

船用压缩机手册

(苏)П.А.季加列夫著

耿惠彬 曾德尧 译



《机电设备》编辑部

一九八九年三月

船用压缩机手册

(苏) П.А. 季加列夫

耿惠彬 曾德尧 译

耿惠彬 王仁德 校
陈德秀 汪长根

“机电设备”编辑部

一九八九年一月

内 容 简 介

本书阐述了苏联低压、中压和高压曲柄连杆式和高压自由活塞式压缩机的基础理论、设计计算、结构部件、控制系统和典型机组型式，并介绍了高压空气干燥和净化装置的结构和设计计算。

本书可供压缩机行业的设计和工艺人员以及从事船用压缩机操作和修理的专业人员使用，也可供大专院校有关专业的师生参考。

Tigarev P. A. Handbook on marine compressors — L.: Sudostroenie, 1981, 320 pp.

The handbook covers a wide variety of problems on compressors such as working processes in compressor and their characteristics, compressors arrangement, design and calculation together with compressed air drying and cleaning units, compressors systems and auxiliaries.

Contents. Basic theory of gas compressing by means of piston compressors. Compressor arrangement. Method of marine compressor calculation. Compressors auxiliary machinery. Marine piston compressors designs. Marine piston compressors repair.

Тигарев П. А.

Справочник по судовым компрессорам. — Л.: Судостроение, 1981, с. 320.

В справочнике собраны данные по основным типам отечественных судовых компрессоров низкого, среднего и высокого давления. Содержатся сведения о конструировании и расчете, проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте судовых компрессоров и блоков осушки и очистки сжатого воздуха. Рассмотрены типовые конструкции судовых поршневых компрессоров.

Предназначен для конструкторов, проектировщиков, технологов, работающих в области компрессоростроения, а также для специалистов флота, занимающихся эксплуатацией и ремонтом компрессоров.

目 录

译序	6
原作者序	7
符号	8
引言	10
 第一章 活塞式压缩机的理论基础	12
1.1 活塞式压缩机结构简图和工作原理	12
1.2 气体状态参数和热力学基本关系	12
1.3 压缩机的理论工作过程	14
1.3.1 等温过程	16
1.3.2 绝热过程	17
1.3.3 多变过程	17
1.4 压缩机工作循环	18
1.5 指示图	20
1.6 压缩机中空气的实际压缩过程	21
1.6.1 压缩机的容积系数	22
1.6.2 进气压力损失	23
1.6.3 进气时气体与气缸壁之间的热交换	23
1.6.4 压缩机中气体的泄漏	23
1.6.5 气体的湿度	24
1.6.6 排气系统	24
1.7 高压下实际气体的压缩	26
1.8 效率	27
1.9 多级压缩	28
1.10 压缩机中气体的冷却	29
1.11 自由活塞压缩机压缩级热力循环的特点	30
1.11.1 自由活塞压缩机压缩级的指示功	30
1.11.2 平均指示压力	31
1.11.3 压缩机的容积系数	32
1.11.4 带中间抽气的压缩级	32
1.11.5 带中间抽气的压缩级的容积系数	33
1.11.6 带抽气的压缩级的平均指示压力和循环所作的功	33
1.11.7 压缩级反行程的功	33
1.12 确定自由活塞压缩机各参数之间相互关系的基本方程	34
1.12.1 自由活塞压缩机基本方程的推导	34
1.12.2 循环质量平衡和功平衡方程的联立解	35
1.13 反行程能量平衡方程	37
1.14 同步机构均匀承载方程	41

