

第 31 章 压缩机容积流量调节与调节设备

孙嗣莹

31.1 概述

31.1.1 调节必要性与要求

1. 必要性 压缩机在正常工作状态下的容积流量基本上是保持不变的,但是,用户对气体的耗用量却是随着工艺流程和耗气设备的工况而变化。当容积流量大于耗气量时,管网中气体压力就会升高,当容积流量小于耗气量时,管网中的压力又会降低,压力过高时还会导致破坏性事故。因此,管网中的压力波动必须控制在一定的范围内,这就需要对压缩机的容积流量进行调节。在制冷用压缩机中的容积流量调节也称为能量调节。

2. 对调节的要求 容积流量调节应尽量满足以

下要求:

- 1) 能实现容积流量的连续调节,使容积流量随时和耗气量相等。
 - 2) 调节系统力求简单、操作方便、工作可靠。
 - 3) 单位容积流量的功率不增加。
- 实际上,上述这些要求一般只能得到部分满足。

31.1.2 调节原理与调节方式

1. 容积流量调节原理 根据容积流量的理论计算式(见第 3 章式(3-27)和式(3-28))可知, $q_v = V \lambda_p \lambda_r \lambda_m$, 改变式中等式右边的任何一个参数,都可以改变容积流量 q_v 。

2. 容积流量调节方式 表 31-1 列出各种调节方式的特点及使用条件。

表 31-1 容积流量调节方式及特点

调节执行部位	序次	调节方式	使用条件	调节特性		
				间断	分级	连续
驱动机	1	单机停转	简单易行,适用于微型、小型压缩机,内燃机通过离合器驱动的压缩机,包括汽车空调用压缩机	✓		
	2	多机时分机停转	压缩机站及化工厂中多台压缩机时,使用此法比较方便		✓	
	3	无级变速	① 采用内燃机或汽轮机驱动时,可分别调速至 60% 与 25% ② 采用变频电动机驱动时,频率变化范围为 30~120Hz ③ 采用绕线式异步电动机驱动,增加转子电阻范围 100%~60%			✓
	4	分级变速	采用分级变速电动机驱动,改变定子电极对数,通常只能在 1~3 对极之间变化		✓	
气体管路	5	进气节流	大、中型压缩机的小范围调节(100%~80%),或偶而调节的场合			✓
	6	截断进气口	常用于单级往复或回转压缩机中,我国动力用二级空气压缩机也采用,它会使末级压力比很大	✓		
	7	进、排气管自由连通	主要用于起动释荷或很少调节时(排气管应设止回阀)	✓		
	8	进、排气管节流连通	可用于辅助性微量调节			✓
气阀	9	全行程压开进气阀	各级进气阀同时全部压开,可用于各种往复压缩机	✓		
	10	部分行程压开进气阀	用于第一级与末级或用于调节需控制某级间压力的后级,范围 100%~60%,调节装置较复杂			✓

(续)

调节执行部位	序次	调节方式	使用条件	调节特性		
				间断	分级	连续
气缸余隙	11	连通一个或多个固定补助余隙容积	多用于大型工艺用压缩机与空气压缩机	✓	✓	
	12	连通可变补助余隙容积	可用于大型工艺用压缩机, 调节范围 100% ~ 0%			✓
	13	部分行程连通补助余隙容积	用于大型压缩机, 调节范围 100% ~ 60% 调节装置较复杂	✓		✓
活塞	14	改变行程	用于电磁压缩机, 自由活塞压缩机、汽车空调中摆盘压缩机, 调节范围 100% ~ 0%			✓
综合调节	15	联合使用 10 与 11	大型多级压缩机第一级用部分行程压开进气阀, 末级用补助余隙容积	✓		✓
	16	联合使用 3 与 9 或 3 与 6	内燃机驱动时, 100% ~ 60% 负荷由内燃机改变转速, 60% ~ 0% 由压开进气阀或截断进气完成	✓		✓

31.2 作用于驱动器或驱动机构的调节

31.2.1 单机停转调节

一般用于功率小于 3kW 的压缩机。图 31-1 是微型压缩机单机停转调节系统示意图。依靠贮气罐 5 中气体压力的变化, 控制电动机 1 的开或停。当耗气量小于容积流量并使贮气罐内的气体压力超过额定值时, 压力继电器 6 动作, 将电路切断, 电动机停转, 压缩机停止供气; 此时, 用户消耗贮气罐内的气体, 并使罐内气体压力不断下降; 当压力下降到某给定值时, 压力继电器 6 的触头又闭合, 接通电路, 电动机带动压缩机重新工作。

因为电动机停开次数受到极限接入电网次数许用值的限制, 其电动机接入电网次数通常每小时不超过

8~10 次为宜。为此, 贮气罐的容积应保证电动机开停次数的要求, 其容积 V_r 按下式计算:

$$V_r = 60\sigma_0 (1 - \sigma_0) \frac{q_v p_i T_i}{\tau_{\max} \Delta p T_s} \quad (31-1)$$

式中, q_v 为压缩机容积流量 (m^3/min); $\tau_{\max}$ 为电动机极限接入电网次数的许用值 (次/h); p_i 为压缩机的进气压力 (Mpa); Δp 为储气罐内气体压力的变化差值 (Mpa); T_i 为储气罐内气体温度 (K); T_s 为压缩机的进气温度 (K); σ_0 为气体的相对耗用量 (m^3/min), $\sigma_0 = q_e/q_c$ (q_e 为耗气量)。当气体耗用量等于压缩机容积流量的一半时, 是最不利的情况, 其储气罐容积最大。

对于单台制冷用压缩机的开停控制, 是借助安放在蒸发器上的低压控制器或温控器。当冷量过剩及蒸发温度低于规定温度时, 在低压控制器或温控器的作用下, 使压缩机停转; 然后蒸发温度上升到规定值, 压缩机又起动。这种方式较适合于冷负荷变化不太剧烈的制冷装置。

31.2.2 多机的分机停转

在各类压缩机站及工艺流程用压缩机车间, 可能是多台压缩机并联运行。当耗气量小于容积流量时, 最简单的处理方法就是使某台压缩机或几台压缩机停止运转, 实现容积流量分级调节。通常这种调节方法是采用手动调节, 操作人员根据耗气量要求决定哪台压缩机停转。

在大型制冷装置中, 采用多台制冷压缩机联合运行时, 可采用自动调节方式, 使某几台或某台投入运行。首先按照各台机容量, 将能量划分为若干个等级, 基本能级的压缩机, 受冷房(或冷库)温度控制停

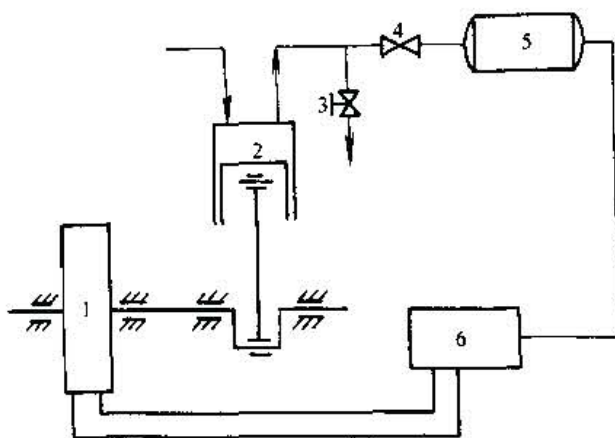


图 31-1 微型压缩机停转调节系统示意图

1—电动机 2—压缩机 3—放气阀
4—止回阀 5—贮气罐 6—压力继电器

或开,以后各能级所对应的压缩机的停或开由吸气压力(或蒸发温度)控制,根据能级的不同设定不同的吸气压力(或蒸发温度),各能级对应的压缩机自动停或开,使机组群的能量自动增减到指定能级上。

31.2.3 驱动机停转调节和离合器脱开调节

驱动机停转调节的缺点是起停频繁,电网波动大,故起停次数受到限制。

若采用离合器,可使压缩机与驱动机脱开,在需要进行调节时,离合器动作,使驱动机自动运转,压缩机因已脱离驱动机就不再工作。移动式空气压缩机常采用这种方式。缺点是结构上复杂些。

31.2.4 变转速调节

当驱动机的转速可以作分级的或连续的变化时,压缩机的容积流量就可以随转速的变化而变化,且压缩机本身的结构不会复杂化,对于多级压缩机,也不会因转速的变化使级间压力重新分配,所以可以实现容积流量的分级调节或连续调节。

变转速调节由驱动机来实现,可参阅第37章。

变转速调节可能会对压缩机的工作产生的下列不良影响:

- 1) 对气阀工作状况的影响。当转速较低时,气阀会产生颤振现象。转速调高时,气阀会产生延迟关闭。
- 2) 运动部件磨损增加,噪声、振动增加。
- 3) 有时还会使润滑油循环率增加,导致压缩机中的润滑油量不足。转速调低时,对飞溅润滑或离心泵油润滑的压缩机也会造成润滑不充分问题。

31.3 作用于气体管路的调节原理和调节机构

31.3.1 进气节流调节

在压缩机进气管路上安装节流阀,进气受到节流后,因克服节流阀阻力使进气压力 p_s 降低,故进气密度 ρ_s 下降,所以进入压缩机的质量流量减少;根据节流阀开启度的不同,质量流量减少的程度也不同,于是可实现容积流量的连续调节。

这种调节方法的最大特点是调节机构很简单,比较适合于大、中型压缩机不经常调节或调节范围较小的场合。因为对于单级压缩机,进气节流会导致单位功率消耗的增加,如图31-2所示,当进气压力由 p_{s1} 降至 p_{s2} 后,排气压力 p_d 不变,则功耗增加。另一方面,对于高压比率的压缩机,进气节流时压力比的继续增加,使排气温度达到不允许的程度,故而必须限制容积流量的调节范围,以控制压力比不至增加太多。对于多级压缩机,采用进气节流调节时,总是伴

