

热工设备教学丛书

压缩机和致冷

周坤永 编

高等教育出版社

本书根据一九八一年十二月在广州召开的全国工科院校热工教材编审委员会讨论通过的《压缩机和致冷设备编写大纲》编写而成。

本书可与王补宣主编的《热工基础》一书配套使用，也可作为高等工业学校化工、纺织、土建、矿冶、机械(压缩机和致冷专业除外)等非动力类专业的热工学教材或教学参考书，同时也适用于一般工程技术人员和自学的同志参考。

全书分为压缩机和致冷两部分：前者以活塞式压缩机为主，后者则着重讨论蒸气压缩致冷。书中除讨论各种装置的工作原理和热力分析外，还对运行和维护等必要知识作简单的介绍。

热工设备教学丛书

压 缩 机 和 致 冷

周坤永 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

朝阳区展望印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 4 字数 94,000

1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷

印数 00,001—11,200

书号 15010·0643 定价 0.93元

序

一九八一年十二月在广州召开的高等学校工科热工教材编审委员会扩大会议上，同志们鉴于热工学在祖国社会主义现代化建设中所起的作用，重新肯定了该课程在培养工程技术人材过程中的重要性和迫切性，一致认为有必要更新既有教材，以适应四化建设的需要。但考虑到各专业对热工设备的要求并不尽同，因而热工编委会决定将这部分内容分编成若干册，以热工设备教学丛书形式出版，以便各专业可按需选用。本书即为其中的一个分册，根据当时编委会讨论通过的《压缩机和致冷设备编写大纲》编写而成。

本书包括压缩机和致冷两部分：前者主要讨论活塞式压缩机，后者着重阐述蒸气压缩致冷。书中除阐明它们的工作原理及热力分析外，还对其运行和保养等必要知识作简单的介绍。

本书系在热工理论基础的既有基础上进行编写的，因之对于工程热力学和传热学方面的一些基础知识尽量精简，以减少重复。本书对各种装备的介绍，除传统的以外，适当地注意到国内外的新成就，特别是本国的新成就。

书中凡有热力分析的章节，一般都附有例题，每章末并附有习题和参考文献，以便读者加深对课程内容的理解。

本书承热工编审委员会委托华中工学院金六一同志审校，使本书得到不少的改进。华东化工学院薛金华同志曾通读本书第一章的初稿，提出了一些有益的意见。编者在此一并表示谢意。

本书是热工设备教学丛书之一，可与王补宣主编的《热工基础》一书配套使用，也可单独作为高等工业学校化工、纺织、采矿、

冶金、土建以及机械(压缩机和致冷等专业除外)等非动力类专业的教材或参考书。在使用过程中可根据教学时数的多寡,专业的实际需要,对书中各章节作适当的选择和删减。本书除作教学应用外,同时也可供一般工程技术人员参考。考虑到全国范围内有很多同志在自学各类专业课程,为此本书中插图尽量采用具有实感的立体图以方便自学。

由于编者水平的限制,书中一定有许多不妥甚至谬误的地方,热诚地希望使用本书的同志们批评指正。

编者

一九八四年六月

目 录

序	1
本书所用的主要符号及单位表	1
第一章 压缩机	1
1·1 概论	1
1·2 活塞式压缩机的分类	5
1·3 压缩机的型号	7
1·4 活塞式压缩机的理论工作过程	8
1·5 活塞式压缩机的实际工作过程	12
1·6 压缩机的排气量	14
1·7 多级压缩	17
1·8 活塞式压缩机的功率和效率	21
1·9 活塞式压缩机的构造	25
1·10 活塞式压缩机装置和附属设备	33
1·11 活塞式压缩机的调节与运行	45
参考文献	51
习题	51
第二章 致冷	53
2·1 概论	53
2·2 致冷的热力学基础	55
2·3 蒸汽压缩致冷循环	58
2·4 其它致冷系统	75
2·5 致冷机的附属设备	88
2·6 致冷设备的运行和保养	104
参考文献	107