1.15	压缩缸排气行程相等方程	41
1.16	扫气泵尺寸的确定	43
1.17	压缩级数的选择	46
第二章 船用活塞式压缩机动力学		47
2.1	曲柄连杆机构运动学	47
2.2	曲柄连杆机构动力学	50
2.2.1	连杆质量的折算	50
2.2.2	旋转质量的折算	52
2.2.3	曲柄连杆机构的惯性力	52
2.2.4	空气压力	53
2.2.5	指示图的绘制	53
2.2.6	活塞力图	55
2.2.7	曲柄连杆机构中的总作用力	56
2.2.8	反作用力矩图	58
2.2.9	飞轮尺寸的确定	61
2.3	船用活塞式压缩机的振动和噪声	62
2.3.1	活塞式压缩机的机械噪声和振动	62
2.3.2	气体动力噪声	62
2.3.3	电磁噪声源	63
2.3.4	降低振动源音频振动的主要措施	63
2.3.5	齿轮的噪声及其降噪措施	63
2.3.6	隔声和隔振	65
2.3.7	压缩机在船上的减振	65
2.3.8	吸声	66
2.4	船用活塞式压缩机的结构方案	66
2.5	船用活塞式压缩机布置的一般原则	70
2.6	活塞式压缩机的平衡	72
2.6.1	机座所承受的力	72
2.6.2	曲柄连杆机构惯性力的平衡	72
2.6.3	旋转质量离心惯性力的平衡	73
2.6.4	单列立式压缩机的平衡	74
2.6.5	双列立式压缩机的平衡	76
2.6.6	多列立式压缩机的平衡	78
2.6.7	带公共曲柄和气缸夹角为 90° 的 V 型压缩机的平衡	78
2.6.8	卧式对置压缩机的平衡	79
第三章 船用活塞式压缩机的计算		81
3.1	曲柄连杆机构式活塞式压缩机的计算	81
3.1.1	计算压缩机时所必需的参数	81

3.1.2	热力计算	81
3.1.3	压缩机的动力计算	93
3.2	自由活塞压缩机计算方法	99
3.2.1	结构方案和工作原理	99
3.2.2	自由活塞压缩机的计算参数和计算步骤	100
3.2.3	自由活塞压缩机额定工况计算	100
3.2.4	自由活塞压缩机的同步机构	104
3.2.5	自由活塞压缩机的变工况分析	105
3.2.6	自由活塞压缩机的动力计算	111
第四章	船用活塞式压缩机的结构部件	116
4.1	压缩机的主要结构部件	116
4.2	机座、曲轴箱和机架	116
4.3	压缩机运动机构	117
4.3.1	曲轴	118
4.3.2	曲轴计算	120
4.3.3	轴承	123
4.3.4	连杆	126
4.4	活塞	132
4.4.1	活塞尺寸选择	134
4.4.2	活塞计算	134
4.4.3	活塞环	134
4.4.4	活塞环计算	137
4.4.5	活塞销	139
4.4.6	活塞销计算	140
4.5	压缩机气缸	141
4.5.1	气缸套	143
4.5.2	工作气缸和气缸套计算	144
4.5.3	动力螺栓和螺柱计算	146
4.6	船用压缩机的配气机构	147
4.6.1	自动气阀结构	148
4.6.2	自动气阀计算	150
第五章	压缩机附属机械、设备和密封	155
5.1	冷却水泵	155
5.1.1	泵的型式和作用原理	155
5.1.2	泵的基本技术参数和结构部件	155
5.1.3	离心泵的计算	157
5.2	冷却器	162
5.2.1	冷却器的热力计算	164

