

第八章 压缩空气管系

§ 8-1 压缩空气的用途

在内燃机船上，压缩空气应用很广。压缩空气管系由压气机、分离器、储气瓶、各种伐件和管件等组成。本管系利用空气压缩机将空气压缩至所需的压力，贮藏于储气瓶中，以备随时应用。空气被压缩至一定压力后即成为有作功能力的工质，以使用它驱动许多船舶机械。

压缩空气在内燃机船上的用途有下列几方面：

- (1) 主、付柴油机的起动；
- (2) 自动控制和自动调节等的能源；
- (3) 气笛；
- (4) 海底伐、油渣柜等的吹洗；
- (5) 海、淡水柜的充气；
- (6) 风动机械等。

对军用舰艇来讲还用于发射武器和使潜艇上浮等。

各种类型柴油机起动空气压力范围列表如下：

表 8-1

压力范围 名称	最高起动空气压力 (公斤/厘米 ²)	最低起动空气压力 公斤/厘米 ²
大型低速柴油机	2.5 ~ 3.0	7 ~ 10
中速柴油机	4.5 ~ 6.0	2.0 ~ 2.5
高速柴油机	9.0 ~ 15.0	6.0 ~ 7.5

其它用途压缩空气使用压力范围列表如下：

压力范围 名称	使用压力范围 公斤/厘米 ²	备 註
海底伐、油渣柜 吹洗	2 ~ 3	
海、淡水压力柜 充气	3 ~ 4	
风动工具等系用 气笛	6 ~ 10 8 ~ 10	

§ 8-2 典型系统原理图

图 8-1 为我国自行设计制造的万吨远洋货轮“风”字号的压缩空气管系原理图，该动力装置有一台 6ESDZ76/160 主柴油机和四台柴油发电机组 1-9，它们都用压缩空气起动。两台电动式主空气压缩机 1 可以单独工作或联合工作，它们产生的压缩空气由油水分离器 2 和二只截止止回伐后进入主机起动空气瓶 3，二只主机起动空气瓶分别经截止止回伐后可同时供主机起动，主机起动压力范围为 15~30 公斤/厘米²。当主机起动空气瓶压力降至 15 公斤/厘米² 时主空压机必需工作向主机起动空气瓶充气，充至 30 公斤/厘米² 时停止。付空气压缩机 14 产生的压缩空气经油水分离器 15 和截止止回伐后，分为二路，一路经减压伐 7 ($30\text{kg/cm}^2 \rightarrow 10\text{kg/cm}^2$) 后进入气笛空气瓶 8，气笛空气瓶之压缩空气经油水分离器后供气笛 10 和雾笛 13 用。另一路经减压伐 16 ($30\text{kg/cm}^2 \rightarrow 25\text{kg/cm}^2$) 后进入付空气瓶 17。付空气瓶 17 之压缩空气一路去四台柴油发电机组供起动用。另一路经减压伐 18 ($25\text{kg/cm}^2 \rightarrow 10\text{kg/cm}^2$) 后又分成二路：一路至全船甲板、机舱间等处供杂用（吹洗、风动工具等）；一路再经减压伐 20 ($10\text{kg/cm}^2 \rightarrow 3\text{kg/cm}^2$)，减压至 3kg/cm^2 ，供海、淡水压力柜充气，供海底伐吹洗用。两台主空压机可以经减压伐 7、16 后向气笛空气瓶 8 和付空气瓶 17 供气，但付空压机 14 则不能向主机起动空气瓶供气。本系统中有关设备的规格及空气压力范围列表如下：

表 8-3

序号	名 称	数量	规 格
1	主空压机	2	型号：CV-240/30，排量 240 米 ³ /时，压力 30 公斤/厘米 ²
2	主机起动空气瓶	2	容量：10 米 ³ ，压力 30 公斤/厘米 ²
3	主机起动空气压力		最高：30 公斤/厘米 ² ，最低：15 公斤/厘米 ²

原书缺页

原书缺页

续 上 表

4	付空压机组	1	型号: 108×57 93, 流量: $0.58 \text{米}^3/\text{分}$, 压力: $28 \text{公斤}/\text{厘米}^2$
5	付空气瓶	1	容量: 1米^3 , 压力: $25 \text{公斤}/\text{厘米}^2$
6	付机起动压力		最高: $25 \text{公斤}/\text{厘米}^2$; 最低: $15 \text{公斤}/\text{厘米}^2$
7	气笛空气瓶	1	容量: 1米^3 , 压力: $10 \text{公斤}/\text{厘米}^2$
8	气笛、雾笛压力		$10 \text{公斤}/\text{厘米}^2$
9	全船杂用		$10 \text{公斤}/\text{厘米}^2$
10	海、淡水柜、海底伐		$3 \text{公斤}/\text{厘米}^2$

从风字号远洋货轮压缩空气管系和其它船舶的压缩空气管系可以看出压缩空气管系具有以下一些共性:

(1) 压力选择——一般民用船舶以主柴油机的最高起动压力作为全管系的最高工作压力(本轮为 $30 \text{kg}/\text{cm}^2$), 以此来选定压气机, 其末端用不同压力之压缩空气用减压伐逐级减压后满足, 这样比较经济。对军用舰艇, 主要考虑机械设备重量尺寸要小和高速柴油机、武器本身的要求, 一般选用压气较高, 在 $150 \text{公斤}/\text{厘米}^2$ 以上。

(2) 仪表——由于管系产生和使用的空气压力各不相同, 必须用压力表反应出来, 所以在压气机出口、储气瓶、减压伐前后装设压力表。

(3) 伐件、滤器及气水分离器——各空压机组之间和主空气瓶之间为了防止空气倒灌, 海底伐处为了海水倒流入空气管路等原因而装设截止止回伐。由于压缩空气由压气机气缸内带出的油雾(气缸润滑中产生)和飘浮在压缩空气中的细小水珠, 这些水珠在冷却器中大量凝结成水, 或者在气笛之前由于环境温度降低而压缩空气中有凝水, 为了消除这些油水必需在适当部位设置气水分离器。

气水分离器的工作原理是: 从压气机出来的压缩空气, 经过冷却器冷却后进入分离器, 在分离器中, 由于流通截面比一般管路中大很

多，所以空气速度减小，一部分油珠和水珠在重力的作用下，沉积在分离器底部。压缩空气在分离器中通过二道过滤管，使空气流动方向改变，气流中带的细小液滴由于惯性的作用，碰撞在过滤管湿润的表面上，在重力作用下，流到分离器底部。分离器底部的考克作为定期泄放分离出来的油和水。在泄放时，分离器上部的钢珠紧压在阀座上，使分离器中的空气不会倒流，钢珠起到止回伐的作用。

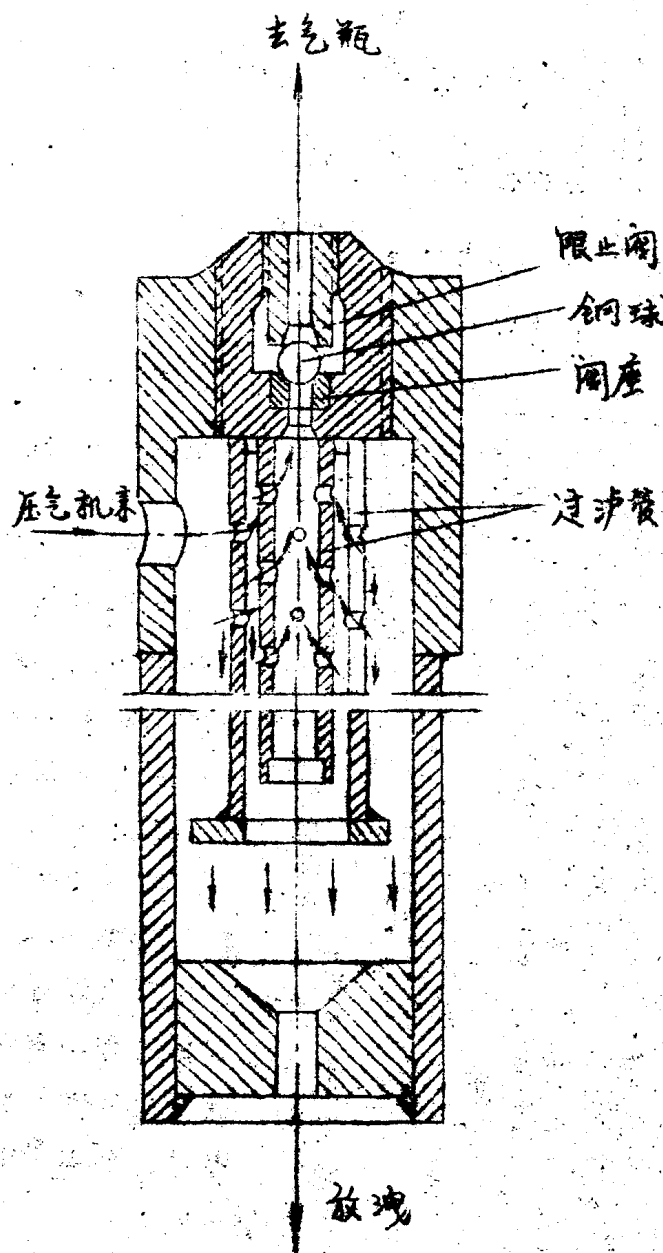


图 8-2 CV-24C/30Z 压气机油水分分离器工作示意图

以上介绍的油水分离器，被广泛用在低压空气压缩机上。而在高压空气压缩机上则普遍采用离心式油水分离器。离心式油水分离器与图 8—2 介绍的结构不同之处在于，过滤器被一个叫做分离杆所代替，分离杆上有螺旋形的叶片，其作用是使进来的空气旋转，使存在空气中的水和油滴因比空气重，所以旋转以后从空气分离出来，并沿外壁流到底部，从泄放伐定期放至罐底。图 8—3 是分离杆的图。

