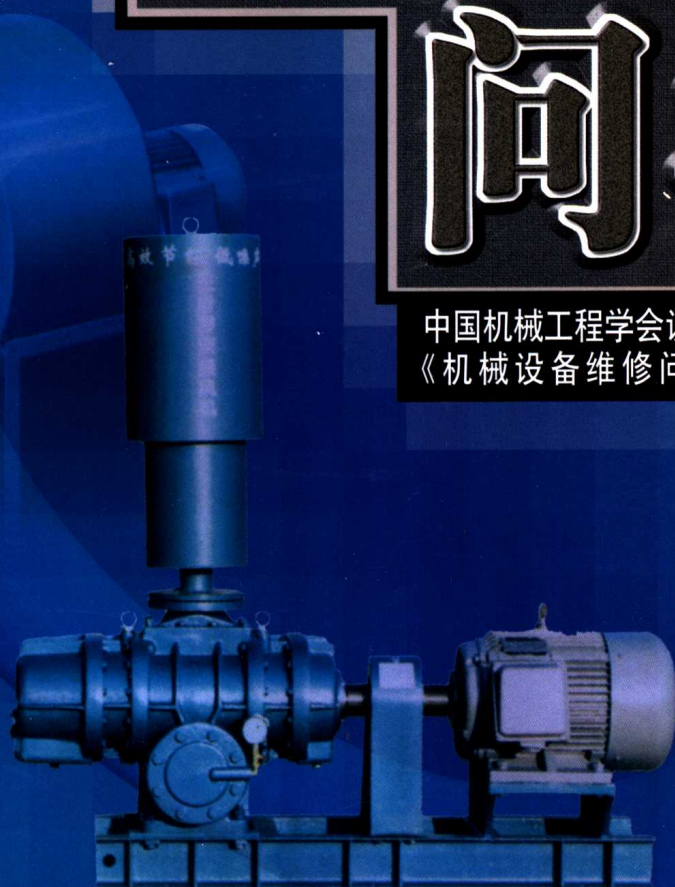


机械设备维修问答丛书

风机及 系统运行与 维修 问答

中国机械工程学会设备与维修工程分会
《机械设备维修问答丛书》编委会

编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械设备维修问答丛书

风机及系统运行与维修问答

中国机械工程学会设备与维修工程分会 编
《机械设备维修问答丛书》编委会



机械工业出版社

本书是《机械设备维修问答丛书》的一本。由中国机械工程学会设备与维修工程分会组织编写。

本书主要针对风机及系统机组设备,包括离心式、轴流式压缩机及其配套的汽轮机、变速器、电动发电机、能量回收透平机,辅助系统如动力油系统、控制油系统、润滑油系统、冷凝器系统等,在基础、设备开箱验收、安装、试运行、调试、试验、工程验收、移交,以及生产使用与维护、故障排除、节能、降噪等方面进行介绍。同时涉及到自动化控制系统、气动设计方面内容。

本书是作者实际经验的总结,实用性、可操作性较强,对从事风机使用与维修的技术人员和技术工人在实际生产中有很好的指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

风机及系统运行与维修问答/中国机械工程学会设备与维修工程分会,《机械设备维修问答丛书》编委会编. —北京:机械工业出版社,2004.3
(机械设备维修问答丛书)

ISBN 7-111-14158-X

I. 风... II. ①中...②机... III. ①鼓风机—运行—问答②鼓风机—维修—问答 IV. TH44-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第019321号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:沈红 版式设计:冉晓华 责任校对:李汝庚

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年7月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mmB5·6.375印张·245千字

0001—4000册

定价:19.00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)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

机械设备维修问答丛书

编 委 会

主 任：郑国伟

副主任：丁立汉

编 委（按姓氏笔划）：丁立汉 刘林祥 沈 红
陈庆同 周 本 蒋世忠

《风机及系统运行与维修问答》编写人：阎云龙
武善业
王 斗
审稿人：吴士年
陈余平
董林森等

序 言

由中国机械工程学会设备与维修工程分会主编,机械工业出版社1964年12月出版发行的《机修手册》(8套10本),深受设备工程技术人员和广大读者的欢迎,曾于1978年和1993年两次再版和6次印刷,对我国设备管理和维修工作起到了积极的作用。

随着科技发展和知识更新,设备的更新换代,《机修手册》的内容已不能适应时代发展的要求,应该重新编写和修订。但是,由于工程浩大,力不从心。为满足广大设备管理和维修工作者的需要,经机械工业出版社和中国机械工程学会设备与维修工程分会共同商定,从《机修手册》中选出部分常用的、有代表性的机型、充实新技术、新内容,以丛书的形式重新编写。

