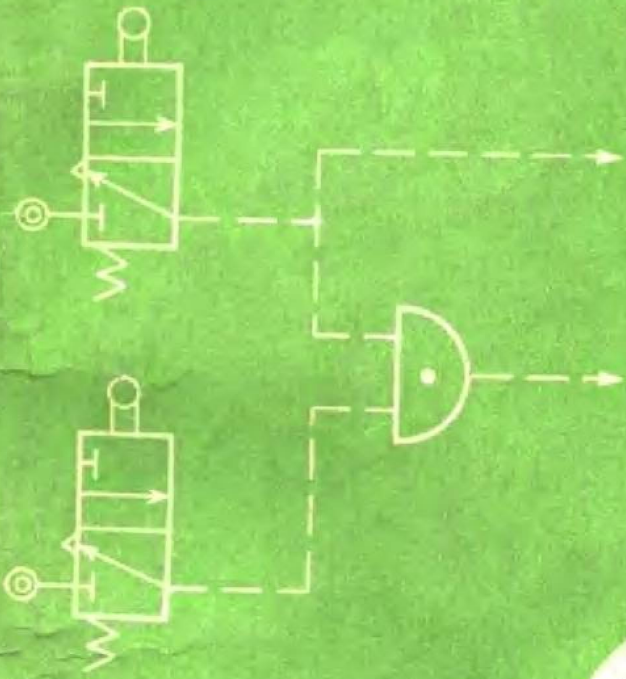


气动技术



北京出版社

气 动 技 术

《气动技术》编写组

*

北京出版社出版

(北京崇文门外东兴隆街51号)

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印刷

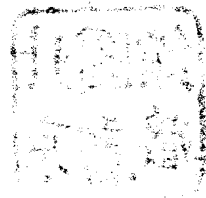
*

787×1092毫米 16开本 23.5印张 518,000字

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

印数1—10,200

书号: 15071·37 定价: 2.45元



前 言

气动技术是实现生产自动化的一种重要手段。由于它有防火、防爆、防电磁干扰、没有污染、结构简单、工作可靠、经济性好等一系列优点，近几年来采用气动技术的部门日益增多，在国内外得到了很快的发展。

为满足有关工程技术人员和工人的需要，我们编写了这本较系统地介绍气动技术的书籍。

本书叙述了必要的基础理论，详细地介绍了气动元件(包括气缸、气阀、辅助元件、传感器等)的工作原理，系统地论述了设计气动线路的 $X-D$ 图表法和卡诺图法。最后还对电控元件和气动元件作了类比，以便于读者在掌握电控元件的基本原理基础上，运用本书介绍的方法，设计类似的电气自动化线路。

本书编写工作分工是：第一章、第六章和第九章，清华大学叶宏开；第二章，北京化工学院刘相臣；第三章，叶宏开、北京工业大学刘川贤和郑延芳；第四章和第五章，刘川贤、叶宏开、北京水暖器材二厂李保民；第七章、第八章和第十章，刘川贤。全书由叶宏开、刘川贤统编。

在本书编写过程中曾得到北京市技术交流站、清华大学、北京工业大学、北京机床所等有关单位的大力支持；徐小白、孙雁芳、薛振壮、严世明等同志为本书提供了宝贵的经验；清华大学工程力学系苗日新、蔡敏学、徐文灿等同志审阅了本书，提出了许多有益的意见，谨在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中一定会存在不少缺点和错误，恳请读者提出批评和指正。

