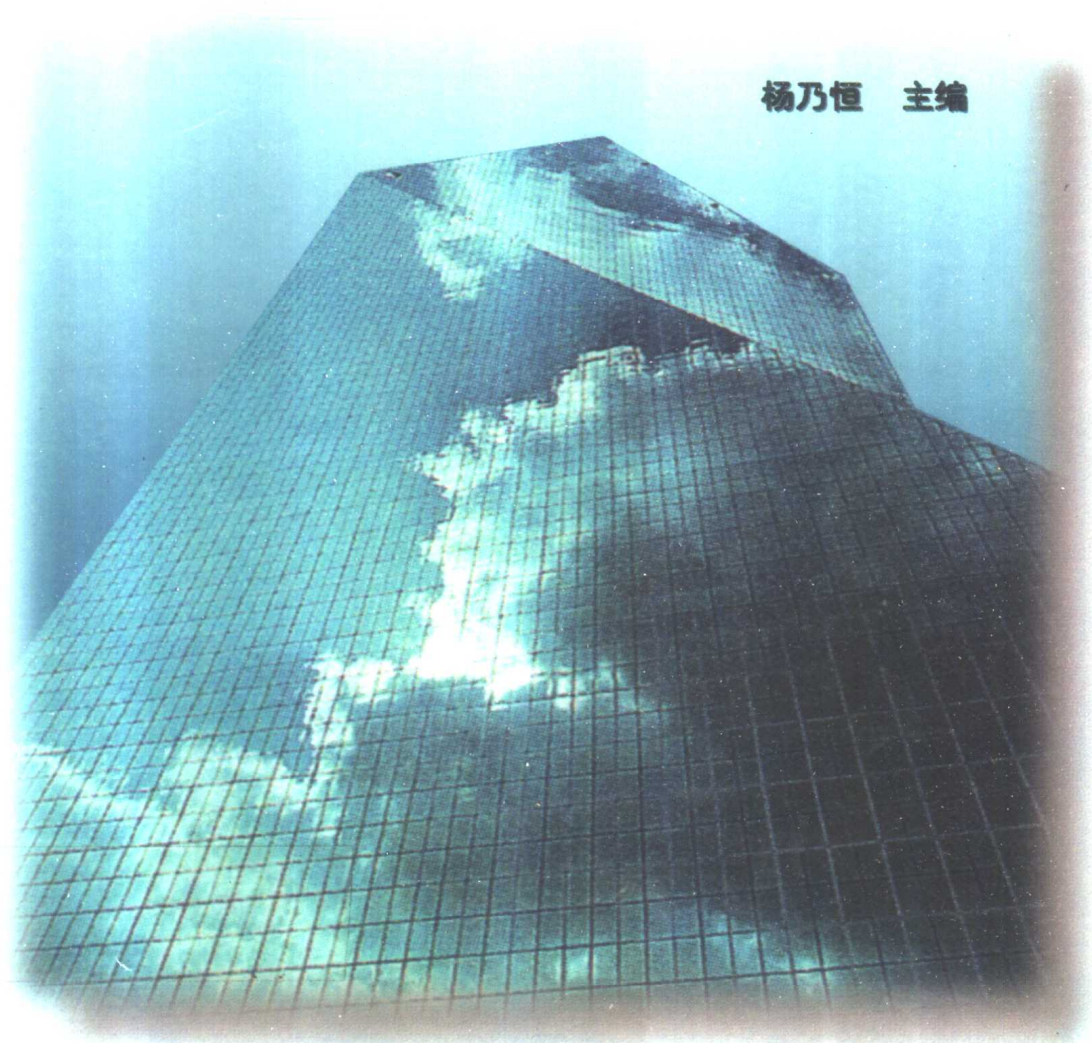


真空获得设备

第2版

杨乃恒 主编



冶金工业出版社

真空获得设备

(第2版)

东北大学 杨乃恒 主编

101407

北 京

冶金工业出版社

2001

图书在版编目(CIP)数据

真空获得设备/杨乃恒主编. —2 版. —北京:冶金工业出版社, 2001.1
ISBN 7-5024-2572-1

I. 真… II. 杨… III. 真空获得设备 IV. TB75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 51723 号

出版人 卿启云 (北京沙滩高祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 鞠跃春 责任校对 朱 翔

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 1 月第 1 版, 2001 年 1 月第 2 版, 2001 年 1 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.25 印张; 368 千字; 236 页; 2601—4600 册

~~24.00 元~~

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

第 2 版前言

《真空获得设备》第 1 版于 1987 年由冶金工业出版社出版发行。

十多年来,由于科学技术的飞速发展,知识内容的不断更新,为此在再版时,我们对原有教材内容进行了大量的删减、修改、补充和更新。以便更好地适应 21 世纪本学科发展的需要。

本书系统地介绍了各种真空泵的工作原理、结构特点、设计计算以及流量测量方法等。

本书由杨乃恒担任主编。参编者有杨乃恒(第 1、2、6、9 章)、徐成海(第 3、14、15、16 章)、巴德纯(第 7、8、17 章)、张以忱(第 10、11、12、13 章),王晓冬(第 4、5 章)。