从2000年开始,中国机械工程学会设备与维修工程分会组织四川省设备维修学会和中国第二重型机械集团公司、中国航天工业总公司第一研究院、兵器工业集团公司、沈阳市机械工程学会、陕西省设备维修学会和陕西鼓风机厂、上海市设备维修专业委员会和上海重型机器厂、天津塘沽设备维修学会和大沽化工厂、大连海事大学、武汉钢铁公司氧气有限责任公司、广东省机械工程学会和广州工业大学、山西省设备维修学会和太原理工大学等单位进行编写。从2002年2月份起,《空调制冷设备维修问答》、《数控机床故障检测与维修问答》、《液压与气动设备维修问答》、《工业锅炉维修与改造问答》、《电焊机维修问答》、《机床电器设备维修问答》、《发生炉煤气生产设备运行与维修问答》、《电梯使用与维修问答》等已经陆续出版发行;《风机及系统运行与维修问答》、《起重设备维修问答》、《运输设备维修问答》等即将出版发行;《工业管道及阀系统安装与维修问答》、《空分设备维修问答》、《工厂电气设备维修问答》正在编写;《焦炉机械设备安装与维修问答》、《密封使用与维修问答》、《矿山机械维修问答》正在报批选题;还有《锻压设备维修问答》、《铸造设备维修问答》、《工程机械维修问答》、《压力容器维修问答》、《柴油机维修问答》、《印刷设备维修问答》、《机械润滑装置维修问答》等正在落实编写单位和人员。

我们对积极参加组织、编写和关心支持丛书编写工作的同志表示感谢,也热忱欢迎从事设备与维修工程的行家里手积极参加丛书的编写工作,使这套丛书真正成为从事设备维修人员的良师益友。

中国机械工程学会设备与维修工程分会

2004年5月

编写说明

随着国民经济日新月异的发展,大型透平机组在各大领域的工业生产中发挥着重要作用,且是动力系统核心设备。其运行的可靠性、稳定性直接影响着该工艺系统经济效益,因此备受工程技术人员关注。

目前,大型透平机组发展有如下特点:机组从设计、制造、配套水平是越来越高,不仅追求高效率的气动性能,而且要求高水平的自动控制系统;机组配置向大型化、更加合理化发展,如三机组、四机组;机组的安装和运行对操纵者的水平及技能方面要求也相应提高。针对以上几个方面的特点,作者总结实际经验,搜集并整理出这本实用性强、理论性简明的指导安装运行、维修用书,同时力求做到先进性、科学性,引导广大读者解决实际生产中遇到的问题。

本书涉及到机组的基础、设备开箱验收、机组的安装、调试、试验、工程验收、移交等项目的指导;而且对轴流式压缩机配套的其他单机如汽轮机、变速器、电动发电机、能量回收透平机等设备,其配套的辅助系统如动力油系统、控制油系统、润滑油系统、冷凝器系统等给予简要的介绍;同时涉及到自动控制系统、气动设计的一些知识。

在编写本书过程中,得到了各位专家及同志们的大力帮助和支持,在此表示由衷的感谢!特别需要说明的是:全书由吴士年、陈余平、董林森等专家审核。

书中不足之处恳请各位专家、学者多提宝贵意见。

目 录

第一章 风机的原理

第一节 概述	1
1.1-1 离心式压缩机的基本工作原理是什么?	1
1.1-2 轴流式压缩机的基本工作原理是什么?	1
1.1-3 轴流式压缩机与离心式压缩机性能如何进行比较?	2
1.1-4 透平式压缩机的安全区和有效使用区是什么?	7
第二节 风机种类及应用	8
1.2-1 风机如何分类?	8
1.2-2 透平式压缩机的主要参数和术语有哪些?	10
1.2-3 风机应用在哪些方面?	13

第二章 风机的安装

第一节 设备开箱检查与验收	17
2.1-1 设备开箱检查与验收有哪些主要环节?	17
第二节 基础验收	17
2.2-1 机组的基础验收程序是什么?	18
2.2-2 机组底座支承的方式是什么?	18
2.2-3 垫铁的布置原则是什么?	20
第三节 机组安装技术要求及安装程序	22
2.3-1 轴流式压缩机安装包括哪些方面?	22
2.3-2 汽轮机的结构特点及安装调试包括哪些方面?	34
2.3-3 变速器安装包括哪些方面?	46
2.3-4 电动发电机安装包括哪些方面?	47
2.3-5 煤气余压能量回收透平机安装包括哪些方面?	49

