

年产三十万吨合成氨厂

离心式压缩机

大连工学院编

化学工业出版社

13.26

商 試 正 本 冊

商 試 正 本 冊

商 試 正 本 冊

商 試 正 本 冊

年产 30 万吨合成氨厂

离心式压缩机

大连工学院编

化学工业出版社

内 容 简 介

本书是年产30万吨合成氨厂用书之一。

为满足年产30万吨合成氨厂从事离心式压缩机操作和维修人员的需要，本书着重于提供一些必要的基础知识，撰写了气体的热力性质、流动基础等内容。并结合这些厂设备的具体情况，介绍了离心式压缩机的基本结构、工作原理、操作及调节方法、润滑油和密封油系统、防喘振原理和措施以及运行和维修的有关知识。

本书文字通俗易懂，注意问题的分析，不沉溺于公式的推导和计算。

本书可供从事离心式压缩机和有关工作的工人和技术人员阅读，亦可供中等专业学校、技工学校有关专业师生参考。

年产30万吨合成氨厂 离心式压缩机

大连工学院 编

化学工业出版社 出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $13 \frac{3}{4}$ 插页1 字数346千字 印数1—2,800

1982年9月北京第1版 1982年9月北京第1次印刷

科技新书目京内甲50 统一书号15063·3155 定价1.15元

限 国 内 发 行

出 版 说 明

为了配合年产 30 万吨大型合成氨厂施工、开车和生产操作的需要，大连工学院在办培训班的基础上编写了一套年产 30 万吨合成氨生产用书，其中包括合成氨生产工艺、气提法尿素生产工艺、离心式压缩机、工业汽轮机、合成塔、转化炉、高压甲铵泵、机械基础、金属材料等，将分册陆续出版。

由于现有资料不够完整，又还缺乏生产实践的经验，因此，在这次编写中对有些问题讨论的还不够深入，个别章节尚不够完整，有待经过生产实践后再版时进行补充。

目 录

概 论	1
一、压缩机的分类	1
二、离心式压缩机的结构与工作原理	2
第一章 气体的热力性质	5
一、理想气体与实际气体、气体的状态参数	5
二、理想气体的基本定律	8
三、实际气体的状态方程式	11
四、气体的比热	13
五、混合气体	17
六、湿空气	22
七、功与能、热力学第一定律	26
第二章 压缩机中气体流动的基本概念	28
一、气体经叶轮的流动情况	28
二、连续流动方程式和动量方程式	29
三、叶轮对气体的做功、动量矩方程式	31
四、能量方程式	33
五、气体在收缩管和扩压管中的流动	36
六、压缩过程	38
七、级中的能量损失	43
八、压缩机的效率与功率	46
第三章 离心压缩机转子	50
一、叶 轮	50
二、轴向推力及其平衡	66
三、转子的临界转速	70
四、转子的动平衡	77
五、大型合成氨厂压缩机转子结构示例及有关技术要求	79
第四章 固定元件	87
一、气 缸	87
二、扩压器	89
三、回流器、吸气室和排气室	94
四、密 封	96
五、轴 承	110
第五章 压缩机的性能曲线和调节方法	118
一、性能曲线	118
二、性能曲线的换算	126

三、调节方法.....	136
四、喘振及防喘振基本原理.....	140
第六章 合成氨尿素厂离心式压缩机	146
一、空气压缩机.....	147
二、原料气压缩机.....	152
三、合成气压缩机.....	157
四、氨压缩机.....	161
五、二氧化碳压缩机.....	167
第七章 润滑油和密封油系统	175
一、油路系统.....	175
二、油路清洗.....	179
三、油系统的调整和联锁整定试验.....	181
第八章 离心式压缩机的运行	183
一、出厂试验.....	183
二、现场安装.....	184
三、运行操作.....	192
四、事故分析.....	198
附表一 美荷型装置的离心式压缩机性能数据表	204
附表二 日本型装置的离心式压缩机性能数据表	210
附表三 部分离心式压缩机的主要装配间隙	214
附图 计算多变能量头的辅助曲线	215
参考资料	216

概 论

一、压缩机的分类

在国民经济许多部门中，特别是在采矿、石油、化工、电力、冶金等部门广泛地使用着压缩机。压缩机主要分为：容积式压缩机和透平式压缩机两大类。

容积式压缩机包括活塞式、螺杆式、滑片式压缩机等，以活塞式为代表，故这类压缩机又可统称为活塞式压缩机。在这类压缩机中，气体压力的提高是利用气体容积的缩小来达到的。

透平式压缩机与容积式压缩机不同，是一种叶片旋转式机械。在这类压缩机中气体压力的提高是利用叶片和气体的相互作用来达到的。按排气压力大小，通常又分为通风机、鼓风机和压缩机。排气压力为1000~1500毫米水柱的称为通风机，排气压力为1000~1500毫米水柱以上到3~3.5公斤/厘米²的称为鼓风机，排气压力为3~3.5公斤/厘米²以上的称为透平压缩机。

