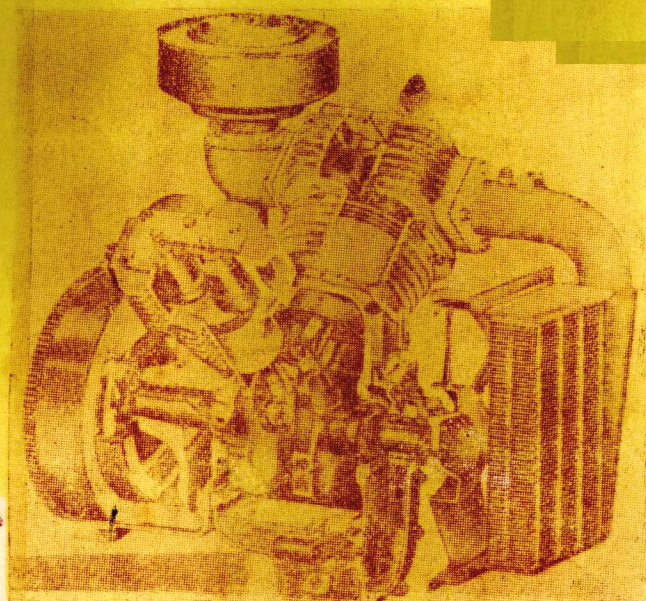


化工机四



山东化工学院化工机械教研室

一九七九年五月

前 言

本书为本省化工系统工厂企业的“七二一”工人大学所写的化工机械专业教材。全书分两大部分：化工设备及化工机器，〈化工设备〉分上、下两册；〈化工机器〉为一册。本书即为〈化工机器〉部分。

〈化工机器〉主要讲述化工及化肥生产中常用的动设备，如：活塞式压缩机、泵、风机、离心机及其它化工常用机械。书中叙述了它们的分类、结构、原理、性能、材料、选择、应用条件及维护检修等知识。在主要章节里讲述一些设计计算的基本内容。各章节繁简不一。

本书可做中等专业学校和技工学校的化工机械专业教材，或教学参考资料。可供工厂从事化工机械工作的工人和技术人员的参考。

内容选取主要依我院原〈化工机器〉为主，汇集历次现场教学资料。还蒐集了生产中常出现的一些问题编入各有关章节。

编写中受校内外有关单位和同志的热忱帮助，在此一并表示感谢。

但由于我们的思想和业务水平不高，肯定有不足和错误之处，望读者批评指正。

山东化工学院化机教研室

1978年10月

目 录

前 言

第一章 活塞式压缩机

第一节	概述	1
第二节	活塞式压缩机的热力学基础知识	6
第三节	活塞式压缩机工作原理	20
第四节	压缩机的生产能力	32
第五节	压缩机的指示功、功率和效率	36
第六节	多级压缩	39
第七节	活塞式压缩机的动力分析	47
第八节	压缩机的主要另部件及其安装与检修	75
第九节	压缩机的润滑	108
第十节	压缩机试车要求、常发生的事故及解除方法	112
第十一节	几种压缩机简介	115

附录

一、	常见气体的主要物理常数	123
二、	$(C_p \sin \alpha + \lambda \cos 2\alpha)$ 的数值表	124
三、	$\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$ 的数值	125
四、	各种气体的 ξ 值	126

第二章 离心泵

第一节	泵及其分类	138
第二节	离心泵的装置及工作原理	139
第三节	离心泵的基本方程式	140
第四节	离心泵的实际特性	147
第五节	离心泵的功率和效率	150
第六节	离心泵的性能换算	151
第七节	离心泵的气蚀现象和允许吸上高度	157
第八节	泵在管路中的工作及流量调节	162
第九节	离心泵常见故障及其消除方法	166
第十节	离心泵另件的检查与修理	169
第十一节	离心泵的选择与试车	179

第三章 离心风机

第一节	离心风机概述	181
第二节	离心风机的主要性能参数	183
第三节	离心风机的无因次性能曲线	184
第四节	离心风机的比转数及型号表示法	187
第五节	风机维修常识	190
第六节	离心通风机空气性能的估算	194

第四章 离心机

第一节	离心机的工作原理	200
第二节	离心机的工作过程	200
第三节	离心机的分类	201
第四节	在化工和化肥生产中一般常用的几种离心机	202
第五节	离心机转鼓壁的强度计算	213
第六节	离心机的功率计算	217
第七节	离心机的生产能力	224
第八节	离心机振动、平衡及临界转数	224
第九节	活塞推料离心机的维修	237

第五章 往复泵

第一节	构造	241
第二节	工作原理及分类	244
第三节	往复泵的流量	246
第四节	往复泵的功率及效率	249
第五节	往复泵常见事故及其处理方法	249
第六节	易损件的检修和维护	251