随着总功率消耗降低,要比单级压缩经济,但是由于进气节流造成级间压力的重新分配,会使各列活塞力的均匀性改变;若正常容积流量时,末级压力比较高,采用进气节流时,会因末级压力比的升高导致排气温度增至不允许的程度。故建议对采用进气节流调节的多级压缩机,其末级压力比在正常容积流量时应该预先给予降低。

注意:对气体压缩机采用进气节流时,第一级会产生真空,有吸入空气的可能性,从而影响了被压缩气体工质的纯度。

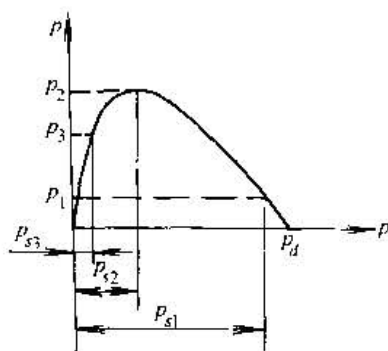


图 31-2 单级压缩时进气压力与功耗的关系

31.3.2 截断进气口调节

进气口被截断后,压缩机气缸中没有新鲜气体进入了,只是气缸余隙容积中的气体不断的膨胀和压缩。如图31-3实线构成的月牙形指示图所示,压缩机进入空转运行,此时消耗的功率(月牙形面积表示)仅是额定功率(虚线所围面积1234表示)的2%~3%,故这种调节方法具有较好的经济性,并属于间断调节,适用于中、小型压缩机,特别是动力用空气压缩机。

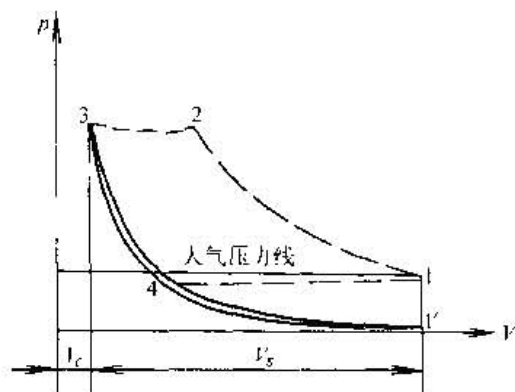


图 31-3 截断进气口调节时的指示图

需指出的是,此种调节不是立刻停止供气的,因为压缩机必须将截断进气的阀门与进气阀之间的气体吸出,供气是逐渐减少,随着进气压力的降低,容积

系数亦趋于减少,当容积系数为零时,供气才停止。为了缩短调节时间,应尽量减少截断进气口阀门与进

气阀之间的空间,阀门密封应当可靠。

这种调节方法也有不足之处。截断进气口后,进

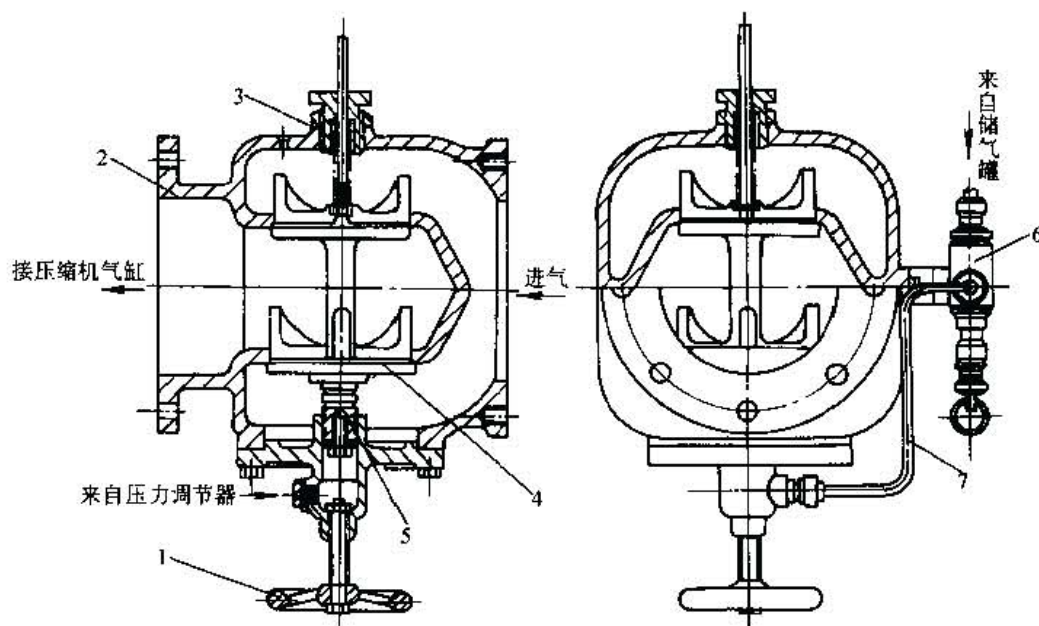


图 31-4 动力用空气压缩机的减荷阀

1—手轮 2—阀体 3—弹簧 4—阀心 5—小活塞 6—压力调节器 7—连接管

气压力不断降低,使压力比不断增加,造成短时间内排气温度升高;进气压力降低,还造成作用在活塞上的压力差增加,气体力增大,形成转矩的高峰,造成压缩机起动困难。因此,在大多数情况下,截断进气口调节与进、排气连通调节同时采用,以克服上述的不足。

截断进气用的阀门通常称为减荷阀。图 31-4 是最常见的一种减荷阀,用于动力用空气压缩机的起动释荷。压力调节器 6 与储气罐相通,储气罐内的压力超过额定值时,压力调节器内的阀门被顶开,压缩空气由连接管 7 引至阀心 4 下部的小活塞 5 上,将阀心 4 关闭,进气口被截断。储气罐内的压力降低后,弹簧 3 帮助阀心 2 重新开启。压缩机开始进气。用手轮 1 可以手动关闭进气口。

图 31-5 是截断进气时,使进、排气连通的减荷阀。储气罐内的压力超过额定值时,压缩空气进入活塞 3 的下部,将带有圆球的重锤 5 顶到一定高度,圆球 4 即向外滚动,小活塞 3 上的重量减轻,活塞继续上移,打开通向阀 2 上部的进气孔,此时,截断进气阀 2 关闭,连通阀 1 打开,将截断阀前的空气由阀 1 处放空,达到卸载起动的目的。

31.3.3 进气与排气连通调节

将进气管与排气管用旁通管路和旁通阀连通,使排出的气体返回进气管,实现容积流量调节。图 31-6

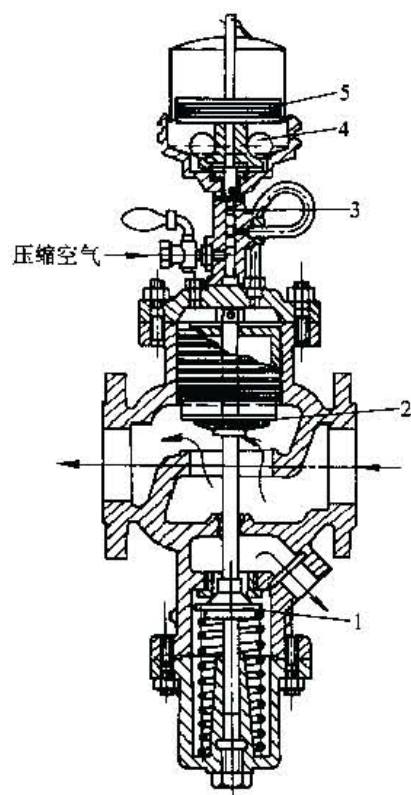


图 31-5 截断进气口时使进气与排气连通的减荷阀

1—连通阀 2—截断阀 3—小活塞
4—圆球 5—重锤

是几种典型的旁通管路配置方案。根据旁通阀门开

启程度的不同,可分为自由连通和节流连通两种方式。

1. 自由连通 旁通阀完全开启,气体回流到进气管路中,形成气缸与旁通管路间的封闭循环,没有气体输送给用户,压缩机进入空转运行,实现了容积流量的间歇性调节。图 31-6a 是用于空气压缩机中的自由连通调节方案。其特点是起动释荷较完善,紧急释荷也较迅速。对于一些易燃、易爆的气体,不宜直接排入大气时,不能采用此方案。

自由连通调节还可以和其他调节方式联合使用。如空气压缩机中,当截断进气口的同时,还必须在排气管上装有放空管路及放空阀,以使排气管的止回阀与末级气缸的排气阀之间的气体排出,确保起动顺利。在停转调节中,也应在排气管路上装有放空阀,以利于起动释荷。故自由连通调节是起动压缩机所必须的。

虽然自由连通调节容积流量是不经济的,但是操

作的可靠性比其他调节方法稳定,因此大型压缩机的操作者喜欢采用这种调节方式。

2. 节流连通 旁通阀部分开启,只使一部分高压气体流回进气管路,排气压力不变,但供气量减少,根据旁通阀开启程度的不同,实现容积流量的连续调节。图 31-6b 是大型多级压缩机常采用的方案,当 I 级旁通阀部分开启, I 级排出的气体一部分流回 I 级进气管,进入以后各级的气体减少,容积流量下降,同时也使各级压力比重新分配, I 级压力比下降,末级压力比增加,其余各级压力比不变。若各级旁通阀均开启,则实现压缩机的起动释荷。

图 31-6c 是末级排气与 I 级进气连通的方案,容积流量的降低可以在 100% ~ 0% 的区域内连续变化,各级压力比均可保持不变,保证了压缩机运转的均匀性。但是此方案极不经济,故可以用于起动释荷,或短期运转的调节,或作为辅助的微量调节用。

