

石油化工厂设备检修手册



# 压缩机组

王福利 主 编  
田吉新 戴有桓 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 石油化工厂设备检修手册

## 压 缩 机 组

王福利 主 编  
田吉新 戴有桓 副主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书重点介绍了石油化工生产常用的活塞式压缩机、离心式压缩机、轴流式压缩机、螺杆式压缩机和各种类型风机的基本结构、工作原理、主要易损件、主机的安装与检修、机组的日常维护与故障处理、转子动平衡和机组的状态监测。为方便设备管理人员和检修、安装技术人员的使用,本书还对压缩机的驱动机,如各种类型的电动机、蒸汽轮机以及烟气轮机的结构特点、工作原理、安装、检修作了必要的介绍。

本书结合作者的检修、安装经验,并以较新的国家标准或行业标准作为编写依据。书中后面附有附录,可供读者对与压缩机相关的某些资料进行查阅。

本书可作为石油化工设备工程师及现场检维修、安装技术人员的必备工具书,也可以作为石油化工工艺技术人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油化工厂设备检修手册. 压缩机组/王福利主编.  
北京:中国石化出版社,2007  
ISBN 978-7-80229-282-6

I.石… II.王… III.①石油化工-化工设备-检修-手册②压缩机-机组-检修-手册 IV.TE682-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 037212 号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

中国石化出版社图文中心排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 39.5 印张 1008 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

定价:100.00 元

## 出版说明

《石油化工厂设备检修手册》是在原《炼油厂设备检修手册》的基础上补充、修订、编写而成的。原手册共有五个分册，已于1980年前后陆续出版。二十多年来，这套丛书为我国炼油工业的发展做出了应有的贡献，得到了现场工程技术人员的好评。

随着科学技术的飞速发展，我国的炼油工业技术水平不断提高，管理水平日趋完善；石油化学工业也犹如初升的太阳，在国家经济建设中占有越来越重要的地位。老装置的技术改造，新装置的建设和投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对设备检修技术及管理水平提出了新的要求。因此，迫切需要重新组织编写一套设备检修丛书，这就是《石油化工厂设备检修手册》诞生的由来。

本手册以国家、部委颁发的最新规范、标准为准绳，密切联系生产实际、力求解决检修现场带有普遍性的问题，跟上检修技术不断发展的步伐。这次修订，增加了土建工程、防腐工程、吊装工程三个分册；并把转动设备和静止设备按类别划分为数个分册。同时，对原有各分册的内容也进行了充实，在原来以炼油厂设备检修为主线的基础上，注意增加了石油化工厂设备检修方面的内容。修订后的手册在具体内容上，更加深入地接触了检修现场的实际情况。

修订后的《石油化工厂设备检修手册》的内容包括：基础数据、焊接、土建工程、防腐蚀工程、泵、压缩机组、容器、加热炉、换热器、工艺管线、吊装工程等分册。在组织编写过程中，得到了中国石油化工集团公司、中国石油天然气集团公司、中国石油大学等有关方面的大力支持，使手册得以顺利出版，特此表示感谢。

# 前 言

由于生产技术和装备不断更新换代，以及生产装置实行长周期安全运行，都对压缩机组的安装、检修和维护的技术水平和工作质量提出了更高的要求。

为适应当前生产发展的需要，本书在原《炼油厂设备检修手册——机泵》有关压缩机的内容基础之上，充实了大量的新内容，并尽可能地采用新的标准、规范和规程，以方便读者查阅。

除了压缩机组所必备的工程热力学和气体动力学基础理论知识以外，本书还系统地介绍了各种主要类型压缩机、风机及其驱动机的结构、工作原理、主要参数及性能指标、主要易损件、机组的安装、检修、维护、状态监测以及故障与处理。因此，本书是石油化工厂设备技术管理人员、设备安装和检修公司的工程技术人员常用的一本工具书，可以帮助读者解决有关压缩机、风机机组的安全运行和检修维护工作中遇到的某些技术问题。本书也可以作为从事压缩机、风机安装、检修、设备维护的中、高级技术工人培训的参考资料。

本书共分十章，编写人员分别为：绪论、第一章 工程热力学和气体动力学基础知识、第二章 活塞式压缩机 田吉新；第三章 离心式压缩机 陈志军；第四章 轴流式压缩机 戴有桓；第五章 螺杆式压缩机 田吉新；第六章 风机 王广军；第七章 驱动机(第一节 工业汽轮机) 曹景；第七章(第二节 烟气轮机) 戴有桓；第七章(第三节 异步电动机、第四节 同步电动机) 张树科；第八章 传动机构 王广军；第九章 转子动平衡 戴有桓；第十章 压缩机组状态监测及故障诊断 戴立刚；附录 陈志军、田吉新。

本书在编写过程中，得到了胡安定、李兆斌、朱理琛、宋天民、郭建、沈立智、黄梓友、陆磐谷、张春雨、杨磊等专家、教授的具体指导，并得到了中国石化股份公司炼油事业部、中国石化出版社和石家庄炼油化工股份有限公司领导的大力支持，在此一并表示感谢。

由于水平有限，难免有错误或不当之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

绪论	( 1 )
第一章 工程热力学和气体动力学基础知识	( 9 )
第一节 气体的状态参数	( 9 )
第二节 气体的状态方程	( 11 )
第三节 流体流动的连续性方程	( 14 )
第四节 动量方程	( 14 )
第五节 能量方程	( 15 )
第六节 欧拉方程	( 16 )
第七节 柏努利方程	( 18 )
第八节 卡诺循环与热效率	( 19 )
第二章 活塞式压缩机	( 20 )
第一节 活塞式压缩机的工作循环、主要参数及其性能指标	( 20 )
第二节 活塞式压缩机的分类、结构型式与应用	( 30 )
第三节 易损件——气阀、活塞环和填料密封	( 52 )
第四节 活塞式压缩机的流量调节	( 79 )
第五节 压缩机组管路系统的振动及其控制	( 82 )
第六节 活塞式压缩机的安装	( 87 )
第七节 活塞式压缩机的检修	( 99 )
第八节 活塞式压缩机的日常维护、状态监测、故障诊断与常见故障的处理	( 115 )
第三章 离心式压缩机	( 118 )
第一节 概述	( 118 )
第二节 离心式压缩机的工作原理、性能及流量调节	( 119 )
第三节 离心式压缩机的分类、结构及零部件	( 129 )
第四节 离心式压缩机组的保护系统及附属系统	( 143 )
第五节 离心式压缩机的安装及检修	( 145 )
第六节 离心式压缩机组维护与故障处理	( 158 )
第四章 轴流式压缩机	( 166 )
第一节 轴流式压缩机概述及其特点	( 166 )
第二节 国内外典型轴流式压缩机	( 166 )
第三节 轴流式压缩机的结构及附属设备	( 175 )
第四节 轴流式压缩机原理	( 183 )
第五节 轴流式压缩机的调节控制及保安系统	( 237 )
第六节 轴流式压缩机检修	( 246 )
第七节 轴流式压缩机调试、试运转及验收	( 265 )
第八节 轴流式压缩机的维护及故障处理	( 269 )

