、大流量的螺旋桨式轴流通风机,即空气冷却轴流通风机,简称空冷风机。

空冷设备是工业上大量使用的专用设备。空冷风机是空冷设备的重要部件。在一定意义上说,空冷风机的水平反映了空冷设备的水平。然而,目前国内尚不见较为全面的论述空冷风机的专业书籍。为了弥补这方面的空白,作者编著了此书。

自20世纪80年代起始,作者一直从事哈尔滨空调股份有限公司(原哈尔滨空气调节机厂)的主产品空气冷却器的配套用轴流通风机的开发研究工作。20多年来,在空冷风机的设计、研发、选型等方面积累了有益的经验。本书正是在总结相关经验的基础上编写的。特别是在低风压、大流量轴流通风机的气动设计、玻璃钢叶片的结构设计、产品系列群的研发设计以及风机选型及噪声控制等方面,具有较强的针对性、实用性。

全书共分12章。第1章概述了空冷风机的应用及产品特点;第2章介绍了国内外空冷风机的技术发展水平与叶型特点;第3章从几何特性、运动特性和动力特性三个方面叙述了空冷风机的主要特性;第4章介绍了常用的翼型资料;第5章叙述了空冷风机的空气动力设计问题,介绍了孤立翼型的工程设计方法以及经改进的自由涡流法,它适用于小轮毂比的低风压、大流量轴流通风机的气动设计;第6章论述了空冷风机产品系列群的开发设计问题,

在轴流通风机实度效应法则的基础上论述了轴流通风机(亦即空冷风机)的渐进设计原理;第7章着重介绍空冷风机玻璃钢叶片的结构设计、制作工艺以及叶片的静强度计算方法;第8章介绍了空冷风机的性能调节;第9章在介绍噪声基本知识的基础上,叙述了空冷风机的噪声预测及其控制方法;第10章介绍了空冷风机的选型原则以及国内外典型空冷风机的选型方法;第11章从试验室条件下的模型机或样机的性能试验、空冷风机出厂试验以及现场标定试验等方面介绍了空冷风机的试验问题;第12章介绍了空冷风机的安装及使用维护。

本书第1章至第7章以及附录A的叶片设计图样的绘制,由吴秉礼完成;第8章至第12章以及附录B的工程项目简介主要由高延福编写。全书由胡振岭、刘万里主审。

本书是在哈尔滨空调股份有限公司胡振岭总经理和刘万里总工程师的大力关心和支持下完成的。该公司研发中心的工程技术人员,特别是中心试验室的工程师们为本书提供了不少信息资料,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,疏漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。

作 者
2006年9月

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 空冷风机的特点	1
1.2 空冷风机的应用	3
1.3 论述范围	4
第 2 章 国内外空冷风机技术水平与叶型特点	5
2.1 国 外	5
2.1.1 美国哈德森(Hudsen)风机	5
2.1.2 荷兰豪顿(Howdon)风机	8
2.1.3 意大利科菲姆科(Cofimco)风机	11
2.2 国 内	14
2.2.1 冷却塔轴流通风机	14
2.2.2 空冷器轴流通风机	15
2.2.3 隧道轴流通风机	17
第 3 章 空冷风机的主要特性	18
3.1 几何特性	18
3.1.1 直 径	18
3.1.2 轮毂比	18
3.1.3 叶片数	19
3.1.4 叶片剖面形状	19
3.1.5 叶片平面形状	19
3.1.6 叶片扭曲度	19
3.2 运动特性	20
3.3 动力特性	22
3.3.1 流 量	22
3.3.2 风 压	22