于溥、吴魁和董镛三位教授对本书进行审阅,并提出了许多宝贵意见。在此深表谢意。

由于编者理论水平和实践经验所限,书中难免有不足和错误之处,恳请读者指正。

编 者

1999 年 12 月

1 引论	1
1.1 真空及其特点	1
1.2 真空泵性能的表达法	1
1.3 真空泵的分类	3
1.4 真空泵的技术术语、用途和使用范围	4
1.5 真空泵的型号及规格表示法	5
2 液环式真空泵	8
2.1 液环泵的工作原理及特点	8
2.2 液环泵的基本类型与结构	9
2.3 液环泵的设计计算	11
2.4 液环泵的计算实例	19
2.5 液环泵的使用与注意事项	20
3 往复式真空泵	22
3.1 概述	22
3.2 往复泵的结构和工作原理	22
3.3 往复泵的主要性能参数	22
3.4 往复泵气阀的设计	27
3.5 往复泵设计中的几个问题	31
4 旋片式油封机械泵	35
4.1 概述	35
4.2 旋片泵的工作原理与结构特点	35
4.3 性能参数及主要几何尺寸的确定	39
4.4 气镇量的计算	44
4.5 旋片泵的运行和维护	46
5 滑阀式油封机械泵	49
5.1 概述	49
5.2 滑阀泵的工作原理和结构特点	49
5.3 滑阀泵性能参数和主要几何尺寸的确定	52
5.4 滑阀泵的质量平衡与减振	54
5.5 机械泵油	55
6 罗茨式真空泵	59
6.1 概述	59
6.2 罗茨泵的工作原理及其结构特点	59
6.3 罗茨泵的主要参数确定	63
6.4 罗茨泵的转子型线	71

6.5	抽气速率的计算方法	75
6.6	罗茨泵的主要尺寸的确定	80
6.7	罗茨泵的计算举例	81
7	爪式真空泵	85
7.1	概述	85
7.2	爪式泵的工作原理	86
7.3	爪式泵转子的理论型线	87
7.4	爪式泵几何抽速的计算	90
7.5	爪型转子质心的计算	94
7.6	爪式泵的性能及结构特点	95
7.7	爪式泵的特点	96
8	涡旋式真空泵	99
8.1	概论	99
8.2	涡旋泵的工作原理	99
8.3	涡旋泵抽气性能的计算	100
8.4	密封部位的泄漏量	108
8.5	涡旋泵的主要性能参数	111
9	分子真空泵	113
9.1	概述	113
9.2	牵引分子泵的抽气原理与结构特点	114
9.3	多槽螺旋式牵引分子泵的设计原理	117
9.4	涡轮分子泵的抽气原理及结构特点	124
9.5	涡轮分子泵抽气性能的计算	133
10	水喷射泵	141
10.1	概述	141
10.2	水喷射泵的工作原理与结构	141
10.3	水喷射泵的设计与计算方法	143
10.4	水喷射泵的安装形式	145
11	蒸汽喷射泵	146
11.1	概述	146
11.2	蒸汽喷射泵的工作原理	146
11.3	蒸汽喷射泵的结构与组成	149
11.4	蒸汽喷射泵的安装形式	153
11.5	蒸汽喷射泵的设计计算	154
11.6	蒸汽喷射泵抽气时间的计算	162
12	油扩散泵	163
12.1	概述	163
12.2	油扩散泵的工作原理	163
12.3	油扩散泵的结构特点	165

12.4	油扩散泵的性能参数·····	169
12.5	扩散泵油的特性及返油·····	170
12.6	扩散泵系统使用中的故障分析及处理·····	172
13	油扩散喷射泵·····	174
13.1	概述·····	174
13.2	油扩散喷射泵的工作原理与结构特点·····	174
13.3	油扩散喷射泵的抽气特性·····	178
13.4	增压泵油及降低返油的措施·····	180
14	低温泵·····	181
14.1	概述·····	181
14.2	低温泵的抽气原理和分类·····	181
14.3	低温泵的抽速·····	183
14.4	低温泵的极限压力·····	186
14.5	低温泵的其他参数·····	188
14.6	现代低温泵的结构及设计·····	190
15	溅射离子泵·····	199
15.1	概述·····	199
15.2	溅射离子泵的工作原理·····	199
15.3	溅射离子泵的设计·····	201
15.4	溅射离子泵的使用与维护·····	210
16	其他类型真空泵·····	212
16.1	分子筛吸附泵·····	212
16.2	钛升华泵·····	216
16.3	电离升华泵·····	220
16.4	非蒸散型吸气泵·····	222
17	真空泵流量的测量方法·····	228
17.1	流量喷嘴法·····	228
17.2	转子流量计法·····	231
17.3	定容法·····	232
17.4	定压法·····	232
17.5	压差法·····	234
	参考文献·····	236

1 引 论

1.1 真空及其特点

何谓真空?按定义来说,一般是指在给定的空间内,压力低于 101325Pa 的气体状态。在真空状态下,气体的稀薄程度,通常用气体的压力值来表示。这种真空状态和我们赖以生存的大气状态相比,单位体积内的气体分子数目明显地减少了,气体分子之间或分子与其他质点之间相互碰撞的次数也减少了,基于这一特点,真空技术已广泛应用于工业生产、国防军工及科学研究等各个领域,满足了某些工艺和高新技术的特殊要求。