第五章 螺杆式压缩机	(271)
第一节 螺杆式压缩机的分类、基本结构和工作原理	(271)
第二节 螺杆式压缩机的主要参数及其性能指标	(273)
第三节 螺杆式压缩机的综合特性曲线	(279)
第四节 螺杆式压缩机的流量调节	(279)
第五节 LG30/0.8 火炬气螺杆式压缩机结构与性能介绍	(280)
第六节 螺杆式压缩机主机的安装与检修	(283)
第七节 维护与故障处理	(290)
第六章 风机	(293)
第一节 概述	(293)
第二节 离心式鼓风机	(293)
第三节 离心式通风机	(302)
第四节 轴流式通风机	(305)
第五节 罗茨鼓风机	(311)
第七章 驱动器	(317)
第一节 工业汽轮机	(317)
第二节 烟气轮机	(346)
第三节 异步电动机	(413)
第四节 同步电动机	(441)
第八章 传动机构	(458)
第一节 联轴器	(458)
第二节 齿轮箱	(478)
第九章 转子动平衡	(486)
第一节 转子及机组轴系的振动特性	(486)
第二节 转子分类、平衡精度及平衡精度等级	(493)
第三节 转子静平衡试验	(509)
第四节 转子动平衡试验	(514)
第五节 转子及轴系现场动平衡	(544)
第六节 往复机械惯性力的平衡	(560)
第十章 压缩机组的状态监测及故障诊断	(566)
第一节 状态监测与故障诊断基础知识	(566)
第二节 大型旋转机组状态监测的意义和发展概况	(592)
第三节 国内应用较广的状态监测与分析系统	(597)
附录	(606)
1. 石油化工常见介质的理化性质	(606)
2. 常用计量单位换算	(609)
3. 压缩机常用润滑油	(611)
4. 常用进口金属材料的化学成分和力学性能	(621)
5. 国内常用金属材料的力学性能	(623)
6. 部分国外压缩机制造公司名称及网址	(625)
参考文献	(626)

# 绪 论

在石油化工生产过程中，大量的压缩机组发挥着无可替代的作用。各式各样的原料气、中间气体及气体产品，需要按照工艺流程路线以及工艺参数的要求，提高气体压力，完成预期的化学反应、压缩制冷或气体分离提纯等工艺过程。根据工艺要求，还可以将生成气增压或液化，以便于储存或长距离输送。动力锅炉以及加热炉，燃料需要充分燃烧，更是离不开送风机及引风机。压缩空气作为自动控制系统或某些特殊机械的动力源，在生产现场得到了广泛的应用。

由于石油化工生产工艺过程的特殊性，许多场合需要蒸汽透平来驱动各种类型的压缩机。能量回收系统在石油化工生产过程中，越来越受到人们的高度重视。通过机组中的烟气轮机、工业尾气膨胀机，回收了相当可观的一部分能量，并将其重新转变成为驱动机械的有用功(或者转变成电能)。这样既降低了能耗，又降低了生产成本。

目前，石油化工生产的大型化、一体化、集约化发展趋势明显加快，越来越多的技术先进的大型压缩机组已经成为石油化工工艺生产过程中的关键设备，成为企业设备管理和实行特级维护的重点。

生产装置的长周期安全运行对压缩机组的设计、制造、安装、操作、状态监测、设备维护和检修质量等各个环节提出了许多新的研究课题。因此，要加快引进、吸收国外先进的设计、制造、安装、状态监测和维护检修技术，总结提高国内的先进技术和经验，以适应我国石油化工生产新形势的要求。

## 一、压缩机的分类与特点

### (一) 按压缩机的工作原理和结构形式分类

按压缩机的工作原理可以将压缩机分为容积型和速度型两大类。容积型压缩机压力的提高是依靠压缩气体的体积来实现的，而速度型压缩机是首先使气体分子获得一个相当大的速度，然后通过扩压器，使速度降低，将动能转化为压力能。

容积型和速度型压缩机由于结构的不同又可以分为以下几种，见图 0-1。

#### 1. 容积型往复式压缩机

##### (1) 往复活塞式压缩机

在容积式压缩机中，往复活塞式压缩机(以下简称为活塞式压缩机)是应用得最早、最为广泛和最具有代表性的。活塞式压缩机的压力范围十分广泛，其出口压力可以从几 atm 到 3500atm，甚至更高。

活塞式压缩机具有典型的曲柄连杆结构，见图 0-2。曲轴的转动带动连杆绕着十字头销摆动的同时，又随同十字头—活塞杆—活塞组合体沿汽缸轴线方向作往复运动。曲轴每转动一周，活塞在汽缸内、外止点间(对卧式压缩机而言)或上、下止点间(对立式压缩机而言)

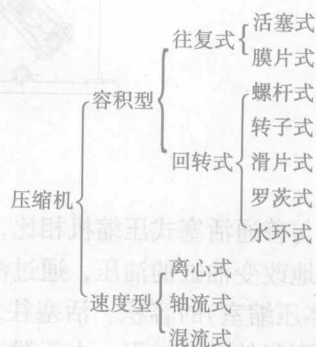


图 0-1 压缩机分类



往复运动一次，压缩机也就完成了吸气—压缩—排气—膨胀的循环过程。气体的吸入和排出则由吸气阀和排气阀自动控制。

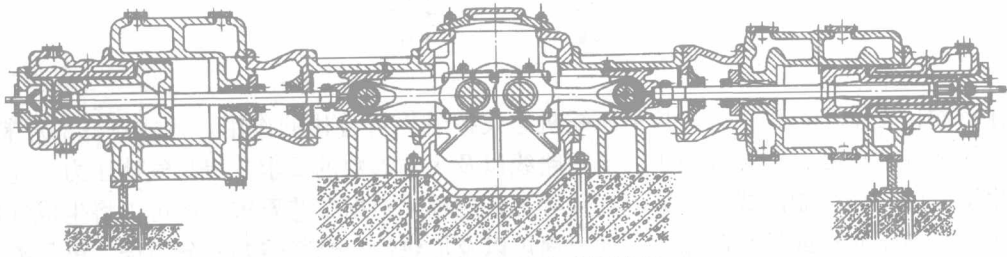


图 0-2 2D 型活塞式压缩机

## (2) 往复膜片式压缩机

往复膜式压缩机属于往复式压缩机的范畴(以下简称膜片式压缩机)。膜片式压缩机曲轴箱与活塞式压缩机的曲轴箱相似。膜片式压缩机的结构图见图 0-3，其作用原理也与活塞式压缩机相似，是目前获得高压和超高压洁净气体的有效途径。

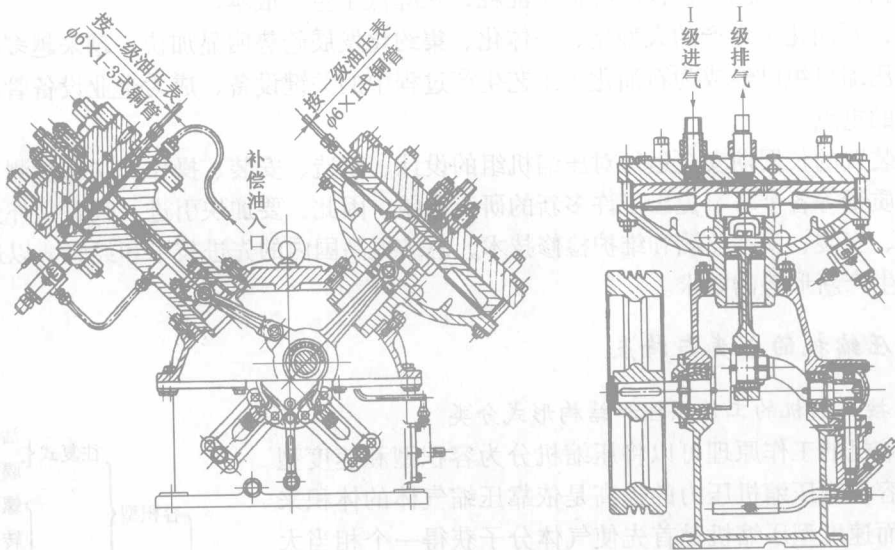


图 0-3 膜片式压缩机

与普通活塞式压缩机相比，膜片式压缩机的不同之处在于：油缸中活塞的往复运动，周期性地改变油缸的油压，通过油压的变化，促使膜腔中的膜片产生往复振动，从而改变膜腔（气体压缩室）的容积。活塞往复一次，膜片随之振动一次，膜腔内完成了吸气—压缩—排气—膨胀的循环过程。由于膜腔与油缸之间被膜片隔离，所以被压缩的气体不会受到油的污染。

