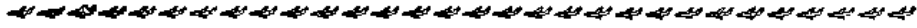


第16章 活塞式压缩机简介



空气压缩机站房的主要设备有：空气压缩机、空气滤清器、中间冷却器、后冷却器、液气分离器、安全阀、气体管路和储气罐等。

空气压缩机通常使用往复式活塞式压缩机。后冷却器一般在排气量为 $20\text{m}^3/\text{min}$ 以上的压缩机上才有配备。液气分离器也常常同冷却器组合在一起的。

现在我国压缩机制造厂批量生产的空气压缩机，虽然是按GB782—76标准设计制造的，但我国已经制订有新的压缩机标准：GB7787—87《往复式活塞式压缩机基本参数》，见本篇附录（一）附表5-5。并且发展了无油润滑空气压缩机，同时还生产了与制氧机配套的中、高压空气压缩机。

为了发展和提高我国压缩机的水平，国家制订与颁发一系列压缩机的标准。压缩机的主要标准目录见本篇附录（一）附表5-1~附表5-4。

第1节 活塞式压缩机的分类与规格参数

往复式活塞式压缩机的分类，可按压缩机的排气量和工作压力进行区分，见表16-1-1。

表16-1-1 活塞式压缩机的分类

分类方法	名 称	说 明
按排气量分	微型压缩机	$<1\text{m}^3/\text{min}$
	小型压缩机	$1\sim 10\text{m}^3/\text{min}$
	中型压缩机	$10\sim 60\text{m}^3/\text{min}$
	大型压缩机	$>60\text{m}^3/\text{min}$
按最终排气压力分	鼓风机	$<0.3\text{MPa}$
	低压压缩机	$0.3\sim 1.0\text{MPa}$
	中压压缩机	$1.0\sim 10.0\text{MPa}$
	高压压缩机	$10\sim 100\text{MPa}$
	超高压压缩机	$>100\text{MPa}$

各类空气压缩机的规格参数见表16-1-2~表16-1-5。

表16-1-2 往复式活塞式压缩机基本参数 (GB782—76)

公称排气量 (m^3/min)	公称排气压力 (MPa)	比 功 率 \leq ($\text{kW}/\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$)		净 重 \leq (kg)	运动部件和气 缸部分润滑油 总消耗量 \leq (g/h)	冷却水 消耗量 \leq (m^3/h)	噪声声压级 \leq (dB(A))
		水冷	风冷 (包括风扇)				
3	0.7	5.8	6.3	420	40	0.72	90
6				620		1.44	
10		5.15	—	1350	70	2.40	
20				2200	105	4.80	
40				4200	150	9.60	
60		5.1	—	6300	195	14.40	
100		5.05	—	10500	255	24.00	

表16-1-3 空气

型号	型式	排气量 (m ³ /min)	吸气压力	排气压力 (MPa)		轴功率 (kW)	行程 (mm)	转速 (r/min)	外形尺寸 长×宽×高 (mm)
				I级	II级				
BV-3/8	V型, 两缸, 两级, 单作用, 风冷式, 半移动, 无基础	3	大 气 压 力	0.18~0.21	0.8	<19	80	1000	2360×1170×1420
BV-6/7 (CV-6/7)		6			0.7	39.6 (53hp)	100	1470	2500×1170×1445
BV-9/7 (CV-9/7)		9			0.7	58 (78hp)	90	1470	2930×1270×1510
3L-10/8	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	10		0.18~0.22	0.8	60	200	480	1877×885×1781
L2-10/7					0.7				
3L-10/8-1						55			1700×900×1800
2V2-10/7	V型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式			0.165~0.205	0.7	51	100	980	1784×1025×1473
4L-20/8	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	21.5		0.2	0.8	≤118	240	400	2260×1550×1935
L3.5-20/7				0.7≤120					
ZL3.5-20/7	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式, 无基础	20		0.17~0.2	0.7	≤102	120	980	2142×1731×1980
RZL3.5-20/7									
2D3.5-20/7	对称平衡型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式		0.18~0.2	0.7	105	180	585	4000×3000×2680	
5L-40/8	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式, 无基础	40	0.2~0.22	0.8	220	240	428	2550×1640×2430	
L5.5-40/8						210	180	600	2580×1600×1880
L5.5-40/7						0.17~0.21	0.7	≤210	
7L-100/8		100	0.2	0.8	530	320	375	2950×1850×3220	
2D12-1008	对称平衡型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式				540	240	500	4480×2050×3090	

压缩机规格数据

驱 动 机				储 气 罐				制 造 厂
型 号	转 速 (r/ min)	功 率 (kW)	电 压 (V)	代 号	容 积 (m ³)	额 定 压 力 (MPa)	尺 寸 (内 径 × 高) (mm)	
Y200L2-6	970	22	380					柳州压缩机总厂
Y225M-4 (4135K-2柴油机)	1480 (1500)	45 (80hp)	380					
Y280S-4 (6135K-1柴油机)	1480 (1500)	75 (120hp)	380					
JY250M-6	986	65	380	C-1	1	0.8	φ800×2200	南京压缩机厂 江西气体压缩机厂
YY355M2-12	488	55	380					山东潍坊生建机械厂 (电动机直联)
YKY-55-6	980	55	220/380					南京压缩机厂 (无基础)
JS127-8	730	130	380	C-2	2	0.8	φ1000×2950	沈阳气体压缩机厂 柳州压缩机总厂
YR315M2-8	731	132	380					山东潍坊生建机械厂
JR127-8	730	130	380	C-2	2	0.8	φ1000×2950	江西气体压缩机厂
YW112-6/560	980	112	380					
JBO315M-6	980	110	380/60					
JR127-10	585	115	380					沈阳气体压缩机厂
TDK118/24-14	428	250	6000	C-4	4	0.8	φ1200×4070	沈阳气体压缩机厂
TDK99/30-10	600	250	6000		4.6	0.8	φ1300×4100	江西气体压缩机厂
TK230-10/990	600	230	6000/ 3000		4	0.8	φ1216×4070	
TDK173/21-16	375	550	6000	C-10	10	0.8	φ1800×4580	沈阳气体压缩机厂
TK550-12/1430	500	550	6000					柳州压缩机总厂

表16-1-4 无油滑

型 号	型式	排气量 (m ³ /min)	吸 气 压 力	排气压力 (MPa)		轴功率 (kW)	行程 (mm)	转速 (r/ min)	外形尺寸 长×宽×高(mm)
				I级	II级				
2Z-3/8-1	立式, 两缸, 两级, 单作用, 水冷式	3	大 气 压 力	0.2	0.8	19	120	730	890×530×1890
2Z-6/8-1	立式, 两缸, 两级, 双作用, 水冷却	6		0.2	0.8	37	120	740	890×630×1884
3LW-10/8	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	10		0.18~0.22	0.8	≤60	200	480	1990×900×2073
2D3.5-15/15	对称平衡型, 三级三缸, 双作用, 水冷式	15			1.5	113	180	585	4020×1150×2200
4LW-20/8	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	20		0.18~0.22	0.8	120	240	400	2690×1550×2354
2D3.5(4)-20/7	对称平衡型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	20		0.17~0.19	0.7	109	180	585	4000×3000×2680
2D3.5(5)-20/8				0.2	0.8	120			
L3.5-20/8	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	20		0.18~0.22	0.8	≤122	180	440	2536×1170×2307
5L-40/8-1	L型, 两缸, 两级, 双作用, 水冷式	40		0.2	0.8	220	240	428	2700×1700×3000
5L-40/10-1					1.0	263			
L5.5-40/8			0.2~0.22	0.8	216	180	600	2890×1600×2198	

滑空气压缩机规格

驱 动 机				储 气 罐				制 造 厂
型 号	转 速 (r/ min)	功 率 (kW)	电 压 (V)	代 号	容 积 (m ³)	额 定 压 力 (MPa)	尺 寸 (内 径 × 高) (mm)	
Y225M-8	730	22	380		0.3	0.8	φ600×1680	沈阳气体压缩机厂 柳州第二空压机厂
Y280S-8	740	37	380		0.6	0.8	φ700×1970	
JR115-6	975	75	220/380	C-1	1	0.8	φ800×2210	山东潍坊生建机械厂
JR-128-10	585	130	380					沈阳气体压缩机厂
JR-127-8	730	130	380	C-2	2	0.8	φ1000×2950	山东潍坊生建机械厂
JR127-10	585	115	380	C-2	2	0.8	φ1000×2950	沈阳气体压缩机厂
JR-128-10		130						
Y315M2-8	740	132	220/380	C-2	2	0.8	φ1000×2950	南京压缩机厂
TDK118/26-14	428	250	6000/ 3000	C-4	4	0.8	φ1200×4070	沈阳气体压缩机厂
TK280-14/1180		280						
TDK99/30-10	600	250	600		4.6	0.8	φ1300×4100	江西气体压缩机厂

表16-1-5 空分设备配套空气压缩机类型参数

空分设备系列	型号	型式	排气量 (m^3/min)	排气压力 (MPa)	活塞行程 (mm)	转速 (r/min)	电动机功率 (kW)	空分设备型号
20	1LY-2/200	立式, 双列, 四级, 双作用, 水冷式	2	19.6	160	440	40	KFS-120
50	1-5/55	卧式, 单列, 三级, 双作用, 水冷式	5	5.39	300	160	75	23-300 KFZ-300
	L2-5.55/40	L型, 两列, 三级, 双作用, 水冷式	5.55	3.92	200	500	75	KFZ-300-3
	1-15/50	卧式, 单列, 三级, 双作用, 水冷式	15	4.9	500	167	215	13-860
150	5L-16/50	L型, 两列, 三级, 双作用, 水冷式	16	4.9	240	428	250	
	2D8-17/45	卧式, 两列, 四级, 对称平衡型, 水冷式	17	4.4	240	370	200	KZON-170/550
300	DY8-30/15	卧式, 两列, 三级, 一级双作用, 对称平衡型, 水冷式	30	1.47	250	375	320	KFZ-1800

第2节 活塞式压缩机的结构

(一) 卧式结构

卧式压缩机的气缸作水平布置, 且都在曲轴一侧, 见图16-2-1。

(1) 优点

1) 因是卧式, 在操作者视线范围内, 可接近性好, 便于操作与维护。

2) 卧式最多只有两列。所以运动部件与填函较少。机身、曲轴的结构也较简单。

3) 卧式压缩机的厂房较立式为低。

(2) 缺点 主要是惯性力不能平衡, 因之, 增加转速受到限制。为增加转速而导致机器、驱动机和基础的重置增大, 且尺寸也较大。然而, 卧式压缩机在小型、高压的情况下, 仍能发挥结构紧凑、零件少, 可以避免高压填函等优点。

(二) 立式结构

立式压缩机的气缸作垂直布置, 见图16-2-2。

(1) 优点

1) 活塞外圆柱表面不承受活塞重量, 因而气缸与活塞的磨损比卧式要小, 活塞环的工作条件有所改善, 能延长使用寿命。

2) 因为工作载荷使机身产生拉伸和压缩应力, 所以, 机身形状简单, 重量轻。

3) 往复运动部件的惯性力垂直作用在基础上, 而基础抗垂直振动的能力较强, 所以它的尺寸较小, 因而占地面积较小。

(2) 缺点

1) 气阀和压缩级间管道布置比较困难。

2) 较大的立式压缩机操作和维修不很方便。所以, 立式压缩机(包括迷宫式压缩机)小型为多。

(三) 对称平衡型结构

对称平衡型压缩机的气缸作水平布置, 并分布在曲轴两侧。两立轴承间相对两列气缸的曲柄错角为 180° , 见图16-2-3。

对称平衡型结构除了具有卧式的优点外, 尚有以下优点:

1) 运动部件往复惯性力(一阶和二阶惯性力)可以完全平衡, 惯性力矩也很小。机器转速可

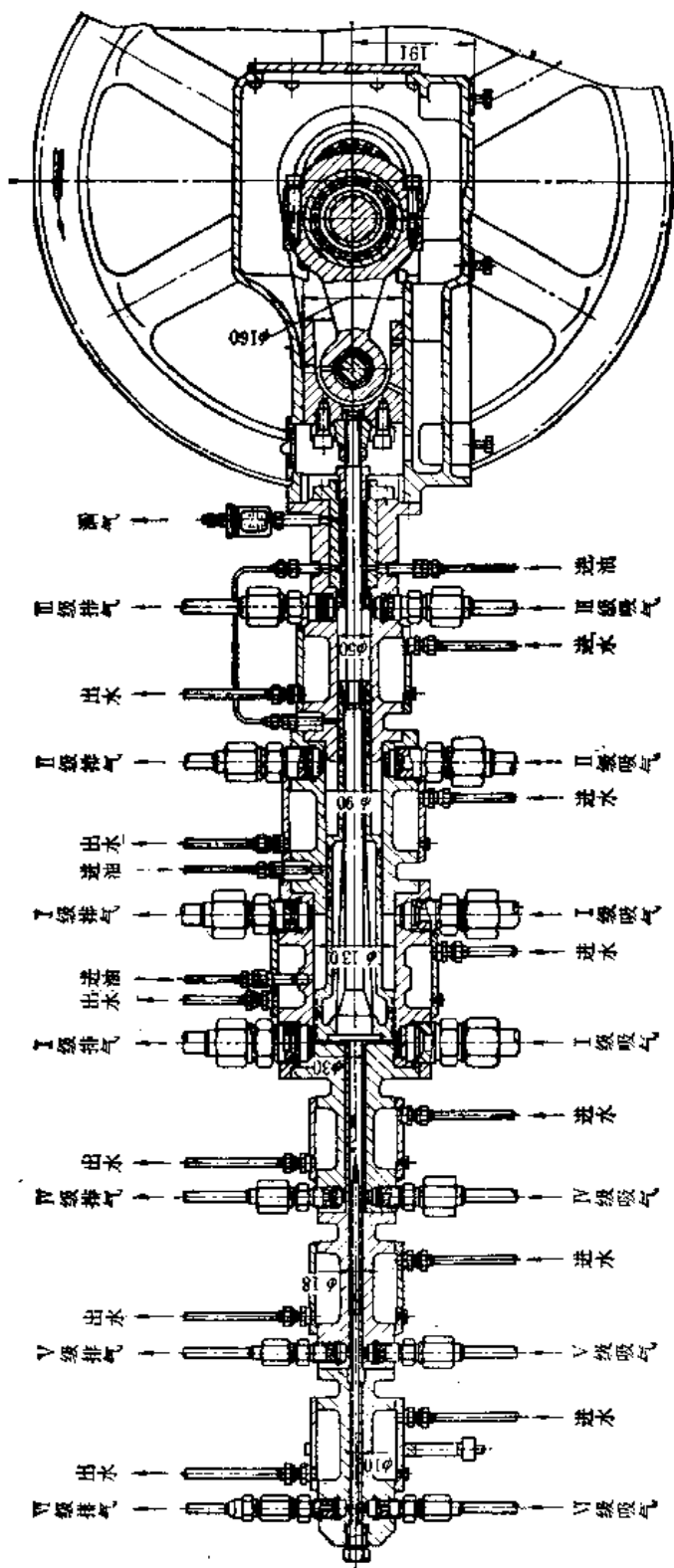


图16-2-1 单列卧式二氧化碳压缩机

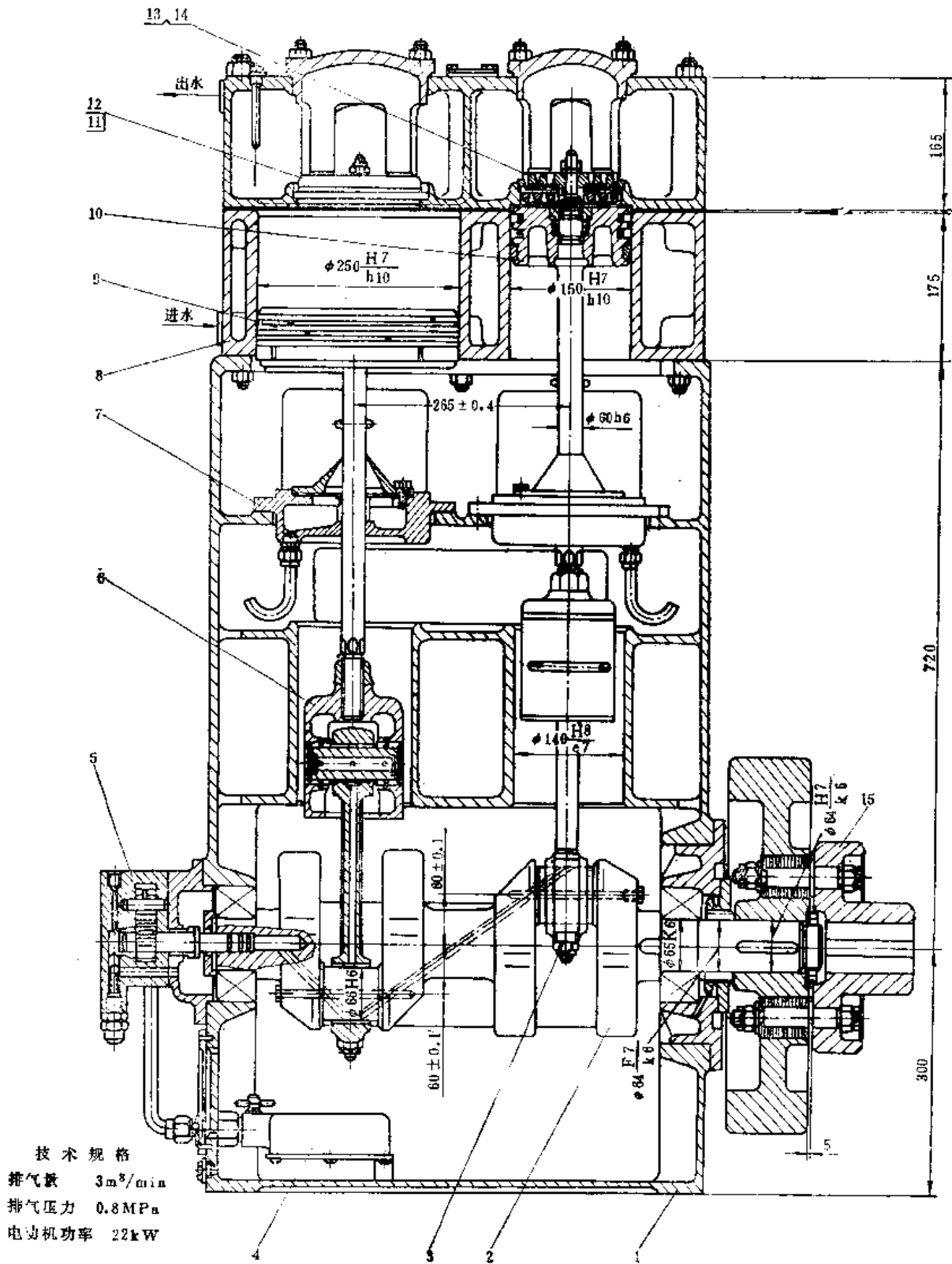


图16-2-2 2Z-3/8-1型无油润滑空气压缩机 (沈阳气体压缩机厂制造)

- 1—机身 2—曲轴 3—连杆 4—滤油盒 5—油泵 6—十字头 7—刮油器 8—I、II级气缸 9—I级活塞
10—II级活塞 11—I级吸气阀 12—I级排气阀 13—II级吸气阀 14—II级排气阀 15—联轴器

技术规格

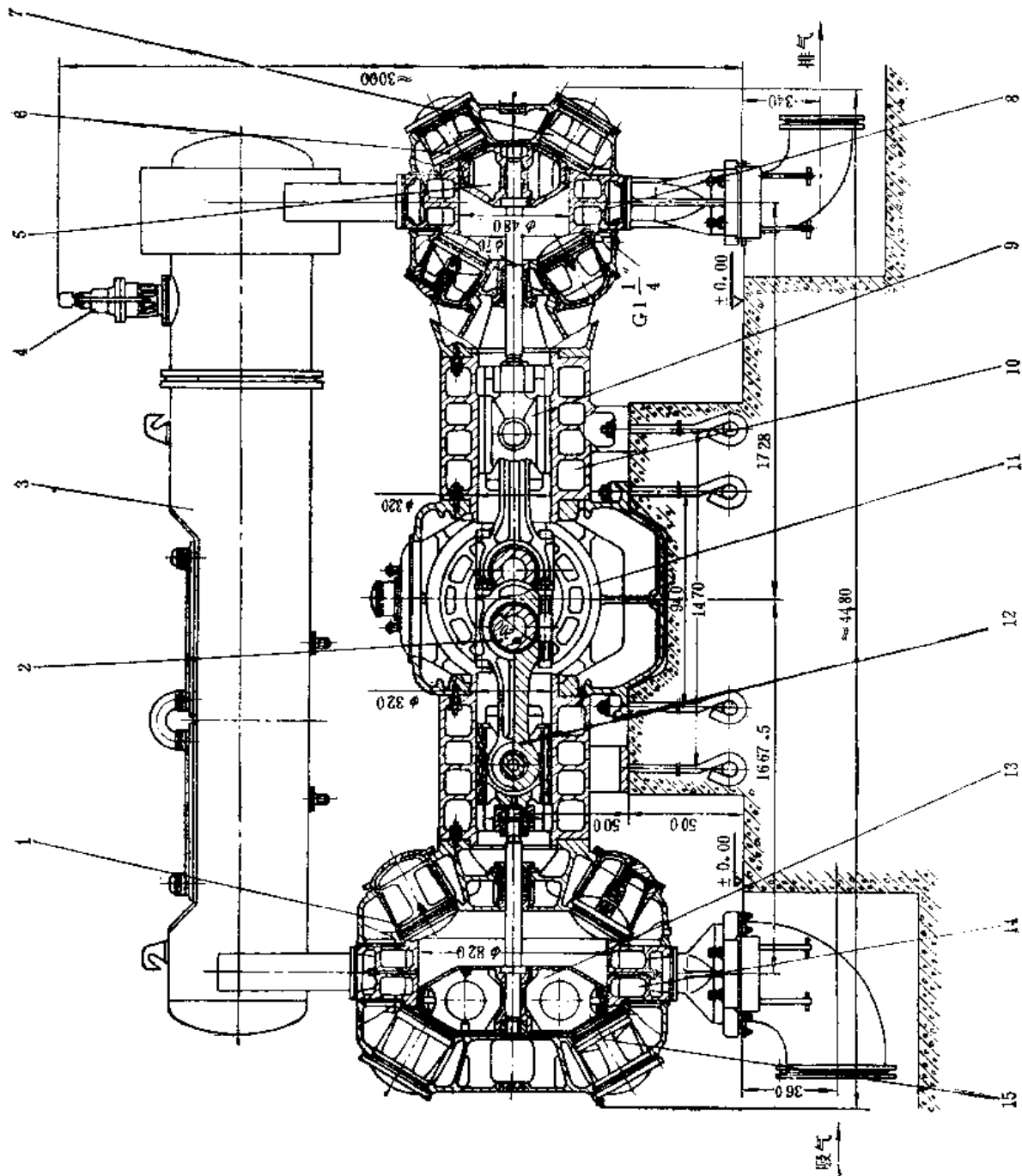
排气量 103m³/min
 排气压力 0.8MPa
 电动机功率 550kW

图16-2-3 2D 12-100/8型

空气压缩机

(柳州空气压缩机厂制造)

- 1—Ⅰ级排气阀 2—曲轴
- 3—中间冷却器 4—安全阀
- 5—Ⅱ级活塞 6—Ⅰ级吸气
- 阀 7—Ⅱ级排气阀 8—Ⅱ
- 级气缸 9—十字头 10—中
- 体 11—机身 12—连杆
- 13—Ⅰ级活塞 14—Ⅰ级气
- 缸 15—Ⅰ级吸气阀