习题	108
附表 1 氨在饱和状态的特性	111
附表 2 R12 在饱和状态的特性	114
附图 1 氨的 $\lg p-h$ 图	117
附图 2 R12 的 $\lg p-h$ 图	118

第一章 压 缩 机

1.1 概 论

压缩机是用来压缩气体(包括蒸汽)的机器。压缩机中气体压力的提高是靠消耗外功或其它能量使之转变成压力能的结果。当气体进入压缩机接受外功后,因受到压缩而提高了压力。

人类使用压缩气体的机械已有相当悠久的历史。在我国使用尤早,如民间铁匠为了给加热炉鼓风,很久以前就使用着构造巧妙的木制风箱,这种风箱的工作原理跟现代的活塞式压缩机完全相同。

压缩机在国民经济的各个领域中的应用都是非常广泛的,例如,机械制造、地质勘探和采矿以及土建工程中都少不了用压缩空气来驱动空气原动机、空气锤和各种风动工具,如风镐、风钻和铆枪等。此外,压缩气体在冶金工厂的钢铁冶炼过程中,交通运输事业的车辆制动、轮胎充气、柴油机的起动和增压等方面也是不可缺少的;在化学工业中,压缩机的应用更为广泛:如氨的合成,气体的液化,物料的搅拌和吹洗等场合都用到压缩机;在致冷技术上,压缩机是蒸气压缩致冷装置的心脏部分,而在低温技术上,更常用到级数很多的压缩机,以产生高压使气体液化。

压缩机视构造和工作原理的不同,大致可分成两大类:即容积式压缩机和速度式压缩机。容积式压缩机又根据结构形式的不同可分为活塞式压缩机和回转式压缩机两类。

活塞式压缩机是依靠气缸内活塞的往复运动来压缩气缸中的气体的。由于活塞式压缩机有下列一些优点:当排气压力波动时排气量仍较稳定,可制成超高压、高压、中压或低压等各种不同用

途的装置，压缩效率较高，排气量范围较广，易于制造成各种不同生产量的机种。故活塞式压缩机为压缩机中应用最广的一种，本书即着重介绍这种压缩机。

图 1-1 表示结构简单的单缸、立式、单作用活塞式压缩机。

飞轮 9 跟原动机(如电动机)相连接，飞轮将动力传至曲轴 1 后再经由连杆 2 把曲轴的旋转运动变成活塞 3 在气缸 4 中的往复运动。气缸盖 8 和阀板 10 之间构成两个空间：一个为吸气室，另一个为排气室。吸气阀 6 和排气阀 7 即分别安装在两个室中的阀板上。

回转式压缩机中应用较广的为滑片式压缩机和螺杆式压缩机。图 1-2 为滑片式压缩机的简图。在圆筒形机壳内有一个圆柱形的转子 4，转子上开有若干条切槽，槽内放置滑片 3，滑片可在槽

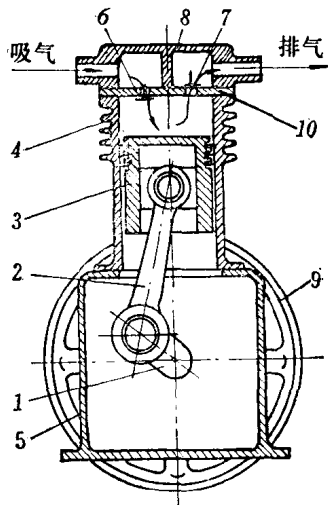


图 1-1 单缸立式单作用活塞式压缩机

1—曲轴；2—连杆；3—活塞；4—气缸；5—曲轴箱；6—吸气阀；7—排气阀；8—气缸盖；9—飞轮；10—阀板

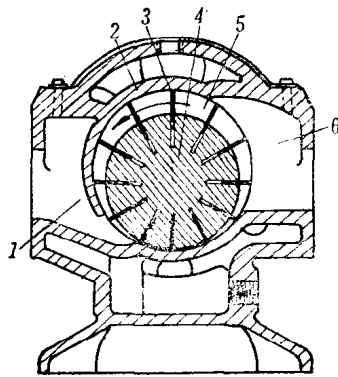


图 1-2 滑片式压缩机

1—排气口；2—机壳；3—滑片；4—转子；5—压缩腔；6—吸气口

内滑动。当转子转动时，滑片与机壳内壁间所形成的压缩腔 5 不断缩小，从而使气体受到压缩。这类压缩机的排气压力一般不高，故应用范围较小，主要用于两级致冷系统的低压级。