旁通管路的通流面积不应太小,应根据最大的调节量在临界速度时所应具有的面积计算,否则会使空载功率过高。各级旁通管路与正常输气管路之间应装有止回阀。节流连通的旁通管路应置于冷却器之后。

31.4 作用于气阀的调节原理和调节机构

采用压开进气阀调节容积流量时,是利用机械装置,在进气过程结束后,强制进气阀仍处于开启状态,在活塞反向运动时,气缸内的被吸入的气体,全部或部分又被推出气缸,达到降低容积流量的目的。根据进气阀被压开过程的长短,有全行程压开进气阀和部分行程压开进气阀两种调节方式。

31.4.1 全行程压开进气阀

调节时,调节机构使进气阀始终处于全开状态,气体可以自由地由进气阀进入和排出,压缩机进入空载运行,容积流量接近于零,实现容积流量的间断调节。调节时压缩机消耗的功,仅为气体进出排气阀时克服气阀阻力需要的功和空转

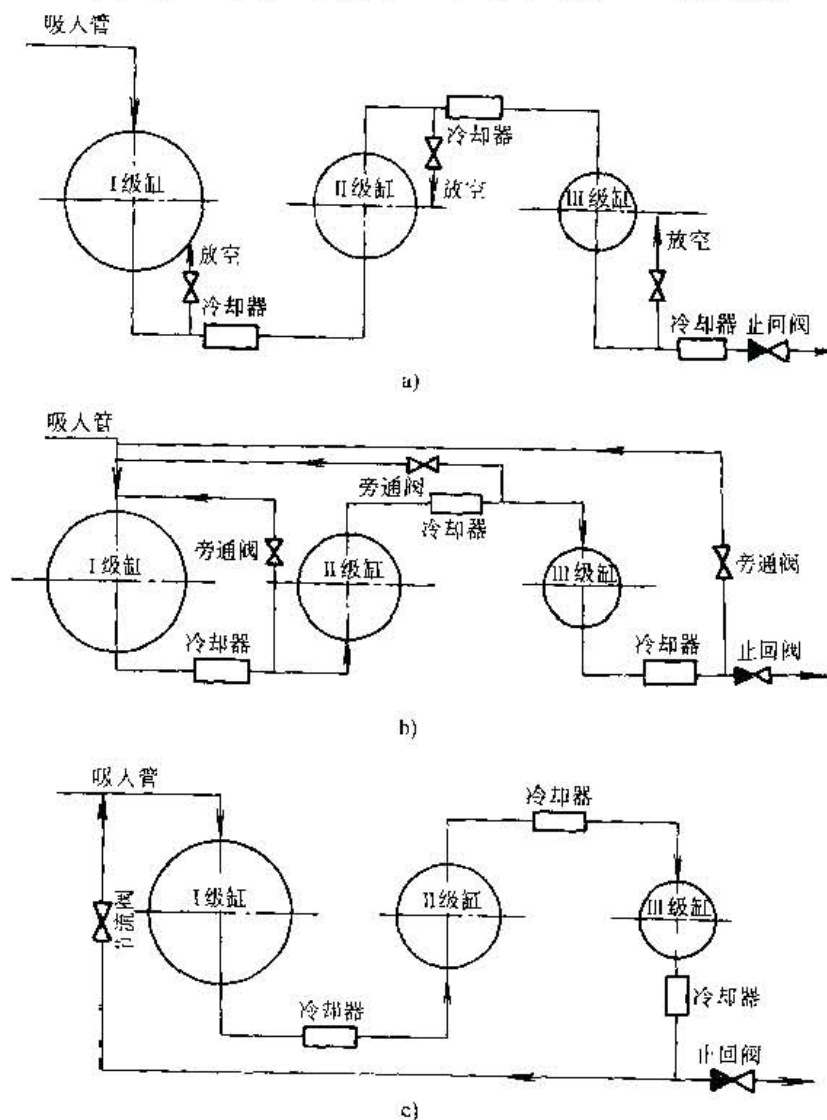


图 31-6 几种连通管路的配置方案

时的摩擦功。图 31-7 示出的曲线 1 所围阴影面积, 就代表全行程压开进气阀时的指示功。

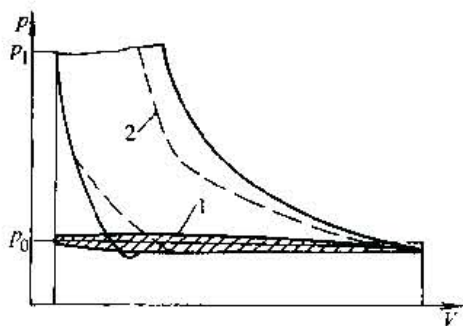


图 31-7 压开进气阀调节指示图

多级压缩机进行调节时, 各级进气阀均需全行程压开, 并由容积流量调节器来实现。

全行程压开进气阀的机构, 可以是手动也可以是气动(自动)。手动用于压缩机的起动释荷, 气动用于容积流量调节。图 31-8 示出压开进气阀的手动机构, 当转动手柄 6, 通过推杆 5、压套 4, 并由压叉 1 将阀片推向升程限制器, 进气阀处于完全开启状态。压叉 1 的复位依靠弹簧 2。

图 31-9 是压开进气阀的气动机构图。图 31-9a 为活塞驱动方式, 气源来自压缩机储气罐, 当罐内压力达到上限值, 罐内一部分气体经过滤后, 通过压力调节器进入进气阀盖 5, 推动小活塞 4, 使压叉 2 向下

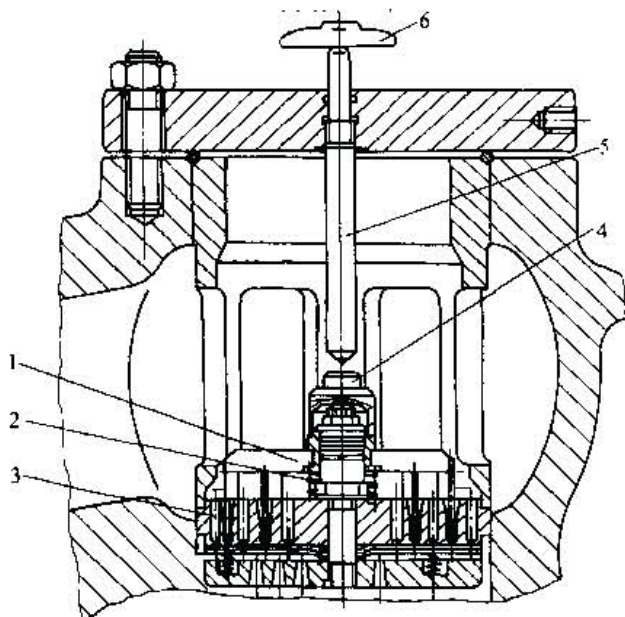


图 31-8 压开进气阀的手动机构

- 1—压叉 2—弹簧 3—阀座 4—压套
5—推杆 6—手轮

压开进气阀至升程限制器; 储气罐内压力下降, 活塞上部的气源放空, 压叉 2 依靠弹簧 3 复位, 阀片恢复到关闭位置。图 31-9b 为隔膜驱动方式。它装在气阀阀室的外面, 操作和维修方便, 现代压缩机大多放在外面。

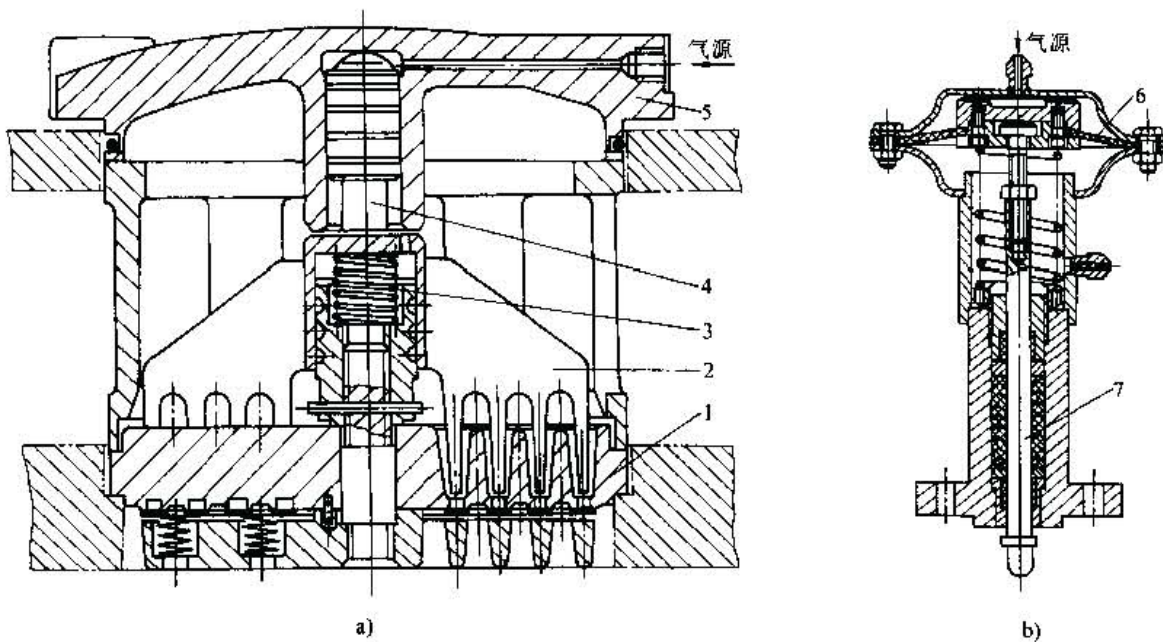


图 31-9 压开进气阀的气动机构

a) 活塞驱动式 b) 隔膜驱动式

- 1—阀座 2—压叉 3—弹簧 4—小活塞 5—阀盖 6—隔膜 7—顶杆

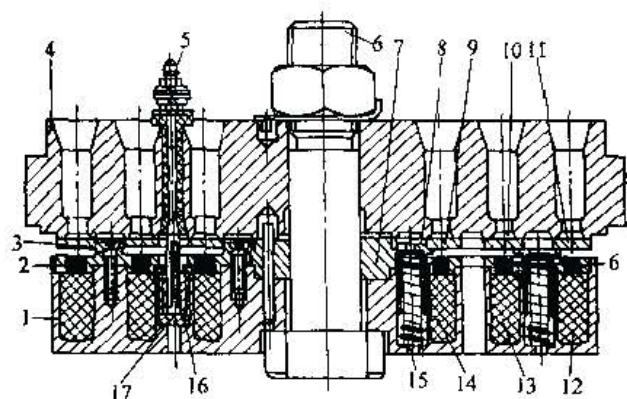


图 31-10 电动式压开进气阀结构

- 1—升程限制器 2—缓冲垫 3—螺栓 4—阀座 5—接线柱
6—气阀螺栓 7—调整垫 8—推杆 9、10、11—阀片
12、13、14—线圈 15—弹簧 16—黄铜杯 17—氟塑料套

