

制 治 魔 病 機

上

毛 主 席 语 录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

理性认识依赖于感性认识，感性认识有待于发展到理性认识，这就是辩证唯物论的认识论。

要自学，靠自己学。

把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上。

前 言

遵照伟大领袖毛主席的教导：“教材要彻底改革。”在毛主席的教育革命思想指导下，冲破旧的教材枷锁，我们在有关工厂和院校的大力支持下，分别在七三年编的“制冷压缩机零件”和七四年编的“制冷压缩机”两份教材的基础上，根据教学实践和厂校结合的需要，重新编成“制冷压缩机”，以供教学试用。但由于我们水平有限，再加上时间紧迫，教材中肯定会有不少缺点和错误，希望广大工农兵学员和读者批评指正。

上海机械学院制冷教研室

一九七五年十月

目 录

第一篇 活塞式制冷压缩机	1
第一章 活塞式制冷压缩机的热力过程	1
§ 1—1 理想工作过程及实际工作过程	1
§ 1—2 输汽量及输汽系数	12
§ 1—3 功率和效率	25
§ 1—4 例题	29
第二章 活塞式制冷压缩机的受力 分析和惯性力平衡	33
§ 2—1 压缩机的受力分析	33
§ 2—2 单缸压缩机的平衡	42
§ 2—3 多缸压缩机的平衡	45
§ 2—4 练习题	61
第三章 活塞式制冷压缩机的动力计算	62
§ 3—1 计算示功图	62
§ 3—2 活塞力图	67
§ 3—3 切向力、法向力和向力图	70
§ 3—4 确定飞轮矩	76
§ 3—5 计算例题	81
§ 3—6 练习题与思考题	95
第四章 曲轴	96
§ 4—1 曲轴的结构名称和设计要求	96
§ 4—2 曲轴的材料和结构设计	99
§ 4—3 曲轴的强度计算	108
§ 4—4 曲轴的刚度计算	120
§ 4—5 计算例题	125
§ 4—6 滑动轴承的设计	147
第五章 连杆组	180

§ 5—1	连杆组的任务和要求	180
§ 5—2	连杆的结构设计	182
§ 5—3	连杆材料	187
§ 5—4	连杆的强度验算	187
§ 5—5	连杆轴承的设计	192
§ 5—6	连杆螺栓的设计	203
§ 5—7	计算例题	213
§ 5—8	思考题和练习题	220
第六章	活塞组	222
§ 6—1	活塞组的任务和要求	222
§ 6—2	活塞环	224
§ 6—3	活塞	237
§ 6—4	活塞销	250
§ 6—5	计算例题	253
§ 6—6	练习题	258
第七章	机体组	260
§ 7—1	机体组的结构、任务和要求	260
§ 7—2	机体组的结构设计	262
§ 7—3	气缸和气缸套的结构和材料	274
§ 7—4	假盖、假盖弹簧和气缸盖	278
§ 7—5	轴承座和轴封	283
§ 7—6	单机双级压缩机机体介绍	290
§ 7—7	思考题	291
第八章	气阀	292
§ 8—1	气阀的结构和工作情况	292
§ 8—2	气阀的工作原理	301
§ 8—3	气阀的设计要求、加工要求和材料	308
§ 8—4	气阀的设计计算	310
§ 8—5	计算例题	321
§ 8—6	思考题和练习题	327

第九章 活塞式制冷压缩机的总体设计	329
§ 9—1 压缩机的结构参数选择	329
§ 9—2 压缩机系列产品概况	332
§ 9—3 总体结构实例	339
第十章 活塞式制冷压缩机的润滑和输气量调节	361
§ 10—1 压缩机的润滑系统和润滑设备	361
§ 10—2 润滑油的性质和规格	374
§ 10—3 压缩机输气量的调节方法	379
§ 10—4 输气量调节设备的结构	383
第十一章 活塞式制冷压缩机的试车、系统试验和运转	388
§ 11—1 压缩机的试车	388
§ 11—2 压缩机的系统试验	390
§ 11—3 压缩机的负荷运转	395

第一篇 活塞式制冷压缩机

第一章 活塞式制冷压缩机的热力过程

活塞式制冷压缩机(简称压缩机)是制冷机中的一个重要部件,它起着压缩及输送气体的作用。从热力学观点来看,衡量压缩机的完善程度主要有二个指标。一个是气缸工作容积的利用程度;另一个是功率消耗。一台热力过程优良的压缩机应该是功率消耗小,气缸工作容积的利用程度高。在这一章里,我们将应用热力学的知识来分析压缩机的工作过程。分析各种实际因素对压缩机输气量和功率消耗的影响。从而得出压缩机的热计算方法。