5.3	油水分离器	169
5.4	润滑油泵	171
5.5	润滑油冷却器	173
5.6	润滑油滤器	174
5.7	密封和密封材料	176
5.7.1	密封的型式和用途	176
5.7.2	静密封	177
5.7.3	橡胶垫片密封	178
5.7.4	橡胶密封圈密封	179
5.7.5	高压金属静密封	180
5.7.6	金属垫片密封	181
5.7.7	动密封	181
5.7.8	橡胶密封圈动密封	181
5.7.9	V形密封圈	183
5.8	静密封和动密封的材料	184
第六章	管路系统、安全装置和检测仪表	186
6.1	压缩机的空气管路	186
6.2	高压空气系统中的压缩	187
6.3	压缩机的冷却系统	189
6.3.1	冷却系统的防污染和防腐蚀措施	190
6.3.2	牺牲阳极的结构	191
6.4	船用压缩机的润滑系统	192
6.5	船用压缩机的润滑材料	194
6.6	船用压缩机的自动化	194
6.7	船用压缩机的接地装置	195
6.8	安全装置	195
6.8.1	高压空气的安全装置	195
6.8.2	冷却水系统的安全装置	196
6.8.3	安全阀	196
6.8.4	安全阀的计算	199
6.9	检测仪表	203
第七章	船用活塞式压缩机	205
7.1	船用活塞式压缩机的主要型式	205
7.2	低压和中压压缩机	205
7.2.1	6K16 低压压缩机	206
7.2.2	20K1 中压压缩机	206
7.2.3	2K-36/320M6 中压压缩机	207
7.2.4	EX-0.17/46M 中压压缩机	208

7.3 高压压缩机	209
7.3.1 二级压缩机	209
7.3.2 三级压缩机	209
7.3.3 四级和五级压缩机	211
7.3.4 自由活塞式柴油压缩机	220
7.4 气缸无油润滑式压缩机	225
7.5 膜片式压缩机	227
 第八章 高压空气的干燥和净化装置	230
8.1 高压空气干燥的理论基础	230
8.2 高压空气的干燥和净化装置	231
8.2.1 高压空气干燥和净化的主要方法	231
8.2.2 工作过程和结构原理图	232
8.3 高压空气干燥和净化装置的主要结构部件	234
8.3.1 Б01-1 型装置	234
8.3.2 19Б0 型装置	235
8.3.3 10Б0 型高压空气干燥和净化装置	241
8.4 干燥装置后压缩空气参数的检测	244
8.4.1 湿度测量	244
8.4.2 空气含油量的分析	244
8.4.3 压缩空气中机械杂质的检测	244
8.5 空气净化过程的自动化	244
8.6 高压空气干燥和净化方法的发展趋势	247
8.7 高压空气干燥装置的计算	248
 参考文献	253
附录	254

译 序

活塞式压缩机是现代舰船上不可缺少的辅机之一。其用途广泛。特别是高压压缩机。更是完成一系列战役战术和工程任务的必要设施。本书是继“舰艇用活塞式压缩机”专著后的又一本介绍苏联船用活塞式压缩机经验和学术成就的著作。前一专著着重于说明各类压缩机的结构。本书则既介绍了曲柄连杆机构型压缩机。又有关于自由活塞压缩机方面的内容。举凡基本理论、动力计算、典型计算方法、结构部件介绍、辅助设备、安全控制仪表、船用活塞式压缩机整机结构以及空气干燥和净化装置等都一一作了详细阐述。并附详细的设计数据。本书还公布了苏联近年新研制的机型和在空气干燥和净化装置方面所取得的进展。因此可以将本书看作为苏联船用压缩机方面带有总结性的一本著作。

本书的第一至四章由耿惠彬翻译。五至八章由曾德尧翻译。然后由耿惠彬作了全书校订并改正了原文的一些印刷错误。王仁德、陈德秀、汪长根三同志在百忙中分别对第一至三章、四至五章和六至八章及附录作了技术校对。在译校过程中。译名主要参照机械工业出版社的“机械工程手册第76篇的活塞式压缩机”，以期和从事船用压缩机设计、制造和使用的同行们交流。

本书可供压缩机行业的设计人员、工艺人员以及从事船用压缩机操作和修理的专业人员使用。也可供大专院校有关专业的师生参考。

译者力图正确表达原著内容。但由于学识所限，难免仍有谬误之处。如蒙读者指正，则不胜感谢。

译 者 一九八五年四月于上海

原 作 者 序

在苏维埃政权的年代，苏联产生和发展了包括船用压缩机制造业在内的专门的动力机械制造业。

船用压缩机多种多样，本手册中所介绍的只是船舶压缩机站和为船舶服务的岸基压缩机站中所采用的活塞式压缩机的基本型式。本书收集了压缩机制造厂据以设计和制造船用压缩机的数据以及高压活塞式压缩机的气体压缩基础理论。