第三章 风机机组布置方式和机组找正

第一节 机组布置方式	55
3.1-1 大型透平机组布置方式应考虑哪些因素?	55
第二节 机组安装基准原则	55

3.2-1 机组安装基准原则是什么?	55
第三节 大型透平机组安装找正方法	56
3.3-1 大型透平机组安装如何找正?	56
第四节 大型透平机组二次灌浆	60
3.4-1 大型透平机组如何进行二次灌浆?	60

第四章 风机辅助系统

第一节 润滑油系统	61
4.1-1 润滑油系统的作用及原理是什么?	61
4.1-2 润滑油系统如何冲洗及调试?	64
第二节 动力油系统	65
4.2-1 动力油系统如何清洗及调试?	65
第三节 控制油系统	68
4.3-1 控制油系统如何清洗及调试?	68
第四节 盘车系统	69
4.4-1 盘车系统应如何调试?	69
第五节 联轴器	69
4.5-1 联轴器如何分类及安装?	69

第五章 大型透平机组自动控制系统

第一节 概述	71
5.1-1 大型透平机组控制系统包括什么?	71
5.1-2 机组自控系统的作用是什么?	71
第二节 静叶可调式轴流式压缩机流量—静叶定位串级调节系统	72
5.2-1 静叶调节机构系统如何组成?	72
5.2-2 静叶定位系统包括什么?	73
5.2-3 流量控制系统包括什么?	79
第三节 轴流式压缩机防喘振控制系统	80
5.3-1 为什么要设防喘振控制系统?	80
第四节 轴流式压缩机防阻塞控制系统	90
5.4-1 什么是防阻塞控制系统?	90
第五节 轴流式压缩机的逆流和安全运行保护	92
5.5-1 什么是逆流和安全运行保护?	92
第六节 空气过滤器控制系统	94
5.6-1 什么是空气过滤器控制系统?	94

第六章 大型透平机组试车

第一节 试车程序	95
6.1-1 为什么成立试车小组?	95
6.1-2 试车前如何做准备工作?	95
第二节 机组各单机试运转	96
6.2-1 电动机如何单试?	96
6.2-2 汽轮机如何单试?	96
6.2-3 高炉煤气能量回收透平机 (TRT) 如何布置?	100
6.2-4 煤气透平发电机机组主要特点是什么?	100
6.2-5 机组开车前应做哪些准备工作?	102
6.2-6 TRT 装置试车包括哪些内容?	105
6.2-7 正常停机与重大故障停机指什么?	109
6.2-8 如何进行特殊操作与事故处理?	111
6.2-9 发电机负荷如何调整?	113
6.2-10 同步发电机的运行常识有哪些?	114
6.2-11 操作者应了解哪些煤气相关知识?	119
第三节 机组联动试运	120
6.3-1 机组联动试运的主要步骤是什么? 准备工作有哪些内容?	120
6.3-2 盘车系统试验包括哪些内容?	121
6.3-3 机械运转试验包括哪些内容?	121
6.3-4 气动性能试验包括哪些内容?	122
6.3-5 什么是停机?	123
6.3-6 试运转报告包括哪些内容?	123

第七章 风机机组常见故障和排除方法

第一节 机械运行常见故障和排除方法	126
7.1-1 机组轴承温度过高怎么办?	126
7.1-2 机组油封外泄漏油怎么办?	126
7.1-3 变速器出现振动怎么办?	127
7.1-4 动力油站油箱的油温过高怎么办?	127
7.1-5 机组振动怎么办?	127
7.1-6 动力系统油压波动较大怎么办?	128
7.1-7 机组上配置的主油泵易断轴怎么办?	128
7.1-8 机组上配置的主油泵抽不上油怎么办?	128

7.1-9	机组轴位移反复变化怎么办?	128
7.1-10	机组静态盘车出现转子径向振动超差怎么办?	128
7.1-11	轴流式压缩机叶片定期检查包括哪些内容?	129
7.1-12	在轴流式压缩机处于运转状态下, 下机壳支承部位 出现间隙怎么办?	129
7.1-13	离心式鼓风机带调整销隔板如何快速找正?	129
7.1-14	机组找正的方法是什么?	131
7.1-15	修配国外轴流式风机内部旋转部件时, 装配应注意哪些 技术要点?	134
7.1-16	造成旋转部件(转子)不平衡的原因是什么? 如何消除?	134
7.1-17	造成滚动轴承箱振动剧烈的原因有哪些?	135
7.1-18	造成滚动轴承温升过高的原因有哪些?	135
7.1-19	造成电动机电流过大和温升过高的原因有哪些?	135
7.1-20	设备如何长期封存?	136
第二节	气动性能常见故障和排除方法	140
7.2-1	风机的试验包括哪些内容?	140
第三节	机组检修规程	140
7.3-1	大型透平机组如何保存与维护?	140
第四节	风机节能和降低噪声	142
7.4-1	通风机如何节能和降低噪声?	142
7.4-2	离心式压缩机与轴流式压缩机如何节能和降低噪声?	144

