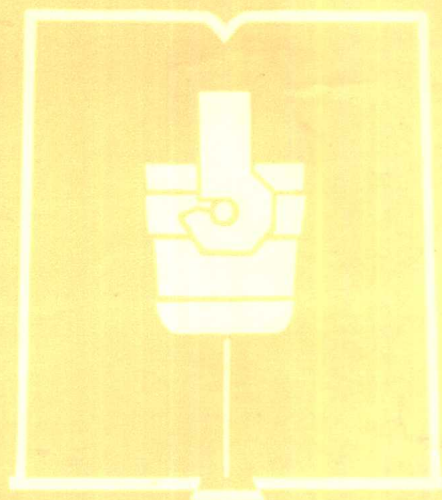


• 高等学校教学用书 •

真空获得设备

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

真空获得设备

东北工学院 杨乃恒 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
真空获得设备
东北工学院 杨乃恒 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 16 字数 376千字

1987年4月第一版 1987年4月第一次印刷

印数00,001~2,600册

统一书号: 15062·4570 定价2.65元

前 言

《真空获得设备》是根据“真空技术及设备”专业教学大纲的要求编写的，共十八章，讲授60学时。本书系统地讲述了各种真空泵的工作原理、结构特点及设计计算，还介绍了真空泵的流量测试方法。

本书可作为“真空技术及设备”专业本科生的教材，也可供有关专业的科技人员使用。

本书由杨乃恒主编。第一、三、八、十、十一章由杨乃恒编写；第五、七、十七章由杨常青编写；第六、九、十八章由姚民生编写；第十二、十三、十四、十五、十六章由徐成海编写；第二、四章由赵裕生编写。由于我们的理论水平和实践经验有限，书中难免有不足、错误之处，恳请读者指正。

编 者

一九八六年二月

目 录

第一章 引论	1
§ 1-1 “真空”及其特点	1
§ 1-2 真空泵的分类	1
§ 1-3 真空泵的性能、用途和使用范围	3
§ 1-4 真空泵的型号及规格表示法	5
第二章 水环式真空泵	6
§ 2-1 水环泵的工作原理及特点	6
§ 2-2 水环泵的基本类型与结构	7
§ 2-3 水环泵的设计计算	10
第三章 往复式真空泵	24
§ 3-1 往复泵的工作原理	24
§ 3-2 往复泵的配气装置	25
§ 3-3 往复泵的结构特点	28
§ 3-4 往复泵的主要尺寸及结构参数的确定	29
第四章 旋片真空泵	32
§ 4-1 概述	32
§ 4-2 旋片泵的工作原理	32
§ 4-3 旋片泵的主要参数	33
§ 4-4 旋片泵的设计计算	41
§ 4-5 旋片泵的基本结构	45
§ 4-6 气镇原理及其计算	48
第五章 滑阀真空泵	53
§ 5-1 概述	53
§ 5-2 滑阀泵的工作原理及其结构特点	53
§ 5-3 滑阀泵性能参数的确定	56
§ 5-4 滑阀泵振动的产生及其控制	58
§ 5-5 机械泵油	61
第六章 余摆线真空泵	64
§ 6-1 概述	64
§ 6-2 余摆线泵的工作原理	64
§ 6-3 余摆线泵的结构特点	65
§ 6-4 余摆线泵的型线分析	66
§ 6-5 余摆线泵主要几何参数的确定	71
第七章 罗茨真空泵	76
§ 7-1 概述	76
§ 7-2 罗茨泵的工作原理及其结构特点	76
§ 7-3 罗茨泵转子的型线	79
§ 7-4 罗茨泵的主要性能计算	92