本书阐述了现有船用活塞式压缩机结构，探讨了制造、使用和维护的特点。综合论述压缩机站各种辅助设备（其中包括空气干燥和化学装置）的资料。本书说明了主要部件和辅助设备的结构，并以实例介绍了计算方法及设计准则。

附录中列举了目前正在生产和使用的船用活塞式压缩机的主要技术性能和使用特性。

科学技术副博士 Б. В. 格里申 (Гришин) 仔细审阅了手稿并就手册内容提出了宝贵的建议。作者特表谢意。

作者欢迎就本书内容提出意见。

- V_0, p_0, T_0 — 周围介质的体积、压力和温度;
 V_n, p_n, T_n — 进气体积、压力和温度;
 V_n, p_n, T_n — 排气体积、压力和温度;
 V_z, p_z, T_z — 燃烧终点气体体积、压力和温度;
 V_r, p_r, T_r — 压出终点气体体积、压力和温度;
 V, V_h — 压缩机体积排量 and 气缸容积;
 $L_{из}, L_{ад}, L_{пол}$ — 气体的等温、绝热和多变压缩功;
 $N_{изд}, N_e$ — 压缩机的指示功率与有效功率;
 $\eta_{из}, \eta_{ад}, \eta_{мех}$ — 等温效率、绝热效率和机械效率;
 v_n, v_n — 进气和排气比容;
 α_k — 相对余隙容积;
 m — 压缩机质量排量;
 G — 泵的流量;
 c_v, c_p — 气体的平均等容与等压比热;
 n, n_1, n_2 — 轴转速、压缩多变指数和膨胀多变指数;
 k, k_n — 绝热指数、安全系数;
 D — 气缸直径;
 S — 活塞行程;
 F_n — 活塞面积;
 c_m — 活塞平均速度;
 P, P_n — 活塞力和运动质量惯性力;
 c, ω, u — 绝对速度、相对速度和圆周速度;
 a, ε — 直线加速度、角加速度;
 g, g_n — 自由落体加速度、自由活塞柴油压缩机进气质量;
 J_n, J — 往复质量惯性力、离心力;
 T — 切向力;
 R, R_n, R_0 — 气体常数、普适气体常数、支承反作用力;
 q — 比热量;
 Q — 总比压;
 t, t — 时间、摄氏温标温度;
 M — 气体的摩尔质量;
 v_i — 气体混合物中某一组分的体积分量;
 S_1, S_2 — 过程 1~2 中点 1 和点 2 的熵;
 i_1, i_2 — 气体的焓;
 r — 曲柄半径;
 l — 连杆长度;
 M_1, M_2 — 惯性力矩;
 $M_{кр}, M_R$ — 扭矩、压缩机的反力矩;

W — 截面模数;
 α — 燃烧过量空气系数、平面角;
 ε_c — 压缩比;
 π — 压力升高比;
 β — 分子变化系数、平面角;
 $\lambda, \lambda_a, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_T, \lambda_s$ — 排气系数、容积系数、压力系数、温度系数、气密系数、干气系数;
 δ_a, δ_n — 柴油压缩机进气与排气压力损失;
 φ, φ^* — 空气相对湿度、曲轴转角;
 ξ_a, ξ_n, ξ — 进气与排气可压缩性系数、热利用系数;
 ρ, ρ' — 气体密度、气体的部分可压缩性系数;
 ψ, ψ_s — 进气有效系数、活塞行程失效系数;
 ω — 角速度;
 $\sigma_a, \sigma_s, \sigma_n, \tau$ — 抗拉强度、屈服应力、弯曲应力、切应力。