螺杆式压缩机的结构如图 1-3 所示，机架内安装着两个转子，即阴螺杆 1 和阳螺杆 2，由同步齿轮 3 带动。工作时依靠螺杆表面的凹槽与机壳 4 内壁间所形成的压缩腔体积不断变化，从而实现气体的吸入、压缩和排出。这类压缩机除常作动力用的空气压缩机外，还应用于致冷工业。

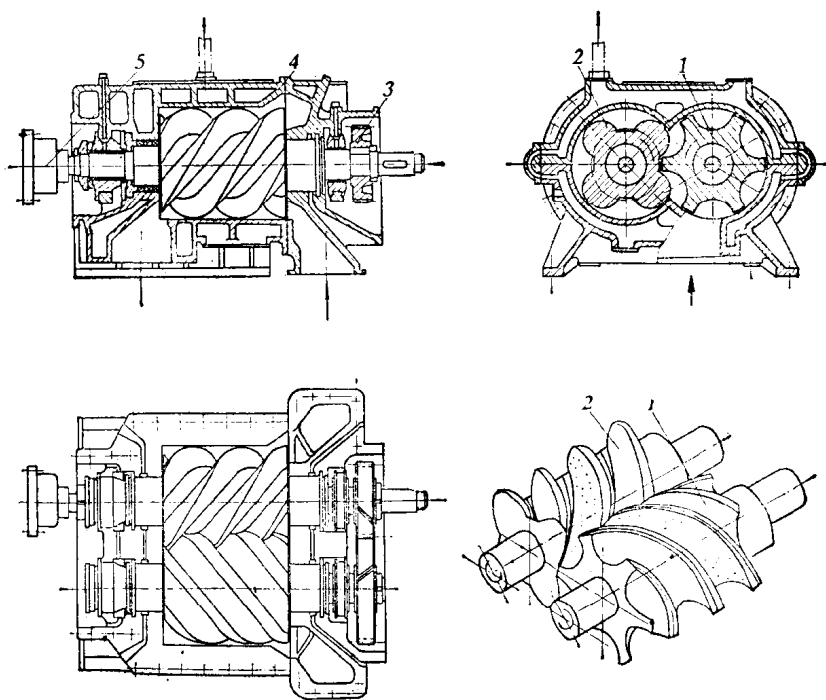


图 1-3 螺杆式压缩机

1—阴螺杆；2—阳螺杆；3—同步齿轮；4—机壳；5—联轴节

速度式压缩机又可分为离心式压缩机和轴流式压缩机两种。

离心式压缩机的工作原理可由图1-4(a)所示的单级离心式压

缩机来说明：机轴 1 上安装着叶轮 5，叶轮 5 的外端又装有叶片。当叶轮随着机轴转动时，气体即由吸气口吸入流到叶片间所形成

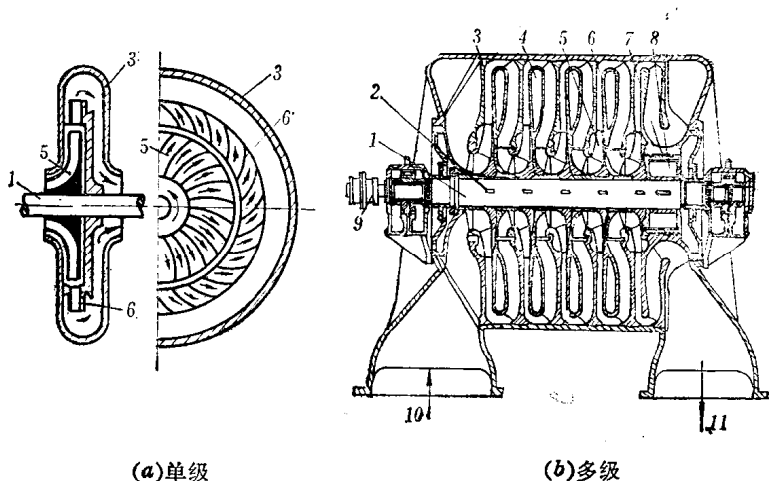


图 1-4 离心式压缩机

1—机轴；2—定位键；3—机壳；4—隔板；5—叶轮；6—扩压器；7—平衡盘密封；8—平衡盘；9—联轴节；10—吸气口；11—排气口

的空间，从而气体便获得极高的速度，亦即具有极大的动能，然后高速气体离开叶轮上的叶片进入静止件扩压器 6 中。气体进入扩压器后速度降低，动能转变为压力势能，气体的压力便增加。由于单级压缩机所生产的气体压力小，故工业上应用的常是由它们串联而成的多级离心式压缩机，图 1-4(b) 即为一台有五级的离心式压缩机。

离心式压缩机由于它的速度高，压缩过程连续进行，生产能力大，气体又洁净，故非常适用于大型化生产，如大型的氟利昂制冷装置和石油化学工业部门中用乙烯和丙烯作为制冷剂的大型制冷装置。

轴流式压缩机的工作原理和离心式压缩机的相仿，所不同的只是气体在轴流式压缩机中流动时，无论是流进或流出各级叶轮