在无产阶级的文化大革命中，广大技术人员与工人相结合，又首先用粉末冶金用于船舶上获得成功，取代了原来的过滤器和分离杆，实践证明用粉末冶金效果既好工艺也较简单，其作用原理为，空气进入分离器后，即通过粉末冶

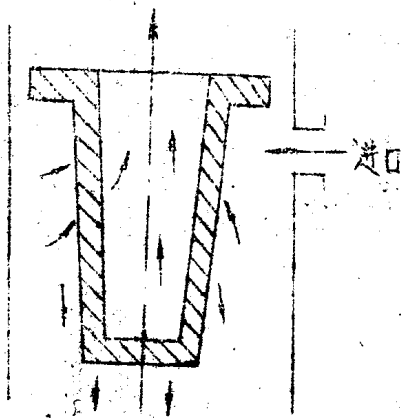


图 8—4 粉末冶金滤芯

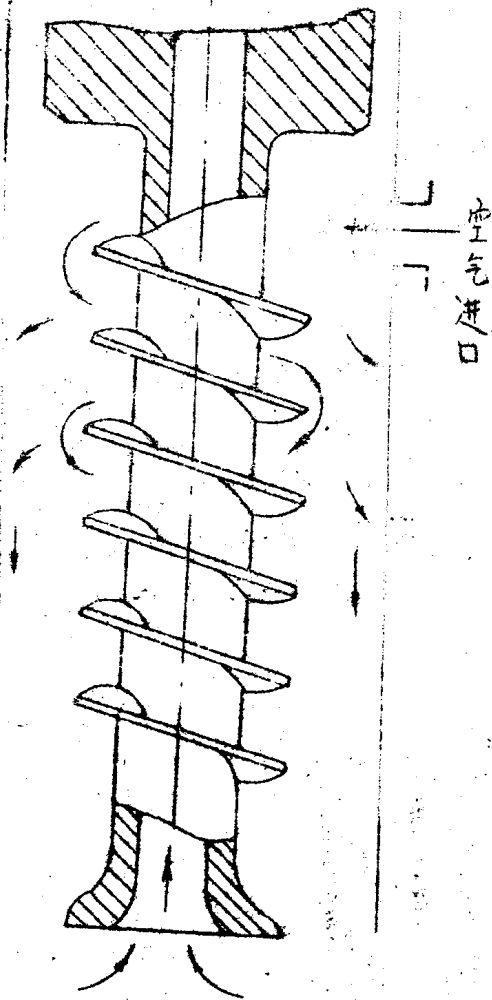


图 8—3 分离杆

金滤芯去空气瓶，油水则为过滤出来落入分离器底部泄放掉。目前此种分离器如用到大型压气机上，唯一不足之处是本身强度较差待解决。

压缩空气管系中，为了满足各种用途的需要，经常用减压伐将压

能空气减至各种压力。减压伐在船上总是垂直安装在水平管路上的，从图 8—1 可见，减压伐的前后均装有截止伐，还装有旁通管路（包括截止伐），这些均是为了对减压伐进行检修时所必需的。减压伐前装有空气滤器，这是为了防止垃圾进入减压伐而设置。减压伐后装有安全伐和压力表，以保证管路的安全和检查减压伐工作是否正常。近年来，在陆用的压缩空气管路中，有采用把减压伐、安全伐，甚至空气滤器都组成一体的新型伐件，使管路设备和安装工艺大为简化。

主机起动空气瓶按规范规定至少须有两只，付机起动空气瓶至少须有一只。空气瓶上除了设有进出口伐外，还装有安全伐、压力表和泄放伐。

§ 8—1 船用活塞式压缩机的型式与典型结构

船用活塞式压缩机（俗称压气机）的结构特点是，在同一气缸中心线上置多个活塞，由一根连杆带动，目的是使压气机结构紧凑和重量减小。其布置型式可以是直列式或“V”型的，即气缸中心线之间是平行的或成一定角度的。根据压气机压缩空气的级数来分则可以分成一级压缩或多级压缩。根据压气机的级数、列数，船用压缩机可以组成各种型式。图 8—5 列出了几种常用船用压缩机的原则简图：