《气动技术》编写组

1980年7月

目 录

第一章 关于气体流动的一些基本知识	(1)
第一节 气体的压力及其它性质	(1)
一、气体的压力, 大气压.....	(1)
二、气体的重度与密度.....	(2)
三、重力作用下静止液体中的压力.....	(2)
四、表压、绝对压与压力的各种单位.....	(4)
五、绝对温度.....	(5)
第二节 气体的状态方程与状态变化	(5)
一、气体的状态方程.....	(5)
二、气体的几种状态变化.....	(6)
三、空压机的理论功率.....	(7)
四、混合气体.....	(8)
第三节 气体在圆直管道中的低速运动	(9)
一、流量与流量方程.....	(9)
二、能量方程及压力量测.....	(10)
三、气体在管道中的压力损失.....	(12)
四、气流通过节流孔板的流动.....	(16)
五、气阻.....	(17)
第四节 气体密度有显著变化的管道流动	(18)
一、压力小扰动的传播速度——音速.....	(18)
二、小扰动在气流中的传播.....	(20)
三、定常流的连续方程.....	(21)
四、定常绝热运动时的能量方程.....	(22)
五、特殊地方的参数: 滞止值与临界值.....	(22)
六、气流流过喷嘴或小孔的流量.....	(24)
七、向定积容器充气问题.....	(26)
八、容器的放气问题.....	(28)
九、有效面积.....	(30)
十、气体在等截面圆直管道内的摩擦流动.....	(31)
第五节 关于湿空气的基本知识	(33)
一、稀薄水蒸汽.....	(33)

二、绝对湿度	(34)
三、饱和水蒸汽压	(34)
四、相对湿度	(34)
五、空气的湿含量	(36)
六、湿空气的重度	(37)
七、湿空气的冷却、露点及冷却时的析水量	(38)
八、湿空气的压缩、冷却后的析水量	(39)
第二章 压缩空气的处理及输送	(41)
第一节 压缩空气站概述	(41)
一、空气压缩机	(41)
二、空气过滤器	(50)
三、后冷却器	(53)
四、油水分离器(汽液分离器)	(53)
五、贮气罐	(56)
六、空气压缩机的选用	(57)
第二节 压缩空气的管道设计	(59)
一、供气系统的设计原则	(59)
二、压缩空气管道的计算	(61)
第三节 压缩空气的干燥与净化	(70)
一、压缩空气的干燥	(70)
二、压缩空气的净化	(71)
第三章 气动执行元件与气动马达	(73)
第一节 气缸的一般特性	(73)
一、执行元件概述	(73)
二、气缸的分类	(77)
三、气缸的运动性能	(77)
第二节 几种气缸的介绍	(83)
一、缓冲气缸	(83)
二、气—液阻尼缸	(85)
三、回转气缸	(88)
四、薄膜气缸	(89)
五、气液增压缸	(90)
六、摆动式气缸	(91)
七、步进气缸	(92)
八、冲击气缸	(94)
第三节 普通气缸的计算与设计	(102)
一、气缸的计算	(102)
二、气缸的技术条件	(111)

三、气缸的密封元件·····	(112)
四、气缸的设计步骤·····	(118)
第四节 气缸的应用实例及使用要求 ·····	(119)
一、气缸的应用实例·····	(119)
二、气缸使用应注意问题·····	(121)
第五节 气动马达 ·····	(123)
一、气动马达的分类及应用·····	(123)
二、气动马达的特点·····	(124)
三、滑片式气动马达的工作原理及其特性·····	(125)
第四章 空气控制阀 ·····	(127)
第一节 压力控制阀 ·····	(127)
一、调压阀·····	(127)
二、定值器·····	(130)
三、顺序阀·····	(133)
四、溢流阀·····	(135)
五、微压控制阀·····	(136)
第二节 流量控制阀 ·····	(138)
一、概述·····	(138)
二、节流阀的基本结构与原理·····	(139)
三、节流阀的理想流量特性·····	(140)
四、单向节流阀·····	(142)
五、缓冲阀·····	(143)
第三节 方向控制阀 ·····	(144)
一、换向型方向控制阀的分类·····	(144)
二、气控换向阀·····	(146)
三、电控换向阀·····	(154)
四、人力控制换向阀·····	(159)
五、行程阀·····	(164)
六、单向型控制阀·····	(168)
第五章 气动辅助元件 ·····	(172)
第一节 空气过滤器 ·····	(172)
一、概述·····	(172)
二、分水滤气器·····	(173)
三、纤维过滤器·····	(175)
第二节 油雾器 ·····	(177)
一、油雾器的用途·····	(177)
二、油雾器的结构·····	(177)
三、油雾器的几个特性·····	(179)