第六章 化工用其它几种转动机械的简介

第一节	罗茨鼓风机	257
第二节	齿轮泵	264
第三节	喷射泵	265
第四节	液环式真空泵	266
第五节	板框过滤机	268
第六节	真空过滤机	271

第七章 迴转圆筒

第一节	概述	273
第二节	迴转圆筒结构	273
第三节	迴转圆筒的有关计算	278

第一章 活塞式压缩机

第一节 概 述

压缩机是一种使气体加压和输送的机械。气体经过压缩机压缩后以达到生产所需要的压力，并输送到生产岗位上去。压缩机在我国许多生产部门中不但应用很广，而且重要设备之一。在化肥、石油及化工等生产中，有的离开压缩机生产就无法进行。例如在合成氨的生产中，根据生产工艺的要求必须将原料气体在不同的压力和温度下进行净化或合成（目前低压合成多用 150 〔公斤/厘米²〕，中压合成用 $320\sim 450$ 〔公斤/厘米²〕），石油裂解气的分离必须将气体压缩到 $18\sim 42$ 〔公斤/厘米²〕，又如制氧生产中的空分、制冷生产及空气动力之用等，都要有压缩机来完成各种气体的不同压力要求或达到输送气体的目的。在化工、化肥生产中，人们常将压缩机看做和人的心肺一样重要，所以化工、化肥生产的机械设备人员、操作人员及管理人员对化工机械（包括压缩机）的了解是必要的。

我国解放以后在党的领导下，以自力更生为主走自己工业发展的道路，压缩机行业在设计、制造等方面取得了巨大的成就。但仍满足不了我国生产发展的需要，还须作大量的工作。

压缩机的种类及其结构型式很多。但按工作原理而言，大体上可分为两大类：容积式及速度式。

容积式压缩机是依靠压缩机工作容积的变化使气体体积缩小，气体分子彼此接近，增加了气体的密度，从而提高气体的压力。这类压缩机包括活塞式压缩机和回转式压缩机（转子式、螺杆式、滑板式和液环式等）。活塞式压缩机是本章讨论的内容。

速度式压缩机是依靠高速旋转的叶片与存在叶道中的气体在高速旋转下互相作用，将叶轮的机械能，转化为气体的压力能的结果。也就是说气体压力的提高是依靠高速旋转的叶轮带动气体高速旋转，使气体得到很高的旋转速度及一定的离心力。从而使气体得到一定的动能和静压能，然后使气体的速度减慢，将一部分动能又转化为静压能，气体的压力又得到进一步提高。属于这类压缩机有离心式压缩机、轴流式压缩机和混流式压缩机。

各类型压缩机的适用范围如图1—1所示。

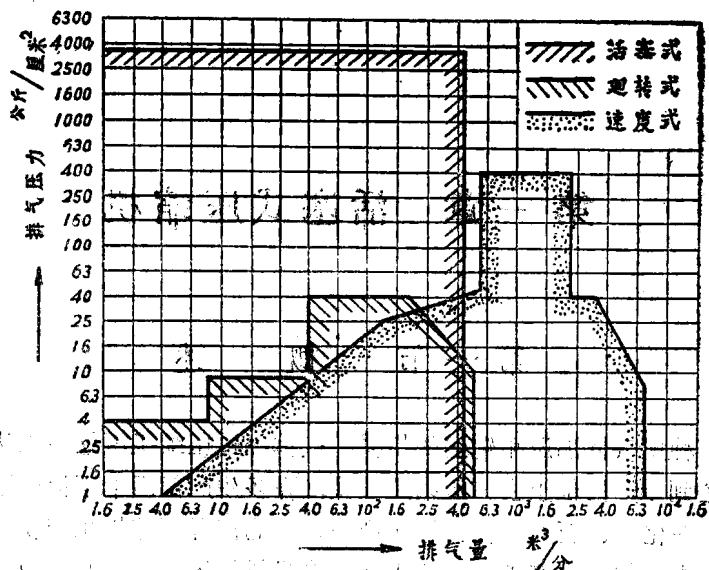


图1—1 各类压缩机的应用范围

随着生产的不断发展，上图所列各类压缩机的适用范围也不是一成不变的。例如离心式压缩机不仅有输气量大的特点，而且近年来，它又有向高压发展的趋势，应用范围也就扩大了。但活塞式压缩机有可以达到高压或超高压的特点，故仍在各生产部门中发挥其独特的作用。