第八章 风机机组安装记录

8-1	轴流式压缩机安装记录包括哪些内容?	145
8-2	煤气能量回收透平机安装记录包括哪些内容?	154
8-3	电动/发电机安装记录包括哪些内容?	166
8-4	变速器安装记录包括哪些内容?	168
8-5	汽轮机安装记录包括哪些内容?	171

第九章 风机机组安装所需的工具及损耗材料

9-1	风机机组安装所需的工具包括哪些?	190
9-2	风机机组安装所需的损耗材料包括哪些?	192

第一章 风机的原理

第一节 概 述

1.1-1 离心式压缩机的基本工作原理是什么？

答：图 1-1 为离心式压缩机的单级示意图。在压缩机主轴上安装有离心式叶轮，当原动机回转时，叶轮的叶片对气体做功，并推动气体流动，然后气体经过扩压器和蜗壳流出。由理论分析可知，旋转叶片给气体以作用力，并使气体受离心力的作用由内向外甩出，得以升压和降压，从而获得压力能和速度能（即动能）。

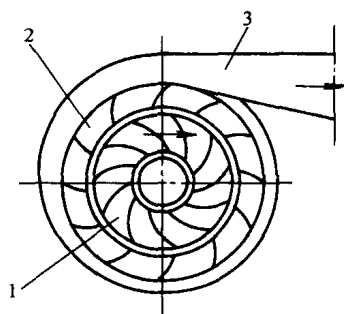


图 1-1

1—叶轮 2—扩压器 3—蜗壳

气体从叶轮流后具有很高的速度，我们希望将气体速度降低以提高其压力，为此不仅叶轮的通道作成扩散型（由里向外面积逐渐扩大），而且扩压器的通道也是扩散型的，因而使高速气流逐渐减速，动能转化为压力能，使气体压力升高。通常一级离心叶轮的压比约为 1.30~1.70，要获得较高的压力，可以在主轴上装设几级叶轮，并使流道串联起来，使气体逐级压缩，则成为多级离心式压缩机。

1.1-2 轴流式压缩机的基本工作原理是什么？

答：图 1-2 为轴流式压缩机的构造示意图。在压缩机主轴上安装有多级动叶片，整个通道由收敛管、进口导流叶片、各级工作叶片（动叶片）和导流叶片、扩压器等组成。

气体由进口法兰流经收敛管 10，使进入进口导流叶片 1 的气体均匀，并得到初步的加速。气流流经进口导流叶片间的流道，使气流整理成轴向流动，并使气体压力有少许提高。转子 8 由原动机拖动作高速旋转，由工作叶片 2 将气流推动，使之大大加速，这是气体接受外界供给的机械能转变为气体动能的过程。高速气流流经导流叶片 3 构成的流道（相当于扩压管），在其中降低流速而使气体压缩，这是靠减少气流动能来使气体压缩的升压过程。一级工作叶片（动叶片）

与一系列导流叶片（静叶片）构成一个工作级。气体连续流经压缩机的各级，逐渐压缩升压。最后经整流装置 4 将气流整理成轴向，流经扩压器 7，在扩压器中气流速度降低，压力升高，最后汇入蜗壳经出口法兰排出压缩机。

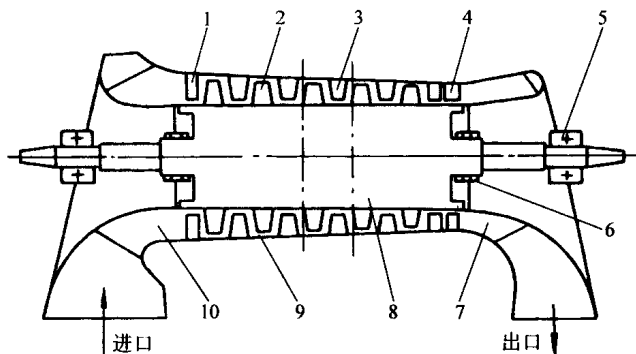


图 1-2

轴流式压缩机每级的增压比不大，约为 1.15 ~ 1.25，若要获得较高的压力，需要较多的级。例如压比为 4 的空气压缩机，一般需十几级。

1—进口导流叶片 2—工作叶片（也称动叶片） 3—中间导流叶片（也称静叶片） 4—整流装置 5—轴承 6—密封
7—扩压器 8—转子 9—机壳 10—收敛器

1.1-3 轴流式压缩机与离心式压缩机性能如何进行比较？

答：由于轴流式压缩机气体压缩过程的流道短而且简单，气流转向变化小，基本上是沿着轴向流动，不像离心式压缩机那样压缩气体在流道中有较多的急剧转弯，因而减少了损失，提高了效率。另外，轴流式压缩机在叶栅理论等空气动力等方面的研究和试验工作相对比较充分，试验数据和设计方法比较成熟，所以轴流式压缩机的效率通常比离心式压缩机高出 5% ~ 10%。