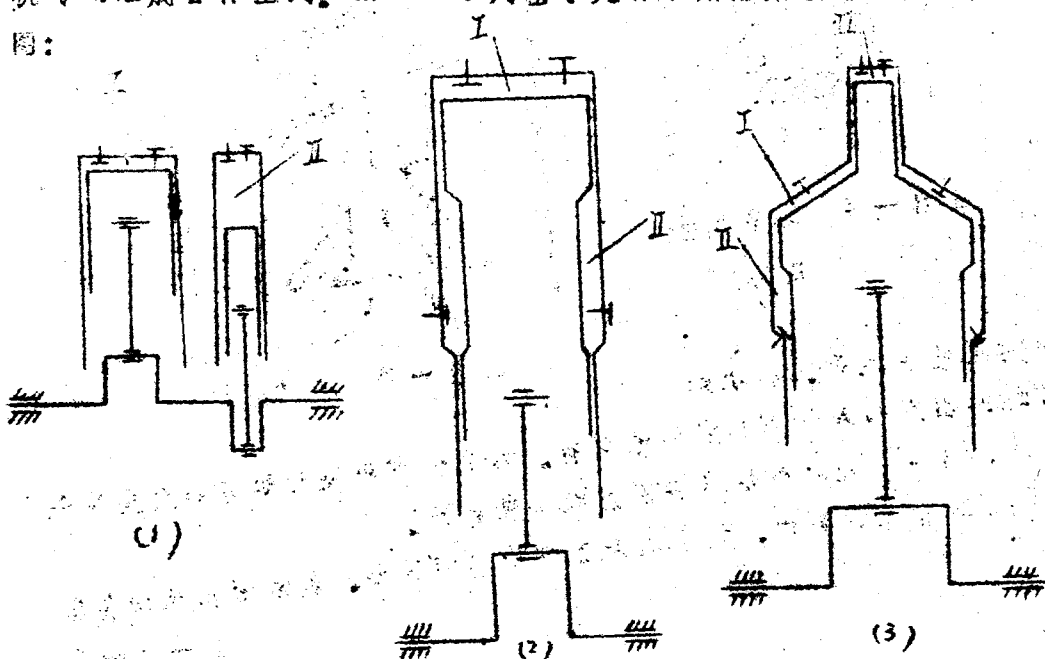


图 8—5 几种船用压缩机结构简图

图 8—5—1 是双缸二级压缩压气机，两缸成平行布置，当然，这种两缸压气机，也可呈 V 型布置，用一个曲轴来带动。图 8—5—2 是单缸二级压气机，在同一个气缸内，这个活塞实际上起两个活塞的作用，以便完成两级压缩。这种压气机根据排气量当然也可布置成多列式或 V 型结构。图 8—5—3 是直立式（单列）三级压气机，其排出压力可高达 150 大气压。

图 8—6 为我国民用船舶上广泛采用的 CZ60—30 型压气机原理图，它的排量是 60 米³/时（自由空气量），压力为 30 公斤/厘米²，它是我国中压活塞式压气机系列产品之一。是立式、单缸，两级压缩，第一级活塞和第二级活塞连成一体，上端为第一级压缩，下端为第二级压缩。为了使气缸壁进行冷却，在气缸体内设有冷却水腔。空气从消音器经进气伐吸入，压缩后从第一级气缸中排出的空气压力为 6 公斤/厘米²，温度为 170°C，经过第一级空气冷却器冷却至 35°C，然后进入第二级气缸，在第二级气缸中压缩到 30 公斤/厘米²，温度升至 190°C，再进入第二级冷却器，冷却至 55°C，然后经过油水分离器，清除空气中的油和水，最后进到空气瓶储存，以备使用。一般空气冷却器和油水分离器由压气机厂配套生产，作为压气机的附属设备。

工作原理

从上述 CZ60—30 型压气机原理线图的说明已经知道了压气机的工作过程，现将它的工作原理简述如下：压气机曲轴由电动机经弹性联轴节直接传动，当曲轴转动时经连杆带动活塞，并在气缸中作往复直线运动。当活塞从上死点向下死点运动时，空气经消音器和一级进气伐被吸入第一级气缸（称一级吸入过程）。当活塞从下死点返回上死点时第一级缸内的空气被压缩到一定的压力后经一级排气伐被排往一级冷却器进行冷却（称一级排出过程），再由第二级进气伐被吸入第二级缸（称二级吸入过程），此时活塞由下死点返回上死点的时刻。当活塞又由上死点向下死点运动时，进入第二级缸的气体被压缩至额定压力后经二级排气伐排到冷却器进行冷却，最后经油水分离器进行油水分离后被排往空气瓶。