四、使用和安装油雾器的注意事项·····	(180)
第三节 消音器 ·····	(180)
一、气动噪声及其危害·····	(180)
二、声音强弱的表示法：声压、声强、声功率·····	(180)
三、噪声控制与消音器·····	(181)
第四节 压力继电器 ·····	(183)
一、压力继电器的用途·····	(183)
二、压力继电器的结构原理·····	(183)
三、压力继电器的安装与使用·····	(184)
第五节 气动装置用的管道与管接头 ·····	(184)
一、气动装置用的管道概述·····	(185)
二、管接头·····	(187)
第六章 气动逻辑元件 ·····	(188)
第一节 基本逻辑单元(门)简介 ·····	(189)
一、“与”门元件·····	(189)
二、“或”门元件·····	(189)
三、“是”门元件·····	(190)
四、“非”门元件·····	(190)
五、双稳元件·····	(190)
第二节 微型逻辑阀 ·····	(191)
一、滑柱式逻辑阀·····	(192)
二、滑块式逻辑阀·····	(192)
三、高压截止式元件·····	(194)
四、低压膜片截止式元件·····	(199)
五、微压逻辑元件·····	(199)
六、高压膜式元件·····	(202)
七、逻辑元件的主要技术参数·····	(206)
第三节 射流元件 ·····	(209)
一、附壁式射流元件·····	(209)
二、动量交换式与门元件·····	(213)
三、紊流式元件·····	(214)
四、射流元件的选择·····	(214)
第七章 逻辑代数及其在气动控制中的应用 ·····	(217)
第一节 逻辑代数及其基本运算 ·····	(217)
一、二进制数·····	(217)
二、逻辑代数·····	(217)
三、逻辑代数的基本运算规则·····	(218)
第二节 逻辑代数的基本公式 ·····	(219)

一、逻辑函数及其相等的概念	(219)
二、逻辑代数的基本公式	(220)
三、逻辑代数的若干规则	(222)
第三节 逻辑表达式的化简	(224)
一、公式法化简逻辑函数式	(226)
二、图解法化简逻辑函数式	(227)
第四节 逻辑代数在气动控制中的应用举例	(234)
第八章 气动控制线路的设计	(239)
第一节 气动基本线路	(239)
一、使用二通阀的基本线路	(239)
二、单向作用气缸的基本控制线路	(239)
三、双作用气缸的基本线路	(240)
四、气液转换速度控制线路	(241)
五、气液增压线路	(241)
六、双缸同步动作控制线路	(241)
七、安全操作线路	(242)
八、气缸往复动作控制的基本线路	(243)
九、同一发信器控制气缸双向动作的基本线路	(244)
十、气动时间控制基本线路	(245)
第二节 气动线路设计引述	(246)
一、行程程序控制	(246)
二、行程程序的表示方法	(248)
第三节 障碍信号及其判别方法	(248)
一、障碍信号和它的分类	(248)
二、障碍信号的判别方法	(250)
第四节 设计线路的 X-D 图表法	(256)
一、直接将原始信号变为脉冲信号	(256)
二、利用基本逻辑回路排除障碍信号段	(258)
三、多缸多往复行程程序控制线路的设计方法	(264)
第五节 线路设计的卡诺图法	(268)
一、卡诺图的画法	(269)
二、在卡诺图上画顺序线	(271)
三、列出简化的逻辑表达式	(272)
四、画逻辑控制线路	(275)
五、顺序循环线“重叠”时的线路设计法	(275)
六、多缸多往复线路的卡诺图设计法	(278)
七、校正程序中记忆元件的数量与其插入动作的顺序	(283)
第六节 某些行程程序控制线路的卡诺图设计法	(285)