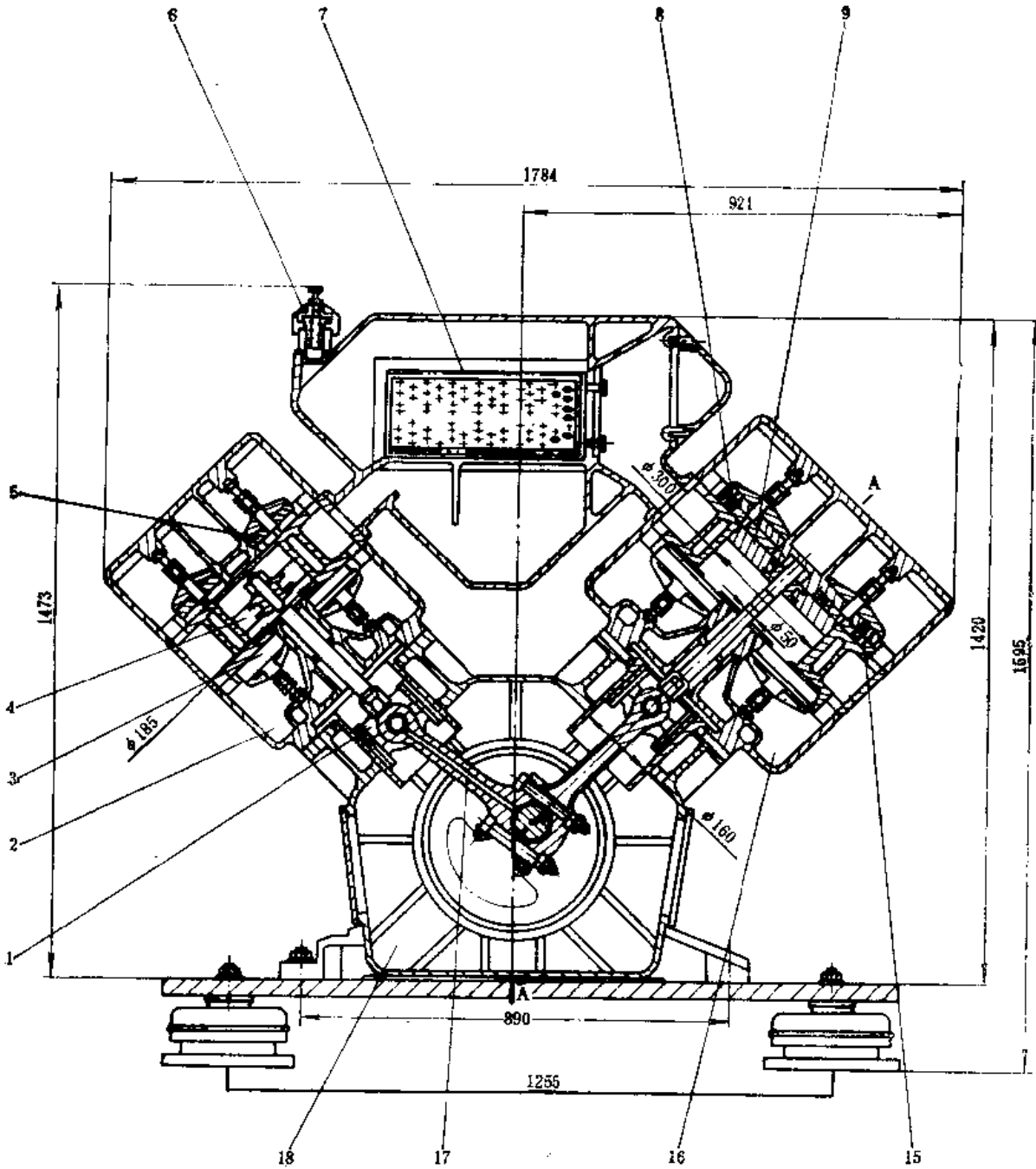
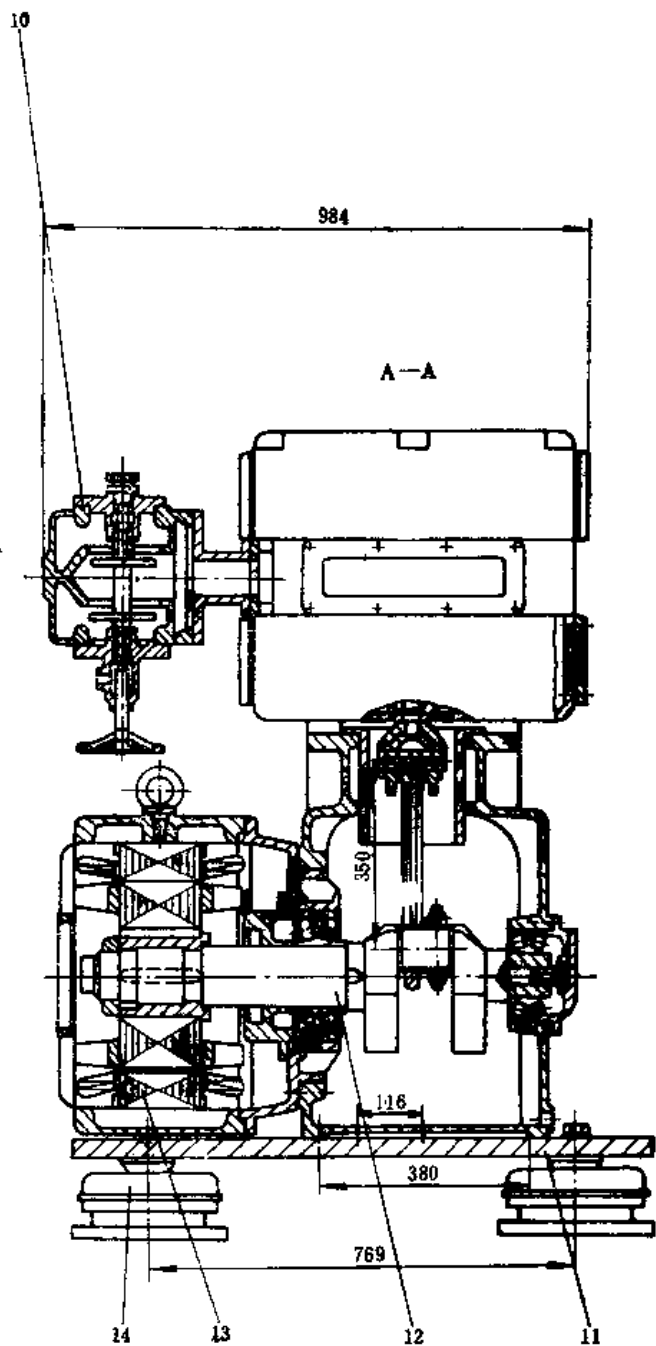


图16-2-5 2V2-10/7型无基础

- 1—十字头 2—Ⅱ级气缸 3—Ⅱ级排气阀 4—Ⅱ级活塞 5—Ⅱ级
10—减荷阀 11—底板 12—曲轴 13—电动机 14—减震



技术规格
 排气量 $10\text{m}^3/\text{min}$
 排气压力 0.7MPa
 电动机功率 55kW

空气压缩机 (南京压缩机厂制造)

吸气阀 6—安全阀 7—中间冷却器 8—I级排气阀 9—I级活塞
 15—I级吸气阀 16—I级气缸 17—连杆 18—曲轴箱

技术规格

排气量 1.6m³/min

排气压力 1.0~1.5MPa

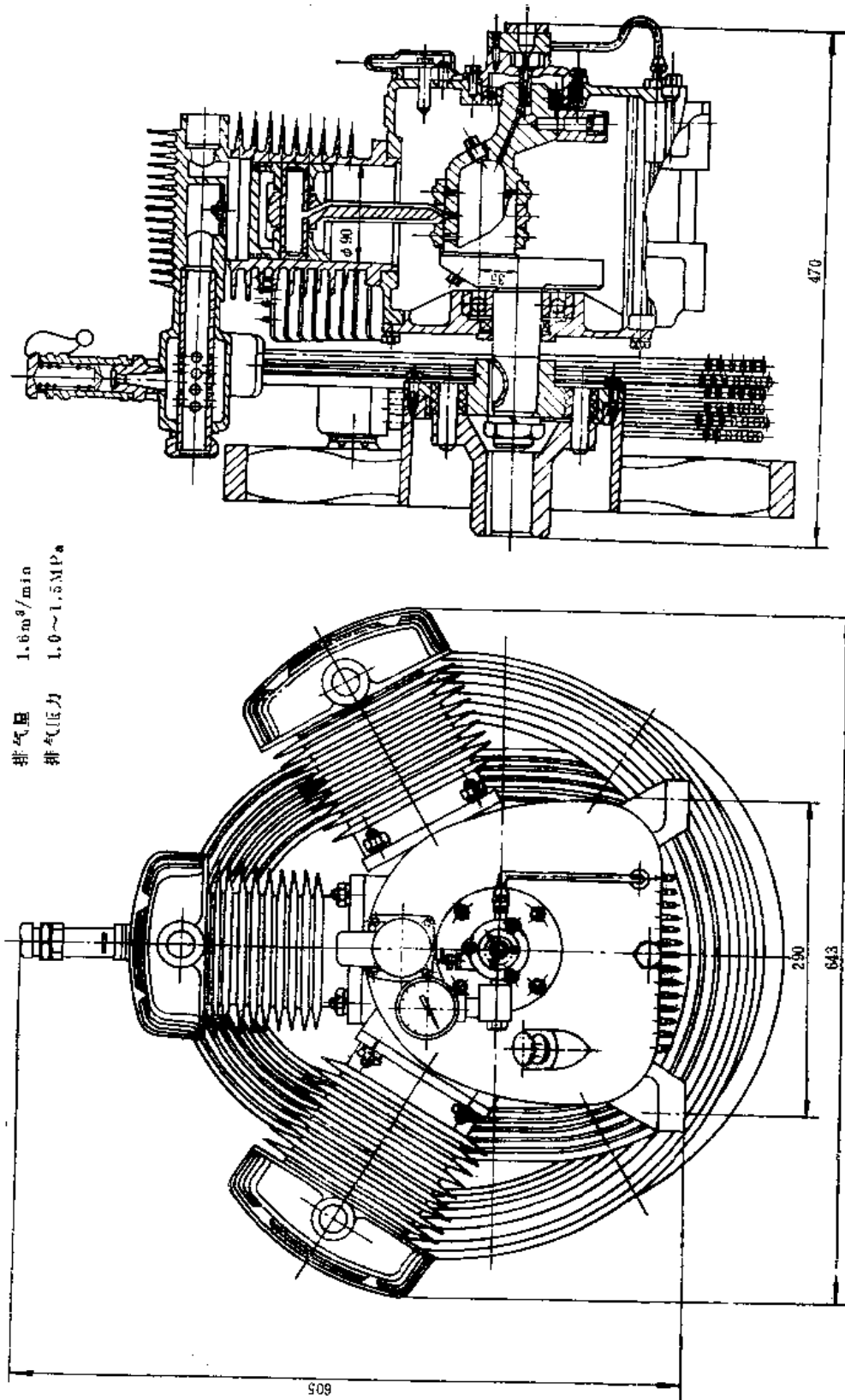


图16-2-6 两级风冷W型空气压缩机

以大大地提高。使机器尺寸和重量均可减小。

2) 由于相对两列活塞力方向相反, 能互相抵消, 改善了主轴颈受力情况, 减小主轴颈和主轴承间的磨损。

3) 可以采用较多列数。

(四) 角度式结构

角度式压缩机的气缸中心线间有一定的夹角, 但不等于 0° 或 180° 。按气缸中心线的位置不同, 有L型, V型, W型和扇型等。

1. L型结构

L型压缩机见图16-2-4(见书后), 相邻两列气缸夹角为 90° , 而分别作垂直与水平布置。图中为当前我国空气压缩机产量最大, 使用面最广的4L-20/8型空气压缩机。I级气缸作垂直布置, II级气缸作水平布置, 中间冷却器设置在机身上。结构紧凑, 效率高。所以, 中、大型空压机多数采用这种结构。

2. V型结构

V型压缩机见图16-2-5。同一曲拐两列气缸中心线的夹角有 60° 、 75° 、 90° 之分。 90° 时平衡性最佳, 但为使结构紧凑, 做成 60° 的居多。

3. W型结构

W型压缩机见图16-2-6。同一曲拐上相邻两列的气缸中心线夹角为 60° , 其动力平衡性最好。

4. 扇型结构

扇型压缩机见图16-2-7。同一曲拐上相邻两列气缸中心线夹角为 45° 时, 平衡性最好。

V型, W型及扇型结构压缩机多数为小型和微型压缩机。

各种结构类型的往复式压缩机, 各有其特色, 不同的用途和运行条件, 应选用不同结构型式的压缩机。就其共性方面, 不同结构之间在相同条件下, 还是可以作相对的比较。表16-2-1为各类型压缩机相对于卧式压缩机特点的比较。

表16-2-1 各类型压缩机特点比较

项 目	卧 式	立 式	角 式	对称平衡式
1. 转速	100	200	200	200
2. 重量	100	70	68	70
3. 基础重量	100	49	49	53
4. 占地面积	100	45	50	62
5. 横向振动	大	小	较大	小
6. 垂直振动	小	大	较大	小
7. 零部件数量	少	较少	较少	多
8. 装卸工作	难	难	较易	易
9. 维修工作	方便	不便	一般	方便
10. 管路配置	易	难	较易	易
11. 产品变型	难	难	较易	易