根据气体在压缩机中的流动路线不同，透平压缩机又分为离心式和轴流式两种。在离心式压缩机中气体流动路线与压缩机轴线垂直，而在轴流式压缩机中则与轴线平行。

透平压缩机是一种高速旋转机械，和活塞式压缩机相比，它具有结构紧凑，重量轻，单机能力大，投资省，尺寸和占地面积小，操作维修简单，运转率高等优点。离心式压缩机还消除了活塞式压缩机气体带油的缺点，省去了油分离器，减少了滑油的消耗，更重要的是防止了滑油对触媒活性的毒害。透平压缩机的主要缺点是效率低，可达到的排气压力还不很高，所以容积式和透平式压缩机各有其适用的范围。一般说，活塞式压缩机宜用于高压，中小流量的场合；而透平式压缩机宜用于低、中压力，大流量的场合。近十几年来，由于离心式压缩机的理论和制造技术得到了新的发展，成功地跨入了高压领域，迅速地扩大了应用范围（图0-1），在许多大型化肥厂、炼油厂等部门，蒸汽透平驱动的高压离心式压缩机已代替了电动机驱动的活塞式压缩机，成为这些厂的关键设备。在大型合成氨厂中，主要压缩机：空气压缩机、原料气压缩机、氨压缩机（冰机）、合成气压缩机和二氧化碳压缩机都采用了蒸汽透平驱动的离心式压缩机，只有日本型的设备中，二氧化碳压缩机的高压段仍采用了活塞式压缩机。

在大型合成氨厂中离心式压缩机的动力消耗和投资占的比份很大。据统计，合成氨车间几台压缩机所消耗的动力约占该车间总动力的87%，投资占总投资的21%；尿素车间一台压缩机所消