在每一冲程中，如果通过油缸活塞环的泄漏量不能及时得到补偿，膜片组件将不能充分接触气压缸头，因此会导致压缩机性能下降。所以膜片式压缩机与普通活塞式压缩机相比的另一个不同之处是必须设置补偿回路系统，在轴上安装了补液泵，用来给油压缸头补偿液压油，以补偿活塞上活塞环泄漏的油量。

## 2. 容积型回转式压缩机

容积型回转式压缩机的汽缸内，通常都有一个或两个转子，转子旋转时产生的容积变化

实现了气体压缩。按照转子结构以及容积变化的特点，回转式压缩机又有许多型式。常见的有螺杆式压缩机(见图 0-4)、滑片式压缩机(见图 0-5)、转子式压缩机(见图 0-6)、罗茨式压缩机(见图 0-7)、水环式压缩机(见图 0-8)等。

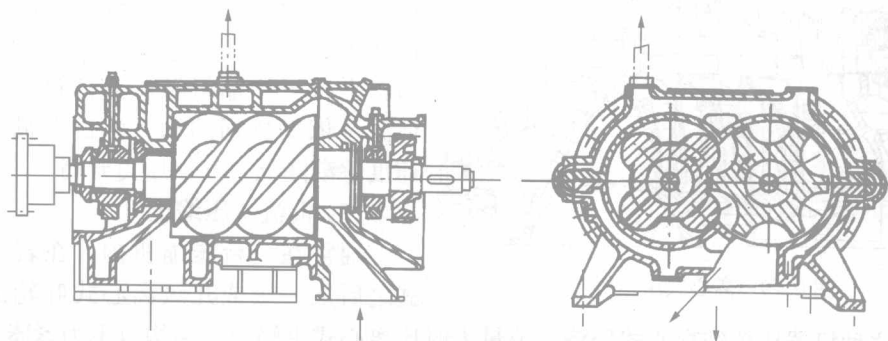


图 0-4 螺杆式压缩机

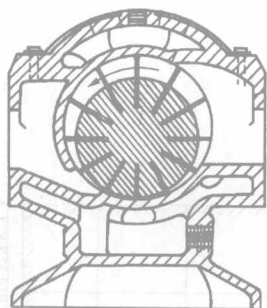


图 0-5 滑片式压缩机

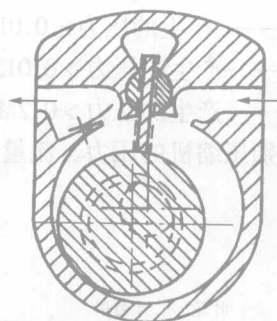


图 0-6 转子式压缩机

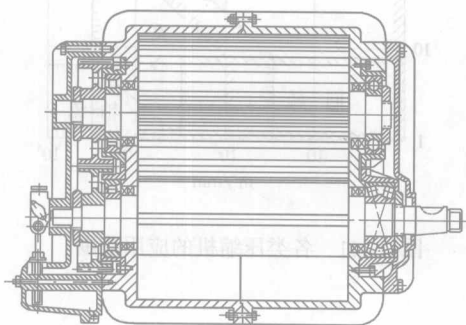


图 0-7 罗茨式压缩机

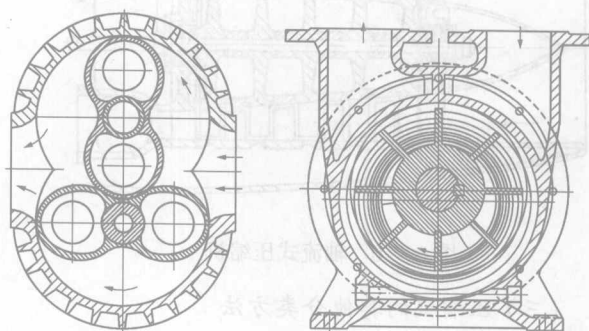


图 0-8 水环式压缩机

### 3. 速度型压缩机

速度型压缩机按气体流动方向的不同可分为离心式压缩机、轴流式压缩机和混合式压缩机 3 种。

#### (1) 离心式压缩机

离心式压缩机(见图 0-9)的汽缸内，主轴带动叶轮旋转时，气体沿轴向吸入，并以很高的速度沿着垂直于压缩机轴的径向方向被离心力甩出，进入扩压器后，气流速度降低，压

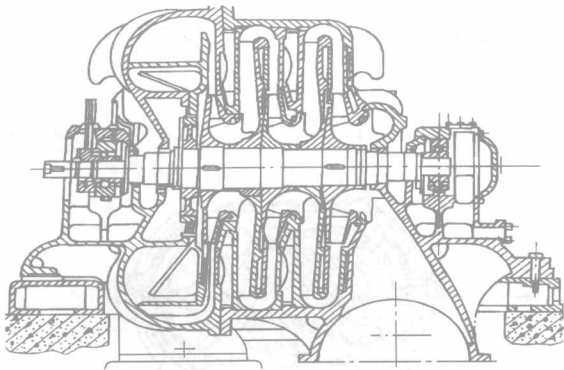


图 0-9 离心式压缩机

力升高。

(2) 轴流式压缩机

轴流式压缩机中(见图 0-10), 同样是由于转子旋转, 使气体产生很高的速度, 但气体在轴流式压缩机中的运动, 大致是沿着平行于压缩机轴的方向进行的。当气流流过依次排列的动叶和静叶栅时, 气流速度逐渐降低, 气体压力升高。

(3) 混流式压缩机

通常在一台压缩机内, 在若干级轴流式之后加一级或几级离心式叶轮的组合式

压缩机。这种机器比单纯离心式经济, 流量大时比离心式更轻便, 结构也更为紧凑。

(二) 按气体压力高低分类

速度型压缩机按其出口表压的不同, 可以将其分为通风机、鼓风机和压缩机。

通风机——产生的压力  $\leq 0.015\text{MPa}$  ( $1500\text{mmH}_2\text{O}$ );

鼓风机——产生的压力  $> 0.015\text{MPa}$ ,  $\leq 0.2\text{MPa}$ ;

压缩机——产生的压力  $> 0.2\text{MPa}$ ;