压气机的润滑是借助于连杆大端背衬有的油匙，将底座中的滑

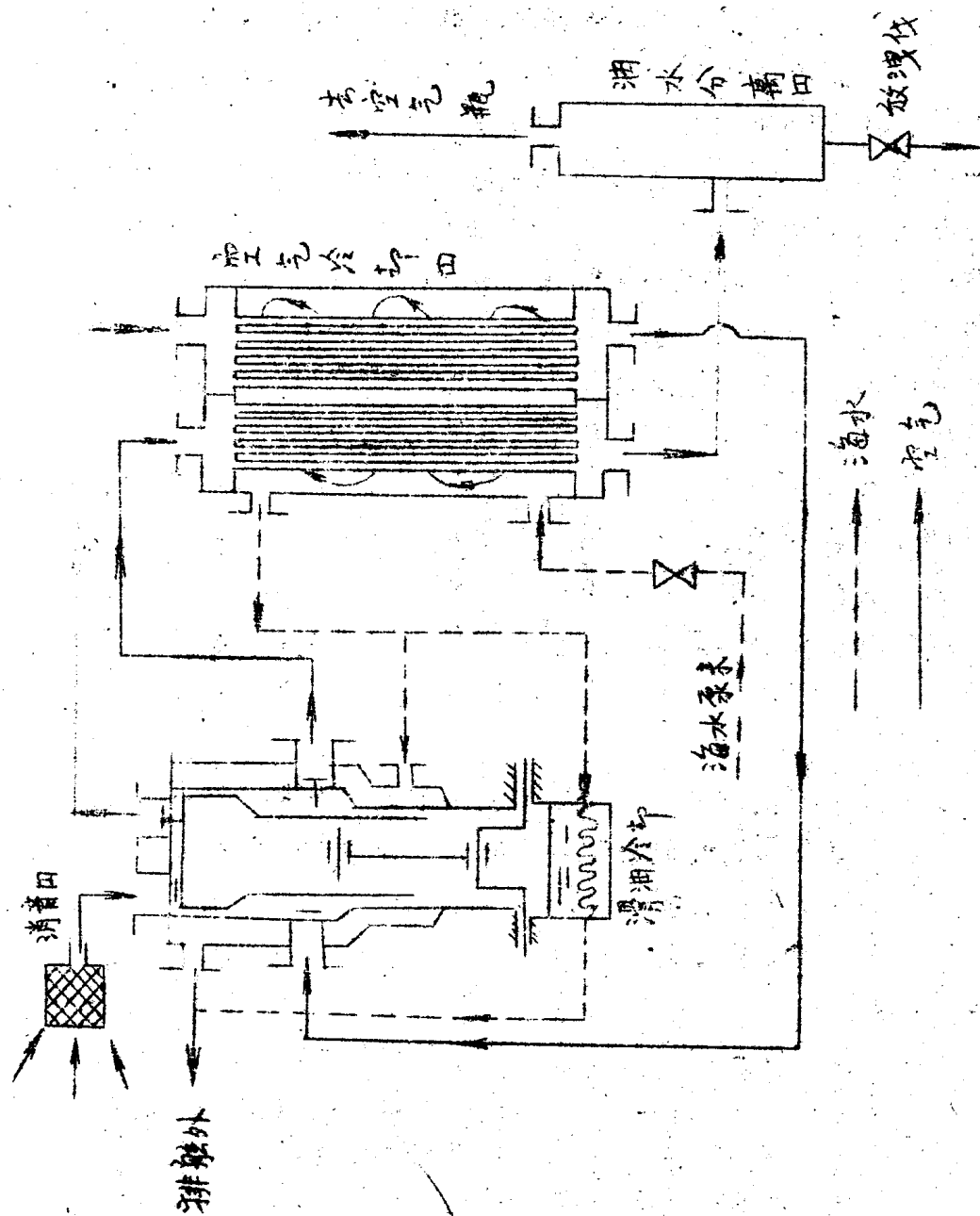


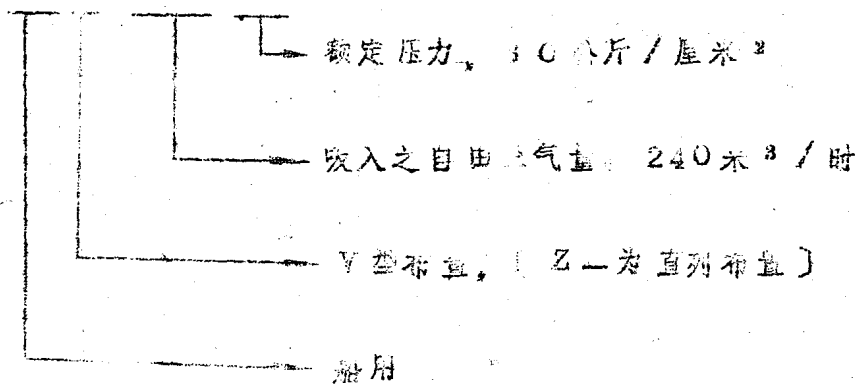
图 8-6 CZ60-80 型压气机原理图

后飞溅出来，直接润滑第二级气缸。第一级气缸的润滑，是在吸入伐底座上，联接一根管子，压气机进气时，从管子吸来油雾和空气，进行润滑。也有在气缸头上装有滴油杯用来润滑一级气缸。底座边上有油计，以检查滑油油位的高低。底座内有专门的油盆，里面流经海水冷却润滑油。