学习这一章的目的,是要了解和掌握实际过程中的一些内在的规律。使我们在今后能够正确的从事压缩机的设计、制造和运行管理工作。更好地为社会主义革命和建设事业服务。

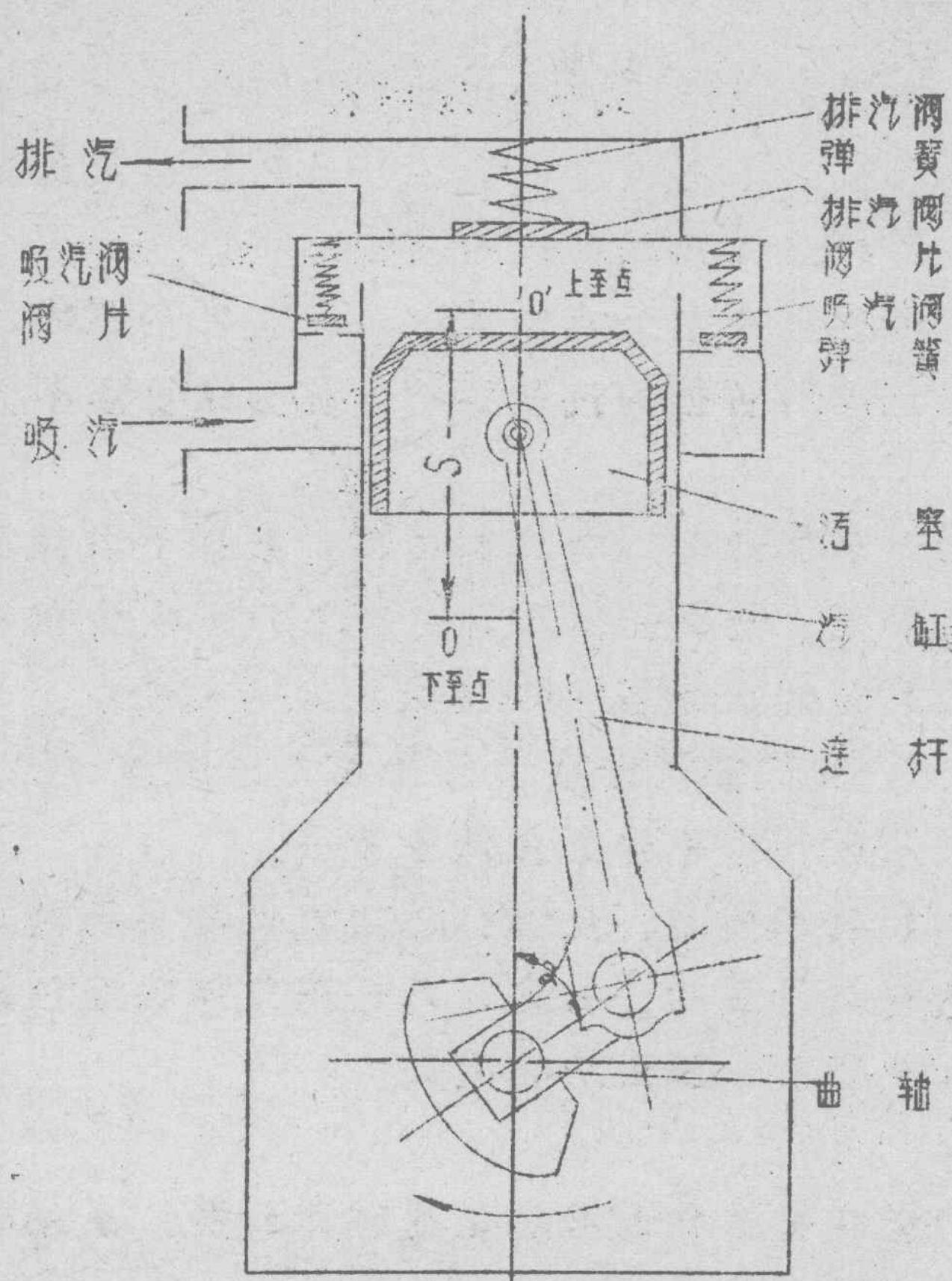
§1-1 理想工作过程及实际工作过程

一、压缩机的工作情况简介:

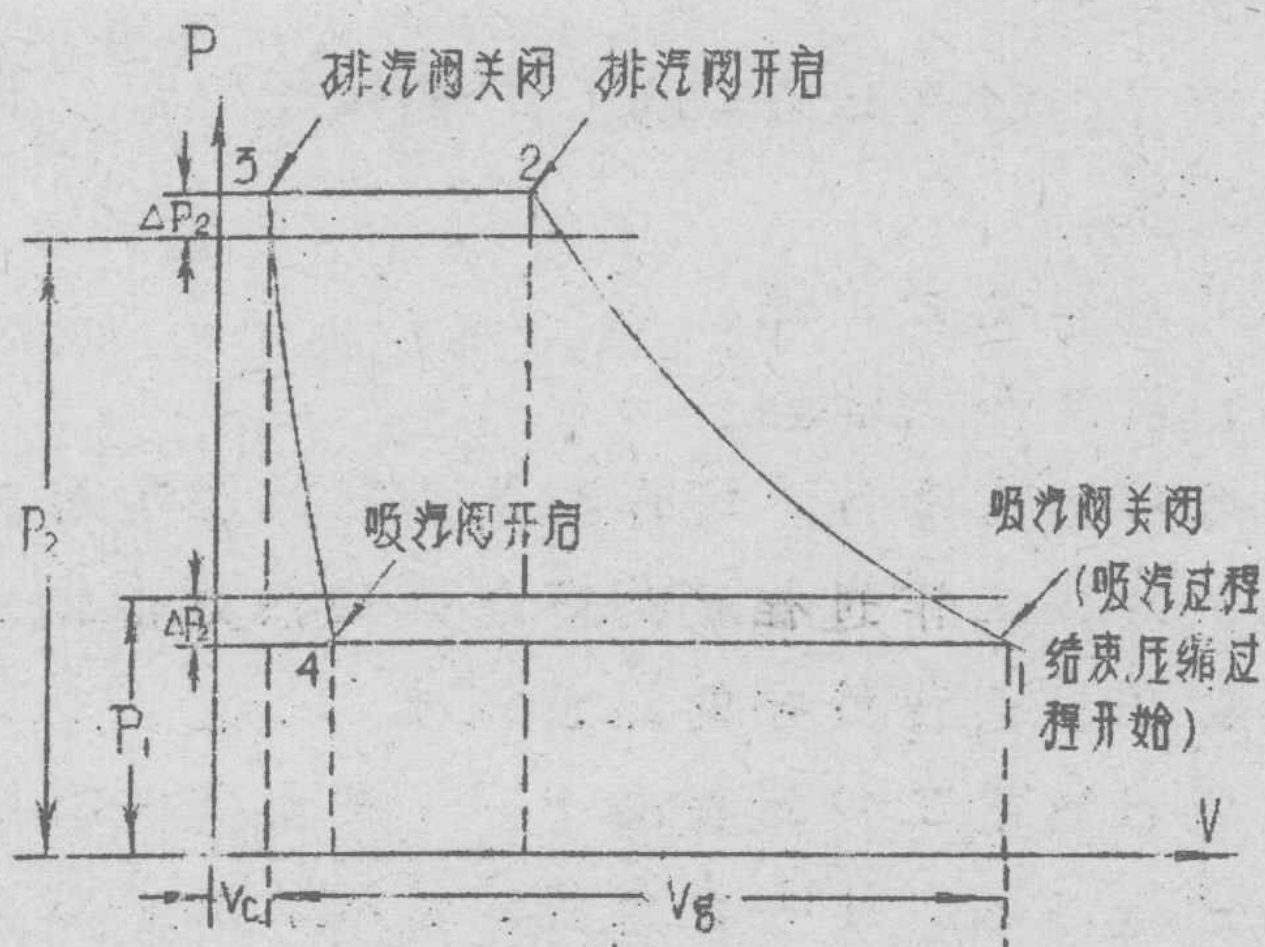
图1-1表示了一台单气缸压缩机的结构简图。曲轴被电动机带动而旋转。曲轴的曲柄销和连杆大头连接。当曲柄旋转时,活塞就在气缸里作直线往复运动。在气缸顶部的周围安装着吸汽阀,阀片被上面的汽阀弹簧压住。在气缸顶部装有排汽阀,阀片上面同样被汽阀弹簧压住。吸汽阀和排汽阀控制着气缸中气体的吸入和排出。