不同类别压缩机的压力、流量使用范围见图 0-11。

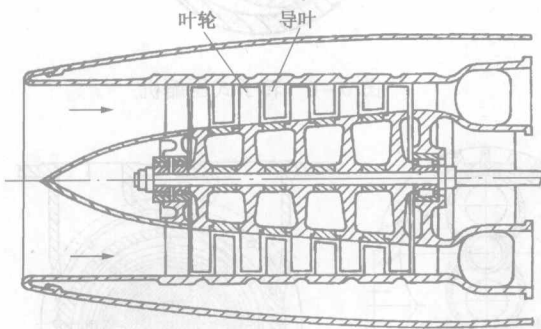


图 0-10 轴流式压缩机

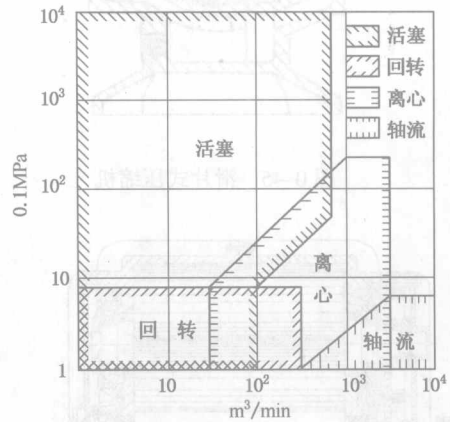


图 0-11 各类压缩机的应用范围

(三) 压缩机的其他分类方法

1. 按排气压力分类

低压压缩机产生的压力  $> 0.2\text{MPa}$ , 且  $\leq 1.0\text{MPa}$ ;

中压压缩机产生的压力  $> 1.0\text{MPa}$ , 且  $\leq 10\text{MPa}$ ;

高压压缩机产生的压力  $> 10\text{MPa}$ , 且  $\leq 100\text{MPa}$ ;

超高压压缩机产生的压力  $> 100\text{MPa}$ 。

2. 按轴功率大小分类

小型压缩机轴功率  $\geq 10\text{kW}$ ,  $\leq 50\text{kW}$ ;

中型压缩机轴功率  $> 50\text{kW}$ ,  $\leq 250\text{kW}$ ;

大型压缩机，轴功率 > 250kW。

### 3. 按排气量大小分类

微型压缩机排气量  $\leq 1\text{m}^3/\text{min}$  (以下为进气状态排气量)；

小型压缩机排气量  $> 1\text{m}^3/\text{min}$ ，且  $\leq 10\text{m}^3/\text{min}$ ；

中型压缩机排气量  $> 10\text{m}^3/\text{min}$ ，且  $\leq 100\text{m}^3/\text{min}$ ；

大型压缩机，排气量  $> 100\text{m}^3/\text{min}$ 。

(四) 几种速度型、容积型压缩机的特性对比(见表 0-1)

表 0-1 几种速度型、容积型压缩机特性对比

		特 性	优 点	缺 点
速度型 压缩机	离心式 压缩机	流量和出口压力的变化由性能曲线决定。出口压力过高，将导致机组发生喘振	1) 排气量均匀，无脉动 2) 外形尺寸及重量较小，结构较简单，易损件少，设备维护，检修工作量较小	1) 气流速度快，损失较大，小流量机组效率低 2) 不适应在小流量、超高压的范围内使用
	轴流式 压缩机	流量和出口压力的变化由性能曲线决定。特性曲线较陡，压力变化时，流量变化较小。出口压力过高，将导致机组发生喘振。流量超过一定限度，流道发生气流阻塞，性能遭到破坏	1) 气流流动摩擦损耗较离心压缩机小，因此效率较高 2) 适于特大输气量、低压或中压 3) 可通过调整定子叶片和转子叶片的角度改变流量	1) 稳定工作范围较窄 2) 由于空气动力造成的振动，以及对灰尘污染敏感，有可能损坏叶片 3) 出口压力较低
容积型 压缩机	活塞式 压缩机	气流调节时，排气压力几乎不改变	1) 气流速度低，损失小，效率较高 2) 从低压到超高压，适应压力范围广 3) 同一台压缩机可压缩不同的气体	1) 往复惯性力无法彻底平衡 2) 活塞式压缩机排气脉动性大 3) 不适用于大流量的场合 4) 维修工作量较大
	螺杆式 压缩机	螺杆式压缩机具有低压、较大流量的操作特性。转子的长度和直径，决定了压缩机的压力和流量	1) 螺杆式压缩机无往复式压缩机的气流脉动，也没有离心式压缩机的喘振现象 2) 零部件少，结构紧凑，运行平稳，寿命长，维护简单 3) 对气体带液要求不太严格	转子型线复杂，加工要求高，噪声大

## 二、压缩机在石油化工生产中的应用以及发展趋势

### (一) 压缩机在石油化工生产中的应用

在许多气体加工的生产装置中，大型压缩机组作为关键设备在生产中扮演重要角色，其典型应用范围见表 0-2。

表 0-2 压缩机在石油化工领域的应用范围

分 类	生 产 工 艺	介 质	工作 压力 范围/MPa
石油炼制	催化裂化	富气	1.2~1.6
		空气	0.2~0.4
	催化重整(含固定床、连续法及芳烃抽提)	氢气 氮气	0.6~2.8 1.2~1.7

续表

分类	生产工艺	介质	工作压力范围/MPa	
石油炼制	加氢精制	氢气	2.3~11.5(汽、煤、柴油加氢) 3.1~11.9(蜡油加氢) 11~19.6(渣油加氢) 8~18.4(润滑油加氢) 4.5~10.7(石蜡加氢)	
	加氢裂化	氢气	5.6~19.6	
	制氢	原料气、氢气	2.5~3.5 1.6~3.5	
	延迟焦化	富气	0.8~1.6	
	脱硫	氢气	7、11、16	
	硫酸法烷基化	氨气	1.6	
	氢氟酸烷基化	氮气	3.0	
	溶剂脱蜡、石蜡成型	氨	1.3~1.6	
化工	乙烯、丙烯	裂解气 乙烯气 丙烯气	3.7 1.9 1.8	
	高压聚乙烯	乙烯气 一次 二次	15~25 150~320	
	聚丙烯	丙烯气	2.6	
	氯乙烯	乙烯、氯 合成气	1.0 0.5	
	丙烯腈	丙烯、空气	丙烯 2.0 空气 0.2	
	合成橡胶 甲醇	丙烯、生成气 合成气、乙烯气	丙烯 2.0 生成气 1.6 4.9、5.3	
化肥	合成氨	氮、氢混合气 循环气 空气	15、20、32、60 升压 3~4 3.5、7.0	
	尿素	氮气	2.5~3.5	
		氨	1.5、3.5	
		二氧化碳	15、20	
化纤	合成纤维	乙炔 空气 二氧化碳	1.2 0.35~1.2 0.4	
	空分	制氧、制氮	空气、氧气、氮气	0.5~0.8、2.5 22
			空气	0.4~0.6
空气动力	仪表风	空气	0.4~0.6	
动力装置 (锅炉, 电站)	锅炉鼓、引风, 煤粉输送, 电站冷却塔通风	空气、烟气	10~700mmH <sub>2</sub> O	

## (二) 压缩机组的大型化成为当前石油化工的发展趋势

越来越多的大功率进口压缩机组或引进国外先进技术生产的国产大型压缩机组已经或准备投入运行。300万 t/a 催化裂化的轴流式空气压缩机原动机功率已经达到 12000kW, 350万 t/a 催化裂化的轴流式空气压缩机原动机功率已经达到 18000kW。催化裂化装置的富气压缩机原动机的功率有相当一部分已经超过 5000kW, 用于能量回收的烟气轮机的额定功率已经提高到 10000~20000kW。乙烯裂解气压缩机的功率达到 10750kW, 高压聚乙烯一次压缩机操作压力 29.9MPa, 功率 1300kW, 二次压缩机操作压力 260MPa, 功率 6400kW。这些核心设备的运行质量如何, 直接关系到企业的经济效益和安全生产。