因为轴流式压缩机和离心式压缩机在气动原理、结构特征、性能特性上有着较大的差异，不好说哪一个具有绝对的优势或不足，但是对于给定了用途的场合，是能够比较选出某一种形式较为合适的。下面从两种压缩机的适用范围、特性曲线及变工况特性方面做一比较，并列举两个实例进一步说明。

1) 轴流式压缩机和离心式压缩机的适用范围

轴流式压缩机一般适用于大、中流量和低、中压力的范围。流量范围一般为 $800 \sim 2\,000 \text{ m}^3/\text{min}$ ，单缸压比约 2.7~9，双缸排气压力可达 3.89MPa。

离心式压缩机一般适用于中、小流量和中、高压力的范围。流量范围一般为 $20 \sim 2\,000 \text{ m}^3/\text{min}$ ，大的也可达 $10\,000 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右，单缸压比约 3.5~10，多缸压缩机排气压力可高达 70~90MPa。

具有复杂流道的多级离心式压缩机，比压缩相同容量气体时的轴流式压缩机体积要大的多，其结果使机器不相称地变得重而且成本较高，因此对于中、小流量的场合离心式压缩机是合适的，而在中大流量的场合轴流式压缩机是适宜的。轴流式压缩机的尺寸如果小到某一限度以下，则效率不降低时，在每一级内产生足够的压力是难以实现的。其原因是对于小的机器来说要求有相当高的速度，这

样作用在动、静叶及流道的动摩擦影响显著增大,另外,在轴承及增速齿轮的设计上也产生困难。而对离心式压缩机来说则是较为容易实现的,在相同的性能要求下比设计成轴流式压缩机通常要稍大些。这是因为速度较小的缘故。

由于轴流式压缩机具有大流量、结构紧凑和占用空间小的特点,在炼油厂催化裂化装置、空分装置以及冶金高炉装置的大型化方面逐渐步入,甚至取代了属于离心式压缩机的场合。对冶金行业来说,目前国外 $1\,000\text{m}^3$ 以上的高炉皆采用轴流式压缩机,而在西欧安装的最后一台离心式压缩机是在 1958 年。最大的离心式高炉鼓风机是前苏联 20 世纪 70 年代初期制造的 K7000-41-1 型,功率为 $30\,000\text{kW}$,其结构为四级双进气中间冷却式,由变速汽轮机驱动,可与 $2\,700\sim 5\,000\text{m}^3$ 高炉配套,在这个参数范围内显然不如采用静叶可调式轴流式压缩机更为有利。国内新建的 $1\,000\text{m}^3$ 以上高炉也基本采用了静叶可调式轴流式压缩机,但仍有相当数量的 $1\,000\sim 1\,500\text{m}^3$ 的老高炉依然长期使用前苏联制造的 K3250 和 K4250 型离心压缩机,存在设备老化、耗能高和维护难的不足,面临着改造和更新换代。

轴流式压缩机也存在着自身的不足,主要表现在排气压力不高和等温效率低。为克服这个缺陷,一是采用两台轴流式压缩机之间用中间冷却器进行一次冷却的方式,另一种是采用轴流——离心复合式结构,可以在轴流出口与离心进口之间进行一次冷却,也可在各离心级中间再进行一次或二次冷却。这种复合式压缩机由于具有流量大、压力高、等温效率高的优点,在空分装置中已获得普遍推广应用。

需要说明的是,效率和流量并不是选择轴流式压缩机和离心式压缩机的唯一标准,更重要的是考虑两种压缩机在各种运转状态时的工作特性。

2) 轴流式压缩机和离心式压缩机的特性曲线

单级轴流式压缩机的特性曲线分析

仅讨论了轴流式压缩机在设计工况下的工作状态,也就是在设计的 p_j 、 T_j 、 Q_j 、 n 下,来确定单级与多级压缩机的压比 ϵ 、效率 η 及功率 P 。但压缩机实际工作中不仅要在设计工况下运行,而且还要偏离设计工况,即非设计工况下运行。这时,压缩机进口参数 p_j 、 T_j 及 Q_j 、 n 都会单个或几个同时改变,其性能参数 ϵ 、 η 、 P 也将随之变化。所以,我们还应该了解压缩机在变工况时的特性,分析其 ϵ 、 η 、 P 随 Q_j 、 n 、 p_j 、 T_j 变化时的特性曲线(本节暂不考虑进气条件 p_j 、 T_j 的变化)。