图 31-10 所示为电动式压开进气阀结构。它是采用电磁线圈吸住阀片进行容积流量调节的进气阀。升程限制器 1 由有磁性的低碳钢制造。由绝缘铜导线绕成的线圈 12、13、14，布置在阀片下方的环形槽中，线圈彼此间逆向依次连接，导线的引线与黄铜杯 16 相连，氟塑料套 17 将黄铜杯与限制器绝缘隔开。正常工作时，阀片 10 依靠弹簧 15 通过推杆 8 被压在阀座 4 上，阀片也是由带有磁性的钢制造。需要容积流量调节时，经接线柱 5 通电，阀片被线圈吸向限制器，气缸内被吸入的气体未经压缩又被从进气阀排出，实现了容积流量调节。

图 31-11 是制冷压缩机中采用的顶开吸气阀机构，其中图 a 为气缸在正常工作时，顶杆 3 落到转动圈 5 斜面的底，不顶开吸气阀片。图 b 为气缸卸载

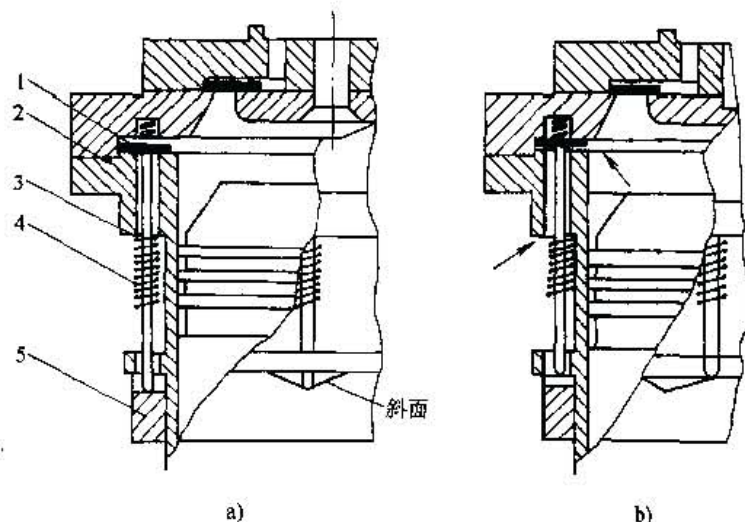
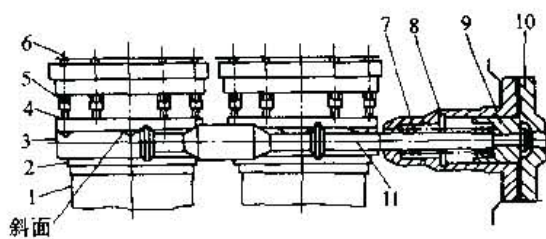


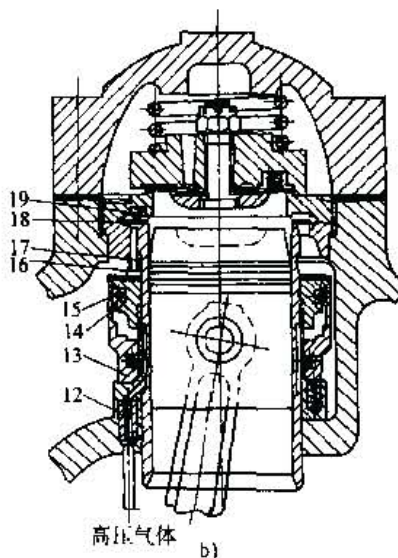
图 31-11 吸气阀片的顶开机构

a) 气缸工作 b) 气缸卸载

- 1—吸气阀片 2—气缸套 3—顶杆 4—顶杆弹簧 5—转动圈



a)



b) 高压气体

图 31-12 顶开吸气阀的驱动机构

a) 液压拉杆机构 b) 气动机构

- 1—气缸套 2—卡环 3—转动圈 4—顶杆 5—顶杆弹簧 6—吸气阀片 7—油活塞弹簧 8—液压缸 9—活塞 10—液压缸盖 11—拉杆 12—高压气体接管 13—气压缸 14—气动活塞 15—密封圈 16—顶杆弹簧 17—顶杆 18—吸气阀片 19—阀片弹簧

时，顶杆 3 沿转动圈斜面上升，使吸气阀片 1 保持常开位置。图 31-12 是顶开吸气阀的驱动机构，其中 a) 为缸-拉杆机构，转动圈 3 套在气缸套 1 上，在拉杆 11 的推动下，可绕气缸作一定角度的转动。转动圈上的六个斜面和顶杆 4 对应，转动圈正反方向的转动，可使顶杆沿斜面上下降，从而控制阀片 6 的顶开和关闭。转动圈的转动是依靠作用在活塞 9 上的油压控制拉杆 11 的左右移动实现的。图 31-12b 是气动顶开吸气阀机构，当气压缸 13 中接通高压气体后，气动活塞 14 在高压气体力作用下克服顶杆弹簧 16 的弹簧力向上运动，并使顶杆 17 推开吸气阀片 18，实现顶开吸气阀调节。

图 31-13 是采用电脑控制的压开吸气阀执行机构。电脑控制器 3 通过控制电磁阀 1

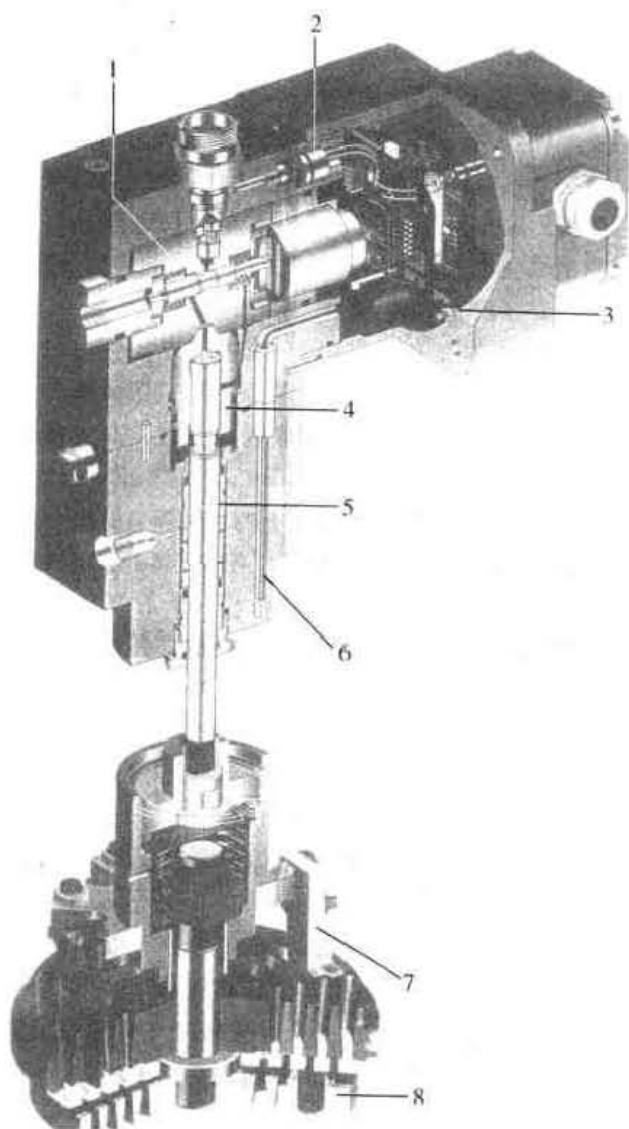


图 31-13 电脑控制的压开吸气阀执行机构
1—电磁阀 2—压力传感器 3—电脑控制器
4—液压缸活塞 5—密封室 6—温度传感器
7—卸荷器 8—进气阀

的启闭，决定了液压缸活塞4上面油压的高低，油压推动活塞，使卸荷器7压开吸气阀8的阀片。

31.4.2 部分行程压开进气阀

当气缸进气终了时，进气阀片被强制地保持在开启位置，压缩过程的部分行程中，气体从气缸中经被压开的进气阀流回进气管而不被压缩；待活塞运动到预定位置时，压开进气阀片的强制动作消失，进气阀片回落到阀座上，进气阀处于关闭状态，气缸内剩余的气体开始被压缩，达到额定排气压力后，从排气阀排出，容积流量减少。通过对进气阀关闭的早与迟的控制，达到容积流量连续调节的目的。

该种调节方法的功率消耗与容积流量的多少成正比，其指示图如图31-7曲线2所示，是一种经济性较

好的调节方法。多级压缩时，当各级都有容积流量调节机构，并且各级协调操作，可以使各级的级间压力不改变，且容积流量可以在100%~30%之间进行连续调节。容积流量低于30%时，只能在30%至0之间实现间断调节。