活塞由气缸上部向下移动时,由于吸、排汽阀处于关闭状态,气缸内气体压力下降。当气体压力降到比吸汽管的压力低一个 ΔP_1 值时,吸汽阀开启,低压气体由吸气管通过吸汽阀进入气缸,直至活塞移动到最下部位位置(叫做“下至点”)时结束。这一过程称为吸汽过程,在图1-1(b)上用吸汽线4-1表示。

活塞由下至点向上移动时,吸汽阀关闭,气缸内气体受到压缩,压力升高,至压力升高到比排气管的压力高一个 ΔP_2 值时为止。气体由图中的1点状态压缩到2点状态。这一过程称为压缩过程,在P-V



(a)



(b)

图 1-1 单汽缸压缩机的结构图 (a) 及 P-V 图 (b)

图上用压缩线 1—2 表示。

活塞继续向上移动，排汽阀开启，汽缸内的汽体通过排汽阀流出，进入排气管。活塞到达最高位置（叫做“上至点”）时，排汽结束。这一过程称为排汽过程。图中用排汽线 2—3 表示。

由于构造上的原因，使活塞在上至点位置时，汽缸内的汽体不能完全排尽。这时，这部分汽体所占据的汽缸容积，称为余隙容积。在 $P-V$ 图上用 V_c 表示。

当活塞由上至点开始向下移动时，排汽阀关闭，残剩于余隙容积内的汽体开始膨胀，压力降低，直至压力下降到比吸气管压力低一个 ΔP_1 值时为止。这一过程称为膨胀过程。用膨胀线 3—4 表示。

活塞继续向下移动，吸汽阀重新开启，开始第二个吸汽过程。从此周而复始，汽体不断地从吸气管中送到排气管中去。

从上面所分析的动作使我们知道，压缩机的吸汽阀和排汽阀是依靠阀片前后汽流的压差而自动开启的。因此，汽缸内气体的吸汽压力和排汽压力是由吸气管和排气管的压力所决定的。

三、理想工作过程：

为了便于分析，我们把实际工作过程简化成理想过程。压缩机理想过程应该满足下列几个条件：

- (1) 压缩机没有余隙容积。
- (2) 吸汽和排汽过程中，没有压力损失；汽体与吸汽腔、汽阀、汽缸壁等部件不发生热交换。
- (3) 压缩过程中的压缩指数为定值。
- (4) 汽缸与活塞间没有工质的泄漏。
- (5) 运动机构在工作时没有摩擦，即压缩机没有摩擦功消耗。

作了这些简化之后，理想工作过程就具有最高的热力指标。我们可以用它作为评价实际工作过程好坏的比较标准。

图 1—2 表示了压缩机理想工作过程的 $P-V$ 图及 $T-S$ 图。在 $P-V$ 图上，4—1 为吸汽过程，1—2 为压缩过程，2—3 为排汽过程。这三个过程即构成了压缩机的理想工作过程。