根据各应用部门需要不同的真空条件,又把整个真空区域划分为:低真空、中真空、高真空、超高真空和极高真空等不同的几个区域。工业上相继也出现了各种各样的获得真空的设备,即所谓的真空获得设备,又称为真空泵。随着工业和科技的不断进步,真空获得设备也得到了相应的发展。

1.2 真空泵性能的表现法

对各种真空泵的性能,都有规定的测试方法来检验其性能的优劣,真空泵的主要性能有:

1) 极限压力。将真空泵与检测容器相连,放入待测的气体后,进行长时间连续地抽气,当容器内的气体压力不再下降,而维持某一定值时,此压力即为泵的极限压力,其单位用 Pa 表示。

2) 流量。在真空泵的吸气口处,单位时间内流过的气体体积称为泵的流量。在真空技术中,流量的单位用压力 $\times$ 体积/时间来表示,即用 $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 或 $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{h}$ 表示。通常泵要给出流量与入口压力的关系曲线。

3) 抽气速率。在真空泵的吸气口处,单位时间内流过的气体的体积称为泵的抽气速率。即气体 A 的抽气速率 s_A 为流量 Q_A ($\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$) 除以测试罩内这种气体 A 的分压力 p_A 而得。如

$$s_A = \frac{Q_A}{p_A} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (1-1)$$

一般真空泵的抽气速率与气体种类有关。给定的抽气速率,表示对某种气体的抽气速率。如无特殊标明,多指抽空气而言。

4) 抽气的概念。若真空容器所有的内表面上无气体的吸附和脱附现象发生,这种抽气过程称作理想状态的抽气过程。设被抽容积为 $V(\text{m}^3)$, 泵的抽气速率为 $s(\text{m}^3/\text{s})$, 在这种理想状态的抽气过程中,容器内压力 $p(\text{Pa})$ 的变化如下式所示。

$$V \frac{dp}{dt} = -s p \quad (1-2)$$

当时间 $t=0$ 时,压力为 p_0 , 压力 p 与时间 t 的关系式为

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{s}{V}t\right) \quad (1-3)$$

由上式可以看出,当 t 不断增加时,压力 p 则不断下降,达到了抽真空的目的。

若极限压力 p_u 对 p 和 p_0 的影响不容忽略时,上式则变成如下形式

$$(p - p_u) = (p_0 - p_u) \exp\left(-\frac{s}{V}t\right) \quad (1-4)$$

上式仅适用于大气压力到 10^{-1}Pa 这个范围内。当压力再低时,抽气时间要大大延长。因为,当压力低于 10^{-1}Pa 时,容器的内表面上大量放气。若单位时间内,容器内气源产生的气体量为 $\Sigma Q(\text{Pam}^3/\text{s})$,则式(1-2)变成

$$V \frac{dp}{dt} = -sp + \Sigma Q \quad (1-5)$$

式中 ΣQ 包括如下各项:

$$\Sigma Q = Q_l + Q_d + Q_p + Q_b + Q_r \quad (1-6)$$

式中 Q_l ——漏气量;

Q_d ——容器内表面吸附气体的脱附量;

Q_p ——容器内部的扩散或渗透的放气量;

Q_b ——泵向真空容器的返流气体量;

Q_r ——真空容器内装配的机构的放气量。

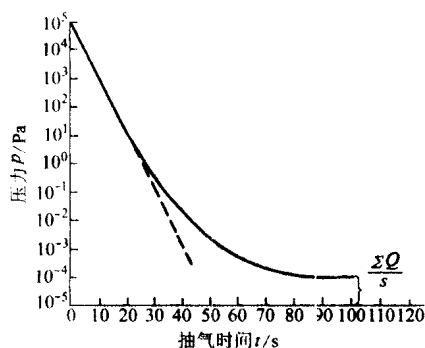


图 1-1 真空容器内压力和抽气时间的关系曲线

这种关系,在对数坐标上,压力 p 与时间 t 呈直线关系,如图 1-1 所示,从图上可以看出式(1-3)有效的范围,压力成直线减少。称作容积抽气,超过这个范围,压力下降有所偏移,最后与横轴平行了。这时式(1-5)的 ΣQ 起作用了,在真空系统中 Q_d 及 Q_r 占大部分,因此这段为表面放气的排气过程,通常称表面排气。

式(1-5)的解为

$$p(t) = \frac{\Sigma Q}{s} + \left(p_0 - \frac{\Sigma Q}{s}\right) \exp\left(-\frac{s}{V}t\right) \quad (1-7)$$

若长时间抽气, $\exp\left(-\frac{s}{V}t\right)$ 项的影响可以忽略,这时压力下降,仅取决于上式的右侧第一项,即

$$p(t) = \frac{\Sigma Q}{s} \quad (1-8)$$

经研究得知放气率也与时间有关,即

$$Q(t) = Aq(t) \quad (1-9)$$

式中 A ——表面积;

$q(t)$ ——单位面积的放气率,经研究得知,表面上常吸附有大量的水蒸气。

为了获得超高真空,烘烤这道工序是必不可少的。因为温度高了,气体分子在表面上滞留时间短了,短时间 Q 能快速下降。在 $250 \sim 450^\circ\text{C}$ 条件下烘烤比不烘烤,压力能够下降 3~4 个数量级。除掉水蒸气后,残余气体多为金属中溶解的氢气了,有针对性的排除氢气,可使真空度进一步提高。