或流经扩压器，都是轴向的。图 1-5 所示为轴流式压缩机的主要结构。这类压缩机的气流路程较短，阻力损失较小，故效率较高，排气量也较大，多用于燃气轮机和喷气发动机上。

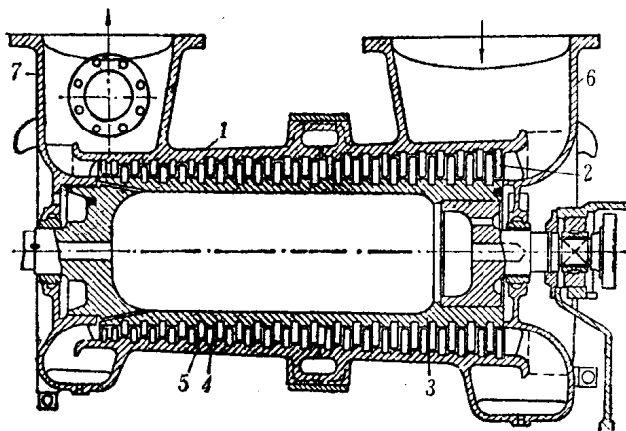


图 1-5 轴流式压缩机

1—机壳；2—进口导向叶片；3—转子；4—导向叶片；5—动叶片；
6—吸气管；7—排气管

1.2 活塞式压缩机的分类

活塞式压缩机可按其性能和结构特点，分成如下各种类型：

(1) 按排气压力分：

低压压缩机 排气压力为 3~10 bar。

中压压缩机 排气压力为 10~100 bar。

高压压缩机 排气压力为 100~1000 bar。

超高压压缩机 排气压力在 1000 bar 以上。

(2) 按排气量大小分：

微型压缩机 排气量小于 1 m³/min。

小型压缩机 排气量为 1~10 m³/min。

中型压缩机 排气量为 10~60 m³/min。

大型压缩机 排气量大于 $60 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3) 按气缸的布置形式分:

立式压缩机 气缸中心线与地平面垂直。

卧式压缩机 气缸中心线与地平面平行。

角式压缩机 各气缸中心线互成一定角度, 其中又可分为 V 型、W 型、L 型、Y 型(星型)、S 型(扇形)等。如图 1-12 中 e 为 W 型, f 为 L 型。

对置式压缩机 气缸分布在曲柄的两侧。

对称平衡式压缩机 电动机在曲轴一端的称 M 型; 而在列间时称 H 型。

(4) 按气缸内所实现的压缩循环分:

单作用式压缩机 气缸内仅一端进行压缩循环。

双作用式压缩机 气缸内两端都进行压缩循环。

级差式压缩机 气缸内一端或两端进行两个或两个以上不同级次的压缩循环。

(5) 按压缩级数分:

单级压缩机 气体经一级压缩即达排气压力。

两级压缩机 气体经两级压缩始达排气压力。

多级压缩机 气体经三级以上压缩始达排气压力。

(6) 按压缩机的密封方式分:

敞开式压缩机 压缩机曲轴伸出机体之外, 伸出部位装有防止泄漏的轴封装置, 曲轴通过传动装置与原动机相连接。

半封闭式压缩机 仅压缩机的曲轴箱与电动机封闭在一个壳体中。

全封闭式压缩机 压缩机与驱动电机都封闭在一个壳体中, 参阅图 1-15。

半封闭式和全封闭式通常只应用于小型氟利昂制冷压缩机。

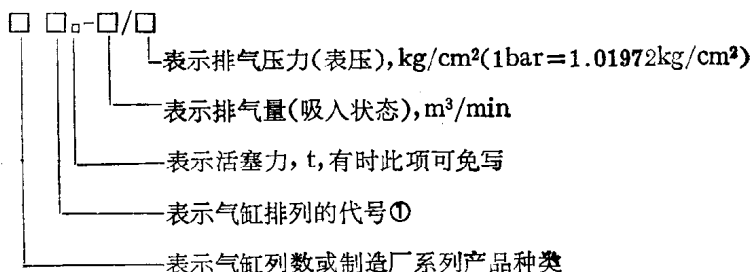
此外, 还可以按照曲柄连杆机构的不同而分为无十字头式压缩机和十字头式压缩机两种; 可以根据冷却方式的不同分为风冷式压缩机和水冷式压缩机两种。

1.3 压缩机的型号

活塞式压缩机品种繁多, 为方便起见, 对各种类型的活塞式压缩机统一加以命名。

1.3.1 一般活塞式压缩机

每一种压缩机的型号, 是用数字和汉语拼音字母依次表示, 其标注方法和符号意义为:



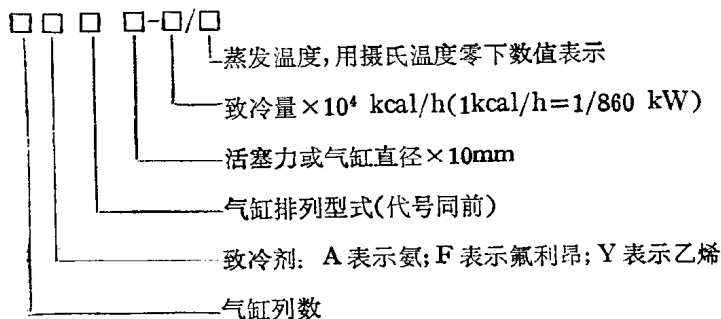
例如: 4L-44/2, 表示固定活塞式压缩机L系列中第四种基本产品, L为气缸排列, 吸入状态下的排气量为 $44\text{m}^3/\text{min}$, 排气压力为 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 。又如 $\text{H}_{22}-165/320$, 表示该机为H型对称平衡式, 活塞力为 22t, 排气量为 $165\text{m}^3/\text{min}$, 排气压力为 $320\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

1.3.2 致冷压缩机

各种型号致冷压缩机的标注方法和符号意义简述如下:

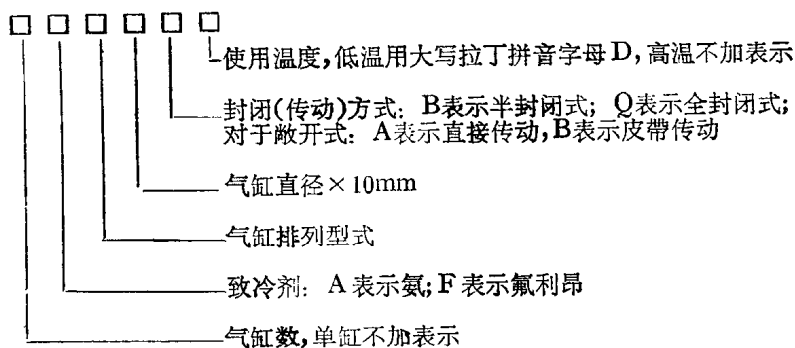
(1) 大型的活塞式致冷压缩机(标准致冷量在 580kW 以上)