一、同一信号命令两个或更多的气缸并列动作的控制线路	(285)
二、在某气缸的运动过程中间,插入其它气缸的动作	(287)
三、两个缸体连接一起而且行程一样的气缸	(287)
四、选择程序的线路设计	(288)
五、行程和时间混合程序控制	(289)
第七节 自动与手动并用控制线路	(289)
一、自动循环控制	(290)
二、手动控制	(290)
第八节 气动控制线路的简化讨论	(292)
第九节 通用程序控制线路的设计方法介绍	(295)
一、通用程序控制器的线路原理	(295)
二、气动通用行程程序控制线路的组成	(297)
三、气动通用行程程序控制器的程序编排方法	(298)
第十节 “顺序与”门消障法	(301)
第十一节 电控气动线路设计	(304)
一、概述	(304)
二、电气线路的表示方法	(305)
三、继电器的基本逻辑线路	(306)
四、电控气动线路设计	(306)
第九章 气动位移传感器	(308)
第一节 概述	(308)
第二节 气动位移传感器的分类	(309)
一、背压式传感器	(309)
二、射流反射式传感器	(311)
三、涡流式传感器	(313)
四、直接遮断式传感器	(314)
五、射流偏转式传感器	(316)
六、气声传感器	(318)
第三节 液位测量	(320)
一、或非元件的负压切换法	(321)
二、或非元件的正压切换法	(321)
第四节 压力信号的转换和放大	(322)
一、背压式气动放大器	(322)
二、膜片——滑阀式放大器	(323)
三、膜片——喷嘴式比例放大元件	(324)
四、射流对冲式放大器	(325)
第五节 气桥在气动量测上的应用	(327)
第十章 气动控制应用举例	(329)

第一节 钢带冷轧厚度的在线控制·····	(329)
一、控制要求·····	(329)
二、信号的检出及处理·····	(329)
第二节 射流控制半自动深孔钻床·····	(330)
一、工作程序及控制要求·····	(330)
二、射流控制线路及分级进给滑块机构原理图·····	(331)
三、控制部分分析·····	(331)
第三节 热压锻造的气控机械手·····	(333)
一、结构简图及动作程序·····	(333)
二、线路的卡诺图设计及气控线路图·····	(334)
第四节 液化石油气半自动灌装秤气控线路的设计·····	(335)
一、灌液化气的技术要求·····	(335)
二、灌装动作过程·····	(335)
三、气控线路的设计·····	(336)
第五节 气控六工位组合机床·····	(339)
一、工作程序及控制要求·····	(339)
二、气控线路的设计·····	(340)
第六节 气动编码与工件自动分类·····	(340)
一、工作要求·····	(340)
二、信号的分析及线路的设计·····	(342)
附录：液压及气动图形符号国家标准(GB 786-76) ·····	(343)

第一章

关于气体流动的一些基本知识

气动控制技术是近年来迅速发展起来的一门技术。它是以压缩空气作为传递能量和进行自动控制的工作介质。由于气动控制技术中的各类气动元件的设计原理、气源的设置和管路连接都与流体力学有关，因此，有必要对气体和液体的某些性质和运动特点作一些简单介绍。

第一节 气体的压力*及其它性质

一、气体的压力，大气压

盛有气体的容器，其壁面上受到气体的作用力。壁面单位面积上所受到的气体作用力，称作气体的压力，常用 P 表示，

$$P = \frac{F}{A} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (1-1)$$

式中： A ——与气体相接触的面积(厘米²)；

F ——作用在面积 A 上的力(公斤)。

分子运动论学说，认为气体对壁面的压力是无数运动着的气体分子对壁面冲击的结果。一定体积的容器内，气体的量越多，则单位时间内气体分子对器壁碰撞的次数也就增多，因而压力也就提高了。

因为气体的重量很轻，可以认为容器内各点的压力是相等的。由气体的压力而产生的力 F 总是垂直地压在与它接触的面积 A 上，且和 A 的方位无关。

众所周知，大气也是有压力的，它通常用 P_a 表示，各地的大气压力因纬度、高度、气候条件不同而不同。在海平面上，当温度为 0°C 时， P_a 的平均数值为 1.0332 公斤/厘米²，所以公认把这个数值定为 1 个标准大气压。