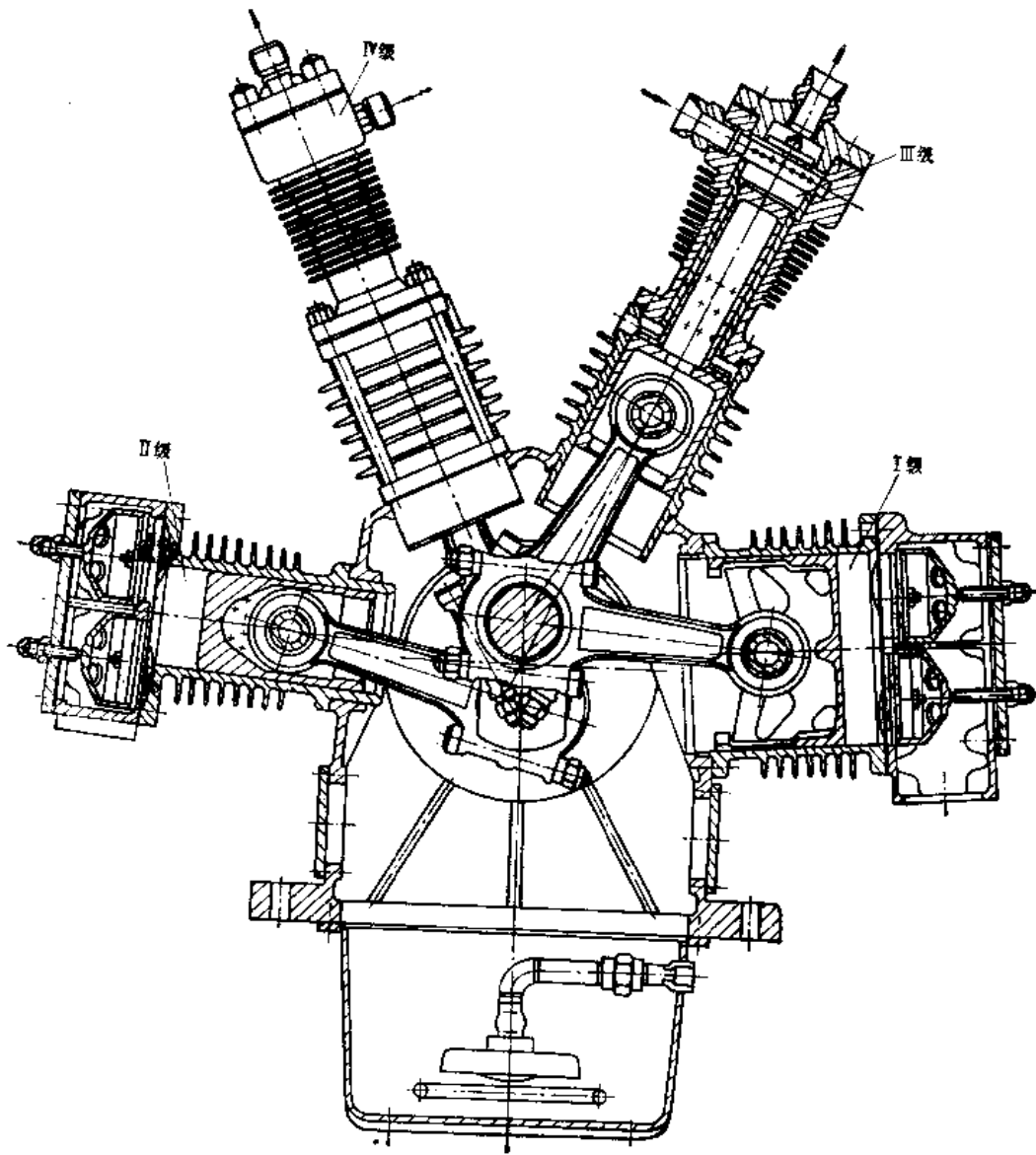
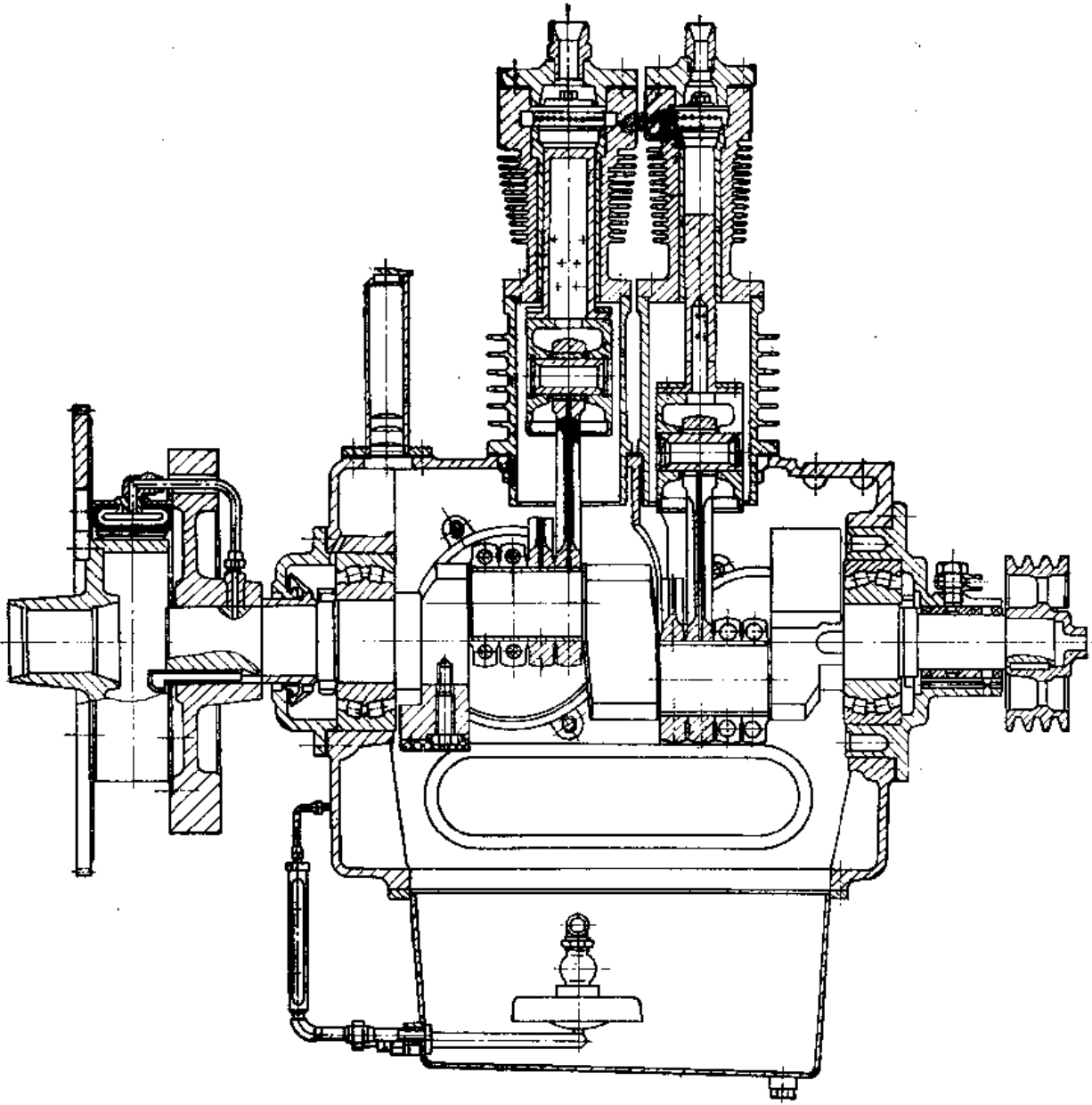


图16-2-7 扇



型空气压缩机

活塞式压缩机的驱动机及其特点和应用范围见表16-3-1。

第3节 活塞式压缩机的驱动

活塞式压缩机的驱动,包括驱动机和传动装置。

(二) 活塞式压缩机的传动

活塞式压缩机和驱动机之间的传动方式、特点和应用范围见表16-3-2。

(一) 活塞式压缩机的驱动机

表16-3-1 驱动机种类及其特点和应用范围

驱动机的型式	特点	同步转速 (r/min)	变速范围	过载力矩/ 额定力矩	启动力矩/ 额定力矩	启动电流/ 额定电流	效率 (%)	使用范围
鼠笼式电动机	结构简单紧凑,价廉,使用方便,工作可靠,但功率因数低	$\frac{3000}{N}$ $N=1\sim 8$	不变	1.6~3.0	0.8~2.2	4.5~7.0	70~94	300kW 以下
绕线式电动机	启动装置复杂,价格高	$\frac{3000}{N}$ $N=1\sim 8$	不变	1.8~3.0	0.6~1.0	1.5~2.0	88~94	400kW 以下
同步电动机	能改善电网功率因数,价高,管理水平要求高	$\frac{3000}{N}$ $N=2\sim 20$	不变	1.5	0.4~1.0	3.0~5.0	93~97	200kW 以上
柴油机	结构复杂,维修不便,可变速	600~1500	100~60%	1.2	0	—	热效率 32	<150kW

表16-3-2 活塞式压缩机的传动方式、特点及其应用范围

传动方式	性质	中间元件	主要特点	功率范围 (kW)
间接	弹性	V带	可隔距传动,过载安全,维护简单,效率低,寿命短,由于皮带经摩擦,产生静电效应,故不适用于有爆炸的场所	0.5~200
	刚性	齿轮	结构紧凑、复杂,效率高,有噪声,价格昂贵	>200
直接	弹性	联轴器	结构简单、紧凑,安装要求低	<400
	刚性	离合器	适用于无启动力矩的启动中,过载安全,结构复杂	<200
间接	刚性	联轴器	结构简单、紧凑,制造和安装要求高,检修不便	0.5~4000
	弹性	同轴	结构最简单紧凑,但安装检修不便	

第4节 活塞式压缩机的冷却

活塞式压缩机的冷却装置：气缸有水套或散热片；气路有中间冷却器和后冷却器等。冷却剂通常是水和空气，只有个别情况采用油或其他液体。除小型的、移动式的压缩机及中型压缩机当处在缺水地区运行时采用空气冷却以外，大多数压缩机采用水冷却。

(一) 冷却系统

冷却系统是指冷却剂在流程中所经过的系统。在整个冷却系统中，中间冷却得好与坏，对机器影响最大，一般要求最冷的冷却剂首先通过中间冷却器，然后，由中间冷却器分别流向气缸及其他需要冷却的部位。

气缸的冷却通常只能导走摩擦产生的热量，使气缸壁不致因温度过高而影响润滑油的性能。因此，一般要求进入气缸的冷却剂的温度不要低于气缸内压缩介质的临界温度。

后冷却器的要求要低一些，一般能将排出的气体冷却至60℃左右就可以了。

油冷却器要求油温为50℃左右。

基于以上要求，冷却系统可以按以下形式制作。

1. 串联式冷却系统

串联式冷却系统见图16-4-1。冷却水首先进入中间冷却器，然后进入一级气缸水套下部，再从对角上部接到Ⅱ级气缸水套下部，从Ⅱ级气缸水套上部出来接到后冷却器。

串联式冷却系统的配管最简单，但仅适用于两级压缩机，用于多级压缩机时后面各级的冷却效果较差。

2. 并联式冷却系统

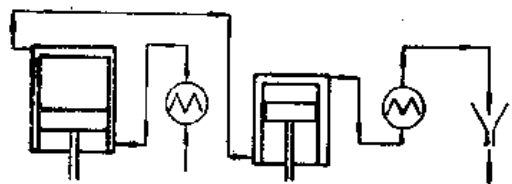


图16-4-1 串联式冷却系统

并联式冷却系统见图16-4-2。冷却水分别通入各冷却部位，适用于多级压缩机，中间冷却器能得到较好的冷却效果，且水量调节方便易行。但配管比较复杂。

3. 混联式冷却系统

混联式冷却系统见图16-4-3，冷却水首先进入各级中间冷却器，然后由中间冷却器分别进入各个气缸水套。混联式具有串联式和并联式的优点，不受级数的限制。

图16-4-4为两级压缩机混联式冷却系统。冷却水首先进入中间冷却器，然后中间冷却器出来的水分两路进入Ⅰ、Ⅱ级气缸水套，两缸水套出水汇合流入后冷却器。这种设计的优点是：两缸进水温度相同，流量易于控制。

(二) 对冷却水水质的要求

对冷却水水质的一般要求：

- 1) 悬浮机械杂质不超过25mg/L；
- 2) 有机物含量不超过25mg/L；
- 3) 暂时硬度不超过10mg/L；
- 4) 油不超过5mg/L；
- 5) 冷却水中的氢离子浓度pH值在6.5~9.5范围内。