表 8—4 列出了我国常用压气机主要技术参数。(此表请见 8—12 页)

表中所列压气机型号中的符号所代表意义举例如下：

C V — 240/30



8—4 船用活塞式压缩机的热力基础与气隙

目前，工业上将活塞式压缩机按其排气压力的高低加以区分，称为：

低压压缩机	排气压力 < 10	公斤/厘米 ²
中压压缩机	10 ~ 100	公斤/厘米 ²
高压压缩机	100 ~ 1000	公斤/厘米 ²
超高压压缩机	> 1000	公斤/厘米 ²

活塞式压缩机也可以按其消耗功率的大小区分为：

微型压缩机 功率 < 10 千瓦

表 8-4 国产常用压气机主要技术数据

序号	压气机型号	排气量 (米 ³ /时)	压力 (公斤/厘米 ²)	轴功率 (瓩)	转数 (转/分)	外形尺寸 (毫米)			重量 (公斤)	备 注
						长	宽	高		
1	1-0.27/150		150	7.5		1121	544	695	331	输气量均为 自由空气量
2	1-0.433/60	26	60	8	500	1300	750	1250	650	
3	CZ-10/30	10	30	2.7		385	365	465	70	
4	CZ-60/30	60	30	15	750	1500	707	1200	300	
5	CZ-120/30	120	30	30		2200	915	1350	1700	
6	CV-240/30	240	30	75	750	2180	1340	1530	2340	
7	0.34/30B (AC ^{108x48} 95)	20.4	30	5.5	600				100	双缸、系列、 垂直布置、 风冷式。
8	2Z1.2-0.9/25	54	25	17瓩		2080	645	1275	1351	
9	BO-3/10	18	10	2	540	1130	480	1030	190	
10	1V-3/8	180	8	19		1668	1180	1220	550	
11	2V-6/8	360	8	37		2090	1240	1220	800	
12	1-20/8	1200	8	140		1710	1950	1650	2800	

小型压缩机	10~100千瓦
中型压缩机	100~500千瓦
大型压缩机	>500千瓦

§ 8—4—1 气 阀

(一) 气阀工作原理

气阀是压气机中最重要的部件，也是容易损坏的部件之一。它的好坏直接影响压气机的排气量与功率消耗以及运转的可靠性。目前压气机正在向高转速方向发展，而限制转速提高的关键问题之一也是气阀。

与内燃机中采用的“强制阀”不同，活塞式压缩机中一般都采用“自动阀”。所谓“自动阀”，就是气阀的开启和关闭靠阀片两端的压力差来实现，而不需要其它的驱动机构。

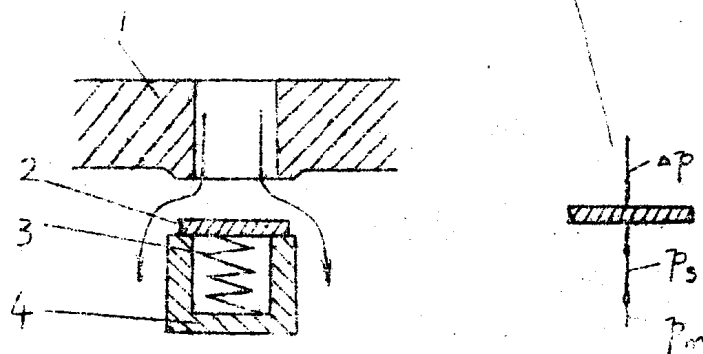


图 8—7 环式进气阀示意图

如图 8—7 所示，气阀主要由阀座 1、阀片 2、弹簧 3 和升程限制器 4 四个主要零件组成。

进气阀的工作原理为：在进气过程中，活塞向下死点运动，使气缸内的压力低于进气管道中的压力。当所形成的压力差 Δp 足以克服弹簧力 P_s 与阀片及部分弹簧的运动质量惯性力 P_m 之和时，阀片打开而空气开始进入气缸内。此后，阀片继续开启，并贴到升程限制器，气体继续进入气缸内。当活塞将达下死点时其速度急剧降低因此气流速度也随之降低，作用在阀片上的气流动力也要小了，如果它小于全

开启状态的弹簧力时，气阀就开始关闭，并最终落到阀座上而完成一个进气过程。至于排气阀的开启和关闭，其工作原理是与进气阀同样道理，不同之处仅仅是气阀装设方向正好相反，即相差 180° ，气阀开启和关闭方向与进气阀相反。

(二) 对气阀的要求

1) 阻力损失小 这包括下列两种情况：在结构上要选取合理的形式，使在气阀完全开启时的阻力损失尽量地小，否则这项阻力损失所消耗的功率有时能达到压气机指示功率的 $15 \sim 20\%$ ；气阀弹簧力要选取得当，以便在相应的转速及压力范围时气阀能及时开启，从而不致引起较大的阻力损失，以及影响进气量及阀片寿命；