由式(1-5)得知,处于平衡态时 $\frac{dp}{dt} = 0$,而 ΣQ 为定值时,得到极限压力为

$$p_v = \frac{\Sigma Q}{s} \quad (1-10)$$

这时得知,容器内压力 p 不能继续下降的原因是 ΣQ 引起的。在容器不漏气的情况下,极限压力取决于表面放气率。式(1-5)即为古典的真空排气的基本方程。为了获得更低的极限压力,必须使 ΣQ 值进一步降低。对容器的检漏是必不可少的。目前可使 p_v 达到 10^{-10} Pa 以下,获得了极高真空。

1.3 真空泵的分类

近年来,已开发出从大气压到高真空,仅用一台泵就能实现的新型真空泵。但一般来说,为了获得高真空、超高真空及极高真空,还是串联多台真空泵构成机组形式来完成抽气任务的。因此,正确了解泵的工作原理、主要性能、结构特点以及分类等,对于用户选择经济适用的真空泵是非常重要的。

真空泵是用以产生、改善和维持真空的装置。按其工作原理,基本上分为气体输送泵和气体捕集泵两种类型。

1.3.1 气体输送泵

气体输送泵,它是一种能使气体不断吸入和排出泵外以达到抽气目的的真空泵。这种气体输送泵含有变容式和动量传输式两大类。

1.3.1.1 变容真空泵

变容真空泵是利用泵腔容积的周期变化来完成吸气、压缩和排气的装置。这种泵分为往复式和旋转式两种。

1) 往复式真空泵,利用泵腔内活塞的往复运动,将气体吸入、压缩并排出。因此,又称它为活塞式真空泵。

2) 旋转式真空泵,利用泵腔内活塞的旋转运动,将气体吸入、压缩并排出。属于此类的泵种很多。

(1) 油封式机械泵,它是利用油类密封各运动部件的间隙,减少有害空间的一种旋转式变容真空泵。这种泵通常带有气镇装置,故称气镇式真空泵,按其结构特点分为:旋片泵,定片泵,滑阀泵,余摆线泵以及多室旋片泵等。

(2) 干式真空泵,目前所谓的干式真空泵,一般通用的说法是:能在大气压到 10^{-2} Pa 的压力范围内工作的真空泵;在泵的抽气流道(如泵腔)中,不能使用任何油类和密封液体,排气口与大气相通,能连续向大气中排气的泵,即称为干式真空泵。按其工作原理分,也有容积式干式泵,如多级罗茨泵,多级活塞泵,爪型泵,螺杆泵,涡旋泵等;此外还有动量传输式干式泵。如涡轮干式泵,离心干式泵等。这种泵的抽气不再有油的污染了,是近期开发研制较多的泵种。

(3) 液环真空泵,带有多叶片的转子偏心装在泵壳内,当转子旋转时,把液体(水或油类)抛向泵壳形成与泵壳同心的液环,液环同转子上的叶片形成了容积周期性变化的几个小容积实现吸气、压缩和排气,由于液环起到压缩气体的作用故又称它为液体活塞真空泵。

(4) 罗茨真空泵,泵内装有两个相反方向同步旋转的双叶或多叶形的转子,转子间、转子与泵壳内壁之间均保持有一定的间隙。它属于无内压缩式的真空泵。按用途又分为湿式罗茨泵,直排大气式罗茨泵和机械增压泵等类型。

1.3.1.2 动量传输式真空泵

动量传输式真空泵是利用高速旋转的叶片或高速射流,把动量传输给被抽气体或气体分子,使之吸入、压缩、排气的一种真空泵。这种泵可分为以下几种类型。

1) 分子真空泵。它是利用高速旋转的转子把动量传输给气体分子,使之压缩、排气的一种真空泵。它有如下几种形式。

(1) 牵引分子泵,高速旋转的转子表面与气体分子相碰,把动量传给气体分子,将气体分子拖动到泵的出口排出。因此,它是一种动量传输泵。

(2) 涡轮分子泵,泵内装有多级带槽的圆盘或叶片的转子,在定子圆盘(或定片)间旋转,转子的圆周线速度很高,这种泵通常在分子流状态下工作。

(3) 复合式分子泵,它是由涡轮分子泵和牵引式分子泵,优化组合,串联起来工作的一种真空泵,可在分子流或过渡流状态下工作。

2) 喷射真空泵,它是利用文丘里效应的压力降产生的高速射流把气体输送到泵出口的一种动量传输泵,适于在黏滞流和过渡流状态下工作的真空泵。这种泵又可细分为以下几种。

(1) 水喷射泵,以水为工作介质的喷射真空泵。

(2) 气体喷射泵,以非可凝性气体(如空气)作为工作介质的喷射泵。

(3) 蒸气喷射泵,以蒸气(水、油或汞等蒸气)作为工作介质的喷射泵。其中水蒸气喷射泵应用较多,油蒸气喷射泵,也称作油增压泵,或称油扩散喷射泵。

3) 扩散泵,以油或汞蒸气作为工作介质。对汞扩散泵不带分馏结构,对油扩散泵多采用分馏式结构,以提高泵的性能。

1.3.2 气体捕集泵

气体捕集泵,它是一种将被抽气体吸附或凝结在泵内表面上的真空泵,它有以下几种形式:

1) 吸附泵。它主要依靠具有大表面积的吸附剂的物理吸附作用来抽气的一种捕集式真空泵。如吸附阱、吸气剂泵。此外还有连续不断形成新鲜的吸气剂膜的捕集式真空泵,如溅射离子泵,热蒸发的升华泵等。

2) 低温泵。利用低温表面来冷凝捕集气体的真空泵。如冷凝泵和小型制冷机低温泵等。

1.4 真空泵的技术术语、用途和使用范围

1.4.1 真空泵的技术术语

真空泵的技术术语,真空泵除主要特性,极限压力,流量和抽气速率之外,尚有一些名词术语表达泵的有关性能和参数:

1) 启动压力。泵无损坏启动并有抽气作用时的压力。

2) 前级压力。排气压力低于 101325Pa 的真空泵的出口压力。

3) 最大前级压力。超过它能使泵损坏的前级压力。

4) 最大工作压力。对应最大流量的入口压力。在此压力下,泵能连续工作而不恶化或损坏。

5) 压缩比。泵对给定气体的出口压力与入口压力之比。

6) 何氏系数。泵抽气通道面积上的实际抽气速率与该处按分子泻流计算的理论抽气速率之比。

7) 抽气系数。泵的实际抽气速率与泵入口面积按分子泻流计算的理论抽气速率之比。

8) 返流率(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。泵在规定条件下工作时,与抽气方向相反而通过泵入口的单位面积、单位时间的泵液的质量流率。

9) 水蒸气允许量(单位: kg/h)。在正常环境条件下,气镇泵在连续工作时能抽除的水蒸气的质量流率。

10) 最大允许水蒸气入口压力。在正常环境条件下,气镇泵在连续工作时所能抽除的水蒸气的最高入口压力。

1.4.2 真空泵的用途

根据真空泵的性能,在各种应用的真空系统中它可承担如下一些工作。

1) 主泵。在真空系统中,用来获得所要求的真空度的真空泵。

2) 粗抽泵。从大气压开始,降低系统的压力达到另一抽气系统开始工作的真空泵。

3) 前级泵。用以使另一个泵的前级压力维持在其最高许可的前级压力以下的真空泵。前级泵也可以做粗抽泵使用。

4) 维持泵。在真空系统中,当抽气量很小时,不能有效地利用主要前级泵,为此,在真空系统中配置一种容量较小的辅助前级泵,维持主泵正常工作或维持已抽空的容器所需之低压的真空泵。