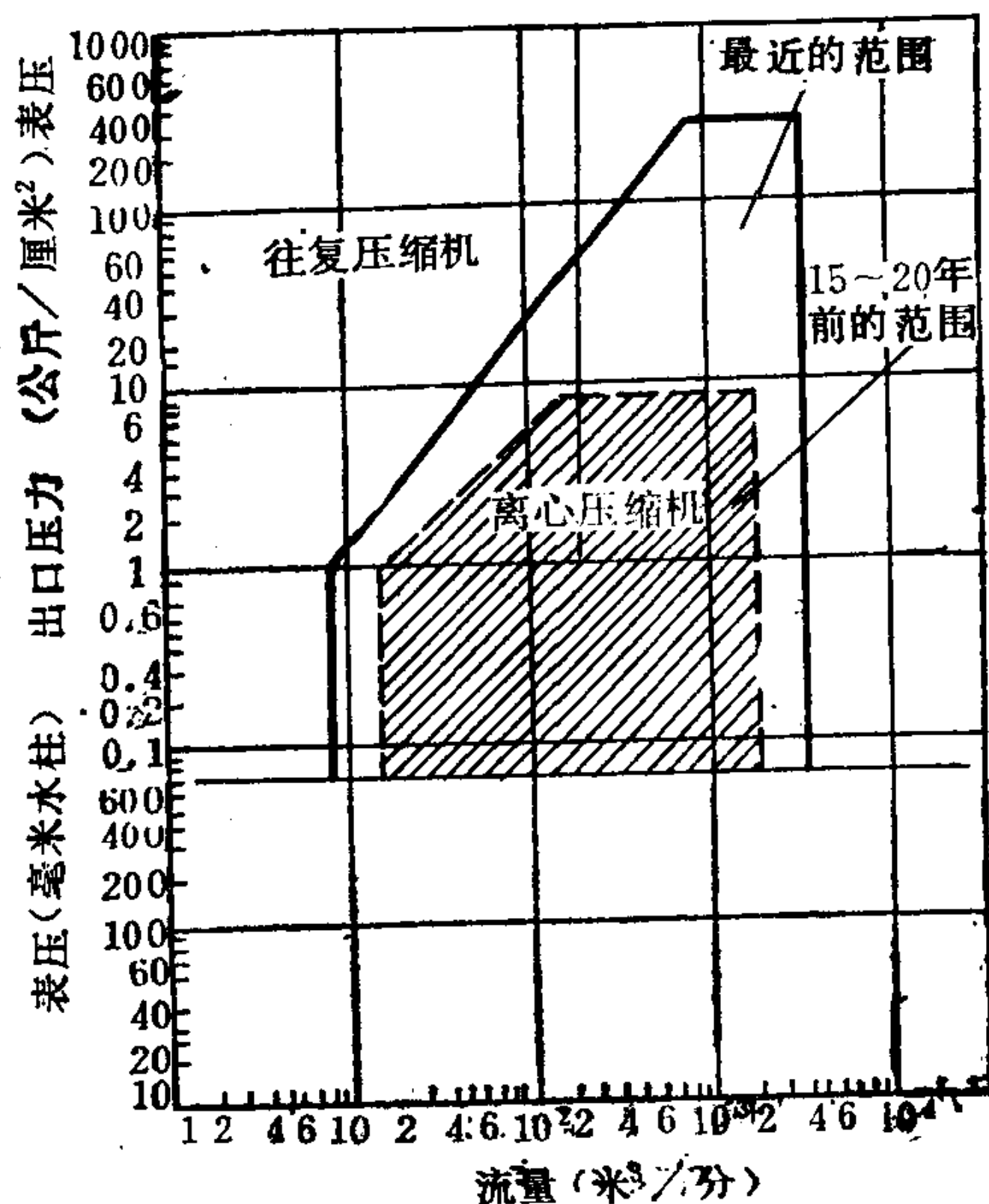


图 0-1 离心式压缩机应用范围的扩大

耗的动力占总动力的85%，投资占总投资的18%。这些压缩机都用蒸汽透平驱动，节省大量电力，利用工艺生产中的余热产生的蒸汽，做到了能量的合理使用。蒸汽透平驱动的离心式压缩机组在化肥生产中起着重要作用，常被人们称为化肥厂的心脏设备，因此，确保这些机组的正常运行对整个工厂的安全、稳定生产关系极大。国外许多大型化肥厂运行的经验表明：因蒸汽透平与压缩机机组故障而使整个工厂停工的约占25%，其中因设计不合理造成的事故占10~15%，因操作不当而造成的事故占13~15%。为了提高机组的运转率，充分发挥潜力，对社会主义建设多做贡献，操作和维修人员必须清楚地了解这些设备的结构、工作原理和有关知识，做到精心操作，周密维护，认真检修。

二、离心式压缩机的结构与工作原理

为了逐步加深对离心式压缩机的认识，现以氨压缩机高压缸为例，介绍各部件的作用。图0—2是氨压缩机105-J高压缸纵剖面图。高压缸转子转速为8900转/分，排气压力为17.7公斤/厘米²，通过增速器和低压缸相联。整个机组由与低压缸相联的蒸汽透平驱动。压缩机结构可分为两部分：一部分是转动部分（由主轴7、叶轮2、平衡盘8、联轴器13等部件组成），称为转子；另一部分是固定部分（由气缸9、隔板10、11、轴承12等部件组成），称为定子。气缸水平剖分为上下两部分，转子有7个叶轮。气体压缩分两段进行，从吸气室1进入第一段压缩后引出气缸，经过中间冷却器冷却，降低气体温度，然后再进入压缩机第二段进行压缩。一般说，压缩机的段由一个级或几个级组成。氨压缩机高压缸分为两段：第一段由3级组成，第二段由4级组成。

所谓压缩机的级是一个基本单元，它由一个叶轮和与之相配合的固定元件构成。例如气体从吸气室1进入，经过叶轮2，到扩压器3，再经弯道4、回流器5引入到下一级继续被压缩，上述元件就构成一个级。但不是每级都需要上述元件，如每段的最后一级，因为气体将排出机外，故没有弯道和回流器，而是增设一个蜗壳6，将气体汇集起来排到机器外面去。可见级有两种：一种是段的最后一级，称为末级；另一种是段中的其他所有级，称为中间级；两种级的结构组成都有叶轮，只是与之相配的固定元件有所不同。氨压缩机高压缸中的末级就是由蜗壳代替了弯道和回流器，有些压缩机末级中蜗壳甚至还取代了扩压器，气流从叶轮出来后直接被蜗壳汇集起来。为了对组成级的上述元件的作用有清楚的了解，分别叙述如下：

吸气室 在每段第一级入口都设有吸气室，将气体从进气管均匀地引入叶轮进行压缩。

叶轮 叶轮又称工作轮，是压缩机中最重要的部件。它随轴高速旋转，气体在旋转离心力和在叶轮中的扩压流动的作用下，由叶轮出来后，压力和速度都得到提高。从能量转换观点来看，在压缩机中叶轮是将机械能传给气体，以提高气体能量的唯一元件。

扩压器 气体从叶轮流出时，具有很高的流动速度，为了将这部分动能充分地转变为势能，以提高气体的压力，在叶轮后面设置了扩压器，它是由前后隔板10和11组成的通道，随着直径的增大，通流面积也随之增加，使气流速度逐渐减慢，压力得到提高。

弯道与回流器 为了把从扩压器出来的气体引导到下一级去继续压缩，设有使气流拐弯的弯道和把气流均匀地引入下一级叶轮入口的回流器。弯道是由隔板和气缸组成的通道，回流器则由两块隔板和装在隔板之间的叶片组成。