① 气缸排列代号: V——V型排列; W——W型排列; L——L型排列; P——即Π形排列; D、M、H——对称平衡型排列; Z——立式。



例如: AD15-95/20 为氨压缩机, 对称平衡式, 活塞力 15 t, 蒸发温度为 -20°C , 致冷量为 $95 \times 10^4 \text{kcal/h}$ 。

(2) 中、小型活塞式致冷压缩机。



例如: 3FY5Q 为氟利昂致冷压缩机, 3 缸, Y 型, 缸径为 50mm, 高温全封闭式; 又如 8AS12.5A 为 8 缸氨压缩机, 扇形(S), 缸径 125 mm, 直接传动, 敞开式。

1.4 活塞式压缩机的理论工作过程

图 1-1 所示的活塞式压缩机为单级、单作用式压缩机, 为方便起见, 现在即以这种压缩机为例说明其工作过程。

当活塞从上向下移动时, 在气缸顶部和活塞之间形成真空, 吸

气阀在外界气体压力的作用下便打开，气体被吸进气缸。当活塞到达下止点时，吸气阀即关闭，气体便不再进入气缸内，这样即完成一个吸气过程。在整个吸气过程中，排气阀一直关闭着。当活塞由下向上运动时，密闭于气缸中的气体的压力随着活塞的上升而逐渐增加，此即气体的压缩过程。当气体压力达到一定值时，便顶开排气阀，于是经过压缩的气体即排出气缸外，直至活塞到达上止点，排气阀关闭，气体停止向外排放，这一过程，称为排气过程。排气过程后，活塞又从上止点开始向下运动，重新吸气。这一系列的过程随着曲轴的不断转动，周而复始，形成连续的循环。因此，在单级单作用的活塞式压缩机中，活塞每经过一个往复的行程，亦即曲轴每转动一周便完成一个工作循环。循环中所经历各个过程如图 1-6 所示。

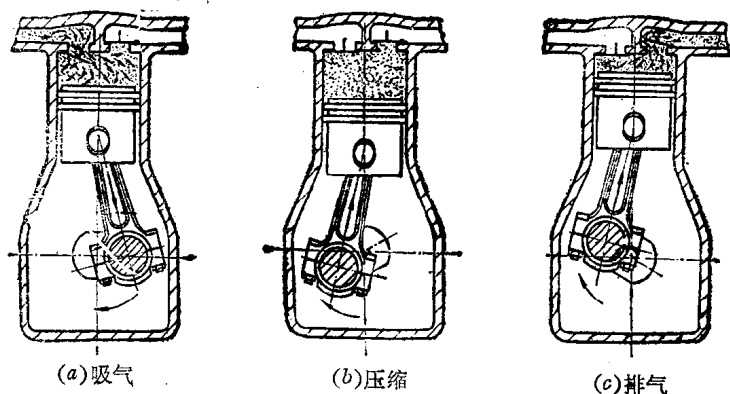


图 1-6 活塞式压缩机的工作过程

在叙述上面的一系列工作过程时，我们曾作了一些假设：在吸气过程中，吸入气缸内的气体状态不变，并与周围气体的状态相同；排气时，气体的压力和温度都保持恒定，并等于排气管内气体的压力和温度；排气时全部气体都排出气缸外，没有压缩气体留存于气缸内。亦即活塞到达上止点时，气缸内没有空隙（余隙容积）。