* 在气动工程学科中，压力系指压强。

二、气体的重度与密度

在适当的压力作用下，气体可以被压进一个很小的空间，空间里的气体，随着压进量增加，压力逐渐升高，于是就说气体被压缩了；相反地，如果把一定量的气体通到一个比在普通情况下它所占的体积更大的空间里，气体总是能均匀地充满整个空间，但那里的压力将比充入的原气体压力低，于是说气体膨胀了。气体没有一定的形状，它的体积也是由容器的体积而定。因此在讨论、研究与气体有关的力学问题时，只提它的重量为多少是不够的，而时常要同时提及它所占的体积为多少。重度就是表示在单位体积内含有的气体的重量的物理量。若用 W 表示气体的重量， V 表示这些气体所占的体积，用 γ 表示重度则有

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (公斤/米}^3\text{)} \quad (1-2)$$

若用 m 表示重量为 W 的气体的质量，有

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

式中： $g=9.8$ 米/秒²，为重力加速度， ρ 为气体的密度，它表示单位体积内所含气体的质量。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-4)$$

密度的单位在工程上常用公斤·秒²/米⁴。

气体的重度 γ 与密度 ρ 和气体的压力有关，压力增加则 γ 与 ρ 也增加。 γ 与 ρ 的大小和温度也有关系(参看第二节)。当 $P=1.033$ 公斤/厘米²时，空气的重度、密度和温度的关系可参看表 1-1

表 1-1 $P=1.033$ 公斤/厘米²时空气的重度与密度

温 度 (°C)	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	200°
γ (公斤/米 ³)	1.40	1.29	1.20	1.12	1.06	1.00	0.95	0.746
ρ (公斤·秒 ² /米 ⁴)	0.142	0.132	0.123	0.115	0.108	0.102	0.096	0.076

液体的重度、密度的定义与(1-3)，(1-4)两式一样，但因液体是不可压缩的， γ, ρ 与 P 无关。

三、重力作用下静止液体中的压力

液体的重度要比空气大得多。因此在讨论具有自由液面的液体的压力时，必须考虑重量这个因素。

设在一截面积为 A 的圆柱形桶中，装有重度为 γ 的液体。液柱高为 H 。液面与大气

接触(见图 1-1)。

若不考虑大气压的作用。在圆桶的底面上受到的液体作用力就是这一段液柱的重量 W

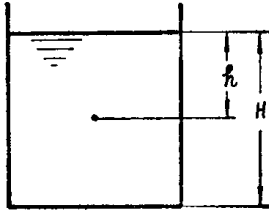


图 1-1

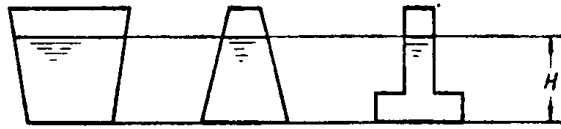


图 1-2

$$F = W = V \cdot \gamma = H A \cdot \gamma \quad (1-5)$$

圆桶底面处, 液体的压力 $P_{液}$ 应为

$$P_{液} = \frac{F}{A} = \gamma H \quad (1-6)$$

这就是说, 在底面处, 液体的压力只与液面的高度 H 和重度 γ 有关, 而与桶的底面积无关。进一步的研究表明, 这个压力的大小与容器的形状无关, 而只和液柱高度、液体的重度有关。如图(1-2)所示的各种容器中, 只要装的是同一种液体, 当液面一样高时, 则容器底部处的压力都相等, 因此如果底面积一样, 尽管液体量不同其底面所受的总作用力也将一样。