部分行程压开进气阀调节的控制机构，必须满足一定的要求，才能实现连续调节的目的，否则进气阀在全行程会一直处于开启状态，容积流量为零。从图31-14控制机构原理图可以看出，只有当调节弹簧力 F_r 小于和等于气阀弹簧力 F_s 与气流推力 F_g ($=\beta \Delta p A_t$) 时，阀片才能压向阀座而关闭，即

$$F_r \leq F_s + \frac{1}{2} \rho Q A_t \left(\frac{\pi w}{\alpha A_v} A_p \sin \theta \right)^2 \quad (31-2)$$

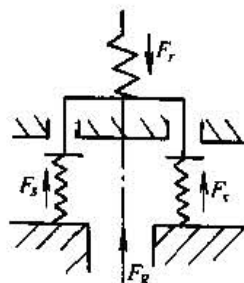


图 31-14 部分行程压开进气阀控制原理图

当曲柄转角 $\theta=90^\circ$ 时，气流推力达最大值 ($F_{g_{\max}} = \frac{1}{2} \rho Q A_t \frac{\pi w}{\alpha A_v} A_p$)，若此时 F_r 仍大于 F_s 与 $F_{g_{\max}}$ 之和，阀片将不可能关闭了，这就是全行程压开进气阀了。故调节容积流量的最小值是30%。

控制机构的弹簧力可以手动调节也可以气动调节。图31-15是手动调节的机构，旋转手轮1使丝杆2

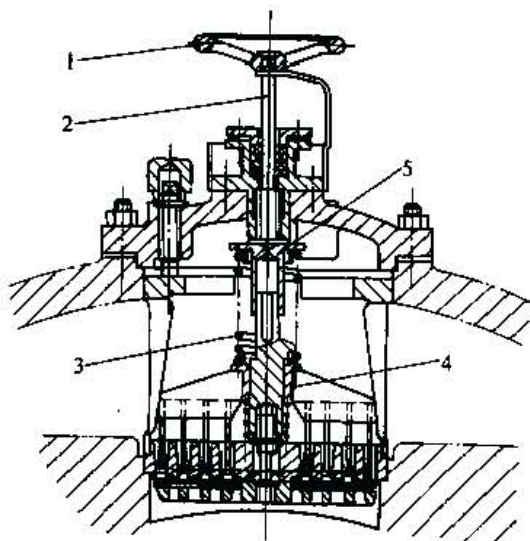


图 31-15 部分行程压开进气阀手动调节机构
1—手轮 2—丝杆 3—弹簧 4—压叉 5—弹簧座

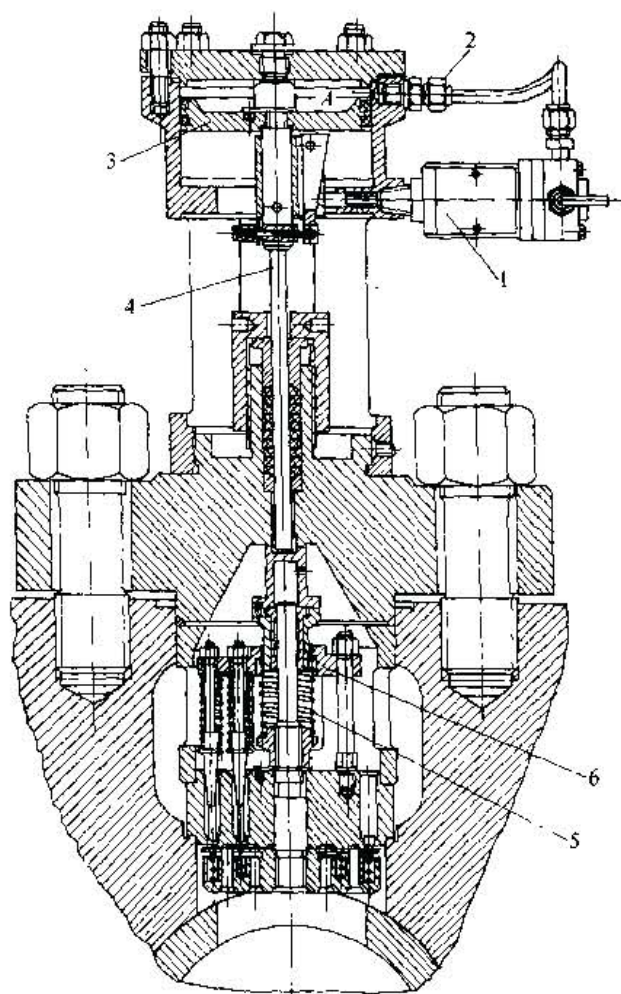


图 31-16 部分行程压开进气阀的气动调节机构

1—活塞式气动装置 2—接管 3—活塞 4—连接杆
5—弹簧 6—压叉组件

上下运动，从而调节弹簧 3 的弹簧力。

图 31-16 是气动控制机构，活塞气动装置 1 供给的高压气体，经接头 2 进入腔 A，推动活塞 3 及连接杆 4，使带有弹簧 5 的压叉组件 6 顶开进气阀片。弹簧 5 的弹簧力大小，取决于高压气体的压力，即弹簧力依靠气动装置中气体的压力来调节，装置中气体压力过高时，可能会造成弹簧力过大，而使阀片无法关闭。

31.5 连通辅助余隙容积调节容积流量

其工作原理是在调节时，使气缸工作腔与辅助余隙容积相通，故而增加了余隙容积，因而容积系数减少，容积流量降低。辅助余隙容积是安置在气缸外面的空腔。它的容积可以是不变的，也可以是变化的；空腔的个数可以是一个，也可以是多个；辅助余隙容积的连通时间可以是全行程连通，也可以是部分行程连通。这样就形成多种连

通辅助余隙容积调节的方式，实现间断、分级或连续调节。

31.5.1 连通固定辅助余隙容积

图 31-17 是连通固定辅助余隙容积的调节机构。正常工况下，高压气体经高压接头 1 进入腔 A，在高压气体压力的作用下，阀心 6 座落在辅助余隙容积腔 B 的密封面 C 上，压缩机气缸具有正常的余隙容积值；当需要容积流量调节时，高压气体不进入腔 A，阀心 6 在压缩气体的压力作用下被推向上方，使气缸工作腔与辅助余隙容积腔 B 相通，压缩机进入膨胀过程时，腔 B 中的气体参与膨胀返回气缸，造成容积流量减少。

图 31-18 是装在进气阀上的一种连通辅助余隙容积的调节机构。正常工况下，高压气体经接管 5 进入高压腔 4，气体压力作用在活塞 6 上的气体力 F_{gh} ，经连接杆 7 作用于连通阀心 8，使阀芯压紧在密封面 A 处，辅助余隙容积腔 3 不与气缸工作腔相通。容积流量需要调节时，将高压气体撤离高压腔，阀心 8 在弹簧 9 的弹簧力作用下，脱离密封面 A，进气阀上的中心孔与辅助余隙容积腔 3 相通，辅助余隙容积参与膨胀过程，使吸进的新鲜气体减少，实现容积流量调节。

根据辅助余隙容积的大小不同，可以实现容积流量为零的调节，以及某个定值的容积流量调节。图 31-19 是连通固定辅助余隙容积调节时的指示图，连通辅助余隙容积 V_0 后的指示图如实线所示，吸入容积由 V_s 减少到 V'_s ，吸入的气量减少了 ΔV 。

若连通多个具有不同大小的固定容积，则可实

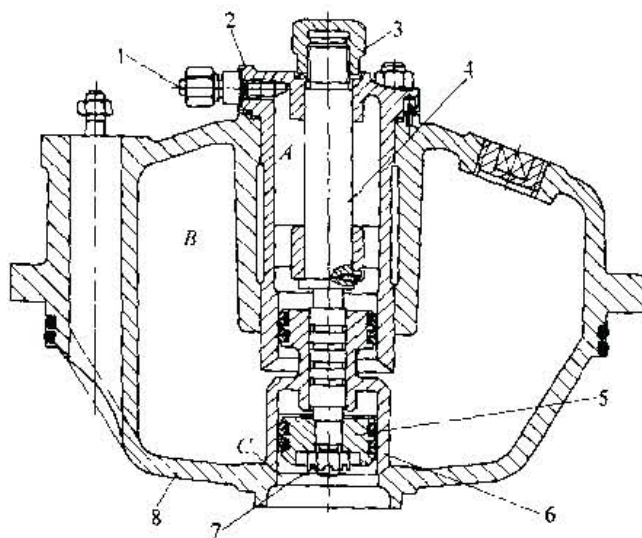


图 31-17 连通固定辅助余隙容积的调节机构

1—高压接头 2—高压腔 3—螺帽 4—连接杆
5—小活塞 6—阀心 7—螺母 8—辅助余隙容积

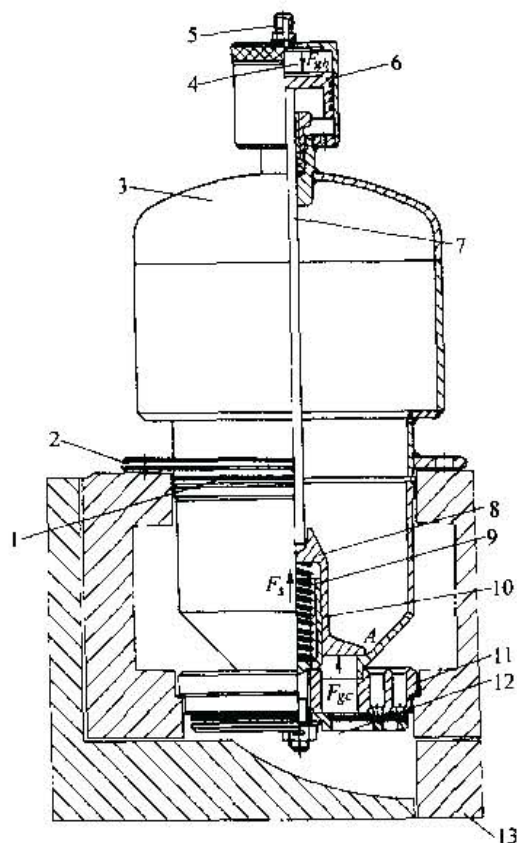


图 31-18 装在进气阀上的连通辅助余隙容积机构

- 1—密封圈 2—连接法兰 3—辅助余隙容积
4—高压腔 5—接管 6—活塞 7—连接杆
8—连通阀芯 9—弹簧 10—弹簧座
11—进气阀 12—阀螺栓 13—气缸