§ 7-5 罗茨泵的冷却	94
§ 7-6 罗茨泵防止过载的措施	95
§ 7-7 罗茨泵转子的受力分析与强度计算	98
第八章 分子泵	100
§ 8-1 概述	100
§ 8-2 牵引分子泵的抽气原理与结构特点	101
§ 8-3 涡轮分子泵的抽气原理与结构特点	106
§ 8-4 复合式分子泵的抽气原理与结构特点	115
第九章 水蒸气喷射泵	118
§ 9-1 水蒸气喷射泵的工作原理及其结构特点	118
§ 9-2 喷射泵的特性曲线及其参数选择	123
§ 9-3 喷射泵的设计计算	128
第十章 油扩散泵	138
§ 10-1 扩散泵的工作原理	138
§ 10-2 蒸气射流的基本特性	144
§ 10-3 扩散泵的性能	151
§ 10-4 扩散泵油的特性及返油	153
§ 10-5 油扩散泵的结构特点	155
§ 10-6 油扩散泵的设计计算	156
第十一章 油增压泵	160
§ 11-1 油增压泵的工作原理与结构特点	160
§ 11-2 增压泵油	166
§ 11-3 油增压泵的特性	167
§ 11-4 增压泵的油蒸气迁移	169
§ 11-5 油增压泵的运转	170
第十二章 分子筛吸附泵	173
§ 12-1 分子筛的结构及其抽气原理	173
§ 12-2 分子筛吸附泵的结构	175
§ 12-3 分子筛吸附泵的设计计算	176
第十三章 钛升华泵	183
§ 13-1 概述	183
§ 13-2 钛升华泵的工作原理	183
§ 13-3 钛升华泵吸气面的设计和主要参数选择	184
§ 13-4 钛升华器的结构	193
第十四章 轨旋式离子泵	197
§ 14-1 概述	197
§ 14-2 轨旋式离子泵的工作原理	197
§ 14-3 轨旋式离子泵的设计简介	200
第十五章 溅射离子泵	201
§ 15-1 概述	201
§ 15-2 溅射离子泵的工作原理	201
§ 15-3 溅射离子泵的设计	203

第十六章 低温泵	214
§ 16-1 概述	214
§ 16-2 低温泵的抽气原理和分类	214
§ 16-3 低温冷凝泵的抽速和极限压强	215
§ 16-4 低温冷凝泵的设计方法	219
§ 16-5 小型制冷机低温泵	224
第十七章 铯铝吸气泵	231
§ 17-1 概述	231
§ 17-2 铯铝吸气泵的结构及其抽气原理	231
§ 17-3 铯铝吸气泵性能参数的选择	235
第十八章 真空泵流量的测量方法	239
§ 18-1 压差式流量计法	239
§ 18-2 转子流量计法	241
§ 18-3 定容法	243
§ 18-4 定压法	244
§ 18-5 压差法	245
参考文献	246

第一章 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，低于一个大气压的气体状态。在真空状态下，气体的稀薄程度通常用压强值来表示。这种特定的真空状态和我们赖以生存的大气状态相比，它的单位体积内的气体分子数目明显地减少了，气体分子之间或气体分子与其它质点之间相互碰撞的次数也减少了。基于这些特点，真空技术已广泛地应用于工业生产、国防军工和科学技术等各个领域，满足了某些工艺上的特殊要求。例如，在冶金过程中，利用真空条件去除金属及合金中的气体与杂质；易氧化的活泼金属、高纯度的难熔金属，在有了真空条件以后，才促进了它们的发展。除此之外，在航天、电子、化工、机械、轻工和食品等工业部门，真空技术也得到了广泛的应用。

根据各应用部门所需要的不同的真空条件，工业上相继出现了各种各样的用以获得真空的设备，即所谓的真空获得设备。随着生产工艺的进展，真空获得设备（又称真空泵）也得到相应的发展。

§ 1-2 真空泵的分类

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

由于真空应用部门所涉及的工作压强的范围很宽，因此任何一种类型的真空泵都不可能完全适用，只能根据不同的工作压强范围和不同的工作要求，使用不同类型的真空泵。为了使用方便起见，有时将各种真空泵按其性能要求组合起来，以机组型式出现。真空泵通常是按其工作原理或结构特点来进行详细分类的，具体分类如下：

一、气体传输泵

它是一种能使气体不断地吸入和排出以达到抽气目的的真空泵。这种气体传输泵含有变容式和动量传输式两大类。

（一）变容真空泵

它是利用泵腔容积的周期变化来完成吸气和排气的装置。气体在排出前被压缩。这种泵分为往复式及旋转式两种。

1. 往复真空泵 利用泵腔内活塞往复运动，将气体吸入、压缩并排出。因此，又称活塞式真空泵。

2. 旋转真空泵 利用泵腔内活塞旋转运动，将气体吸入，压缩并排出。它下属的类别很多，大致有如下几种：

（1）油封式真空泵 它是利用油类密封各运动部件之间的间隙，减少有害空间的一种旋转变容真空泵。这种泵通常带有气镇装置，故又称气镇式真空泵。按其结构特点分为如下五种型式。