在 $T-S$ 图上，吸汽过程中由于压力、温度、比容都不变，因此

吸汽过程重合成一点。同样，排汽过程也重合成一点。压缩过程就是 1—2 点的连线。

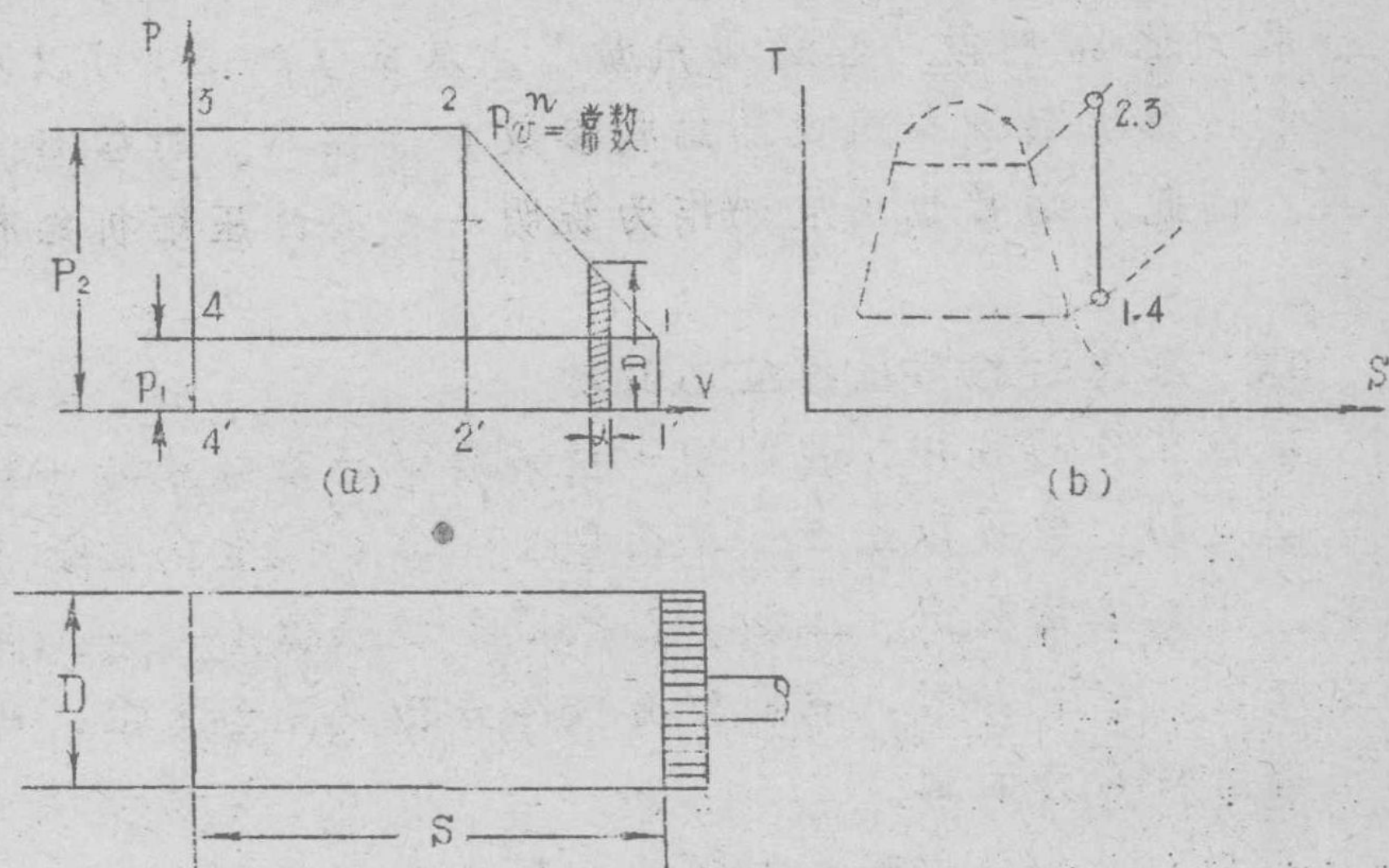


图 1-2 压缩机理想工作过程的 P—V 图 (a) 及 T—S 图 (b)

下面我们来分析理想工作过程的二个指标：

(1) 理想工作过程时压缩机的输汽量。

压缩机在单位时间内排入排汽管里的汽体，换算到吸汽管状态下的容积，称为压缩机的容积输汽量。简称输汽量。

理想工作过程中没有工质的泄漏，因此，输汽量和吸汽量相同。

理想工作过程中，压缩机一个汽缸在一转中的吸汽量，等于活塞移动一个行程所扫过的汽缸容积，这个容积叫做“汽缸工作容积”。

$$V_g = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S [\text{米}^3] \quad (1-1)$$

式中 D 代表汽缸直径单位用〔米〕，S 代表活塞行程（活塞由上至点移动到下至点的距离）。单位用〔米〕。

若压缩机有 Z 个汽缸，转速为 n （转/分），那么在一小时中压缩机的输汽量（等于吸汽量）可以表示成：

$$V_h = V_h \cdot n \cdot Z 60 = 15 \pi D^2 \cdot S \cdot n \cdot Z \quad [\text{米}^3/\text{时}] \quad (1-2)$$

我们把 V_h 叫做“理论输汽量”。从式 (1-2) 可以看出， V_h 的数值仅和压缩机转速及汽缸的结构参数（缸径 D 、行程 S 、汽缸数 Z ）有关。因此，通常也用它来作为说明一台实际压缩机结构性能的一个指标。

(2) 理想过程时压缩机的耗功：

理想工作过程中，我们用 $L_{理}$ 来表示曲轴每旋转一转中消耗于压缩机中的功。它可以用 $P-V$ 图中 1—2 (a) 上的面积 1—2—3—4—1 表示。 $L_{理}$ 是由吸汽、压缩、排汽三个过程功（ $L_{吸}$ 、 $L_{压}$ 、 $L_{排}$ ）所组成的。在计算时，我们把对汽体做功定义为正值，而把由汽体中得到的功定义为负值。

$$L_{理} = L_{吸} + L_{压} + L_{排}$$

从热力学中知道，吸汽的过程功 $L_{吸}$ 是

$$L_{吸} = -P_1 \cdot V_1 \quad (1-3)$$

在图 1-2 (a) 上相当于面积 4—1—1'—4'—4。

排汽过程功是

$$L_{排} = P_2 \cdot V_2 \quad (1-4)$$

在图 1-2 (a) 上相当于面积 2—3—4'—2'—2。

压缩过程功是

$$L_{压} = \int_1^2 -P dV = -\int_1^2 P dV \quad (1-5)$$

在图 1-2 (a) 上相当于面积 1'—1—2—2'—1'。

因此，压缩机在完成一个工作过程中，活塞对汽体所作的功 $L_{理}$ 就等于

$$\begin{aligned} L_{理} &= L_{吸} + L_{压} + L_{排} \\ &= -P_1 V_1 - \int_1^2 P dV + P_2 V_2 \quad [\text{公斤} \cdot \text{米}] \end{aligned} \quad (1-6)$$

若以图 1-2 (a) 上的面积表示，就等于

$$\begin{aligned}
L_{\text{理}} &= L_{\text{吸}} + L_{\text{压}} + L_{\text{排}} \\
&= -(4-1-1'-4'-4) + (1'-1-2-2'-1') \\
&\quad + (2-3-4'-2'-2) \\
&= (1-2-3-4-1)
\end{aligned}$$

面积 (1-2-3-4-1) 若以数学式表示, 可写成

$$L_{\text{理}} = \int_1^2 V dP \quad (1-7)$$

在热力学中已经知道, 当压缩过程为绝热时 (即压缩指数 $n = K$) $\int_1^2 V dP$ 折算到每一公斤被压缩汽体上的数值就等于 $(i_2 - i_1)/A$ 。

(i_2 和 i_1 的状态表示在图 1-2(b) 上。) 即:

$$l_{\text{理}} = (i_2 - i_1)/A \text{ [公斤} \cdot \text{米/公斤]} \quad (1-8)$$

式中

$l_{\text{理}}$ ——按理想绝热过程时, 每压缩一公斤汽体压缩机所消耗的功 [公斤·米/公斤];

i_2 ——绝热压缩始了时汽体的焓值 [大卡/公斤];

i_1 ——绝热压缩初始状态的汽体焓值 [大卡/公斤];

A ——功热当量, 等于 427 [公斤·米/大卡]。

压缩机所消耗的功率就等于

$$N_{\text{理}} = \frac{(i_2 - i_1) V_h}{860 v_1} \text{ [瓩]} \quad (1-9)$$

式中 v_1 为吸汽状态时的比容, V_h/v_1 表示压缩机以重量做单位的输汽量 [公斤/时]。860 是 [大卡] 和 [瓩] 的单位换算。

三、实际工作过程

压缩机的实际工作过程和理想工作过程有很大的不同。许多实际因素使过程变得复杂。目前我们对它的认识还不很完善。但是只要我們不断去实践, 任何事物总是能够被我们认识的, 我们一定可以更完整的总结出它的内在规律, 从而促进生产和技术的进一步发展。

让我们先利用示功图和 T—S 图对实际过程作一些定性的分析, 至于定量的关系将在后二节里叙述。

示功图是利用一种专门仪器（叫示功器）测量和记录下来的图形。图形的曲线代表实际工作过程中汽缸内的汽体压力随活塞移动而变化的关系。由于活塞位移和汽体变化的容积是成比例的，因此示功图的形状代表了汽缸中汽体的压力和容积的变化关系。当把横座标折算到容积后，图形的面积就代表了一个汽缸在一转中所消耗于汽体里的功。