因此可以把公式(1-6)推广到液体中的任一点, 这里的“一点”可以理解为任一任意小的截面积。所以离开自由液面距离为 h 处的任一点上由液体自重引起的压力应为

$$P = \gamma h \quad (1-7)$$

从这里可以得出, 在具有自由液面的静止液体中, 在重力作用下, 同一水平面处的压力都一样。和气体一样, 静止液体中某点压力的大小, 与方向无关。

静止液体中压力的另一个重要特性就是帕斯卡定律: 加在密闭液体任一部分的压力, 必然按照原来的大小, 由液体向各个方向传递。很多水力机械都是根据这一定律设计的。

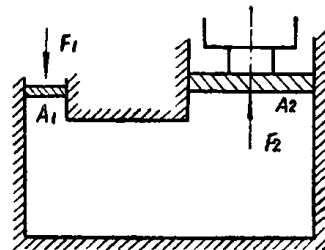


图 1-3

例如在图 1-3 所示的水压机原理图上, 作用在面积为 A_1 的小活塞上的作用力 F_1 所产生的压力为:

$$P = \frac{F_1}{A_1}$$

这个压力 P 马上会传到面积为 A_2 的大活塞上去, 从而使物体受到的作用力 F_2 为

$$F_2 = P A_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1-8)$$

一般说来, 由外力而产生的压力总是比较大的, 因此在估算中, 液体自重引起的压力, 有时可以忽略不计。但当两者相差不是很多时, 必须考虑液体自重引起的压力。

图 1-1 所示那样具有自由液面的静止液体, 如果考虑大气压的影响, 则在液表面上

受到的大气压 P_a ，将均匀地传到液体中任一点去，这样，在重力作用下，静止液体中的压力分布公式可表示为：

$$P = \gamma h + P_a \quad (1-9)$$

在密闭容器中，若液面上还有气体，其压力为 P_1 ，则液体中的压力分布公式应为

$$P = \gamma h + P_1 \quad (1-10)$$

四、表压、绝对压与压力的各种单位

当容器中气体的压力比较低的时候，可以用U形管来测量压力的大小(图1-4)。

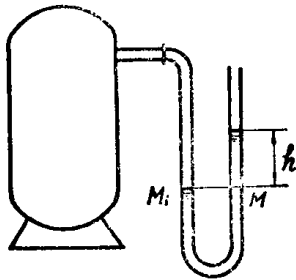


图 1-4 U形管压力计

当容器内的压力和外界大气压相等时，则U形管左、右两管内的液面是一样高的；当容器内的压力高于大气压时，U形管左边的液面降低，右边的液面升高。可以用左右两液面的高度差 h 来测定容器内的压力。

左管 M_1 处的压力 P_{M_1} ，就是容器中的压力 P 。这是因为在气体中各点压力是一样的，另一方面 M_1 与 M 是在同一种液体中的同一水平面上，压力 P_{M_1} 将和 M 处的压力 P_M 相等即 $P_{M_1} = P_M = P$ 。而根据公式(1-9)， P_M 将由 h 及大气压决定，

$$P = P_M = P_a + \gamma h$$

因为在试验时， P_a 一般为定值，而压力计的读数还往往以 γh 或 h 的形式出现，因此为方便起见，通常直接用差压 $P - P_a = \gamma h$ 来表示容器中压力的大小。

$P - P_a$ 称作表压或相对压力， P 称作绝对压力，显然

$$\text{绝对压} = \text{表压} + \text{大气压(当时, 当地)}$$

当容器内的气体压力较高时，通常用弹簧管压力表来测压力。它测得的压力也是表压，即 $(P - P_a)$ 。平常说的压力，一般都是指的表压。但在物理计算上，往往需要用绝对压力。

压力的单位一般用公斤/厘米²(kg/cm²)表示，在压力比较低时，常用液柱高来表示压力。当说压力为760毫米汞柱的时候，意思是指U形管两端的汞柱高度差为760毫米。根据公式(1-11)它表示的压力为

$$\begin{aligned} 760 \text{ 毫米汞柱} &= 760 \text{ 毫米} \times 13.595 \text{ 克/厘米}^3 \\ &= 1.0332 \text{ 公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