1）旋片真空泵 转子以一定的偏心距装在泵壳内并与泵壳内表面的固定面靠近，在

转子槽内装有两个(或两个以上)旋片,当转子旋转时旋片能沿其径向槽往复滑动且与泵壳内壁始终接触,此旋片随转子一起旋转,可将泵腔分成几个可变容积。

2) 定片真空泵 在泵壳内装有一个与泵壳内表面靠近的偏心转子,泵壳上装有一个始终与转子表面接触的径向滑片,当转子旋转时,滑片能上、下滑动将泵腔分成两个可变容积。

3) 滑阀真空泵 在偏心转子外部装有一个滑阀,转子旋转带动滑阀沿泵壳内壁滑动和滚动,滑阀上部的滑阀杆能在可摆动的滑阀导轨中滑动,而把泵腔分成两个可变容积。

4) 余摆线真空泵 在泵腔内偏心装有一个型线为余摆线的转子,它沿泵腔内壁转动并将泵腔分成两个可变容积。

5) 多室旋片真空泵 在一个泵壳内并联装有由同一个电动机驱动的多个独立工作室的旋片真空泵。

(2) 干封式真空泵 它是一种不用油类(或液体)密封的变容真空泵。

(3) 液环真空泵 带有多叶片的转子偏心装在泵壳内,当它旋转时,把液体(通常为水或油)抛向泵壳形成与泵壳同心的液环,液环同转子叶片形成了容积周期变化的几个小容积,故亦称旋转变容真空泵。

(4) 罗茨真空泵 泵内装有两个相反方向同步旋转的双叶形或多叶形的转子,转子间、转子同泵壳内壁之间均保持一定的间隙。它属于旋转变容真空泵。机械增压泵即为这种型式的真空泵。

(二) 动量传输泵

依靠高速旋转的叶片或高速射流,把动量传输给气体或气体分子,使气体连续不断地从泵的入口传输到出口。这种泵具体可分为如下几种类型。

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。它有如下几种型式:

(1) 牵引分子泵 气体分子与高速运动的转子相碰撞而获得动量,被送到出口,因此,是一种动量传输泵。

(2) 涡轮分子泵 泵内装有带槽的圆盘或带叶片的转子,它在定子圆盘(或定片)间旋转。转子圆周的线速度很高。这种泵通常在分子流状态下工作。

(3) 复合分子泵 它是由涡轮式和牵引式两种分子泵串联组合起来的一种复合型的分子真空泵。

2. 喷射真空泵 它是利用文丘里(Venturi)效应的压力降产生的高速射流把气体输送到出口的一种动量传输泵,适于在粘滞流和过渡流状态下工作。这种泵又可详细地分成以下几种:

(1) 液体喷射真空泵 以液体(通常为水)为工作介质的喷射真空泵。

(2) 气体喷射真空泵 以非可凝性气体作为工作介质的喷射真空泵。

(3) 蒸气喷射真空泵 以蒸气(水、油或汞等蒸气)作为工作介质的喷射真空泵。

3. 扩散泵 以低压高速蒸气流(油或汞等蒸气)作为工作介质的气体动量传输泵。气体分子扩散到蒸气射流中,被送到出口。在射流中气体分子密度始终是很低的。这种泵适于在分子流状态下工作。

(1) 自净化扩散泵 泵液中易挥发的杂质经专门的机构输送到出口而不回到锅炉中

的一种油扩散泵。

(2) 分馏扩散泵 这种泵具有分馏装置, 使蒸汽压强较低的工作液蒸气进入高真空工作的喷嘴, 而蒸汽压强较高的工作液蒸气进入低真空工作的喷嘴, 它是一种多级油扩散泵。

4. 扩散喷射泵 它是一种有扩散泵特性的单级或多级喷嘴与具有喷射真空泵特性的单级或多级喷嘴串联组成的一种动量传输泵。油增压泵即属于这种型式。

5. 离子传输泵 它是将被电离的气体在电磁场或电场的作用下, 输送到出口的一种动量传输泵。

二、气体捕集泵

它是一种使气体分子被吸附或凝结在泵内表面上的真空泵, 有以下几种型式。

(一) 吸附泵

它主要依靠具有大表面积的吸附剂(如多孔物质)的物理吸附作用来抽气的一种捕集式真空泵。

(二) 吸气剂泵

它是一种利用吸气剂以化学结合方式捕获气体的真空泵。吸气剂通常是以块状或沉积新鲜薄膜形式存在的金属或合金。升华泵即属于这种型式。

(三) 吸气剂离子泵

它是使被电离的气体通过电磁场或电场的作用吸附在有吸气材料的表面上, 以达到抽气目的。它有如下几种型式。

1. 蒸发离子泵 泵内被电离的气体吸附在以间断或连续方式升华(或蒸发)而覆在泵内壁的吸气材料上, 以实现抽气的一种真空泵。

2. 溅射离子泵 泵内被电离的气体吸附在由阴极连续溅散出来的吸气材料上, 以实现抽气目的的一种真空泵。

(四) 低温泵

利用低温表面捕集气体的真空泵。

§ 1-3 真空泵的性能、用途和使用范围

一、真空泵的主要性能

1) 真空泵的抽气速率(体积流率)(单位: $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$) 当泵装有标准试验罩并按规定条件工作时, 从试验罩流过的气体流量与在试验罩上指定位置测得的平衡压强之比。简称泵的抽速。