图 1—3 表示了压缩机的示功图。从图中可以看出，实际工作过程是由吸汽线 $a'-1'$ ，压缩线 $1'-b'$ ，排汽线 $b'-3'$ 和膨胀线 $3'-a'$ 所组成。吸汽时汽缸内的压力低于吸汽管中的压力 P_1 ，排汽时汽缸内的压力高于排汽管中的压力 P_2 。压缩过程和膨胀过程与理想的绝热过程偏离。

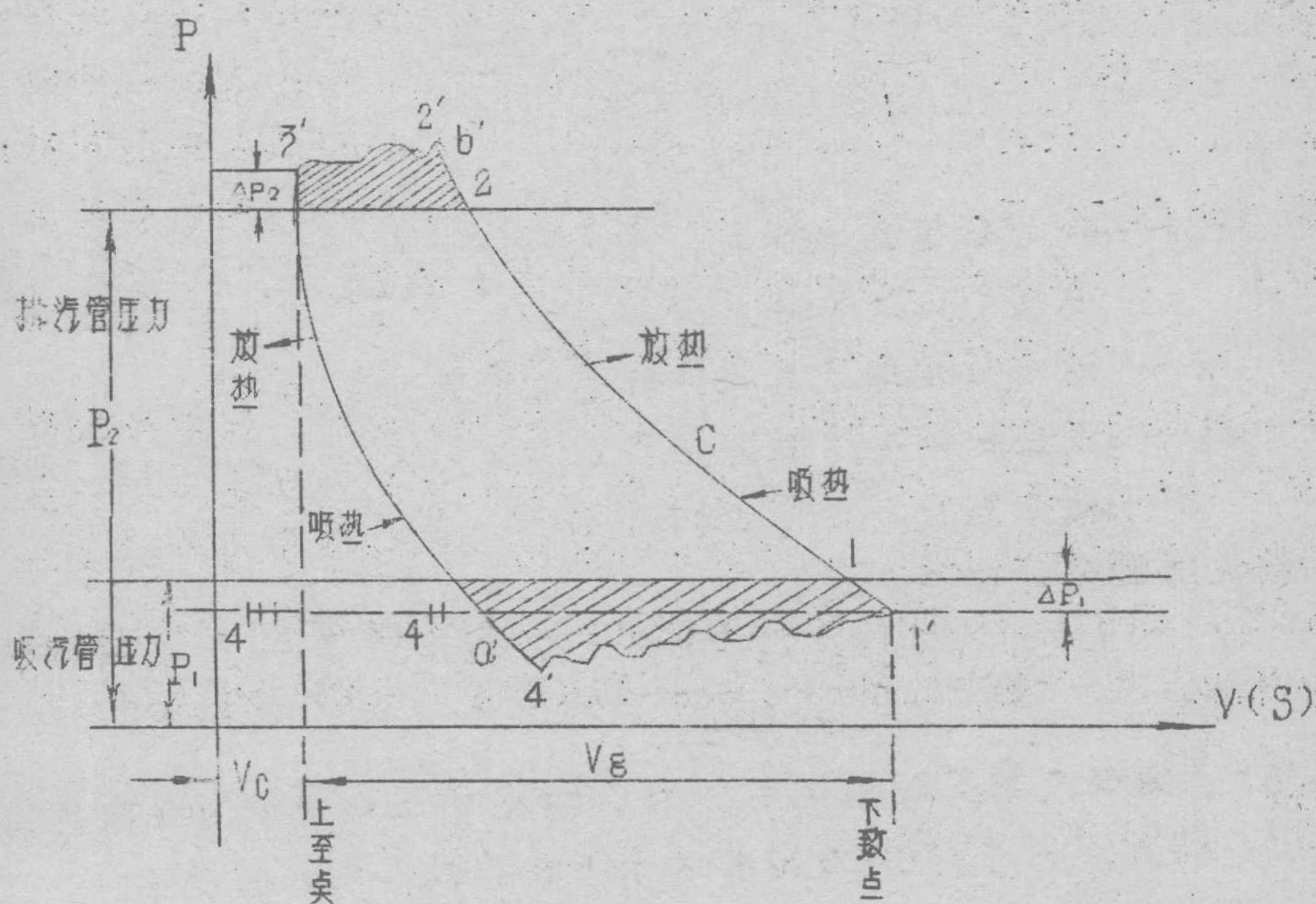


图 1—3 压缩机的示功图

下面我们对影响实际过程变化的主要因素加以分析：

(1) 吸汽过程和排汽过程的压力损失和热交换

由图 1—3 可以看出，吸汽线 $a'-1'$ 处在吸汽管压力线的下面，排汽线 $b'-3'$ 位于排汽管压力线的上面。吸汽、排汽过程有压力损

失的原因，是由于汽体从吸汽管流进汽缸或从汽缸流到排汽管的过程中，要克服汽阀的弹簧力、阀片的运动惯性力和汽体流过通道及阀隙时的流动阻力。压力损失的大小在过程中是变化的。当阀片刚开始脱离阀座时，阀隙面积很小，这时就有较大的压力损失，如图中 $a'-4'$ ， $b'-2'$ 这二段。在整个汽阀开启的阶段，由于阀片升起后的跳动，和活塞移动速度的变化，也使压力损失变化。当吸、排汽接近结束，由于活塞移动速度已接近于零，汽流速度也相应的减小，因此压力损失也降低到最小。

与理想工作过程相比，实际过程由于吸、排汽压力损失而使耗功增加。图中两块剖面线面积代表实际过程多消耗的功。

压力损失还影响到压缩机的输汽量。与理想过程相比，实际过程吸汽结束时汽缸内的汽体压力减小，比容 v_1' 增大。因此压缩机的实际吸汽量减小。吸汽过程中汽体受到吸汽腔、吸汽阀和汽缸壁的加热，同样也使比容 v_1' 增大，吸汽量减小。吸汽过程中的加热还将引起压缩功的增加。这一问题在《制冷原理》中已作了分析。

(2) 压缩、膨胀过程中汽体和汽缸的热交换

在实际过程中，压缩过程和膨胀过程不是绝热过程。汽体与汽缸壁发生着复杂的热交换。热量的传递在每一瞬间和汽缸壁上的每一点都各不相同。从宏观的角度看，可以认为汽缸的热情性（热容量）较大，在过程中它的温度近似不变。而汽体的温度却随汽缸内的压力和容积的变化而周期改变。图 1—4 画出了汽体温度变化的示意图。同