将原动机的机械能转换成气体的势能和动能用的机械。称为压缩机。船用压缩机也具有同样的功能。只是装在船上。因而对其提出了一系列与安装方法和使用条件有关的特殊要求。

压缩机的工作原理建立在一系列使气体压力得以升高的物理过程的基础上。根据这一特征。可将压缩机分成三类。

通过减小气体所占的容积来升高压力的机械。称为容积式压缩机。这种压缩机的特点是将原动机的机械能直接转换成气体的势能。工作过程是间歇的(周期性的)。属于这一类的有活塞式、旋转式、膜片式、螺杆式、滑片式和水环式压缩机。

将原动机的机械能转换为定向流动的气体的动能。随后再转换为势能的机械。称为动力式压缩机。属于这一类的有叶片式压缩机或透平压缩机。在透平压缩机中。能量转换过程是连续的。根据气流导向表面的位置。叶片式压缩机分为离心式、斜流式和轴流式等几种。

将待压缩气体予以加热和冷却而升高压力的机械属于第三类。这一类压缩机称为热力压缩机或热压缩机(目前这类机器只有试验样机或实验室样机)。

压缩机也可按质量排量、体积排量、压力升高比和运动件移动速度等主要参数进行分类。

单位时间通过压缩机出口截面的工质量。称为排量。质量排量 Q 的单位为 kg/s 。容积排量 V 的单位为 m^3/s 、 m^3/min 、 l/min 。当压缩机的转速和管网阻力不变时。其质量排量只与介质的初始参数:压力 P 及温度 T 有关。在无泄漏的情况下。通过压缩机任何通流截面的介质质量流量是恒等的。由于压缩过程中气体的压力和温度都升高。容积排量自吸入端向排出端逐渐减小。因此在按容积排量对压缩机作比较时。应将该值统一换算至标准大气状态。

质量排量 Q 小于 10 kg/s 的船用压缩机一般属于小排量压缩机; $Q = 10 \sim 30 \text{ kg/s}$ 的为中排量压缩机; $Q > 30 \text{ kg/s}$ 的则属于大排量压缩机。船用离心式压缩机通常属于中、小排量压缩机;轴流式压缩机为大、中排量压缩机。所有容积式压缩机都是小排量压缩机。

所谓压力升高比是指最终压力 P_K 与初始压力 P_H 之比。即 $\pi = P_K / P_H$ 。按这一指标。压缩机可分类如下。当 $\pi < 1.1$ 时。这种机械称为通风机; $\pi = 1.1 \sim 3.0$ 。又无特殊冷却的机械称为鼓风机; $\pi > 3.0$ 的所有机械通常都称为压缩机。

活塞式压缩机也可以最终压力值来表征。最终压力低于 1 MPa 的压缩机属于低压压缩机;在 1 到 10 MPa 之间的压缩机为中压压缩机;高于 10 MPa 的压缩机为高压压缩机。

压缩机运动件移动速度是指叶片式和旋转式压缩机转子的转速 $n(\text{s}^{-1})$ 及活塞式压缩机的活塞平均线速度 $c_m(\text{m/s})$ 。

压缩机械普遍应用于国民经济的几乎所有部门。其使用范围正在日益扩大。在各种等级和用途的船舶上。容积式和动力式压缩机得到广泛应用。主燃气轮机装置主要采用轴流式压缩机;辅燃气轮机则用离心式压缩机。船用蒸汽发生器和内燃机的增压和扫气机组中也采用离心式压缩机。在自由活塞燃气轮机装置中采用自由活塞压气机机构。轴流式和离心式压缩机之所以能在动力装置中得到广泛应用。是因为这类压缩机与容积式压缩机相比有若干优点。轴流和离心式压缩机可将工质连续供给耗气设备。从而确保动力装置的工作过程循环不息。

透平压缩机的旋转质量可达到动态平衡。而在高速下运转。所以动力装置中的透平压缩机可直接和涡轮机联接。其结果是减小机组的外形尺寸并减轻了重量。透平压缩机的一大优点是不用曲柄连杆机构。也没有滑阀或自动气阀之类配气机构。因而结构简单。可靠性高。