2) 真空泵的抽气量(单位: $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $\text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$) 流经泵入口的气体流量。

3) 真空泵的极限压强(极限真空)(单位: Pa) 泵装有标准试验罩并按规定条件工作, 在不引入气体正常工作的情况下, 趋向稳定的最低压强。

4) 起动压强 泵无损坏起动并有抽气作用时的压强。

5) 前级压强 排气压强低于一个大气压的真空泵的出口压强。

6) 最大前级压强 超过了能使泵损坏的前级压强。

7) 最大工作压力 对应最大抽气量的入口压强。在此压强下, 泵能连续工作而不恶化或损坏。

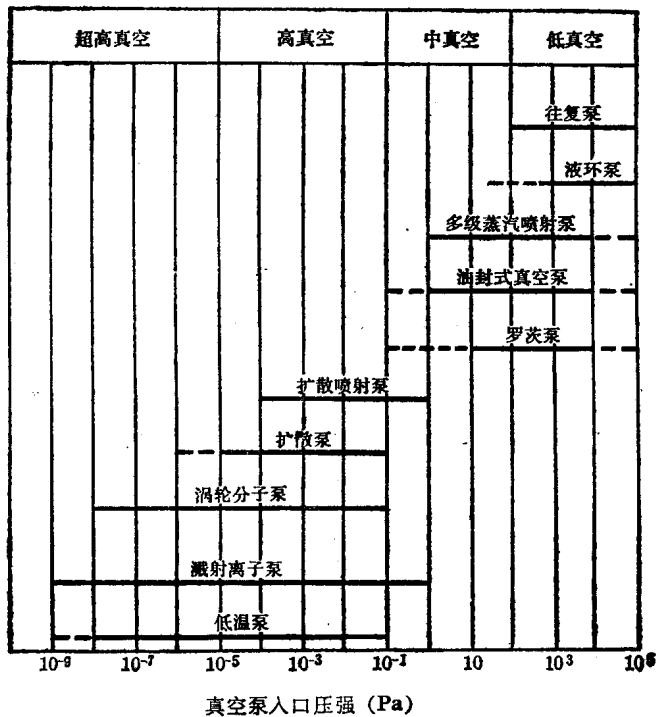
- 8) 压缩比 泵对给定气体的出口压强与入口压强之比。
- 9) 何氏系数 泵抽气通道面积上的实际抽速与该处按分子泻流计算的理论抽速之比。
- 10) 抽速系数 泵的实际抽速与泵入口处按分子泻流计算的理论抽速之比。
- 11) 返流率 (单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 泵按规定条件工作时, 通过泵入口单位面积的泵液质量流率。
- 12) 水蒸气允许量 (单位: $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$) 在正常环境条件下, 气镇泵在连续工作时能抽除的水蒸气质量流率。
- 13) 最大允许水蒸气入口压强 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强。

二、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, 降低系统的压强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强维持在其最高许可的前级压强以下的真空泵。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 从大气开始, 降低容器压强且工作在低真空范围的真空泵。

表 1-1 各种真空泵的使用范围



- 6) 高真空泵 在高真空范围工作的真空泵。
- 7) 超高真空泵 在超高真空范围工作的真空泵。
- 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强范围的抽气量或降低前级泵容量要求的真空泵。

三、真空泵的使用范围

各种型式的真空泵其使用范围如表1-1所示。

§ 1-4 真空泵的型号及规格表示法

国产的各种真空泵的型号通常是用汉语拼音字母来表示的(如表1-2所示)。如果在拼音字母前冠以“2”字, 则表示双级泵。

某些真空泵系列的抽速是以几何级数来分挡的(抽速的单位为 $L \cdot s^{-1}$), 即0.2, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 70, 150, 300, 600, 1200, 2500, 5000, 10000, 20000, 40000共十八个抽速等级。