首先,我们来分析图 1-3 示出的单级轴流式压缩机在转速一定时的特性曲线。假如压缩机内不存在损失,那么加给气体的功就完全用来压缩气体,其压比随流量的变化为 $a-a$ 线。但实际压缩过程是有流动损失的,主要包括摩擦损失和冲击损失。摩擦损失包括气体微团之间相互摩擦以及气体与叶片表面、各壁面摩

擦损失, 并随流量增大而增加, 便有用功损失, 其压比随流量的变化则为 $b-b$ 线所示。至于冲击损失, 则和气流进入叶栅的方向有关。在设计工况时, 冲角 $i > 0$; 在大于设计工况时, 冲角 $i < 0$, 但改变工况后, 由于气流进入叶栅的方向发生偏离, 从而在叶片表面产生附面层分离损失, 并随工况改变幅度的增大而增加。在考虑了摩擦损失和冲击损失以后, 级的压比随流量的变化则为 $c-c$ 曲线所示。

其次, 我们来看看效率随流量的变化关系。

从图中可以看出, 环面损失随流量增加而增加; 二次流损失随流量增加而略有减少; 叶型损失则当流量大于设计流量时急剧增加, 在小于设计流量时开始略有减少而后急剧增加, 这主要是受冲角变化的影响。其中 aa 曲线即为考虑各种损失后的实际效率曲线。

从图 1-4 压缩机中的损失图看级特性与转速的关系。对于定型机器, 随 n 增大, u 、 C_2 、 h 均增大, 故压比和流量都将增大, 等转速的级特性曲线往右上方移动。但由于 M_{w1} 随之增大, 也使损失增加, 故曲线变得越来越陡 (见图 1-5)。

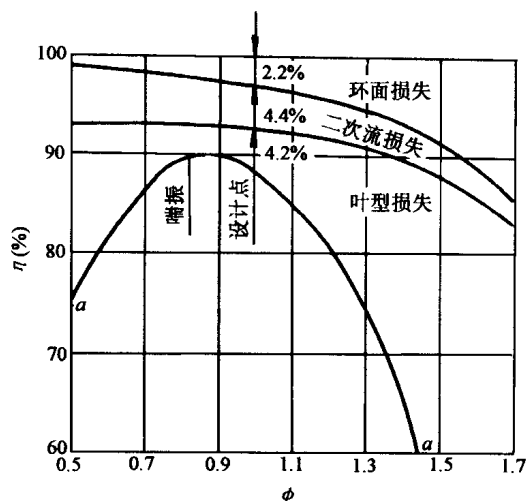


图 1-4 某单级压缩机中所产生的损失分解图

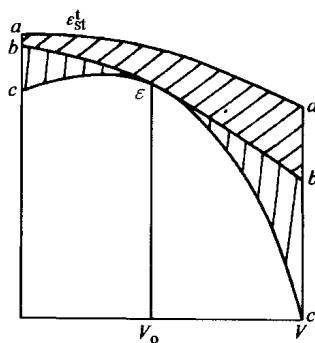


图 1-3 轴流式压缩机级流量特性线的变化特点

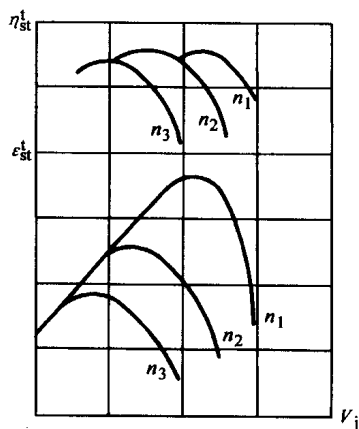


图 1-5 单级轴流式压缩机的流量特性曲线

多级轴流式压缩机因受各级之间的相互影响, 其压比和效率比单级的变化更为剧烈, 因而特性曲线也较单级的更陡峭 (见图 1-6)。

3) 转速不变时轴流式压缩机和离心式压缩机特性曲线比较

图 1-7 和图 1-8 分别绘出了当转速不变时离心式压缩机和轴流式压缩机（固定静叶式）的特性曲线，当转速一定时，这些曲线各自只有一条。A 点为设计工况点，设计点的流量和压比分别为 Q_A 、 ϵ_A ， $Q_{\min}$ 为最小流量， $Q_{\max}$ 为最大流量。