蜗壳 蜗壳的主要目的是把从扩压器或从叶轮（在没有扩压器时）出来的气体汇集起来，并引出机外。在大多数情况下：由于蜗壳外径逐渐增大，通流面积也增大，因此还可以

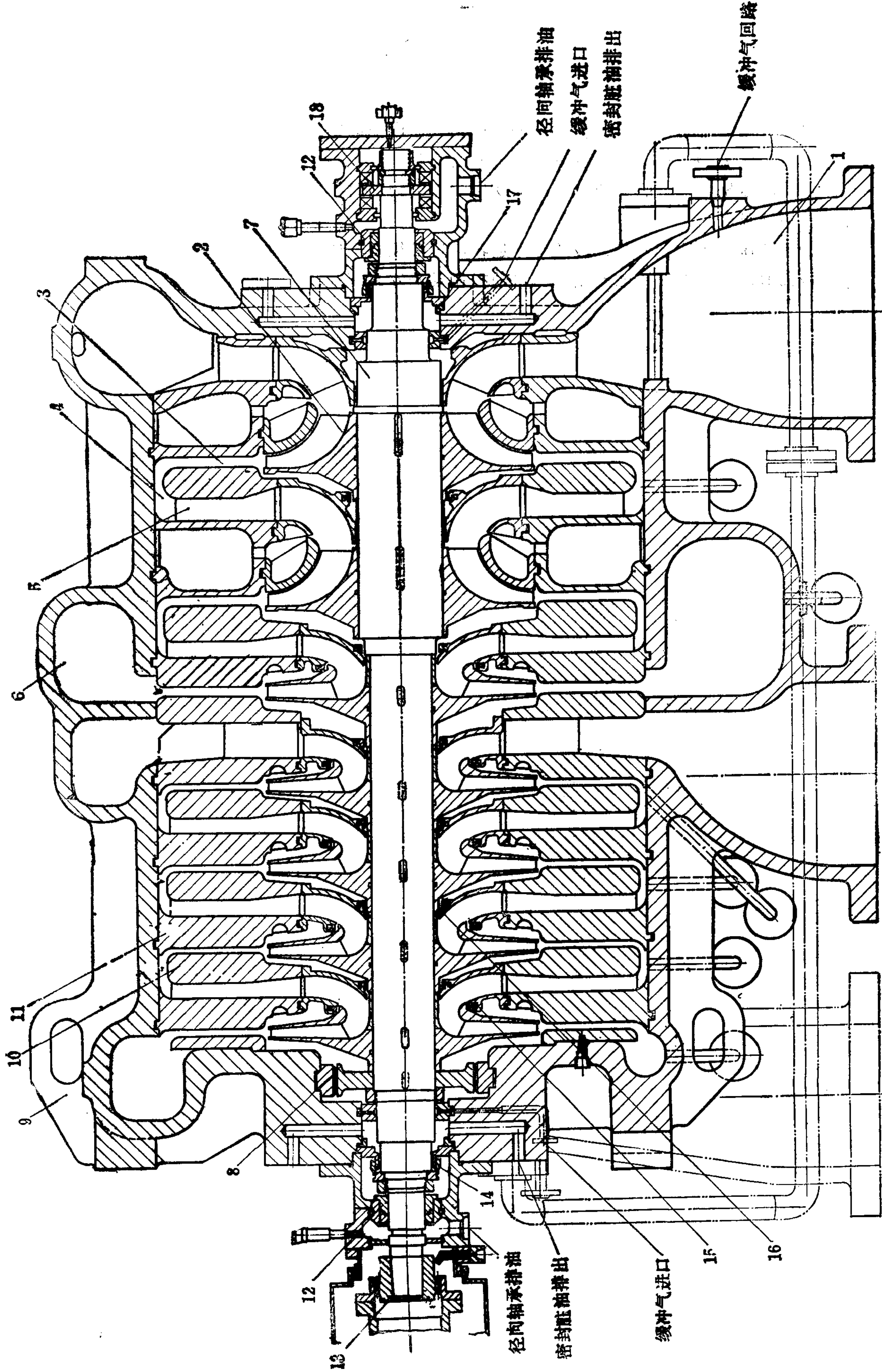


图 0-2 氨压缩机高压缸纵剖面图

起到一定的扩压作用。

离心式压缩机本体除了上述部件外，还有其他许多部件如：减少气体从叶轮出口倒流到叶轮入口的轮盖密封15；减少级间漏气的定距套密封16；减少气体向机外泄漏的轴端密封14、17；减少轴向推力的平衡盘8；承受转子的剩余轴向推力的止推轴承18以及支撑转子的径向支撑轴承等。

为了使压缩机持续安全、高效率地运转，还必须有一些辅助设备和系统，如：增速器、中间冷却器、冷却系统、油路系统、自动控制及保安系统等。

第一章 气体的热力性质

离心式压缩机是提高气体的压力和输送气体的一种机械设备。因此，在讨论压缩机之前，首先就要对气体的一般性质进行一些分析和讨论。

一、理想气体与实际气体、气体的状态参数

在氨厂所遇到的气体根据其所处状态的不同可划分为两种类型。一类是它所处的状态离液态较远，例如空气、氢、氧、氮等。这类气体的特点是重度小，分子的活动空间较大，分子与分子之间的距离大，因而彼此之间的引力很弱，即使在压力增加，温度降低时仍然离液态很远。对这类气体我们可以忽略分子本身所占体积和分子间引力的影响，而抽象为一种假想气体（理想气体）。认为分子是一些弹性的，不占据体积的质点，分子相互之间没有作用力。这样就使问题简化，重点突出了。另一类气体则不同，它所处的状态离液态很近，如水蒸汽和氨气等。这类气体的特点和前类相反，重度大，分子与分子之间距离近，分子活动空间小，彼此间的引力大，因而就不能忽略上述两个因素的影响。这一类气体称为实际气体。我们着重分析理想气体的规律，对于实际气体，结合其特点，作一定说明。