为此, 上述的工作过程为理想的工作过程。为便于作热力学分析起见, 我们常把压缩机的理想工作过程表示于如图 1-7 那样的示功图(理论示功图)上。图的下方同时绘出一个和图 1-1 构造相似只是由立式改成卧式的压缩机气缸。由于气缸的直径是不变的, 故活塞的位移和进入气缸的气体体积成比例关系。图中点 0 表示活塞在上止点, 刚开始吸气。点 1 相当于活塞到达下止点, 表示吸气终了和压气开始。直线 0-1 表示吸气过程。点 2 表示活塞在压气终了亦即排气开始时的位置。曲线 1-2 表示压气过程。点 3 表示活塞再度到达上止点, 排气过程结束而重新开始吸气的过程。直线 2-3 代表排气过程。在此应当说明: 上述过程中, 除压气过程外, 吸气和排气过程中, 气体的状态并未发生变化, 只是气体的流量不断起变化, 属于一般的气体流动过程, 而不是“热力过程”^①。当我们对压缩机进行热力分析时, 常把压缩机气缸作为一个开口体系, 应用稳定流动能量方程式, 可得压缩机所消耗的外功为

$$\begin{aligned}
 W &= p_1 V_1 - p_2 V_2 + \int_1^2 p dV \\
 &= \int_1^2 p dV - \int_1^2 d(pV) \\
 &= - \int_1^2 V dp
 \end{aligned} \tag{1-1}$$

式中 p_1 和 p_2 分别为吸气和排气压力; V_1 为吸气终了时的气体体积; V_2 为压缩终了时的气体体积; 在此, 我们为方便起见, 常把 $\int_1^2 V dp$ 前的负号改成正号。

视压缩机气缸冷却情况的不同, 压缩过程可按三种不同的热力过程进行, 即绝热过程、多变过程和定温过程。今将这三种过程表示于图 1-8 中。图中 1-2 表示绝热过程, 1-2' 表示多变过程, 1-

^① 热力过程的定义可参考一般热力学教科书。

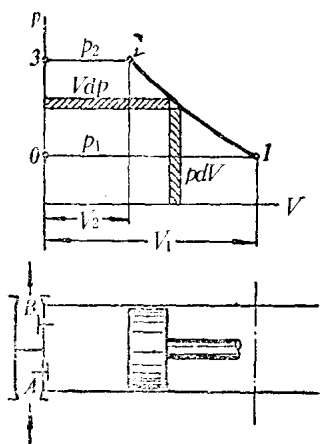


图 1-7 活塞式压缩机的理论示功图

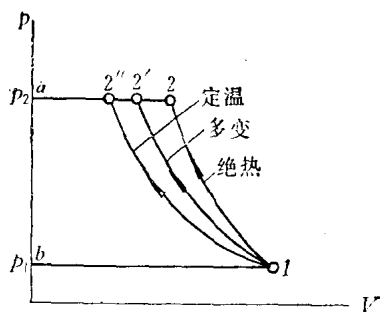


图 1-8 三种不同的压缩过程

2'' 表示定温过程。显然，压缩机所耗总功 $\int_1^2 V dp$ 可用 pV 图中面积 $1-2-a-b-1$ 、 $1-2'-a-b-1$ 或 $1-2''-a-b-1$ 表示。从图上可清楚地看出面积 $1-2-a-b-1$ 最大，而面积 $1-2''-a-b-1$ 最小。故循环所耗功量以绝热过程为最大，定温过程为最小，多变过程介乎两者之间。为了减少功量消耗，我们常想方设法使压缩过程接近定温过程，为此必须对压缩机的气缸进行冷却；冷却得愈快，就愈接近于定温过程；反之，如冷却不良，就接近绝热过程。实际的压缩机常用水冷或风冷等方法对气缸加以冷却。冷却的结果使压缩过程既不是定温过程，也不是绝热过程，而是介乎其间的多变过程。但定温过程和绝热过程可起到衡量压缩机经济性的作用。

对于具有定温、绝热和多变等三种不同压缩过程的理论压缩循环，所消耗的功量 W_T 、 W_s 和 W_n 可分别计算如下：

(1) 定温压缩时：

$$W_T = \int_1^2 V dp = \int_1^2 p_1 V_1 \frac{dp}{p}$$