这里 13.595 克/厘米³，是汞在 0°C 时的重度。毫米汞柱通常简写为 mmHg。

同样 1000 毫米水柱表示的压力为

$$\begin{aligned} 1000 \text{ 毫米水柱} &= 1000 \text{ 毫米} \times 1 \text{ 克/厘米}^3 \\ &= 0.1 \text{ 公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

这里 1 克/厘米³ 为水的重度，毫米水柱通常简写为 mmH₂O。

大气的压力是由气压计测得的，经常用 mmHg 来表示。在工程计算上，为方便起见，把 1 公斤/厘米² 当作压力单位，称为一个工程气压，简称一个压力。在海拔不高

处，它和当地的大气压相差不多。

在国外还有用巴和磅/英寸²等单位，各种压力单位的换算关系见表 1-2

表 1-2 各种压力换算表

公斤/厘米 ² (kg/cm ²)	标准气压	米 汞 柱 (mHg)	米 水 柱 (mH ₂ O)	磅/英寸 ²	巴
1.0197	0.98615	0.7501	10.197	14.50	1
1	0.9678	0.7356	10.000	14.22	0.9807
0.07031	0.03805	0.0517	0.7031	1	0.06895
1.3595	1.3158	1	13.6	19.34	1.3332
0.1000	0.09678	0.07355	1	1.422	0.09806
1.0332	1	0.760	10.33	14.70	1.0133

五、绝对温度

平时都是用摄氏温度 $t^{\circ}\text{C}$ 表示物体冷热的程度。把 1 标准大气压 (760 mmHg) 下水的冰点定为 0°C ，水的沸点定为 100°C ，中间等分一百份，每一份为一度。但是在研究气体性质的时候，往往需要用绝对温度 $T(\text{K})$ 来表示气体冷热的程度。绝对温度与摄氏温度相比，形式上只是零度的设置不一样，它们之间的关系是

$$T(\text{K}) = t + 273$$

即 0°C 相当于 273 K， $-273^{\circ}\text{C} = 0 \text{ K}$ 。

第二节 气体的状态方程与状态变化

一、气体的状态方程

当气体处于某一个平衡状态的时候，它具有一定压力 P ，温度 T 和重度 γ 。这三个量叫做气体的基本状态参数。这三个量相互之间有一定的联系，一般说来，当其中一个发生变化时，其余两个量也随着发生变化。

大量的实践证明，对于实际气体，在压力不太高，温度不太低的情况下，这三个量近似有如下的关系(称为气体的状态方程)：

$$P = \gamma RT \quad (1-11)$$

式中： P ——气体的绝对压力(公斤/米²)；

γ ——气体的重度(公斤/米³)；

T ——气体的绝对温度(K)；

R ——气体常数(米/K)，对不同的气体有不同的数值(空气的气体常数为 29.27 米/K)。

气体的状态方程不仅适用于密封容器中的气体，而且在气体处于流动时也适用，但

是这时的 P, T, γ 应该是同一个流体微团的状态参数。严格遵循状态方程的气体, 称作完全气体。对于空气, 在 $P < 200$ 大气压; $t > -20^\circ\text{C}$ 范围内, 用气体状态方程来计算所引起的误差不会超过 4%。因此把空气当作完全气体在工程上是允许的。

二、气体的几种状态变化

当气体受到外力作用, 或和外界有热交换时, 它的状态参数 P, γ, T , 就要发生变化。在变化之后, 或在变化之中, 当处于平衡状态时, 这些参数都应服从状态方程。若用 P_1, γ_1, T_1 , 表示变化前的参数, 用 P_2, γ_2, T_2 表示变化后的参数, 则有

$$\frac{P_1}{\gamma_1 T_1} = \frac{P_2}{\gamma_2 T_2} = R$$

根据重度的定义 $\gamma = G/V = mg/V$, 上式可改写成为:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = R \quad (1-12)$$