活塞式压缩机的效率高于回转式压缩机和速度式压缩机，而速度式压缩机的效率为最低。

目前，我国中小型化肥厂、化工厂生产中所用的压缩机仍多采用活塞式压缩机。

活塞式压缩机种类繁多，根据其性能、结构等特点，可按如下几方面分类：

一、按压力分：

低压压缩机：排气压力 < 10 [公斤/厘米²]；

中压压缩机：排气压力 $10 \sim 100$ [公斤/厘米²]；

高压压缩机：排气压力 $100 \sim 1000$ [公斤/厘米²]；

超高压压缩机：排气压力 > 1000 [公斤/厘米²]。

二、按输气量分：

小型压缩机：输气量 < 10 [米³/分]；

中型压缩机：输气量 $10 \sim 100$ [米³/分]；

大型压缩机：输气量 > 100 [米³/分]。

三、按功率大小分：

微型压缩机：功率 <10 〔瓩〕；

小型压缩机：功率 $10\sim100$ 〔瓩〕；

中型压缩机：功率 $100\sim500$ 〔瓩〕；

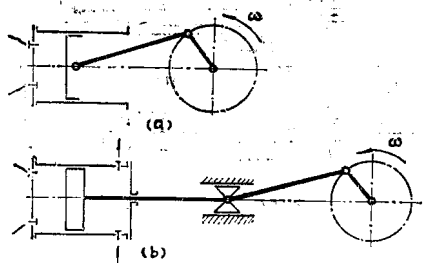
大型压缩机：功率 >500 〔瓩〕。

四、按压缩机气缸中心线的相对位置分：

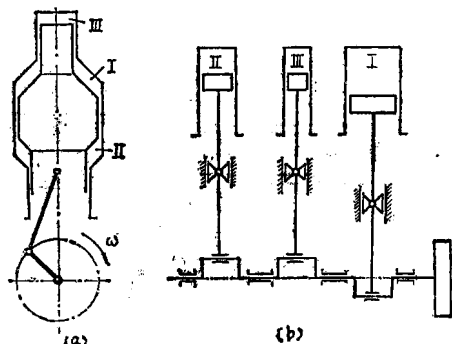
立式压缩机：气缸中心线垂直于地面，如图1—2之（乙）所示，其中（a）为单列多级，级差式。目前一些小合成氨厂用的2Z型循环机及冷冻能力为75000大卡/时的2AL—15型制冷机都属于立式压缩机。

卧式压缩机：气缸中心线平行于地面，如图1—2之（甲）、（丁）所示。（丁）中的（c）为H型，（d）为M型。都是对称平衡式。目前山东省各县化肥厂所用2D6.5—7.2/150型氮氢压缩机即属卧式对称平衡型压缩机。

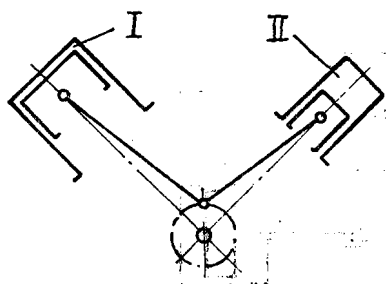
角式压缩机：各气缸中心线互成一定角度。如图1—2之（丙）的（a）、（b）、（c）所示。其中（c）称为L型压缩机，目前一些小合成氨厂的KL—1/150型循环机、L3.3—17/320(150)型的氮氢气压缩机、还有些工厂用的3L—10/8及4L—20/8型等压缩机都是角式压缩机中的L型压缩机；图1—2之（丙）的（a）称为V型压缩机，合成氨厂用的4V—12.5型制冷机及某些厂用的2V—6/8型空压机都是V型压缩机；还有W型和扇型压缩机。W型压缩机如图1—2之（丙）的（b）所示。