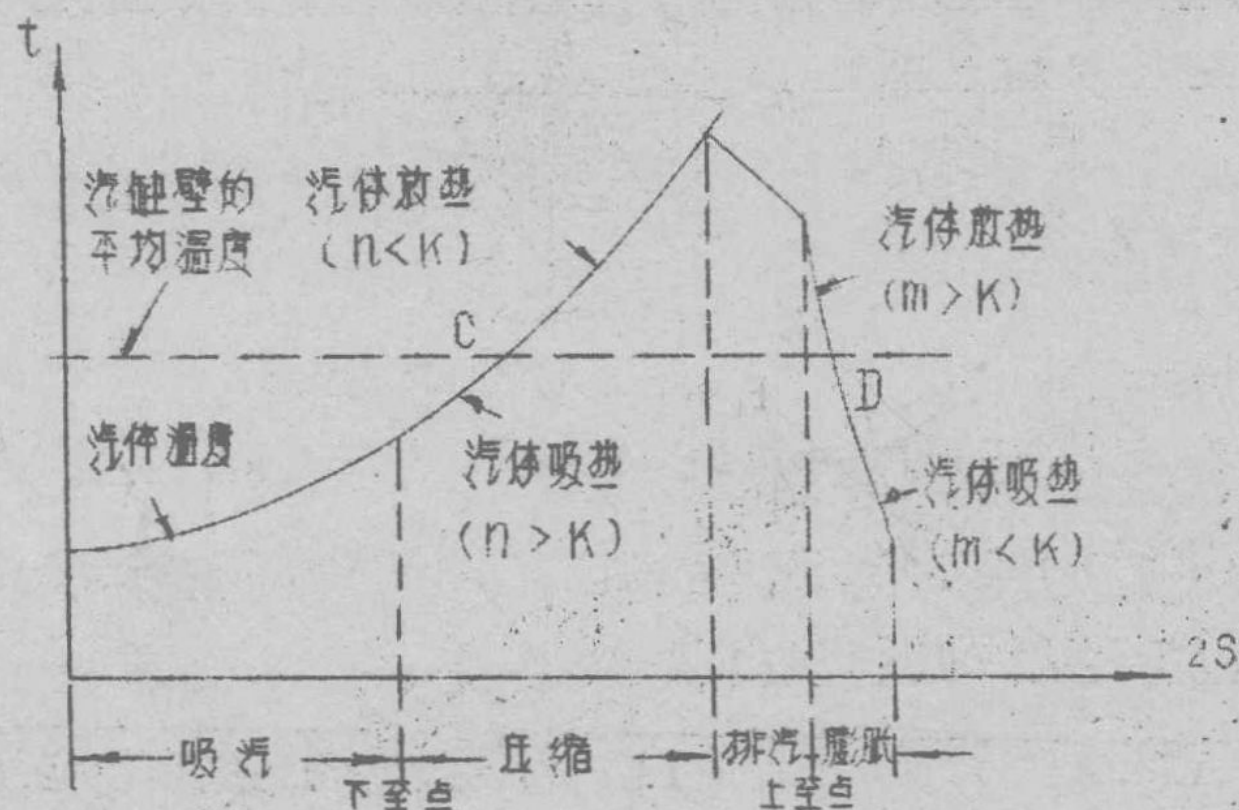


图 1—4 实际工作过程时，汽体和汽缸壁同温差变化的示意图

时也画出了汽缸壁的平均温度。在吸汽过程中，汽体受到汽缸壁的加热，但它的温度仍比汽缸壁的平均温度要低。压缩过程开始的阶段，汽体的温度比汽缸壁的温度低，热量由汽缸壁传给汽体。因此，多变压缩指数 $n > K$ 。压缩过程继续进行，汽体温度不断升高。当汽体温度升高到与汽缸壁温度相等时，这一瞬间汽体和汽缸壁之间不发生热交换。多变压缩指数 $n = K$ 。如图中的 C 点所示。之后，汽体继续受压缩。温度高于汽缸壁的平均温度。汽体向汽缸壁放热。 $n < K$ 。

膨胀过程的情况也一样。在膨胀初始阶段，汽体向汽缸壁放热，多变膨胀指数 $m > K$ 。汽体继续膨胀时，温度降低。当汽体的温度降低到和汽缸壁的温度相同时，二者没有热交换。 $m = K$ 。在图中以 D 点表示。之后，汽体的温度低于汽缸壁的温度，汽缸壁向汽体放热。 $m < K$ 。

如果我们用 $T-S$ 图来分析实际的压缩过程和膨胀过程，多变指数的变化情况就更为明显。图 1—5 表示了 $T-S$ 图上压缩过程和膨胀过程的变化情况。1' 点表示压缩开始的状态，2' 点表示排汽开始的状态。1'—2' 为压缩过程线。3' 为排汽结束、余隙面内汽体开始膨胀的状态，4' 点代表膨胀终了的状态。3'—4' 为膨胀过程线。