2) 寿命长 要求在反复冲击下阀片的平均寿命能达到规定的时间，例如4000小时，而不致过早损坏；

3) 气阀关闭时不漏气；

4) 气阀形成的余隙体积小。

(三) 气阀结构

气阀有各种各样的形成。按气体流动的特点可分为迴流和直流两大类。在迴流类中，按照阀片的结构形式又分成环状阀及网状阀〔它们的阀座通道是圆环形的〕，球形蝶阀及杯形蝶阀〔它们的阀座通道是半圆孔的〕以及条状阀〔阀座通道是条形的〕。直流类中通称直流阀。

压缩机中应用最广泛的气阀为环状阀，阀片是简单的环片，环数一般为 $1 \sim 5$ 环，有时甚至多达8环。这种阀的阀片形状简单，加工容易，材料可以套用，故在我国较多地被采用。

图8-8所示为CV-240/30型压气机排气阀。图中1为开有同心的环形通道的阀座，2为阀片，3为升程限制器，4为圆柱形弹簧，5为气阀联接螺栓〔顶头螺栓〕。

环状阀的每个环片都要有导向装置才能准确落座，一般由升程限制器上的凸台来完成，凸台和环片间导向的表面有较大的公差。

环状阀的阀座 有一个或几个同心的环形通道，靠径向筋条联结，气体即由环形通道流过。

升程限制器的结构与阀座相似，它除限制阀片升起高度外，还作

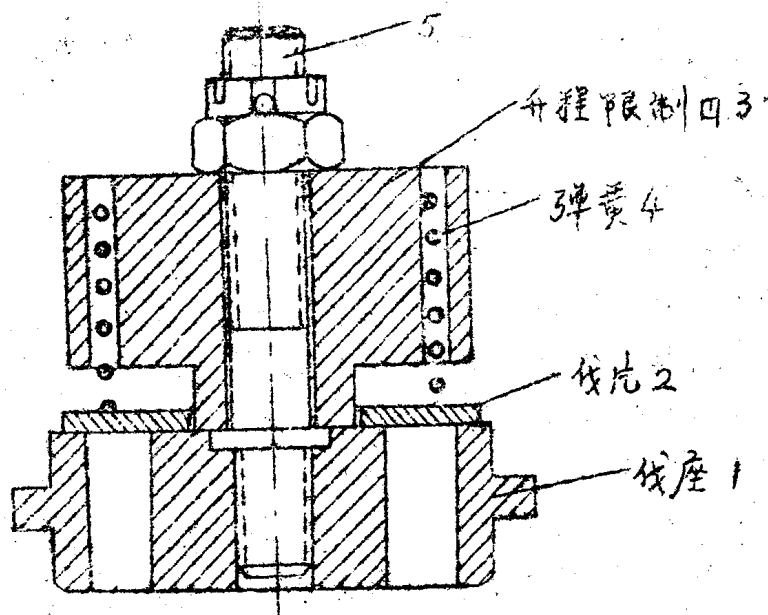


图 8—8 CV-240/30 压气机排气阀

为气阀弹簧的支承座。弹簧支承座处，往往开有穿通的小孔，以便排除可能积聚在该处的润滑油，并防止阀片被吸牢在升程限制器上。

影响气阀寿命的因素很多，归纳起来主要有以下几个方面：机器的转速；阀片的材料及加工（包括机械加工和热处理质量）；气阀的结构形式；弹簧力；以及气阀的工作条件（包括润滑油大量进入，水分析出以及管道中气流显著波动，气体是否洁净等）。实践证明，阀片运动时对阀座或升程限制器的冲击，使阀片局部产生很大弯曲应力是阀片损坏的基本原因。

阀片冲击时的弯曲应力决定于阀片的运动速度和阀片质量，所以压气机转速增加（即阀片运动速度增大）时冲击力大，而且冲击的次数也增加，因而阀片寿命短。如果增加阀片厚度，并不一定能减少阀片片中的应力，因为质量也增加了。而采用窄通道则能采用较小质量的阀片，冲击力将减小。

阀片升程大时，冲击力大，故高转速时不得不降低升程。

人们通过科学实验得知，阀片对升程限制器的冲击速度恒大于对阀座的冲击速度，但前者支承面大，后者仅在两狭窄的支承面上承受

阀片冲击，故与阀座冲击的局部弯曲应力仍然较大，可能为损坏的主要原因。

弹簧力对气阀寿命的影响。弹簧过软使气阀延迟关闭，冲击力特别大，气阀极易损坏。为了提高寿命需要加大弹簧力，但弹簧很硬也不好，因气阀两边压力差 Δp 不足以克服弹簧力，使阀片不能一直贴合在升程限制器上而产生跳动。因此弹簧最好是变刚性的，也就是说，弹簧力在气阀开启时很软，迅速开启以后迅速变硬，以减小气阀对升程限制器的冲击，关闭时，开始很迅速，后来弹簧力急剧减小，故对阀座冲击力也小。目前压气机气阀弹簧采用变刚性的有：圆锥形弹簧、圆片形弹簧和波形弹簧。气阀弹簧用 50CrVA 琴钢丝制造，也可用 60Si2MnA 代替。金属丝经初步退火后用冷绕的方法制成。然后应经正常化、淬火与回火，处理后的硬度达 HRC43~47。