下面介绍几个简单的状态变化过程。

1. 等温变化过程

一定质量的气体, 在膨胀或压缩过程中, 其温度始终保持不变的过程, 叫等温变化过程。这种过程一般进行得很慢, 使有足够的时间, 让气体和外界交换热量。根据(1-12)式可以得出等温变化时, 气体的压力与体积的关系为:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{常数} \quad (1-13)$$

它说明气体温度不变时, 体积与压力成反比, 压力增大, 体积就减小。

值得指出的是, 如果变化过程并非等温, 但经过一段时间后, 两状态的温度最后是相等的, 则公式(1-13), 对前后两状态还是适用的。

2. 等容过程

一定质量的气体, 在体积不变的条件下, 所进行的状态变化过程, 叫作等容过程。密封容器中气体的加温或冷却, 就是属于等容变化过程。根据(1-12)式得

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{常数} \quad (1-14)$$

该式表明, 当气体的体积不变时, 其温度的上升, 必定伴随着压力的升高。

3. 等压过程:

一定质量的气体, 在状态变化过程中其压力始终保持不变, 这个过程叫做等压过程。根据(1-13)式有

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{常数} \quad (1-15)$$

这说明当压力不变时, 气体温度的上升必然导致体积的膨胀。

4. 绝热变化过程

在上述的几种变化过程中, 气体和外界之间都有热量的交换。一定质量的气体在和外界没有热量交换的条件下, 所进行的状态变化过程叫绝热变化过程。一般在容器绝热性能较好, 而过程又进行得较快(来不及热交换)时, 都可以近似地看作是绝热过程。

在绝热过程中，状态参数之间有如下关系

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right)^K \quad (1-16)$$

或
$$P_1 V_1^K = P_2 V_2^K \quad (1-17)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{K}{K-1}} \quad (1-18)$$

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{K-1}} \quad (1-19)$$

式中 K 称作绝热指数，对空气来说 $K=1.4$

迴转式压缩机的压缩过程是十分接近于绝热的，往复式压缩机的压缩过程也比较接近绝热，尤其在活塞往复次数大于 500 次/分时，更接近于绝热压缩。

5. 多变过程

在实际问题中，气体的膨胀与压缩过程往往不能简单的归属为上述几个过程的任一个。在有些情况下，为了把问题简化，往往把变化过程近似地当作上述某一种变化过程来处理。但有时候用这种办法来处理造成的误差很大。因此，最好的办法是把变化过程用公式

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad (1-20)$$

来表示，式中的 n 是在状态变化过程中不变的常数，称多变指数。其具体的数值是根据具体的状态变化性质而定的，这样的过程称作多变过程。它和实际情况较为接近。例如在研究气缸的起动和活塞的运动速度时，有时取 $n=1.2$ 。

等容、等温、等压、绝热，这些变化过程都是多变过程的一个特例。当 $n=1$ 时就是等温过程； $n=K=1.4$ 时是绝热过程， $n=0$ 时是等压过程， $n=\infty$ 时就是等容过程。尽管这里 n 取了零值和无穷大，但在一般的过程中 n 的数值往往在 1 和 K 之间变化，即 $K > n > 1$ 。当压缩气体时，外界给密封容器以大量热量，则出现 $n > K$ 的情况，例如离心式压缩机的压缩过程的多变指数 $n > K$ 。

三、空压机的理论功率

空压机压缩空气时，要消耗一定的功率，这功率的大小和空气压缩按什么过程进行有关。

排气量为 Q 的空压机，把状态“1”的空气吸入到压缩机并把它压缩到状态“2”，然后排到气罐里去所消耗的理论功率(即不考虑摩擦、扰动、泄漏等复杂因素)为：

$$\triangleq N = \frac{n}{n-1} \frac{P_1 Q \times 10^4}{102 \times 60} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{ (千瓦)} \quad (1-21)$$

式中： Q ——空压机的排气量(换算成自由状态)(米³/分)；

P_1 ——吸入时的气体绝对压力(公斤/厘米²)；

P_2 ——排出时气体的绝对压力(公斤/厘米²)；

n ——多变指数。