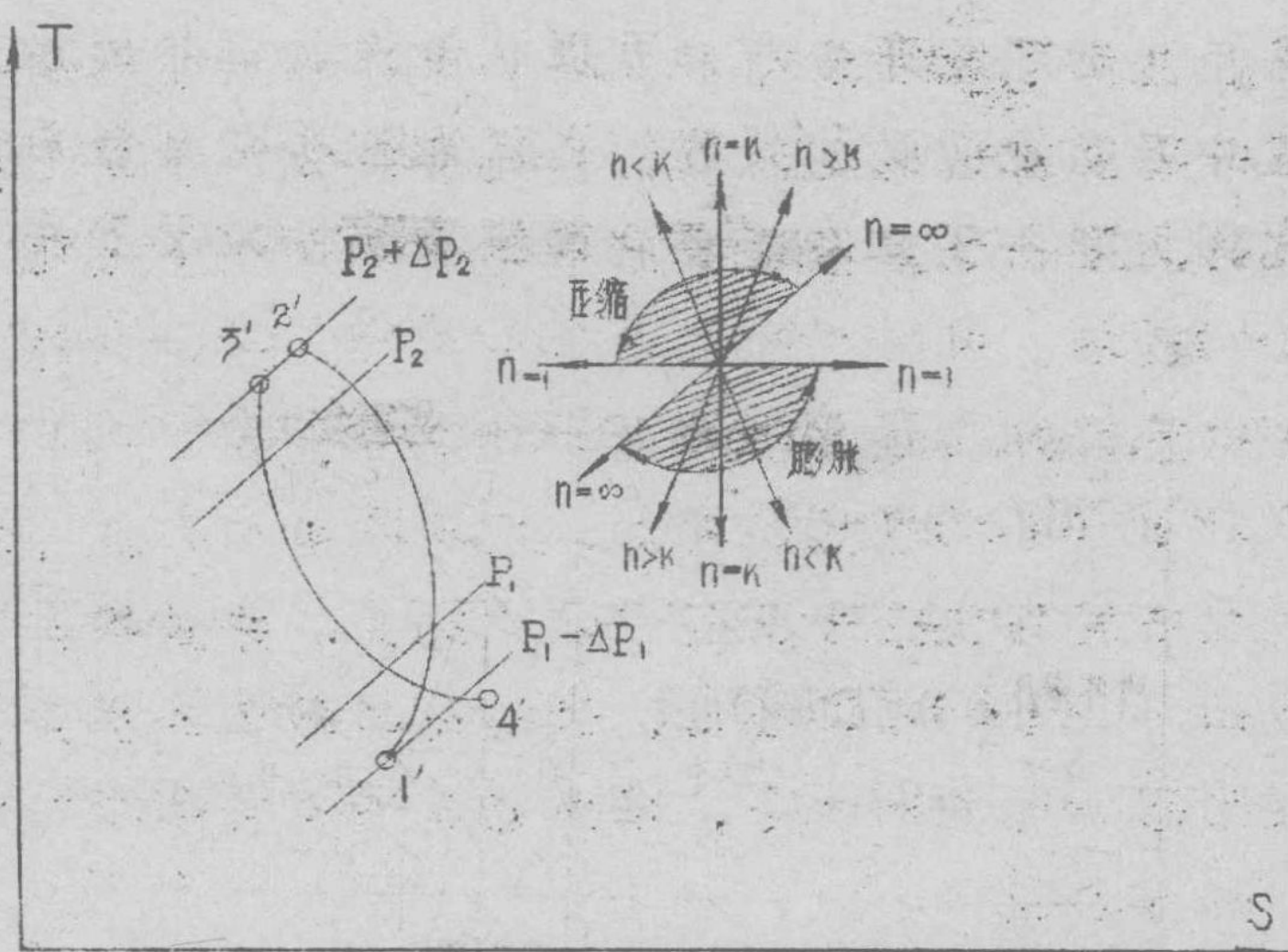


图 1—5 压缩过程和膨胀过程在 $T-S$ 图上的表示

从热力学中我们知道过程线的倾斜度代表着过程指数的变化，变化的情况表示在图右上角上。我们把它和过程曲线对照起来，就可以看出压缩过程先是 $n > K$ （吸热），后是 $n < K$ （放热）。膨胀过程先是 $m > K$ （放热），后是 $m < K$ （吸热）。