真空泵系列有时还以入口口径的尺寸来表示。因此选用时要详见产品样本和说明书。

表 1-2 各种真空泵的型号与名称

型 号	名 称	型 号	名 称	型 号	名 称
W	往 复 泵	XD	旋转多片泵	L	溅射离子泵
SZ	水 环 泵	F	分 子 泵	S	升 华 泵
X	旋 片 泵	ZJ	机械增压泵	P	水蒸气喷射泵
D	定 片 泵	Z	油增压泵	PS	水喷射泵
H	滑 阀 泵	KC	超高真空油扩散泵	N	冷 凝 泵
YZ	余摆线泵	K	油扩散泵	IF	分子筛吸附泵

第二章 水环式真空泵

§ 2-1 水环泵的工作原理及特点

水环式真空泵（简称水环泵）是一种粗真空泵，它所能获得的极限真空为2000~4000Pa，串联大气喷射器可达270~670Pa。水环泵也可用作压缩机，称为水环式压缩机，是属于低压的压缩机，其压力范围为1~2×10⁵Pa表压力。

水环泵最初用作自吸水泵，而后逐渐用于石油、化工、机械、矿山、轻工、医药及食品等许多工业部门。在工业生产的许多工艺过程中，如真空过滤、真空引水、真空送料、真空蒸发、真空浓缩、真空回潮和真空脱气等，水环泵得到广泛的应用。由于真空应用技术的飞跃发展，水环泵在粗真空获得方面一直被人们所重视。由于水环泵中气体压缩是等温的，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，水环泵的应用日益增多。

一、工作原理

由图2-1可见，水环泵是由泵体1，偏心安装的叶轮2及端盖5（开设有吸气口、排气口）等几部分组成。

图2-1a是一台单作用水环泵的工作原理图。在泵体中装有适量的水作为工作液。当叶轮按图中指示的方向旋转时，水被叶轮抛向四周，由于离心力的作用，水形成了一个决定于泵腔形状的近似于等厚度的封闭圆环。水环的上部内表面恰好与叶轮轮毂相切，水环的下部内表面刚好与叶片顶端接触（实际上叶片在水环内有一定的插入深度）。此时叶

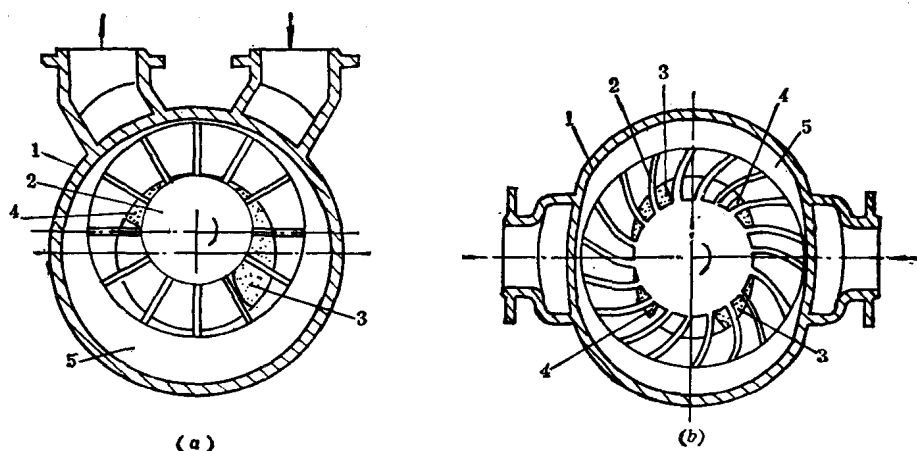


图 2-1 水环泵工作原理图

1—泵体；2—叶轮；3—吸气口；4—排气口；5—端盖

轮毂与水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，且与端面（即端盖）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），当吸气終了时小腔则与吸气口隔绝；当叶轮继续旋转时，小腔由大变小，

使气体被压缩；当小腔与排气口相通时，气体便被排出泵外。

图2-1b 是一台双作用水环泵的工作原理图。它的泵腔相对于叶轮做成双偏心，近似于椭圆形，叶轮转动时其水环内表面与轮毂形成二个上下对称的月牙形空间，其端面上开设两个吸气口与两个排气口，因此转子旋转一周每个小腔吸气、排气各两次。

综上所述，水环泵是靠泵腔容积的变化来实现吸气、压缩和排气的，因此它属于变容式真空泵。

值得注意的是：水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着吸气小腔吸入气体的体积；而排气口开始的位置决定着排气时压缩了的气体的体积。对已经确定了结构尺寸的水环泵，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。