这种压缩机的缺点是难于达到高的排气压力，特别是在小排量时；同时，在高压条件下还难以使机壳剖分面达到可靠的密封等等。

由于船用透平压缩机通常都是保证动力装置达到输出功率的不可缺少的部分，本书不予深入讨论。

活塞式压缩机是全船高压、中压和低压压缩空气系统和内燃机起动空气系统的主要气源，这种压缩机可以由工业部门以独立的机组或压缩机站的方式供应。

各种等级和用途的船舶实际上都装有容积式压缩机。有鉴于此，本书主要讨论船舶和为船舶服务的岸基压缩机站中所使用的活塞式压缩机。

船用压缩机是一种辅机，它还可以根据工质种类、压缩级数、工作气缸相对于机座的位置、原动机种类等一系列特征来分类。

按压缩的工质种类可分为空气压缩机和气体压缩机；按压缩级数可分为单级压缩机和多级压缩机；按气缸相对于机座的位置可分为卧式、立式和角度式压缩机；按原动机种类可分为电动压缩机、柴油压缩机和蒸汽压缩机。

船舶和岸基压缩机站中用得最多的活塞式压缩机是立式和角度式高压电动压缩机，以及卧式高压柴油自由活塞压缩机，其压缩级数分别为二级、三级、四级和五级，最终排气压力为 $1.5 \sim 4.0 \text{ MPa}$ ，而排量为 $1.6 \sim 30 \text{ l/min}$ 。

在大量需要中压和低压空气的船上，装有中压和低压压缩机。若船舶所需的中压和低压压缩空气量不大，或希望减小压缩空气系统的外形尺寸，则可装设高压压缩机。此时可由高压系统通过空气节流器或节流阀获取所需的中压和低压空气。

船舶压缩空气可供各种装置使用，可用于起动主、辅柴油机和自由活塞压缩机，可供仪表、轴系装置、尾轴装置、气动自动控制系统使用，可用于充注液压系统的蓄能器，可满足风动工具和日常生活的需要。

船用压缩机制造业的一个重要发展方向是研制适于压缩特殊气体工质（如氮、二氧化碳、氧、氨、氢等气体）用的压缩机、专用的封闭型压缩机和空调用螺杆压缩机。

为了防止高压空气系统发生爆炸事故，可以采用无油润滑压缩机，即工作气缸不用矿物油润滑的压缩机。

在设计新的船用压缩机或压缩机站时，应该选用合适的母型，并在此基础上发展系列产品。这种设计方法有助于实现压缩机及其零部件的统一化，促进先进的造型方法和新的工艺流程在生产中的应用，从而更合理地组织压缩机的生产和降低其生产成本。

第一章 活塞式压缩机的理论基础

1.1 活塞式压缩机结构简图和工作原理

活塞式压缩机的主要结构部件有机座、曲轴箱和机架三者组成压缩机的机身(图1-1)。机座是安置压缩机和原动机的基础。压缩机连同机座安装在船舶底座上。曲轴箱固定在机座上,并设有支承轴承,其中装着由曲轴和连杆构成的曲柄连杆机构。曲柄连杆机构将原动机的旋转运动转换成压缩机活塞的往复运动。曲轴箱上法兰与机架相接。机架上装着压缩机气缸,气缸上固定着设有进气阀和排气阀的气缸盖。

工作气缸中设有活塞,活塞与连杆小端铰接。连杆大端装在曲轴的曲柄销上。活塞上装有弹性活塞环,用以密封活塞和工作气缸形成面之间的间隙。气缸盖的进气阀侧与大气连通,排气阀侧则与排气管路相连。排气管路将压缩空气送往冷却器,用以冷却压缩过程中加热的空气。随后排气管路将空气送往耗气设备。