5) 粗(低)真空泵。从大气压开始,降低容器压力且工作在低真空范围的真空泵。

6) 高真空泵。在高真空范围内工作的真空泵。

7) 超高真空泵。在超高真空范围内工作的真空泵。

8) 增压泵。装于高真空泵和低真空泵之间,用来提高抽气系统在中间压力范围内的抽气量或降低前级泵容量要求的真空泵(如机械增压泵和油增压泵等)。

1.4.3 各种真空泵的使用范围

各种形式的真空泵的工作压力范围,如表 1-1 所示。

1.5 真空泵的型号及规格表示法

国产的各种真空泵的型号是根据国家机械行业标准规定来编制的。真空泵的型号是由基本型号和辅助型号两部分组成的,即

基本型号 辅助型号

① ② ③—④ ⑤ ⑥

两者之间为一条横线。

①代表真空泵级数,以阿拉伯数字表示。不分级或单级者省略。

②代表真空泵名称,以构成名称的一个(或两个)关键字的汉语拼音第一(或第二)个字母(印刷体大写)表示,如表 1-2 所示。

③代表真空泵特征,以其关键字的汉语拼音第一(或第二)个字母(印刷体大写)表示,按表 1-3 规定或自编补充代号。

表 1-1 各种真空泵的工作压力范围

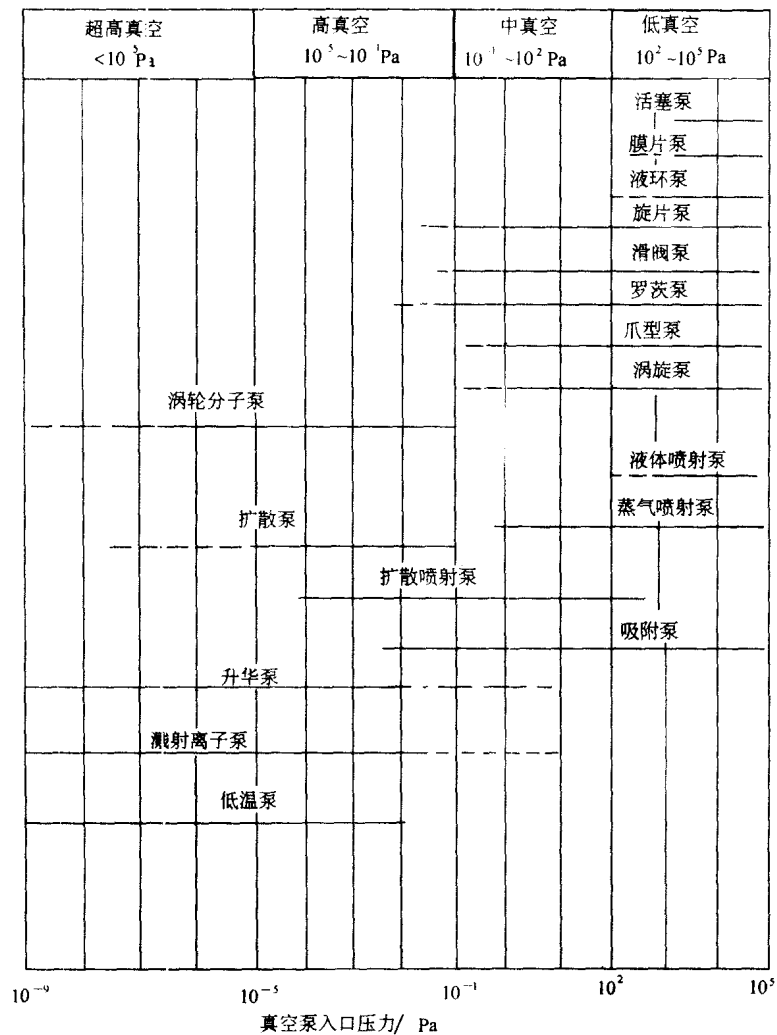


表 1-2 真空泵名称

序号	真空泵名称	代号	关键字意义及拼音字母	真空泵规格或主参数	相应单位
1	往复真空泵	W	“往”复“wang”	抽气速率	L/s
2	定片真空泵	D	“定”片“ding”		
3	旋片式真空泵	X	“旋”片“xuan”		
4	滑阀真空泵	H	“滑”阀“hua”		
5	罗茨真空泵(机械增压泵)	ZJ	“增”压“zeng”,“机”械“ji”		
6	余摆线真空泵	YZ	“余”摆“yu”,“真”空“zhen”		
7	溅射离子泵	L	“离”子“li”		
8	单级多旋片式真空泵	XD	“旋”片“xuan”,“多”“duo”	抽气速率	m ³ /h

续表 1-2

序号	真空泵名称	代号	关键字意义及拼音字母	真空泵规格或主参数	相应单位
9	分子泵 ^①	F	“分”子“fen”	进气口径	mm
10	油扩散真空泵	K	“扩”散“kuo”		
11	汞扩散真空泵	KG	“扩”散“kuo”,“汞”“gong”		
12	油扩散喷射泵(油增压泵)	Z	“增”压“seng”		
13	升华泵	S	“升”华“sheng”		
14	回旋泵(弹道泵)	HX	“回”“hui”“旋”“xuan”		
15	复合式离子泵	LF	“离”子“li”,“复”合式“fu”		
16	铍铝吸气剂泵	GL	“铍”“gao”“铝”“lu”		
17	制冷机低温泵	DZ	“低”温“di”,“制”冷“zhi”		
18	灌注式低温泵	DG	“低”温“di”,“灌”注“guan”		
19	分子筛吸附泵	IF	“吸”附“xi”,“分”子“fen”	分子筛重量	kg
20	水喷射泵	PS	“喷”射“pen”,“水”“shui”	抽气量	kg/h
21	空气喷射泵	PQ	“喷”射“pen”,空“气”“qi”		
22	蒸汽喷射泵	P	“喷”射“pen”		

① 个别规格泵的进气口径相同而抽气速率不等,则可同时标出抽气速率,单位:L/s。

表 1-3 真空泵特征

代 号	关键字意义及拼音字母	代 号	关键字意义及拼音字母
W	“卧”式“wo”	T	“凸”腔“tu”
Z	“直”联“zhi”	F	“风”冷“feng”
S	“升”华器“sheng”	X	磁“悬”浮“xuan”
D	“多”式、“多”元“duo”	J	“金”属密封“jin”
C	“磁”控“ci”	G	“干”式(无油)“gan”

④代表真空泵使用特点(多指被抽气体性质),对于可凝性被抽气体,以印刷体大写字母“N”表示;对于腐蚀性被抽气体,以印刷体大写字母“F”表示。无特指者省略。

⑤代表真空泵规格或主参数,以阿拉伯数字表示。

⑥代表真空泵设计序号,从第一次改型设计开始,以字母 A、B、C……顺序表示。

真空泵型号示例:

W-35B,为往复式真空泵,抽速为 35L/s,第二次改型设计;

2X-15A,为双级旋片式真空泵,抽速为 15L/s,第一次改型设计。

ZJ-600,为机械增压泵,抽速为 600L/s。

K-800,为油扩散泵,进气口径 800mm。

Z-400,为油增压泵,进气口径为 400mm。

2 液环式真空泵

2.1 液环泵的工作原理及特点

液环式真空泵(简称液环泵)是一种粗真空泵,它所能获得的极限压力,对于单级泵为 $2.66 \sim 9.31\text{kPa}$; 对于双级泵则为 $0.133 \sim 0.665\text{kPa}$, 如串联大气喷射器可达 $0.27 \sim 0.67\text{kPa}$ 。