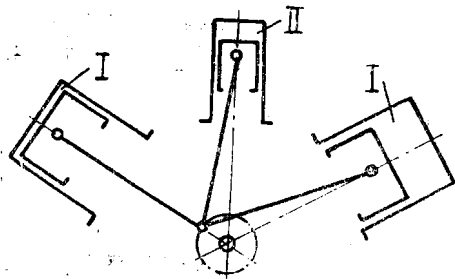
（甲）



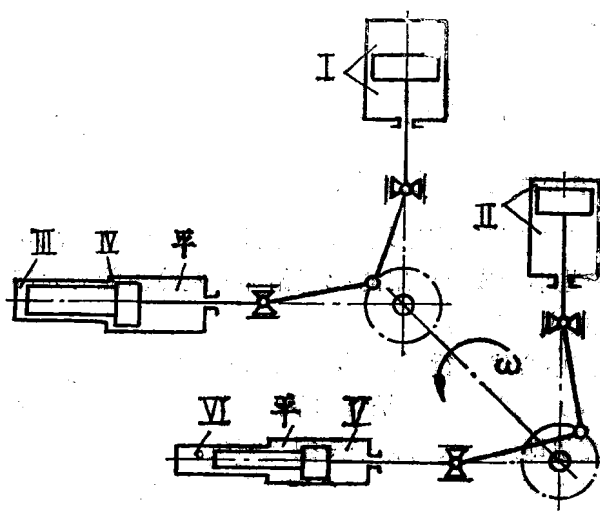
（乙）



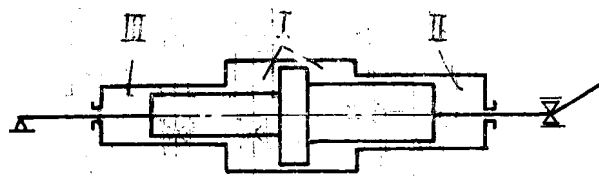
（a）



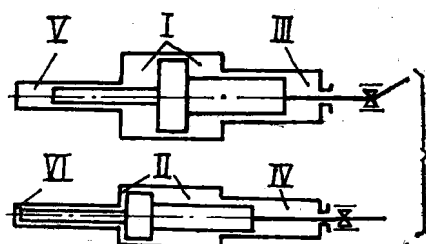
（b）



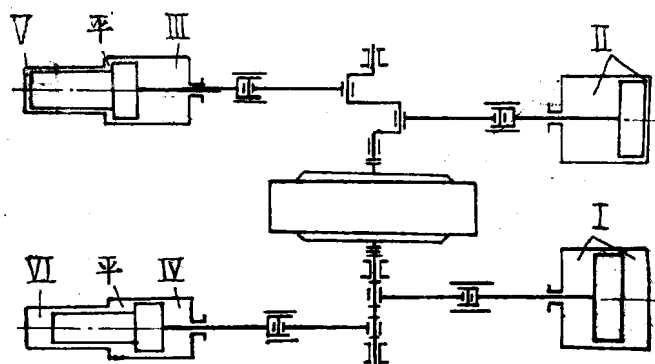
(c)
(丙)



(a)



(b)



(c)

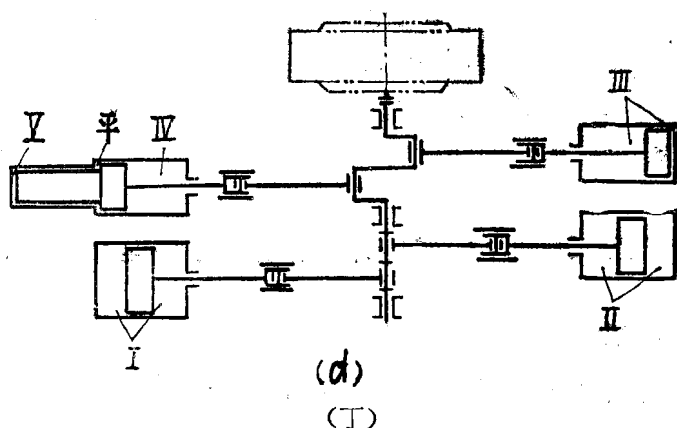


图1—2 各种结构型式的活塞式压缩机。

五、按压缩级数分：

单级压缩机：气体进入压缩机后经一次压缩就送进排出管道供使用，称为单级压缩，这种压缩机叫作单级压缩机。目前合成氨厂用的氨冷机即为单级压缩机。

多级压缩机：气体进入压缩机后需经两次以上压缩才能达到所需的压力，称为多级压缩，这种压缩机叫作多级压缩机。合成氨生产中的氮氢压缩机如2D6.5—7.2/150、L3.3—17/320 (150)、4M12—55/220型等都是多级压缩机。

六、按活塞在缸内的工作情况分：

单吸：只在活塞的一侧对气体进行压缩；

双吸：在活塞两侧都对气体进行压缩；

级差：活塞制成阶梯形，分别在几个气缸内进行工作。如2D型、4M型及L3.3型等都是级差式的活塞。

活塞式压缩机与其它类型压缩机相比，其优点是排气量范围广（可由每分钟几升到500立方米）；背压稳定，压力范围广（工业上最高压力可达3500〔公斤/厘米²〕，目前使用的超高压压缩机都是活塞式的）；效率高；制造工艺较成熟。其缺点是由于某些往复运动的另部件产生的往复惯性力随转数的平方而增加，故限制了转数的提高。也就限制了压缩机打气量的提高。另外，机器结构较复杂，易损件较多，维修量大，运转时有振动等。

山东省各县普遍建立了县级合成氨厂。目前这些厂采用压缩机主要有以下几种：

氮氢压缩机：	2D6.5—7.2/150,
	L3.3—17/320 (150) ,
	L3.3—13/320,
循环压缩机：	KL—1/150,
	2Z1.75—4.55/180~200,

制冷机（冰机）： 4V—12.5A

6W—12.5A

这些压缩机的主要性能数据详见本章第十一节几种压缩机简介。

第二节 活塞式压缩机的热力学基础知识

一、气体的基本物理性质

压缩机的工作介质和压缩对象是气体，因此，要分析压缩机的工作过程和原理，就应当先了解气体的特性。

我们知道，固体能够保持一定的形状，而具有流动性的液体和气体则不能保持一定的形状，它们的形状是由外部条件（容器）决定的。由于液体和气体的流动性，它们只要有一处受压，压力就会传递到液体和气体的所有各个地方。

同样是流体（流动性的物体），液体和气体又有很大的差别。前者虽不能保持一定的形状，但还能保持一定的体积；后者则形状和体积都不能保持不变。我们知道，一只瓶子可以只装半瓶水，但是，只装半瓶空气是办不到的。气体总是充满整个容器的，容器的容积扩大了，气体的体积也就随之胀大，如果气体的外部是真空，它的体积就会无限膨胀①。