## 1. 长周期安全运行

大机组的检修周期一般都已经提高到连续运行 2~3 年,要实现这样一个目标,机组及其零部件从设计、制造,到安装和维护检修都存在着一个与国际标准接轨、适应长周期运行的问题。目前开展的大机组状态监测和特级维护,使得现场管理水平登上了一个新的台阶。但是,诸如转子叶片断裂等突发性设备事故,仍然难以避免。因此,对这一类问题,在设计标准、制造质量及检验、安装检修、工艺操作、状态监测及故障诊断等方面应尽快与国际标准接轨,向国际先进技术水平靠拢。

### 2. 活塞式压缩机的管系振动及状态监测

活塞式压缩机组气流脉动引起的管系振动,在生产现场几乎成为一个普遍遇到的棘手问题。管系的设计应该与压缩机组的设计相匹配,力求从设计源头上解决气流脉动引发的一系列振动问题。即便如此,现场仍然会出现一些预料之外的振动,留给设备维护和检修人员去解决这些遗留问题。

国内活塞式压缩机的状态监测与透平式压缩机的状态监测相比,起步较晚、实用化的发展进程较慢。目前,在机体的设计方面,尚未考虑到状态监测元器件的相应固定位置。在这方面,国外有些公司,如美国本特利公司,对活塞式压缩机的在线状态监测的研制工作取得了较大的进展。该系统监测的项目包括:活塞杆下沉、吸、排气阀温度和机体振动三大类,其典型组态图见图 0-12。

近年来,在石油化工关键大机组上采用了非接触式电涡流传感器监测活塞杆下沉方法,效果应该是肯定的。但是活塞式压缩机工作条件最为苛刻的气阀,也是活塞式压缩机运行中最容易损坏的零部件,其工作状态的监测开展得却比较缓慢。因此有必要加快研发进度,尽早推出适合于国产各类大、中型活塞式压缩机状态监测的市场化定型产品。

### 3. 系统噪声的控制

对大型压缩机组的噪声的有效控制,目前仍然是一个薄弱环节。可以参照 GBJ 87—1985“工业企业噪声控制设计规范”和国际标准化机构颁布的“噪声允许标准”对现场噪声进行控制和治理。一些压缩机组由于设计等方面的原因,在入口管线、叶轮流道或出口管线内发生湍流,使得压缩机组变成了流体动力性噪声源。有的厂房内的噪声强度已经远远大于 90dB(A),不仅操作人员无法在现场工作,就连特级维护各专业人员的定期检查、维护活动也受到不同程度的影响。设计上在吸入和排出管路采用消音器,可以减少管路的噪声。湍流形成的噪声可通过压缩机的机壳放射出去。通过设计完全消除湍流噪声几乎是不可能的,在压缩机安装好之后,可对机壳和管道采用专门设计的隔音罩、夹套和外包封皮对噪声加以控制。

### 4. 能耗的控制与管理

我国石油化工生产平均综合能耗和国外先进水平相比,仍然是国外先进水平的 1.3~1.5

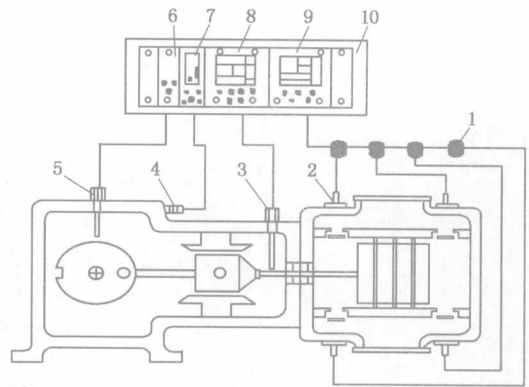


图 0-12 活塞式压缩机在线监测的典型组态图  
1—温度传感器接口模块；2—温度传感器；3—非接触式位移传感器；4—速度传感器；5—键相器；6—系统监测器；7—双通道速度监测器；8—6 通道活塞杆下沉监测器；9—32 通道气阀温度监测器；10—监测器框架

倍左右。除规模效益上的原因之外，强化对高能耗大机组的节能技术改造和用能分析评价是十分必要的。采用变频调速技术，使高能耗机组处于最高效率点附近工作，以及采用可调静叶的轴流风机可比常规的离心式风机获得更高的效率。对关键大机组定期开展用能分析诊断，不仅对于机组的设备技术状态分析是必要的，而且对提出降低能耗的改进措施、设备更新和技术改造都有着重要的指导意义。