3.3.3	功 率	26
3.3.4	效 率	26
3.3.5	气动性能曲线	28
第 4 章	翼型资料	30
4.1	翼型的基础知识	30
4.1.1	翼型几何参数	30
4.1.2	翼型空气动力特性	33
4.2	常用翼型	43
4.2.1	平底翼型	43
4.2.2	双凸翼型	52
第 5 章	气动设计	63
5.1	气动设计的基本关系式	63
5.1.1	基本假设	63
5.1.2	两个基本参数的定义	64
5.1.3	气流流动的基本方程	65
5.1.4	叶剖面上的升力和阻力	67
5.1.5	绝对入口角和出口角	70
5.1.6	拉力和扭矩	71
5.1.7	小 结	73
5.2	气动设计方法	73
5.2.1	叶轮设计	75
5.2.2	后导叶设计	86
5.2.3	集流器设计	88
5.2.4	扩压器设计	90
5.3	关于效率的表达	100
5.3.1	风机级效率	100
5.3.2	装置效率	101
5.4	气动设计举例	101
5.5	自由涡流设计方法的一种改进	107
5.5.1	方法介绍	107

5.5.2	方法应用	109
第 6 章	构造产品系列群的设计方法	112
6.1	关于产品系列群	112
6.1.1	母系列的确立	113
6.1.2	子系列的生成	113
6.2	关于相似原理与相似设计	114
6.2.1	相似原理	114
6.2.2	性能的相似换算	116
6.2.3	相似设计方法步骤	117
6.3	关于实度效应	118
6.3.1	实度及其相似与转换	119
6.3.2	轴流通风机性能的实度换算	122
6.4	关于模化 - 模块化设计	139
6.4.1	模化设计	139
6.4.2	模块化设计	140
6.4.3	模化 - 模块化设计	141
6.4.4	应用实例	141
6.5	关于叶轮的组合设计	142
6.5.1	组合设计关联式	143
6.5.2	组合关联式的分析	145
6.5.3	应用举例	146
6.6	关于渐进设计方法	153
6.6.1	渐进设计法的构思	153
6.6.2	应用举例	155
第 7 章	玻璃钢叶片的结构设计	157
7.1	玻璃钢的基础知识	157
7.1.1	玻璃纤维及其织物的品种与性能	158
7.1.2	合成树脂品种与性能	165
7.1.3	玻璃钢的性能	171

7.1.4	玻璃钢成型工艺简述	179
7.2	玻璃钢叶片的特点	181
7.2.1	可设计性	181
7.2.2	易成型性	182
7.2.3	抗疲劳性	182
7.2.4	耐腐蚀性	183
7.2.5	易修补性	183
7.3	玻璃钢叶片的结构设计	183
7.3.1	结构设计特点	183
7.3.2	材料设计要点	184
7.3.3	结构设计的内容、原则与方法	186
7.4	叶片强度计算	198
7.4.1	概 述	198
7.4.2	叶片受力分析	199
7.4.3	叶片几何参数计算	201
7.4.4	叶片刚度计算	203
7.4.5	载荷计算	203
7.4.6	强度校核	205
7.4.7	变形计算	206
7.4.8	计算举例	211
第 8 章	空冷风机的性能调节	219
8.1	调角调节	219
8.1.1	停机手动调角	220
8.1.2	不停机机械调角	220
8.1.3	自动调角	220
8.1.4	自动调角风机力的平衡计算	223
8.2	调速调节	226
8.2.1	变极调速	226
8.2.2	变频调速	227
8.3	调节风机运行台数	228

8.4	百叶窗节流调节	228
8.5	调节方式的比较与选择	229
8.5.1	调角与调速比较	229
8.5.2	调角与百叶窗节流比较	231
8.5.3	调节方式的选择	231
第9章	空冷风机噪声控制与治理	233
9.1	噪声的基本知识	233
9.1.1	对噪声的评价	233
9.1.2	倍频程频率和 A 声级	234
9.1.3	噪声限值与适用范围	236
9.2	空冷风机的噪声与预测	237
9.2.1	主要噪声源	237
9.2.2	噪声预测关系式	238
9.2.3	噪声预测举例	242
9.3	空冷风机的噪声治理	245
9.3.1	降低噪声的工程方法	245
9.3.2	噪声治理的计算步骤	248
9.3.3	噪声治理举例	249
9.4	关于前掠式叶片	251
第10章	空冷风机的选型	252
10.1	空冷风机选型的基本要求	252
10.2	风机性能及其选型计算	254
10.2.1	国内 HK 型风机性能及其选型计算	254
10.2.2	美国 Hudson 风机性能及其选型计算	259
10.2.3	荷兰 Howdon 风机性能及其选型计算	267
第11章	空冷风机的试验	275
11.1	模型级性能试验	275
11.2	产品出厂试验	275
11.2.1	叶轮超速试验	276