首先分析气体的热力状态。气体的状态特性是通过压力、温度、比容、内能、焓等量来表明的，一般把这些表明气体状态特性的量，统称为气体的状态参数。下面逐个加以说明。

（一）压 力

在离心式压缩机的运行中，要经常检查各处的压力，如吸气与排气的压力，润滑与密封系统的油压等。通过各处压力表的指示，可以判断出压缩机各部分的工作情况。

1. 概念 在分子运动学说中把气体的压力看成为分子撞击容器壁的结果。由于气体的分子数目很多，撞击频繁，所以压力是标志着大量分子在一段时间内撞击容器壁的平均总结果。而压力的方向总是垂直于容器壁的。

2. 单位 在工程上常采用公斤/厘米²做为压力的单位。

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2$$

有时也常用水银柱和水柱的高度来表示：

$$h = \frac{P}{\gamma} \quad (1-1)$$

式中：h——液柱高度，米；

P——压力，公斤/米²；

γ ——液体的重度，公斤/米³。

水的重度为1000公斤/米³，水银的重度为13595公斤/米³（在4℃时）所以：

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2 = 10 \text{ 米水柱}$$

$$= 0.7356 \text{ 米水银柱}$$

$$= 735.6 \text{ 毫米水银柱。}$$

在英制单位中用磅/英寸²作为工程压力单位。

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 14.2 \text{ 磅/英寸}^2$$

3. 大气压 这是由于高出地面的空气柱的重量造成的压力。它随着各地的纬度、海拔高度和气候等条件的不同而有些变化，可以用气压表来测定。气压表一般用水银柱高作单位，符号用B表示。在当时当地测得的大气压称为“当地大气压”。

物理学中把纬度为45°的海平面常年的平均气压定为“标准大气压”或称“物理大气压”。其值为760毫米水银柱（在0℃时）。换算成工程单位，可得：

$$B_{\text{标}} = 0.760 \times 13595 = 10333 \text{ 公斤/米}^2 = 1.0333 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

即 1 物理大气压 = 760 毫米水银柱 = 10333 公斤/米² = 1.0333 公斤/厘米²，也相当于 10.333 米水柱。

工程上为了计算简便常用“工程大气压”，而不用“物理大气压”，如果不特别说明为物理大气压，或标准大气压时，一般都是指工程大气压。

$$1 \text{ 物理大气压} = 1.0333 \text{ 工程大气压}$$

$$1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2 \\ = 735.6 \text{ 毫米汞柱} = 10 \text{ 米水柱}。$$

4. 表压力、绝对压力 表明容器中气体的压力，通常用两种不同的方法。一种是直接指明气体作用在容器壁上压力的实际数值，叫做“绝对压力”，以 $P_{\text{绝}}$ 表示，它直接反映气体所处的热力状态；另一种是指明压力表上的读数，叫做“表压力”。绝对压力和表压力的关系，可以从下面的例子中来说明。图1—1是通风机在工作时，测量吸入管内和排出管内空气表压力的示意图。设当地的大气压力为B，在通风机排出管道内空气的绝对压力大于当地的大气压力，两者之差可用图1—1(a)中的U形管内的毫米水柱差 h_1 来表示，就是表压力 $P_{\text{表}}$ 。它和绝对压力的关系为：