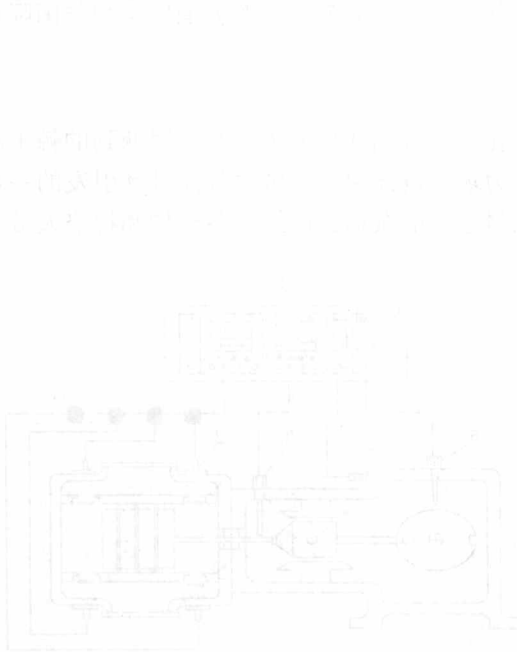


图 1-0-0 汽轮机系统示意图

1-汽轮机；2-发电机；3-励磁机；4-调速器；5-油动机；6-油泵；7-冷却水泵；8-凝结水泵；9-给水泵；10-加热器；11-减温器；12-再热器；13-省煤器；14-水冷壁；15-汽包；16-下降管；17-上升管；18-蒸汽管道；19-凝结水管道；20-给水管道；21-抽气器；22-空气预热器；23-除尘器；24-引风机；25-送风机；26-磨煤机；27-给煤机；28-炉膛；29-水冷壁；30-汽包；31-下降管；32-上升管；33-蒸汽管道；34-凝结水管道；35-给水管道；36-抽气器；37-空气预热器；38-除尘器；39-引风机；40-送风机；41-磨煤机；42-给煤机；43-炉膛；44-水冷壁；45-汽包；46-下降管；47-上升管；48-蒸汽管道；49-凝结水管道；50-给水管道；51-抽气器；52-空气预热器；53-除尘器；54-引风机；55-送风机；56-磨煤机；57-给煤机；58-炉膛；59-水冷壁；60-汽包；61-下降管；62-上升管；63-蒸汽管道；64-凝结水管道；65-给水管道；66-抽气器；67-空气预热器；68-除尘器；69-引风机；70-送风机；71-磨煤机；72-给煤机；73-炉膛；74-水冷壁；75-汽包；76-下降管；77-上升管；78-蒸汽管道；79-凝结水管道；80-给水管道；81-抽气器；82-空气预热器；83-除尘器；84-引风机；85-送风机；86-磨煤机；87-给煤机；88-炉膛；89-水冷壁；90-汽包；91-下降管；92-上升管；93-蒸汽管道；94-凝结水管道；95-给水管道；96-抽气器；97-空气预热器；98-除尘器；99-引风机；100-送风机；101-磨煤机；102-给煤机；103-炉膛；104-水冷壁；105-汽包；106-下降管；107-上升管；108-蒸汽管道；109-凝结水管道；110-给水管道；111-抽气器；112-空气预热器；113-除尘器；114-引风机；115-送风机；116-磨煤机；117-给煤机；118-炉膛；119-水冷壁；120-汽包；121-下降管；122-上升管；123-蒸汽管道；124-凝结水管道；125-给水管道；126-抽气器；127-空气预热器；128-除尘器；129-引风机；130-送风机；131-磨煤机；132-给煤机；133-炉膛；134-水冷壁；135-汽包；136-下降管；137-上升管；138-蒸汽管道；139-凝结水管道；140-给水管道；141-抽气器；142-空气预热器；143-除尘器；144-引风机；145-送风机；146-磨煤机；147-给煤机；148-炉膛；149-水冷壁；150-汽包；151-下降管；152-上升管；153-蒸汽管道；154-凝结水管道；155-给水管道；156-抽气器；157-空气预热器；158-除尘器；159-引风机；160-送风机；161-磨煤机；162-给煤机；163-炉膛；164-水冷壁；165-汽包；166-下降管；167-上升管；168-蒸汽管道；169-凝结水管道；170-给水管道；171-抽气器；172-空气预热器；173-除尘器；174-引风机；175-送风机；176-磨煤机；177-给煤机；178-炉膛；179-水冷壁；180-汽包；181-下降管；182-上升管；183-蒸汽管道；184-凝结水管道；185-给水管道；186-抽气器；187-空气预热器；188-除尘器；189-引风机；190-送风机；191-磨煤机；192-给煤机；193-炉膛；194-水冷壁；195-汽包；196-下降管；197-上升管；198-蒸汽管道；199-凝结水管道；200-给水管道；201-抽气器；202-空气预热器；203-除尘器；204-引风机；205-送风机；206-磨煤机；207-给煤机；208-炉膛；209-水冷壁；210-汽包；211-下降管；212-上升管；213-蒸汽管道；214-凝结水管道；215-给水管道；216-抽气器；217-空气预热器；218-除尘器；219-引风机；220-送风机；221-磨煤机；222-给煤机；223-炉膛；224-水冷壁；225-汽包；226-下降管；227-上升管；228-蒸汽管道；229-凝结水管道；230-给水管道；231-抽气器；232-空气预热器；233-除尘器；234-引风机；235-送风机；236-磨煤机；237-给煤机；238-炉膛；239-水冷壁；240-汽包；241-下降管；242-上升管；243-蒸汽管道；244-凝结水管道；245-给水管道；246-抽气器；247-空气预热器；248-除尘器；249-引风机；250-送风机；251-磨煤机；252-给煤机；253-炉膛；254-水冷壁；255-汽包；256-下降管；257-上升管；258-蒸汽管道；259-凝结水管道；260-给水管道；261-抽气器；262-空气预热器；263-除尘器；264-引风机；265-送风机；266-磨煤机；267-给煤机；268-炉膛；269-水冷壁；270-汽包；271-下降管；272-上升管；273-蒸汽管道；274-凝结水管道；275-给水管道；276-抽气器；277-空气预热器；278-除尘器；279-引风机；280-送风机；281-磨煤机；282-给煤机；283-炉膛；284-水冷壁；285-汽包；286-下降管；287-上升管；288-蒸汽管道；289-凝结水管道；290-给水管道；291-抽气器；292-空气预热器；293-除尘器；294-引风机；295-送风机；296-磨煤机；297-给煤机；298-炉膛；299-水冷壁；300-汽包；301-下降管；302-上升管；303-蒸汽管道；304-凝结水管道；305-给水管道；306-抽气器；307-空气预热器；308-除尘器；309-引风机；310-送风机；311-磨煤机；312-给煤机；313-炉膛；314-水冷壁；315-汽包；316-下降管；317-上升管；318-蒸汽管道；319-凝结水管道；320-给水管道；321-抽气器；322-空气预热器；323-除尘器；324-引风机；325-送风机；326-磨煤机；327-给煤机；328-炉膛；329-水冷壁；330-汽包；331-下降管；332-上升管；333-蒸汽管道；334-凝结水管道；335-给水管道；336-抽气器；337-空气预热器；338-除尘器；339-引风机；340-送风机；341-磨煤机；342-给煤机；343-炉膛；344-水冷壁；345-汽包；346-下降管；347-上升管；348-蒸汽管道；349-凝结水管道；350-给水管道；351-抽气器；352-空气预热器；353-除尘器；354-引风机；355-送风机；356-磨煤机；357-给煤机；358-炉膛；359-水冷壁；360-汽包；361-下降管；362-上升管；363-蒸汽管道；364-凝结水管道；365-给水管道；366-抽气器；367-空气预热器；368-除尘器；369-引风机；370-送风机；371-磨煤机；372-给煤机；373-炉膛；374-水冷壁；375-汽包；376-下降管；377-上升管；378-蒸汽管道；379-凝结水管道；380-给水管道；381-抽气器；382-空气预热器；383-除尘器；384-引风机；385-送风机；386-磨煤机；387-给煤机；388-炉膛；389-水冷壁；390-汽包；391-下降管；392-上升管；393-蒸汽管道；394-凝结水管道；395-给水管道；396-抽气器；397-空气预热器；398-除尘器；399-引风机；400-送风机；401-磨煤机；402-给煤机；403-炉膛；404-水冷壁；405-汽包；406-下降管；407-上升管；408-蒸汽管道；409-凝结水管道；410-给水管道；411-抽气器；412-空气预热器；413-除尘器；414-引风机；415-送风机；416-磨煤机；417-给煤机；418-炉膛；419-水冷壁；420-汽包；421-下降管；422-上升管；423-蒸汽管道；424-凝结水管道；425-给水管道；426-抽气器；427-空气预热器；428-除尘器；429-引风机；430-送风机；431-磨煤机；432-给煤机；433-炉膛；434-水冷壁；435-汽包；436-下降管；437-上升管；438-蒸汽管道；439-凝结水管道；440-给水管道；441-抽气器；442-空气预热器；443-除尘器；444-引风机；445-送风机；446-磨煤机；447-给煤机；448-炉膛；449-水冷壁；450-汽包；451-下降管；452-上升管；453-蒸汽管道；454-凝结水管道；455-给水管道；456-抽气器；457-空气预热器；458-除尘器；459-引风机；460-送风机；461-磨煤机；462-给煤机；463-炉膛；464-水冷壁；465-汽包；466-下降管；467-上升管；468-蒸汽管道；469-凝结水管道；470-给水管道；471-抽气器；472-空气预热器；473-除尘器；474-引风机；475-送风机；476-磨煤机；477-给煤机；478-炉膛；479-水冷壁；480-汽包；481-下降管；482-上升管；483-蒸汽管道；484-凝结水管道；485-给水管道；486-抽气器；487-空气预热器；488-除尘器；489-引风机；490-送风机；491-磨煤机；492-给煤机；493-炉膛；494-水冷壁；495-汽包；496-下降管；497-上升管；498-蒸汽管道；499-凝结水管道；500-给水管道；501-抽气器；502-空气预热器；503-除尘器；