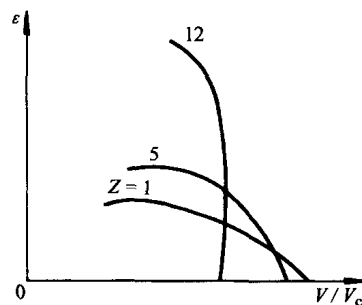


图 1-6 不同级数下压缩机的性能曲线

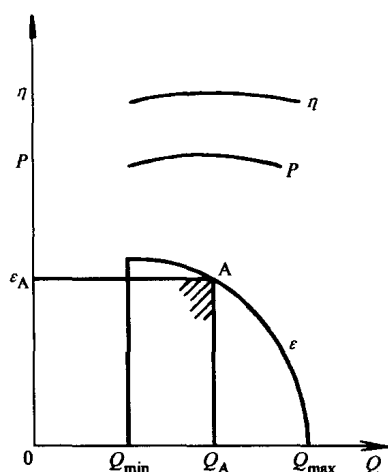


图 1-7 离心式压缩机特性曲线

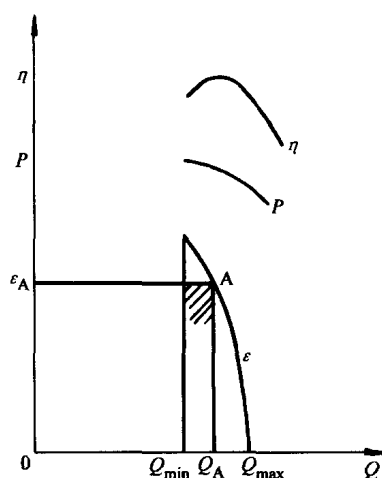


图 1-8 轴流式压缩机特性曲线

从图 1-7 可以看出，离心式压缩机的性能曲线比较平坦，对流量的变化有较大的适应性，也就是说其有效工况范围（即从 $Q_{\min}$ 到 $Q_{\max}$ 之间的范围）较大，功率随着流量的增加而增加，对应设计流量点，一般具有最高效率。

从图 1-8 可以看出，轴流式压缩机的特性曲线要陡得多，这是因为在流量变化时（即变工况其性能受冲角变化的影响更敏感，不论冲角增大或减小，均可能在叶栅中出现气流分离，损失增大，另外，其级间的相互影响也较离心式压缩机更明显。所以，它的有效工况范围较窄，但功率随着流量的增加而急剧减小，对应设计流量点，冲角最佳，效率最高，偏离设计点则效率明显降低，但反过来说，随着压力较大的变化，轴流式压缩机的流量则变化很小，这一特性对高炉的控制是非常有利的，而离心式压缩机当压力升高时，其容积流量却迅速减少。

4) 变转速调节时，轴流式压缩机和离心式压缩机特性曲线

对于固定静叶轴流式压缩机，当转速不变时，其工况范围较窄，所以，往往

采用变转速调节,来扩大其变工况范围。图 1-9 将两台进口流量变化范围大致相同的轴流式压缩机和离心式压缩机的变转速特性曲线放在一起进行对比,上边的是压力特性曲线,下边是功率特性曲线,每种曲线对应一个转速各有一条曲线,每条曲线左端点的连线即为喘振线。

从图中可以看出,离心式压缩机的压力曲线族近似平行,而且随着转速升高,整个曲线向大流量方向移动,大幅度地扩大了稳定工况区域。而轴流式压缩机,随着转速增大,整个曲线也朝着大流量区移动,但压力曲线更加变陡,相对某一转速的稳定工况区域也变窄,但整个稳定工况区也有较大幅度提高。

总体来看,在变转速调节运行时,轴流式压缩机的工况范围仍比离心式压缩机要小一些。

5) 压缩机静叶调节与转速调节对比

就某一装置而言,如果工况范围变化不大,采用固定静叶轴流式压缩机或离心式压缩机即可满足操作要求。如果工况范围有稍大的变化,对以上两种风机采用变转速调节,基本就能满足各个工况点的要求。但实际经验指出,这样得到的工况范围仍然是不够的,许多工艺流程往往需要更宽的工况范围,这时,变转速调节已不能满足要求,必须采用静叶可调式轴流式压缩机。这是因为,它改变了静叶的安装角度,使之适应变工况时的气流变化,减小了冲角引起的损失,因而可以有效地扩大稳定工作范围,并在变工况时仍保持有较高的效率,同时能改善压缩机的性能,防止喘振和阻塞等现象。也正是这个原因,研究发现,在静叶可调的情况下,采用所有级静叶调节要比只调节最前部的三分之一或二分之一级的静叶更为有利,因为部分调节仍然使未预调节的静叶不能适应变化着的气流,从而会大大减少稳定工作范围。拿陕西鼓风机厂为首钢制造的 AV80-14 轴流式压缩机气动计算举例,在冬季的两个工况点之间,首级静叶角度调节量为 12 度,此时,最后一级静叶角度需要调节量为 6 度,这 6 度的调节量是容忽视的。