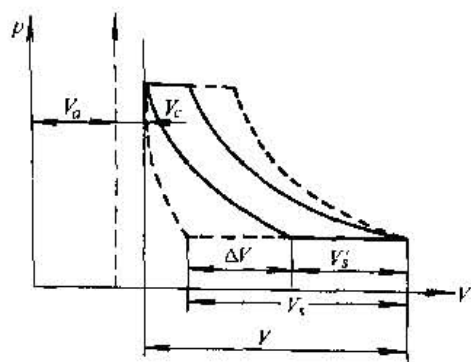


图 31-19 连通辅助余隙容积调节的指示图

现分级容积流量调节。

31.5.2 连通可变辅助余隙容积

图 31-20 是可变容积调节机构, 通过转动手轮 2, 使辅助余隙容积腔 A 中的活塞 4 位置发生变化, 改变接通的辅助余隙容积的大小, 实现连续调节。该种调节方法可靠性较差, 主要用于大型压缩机。

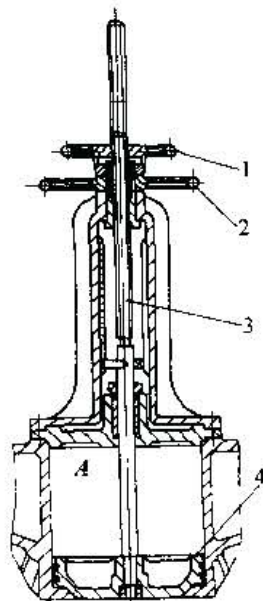


图 31-20 可变辅助余隙容积调节机构

- 1—微调手轮 2—调节手轮 3—丝杠 4—活塞

31.5.3 部分行程连通辅助余隙容积

为了实现容积流量的连续调节, 通常采用部分行程连通辅助余隙容积调节的方法, 即通过控制机构掌握连通阀的启闭时间, 达到用不变的辅助余隙腔获得容积流量的连续调节。

图 31-21 是实现这种调节的调节机构。由压力调节器 3 出来进入高压腔 A 中的气体, 推动活塞 4, 经连接杆 5 使压叉 2 将阀片 7 推向行程限制器, 气缸工作腔 C 与辅助余隙容积腔 B 相通, 进行输气量调节。当作用在阀片 7 上的气缸内压力, 足以克服弹簧 6 的

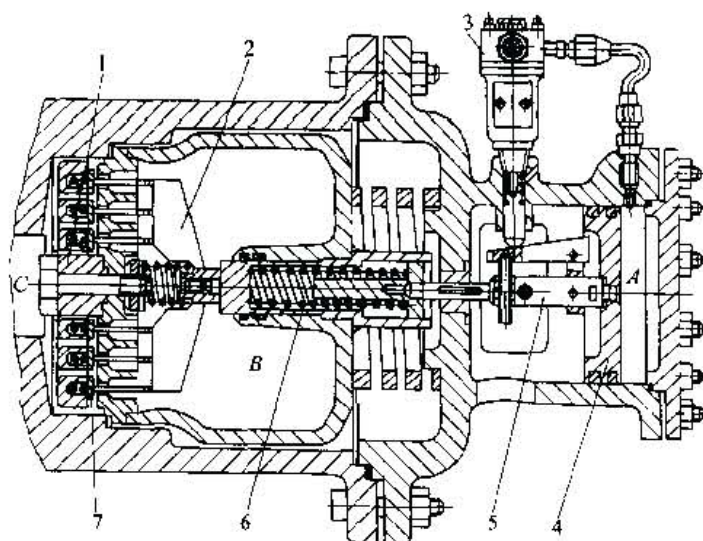


图 31-21 部分行程连通辅助余隙容积机构

- 1—气阀 2—压叉 3—压力调节器 4—活塞
5—连接杆 6—弹簧 7—阀片

弹簧力时, 阀片7关闭, 气缸工作腔与补助余隙容积隔绝, 压缩机进入正常运行。

通过压力调节器调节高压腔中气体压力的高低, 以控制阀片的启闭时间, 实现容积流量的连续调节。

如图 31-22 所示, 过程线 1-7-8-3-5-6-1 是部分行程连通补助余隙容积时的指示图。膨胀过程开始阶段没有连通补助容积, 当膨胀到某个压力时连通阀打开, 补助余隙容积加进来, 按过程线 5-6 膨胀, 吸气容积减少 ΔV_1 。压缩开始, 仍接通补助余隙容积, 按过程线 1-7 进行。压缩到某个压力后, 连通阀关闭, 压缩按过程线 7-8 进行, 排气状态下排出的气体减少 ΔV_2 。

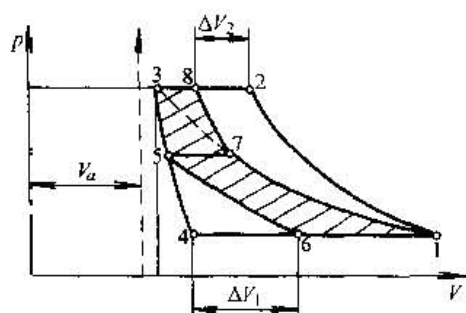


图 31-22 部分行程连通补助余隙容积调节指示图

这种调节与全行程连通相比, 补助余隙容积中的气体不被压缩到排气压力, 因此气体温度不高, 膨胀连通时补助余隙容积中的气体对气缸内气体的加热也不严重, 使此压缩和膨胀过程曲线比全行程连通要平滑, 经济性也好。

对于任何方式的连通补助余隙容积调节, 其补助余隙容积的大小, 均由容积流量调节的程度来决定, 并应根据调节的工况, 采用不同的公式计算。

31.5.4 补助余隙容积计算

1) 对于用在低压下, 进气压力和进气温度不变时 (例如压缩机的第一级中设置的调节机构), 其补助余隙容积 V_a 为

$$V_a = V_s \frac{\lambda'_v - \sigma \frac{\lambda_T}{\lambda_v}}{\frac{1}{\epsilon'^m m_1} - 1} \quad (31-3)$$

式中, V_s 为气缸行程容积 (m^3); λ'_v 为压力比为 ϵ' 时的容积系数, $\lambda'_v = 1 - \alpha_1 (\frac{1}{\epsilon'^m m_1} - 1)$, α_1 为相对余隙容积; ϵ' 为调节后的压力比; σ 为容积流量需要降低程度的系数, $\sigma = q_v^*/q_v$, q_v^* 和 q_v 为调节前后的容积流量; λ_T 为调节前温度系数; λ'_T 为调节后温度系数; λ_v 为调节前容积系数; m 为调节前膨胀指数; m_1 为调节后膨胀指数

2) 在高压级 ($p > 10 \text{ MPa}$) 中, 安装补助余隙容积时, 其进气温度不变, 压力比发生了变化, 在计算补助余隙容积时, 需考虑气体的可压缩性, 其计算式为

$$V_a = V_s \frac{\lambda'_v - \sigma \frac{Z'_s p_s \lambda_T}{Z_s p_s' \lambda'_T}}{\frac{1}{\frac{Z'_s}{Z'_d} \epsilon'^{k_T} - 1}} \quad (31-4)$$

式中, p_s 为正常工况下的进气压力 (MPa); p'_s 为新的进气压力 (MPa); Z_s 为正常工况进气状态下的压缩因子; Z'_s 为新工况进气状态下的压缩因子; Z'_d 为新工况排气状态下的压缩因子; k_T 为等熵温度指数。

采用连通补助余隙容积调节容积流量时, 压缩机的工作将发生变化, 特别是在多级压缩机中, 必须考虑由于工况变化产生的影响, 故在设计补助余隙容积时, 应采取相应措施。例如, 当多级压缩机进、排气压力不变, 若仅在第一级安装补助余隙容积时, 其各级间将发生变化, 即各级进气压力 (第一级除外) 随容积流量降低程度系数 σ 而成比例的降低, 于是第一级压力比降低 ($\epsilon'_1 = \epsilon_1 \sigma$), 末级压力比则升高, 是原末级压力比的 $1/\sigma$ 倍, 其余各级压力比不变, 总压力比不变。若使调节后末级压力比不至于过高, 在原始方案设计时, 应使末级压力比低一些。若容积流量调节的范围较大, 末级压力比就会增加很多, 造成末级排气温度超过安全使用范围时, 应在末级也增设补助余隙容积, 其容积的大小应满足最后两级的压力比较正常工况增加 $1/\sqrt{\sigma}$ 倍。若此时又导致末前级排气温度超过许用值, 则可在原始设计时, 末前级压力比取低些, 或在末前级增设补助余隙容积。另外, 为确保容积流量调节时工况的稳定性及准确性, 在设计计算补助余隙容积时, 还必须考虑由于某级压力比的升高, 引起该级容积系数降低, 并会逐级影响前几级吸气量的减少, 故应采用逐步渐近法确定补助余隙容积。