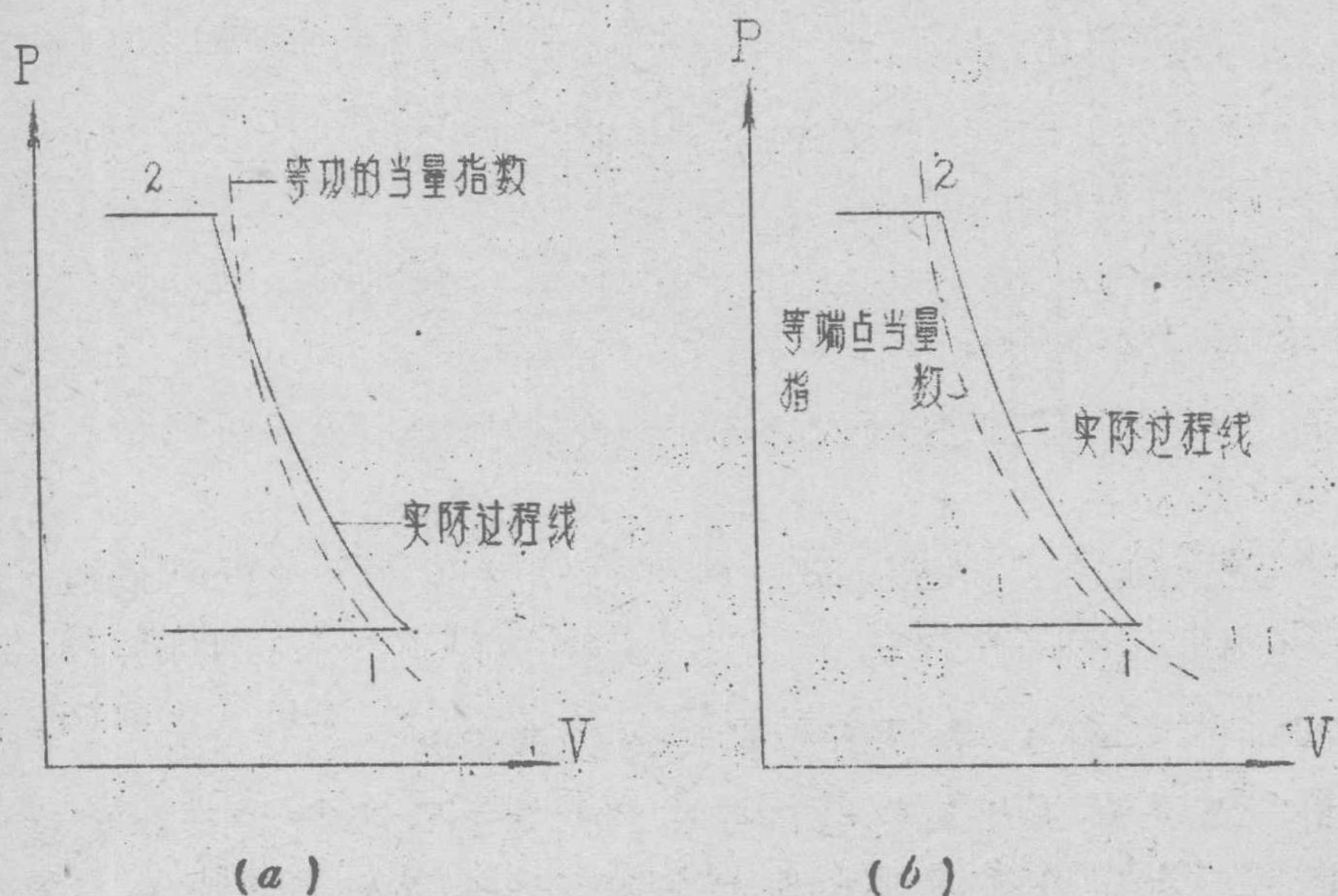


图 1-6 当量多变指数

在实用上为了便于分析和计算，常常用一个数值不变的指数，去代替过程中数值变化的实际指数。代替的方法有二种：一种是按照功相等的原则，用一个定指数去代替原来随过程变化而变化的指数。如图 1-6(a) 所示。叫做“等功当量指数”。另一种是按照过程初始点和终止点状态相同的原则去确定一个定值指数，叫做“等端点当量指数”。从图 1-6(a) 明显的看出，从状态 1 开始按等功的当量指数变化时，过程中间的状态是偏离实际状态的，并且终点也偏离实际的状态点。从图 1-6(b) 可以看出，过程按等端点的当量指数变化时，过程的中间状态偏离实际状态，但终点状态和实际状态相同。

(3) 余隙容积

活塞式压缩机的余隙容积是由下列几部分所组成：

1. 活塞到达上至点时，其顶面和汽缸顶面间的容积。

2. 阀片到汽缸容积之间的通道容积。
3. 第一道活塞环以上的环形间隙容积。（见图 1—7 所示）

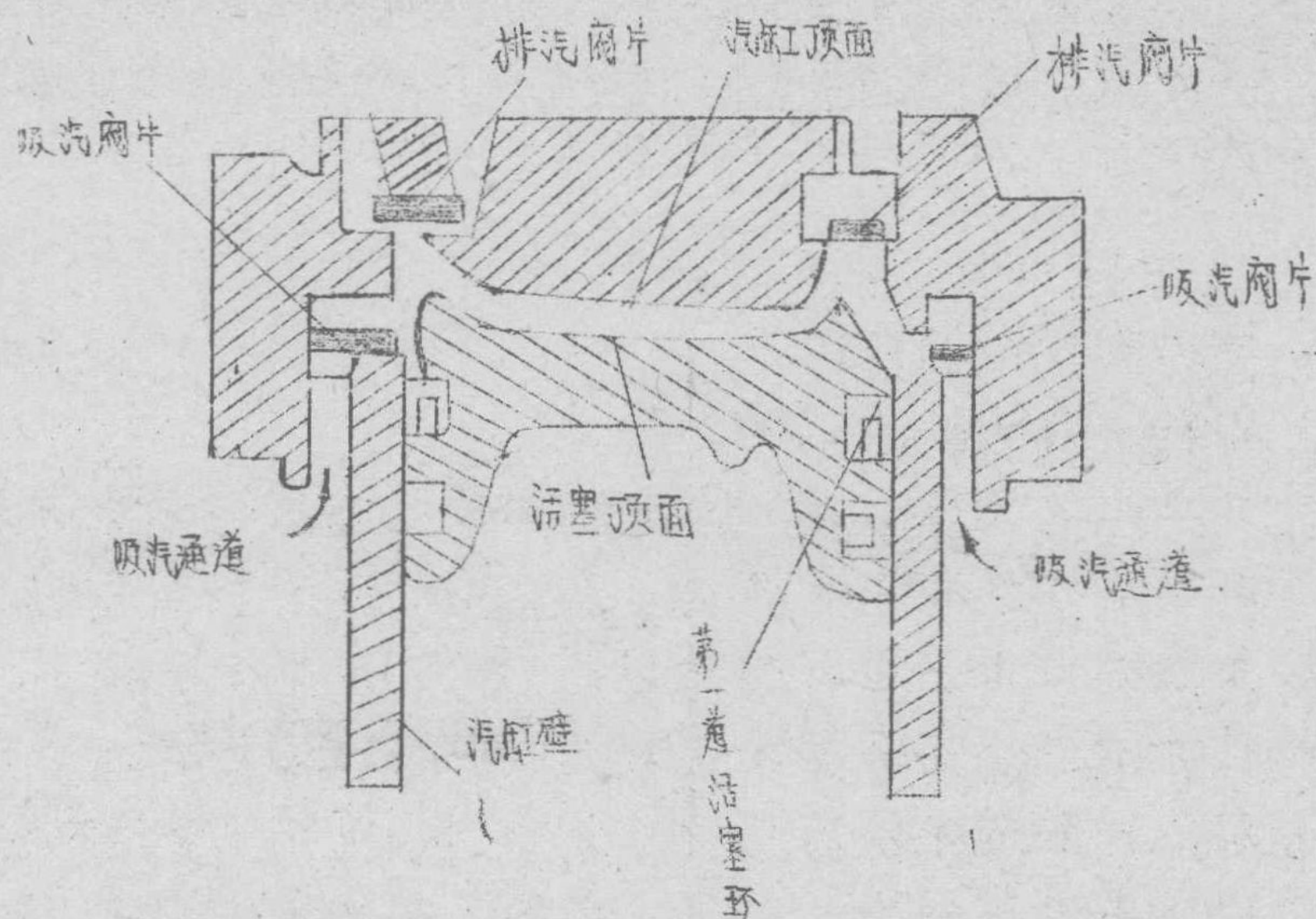


图 1—7 余隙容积的组成部分

余隙容积在实际压缩机中必然存在，这是由于结构设计和制造、运转条件所限定的。余隙容积的存在对实际工作过程是不利的，因为当排汽过程结束时，汽缸不能立即吸汽，而必须先有一个余隙容积内汽体的膨胀过程。由图 1—3 可以看出，实际压缩机在吸汽终了时，汽缸内的压力为 $(P_1 - \Delta P_1)$ 。汽缸的余隙容积为 V_c ，余隙容积内的汽体按 $3'-4'$ 过程膨胀到这个压力时的容积相当于 $4''-4'$ 线段。而汽体的吸入量只能是 $4''-4'$ 线段代表的容积。因此，余隙容积的存在，使实际压缩机的吸汽量减小，汽缸工作容积的利用程度降低。

余隙容积还影响到实际耗功的增大。因为在实际过程中，当量膨胀指数总是小于压缩指数。

(4) 泄漏

压缩机的泄漏经常发生在活塞环与汽缸间的不密封处，此外，也由于吸、排汽阀关闭不严或关闭滞后造成泄漏。不同的泄漏发生在过程的不同阶段。