在水环泵中，水环压缩气体的能量是这样传递的：水被叶轮带动之后形成水环，这时叶轮把能量传递给水使之动能增加，水才具有一定的速度在泵腔内回转。就单作用水环泵来说，在吸入侧（前180°时），埋在叶轮内的水被叶轮加速，当水从叶轮腔内被甩出之后，水具有与叶片端点切线速度相近的速度；在前半周，由于吸入气体压强恒定，其各点速度相等。在后半周，气体被压缩，当水环重新进入叶轮腔时速度下降，其动能有一部分转变成势能（压力能），以抵抗气体膨胀压力。而在空载不压缩气体时，后半周水的动能便会推动叶轮加速回转。

二、水环泵的特点

水环泵和其它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，泵的转数较高，一般可与电动机直联，无须减速装置。故用小的结构尺寸，可以获得大的排气量，占地面积也小。
- 3) 压缩气体基本上是等温的，即压缩气体过程温度变化很小。
- 4) 泵腔内没有金属摩擦表面，无须对泵内进行润滑，而且磨损很小。转动件和固定件之间的密封可直接由水封来完成。
- 5) 吸气均匀，工作平稳可靠，操作简单，维修方便。

水环泵也有其缺点：

- 1) 效率低，一般在30%左右，较好的可达50%。
- 2) 真空度低，这不仅是因为受到结构上的限制，更重要的是受工作液饱和蒸气压的限制。用水作工作液，极限压强只能达到2000~4000Pa。用油作工作液，可达130Pa。

总之，由于水环泵中气体压缩是等温的，故可以抽除易燃、易爆的气体。由于没有排气阀及摩擦表面，故可以抽除带尘埃的气体、可燃性气体和气水混合物。有了这些突出的特点，尽管它效率低，仍然得到了广泛的应用。

§ 2-2 水环泵的基本类型与结构

一、基本类型

水环泵按不同结构可分成如下几种类型：

1. 单级单作用水环泵

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。

结构如图2-1 a 所示。这种泵的极限真空较高，但抽速和效率较低。

2. 单级双作用水环泵

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、排气各进行二次。结构如图2-1 b 所示。在相同的抽速条件下，双作用水环泵比单作用水环泵可以大大减小尺寸和重量。由于工作腔对称分布于轮毂两侧，这样就改善了作用在转子上的载荷。但是，由于这种泵有些零件比较复杂，使加工较为困难。此种泵的抽速较大，效率也较高，但极限真空较低。

3. 双级水环泵

双级水环泵大多是单作用泵串联而成。这种水环泵实质是两个单级单作用的水环泵的叶轮共用一根心轴联接而成。它的主要特点是在较高真空度下，仍然具有较大的抽速，工作状况稳定。然而，单级单作用水环泵在较高真空度下抽速急剧下降，工作不十分稳定。而单级双作用水环泵则无法达到这样高的真空度。