504-引风机；505-送风机；506-磨煤机；507-给煤机；508-炉膛；509-水冷壁；510-汽包；511-下降管；512-上升管；513-蒸汽管道；514-凝结水管道；515-给水管道；516-抽气器；517-空气预热器；518-除尘器；519-引风机；520-送风机；521-磨煤机；522-给煤机；523-炉膛；524-水冷壁；525-汽包；526-下降管；527-上升管；528-蒸汽管道；529-凝结水管道；530-给水管道；531-抽气器；532-空气预热器；533-除尘器；534-引风机；535-送风机；536-磨煤机；537-给煤机；538-炉膛；539-水冷壁；540-汽包；541-下降管；542-上升管；543-蒸汽管道；544-凝结水管道；545-给水管道；546-抽气器；547-空气预热器；548-除尘器；549-引风机；550-送风机；551-磨煤机；552-给煤机；553-炉膛；554-水冷壁；555-汽包；556-下降管；557-上升管；558-蒸汽管道；559-凝结水管道；560-给水管道；561-抽气器；562-空气预热器；563-除尘器；564-引风机；565-送风机；566-磨煤机；567-给煤机；568-炉膛；569-水冷壁；570-汽包；571-下降管；572-上升管；573-蒸汽管道；574-凝结水管道；575-给水管道；576-抽气器；577-空气预热器；578-除尘器；579-引风机；580-送风机；581-磨煤机；582-给煤机；583-炉膛；584-水冷壁；585-汽包；586-下降管；587-上升管；588-蒸汽管道；589-凝结水管道；590-给水管道；591-抽气器；592-空气预热器；593-除尘器；594-引风机；595-送风机；596-磨煤机；597-给煤机；598-炉膛；599-水冷壁；600-汽包；601-下降管；602-上升管；603-蒸汽管道；604-凝结水管道；605-给水管道；606-抽气器；607-空气预热器；608-除尘器；609-引风机；610-送风机；611-磨煤机；612-给煤机；613-炉膛；614-水冷壁；615-汽包；616-下降管；617-上升管；618-蒸汽管道；619-凝结水管道；620-给水管道；621-抽气器；622-空气预热器；623-除尘器；624-引风机；625-送风机；626-磨煤机；627-给煤机；628-炉膛；629-水冷壁；630-汽包；631-下降管；632-上升管；633-蒸汽管道；634-凝结水管道；635-给水管道；636-抽气器；637-空气预热器；638-除尘器；639-引风机；640-送风机；641-磨煤机；642-给煤机；643-炉膛；644-水冷壁；645-汽包；646-下降管；647-上升管；648-蒸汽管道；649-凝结水管道；650-给水管道；651-抽气器；652-空气预热器；653-除尘器；654-引风机；655-送风机；656-磨煤机；657-给煤机；658-炉膛；659-水冷壁；660-汽包；661-下降管；662-上升管；663-蒸汽管道；664-凝结水管道；665-给水管道；666-抽气器；667-空气预热器；668-除尘器；669-引风机；670-送风机；671-磨煤机；672-给煤机；673-炉膛；674-水冷壁；675-汽包；676-下降管；677-上升管；678-蒸汽管道；679-凝结水管道；680-给水管道；681-抽气器；682-空气预热器；683-除尘器；684-引风机；685-送风机；686-磨煤机；687-给煤机；688-炉膛；689-水冷壁；690-汽包；691-下降管；692-上升管；693-蒸汽管道；694-凝结水管道；695-给水管道；696-抽气器；697-空气预热器；698-除尘器；699-引风机；700-送风机；701-磨煤机；702-给煤机；703-炉膛；704-水冷壁；705-汽包；706-下降管；707-上升管；708-蒸汽管道；709-凝结水管道；710-给水管道；711-抽气器；712-空气预热器；713-除尘器；714-引风机；715-送风机；716-磨煤机；717-给煤机；718-炉膛；719-水冷壁；720-汽包；721-下降管；722-上升管；723-蒸汽管道；724-凝结水管道；725-给水管道；726-抽气器；727-空气预热器；728-除尘器；729-引风机；730-送风机；731-磨煤机；732-给煤机；733-炉膛；734-水冷壁；735-汽包；736-下降管；737-上升管；738-蒸汽管道；739-凝结水管道；740-给水管道；741-抽气器；742-空气预热器；743-除尘器；744-引风机；745-送风机；746-磨煤机；747-给煤机；748-炉膛；749-水冷壁；750-汽包；751-下降管；752-上升管；753-蒸汽管道；754-凝结水管道；755-给水管道；756-抽气器；757-空气预热器；758-除尘器；759-引风机；760-送风机；761-磨煤机；762-给煤机；763-炉膛；764-水冷壁；765-汽包；766-下降管；767-上升管；768-蒸汽管道；769-凝结水管道；770-给水管道；771-抽气器；772-空气预热器；773-除尘器；774-引风机；775-送风机；776-磨煤机；777-给煤机；778-炉膛；779-水冷壁；780-汽包；781-下降管；782-上升管；783-蒸汽管道；784-凝结水管道；785-给水管道；786-抽气器；787-空气预热器；788-除尘器；789-引风机；790-送风机；791-磨煤机；792-给煤机；793-炉膛；794-水冷壁；795-汽包；796-下降管；797-上升管；798-蒸汽管道；799-凝结水管道；800-给水管道；801-抽气器；802-空气预热器；803-除尘器；804-引风机；805-送风机；806-磨煤机；807-给煤机；808-炉膛；809-水冷壁；810-汽包；811-下降管；812-上升管；813-蒸汽管道；814-凝结水管道；815-给水管道；816-抽气器；817-空气预热器；818-除尘器；819-引风机；820-送风机；821-磨煤机；822-给煤机；823-炉膛；824-水冷壁；825-汽包；826-下降管；827-上升管；828-蒸汽管道；829-凝结水管道；830-给水管道；831-抽气器；832-空气预热器；833-除尘器；834-引风机；835-送风机；836-磨煤机；837-给煤机；838-炉膛；839-水冷壁；840-汽包；841-下降管；842-上升管；843-蒸汽管道；844-凝结水管道；845-给水管道；846-抽气器；847-空气预热器；848-除尘器；849-引风机；850-送风机；851-磨煤机；852-给煤机；853-炉膛；854-水冷壁；855-汽包；856-下降管；857-上升管；858-蒸汽管道；859-凝结水管道；860-给水管道；861-抽气器；862-空气预热器；863-除尘器；864-引风机；865-送风机；866-磨煤机；867-给煤机；868-炉膛；869-水冷壁；870-汽包；871-下降管；872-上升管；873-蒸汽管道；874-凝结水管道；875-给水管道；876-抽气器；877-空气预热器；878-除尘器；879-引风机；880-送风机；881-磨煤机；882-给煤机；883-炉膛；884-水冷壁；885-汽包；886-下降管；887-上升管；888-蒸汽管道；889-凝结水管道；890-给水管道；891-抽气器；892-空气预热器；893-除尘器；894-引风机；895-送风机；896-磨煤机；897-给煤机；898-炉膛；899-水冷壁；900-汽包；901-下降管；902-上升管；903-蒸汽管道；904-凝结水管道；905-给水管道；906-抽气器；907-空气预热器；908-除尘器；909-引风机；910-送风机；911-磨煤机；912-给煤机；913-炉膛；914-水冷壁；915-汽包；916-下降管；917-上升管；918-蒸汽管道；919-凝结水管道；920-给水管道；921-抽气器；922-空气预热器；923-除尘器；924-引风机；925-送风机；926-磨煤机；927-给煤机；928-炉膛；929-水冷壁；930-汽包；931-下降管；932-上升管；933-蒸汽管道；934-凝结水管道；935-给水管道；936-抽气器；937-空气预热器；938-除尘器；939-引风机；940-送风机；941-磨煤机；942-给煤机；943-炉膛；944-水冷壁；945-汽包；946-下降管；947-上升管；948-蒸汽管道；949-凝结水管道；950-给水管道；951-抽气器；952-空气预热器；953-除尘器；954-引风机；955-送风机；956-磨煤机；957-给煤机；958-炉膛；959-水冷壁；960-汽包；961-下降管；962-上升管；963-蒸汽管道；964-凝结水管道；965-给水管道；966-抽气器；967-空气预热器；968-除尘器；969-引风机；970-送风机；971-磨煤机；972-给煤机；973-炉膛；974-水冷壁；975-汽包；976-下降管；977-上升管；978-蒸汽管道；979-凝结水管道；980-给水管道；981-抽气器；982-空气预热器；983-除尘器；984-引风机；985-送风机；986-磨煤机；987-给煤机；988-炉膛；989-水冷壁；990-汽包；991-下降管；992-上升管；993-蒸汽管道；994-凝结水管道；995-给水管道；996-抽气器；997-空气预热器；998-除尘器；999-引风机；1000-送风机。