科学研究的结果表明，一切宏观物体都是由极其微小的分子组成的，而且分子总是在作永不停息的、极不规则的热运动的。由于分子的热运动，它们各奔一方，如果不受任何约束的话，势必因为分子的离散而导致物体的膨胀和瓦解。在固体和液体中，分子间的相互吸引力是比较强的，正是这种分子引力克服了分子热运动的离散倾向，将分子凝聚在一起，使得整个物体保持一定的体积。对于气体来说，分子间的平均距离要比分子本身的直径大得多，分子间的相互吸引力极其微弱，矛盾的主要方面不是分子引力的凝聚作用，而是分子热运动的离散倾向，因此，没有容器，就无法阻挡气体膨胀。

既然气体具有自我膨胀的特性，那么，压缩气体是否非常困难呢？不是的，压缩气体要比压缩液体容易得多，这是因为气体分子间具有很大的空隙而液体分子几乎是一个紧挨一个的原故。通常，我们把气体称为可压缩性流体，而把液体称为不可压缩性流体。当然，我们这里所说的可压缩性和不可压缩性的差别仅仅是相对的、有条件的②。

注：①也许会提出这样的问题，为什么地球的大气不会膨胀到宇宙空间中去呢？这个问题是不难解答的。大气被地球的重力束缚住了，重力场起了容器的作用。

②对一些液体进行实验测定的结果，压力每增加1〔公斤/厘米²〕，液体的体积约收缩万分之一。

二、气体的压力

气体要膨胀，容器不让气体膨胀，气体对容器壁的压力就是这个矛盾的表现。在容器里面，这一部分气体的存在又妨碍了另一部分气体的膨胀，气体内部的压力就是这个矛盾的表现。

1. 气体压力的微观本质

现在，我们用气体分子运动论来阐明气体的压力。

所谓“气体要膨胀”，意思就是说，无论任何时刻，都有相当数量的作热运动的气体分子企图跑到容器外面去；所谓“容器不让气体膨胀”，意思就是说，那些企图跑到容器外面去的气体分子，撞在容器壁上，全都被弹了回来，气体也就无法扩张到容器外面去。

那么，气体对容器壁的压力又是怎么回事呢？我们可以用雨滴撞击雨伞做比喻来说明这个问题。下雨的时候，雨滴打在雨伞上，持伞的人就会感到雨滴对伞面的压力，稀疏的雨滴在伞面上造成间断的、时强时弱的压力；密集的雨滴则在伞面上造成连续的、均匀一致的压力。对于盛在容器内的气体来说，大量的作热运动的分子不断地撞击器壁造成了对器壁的压力，就象密集的雨滴对伞面的作用一样。

气体分子撞击容器壁造成了气体对容器壁的压力，同样的道理，气体分子互相碰撞造成了气体内部的压力。

2. 压力的计量单位

当我们讲到流体的压力时，总是指单位面积上的作用力。在工厂里，常听到这样的一些说法：“某压缩机的排气压力是9公斤”，“某反应器的操作压力是4个压力”。必须弄清，以上都是工厂的习惯用语，确切的说法是：“某压缩机的排气压力是9公斤/厘米²”，“某反应器的操作压力是4公斤/厘米²”。

压缩机通常都装有测量各级吸排气压力的仪表，最常用的测压仪表是弹簧管压力计，但是，测量第一级入口压力的仪表往往采用水银柱压力计。弹簧管压力计的计量单位是公斤/厘米²（又叫工程大气压），水银柱压力计的计量单位是毫米汞柱（又叫毫）①，两种压力单位的换算关系是：

$$1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} = 735.56 \text{ [毫米汞柱]} \text{ ②}$$

$$1 \text{ [毫米汞柱]} = 1.3595 \times 10^{-3} \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

压力的计量单位很多，那些对压缩机计算来说是不常用的单位我们就不一一介绍了。

目前，世界上许多国家正在推广国际单位制，我国国家计量局也在推广这种单位制，因此，有必要简单介绍一下国际单位制中的压力计量单位。

在国际单位制中，力的单位叫做牛顿。如果一个力作用在1千克质量的物体上，正

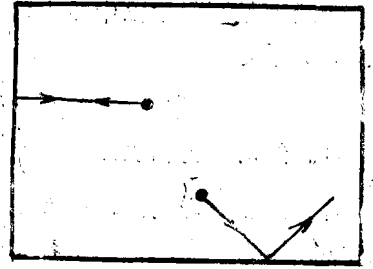


图1—3 气体压力的微观本质

好产生 $1\text{〔米/秒}^2\text{〕}$ 的加速度。这个作用力的大小就是1牛顿。

如果垂直压在 $1\text{〔米}^2\text{〕}$ 面积上的作用力是1牛顿,那么,这样的压力就是单位压力,叫做1帕斯卡,显然,

$$1\text{〔帕斯卡〕} = 1\text{〔牛顿/米}^2\text{〕}$$

帕斯卡是国际单位中压力的单位。〔帕斯卡〕是个很小的单位,它和〔公斤/厘米 2 〕的换算关系是:

$$1\text{〔公斤/厘米}^2\text{〕} = 98066.5\text{〔帕斯卡〕}$$

3. 绝对压力和表压

有一点需要说明的,那就是一般工厂和实验室用的测压仪表不能直接测出容器内气体的实际压力,而只能测量容器内气体压力与外界大气压力的差额。为此,我们把气体的真正压力叫做绝对压力,把测压仪表所指示的读数叫做表压(或叫计示压力、相对压力)。