气缸、气缸盖和活塞表面形成一个工作容积,活塞作往复运动时,该工作容积的大小发生变化。当活塞由上死点向下运动时,工作容积增大,同时气体压力下降,直到低于大气压。在压差的作用下,进气阀开启,气体充入增大的气缸容积。进气过程一直进行到活塞到达下死点为止,此后进气阀关闭。在活塞由下死点向上运动时,工作腔容积减小,因此包含在工作腔中的气体压力升高。当气体压力超过排气阀后的压力时,排气阀打开,压缩气体排往排气管路,这一过程一直延续到活塞到达上死点为止。上死点后,排气阀关闭。

压缩机的上述工作过程包括进气、压缩、排气等阶段。曲轴每转一周,工作过程就重复一次。活塞处于上死点时活塞和气缸盖之间的容积,称为余隙容积。

图1-1所示压缩机的进气、压缩和排气过程只限于在活塞的一侧进行,这种压缩机称为单作用压缩机。如果活塞的两侧都进行进气、压缩和排气,则这种压缩机称为双作用压缩机。

1.2 气体状态参数和热力学基本关系

决定气体状态的物理量,称为状态参数。压力、温度和比容是基本的状态参数。

在热力学中研究气体介质及其状态参数的相互关系时,通常区分理想气体和实际气体。若气体分子间无相互作用力,而分子本身可看作为无体积并处于混乱运动中的质点,则这种气体称为理想气体。理想气体状态参数之间的关系可用气体状态的特性方程表示。对1 kg气体,该方程为:

$$pv = RT \quad (1-1)$$

式中 p —— 气体绝对压力;

v —— 比容;

R —— 气体常数;

T —— 气体温度。

若过程中的气体质量为 G ，则特性方程可表示为

$$\rho V = GRT \quad (1-2)$$

式中 $V = Gv$ —— 气体体积。

气体常数取决于气体的化学性质，而与其状态无关。各种气体的气体常数是不同的。

对于空气，气体常数为 $R_a = 287.1 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。

实际气体过程只有在一定的压力和温度变化范围内可以用状态特性方程比较精确地表示，在计算中压和低压空气压缩机时就可以利用这种状态特性方程。在高压下，实际气体的密度增大，其热力过程偏离理想气体状态特性方程所描绘的过程。这是因为在压缩实际气体时，只有分子间空间的减小造成气体体积变化；分子本身的体积并不变化，这会阻碍气体体积变化。