当冷却水的悬浮机械杂质，有机物含量和暂时硬度过大时，应进行过滤和软化处理。

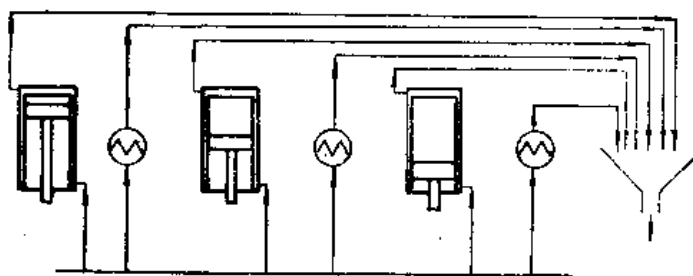


图16-4-2 并联式冷却系统

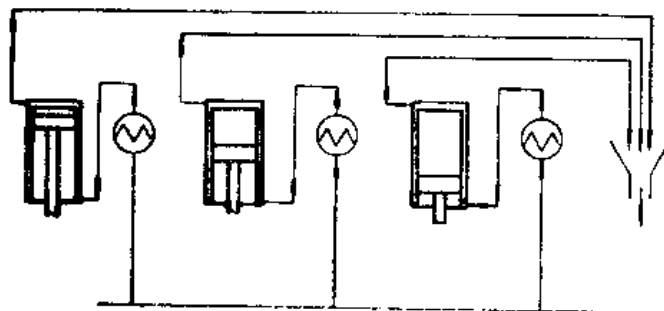


图16-4-3 混联式冷却系统

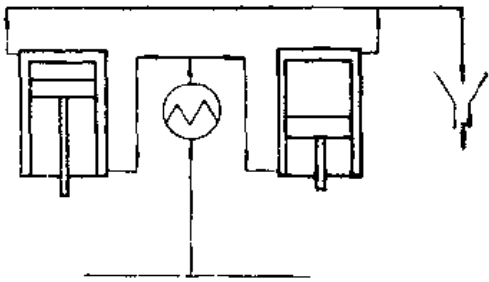


图16-4-4 两级混联式冷却系统

冷却水的软化处理，应根据水的暂时硬度的数值加入适量的磷酸钠。一般采用表 16-4-1 所列数量。

表16-4-1 磷酸钠加入量

水的暂时硬度 (mg/L)	磷酸钠 (g/L)
< 8	0.5
9~10	1.0
> 16	1.5~2.0

(三) 冷却水消耗量的计算

冷却水的消耗量，除产品使用维护说明书中有规定以外，可按以下公式进行计算。

冷却器内气体传出的总热量为：

$$Q_c = Q_1 + Q_2 \quad (16-4-1)$$

式中 Q_c ——单位时间气体传出的总热量 (J/h)；
 Q_1 ——气体冷却时单位时间放出的热量 (J/h)；
 Q_2 ——单位时间水蒸汽冷却和部分冷凝时放出的热量 (J/h)。

$$Q_1 = W_g c_p (t_1 - t_2) \quad (16-4-2)$$

式中 W_g ——单位时间内流经冷却器的气体质量 (kg/h)；

t_1, t_2 ——冷却器入口和出口处气体温度 (°C)；

c_p ——气体温度 t_1, t_2 的平均定压比热容 (J/kg·°C)。

$$Q_2 = W_g [1880(x_1 t_1 - x_2 t_2) + q_v - v t_2(x_1 - x_2)] \quad (16-4-3)$$

式中 1880——水蒸汽比热容 (J/kg·°C)；
 q_v ——水的汽化潜热 (J/kg)，当 $t = 0^\circ\text{C}$ 时， $q_v = 2.5 \times 10^6$ (J/kg)；
 v ——汽化潜热在不同温度时的变化系

数， $v = 4190$ (J/kg·°C)；

x_1, x_2 ——气体在冷却器入口和出口处的绝对湿度。其计算公式如下：

$$x_1 = \frac{R_g}{R_w} \frac{\varphi p_{s1}}{p_1 - \varphi p_{s1}}$$

$$x_2 = \frac{R_g}{R_w} \frac{p_{s2}}{p_2 - p_{s2}}$$

式中 φ, p_1 ——冷却器之前的级吸入气体的相对湿度和压力 (Pa)；

p_2 ——冷却器中的气体压力 (Pa)；

p_{s1}, p_{s2} ——冷却器之前的级进气温度下的饱和水蒸汽压，以及冷却后温度的饱和水蒸汽压 (Pa)；

R_g, R_w ——气体和水蒸汽的气体常数。

冷却器水消耗量为：

$$W_c = \frac{Q_c}{c(t_2 - t_1)} \quad (16-4-4)$$

式中 W_c ——冷却器水消耗量 (kg/h)；

t_1, t_2 ——冷却水的进、出口温度 (°C)；

c ——冷却水的比热容 (J/kg·°C)。

气缸冷却水消耗量的计算公式是：

$$W_s = \frac{860kP_{id}}{\Delta t} \quad (16-4-5)$$

式中 W_s ——气缸冷却水消耗量 (kg/h)；

P_{id} ——气缸指示功率 (kW)；

Δt ——气缸进、出水温差 (°C)，一般 $\Delta t = 5 \sim 10^\circ\text{C}$ ；

k ——冷却导走的热量相对值，常压进气下：

I 级、II 级气缸， $k = 0.18 \sim 0.13$ ；

III 级、IV 级气缸， $k = 0.12 \sim 0.08$ ；

V 级、VI 级气缸， $k = 0.06 \sim 0.04$ 。

第 5 节 活塞式压缩机的润滑

压缩机各摩擦面均需要进行润滑。除采用固体自润滑材料外，润滑剂大多数是液体。液体润滑剂不仅能润滑摩擦表面，减少摩擦和磨损；在气缸中还能起到阻塞气体泄漏的作用；在曲柄连杆机构中，对摩擦表面还有清洗和冷却的作用。

压缩机的润滑部位有气缸、填料函部分和曲柄连杆机构部分。

(一) 气缸和填料函部分的润滑

1. 润滑方式

气缸和填料函部分的润滑，按润滑油达及气缸镜面的方式，可分为三种：

(1) 飞溅润滑 一般用于无十字头型单作用压缩机。润滑油依靠连杆大端盖上装设的扁油勺，在曲轴旋转时将润滑油飞溅起来的油雾及油滴，飞至那些需要润滑处。低压的第一级在吸气过程中气缸里产生负压，因此，飞溅起来的油雾或油滴很容易被吸入缸内，并在压缩气体高温作用下挥发，然后和被压缩气体一道排出压缩机。所以，飞溅润滑往往容易出现耗油过多现象。飞溅润滑的优点是结构简单，其缺点是油耗难于控制。

(2) 压力润滑 压力润滑多用于有十字头型压缩机，是应用最广泛的一种润滑方式。润滑油由专门的柱塞泵注入气缸。虽然结构比较复杂，但注油点和注油量是可以控制的，也是很可靠的。

(3) 喷雾润滑 这是在气缸进气接管处，喷入一定量的润滑油和气体混合进入气缸，一部分粘附在气缸镜面供润滑用，其余部分随同气体一起排出气缸。另外，由于油气密切混合，极容易氧化和积炭。尽管喷雾润滑结构简单，目前应用并不多见。

2. 润滑油的选择

压缩机气缸用润滑油见表16-5-1。压缩机油的性能指标见表16-5-2。

我国压缩机油的牌号及其主要指标见表16-5-2所列。

表16-5-1 气缸润滑油的选择

压缩介质	对润滑油的要求	润滑油	代用品
空气	因含有氧气，对油质的抗氧化性能要好，油的闪点应比最高排气温度高40℃，应是矿物油	压缩机油，冬季多用HS13，夏季多用HS19	压力<0.8MPa时，用N68机械油；压力>35MPa时，用硅酮油
氮气、氢气、氦气混合气	这些气体对润滑油无特殊影响，选压缩空气时能使用的油即可	压缩机油，冬季多用HS13，夏季多用HS19	低压用HG-11高压用HG-24饱和气缸油
煤气、焦炉煤气	由于煤气中杂质较多，容易弄脏润滑油，所以一般用再生油润滑，但油量应加大	再生压缩机油	用HG-11饱和气缸油或用N68机械油代替
氧气	氧能使矿物油激烈氧化，而造成爆炸，因而不能用矿物油	蒸馏水中加入5%~8%工业甘油	现在采用固体润滑材料制活塞环填料实现无油润滑
乙炔气	压缩机油已能满足要求	压缩机油	

表16-5-2 压缩机油性能指标 (SY1216-77)

项 目	性 能 指 标	
	HS-13	HS-19
运动粘度100℃ (m ² /s)	(11~14) × 10 ⁶	(17~21) × 10 ⁶
闪点 (开口) (°C)	不低于 215	240
酸值 (KOH) (mg/g)	不大于 0.15	0.10
氧化安定性(氧化沉淀酸)(%)	不大于 0.30	0.20
腐蚀试验 (g/m ²)	不大于 60	10
灰分 (%)	不大于 0.015	0.01
水分	无	无
机械杂质 (%)	不大于 0.007	0.007

3. 润滑油消耗量的计算

气缸和填料函部分润滑油的消耗量，分别计算如下：

1) 一个气缸的油耗量为：

$$Q_1 = 1.2 \pi D(S + l_1)nk \quad (16-5-1)$$

式中 Q_1 ——一个气缸的油耗量 (g/h)；

D ——气缸直径 (m)；

S ——行程 (m)；

l_1 ——活塞厚度 (m)；

k ——每100m²摩擦面积的耗油量 (g)，由

图16-5-1按压力差 Δp 查取。

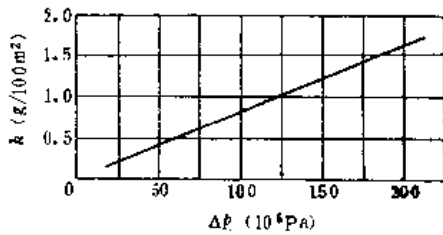


图16-5-1 单位面积耗油量

2) 一组填料函的油耗量为：

$$Q_2 = 3 \pi d(S + l_2)nk \quad (16-5-2)$$

式中 Q_2 ——一组填料函油耗量 (g/h)；

d ——活塞杆直径 (m)；

l_2 ——填料函轴向总长 (m)。

若终了压力达5~10MPa的压缩级，油耗量应比式(16-5-1)所计算的结果增加1.5~2倍；而终了压力达22~35MPa时，则应增加3~4倍。

煤气压缩机的润滑油耗量可增加50%，对未经充分清理的焦炉煤气压缩机甚至可增加到2~3倍。

新压缩机在气缸与活塞跑合期间，润滑油耗量可提高2倍；修理活塞部件或更换活塞环后，润滑油耗量可提高1.5倍。

我国饱和气缸油牌号及其主要质量指标见表16-5-3。

表16-5-3 饱和气缸油 (GB448—68)

项 目	性 能 指 标	
	HG-11	HIG-24
运动粘度 (100°C) (m ² /s)	9~13	20~28
闪点 (°C)	不低于 215	240
凝点 (°C)	不高于 5	15
酸值(KOH)(mg/g)	不大于 0.25	—
残炭, %	不大于 0.8	2.0
水溶性酸及碱	无	无
灰分 (%)	不大于 0.02	0.03
机械杂质 (%)	不大于 0.007	0.1
水分 (%)	不大于 痕量	0.05

(二) 曲柄连杆机构部分的润滑

1. 润滑方式

曲柄连杆机构部分的润滑部位主要是主轴承和主轴颈，连杆大端瓦和曲柄销，连杆小头衬套和活塞销或十字头销，以及十字头滑板和滑道等处摩擦副。按润滑油达及摩擦面的方式，有以下形式。

(1) 飞溅润滑 这种式与气缸、填料函部分的飞溅润滑相同。但在连杆大端和小头由特设的导油孔(或导油管)，将润滑油导至摩擦面进行润滑。

(2) 压力润滑 这种方式是靠油泵将润滑油泵至摩擦面进行润滑的。泵油流程一般为：

润滑油经粗滤器→油泵→精滤器→冷却器→放油阀→润滑点。

泵油压力一般在0.15~0.3MPa之间，最低不小于0.08MPa。滤清器很重要，它用来清除油中的

磨屑、尘埃及氧化胶状物，保持润滑油的清洁，防止机械零件早期磨损和油道的堵塞。

2. 润滑油的选择与更换

曲柄连杆机构的润滑用油：飞溅润滑方式的压缩机应使用与气缸相同的润滑油。压力润滑方式的压缩机应使用GB443—84标准机械油。

(1) 机械油的选择 依照压缩机功率按表16-5-4选用。

表16-5-4 机械油的选用

压缩机功率 (kW)	夏 季	冬 季
<500	N68	N46
>500	N100或N150 (气温高地区)	N68

我国机械油的牌号和性能指标见表16-5-5。

表16-5-5 机械油质量指标 (GB443—84)