绝对压力和表压之间的关系是:

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

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

我们知道,大气压力是因地而异的,海拔越高的地方,气压越低。就是同一个地方,大气压力也不是固定不变的,冬天的气压往往比夏天高。以我国首都北京为例,冬季的平均气压为765毫米汞柱,夏季的平均气压只有749毫米汞柱,相差16毫米汞柱。

〔例1—1〕半水煤气经罗茨鼓风机加压后,表压是200毫米汞柱,当时当地的大气压力是750毫米汞柱,求半水煤气的绝对压力。

解 半水煤气的绝对压力

$$p = 750\text{〔毫米汞柱〕} + 200\text{〔毫米汞柱〕} = 950\text{〔毫米汞柱〕}$$

如果以〔公斤/厘米 2 〕为压力单位,那么,半水煤气的绝对压力是

$$p = 950 \times 1.360 \times 10^{-8}\text{〔公斤/厘米}^2\text{〕} = 1.29\text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

工厂车间一般都没有测量大气压力的气压计,那么,我们怎样根据表压计算气体的绝对压力呢?经验告诉我们,凡是海拔高度不太高的地方,都可以认为大气压力值是760〔毫米汞柱〕,也就是 $1.03\text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$ 。有时,为了计算方便起见,干脆把大气压力值取作 $1\text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$ 。

注:① 托字的读音是托(tuō)。 $1\text{托} = \frac{1}{760}$ 标准大气压。严格说来,托和毫米汞柱

并不完全一致,不过,在工程计算中,根本用不着考虑二者的细微差别。

②当温度为 0°C 时,底面面积为 1厘米^2 ,高度为735.56毫米的水银柱,重量为1公斤。如果温度不是 0°C ,此换算关系式应进行修正。

〔例1—2〕用仪表测得的2D6.5—7.2/150型氮氢混合气压缩机第一级的吸入压力是0.27〔公斤/厘米²〕,各级的排气压力分别为4.5、14、45和150〔公斤/厘米²〕,根据以上的表压值求出相应的绝对压力值

$$\text{解} \quad p_{s_1} = 0.27 + 1.03 = 1.30 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

$$p_{d_1} = 4.5 + 1 = 5.5 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

$$p_{d_2} = 14 + 1 = 15 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

$$p_{d_3} = 45 + 1 = 46 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

$$p_{d_4} = 150 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

从上面的计算中可以看出,我们的原则是:当表压低于、等于或略高于1个压力时,大气压力取作1.03〔公斤/厘米²〕,当表压比1个压力高得多,但不到100个压力时,大气压力取作1〔公斤/厘米²〕;当表压在100个压力以上时,大气压力可以忽略不计。总之,一要使运算简便,二要将计算误差控制在允许范围之内。

以后,我们讲到气体的压力时,如无特殊声明,都是指绝对压力。

4. 真空容器的真空度

所谓真空容器是指器内气体压力比外界大气压力低的容器。显然,对于真空容器内的气体来说,表压是负的。

容器的真空程度越高的话,器内的气体压力就越低。因为在这种情况下表压是负的,所以表压越低时它的绝对值反而越大。由此可见,表压的绝对值可以用来表示容器的真空程度。正因为如此,我们把真空容器中气体表压的绝对值叫做真空度。

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

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

在低真空的情况下,测压仪表所指示的读数一般都是真空度。在高真空的情况下,一般都用专门的测压仪表直接测量气体的绝对压力。上面所讲的真空度的概念只适用于低真空的情况。

三、气体的温度

活塞式压缩机的吸气管道是凉的,排气管道却热得烫手,这是因为气体在压缩过程温度不断升高的原故。研究压缩机,不能只研究压力的变化,还应研究温度的变化。

1. 气体温度的微观本质

所谓温度是指物体的冷热程度,说得深刻些,温度反映了物体内部分子热运动的激烈程度。

气体分子的热运动是极不规则的,有的分子速度快动能大,有的分子则速度慢动能小。但是,我们不能只注意个别分子,那是说明不了问题的,而应把着眼点放在全体分子的平均动能上。实际情况是这样的,气体的温度越高,分子热运动的平均动能就越大;气体的温度越低,分子热运动的平均动能就越小。