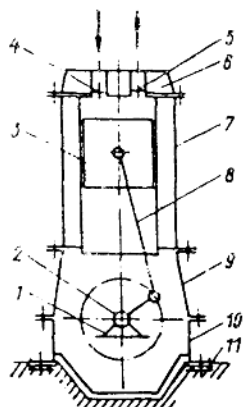


图 1-1 活塞式压缩机简图

- 1—支承轴承；2—曲轴；3—活塞；4—进气阀；5—排气阀；6—气缸盖；7—工作气缸；8—连杆；9—机架；10—曲轴箱；11—机座

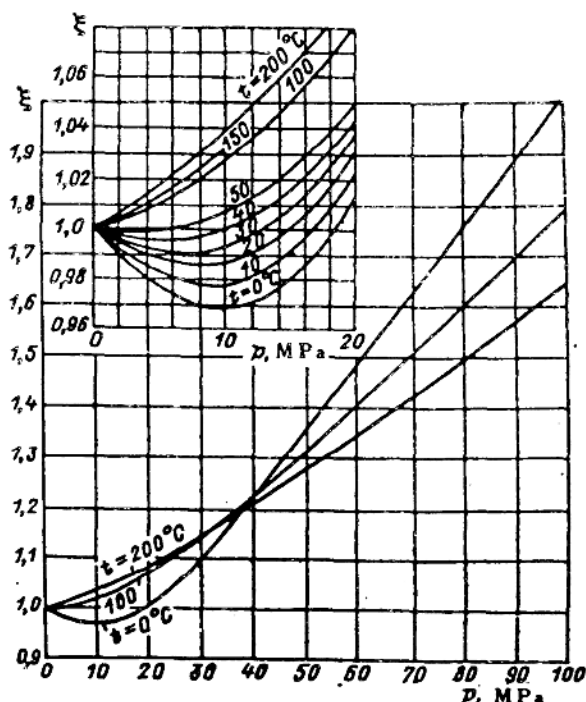


图 1-2 系数 ξ 的值

许多研究人员试图确立实际气体压缩过程的某种数学关系，这种关系能满足工程计算精确度的要求，并能表示任何压力和温度下气体及其混合物的变化。然而这些努力都以失败告终。虽然也曾找到适于在一定的压力和温度范围内使用的某些关系式，但是这些关系式使实际气体状态参数的计算变得非常复杂。因此在进行实际气体压缩过程的计算时，都应用理想气体的状态方程，并根据不同的气体及其状态，引用不同的经验修正系数。

实际气体所应用的状态方程为

$$pV = \xi RT \quad (1-3)$$

由此得

$$\xi = \frac{pV}{RT} \quad (1-4)$$

式中 ξ —— 修正系数，也称为可压缩性系数（与气体性质、压力和温度有关）。

工程中最常用的可压缩性系数 ξ 已用试验方法求得，并载于有关参考文献中。空气的系数 ξ 的值如图 1-2 所示。氮、氢和其他一些气体的修正系数 ξ 的值列于文献 [15, 26] 的图表中，利用这些图表可以求得不同压力和温度下的 ξ 的值。在 $p_0 = 101.3 \text{ kPa}$ 和 $T_0 = 273 \text{ K}$ 时，各种气体的 $\xi_0 = 1$ 。在这种情况下，方程 (1-4) 变为 $\xi_0 = \frac{p_0 v_0}{RT_0}$ ，由此求得

$$R = \frac{p_0 v_0}{T_0} \quad (1-5)$$

将式 (1-5) 的 R 代入式 (1-4)，得

$$\xi = \frac{p v T_0}{p_0 v_0 T} \quad (1-6)$$

式中 $p v$ —— 在 p 和 T 下气体势能的表达式；

$p_0 v_0$ —— 在 p_0 和 T_0 下气体势能的表达式。

气体势能的比

$$\rho' = \frac{p v}{p_0 v_0} \quad (1-7)$$

表征实际气体可压缩性偏离理想气体可压缩性的程度。系数 ρ' 称为气体的局部或特征可压缩性系数。这类系数的值也载于文献 [15, 26] 中。若计及式 (1-7) 而将式 (1-6) 加以变换，则得

$$\xi = \rho' \frac{T_0}{T} = \rho' \frac{273}{T} \quad (1-8)$$

在过程中的气体量用千摩尔表示时，气体状态方程 (1-2) 则成为

$$p V = \frac{G}{M} R_{\mu} T$$

式中 R_{μ} —— 普适气体常数或摩尔气体常数，对各种气体，此常数都相同，即 $R_{\mu} = 8314.3 \text{ J/(kmol} \cdot \text{K)}$ ；

M —— 分子量；

G/M —— 千摩尔数。

对气体混合物，气体常数 ($\text{J/(kg} \cdot \text{K)}$)

$$R = \frac{8314.3}{\sum r_i M_i}$$

式中 r_i —— 混合物中 i 组分的体积分量 ($r_i = V_i/V$)；

M_i —— 同一组分的分子量。

气体混合物的多变指数可按下式计算：

$$\frac{1}{n-1} = \sum \frac{r_i}{n_i-1}$$

1.3 压缩机的理论工作过程

在压缩机工作循环过程中，气体的状态参数发生变化。在活塞作往复运动时，气缸容积变化，机械能转变为工作介质的势能，工作介质的压力和温度也发生变化。此时能量转变过程可分为等温过程、绝热过程和多变过程三种。