连通补助余隙容积调节, 主要用于大、中型压缩机, 是一种较经济的调节方法。

31.6 调节系统和调节器

31.6.1 调节系统

压缩机容积流量调节系统有手动调节和自动调节两种。手动调节机构是依靠人来操作控制, 通常用于不经常进行容积流量调节的场合, 若容积流量调节比较频繁, 则采用自动调节系统。

1. 自动调节系统的构成 自动调节系统由指令机构、传递机构和执行机构三部分组成。

1) 指令机构 (调节器)。它适时发出需要调节的命令。

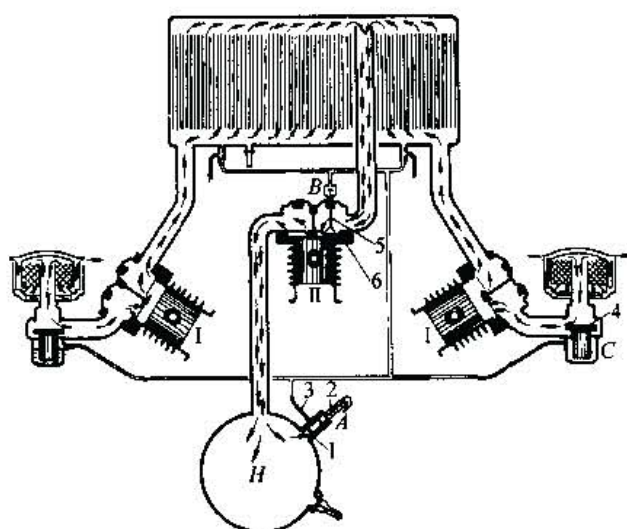


图 31-23 两级压缩机调节系统

A—调节器 B、C—伺服器 H—贮气罐
1—调节器阀门 2—调节器弹簧 3—细导管
4—卸荷阀 5—压叉 6—进气阀片

2) 传递机构。在压缩机中通常是利用气体将调节器发出的命令传递给执行机构，有时也利用液体或电磁等。

3) 执行机构。它是伺服器与调节机构的总称。容积流量需要调节时，往往是将压缩机装置中的

压力变化的信号，被调节器的感受元件接受，指令元件下达指令，经传递机构使伺服器动作，再操纵调节机构改变容积流量。

2. 两级压缩机调节系统 图 31-23 是两级压缩机调节系统。当容积流量大于耗气量时，贮气罐 H 中气体压力升高，高压气体克服调节器 A 中弹簧 2 的作用力，推开阀 1 而进入细导管 3 中，再沿管道分别进入两个第一级气缸的伺服器 C 和第二级气缸的伺服器 B 中。伺服器 C 是卸荷阀，高压气体推动阀 4 关闭，第一级气缸停止进气。伺服器 B 是压开进气阀机构，高压气体使压叉 5 压开进气阀片 6，没有气体排入贮气罐。当贮气罐内气体压力下降至额定值时，压力调节器 A 复位，细导管 3 和伺服器中的高压气体泄入大气，伺服器复位，压缩机正常进行。

图 31-24 是在进气侧进行调节的调节系统。正常工况按图中箭头方向运行。当贮气罐 4 的压力超过极限值时，罐内高压气体使压力调节器 6 中的球阀开启，并进入伺服器 7，推动小活塞 8，将阀心 10 向左推移，此时卸荷阀中的 A 腔和 B 腔连通，Ⅱ级气缸 3 排出的气体，经旁通管 12 进入 B 腔，并与 A 腔和进气管 9 相通，而没有气体进入贮气罐，罐内压力下降。当压力降至额定值时，压力调节器复位，伺服器复位，压缩机正常运行。

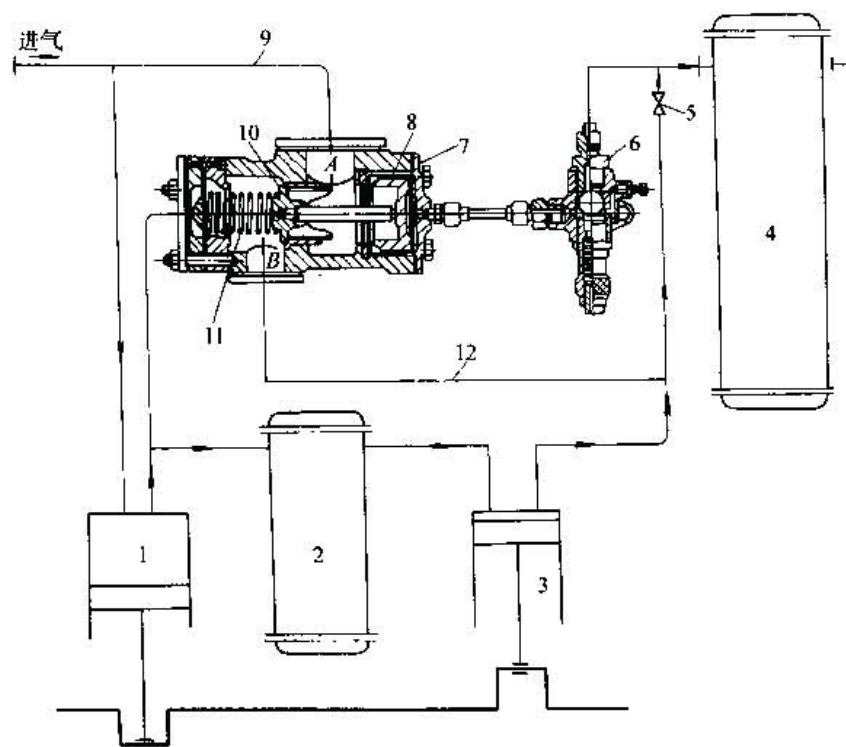


图 31-24 在进气侧进行调节的调节系统

1—Ⅰ级气缸 2—中冷器 3—Ⅱ级气缸 4—贮气罐 5—止回阀 6—压力调节器
7—伺服器 8—小活塞 9—进气总管 10—阀心 11—弹簧 12—旁通管

3. 综合调节的调节系统 图 31-25 是采用卸荷阀和连通补助余隙容积调节的系统, 调节器 A、B、C 接受压缩空气的压力信号, 调节器 A 控制连通固定补助容积的调节机构 1、4、5、8, 调节器 B 控制连通固定补助容积的调节机构 2、3、6、7, 调节器 C