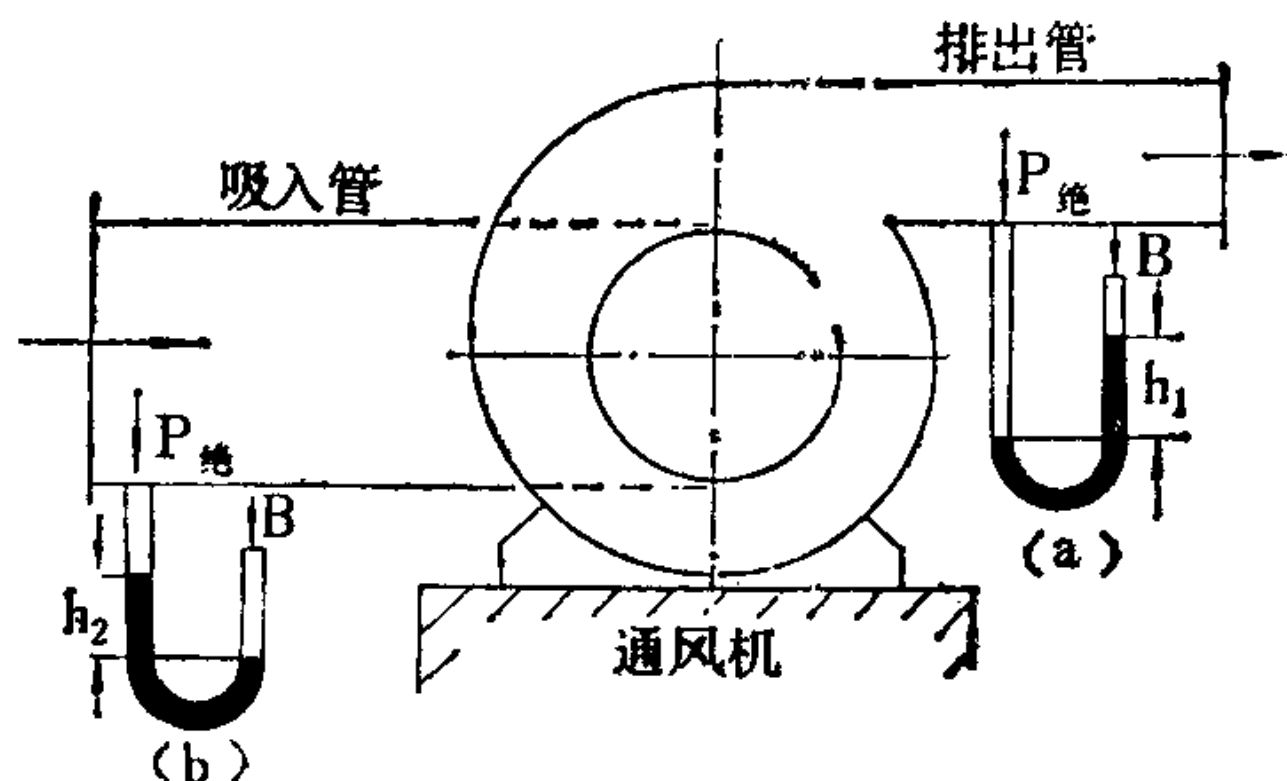


图 1-1 表压示意图

$$P_{\text{绝}} = B + P_{\text{表}} \quad (1-2)$$

在通风机吸入管内，空气的绝对压力 $P_{\text{绝}}$ 要比大气压力B低，由图1—1(b)的U形压力计上可以看出，此时 $P_{\text{绝}}$ 比B低 h_2 毫米水柱， h_2 就是测出的表压力。因为此处的表压力比大气压力低，常称为“真空”，以符号H表示。

$$P_{\text{绝}} = B - H \quad (1-3)$$

真空还有另一种表示法，即用真空占大气压力的百分数——“真空度”来表示，即：

$$\text{真空度} = \frac{H}{B} \times 100\% \quad (1-4)$$

例 1—1 某通风机排出管处的U形压力计测得 $h_1 = 250$ 毫米水柱，如当地大气压力 $B = 736$ 毫米水银柱，求排出管中空气的绝对压力是多少？（以公斤/厘米²表示）

解：

$$B = \frac{736}{736} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$P_{\text{表}} = \frac{250}{10000} = 0.025 \text{ 公斤/厘米}^2$$

按公式 (1—2) 得:

$$P_{\text{绝}} = B + P_{\text{表}} = 1 + 0.025 = 1.025 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

该通风机排出管中空气的绝对压力为 1.025 公斤/厘米²。

例 1—2 在通风机的吸入管上按装的 U 形压力计测得的真空为 100 毫米水柱。当地大气压力 $B = 736$ 毫米水银柱, 求吸入管内空气的绝对压力是多少?

解:

$$P_{\text{绝}} = B - H = \frac{736}{736} - \frac{100}{10000} = 0.99 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

总之, 表压力 (或真空) 都是相对当地的大气压力而言, 所以又称相对压力, 它表明被测气体的绝对压力高于 (或低于) 大气压力的数值, 这个数值可以用压力表 (或真空表) 直接测量出来。气体的绝对压力是不能直接测量的, 绝对压力的数值, 是用压力表 (或真空表), 根据当地的大气压力按公式 (1—2) 或 (1—3) 求得的。在工程上, 当所测得的压力为几个大气压力以上时, 通常可近似的取 $B = 1$ 公斤/厘米², 而当所测得的压力为几十至几百毫米水柱时, 则必须用气压计测得当地大气压力 B 的实际数值。

(二) 温 度

温度表示物体的冷热程度。组成气体的分子在不停地作无规则的运动, 分子运动的速度越大, 整个物体的温度愈高。

人们规定在标准大气压力下 ($B = 760$ 毫米水银柱), 纯水的冰点为 0 度, 纯水的沸点为 100 度, 在这两个温度之间取 100 等分刻度, 每一等分为 1 度, 这种温度标尺称为“摄氏温标”, 又称百度温标, 温度的数值用 $t^{\circ}\text{C}$ 表示。此外, 还有一种温标, 规定在标准大气压力下, 纯水的冰点为 32 度, 纯水的沸点为 212 度, 在这两点之间的温度取 180 等分刻度, 每一等分为 1 度, 这种温度标尺称为“华氏温标”, 温度的数值用 $t_f^{\circ}\text{F}$ 表示。

摄氏温标与华氏温标之间的换算关系如下:

$$t_f = \frac{9}{5}t + 32 \quad (1-5)$$

按式 (1—5), 当已知摄氏温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时, 便可以求得相应的华氏温度 $t_f^{\circ}\text{F}$ 。