4. 大气水环泵

所谓大气水环泵，实际是大气喷射器串联水环泵的机组。大气喷射器又称大气喷射真空泵，简称为大气泵。水环泵前面串联大气泵是为了提高极限真空，扩大使用范围。

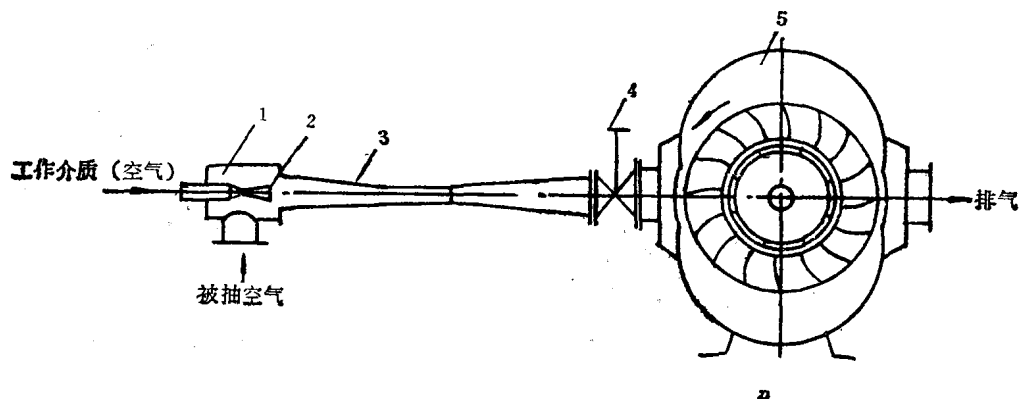


图 2-2 大气水环泵工作原理图

1—混合室；2—喷嘴；3—扩压器；4—真空阀；5—水环泵

大气泵由喷嘴、混合室和扩压器组成，并用管道与水环泵的进气口连结，如图2-2所示。

它的工作原理是：先开动水环泵，以获得大气泵所需的预真空度，也就是使喷嘴的进气口与排气口之间有压力差，大气便通过喷嘴流入泵内。当压力差为大气压力之半时，工作介质（空气）经过喷嘴的收缩段时得到加速。在经过喉部时即达到音速，继续经过喷嘴的扩张段时得到进一步加速，最后以超音速射向扩压器。此高速运动的气流携带被程抽体，造成混合室内有较高的真空度，以致将被抽容器中的气体吸入。两股气流在混合过程中，由于动量交换所产生的损失，特别是经过扩压器收缩时，由于一系列激波所造成的激波损失，使得混合气流的速度逐渐减慢，当进入扩压器的喉部时，速度降到音速以下，气流经过扩压器的扩张段而使速度进一步降低，压强不断增高，最后达到大气泵的排气压强即水环泵的吸入压强时，由水环泵把气体吸入，然后排至大气中。

当要求真空度更高时，需将几个大气泵串联，形成多级大气泵，其后一级的大气泵将前一级大气泵排出的混合气体抽走，最后由水环泵排至大气中。其工作原理与一级大气泵基本相同。

大气水环泵主要特点是能得到较高的真空度，视大气泵的具体级数而定。大气泵级数越多，真空度越高。但是，随着大气泵的级数增多，实际抽气能力要降低，即抽气量下降。因此，要根据使用要求，适当地选择大气泵的级数。

二、基本结构

就水环泵的结构来说，双级泵比单级泵要复杂，双作用泵比单作用泵要复杂。本节只就结构简单、产量较多、应用较广的单级单作用的SZ型为例，来说明水环泵的基本结构。

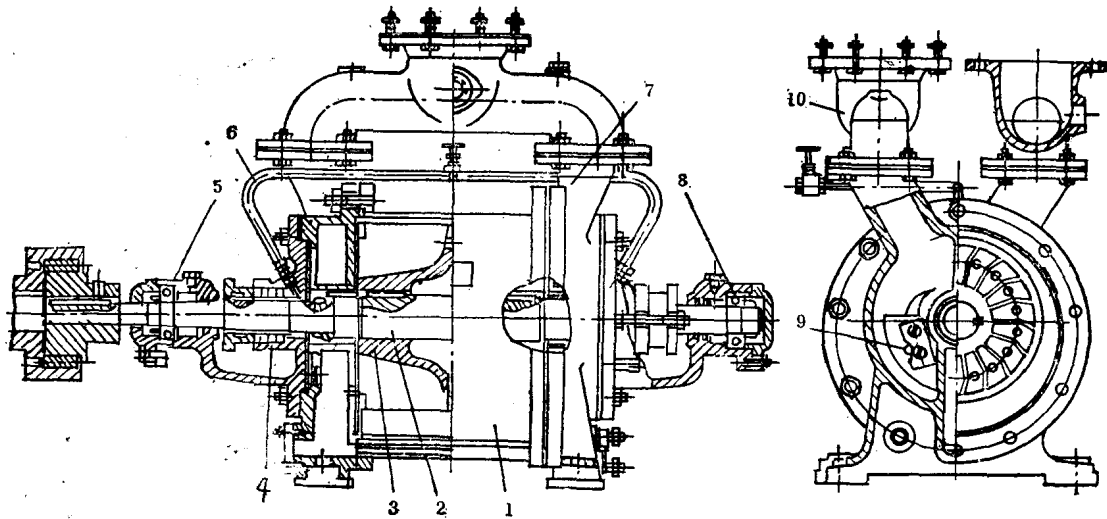


图 2-3 SZ型水环泵的结构图

1—泵体；2—泵轴；3—叶轮；4—填料函；5—轴承架；6—补水管；7—侧盖；8—轴承；9—橡皮球阀；10—联结管

如图2-3所示，水环泵主要由泵体1、叶轮3、侧盖7所组成。侧盖下部有泵腿支撑，上部是进气管和排气管。进气管和排气管分别通过侧盖上的进气孔和排气孔与泵腔相通。泵轴2偏心地安装在泵体之中，叶轮3用键固定在轴上。叶轮与侧盖之间的间隙用泵体和侧盖间的纸垫片来调整。填料函4配备在前、后侧盖上，在侧盖上有水管通填料函，通入的水一部分通过填料冷却填料函，另一部分进入泵体补充运行中水的消耗。泵腔的加工精度要求不高，但不能有渗漏。侧盖上有吸气孔和排气孔，如图2-4所示。在排气孔下方，还设有橡皮球阀。