项 目	质 量 指 标			
	N46	N68	N100	N150
	近 似 旧 牌 号			
	(30)	(40)	(70)	(90)
运动粘度(40℃)(mm ² /s)	41.4~50.6	61.2~74.8	90.0~110.0	135.0~165.0
倾点(℃)	实测	实测	实测	实测
凝点(℃)	不高于 -10	-10	0	0
残炭(%)	不大于 0.25	0.25	0.5	0.5
灰分(%)	不大于 0.007	0.007	0.007	0.007
水溶性酸或碱	无	无	无	无
酸值(KOH)(mg/g)	不大于 0.2	0.35	0.35	0.35
机械杂质(%)	不大于 0.007	0.007	0.007	0.007
水分(%)	无	无	痕迹	痕迹
闪点(开口)(℃)	不低于 180	190	210	220
锈蚀(T3, 100℃, 3h)	合格	合格	合格	合格
总酸(号)	(不深于) 20	20	24	24

(2) 机械油的更换 机械油在使用过程中, 若发现油质恶化, 达到以下指标, 就应更换新油。

- 1) 粘度超过 $\pm 15\%$;
- 2) 灰分大于 0.01% ;
- 3) 酸值(KOH) 高于 1 mg/g ;
- 4) 机械杂质含量高于 0.3% ;
- 5) 残炭增加到 3% ;
- 6) 闪点(开口) 低于 150°C 。

油中有水分, 应立即更换新油。一般情况一年更换一次。正常运行中一年应对润滑油进行 $2\sim 3$ 次分析化验, 每次应按上述各项进行抽样检验。

3. 润滑油量的计算

曲柄连杆机构润滑油的需要量, 一般按润滑油从摩擦表面导走的热量来确定。通常对有十字头压缩机在这部分的摩擦功约为全部摩擦功的 30% , 无十字头型压缩机约为 20% , 则所需的油量为:

$$Q = \frac{(0.2\sim 0.3) P (1 - \eta_m)}{\rho c \Delta t} \times 60 \times 10^3 \quad (16-5-3)$$

式中 Q ——油量(L/min);

P ——压缩机轴功率(kW);

ρ ——润滑油密度, $\rho = 0.9 \text{ kg/L}$;

c ——润滑油比热容, $c = 1884 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$;

η_m ——压缩机机械效率, 有十字头型压缩机,

$\eta_m = 0.9\sim 0.95$; 无十字头型压缩机,

$\eta_m = 0.8\sim 0.85$;

Δt ——润滑油的温升, 一般 $\Delta t = 15\sim 20^\circ\text{C}$

往复式空气压缩机的曲柄连杆机构和气缸填料函部分润滑油总耗量见表16-5-6。

表 16-5-6 空气压缩机润滑油消耗量
(GB7787—87)

排气量 (m^3/min)	3	6~10	20	40	60	100
润滑油耗量 ($\leq (\text{g/h})$)	40	70	105	150	195	255

第 6 节 活塞式压缩机的清洗

(一) 积炭的清洗

气缸、气道、气阀、冷却器、压力容器及管路气流经过的地方, 由于润滑油长时间在高温作用下, 凝聚积炭。它对压缩机的安全运行和效率均有很大的危害。因此, 必须及时清除干净。清除时用

肥皂液(肥皂与清水之比应是 $1:15$)清洗, 切不可用煤油、苯和汽油等可燃油料作清洗剂。

无油润滑压缩机和氧气压缩机用四氯化碳或二氯乙烷作清洗剂, 由于四氯化碳对金属有腐蚀性, 在使用时应用抑制添加剂, 即每升四氯化碳添加 1.34 g 酚和 0.96 g 苯甲酸。

填充聚四氟乙烯制品亦应用四氯化碳清洗剂洗涤。

四氯化碳的物理性质:

化学式	CCl_4
沸点 (101325 Pa)	76.7°C
液体密度 (293 K)	1595 kg/m^3
汽化热	$194.27 \times 10^3 \text{ J/kg}$

(二) 水垢的清洗

气缸水套和冷却管的水垢, 可用 5% 的盐酸溶液清洗。如果冷却管内水垢很厚时, 应先用机械方法清除, 然后酸洗。凡酸洗过的水道均应用苏打溶液中中和, 而后用带压力流水冲净。

(三) 空气滤清器的清洗

滤清器滤网上的污垢用 $5\%\sim 10\%$ 的苛性钠热溶液来清洗。清洗前应先用压缩空气吹扫。清洗后让其干燥, 然后涂上一层薄薄的机械油或透平机油, 不宜过多, 以免滤网过早堵塞。

第 7 节 活塞式无油 润滑压缩机

由于生产的发展, 新工艺的涌现, 旧工艺的改进, 机械化、自动化的广泛应用, 都需要新型压缩机, 其中包括气缸无需润滑油润滑的压缩机。无油润滑压缩机的主要优点是: 压缩气体不被润滑油所污染; 节约大量润滑油; 节省为清除压缩气体中的润滑油而增设复杂的除油设备。此外, 可以供给完全不允许接触矿物油的氯气、氯化氢、二氧化硫及氧气等压缩之用。所以对无油润滑压缩机的需要量日渐增多。这类压缩机按密封结构可以分为两类。

(一) 非接触式无油润滑压缩机

这类结构的密封零件不与气缸壁相接触, 而由狭小缝隙内的气流阻力产生密封效应。常用的型式是活塞的迷宫密封, 见图16-7-1。

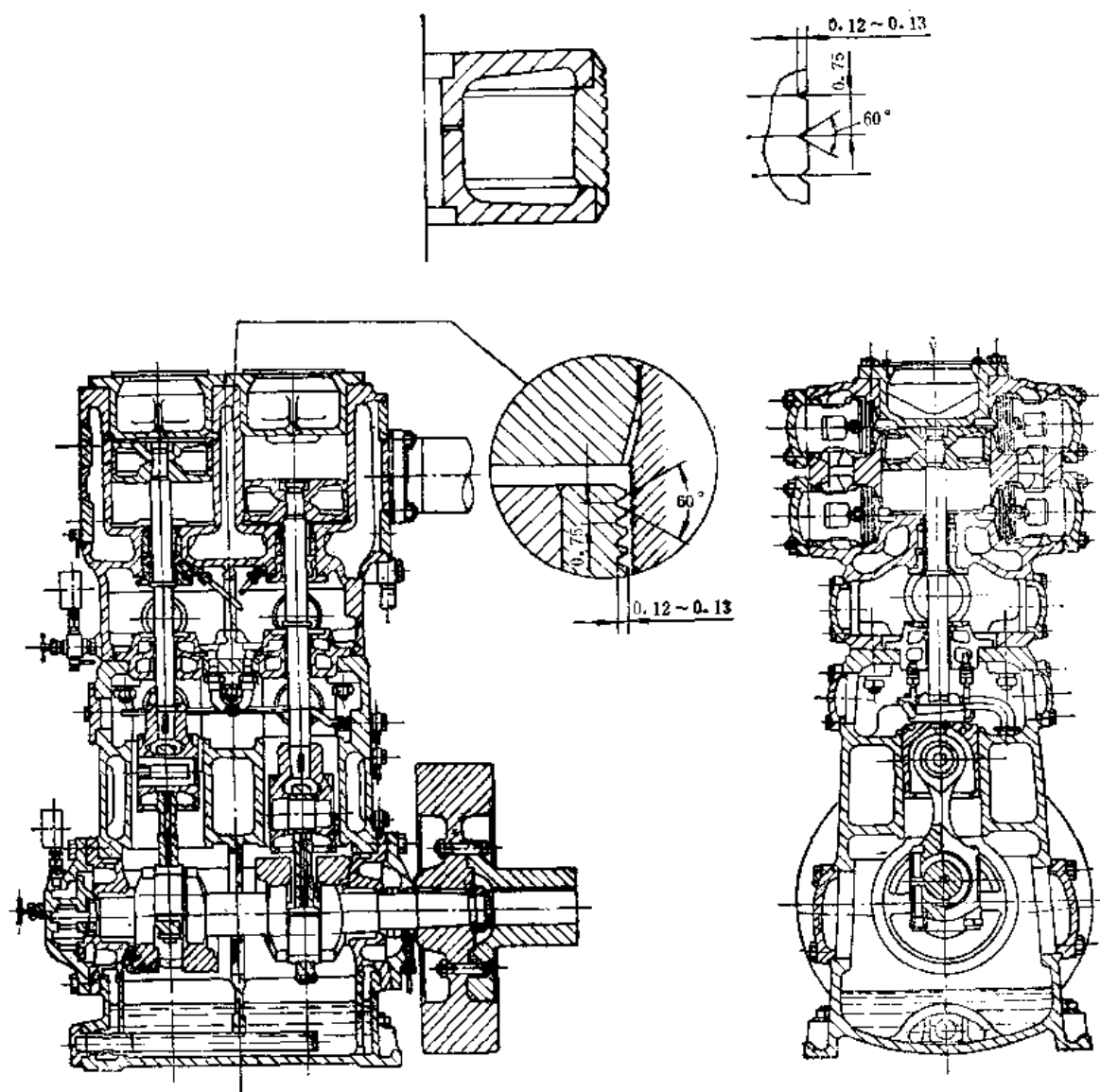


图16-7-1 立式两列迷宫式压缩机

迷宫密封的泄漏比较大，热效率较低，功率消耗比相同规格的有油润滑压缩机约大10%左右。

这类压缩机都设计成立式。为使活塞和气缸壁相接触，活塞杆设计有特殊的导向装置，它通常设置在气缸与滑道之间。同时机身的刚性要比一般压缩机要好，以防止由于机身的弹性而产生振动时致使活塞杆产生横向摆动。活塞是组合式的，迷宫槽部分由铜合金制成。填料函一般不用迷宫密封结构，而是用石墨或填充聚四氟乙烯制成密封元件进行密封。

迷宫压缩机由于活塞杆长，机器较高，很难保证整台机器同轴，因此，安装技术要求很高。

这类迷宫密封的压缩机，一般工作压力不超过15MPa，但适应压缩高温、高湿或超低温的气体。

(二) 接触式无油润滑压缩机

这类结构的密封元件贴紧气缸镜面，阻塞活塞与气缸间的间隙密封压缩了的气体。现时常用填充聚四氟乙烯制造活塞环作密封元件。其润滑机理是靠聚四氟乙烯塑料膜的转移来完成的。

这类压缩机的活塞上除装有一定数量的活塞环以外，还装有支承环（有称导向环，或称浮动环）以保证活塞不与气缸壁相碰。同时，为避免曲柄连杆机构的润滑油沿着活塞杆爬入气缸，因此，活塞

杆必须至少加长一个行程的长度。某些有特殊要求的气体,如氧气、高纯度(纯度在99.999%)氮气、氟气等更需要加长活塞杆和中间筒的长度。并在活塞杆上装有挡油盘;中间筒设计成加长单室或双室结构,双室结构的中间隔墙装有密封装置,有的在其间设置抽真空室,使其间通过的活塞杆在负压作用下剥离杆上残留的油膜,保证不让一点油星进入气缸;有的中间筒在近气缸侧的一室,设有充气室,防止缸内气体外泄,或制止接筒内的空气渗入气缸。

由于填充聚四氟乙烯的导热性能很差(一般为 $0.32\sim 0.57\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$),因此,这类压缩机的冷却是十分重要的。特别是活塞杆的冷却尤为重要。气缸冷却水的进水温度一般要比进气温度高出 $5\sim 8^\circ\text{C}$ 。

这类压缩机的结构与有油润滑压缩机基本相同,多数为十字头型。小型机以立式为主,中型机

则以角度式居多,大型机一般制成卧式结构。

接触式无油润滑压缩机,由于干摩擦,其摩擦功要比充分液体润滑压缩机要大些,一般在 $3\%\sim 5\%$ 左右。

第8节 空气压缩机站设备

空气压缩机站设备除主机空气压缩机外,尚有以下主要附属设备。

(一) 空气滤清器

空气压缩机普遍使用纸质滤清器和金属滤清器。排气量在 $12\text{m}^3/\text{min}$ 以下的空气压缩机,多用纸质滤清器(见图16-8-1),且与内燃机的滤清器通用。