图 1-10 中给出了轴流式压缩机静叶调节和转速调节的工况比较,可以看出,采用静叶调节的工况范围较大,喘振线向左移而且更为平坦,改善了压缩机的特

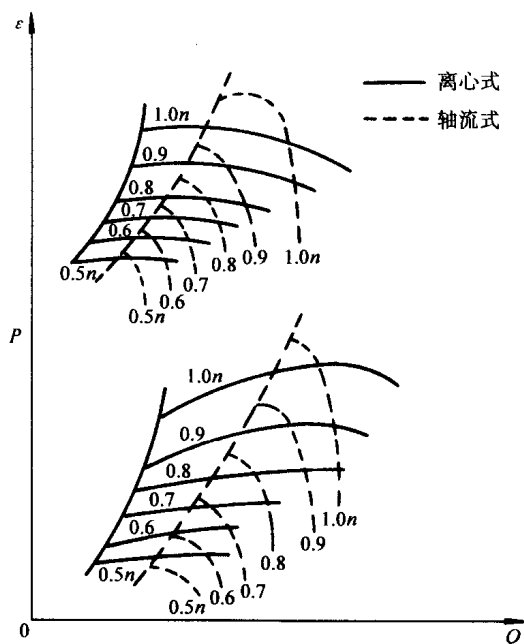


图 1-9 轴流与离心式压缩机
变转速时的工况比较

性。此外，静叶调节和转速调节相比还具有不少优点，具体见表 1-1。

表 1-1 轴流式压缩机静叶调节与转速调节对比

方式 项 目	静叶调节（恒定转速）	转速调节（固定静叶）
工况范围	更宽 ^① （尤其在小流量侧）	宽（喘振线朝右移）
效率	高 ^① （尤其在大流量侧）	一般，变速时可能导致汽轮机效率下降
电动机容量	不致太大 ^①	过大
振动	有利于避免 ^① 共振，可考性高	要考虑转子和叶片共振且不易避开升速时叶片材料强度要求提高
噪声	有利于降低噪声 ^①	降低噪声不易实现
调节速度	迅速 ^①	慢，有滞后现象
结构	复杂	简单，但变速汽轮机结构复杂变频电动机昂贵

① 表示有利。

为 $2\,500\text{m}^3$ 高炉制造配套的 AV80-14 全静叶可调轴流式压缩机在年平均季节时的特性曲线。

从图中可以看出，首级静叶可在 $22^\circ \sim 79^\circ$ 间进行调节，流量可在 $3\,000 \sim 6\,200\text{m}^3/\text{min}$ 的范围变化，稳定工况范围较大。另外，喘振线平坦，高效率区宽广，具有较好的特性。

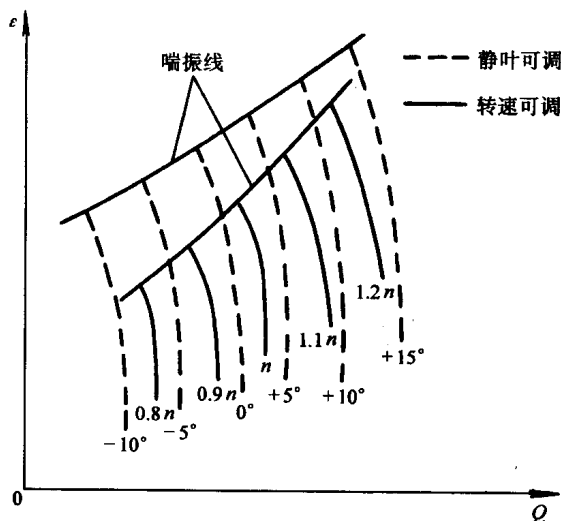


图 1-10 静叶调节与转速调节工况比较

图 1-11 为某多级轴流式压缩机变转速调节的特性曲线。其中 A-B 线为各转速下的一条等效率线。

也有采用静叶调节和转速调节相结合的例子，能使稳定工作范围进一步扩大 $10\% \sim 15\%$ 但由于控制难度加大，加之静叶调节已有较宽的稳定工作范围，所以这种调节方式应用的较少。

1.1.4 透平式压缩机的安全区和有效使用区是什么？

答：由于压缩机本身具有喘振、阻塞、旋转失速的固有特性，而且严禁在喘振区域内运行，所以，在实际操作中必须采取调节控制和安全保护措施，使之离