液环泵也可用作压缩机,称为液环式压缩机,它属于低压的压缩机,其压力范围为 $(1 \sim 2) \times 10^5\text{Pa}$ 表压力。

液环泵在石油、化工、机械、矿山、轻工、造纸、动力、冶金、医药和食品等工业及市政与农业等部门的许多工艺过程中,如真空过滤、真空送料、真空脱气、真空蒸发、真空浓缩和真空回潮等,得到了广泛的应用。由于液环泵压缩气体的过程是等温的,故可抽除易燃、易爆的气体,此外还可抽除含尘、含水的气体,因此,液环泵的应用日益增多。

2.1.1 工作原理

由图 2-1 可见,液环泵是由叶轮 1,泵体 2 和 4,液环 3,吸气口 A、排气口 B 等几部分组成。

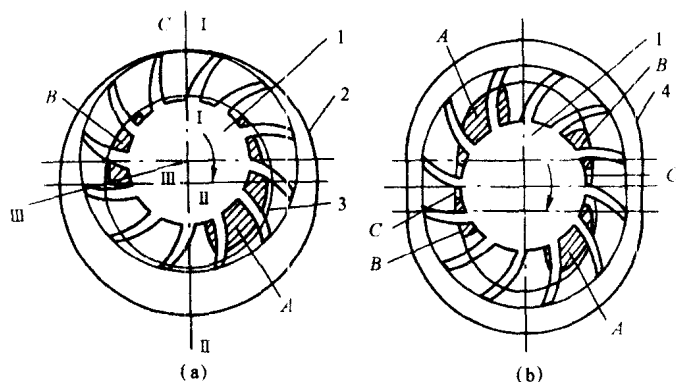


图 2-1 液环泵工作原理图

(a) 单作用式液环泵;

(b) 双作用式液环泵

A—吸气口; B—排气口; C—间隙;

1—叶轮; 2—泵体(单作用);

3—液环; 4—泵体(双作用)

图 2-1(a)是一台单作用式液环泵的工作原理图。在泵体中装有适量的液体作为工作介质。当偏心安装的叶轮按图示的方向旋转时,液体被叶轮抛向四周,由于离心力的作用,液体形成了一个与泵腔形状相似的等厚度的封闭的液环。液环的上部内表面恰好与叶轮轮毂相切(如 I—I 断面),液环的下部内表面刚好与叶片顶端接触(实际上,叶片在液环内有一定的插入深度)。此时,叶轮轮毂与液环之间形成一个月牙形空间,而这一空间又被叶轮分成与叶片数目相等的若干个小腔。如果以叶轮的上部 0° 为起点,那么叶轮在旋转前 180° 时,小腔的容积由小变大(即从断面 I—I 到 II—II),且与端面上的吸气口相通,此时气体被吸入(应注意吸气口的终止位置应保证小腔容积为最大),当吸气终了时小腔则与吸气口隔绝;从断面 II—II 到 III—III,小腔的容积逐渐缩小,既不吸气也不排气,此时,气体被压缩,当小腔与排气口相通时,气体便被排除泵外。

图 2-1(b)是一台双作用式液环泵的工作原理图。它的泵腔对于叶轮作成双偏心的,近似于椭圆形。叶轮转动时其液环内表面与轮毂形成两个上下对称的月牙形空间,其端面上

开有两个吸气口和两个排气口,因此转子旋转一周,每个小腔吸气、排气各两次。

液环泵的吸气口终止位置和排气口开始位置决定着泵的压缩比。因为吸气口终止位置决定吸气小腔吸入气体的体积,而排气口开始的位置决定排气时被压缩的气体的体积。对已经确定了结构尺寸的液环泵,就可以求出其压缩比。同样,给定压缩比,也可以确定出吸气口终止位置和排气口起始位置。

液环真空泵一般抽速范围为 $10 \sim 25000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。吸入压力为 20、30 和 40 kPa。液环泵的极限压力不是非常重要的,因为它与所使用的液体种类有关。

在液环泵中,液环压缩气体的能量是这样传递的:液体被叶轮带动之后形成液环,这时叶轮把能量传给液体使之动能增加,液体才具有一定的速度在泵腔内回转。就单作用液环泵来说,在吸入侧(前 180°)埋在叶轮内的液体被叶轮加速,当液体从叶轮腔内被甩出之后,液体具有与叶片端点切线速度相近的速度;在前半周,由于吸入气体压力恒定,其各点速度相等。在后半周,气体被压缩,当液环重新进入叶轮腔时速度下降,其动能部分转变成势能,以抵抗气体膨胀压力。而在空载不压缩气体时,后半周液体的动能便会推动叶轮加速回转。

2.1.2 液环泵的特点

液环泵与其他类型的机械真空泵相比有如下优点:

- 1) 结构简单,制造精度要求不高,容易加工;
- 2) 结构紧凑,一般可与电动机直联;
- 3) 压缩气体基本上是等温的(通常多变压缩指数 $n = 1.1 \sim 1.15$),即压缩气体过程,温度变化很小;
- 4) 泵腔内无金属摩擦表面,无须对泵内进行润滑,转动件与固定件之间的间隙可由液体来密封;
- 5) 吸气均匀,工作平稳可靠,操作简单,维修方便。