将式 (1—5) 移项整理后得:

$$t = \frac{5}{9}(t_f - 32) \quad (1-6)$$

在热工计算中, 经常用到绝对温标, 一般用 $T^{\circ}\text{K}$ 表示。它和摄氏温标的每一度的间隔是相同的, 但它把纯水的冰点取为 273°K , 因此, 两者的换算关系为:

$$T^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273 \quad (1-7)$$

(三) 比容、重度

气体的比容是指 1 公斤气体所占的容积, 一般用 v 表示。设具有容积为 V 米³ 的容器中储有 G 公斤的气体, 则该气体的比容 v 为:

$$v = \frac{V}{G} \text{ 米}^3/\text{公斤} \quad (1-8)$$

1 米³ 的气体所具有的重量, 称为重度用 γ 表示, 它和比容互为倒数关系:

$$\gamma = \frac{1}{v} = \frac{G}{V} \text{ 公斤/米}^3 \quad (1-9)$$

对于气体, 由于它具有可压缩的特点, 因此, 气体的比容和重度是随着压力和温度的变

化而变化的。

(四) 内 能

气体的内能是气体内部分子运动所具有的热能的简称。一般气体分子的运动具有下列几种能量：分子移动时的动能、旋转运动时的动能、振动时的动能以及由于分子之间的引力而产生的位能。分子前三项的能量统称之为分子的内动能，对于一定的气体而言，它的大小就表现为气体温度的高低。气体温度愈高，则分子的内动能就愈大。后一项称为分子的内位能，其大小是由分子之间平均距离的大小来确定的。分子之间的平均距离由单位容积中分子的数目来表示，对于一定的气体，它的大小也就表现为气体的比容的大小。比容越大，内位能就愈大。这样我们清楚的知道气体内能的大小是根据温度和比容的大小来确定的。因此，处于一定状态的气体（温度和比容一定），就有完全确定的内能的数值。因此，内能也是气体的一个状态参数，1公斤气体的内能一般用符号 u 表示，其单位是大卡/公斤。

对于理想气体，由于距离液态很远，分子之间的平均距离与分子本身的大小相比相差很大，以至于分子间的引力极其微弱，因而分子的内位能可以忽略不计。这样，气体的内能只决定于温度，而与比容无关，即不论气体的状态如何变化，只要温度不变则其内能也不变。

(五) 焓

在热工计算中经常遇到 $u + APv$ 这个复合数值，为了便于分析和计算，我们令 $i = u + APv$ ，这个 i 称为焓 A 是功的热当量，单位是千卡/公斤·米，因此，焓就是气体的内能 u 和压力能 APv 之和。由于气体的内能 u 和压力能 APv 都是由气体的状态参数确定的，所以，对应于气体的任意一个状态 P 、 v 、 T ，便有一个相应的内能 u 的数值和压力能 APv 的数值，这样焓 i 也是一个状态参数，也可以把它看成是一种能量，焓的单位是千卡/公斤。

二、理想气体的基本定律

(一) 理想气体的实验定律

上节讨论了理想气体的状态参数，其中压力 P ，温度 T 和比容 v 是三个可以测量的量，成为描写气体状态最常用的基本状态参数。自然界中的理想气体的基本状态参数 P 、 v 、 T 相互之间有着一定的关系，我们在日常生活和实际工作中是经常遇到的。例如，自行车的内胎在炎热的夏天日光照射之下常常容易“放炮”（爆裂）。这是因为在自行车内胎中的空气（表压力约为 4 公斤/厘米²），受日光照射而被加热，使温度升高。而空气的容积受外胎的限制可以看成是不变的，亦即比容 v 不变，所以内胎中空气的压力随温度的升高而增加，当压力大到外胎不能承受时，外胎就破裂，内胎就在破裂处被空气鼓开而爆裂。在生产和日常生活中类似的例子很多，这些都说明气体的状态参数 P 、 v 、 T 三者之间存在着一定规律性的关系。人们通过了大量的科学实验，总结出了理想气体的几个定律。

1. 对于象空气、氧、氮、二氧化碳等理想气体，当比容 v 不变时，对气体加热，气体绝对压力 P 随着绝对温度 T 的升高而增加；反之，气体向外界散热时，绝对压力 P 随着绝对温度 T 的降低而降低。即气体的绝对压力 P 和绝对温度 T 成正比的关系。用公式表示则为：

当 $v = \text{常数}$ 时

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1-10)$$

例 1—3 气焊用的氧气瓶其保险塞是用易熔化的合金封住，当瓶内氧气温度达到 105°C 时，保险塞被熔化，氧气从保险塞逸出，这样就保证氧气瓶不因氧气压力过高而爆炸。已知

在室温为 20°C 时, 充足氧气的氧气瓶上的压力表读数为 150 公斤/厘米 2 , 试问当瓶内氧气温达到 105°C 时, 压力表上的读数能上升到多少?