水环泵的回转部分是由轴、叶轮、键等零件组成。小泵的叶轮一般做成直叶片，大泵一般做成向前弯曲的叶片，弯曲的叶片可提高水环的圆周速度，有利于性能的改善。

填料函由油浸石棉绳（铅粉石棉绳）、填料压盖等组成，如图2-3所示。它是水环泵的主要密封形式，靠水来密封和冷却。一般正常运转时，可调节填料压盖的松紧程度，使水从填料处成滴状往外流，此时密封效果较好，若没有水或水成线状往外流，则密封不佳。填料磨损后要及时更换。

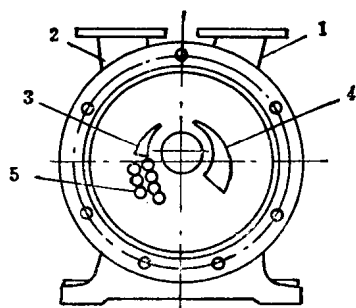


图 2-4 水环泵侧盖

1—进气管；2—排气管；3—排气孔；
4—吸气孔；5—橡皮球阀

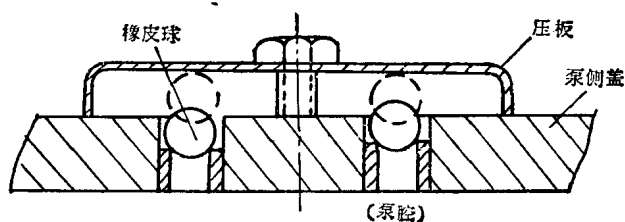


图 2-5 橡皮球阀结构

橡皮球阀是一种特殊的结构，它的作用是消除泵在运转中所产生的过压缩和压缩不足的现象。这两种现象都会过多地消耗功率，其产生的原因是：因为水环泵没有排气阀，而且排气压强是固定的，水环泵的压缩比仅决定于进气口终止位置和排气口的起始位置。然而这两个位置也是固定的，因此它不适应吸入压强变化的需要。为了解决这个问题，一般在排气口下方设置橡皮球阀结构（见图2-5），以便当泵腔内过早达到排气压强时，球阀自动开启，将气体排除，消除了过压缩现象。一般在设计时都以最低吸入压强来确定压缩比，以此来定排气口位置，这样也就避免了压缩不足的现象。

§ 2-3 水环泵的设计计算

设计水环泵时，首先根据所需的抽气量和工作真空度等主要参数来确定其转数和几何尺寸；其次根据给定的(或选定的)压缩比确定排气口的位置——排气角 $\alpha_{\max}$ ；最后根据排气量和压缩比等性能参数确定其驱动所需的电动机功率。对于端面排气的水环泵(即轴向排气的)水环泵，尚需计算出工作过程中水环的内界线，以便合理地确定进、排气口的径向位置。

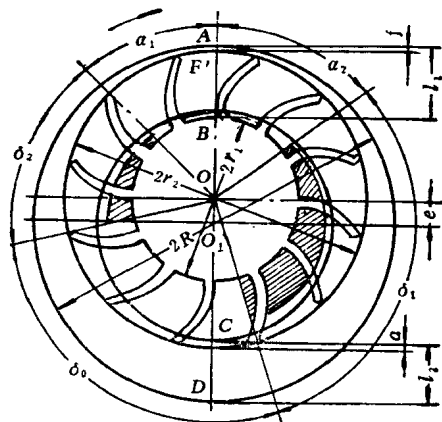


图 2-6 水环泵主要尺寸的示意图

a ——叶片插入液环的深度 (m)；
 l_1 ——AB断面的液环厚度 (m)；
 l_2 ——CD断面的液环厚度 (m)；

一、几何参数的确定

图 2-6 是水环泵的主要尺寸的示意图。图中给出叶轮、水环和泵壳之间的若干径向尺寸，图中各符号的意义如下：以及限定进、排气口位置的几个角度。

r_1 ——叶轮轮毂的半径 (m)；
 r_2 ——叶轮顶圆半径 (m)；
 n ——叶轮的转数 (r/min)；
 ω ——叶轮的角速度 (s^{-1})；
 e ——叶轮的回转中心 O 与泵壳中心 O_1 的距离 (m)；