对气体加压为什么往往会使气体温度升高呢？这是不难理解的，活塞压缩气体所做的功增加了气体分子热运动的动能，而分子平均动能的增大就意味着气体温度升高。

2. 摄氏温标和热力学温标①

通常所用的温度计一般都是按照摄氏温标来刻定读数的，因此，摄氏温标对我们来说，是比较熟悉的。但是，在理论计算中，例如在计算压缩机排气温度的时候，用摄氏温标就很不方便了，因此，需要引进新的更合适的温标，那就是下面要讲的热力学温标。

热力学温标是以热力学第二定律为理论基础的温标，我们 不准备 详细论述这种温标，只是从热力学温标和摄氏温标的关系来说明热力学温标。

只要将摄氏温标的零点下移273.15格，就可以得到热力学温标②，两种温标的差别仅在于零点不同，温度间隔是完全一样的。如图1—4所示。

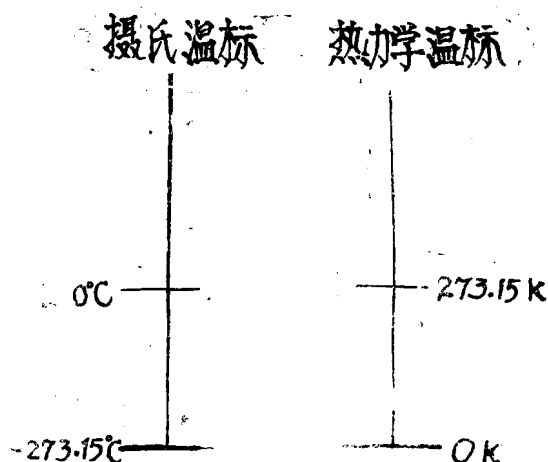


图1—4 摄氏温标和热力学温标

通常，热力学温度以大写拉丁字母 T 表示，摄氏温度以小写拉丁字母 t 表示。因为零点的位移是273.15格，所以，两种温度的换算关系是。

$$T = t + 273.15 \text{ ③}$$

$$t = T - 273.15$$

摄氏温度的单位叫做摄氏度（简称度），它的代号是 $^{\circ}\text{C}$

热力学温度的单位叫做开尔文（简称开），它的代号是 K 。

与摄氏温度 0°C 相适应的热力学温度是 273.15K 。与热力学温度 0K 相适应的摄氏温度是 -273.15°C 。

注：①旧名称是绝对温标。

②确切地说，应是将热力学温标的零点上移273.15格，得到摄氏温标。

③在一般工程计算中，可以略去小数点后的数字，即

$$T = t + 273, \quad t = T - 273$$

为什么要将摄氏温标的零点下移？为什么不多不少移273.15格？这个问题可以从多方面来阐述，我们仅从气体分子运动论来说明这个问题。摄氏零度虽然名之为零度，但不是没有温度，在这个温度下，空气分子的热运动平均速度比声音的速度还快。热力学温标的零点是温度的绝对零点，到了这个温度，分子全被冻结住了，不再移动了。OK是温度的最低极限，更低的温度是不存在的。由此可见，热力学温标是很科学的，它的零点是定得很合适的。

气体分子运动论研究的结果还告诉我们，气体分子热运动的平均动能是与气体的热力学温度成正比的。

四、气体的实验定律

通过大量的科学实验，人们得到了有关气体压力、温度和容积变化的若干实验定律，这些定律是我们分析压缩机工作过程和工作原理的基础。

下面讲的几条定律都是在十七世纪下半世纪到十九世纪初这一段时间建立的。当时的实验仅限于氢气、氮气和氧气等难液化的气体，而且又达不到很高的压力，因此，这些定律是有一定的适用范围的，只是在一定的界限内才是正确的，越过了那个界限，真理就会转化成谬误。不过，对于压缩机的计算来说，我们所遇到的实际问题大多数都在这个界限以内，只是在涉及冷冻机和压缩机高压级的计算时，才需要对那些定律进行修正。

1. 波义耳定律

温度保持一定时，对于一定量的气体来说，体积与压力是成反比的。

如果气体在压缩前的体积是 V_1 ，压力是 p_1 ，压缩后的体积是 V_2 ，压力是 p_2 ，而且压缩前后，气体的数量和温度都没有变化，那末，根据波义耳定律，气体的体积和压力的关系式是：

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

或

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (1-1)$$

〔例1—3〕C—1.5储气罐（与3L—10/8型空气压缩机配套）的容积是1.5〔米³〕，罐内储存表压为8〔公斤/厘米²〕的压缩空气，问这些气体原先在大气中占有多大的容积。假定储气罐内压缩空气的温度与外界气温相同。

解：本题可以根据波义耳定律求解。

应用波义耳定律时，必须将表压化为绝对压力。

气体原先在大气中时，压力可以认为是 $p_1 = 1.03$ 〔公斤/厘米²〕，它的体积设为 V_1 。

气体经过压缩装入储气罐后，压力为

$$p_2 = 8 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕} + 1.03 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕}$$

体积为 $V_2 = 1.5$ [米³]。

根据波义耳定律

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

则

$$V_1 = \frac{p_2 V_2}{p_1} = \frac{9.03 \times 1.5}{1.03} = 13.2 \text{ [米}^3\text{]},$$