纸质滤清器的滤芯基本参数系列见表16-8-1。

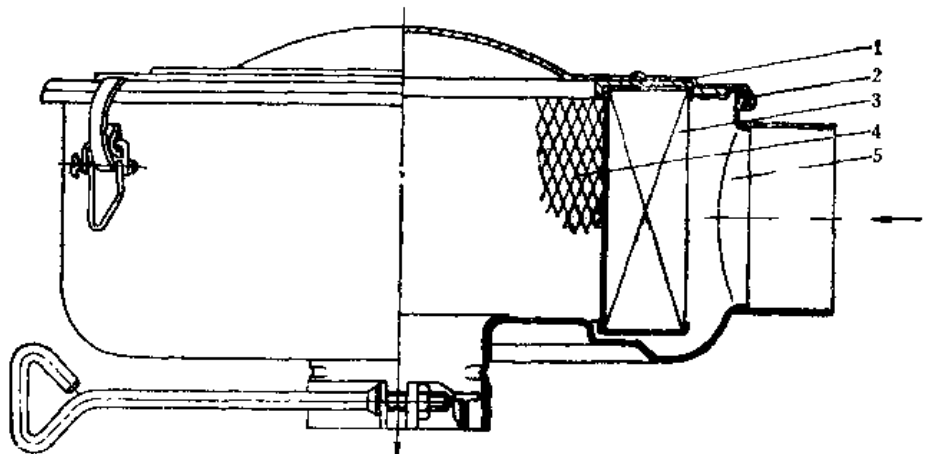


图16-8-1 空气滤清器结构

1—密封垫 2—盖 3—纸质滤芯 4—金属丝网 5—壳体

表16-8-1 纸质滤芯基本参数系列

型 号	排气量 (m^3/h)	外 径 D (mm)	高 H (mm)	折 宽 B (mm)	折 数 n	滤芯表面积 F_f (cm^2)
空1112	30~75	110	125	24	60	3400
空1214	50~100	120	140	24	70	4430
空1317	90~150	130	170	30	69	6700
空1517	140~240	150	170	30	89	8650
空1706	40~110	170	65	35	100	3920
空1712	100~200	170	120	35	100	7770
空2007	80~170	200	75	35	130	6000
空2012	120~250	200	120	35	130	10100
空2410	150~300	240	100	35	174	10960
空2412	200~340	240	120	35	174	13390
空2712	300~500	270	120	50	202	22220
空2716	400~760	270	160	50	202	30300

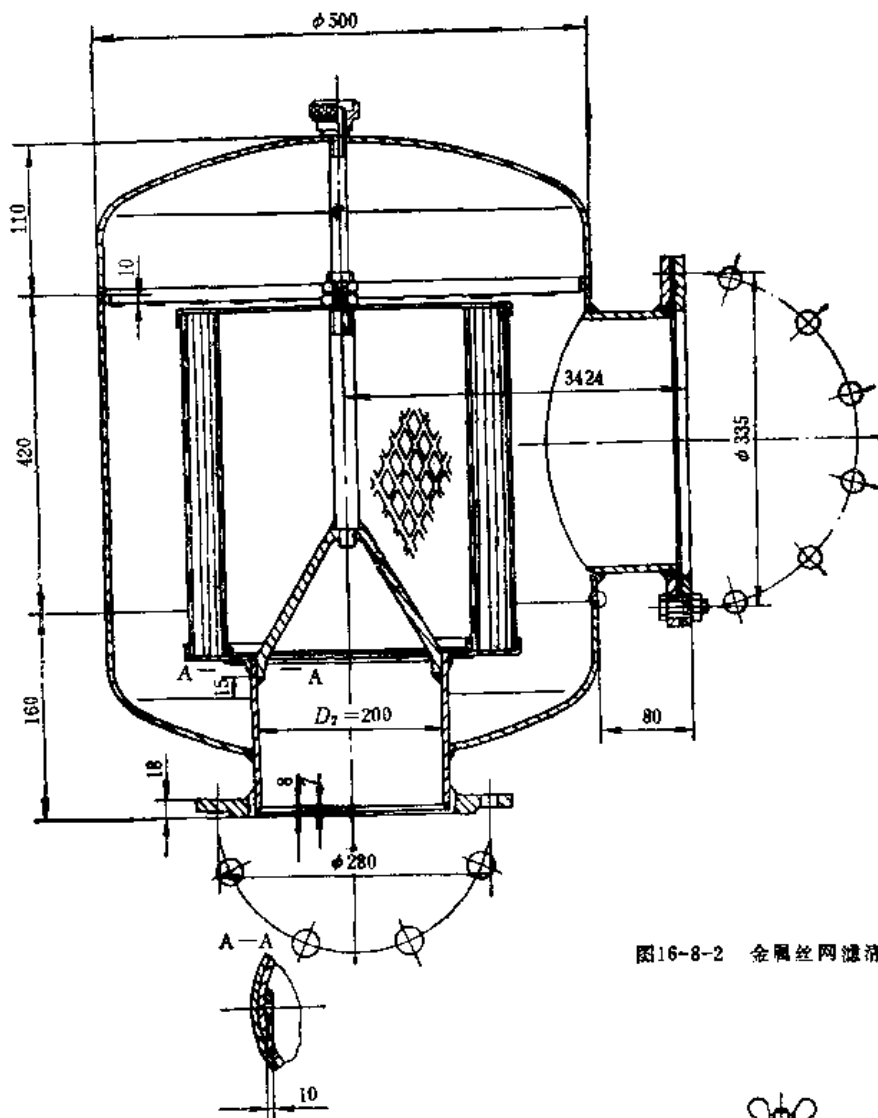


图16-8-2 金属丝网滤清器

排气量为 $10\sim 40\text{m}^3/\text{min}$ 的空气压缩机，用金属丝网（见图16-8-2）或金属屑滤清器（见图16-8-3）；

排气量在 $60\text{m}^3/\text{min}$ 以上的空气压缩机，用组合式金属滤清器（见图16-8-4）。

为提高金属滤清器的吸尘能力，可在金属表面涂上一层N22机械油。或在滤清器壳体下部盛有适度的机械油，见图16-8-2。其目的是用来吸附空气中的尘埃。

滤清器的滤清表面积可按下式计算：

$$F_f = \frac{V}{60c_f} \quad (16-8-1)$$

式中 F_f ——滤清器滤清表面积 (m^2)，
 V ——空气压缩机的排气量 (m^3/min)，
 c_f ——气体通过滤芯的速度。

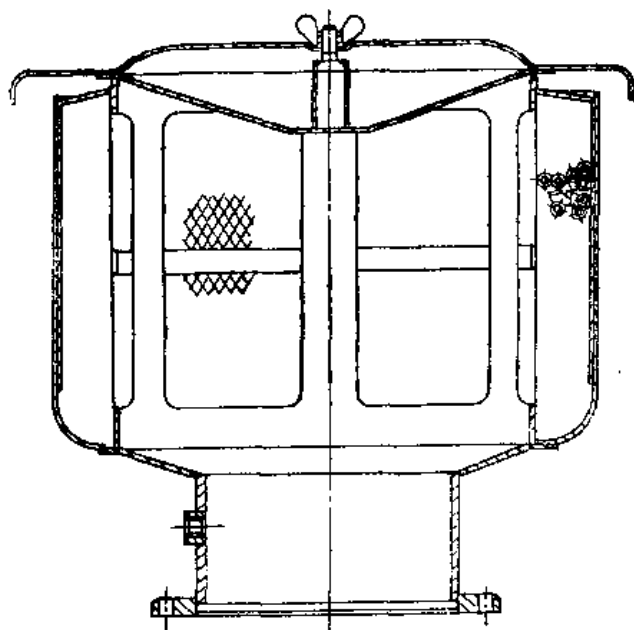


图16-8-3 金属屑滤清器

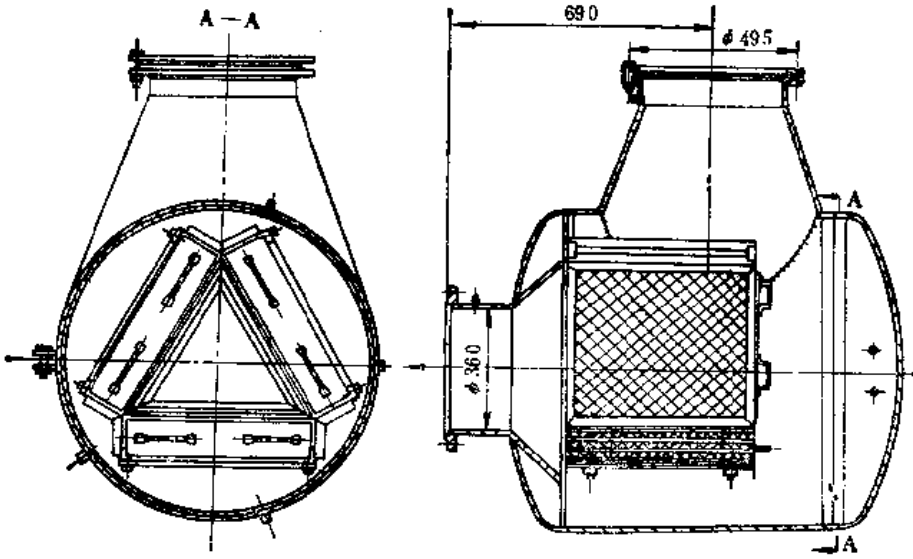


图16-8-4 组合式金属过滤器

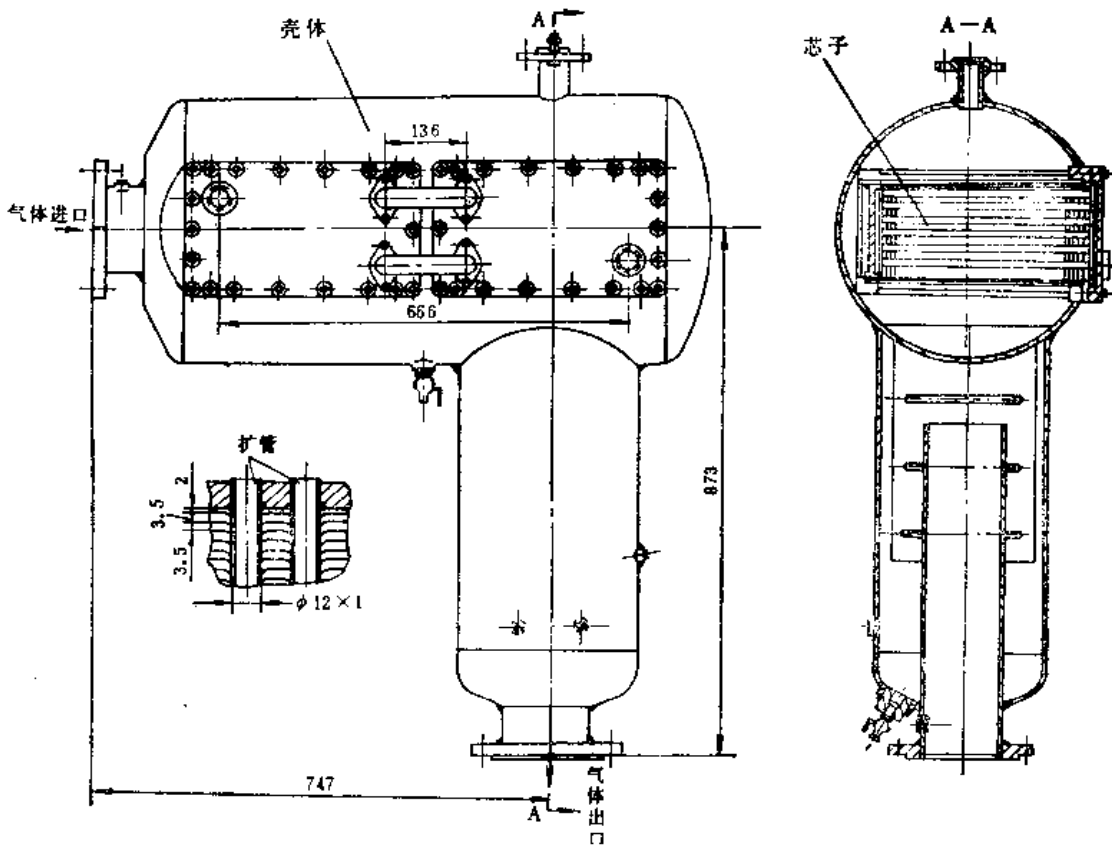


图16-8-5 4L-20/8中间冷却器

金属滤芯, $c_f = 1.1 \sim 1.5 \text{ m/s}$; 纸质滤芯, $c_f = 0.017 \sim 0.07 \text{ m/s}$ 。