11.2.2	整机运转试验	276
11.3	风机现场测试	279
11.3.1	风量的测量及计算	280
11.3.2	功率的测量	281
11.3.3	现场一个单元的噪声测定方法	282
第 12 章	空冷风机的安装、运行及维护	286
12.1	安装技术要求	286
12.2	风筒安装	287
12.3	传动系统安装	288
12.4	轮毂安装	288
12.5	叶片安装	289
12.5.1	叶片安装的注意事项	289
12.5.2	叶片安装步骤	291
12.6	风机运行	291
12.7	风机维护	292
附录 A	叶片设计图样的绘制	293
A.1	绘制前的技术准备	293
A.1.1	几何参数协调	293
A.1.2	过渡切面的修型	295
A.1.3	叶片几何参数表的推荐	297
A.1.4	设计参数与工艺参数的转换	299
A.2	叶片设计图样绘制方法与步骤	301
附录 B	工程项目应用简介	304
参考文献	317

第 1 章 概 述

风机是使用量大、应用面广的通用机械产品；风机是利用一个或多个装有叶片的叶轮的旋转与气体或空气的相互作用来压缩和输送气体或空气的流体机械；风机是透平压缩机、透平鼓风机和通风机的总称。

在进口压力和温度分别为 101.3 kPa 和 20℃，相对湿度为 50% 的标准空气条件下，全压小于等于 30 kPa 的风机称为通风机。

通风机主要有离心式和轴流式两大类。

在轴向剖面上，在叶轮中，气流沿着半径方向流动的通风机称为离心通风机。离心通风机为轴向进气，径向排气。

在轴向剖面上，气流在旋转叶片的流道中沿着轴线方向流动的通风机称为轴流通风机。轴流通风机为轴向进气和排气。

相比较而言，离心通风机压力大、流量小；轴流通风机压力小、流量大。

1.1 空冷风机的特点

1. 压力属性

GB/T 19075—2003 与 ISO 13349:1999 标准对通风机按压力分类做了详细而明确的规定或定义。标准指出：

低压通风机的压比低于 1.02，参考马赫数小于 0.15，当处理标准空气时，其压升小于 2 kPa。

中压通风机的压比大于 1.02 而小于 1.1，参考马赫数小于 0.15，对应压升为 2 kPa 至 10 kPa。

高压通风机的压比和压升大于上述值。

标准进一步规定,通风机叶轮依据其圆周速度将产生或高或低的压力,各类通风机在最高效率和最高转速时,其压力不得低于表 1.1 给定的值。

表 1.1 通风机按压力分类表

通风机名称	代码	单位质量功 $y/(kJ \cdot kg^{-1})$	最大压力 p_{max}/kPa (用于标准空气)	分类	注
低 压	L	$0 \leq y \leq 0.6$	$0 < p_{max} \leq 0.7$	0	忽略通风机内 空气密度的变化
		$0.6 < y \leq 0.83$	$0.7 < p_{max} \leq 1.0$	1	
		$0.83 < y \leq 1.33$	$1.0 < p_{max} \leq 1.6$	2	
		$1.33 < y \leq 1.67$	$1.6 < p_{max} \leq 2.0$	3	
中 压	M	$1.67 < y \leq 3.0$	$2.0 < p_{max} \leq 3.6$	4	通风机内空气 密度的变化忽略 与否取决于 所要求的精度
		$3.0 < y \leq 5.25$	$3.6 < p_{max} \leq 6.3$	5	
		$5.25 < y \leq 8.33$	$6.3 < p_{max} \leq 10$	6	
高 压	H	$8.33 < y \leq 13.33$	$10 < p_{max} \leq 16$	7	不可忽略通风 机内空气密度 的变化
		$13.33 < y \leq 18.67$	$16 < p_{max} \leq 22.4$	8	
		$18.67 < y \leq 25$	$22.4 < p_{max} \leq 30$	9	
透平压缩机		> 25	> 30		