控制卸荷阀 9、10、11。连通补助余隙容积的调节机构可参看图 31-18。

4. 电脑操纵的液压控制调节系统 图 31-26 是该系统控制框图。用在图 31-13 示出的压开进气阀机构中。

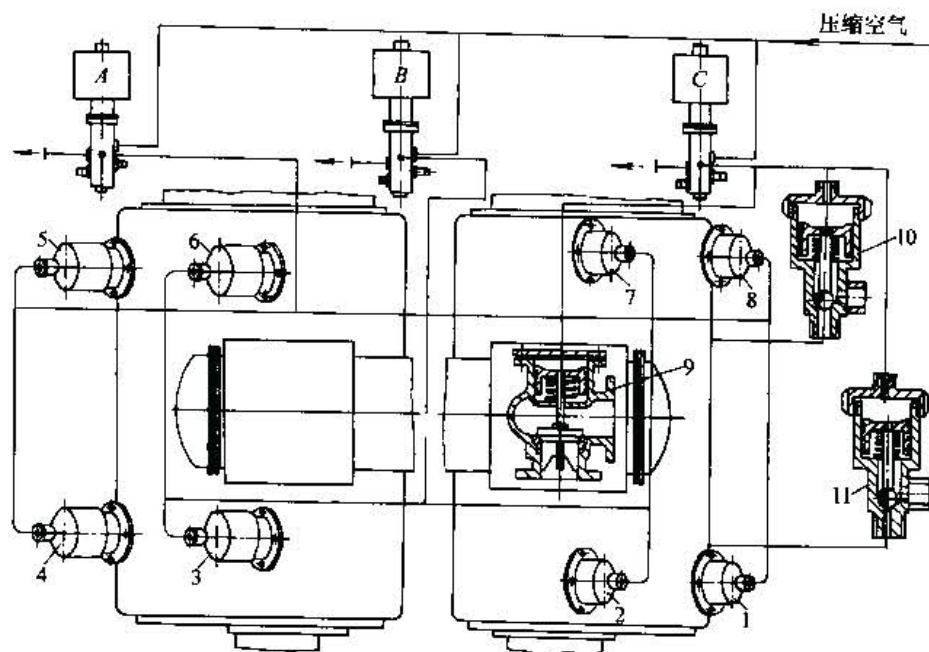


图 31-25 综合调节的调节系统

A、B、C—压力调节器

1、2、3、4、5、6、7、8—连通补助容积调节机构 9、10、11—卸荷阀

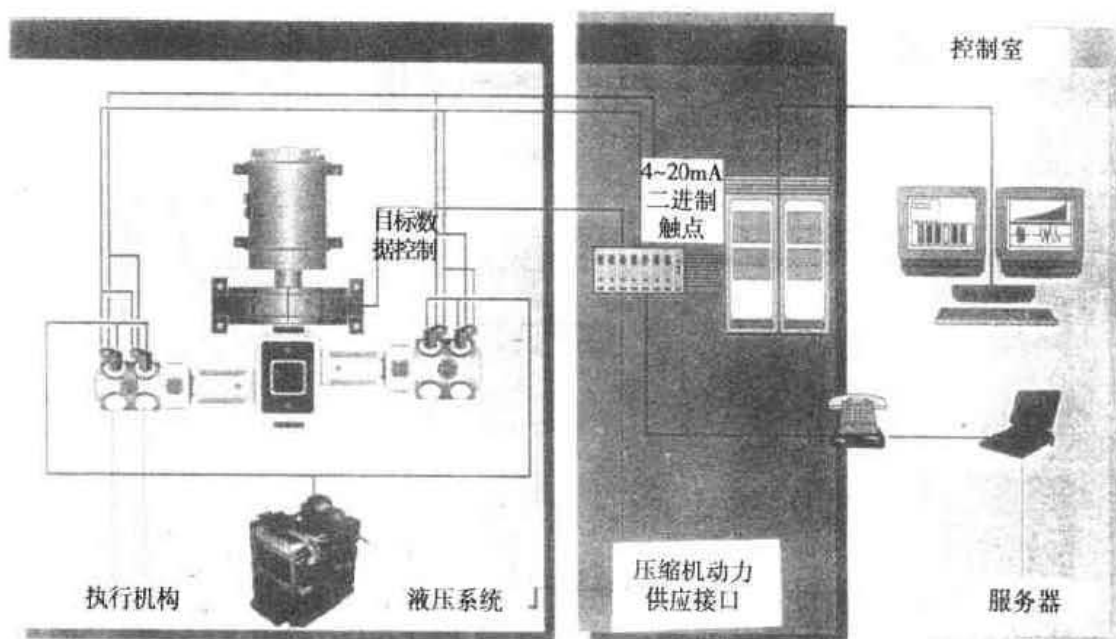


图 31-26 电脑操纵的液压控制调节系统

31.6.2 调节器

调节器是发出指令的部分,具有感受元件。因为压缩机中来的信号往往是气体压力的高低,所以感受元件通常是承受一些负荷的阀门。阀门上的负荷一般是弹簧产生的弹簧力,通过调节弹簧力的大小来确定调节的压力,故弹簧是发出指令的指令元件。

调节器可按调节特性分为双位调节器和多位调节器。双位调节器应用比较广泛,形式也较多样。

1. 双位调节器 其具有一开一关两个位置的调节器。多用于停转调节、截断进气口调节,压开进气阀调节等具有间断调节特性的容积流量调节中。

图 31-27 是弹簧式压力调节器。正常工况下,滑阀 3 靠弹簧 4 的弹簧力闭合,当贮气罐内的压力达到极限值时,滑阀 3 被顶开,罐内气体由管 8 去执行机构;罐内压力下降至额定值时,滑阀 3 关闭,高压气体通路被隔断,调节系统中的有压气体经锥面间隙 A 泄入大气。通过螺母 5 调节弹簧 4 的弹簧力,以控制调节压力的高低。

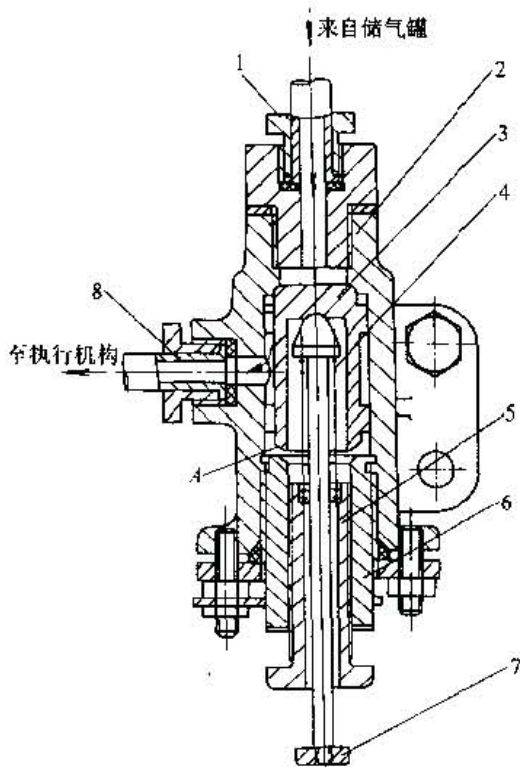


图 31-27 弹簧式压力调节器

1—接管 2—阀体 3—滑阀 4—弹簧
5—螺母 6—限制器 7—顶杆 8—接管

图 31-28 是电力传动的双位调节器,常用于微

型、小型压缩机的间断性停转调节。它装在贮气罐上,通过接管孔口与罐相通。当罐内气体压力达到调节压力时,滑块 1 在膜片 10 的顶推下,克服弹簧 3 的弹簧力,推动跳板 9,使接触器 6 和 7 脱离,电路被切断,压缩机停转。罐内压力下降至额定值时,滑块 1 在弹簧力作用下复位,接触器 6 和 7 接触,电路又被接通,压缩机重新运转。

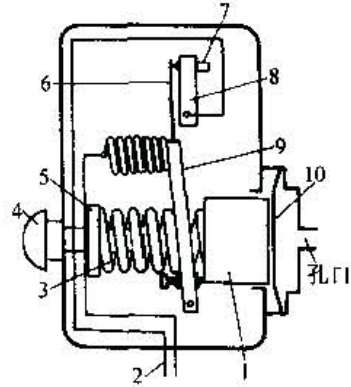


图 31-28 电力传动双位调节器

1—滑块 2—电线 3—弹簧 4—调节螺钉 5—指示片
6、7—接触器 8—接线板 9—跳板 10—膜片

2. 多位调节器 用于容积流量的分级调节。如连通几个补助余隙容积的调节系统中,就采用如图 31-29 所示的五位气动调节器,它具有四组控制阀(即活塞),分别控制四个补助余隙容积,实现容积流量的五级调节。气体从贮气罐分为两路进入调节器,由 1 处进入的气体至腔 A,借助薄膜 4,使针阀 3 克服上方小弹簧的弹簧力而升起,气体则从腔 A 进入位于其下方的调节器腔 B,并通过喷嘴 8 泄至大气。腔 B 中的气体压力维持在大气压力与排气压力之间,其压力值取决于针阀 3 的升起高度。另一路气体通过气液分离器 12 经通道至双位阀 9 下部,阀心在气体压力作用下上升,使其上锥面截断通往大气的通道,进入阀 9 的气体经过滤网 10,由接管 11 引向伺服器,使补助余隙容积被隔断,压缩机按正常工况进行。容积流量需要调节时,贮气罐中的压力升高,故调节腔 B 中的压力也相应增加,使通过橡皮膜 2 分别作用在直径不同的活塞 7 上的作用力,克服相对应的双位阀 9 下部气体压力的作用力,按活塞上作用力的大小依次将四个双位阀压向下方阀座,因此接管 11 中的气体泄入大气,伺服器的阀门打开,接通补助余隙容积。当每个补助余隙容积大小相同时,每连通一个补助余隙容积,输气量就减少 25%,从而实现容积流量由 100% 降至 75%、50%、25% 和 0 的五级调节。

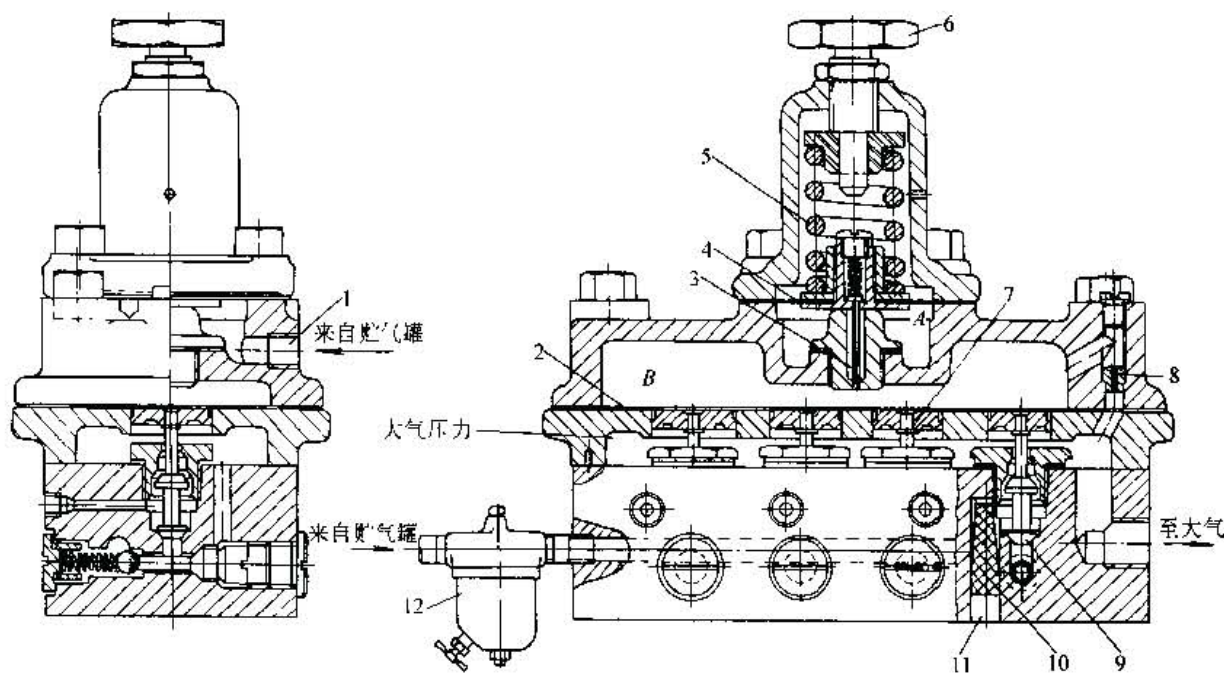


图 31-29 五位气动调节器

- 1—进口管 2—橡皮膜 3—针阀 4—薄膜 5—弹簧 6—手轮 7—活塞 8—喷嘴
9—双位阀 10—滤网 11—接口管 12—分离器

参 考 文 献

- 1 活塞式压缩机设计编写组. 活塞式压缩机设计. 北京: 机械工业出版社, 1981
- 2 缪道平等编. 活塞式制冷压缩机. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 френкель. М. И. Поршневые Компрессоры. Москва; МАШИЗ. 1969