储气罐的容积是一定的,要多装气体,就得提高压力。当然,压力提高也是有限度的,因为罐的强度限制了压力的提高。

为什么一定量的气体在等温的条件下,体积与压强成反比呢?这是可以用气体分子运动论来解释的。气体的体积缩小后,分子更加密集,单位时间内气体分子撞击容器壁的次数增多了,这就势必导致压力升高。

现在,我们对波义耳定律的适用范围作一简单说明:对于难液化的气体(如 H_2 、 N_2 、 O_2 、 CO 和惰性气体等),只要压力不太高(不超过 100 [公斤/厘米²]),温度不太低(不低于 -100°C),根据波义耳定律进行计算的结果,我们是完全可以放心的。

下面几条定律的适用范围跟波义耳定律是一致的。

2. 盖吕萨克定律

压力保持一定时,对于一定量的气体来说,体积与热力学温度是成正比的。

如果气体在加热前的体积是 V_1 , 温度是 T_1 , 加热后的体积是 V_2 , 温度是 T_2 , 而且加热前后气体的数量和压力都没有变化,那么,根据盖吕萨克定律,气体的体积和温度的关系式是

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1-2)$$

〔例1—4〕温度为 160°C 的气体经过冷却,温度降到 30°C ,但是压力并没有变化。如果气体原来的体积是 1 米³,问冷却后的体积是多少?

解 本题可以根据盖吕萨克定律求解。

应用盖吕萨克定律时,必须将摄氏温度化为热力学温度。

气体在冷却前的体积是 $V_1 = 1$ 米³, 温度是 $T_1 = 273 + 160 = 433$ 开

冷却后的温度是 $T_2 = 273 + 30 = 303$ 开

它的体积设为 V_2 。

根据盖吕萨克定律

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

则

$$V_2 = \frac{T_2 V_1}{T_1} = \frac{303 \times 1}{433} = 0.7 \text{ [米}^3\text{]}$$

热胀冷缩是常见的自然现象。气体的热胀冷缩比固体和液体显著得多,在上面的例子中,气体的体积收缩了 30%。

多级压缩机的级与级之间都装有中间冷却器，前一级排出来的高温气体，必须经过中间冷却器降温，才能送往后一级继续压缩。如果冷却器出了毛病，气体没有得到足够的冷却，体积未能收缩到下一级气缸能够容纳的程度，那末，前一级气缸的排气压力必然憋高，直到把气体压缩到后一级气缸能够容纳为止。由此可见，中间冷却器冷却能力差，气体冷却不完善时，压缩机就不能正常运转，往往酿成重大事故。

为什么一定量的气体在等压的条件下，体积与热力学温度成正比呢？这也可以用气体分子运动论来解释。前面讲过，气体的热力学温度是与气体分子热运动的平均动能成正比的，因此，温度升高意味着分子动能成比例地增加，分子动能增大了，撞击容器壁的力量自然加强了，如果不允许气体膨胀，势必导致压力升高。反之，要保持压力恒定的话，只能允许气体膨胀，气体因冷却而收缩的道理也是一样的，请读者自己分析这个问题。

3. 阿佛加德罗定律

我们先复习一下化学课讲过的摩尔（克分子）和千摩尔（千克分子）。

怎样计算物质的摩尔数和千摩尔数呢？它们可以根据以下的式子来计算：

$$\text{物质的摩尔数} = \frac{\text{物质质量的克数}}{\text{物质的分子量}}$$

$$\text{物质的千摩尔数} = \frac{\text{物质质量的千克数}}{\text{物质的分子量}} = \frac{\text{物质重量的公斤数}①}{\text{物质的分子量}}$$

例如，氮的分子量是17，8.5吨合成氨的千摩尔数是

$$\frac{8.5 \times 1000}{17} = 500 \text{千摩尔}$$

无论任何物质，每1摩尔的物质含有 6.022×10^{23} 个分子，每1千摩尔的物质含有 6.022×10^{26} 个分子。我们知道了物质的摩尔数或千摩尔数，就等于知道了它的分子总数。

现在，我们将阿佛加德罗定律叙述如下：

对于一切难液化的气体来说，当压力为一个标准大气压（即760毫米汞柱②），温度为摄氏零度时，每1千摩尔气体的体积都是22.4米³。

注：①千克是国际单位制中质量的单位，公斤是工程单位制中重量和力的单位。如不考虑各地重力加速度的差别，可以认为物体质量的千克数和重量的公斤数是一致的。

②根据国际新规定：1标准大气压 = 101325帕斯卡。但是，工程上仍沿用1标准大气压 = 760毫米汞柱的旧规定。两种规定的细微差别对于工程计算来说，没有必要考虑它。

③我们并不要求压力必须是760毫米汞柱，也不要求温度必须是0℃。只要压力和温度都不变，每1千摩尔气体的体积都相等，只不过不一定是22.4米³罢了。