从表 1.1 可知,空冷轴流通风机属低压通风机中的“0”类,即标准空气下的最大压力 $0 < p_{max} \leq 0.7 \text{ kPa}$ 。

2. 性能特点

就气动性能而言,空冷轴流通风机的最高全压效率通常应不低于 85%,最高静压效率一般可达 65%左右;且期望压力、效率随流量的变化平缓;不同安装角下最高效率点的连线(包络线)亦应是平顺的,从而扩大流量的经济工作范围。

就噪声特性而言,空冷轴流通风机应能满足不同的噪声要求,其单台风机的声压级应达到小于等于 85 dB(A)的不同层次的需要。

3. 结构特点

低风压、大流量的空冷轴流通风机大多选用单级叶轮的风机

级的型式。对于引风式空冷装置,在风机出口可设置扩压器,并有时采用对称翼型的后导叶。

叶轮由轮毂和叶片组成。中小型空冷风机的轮毂有的采用带袖的铸铁件;大、中型空冷风机的轮毂有的采用单板结构,有的采用双板结构。叶片大多选用玻璃纤维增强塑料(俗称玻璃钢)和挤压铝材制作,实心铸铝叶片已不多见。叶轮直径小于等于4.5 m时可采用直联(减速器电机)或胶带传动;叶轮直径大于等于4.7 m时,大多采用齿轮减速箱传动。

4. 运行特点

空冷轴流通风机大多长期连续运行,有的则需进行变工况调节。

作为现代轴流通风机,其性能的最佳调节方式主要是通过调整叶轮叶片的安装角度或调节叶轮工作转速实现,因此,空冷轴流通风机有调角风机和调速风机之分。当转速一定时,叶片安装角可以在停机时人工逐一调节或通过某种装置人工同步调节,亦可在不停机时通过某种装置同步自动调节。调节叶轮转速是在叶片安装角固定时,通过某种调速装置或分级或无级调速。自动调角或调速风机适于变工况条件下选用。

1.2 空冷风机的应用

低风压大流量的空冷轴流通风机在石油、化工、冶金、电力、交通运输以及大型宾馆商厦等部门得到广泛使用,主要应用于空冷器、湿式冷却塔、空冷气流冷凝器、换热器、空气调节和通风换气等。大致可分为4种类型。

(1) 冷却塔轴流通风机

冷却塔轴流通风机与机力通风冷却塔相配套使用。

(2) 空冷器轴流通风机

空冷器轴流通风机与石油、化工、冶金、火力发电等部门使用

的空气冷却器相配套,是空气冷却器的重要组成部分。

(3)射流轴流通风机

射流轴流通风机此类风机主要用于隧道运营通风换气,属低风压大流量的通风机范畴。

(4)通风换气用轴流通风机

通风换气用轴流通风机主要用于换热器、空气调节和一般用途的通风换气。

1.3 论述范围

本书讨论研究的对象为普通型式的低风压大流轴流通风机。由于子午加速或混流式轴流通风机叶片流道内存在径向流动,形成多变的轴向与径向流动,已超出本书的讨论范围。

本书论述的是低压轴流通风机空气动力性能的工程设计方法,重点讨论的是自由涡流方法的应用。书中同时叙述了改进的自由涡流法,以用于小轮毂比轴流通风机的设计。

在自由涡流法关系式的推导中,对气流的径向流动予以忽略,气体的压缩性不予考虑。本书所涉及的空气动力学的基础知识不予赘述,关于这方面内容的书籍已有很多,请读者自行参阅。