... (faded text) ...

了用米土能... (faded text) ...

... (faded text) ...

# 第一章 工程热力学和气体动力学基础知识

## 第一节 气体的状态参数

### 一、气体的基本状态参数

热力学中常用温度、压力和比容等物理量来描述和确定气体工质的状态。这3个状态参数是可以通过测量得到的，通常叫做基本状态参数。此外还有些由基本状态参数导出的参数，如内能、焓、熵，称之为状态参数。

#### (一) 温度

温度是表示气体冷热程度的一个宏观物理量，它是大量分子热运动的集体表现。根据分子运动理论，温度是量度物体分子无规则平均移动动能的一个尺度。气体分子平均移动动能与热力学温度的关系如下：

$$mc^2/2 = BT$$

式中  $m$ ——气体分子的平均质量；  
 $c$ ——气体分子的平移运动的均方根速度；  
 $B$ ——比例常数；  
 $T$ ——绝对温度，K。



#### (二) 压力

容器中的气体作用在器壁上的真实压力通常叫做绝对压力。当绝对压力高于大气压力时，仪表测得的气体压力叫做表压。当绝对压力低于大气压力时，仪表测得的气体压力叫做真空度。它们之间的关系如下：

$$\text{绝对压力} = \text{表压} + \text{大气压力}$$

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} - \text{真空度}$$

有必要指出的是：只有气体的绝对压力才能作为气体的状态参数。

压力的国际单位是帕(Pa)， $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ ，工程上常用兆帕(MPa)作为压力单位， $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

#### (三) 比容

单位质量气体的体积叫做比容。假设气体的质量为  $m$ ，体积为  $V$ ，其比容  $v = V/m$ 。

需要注意的是：①如果只给出容积而不说明物质的量，就不能说明状态，比容是状态参数，不能笼统地把体积混淆为状态参数；②同一气体在不同的温度和压力下，比容不同。

### 二、由基本状态参数导出的状态参数(内能、焓、熵)

对于一个确定的系统，内部的气体(工质)具有的总能量包括：

1) 系统作整体宏观运动的动能；

2) 系统在重力场中的位能；



- 3) 系统内部分子作无规则运动所具有的热力学能, 简称内能;
- 4) 其他能量, 如工质的化学能、核能和电磁能等。

通常在热力学中认为 4) 其他能量, 在热力过程中保持不变。因此, 系统的能量为前 3 种能量之和。实际工程当中, 对于气体压缩机、汽轮机和烟气轮机等设备来说, 当进、出口气体工质位差变化不大、速度变化不太大的时候, 系统总能量的变化则主要表现为内能的变化。

### (一) 内能

内能是由以下 4 部分能量组成:

- 1) 分子作无规则的平移运动所具有的平移动能;
- 2) 多原子组成的分子作旋转运动所具有的旋转动能;
- 3) 分子内部原子振动所具有的振动能;
- 4) 由分子间作用力所形成的位能。

前 3 种能量是温度的函数, 最后 1 种能量随分子间距离变化而变化, 即决定于气体的比容。由于气体内能决定于气体的温度和比容, 而温度和比容是状态参数, 因此, 内能也是一个状态参数。

对于理想气体, 由于假定分子间没有作用力, 也就没有内位能, 内能只考虑内动能。因此, 此时内能变成了温度的单值函数, 即  $u = f(T)$ ; 图 1-1 和图 1-2 表示了不同过程内能的变化。

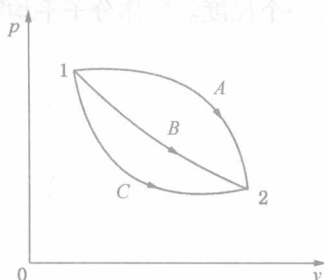


图 1-1 不同过程的内能变化相同

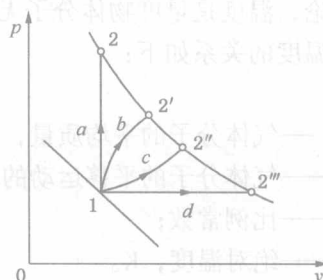


图 1-2 不同过程内能的变化比较

图 1-1 中, 过程 1-A-2 和 1-B-2 变化途径不同, 但是初始和终了状态是相同的, 因此内能的变化也是相同的。图 1-2 气体由初始 1 经过不同的过程 a、b、c、d 分别到达状态 2、2'、2'' 和 2''' , 因为这些点都在同一等温线上, 所以每个过程内能的变化都是相同的。

### (二) 焓

在一定状态下, 每 1kg 工质都有一定的内能( $u$ )、压力( $p$ )和比容( $v$ )值, 其内能与  $p v$  的和称为系统的比焓( $h$ ), 即  $h = u + p v$ 。mkg 工质的内能为  $U = u m$ , 相应地 mkg 工质的焓为  $H = U + p V$ 。焓与内能具有相同的单位, 在 SI 制中,  $H$  与  $U$  的单位都是 kJ/kg。

从上面定义式中可以看出: 焓是气体的能量。它等于工质流入或流出热力设备时带进或带出的内能与流动能之和, 是随着工质移动而转移的一种能量。当气体流入开口系统时, 系统所增加的能量为流入气体的焓; 反之, 从开口系统流出气体, 系统所减少的能量也是流出气体的焓。

对于理想气体来说, 因为内能是温度的单值函数, 而且  $p v$  也是温度的单值函数, 所以, 焓也是温度的单值函数, 即  $H = f(T)$ 。

### (三) 熵

功和热量都是气体与外界之间可以相互传递的能量。功是气体和外界发生机械作用时传递的能量 (除热量之外)。在无耗散的准静态过程中, 气体的容积功为  $\delta w = p d v$ 。气体的压