解: 根据氧气瓶的规格, 一般容积 V 为 40 公升, 充入的氧气量为 G 公斤已定, 因此, 比容 $v = \frac{V}{G}$ 不变。由于温度的变化而引起的压力变化可用(1—10)式来计算。

室温为 20°C 时, 绝对温度为:

$$T_1 = 273 + 20 = 293^{\circ}\text{K}$$

此时, 氧气瓶的绝对压力 P_1 为: (取 $B = 1$ 公斤/厘米 2)

$$P_1 = 150 + 1 = 151 \text{ 公斤/厘米}^2$$

当温度上升到 105°C 时, 绝对温度为:

$$T_2 = 273 + 105 = 378^{\circ}\text{K}$$

代入式(1—10)得:

$$\frac{P_2}{151} = \frac{378}{293}$$

$$\therefore P_2 = \frac{151 \times 378}{293} = 194.8 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

氧气瓶内氧气的绝对压力为 194.8 公斤/厘米 2 , 压力表的读数为 193.8 公斤/厘米 2 。

2. 当理想气体的压力不变时, 对气体加热, 则气体的温度和比容都要增加。反之, 气体向外界散热时, 则温度和比容都要下降。即当压力 P 不变时, 其比容 v 与绝对温度 T 成正比。用式子表示为:

当 $P = \text{常数}$ 时

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1-11)$$

3. 当理想气体的温度不变时, 气体膨胀(即比容增加)时, 气体压力下降, 反之, 气体被压缩(即比容减少)时, 气体的压力则升高。即气体的温度不变时, 其压力 P 与比容 v 成反比。用公式表示为:

当 $T = \text{常数}$ 时

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{v_1}{v_2} \text{ 或 } P_2 v_2 = P_1 v_1 \quad (1-12)$$

(二) 理想气体的状态方程式

从上述定律中可以看出一个共同的特点, 就是气体从一个状态变化到另一个状态, 其三个基本状态参数 P 、 v 、 T 中有一个不变时, 其它两个参数之间有着一定的关系。如果三个参数都在变化, 即气体从状态1 (P_1 、 v_1 、 T_1) 变化到状态2 (P_2 、 v_2 、 T_2) 时, 那么它们之间的关系应该怎样呢? 通过对上述实验规律的概括得出如下的规律:

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \quad (1-13)$$

因为初态与终态是任意选择的, 所以对于气体的一系列的状态1、2、3、……, 公式(1—13)应该是适用的, 故可以写为:

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} = \frac{P_3 v_3}{T_3} = \dots = \text{常数}$$

从上式可知，气体的任意一个状态，其压力与比容的乘积除以绝对温度所得的数值都是相等的，这是理想气体的一个重要性质，也是它的共性。我们用 P 、 v 、 T 表示理想气体的任意一个状态的参数，用 R 表示式中的常数，于是上式可写为：

$$\frac{Pv}{T} = R \text{ 或 } Pv = RT \quad (1-14)$$

式中： P —— 气体的绝对压力，公斤/米²；

v —— 气体的比容，米³/公斤；

T —— 气体的绝对温度，°K；

R —— 气体常数，公斤·米/公斤·度。

式（1—14）称为理想气体的状态方程式，它表示了气体三个基本状态参数之间的关系。分析式（1—14）可以看出前面所讨论的三个实验规律都包括在这个方程式中，如气体比容不变，由（1—14）可直接得出 $\frac{P}{T} = \text{常数}$ ，就是压力和温度成正比关系；同样，我们也可以得出其他两个实验定律。式中 R 称为“气体常数”；对于一种气体， R 有一确定的数值，但对不同的气体， R 各有不同的数值。如：氧气 $R = 26.5$ ，氢气 $R = 424$ ，其他气体的气体常数可由表 1—1 查出。

式（1—14）是对 1 公斤气体而言，如果对于 G 公斤的气体，式（1—14）可以写为：

$$GPv = GRT \quad \text{因 } Gv = V$$

所以得：

$$PV = GRT \quad (1-15)$$

式中： V —— 气体的总容积，米³。

人们通过实验发现，在相同的温度和压力下，各种不同气体的比容 v 和该气体的分子量 μ 成反比，即 μv 的乘积是一个常数，而且与气体的种类无关。当气体在 1 个物理大气压力和 0 °C 的标准状态下时，其 μv 的数值为 22.4 米³，亦即 1 公斤分子（又称 1 莫尔）或 μ 公斤任意气体都将占有 22.4 标准米³ 的容积。这就是常说的阿佛伽德罗定律。根据这个定律将 μ 公斤的气体代入式（1—15）中得：

$$\mu Pv = \mu RT$$

对于标准状态 $P_0 = 10332$ 公斤/米²， $T_0 = 273^\circ\text{K}$ 和 $\mu v_0 = 22.4$ 米³ 时则：

$$\mu R = \frac{10332 \times 22.4}{273} = 848 \text{ 公斤} \cdot \text{米/公斤分子} \quad (1-16)$$

848 公斤·米/公斤分子对于任何气体都是相同的，所以称为通用气体常数。由（1—16）式可得：

$$R = \frac{848}{\mu} \quad (1-16')$$

式（1—16'）说明 μ 与 R 成反比例，即对于重的气体 R 小，对于轻的气体则 R 大。同时也说明，只要知道气体的分子量 μ ，就可以计算出该气体的气体常数 R 值来。

例 1—4 101-J 空气压缩机的进口温度为 38°C，进口压力为 0.93 绝对大气压，如其重量流量为 50600 公斤/时，试求其进口的容积流量是多少？（ $R = 30$ 公斤·米/公斤·度）如换算成标准状态的容积流量又是多少？

解：按照方程式（1—15）得：