第 2 章 国内外空冷风机技术水平 与叶型特点

2.1 国 外

国外设计制造空冷轴流通风机的公司主要有:美国哈德森制造协会(Hudsen)、马利公司(Marley)和哈策尔公司(Hartzell);荷兰斯托克通风设备部(Stork)和豪顿公司(Howdon);意大利科菲姆科公司(Cofimco);日本世昌公司以及英国沃兹公司(Wodse)等^[1,2]。其中,哈德森制造协会和豪顿公司设计制造空冷轴流通风机的历史较长,国内引进的产品较多。科菲姆科公司是近 30 年发展起来的,其产品近年被国内新建电厂所引进。其他公司的产品曾被国内少数企业引进使用。据此,这里将着重剖析美国哈德森制造协会、荷兰豪顿公司和意大利科菲姆科公司的空冷轴流通风机技术发展水平及其叶型特点。

2.1.1 美国哈德森(Hudsen)风机

美国 Hudsen 制造协会于 1938 年在世界上首次设计制造出用于石化行业的空冷装置,与其配套的轴流通风机初始是 E 型(等弦长),后为 T 型(非等弦长)。在 T 型的基础,1960 年又相继推出 TB、TC、TW 型系列产品,并同时将其推广应用到冷却塔和隧道通风上^[3]。

哈德森 TB、TC、TW 的 T 型风机直径为 6 ~ 60 ft (1.83 ~ 18.3 m),叶片用环氧玻璃钢制作,叶片数在 4 ~ 12 之间变化。轮

轂有手动调角和自动调角之分。其中,自动调角风机只限于 14 ft (4.3 m) 以下使用;16 ft(4.9 m) 以上的风机均采用手动调角轮轂。在风机的一定直径范围内,轮轂是通用的,即 6 ~ 14 ft(1.83 ~ 4.3 m) 采用相同尺寸的轮轂,16 ~ 20 ft(4.9 ~ 6.1 m) 为一种轮轂,22 ~ 30 ft(6.7 ~ 9.1 m) 为另一种轮轂,因而轮轂规格大大减少,增强了通用性。哈德森风机的轮轂比是恒定的(0.3)。为此,风机上配置有挡风板,它不仅防止了叶根处的回流,并且通过变更挡风板的直径来确保恒定的轮轂比。

哈德森风机的性能由 5 ft(1.524 m) 的模型机在标准试验装置上测定并经性能的相似换算得到,最高全压效率为 85%,声压级噪声水平小于等于 85 dB(A)。

哈德森 TB、TC、TW 型风机的叶型特点如图 2.1、2.2、2.3 所示。需要指出的是,以往,人们常把叶型与翼型混为一谈。所谓轴流通风机的叶型为叶片的剖面形状(翼型)、平面形状(宽度分布)和扭曲规律(扭角分布)的总称或统称。严格地说,叶型尚应包括叶片长度(或轮轂比)、尖削比(叶片尖部宽度与根部宽度之比)等。翼型是指叶片径向的剖面形状,翼型在国际上是通用的并由设计者根据需要选定,而叶型是通过气动设计计算得到的。

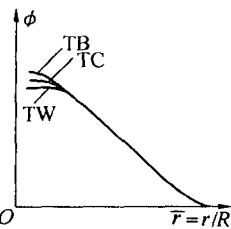
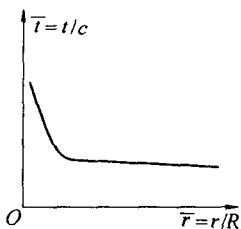
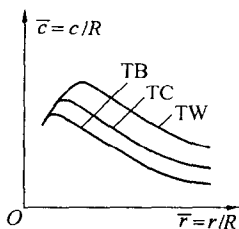


图 2.1 相对宽度分布

图 2.2 相对厚度分布

图 2.3 扭曲角度分布

从图 2.1 至图 2.3 看到:

①若 TB 型为标准宽度叶片,则 TC、TW 型分别为宽型、加宽型叶片,且彼此间的宽度成一定比例。3 种叶片除叶根因结构需要