为了保证气阀有足够的寿命，制造气阀所用材料必须有较严格的要求，不允许有细孔、成层或其它夹杂。目前我国环状阀片用 30CrMnSi 和 30Cr13 制造。阀片热处理后硬度达 HRC46~54。最后工序应进行研磨，要求表面光洁度不低于 V9。热处理条件见下表。

阀片热处理条件

钢 号	淬 火		冷 却 介 质	回 火		冷 却 介 质
	加热温度 °C	持续时间 分		加热温度 °C	保温时间 小时	
30CrMnSi	870~890	30~45	油	530~550	2~3	空气
30Cr13	1000~1050	25~35	油	600~650	2~2.5	空气

8-8-4-2 压气机的理论循环

为了由浅入深地说明问题，假定压气机没有余隙容积，没有进排气阻力、没有热量交换，即压气机处于理想情况下。这样，压气机工作时，气缸内压力及容积变化的情况将如图 8-9 所示：图下面为压气机的示意图，上面为活塞运动时气缸内压力的变化。当活塞自点 O

向右移动至点1时，气缸在压力 P_1 时等压吸进气体，0—1称为进气过程。然后活塞向左移动，自1绝热压缩至2，1—2称为绝热压缩过程。最后将压力为 P_2 的气体等压排出气缸，2—3称为排气过程，过程0—1—2—3—0便构成了所谓的压气机理论循环。

活塞从上死点0到下死点1所走的距离 S ，称为一个行程。在理论循环中，活塞一个行程所能吸进的气体，在压力 P_1 状态下，其值为

$$V_h = F_h S \quad \text{米}^3$$

式中 F_h ——活塞面积，米²；
 S ——活塞行程，米。

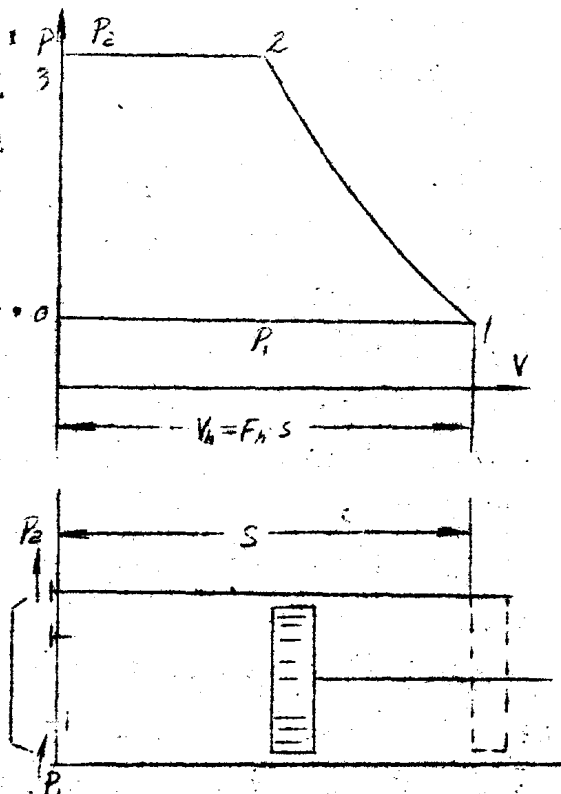


图8—9 压气机的理论循环图

压气机把空气自低压空间压送至高压空间需要消耗功，所以需要由原动机来驱动，如电动机。人们通过长期实践，得知压气机理论指示功率可通过两种方法求取：一种是通过计算的方法求取；另一种是从 $P-V$ 图的面积直接求取，如从图8—9上量出面积0—1—2—3—0所围面积，就能算出压气机功率。

如上所述，图8—9是在假定没有热量交换等情况下气缸内压力变化与容积变化的关系图。所谓没有热量交换是指压气机在工作过程中气缸内没有热量传出来，外面也没有热量传进去，这种过程又称为绝热过程。为压缩过程1—2称为绝热压缩。那么如果压缩过程有热量传出来，例如采用海水冷却气缸的情况下，实践证明压缩过程曲线1—2将变成曲线1—2'，称为多变压缩。如果压缩过程中气缸内温度始终保持不变，即空气被压缩时产生的热量全部传到气缸外面，则称为等温压缩，过程曲线为1—2''。从图8—10可见，三者当中，等温曲线最平坦，绝热曲线最陡，多变曲线1—2'，介于中间。

很明显，等温压缩过程消耗功率最少，绝热压缩过程消耗功率最多。