液环泵也有其缺点:

- 1) 功率消耗大,效率低;
- 2) 极限压力高,它取决于液体种类;
- 3) 叶轮的圆周速度不高,因而结构尺寸大。

总之,由于液环泵的等温压缩,故可抽易燃、易爆的气体。由于没有排气阀及摩擦表面,故可抽除含灰尘的气体、可凝性气体和气水混合物。由于有这些突出的特点,尽管它效率低,仍然得到广泛的应用。

2.2 液环泵的基本类型与结构

2.2.1 基本类型

液环泵按不同结构可分成如下几种类型:

- 1) 单级单作用液环泵。所谓单级是指只有一个叶轮,单作用是指叶轮每旋转一周,吸气、排气各进行一次。这种泵的极限压力较低,抽速和效率也低。
- 2) 单级双作用液环泵。单级是指只有一个叶轮,而双作用是指叶轮每旋转一周,吸气、排气各进行两次。在相同抽速条件下,双作用泵比单作用泵可大大减小尺寸和质量。由于工作腔对称分布在轮毂两侧,这样就改善了作用在转子上的载荷。但是,这种泵有些零件比较复杂,加工较困难。但它的抽速较大,效率较高,极限压力也较高。

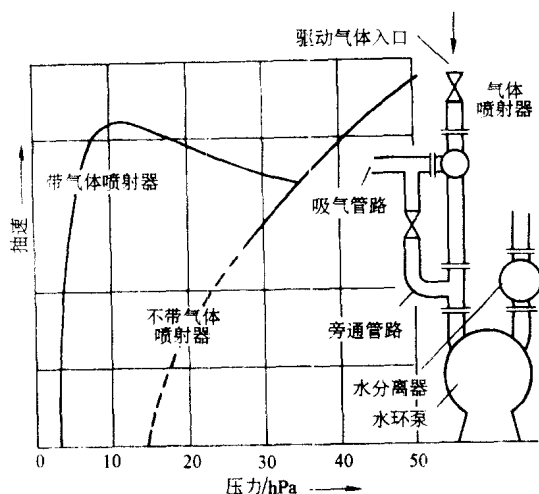


图 2-2 气体喷射器 + 液环泵机组

3) 双级液环泵。

双级液环泵大多数是由单作用泵串联而成。这种液环泵实质上是两个单级单作用的液环泵的叶轮共用一根心轴连接而成。它的主要特点是在较低的压力下,仍然具有较大的抽速,工作稳定。

4) 气体喷射器 + 液环泵机组。这种机组,是由大气喷射器串联液环泵来构成的。这种机组可以提高低压下的抽速,扩大了液环泵的使用范围,如图 2-2 曲线所示。

气体喷射器是由喷嘴、混合室和扩压器组成,用管道将它与液环泵的进气口连接。

这种机组的工作原理是:先开动液环泵,为气体喷射器造成所需的预真空,使喷嘴的入口与出口之间造成压力差,通常以大气为驱动气体。驱动气体通过喷嘴进入泵内,驱动气体经过喷嘴得到加速,将被抽气体吸入,驱动气体与被抽气体在混合过程中进行动量交换,对气体进行压缩后进入液环泵的进气口,再经泵压缩排至泵外。

2.2.2 液环泵的基本结构

就液环泵的结构而言,双级泵比单级泵复杂,双作用泵比单作用泵也要复杂些。现以结构最简单、产量较多、用途最广的单级单作用水环泵为例,来说明其基本结构。

图 2-3 为水环泵的结构图。其抽速为 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 。水环泵主要由泵体 13、叶轮 12、端盖 1 所组成。端盖下部有泵腿支撑,上部是进气管和排气管。进气管和排气管分别通过端盖上

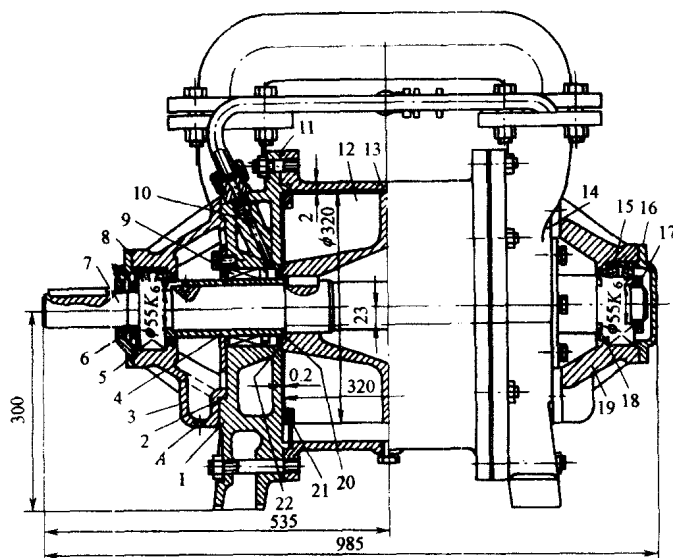


图 2-3 水环泵的结构图

1、14—端盖;2、11、20、22—垫片;3、19—支架;4、18—套管;5、15—轴承;6、17—螺母;
7—轴;8、16—压盖;9—填料函;10—孔道;12—叶轮;13—泵体;21—支撑环