无油润滑空气压缩机必须采用干式滤清器。

(二) 冷却器

L型空气压缩机的冷却器广泛采用元件式冷却器。图16-8-5为4L-20/8空气压缩机的中间冷却。其外壳用钢板焊接而成。空气在管间流动。为清洗和拆装方便, 做成两只芯子, 水平放置于壳体内。芯子元件是一束钢管插入一组大散热片中。散热片材料为A3, 厚0.5mm。为保证散热片与换热管紧密接触, 以减小接合热阻, 通常浸锡或浸锌。浸锡或浸锌厚度, 一般在0.1~0.3mm。图示冷却器的空气通道最窄截面面积为 0.0266 m^2 , 每只芯子为6程, 每程管数12根, 管子规格为 $\phi 12 \times 1$ 的10号无缝

钢管。垂直部分的圆筒为液气分离器, 底部有放水阀门。这种结构的优点是: 结构紧凑, 气流阻力小, 换热面积大。缺点是钢制芯子易腐蚀, 芯子与壳体端面密封不易封严。

L型空气压缩机的后冷却器的芯子与该机中间冷却器的芯子通用。

(三) 储气罐

空气压缩机末级之后应配置储气罐。储气罐的作用是稳定空气管道压力, 储备一定量的气体, 维持供需气量间的平衡。固定的往复式空气压缩机储气罐的工作压力为0.8MPa, 其基本参数系列见表16-8-2。

储气罐为立式结构。图18-8-6为 1 m^3 储气罐图。

表16-8-2 储气罐参数系列 (JB/TQ353-84)

型 号	C-0.3	C-0.6	C-1	C-2	C-4	C-6	C-10
公称容积 $V_g(\text{m}^3)$	0.3	0.6	1	2	4	6	10
筒体内径 $D(\text{mm})$	600	700	800	1000	1200	1400	1800
筒体高度 $H(\text{mm})$	1200	1400	1600	2200	3200	3400	3400
净重(kg)	200	270	380	730	1160	1520	2490
适用压缩机额定容积流量 (m^3/min)	3	6	10	20	40	60	100

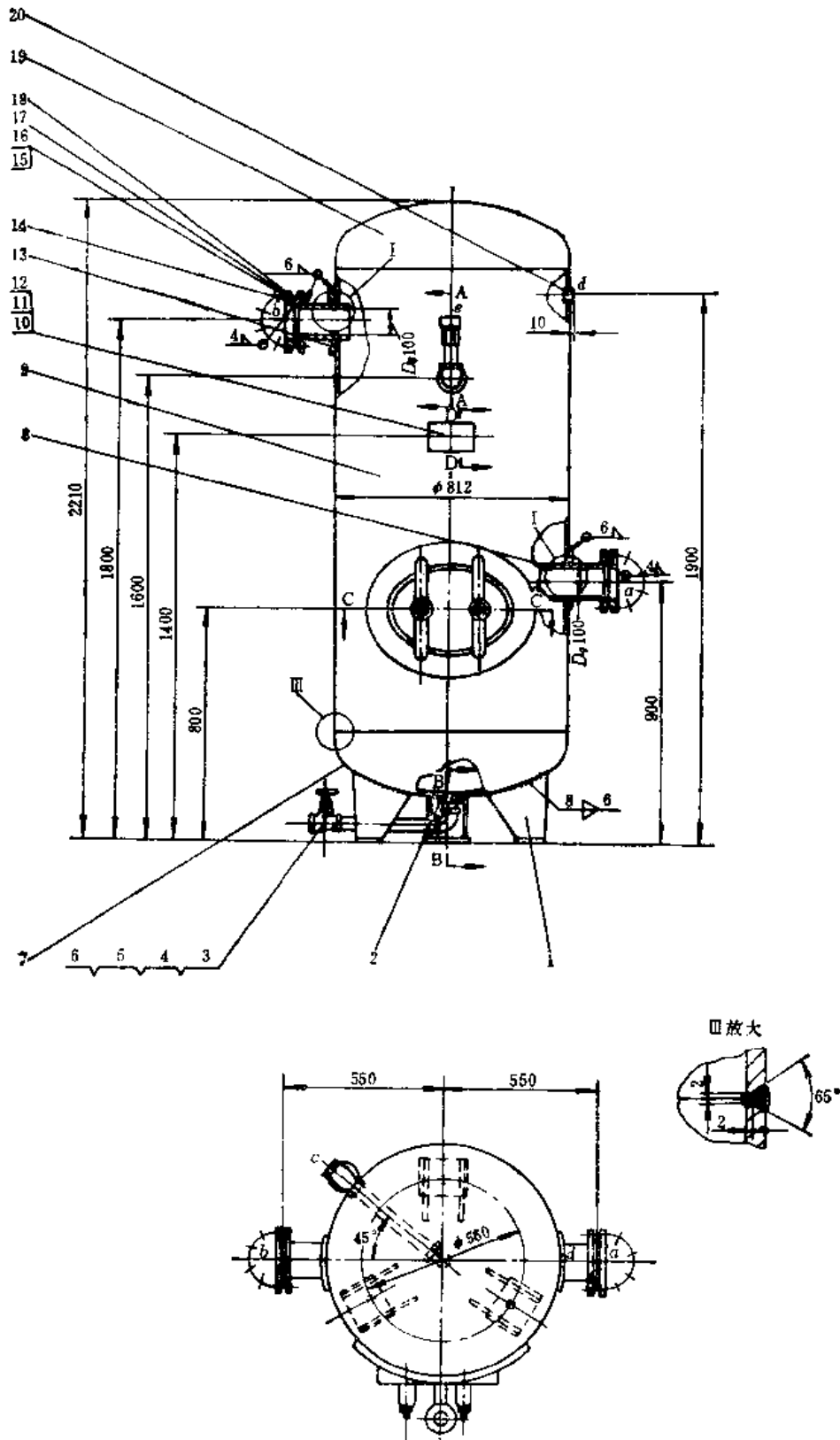
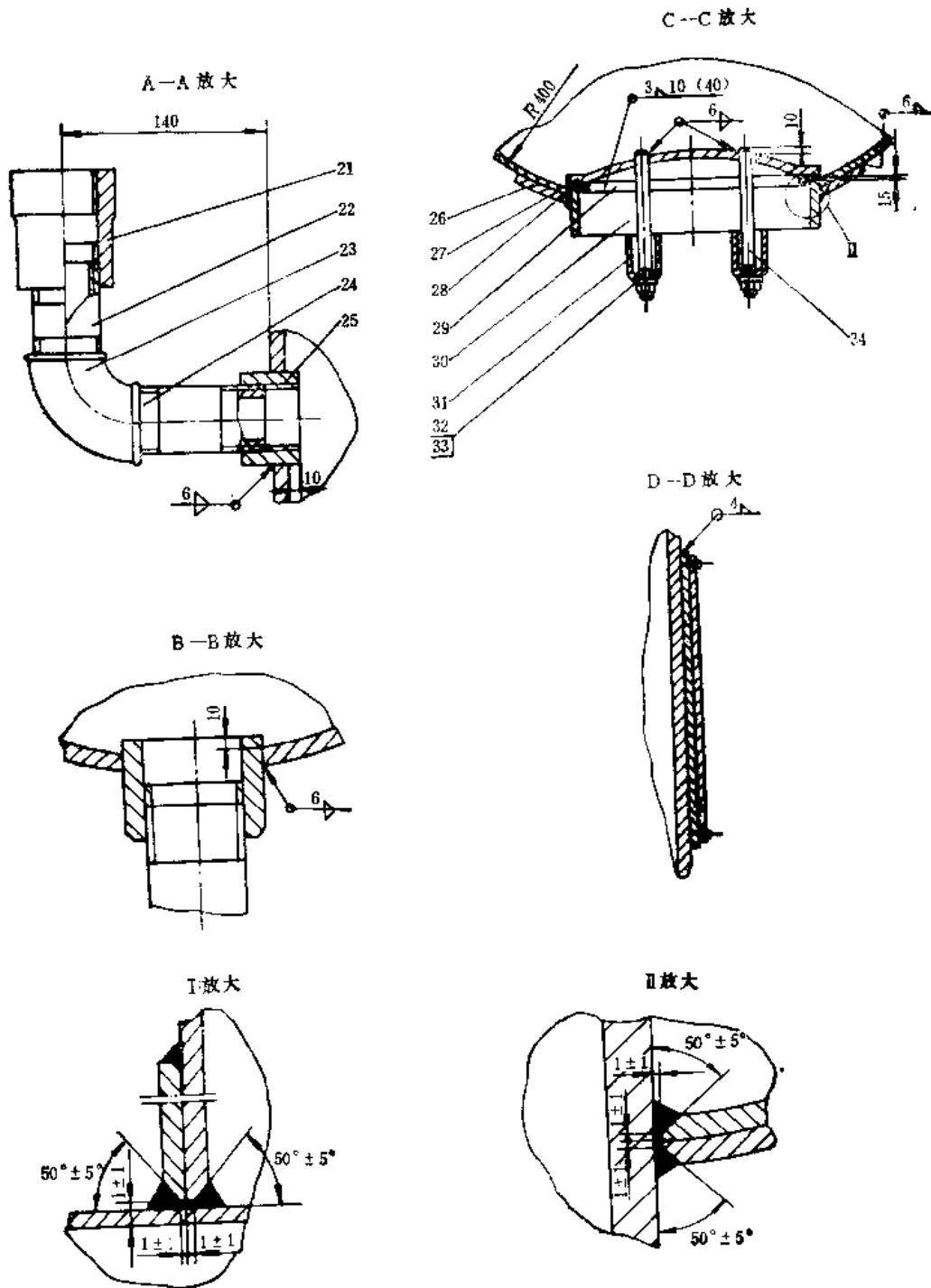


图16-8-6 空气压缩机

1—支座 2—接头 3—内螺纹截止阀(1") 4—接管 5—90°弯头(1")
 12—铆钉(3×8) 13—加强板 14—排气管 15—螺栓(M16×75)
 21—接头 22—接管 23—弯头(1 1/8") 24—接管 25—接头 26—加强母(M50) 33—垫



燃气器 C-1-00*

- 6—接管 7—下封头 8—进气管 9—罐体 10—标牌 11—底座
 16—螺母 (M16) 17—垫圈 18—法兰 19—上封头 20—接头
 板 27—盖板 28—垫 29—定位圈 30—筒体 31—压马 32—螺
 圈 (30) 34—螺柱

特性参数表

容器类别	1 类
工作介质	空气
设计压力	0.92MPa
设计温度	150°C
容器容积	1 m ³
焊缝系数	0.85
腐蚀裕度	1mm
主要受压元件材料	A3R

管口表

符 号	公称尺寸	连接尺寸及标准	密封型式	用 途
a	100	P_x10D_x100	平 面	进气口
b	100	P_x10D_x100	平 面	排气口
c	25	G1"	螺 纹	排污阀
d	6	M14×1.5	平 面	接压力表
e	40	G1 1/2"	螺 纹	接安全阀

技 术 要 求

1. 本设备按国家劳动总局《压力容器安全监察规程》及JB741—80《钢制焊接压力容器技术条件》进行制造、检验及验收。
2. 本设备参照JB/TQ353—84《固定的往复式空气压缩机储气罐》标准。
3. 制造本设备所用板材应符合GB6654—86《压力容器用碳素钢和低合金钢板》技术条件的规定。
4. 本设备焊接应符合JB/Z 105—73《钢制压力容器焊接规程》中的规定。全部的焊缝接头型式及尺寸按GB985~986—80《焊接接头的基本型式及尺寸》中的有关标准。人孔及接管孔焊缝坡口按图示手工开割。
5. 焊接采用电焊、焊条型号采用T422，自动焊时，采用焊丝HO3MnA焊条剂431。
6. 对接焊缝应做局部射线探伤检查，长度应分别不小于纵、环对接焊缝的20%，对未检查部分仍需保证质量。射线探伤按GB3323—82《钢焊缝射线照相及底片等级分类法》检查，纵焊缝不低于Ⅱ级，环焊缝不低于Ⅲ级。
7. 探伤合格后的储气罐用1.2MPa作水压试验，保压时间不少于10min，然后降至0.92MPa保压10min，在此期间焊缝和连接部位，不得有渗漏现象。
8. 储气罐的外表面除锈后应涂漆，容器的油漆及包装运输应符合JB2536—80《压力容器油漆、包装、运输》规定。

图16-8-6 (续)