

前 言

本书是根据《真空技术与设备》专业教学大纲的要求编写的。

全书共分十六章，系统地介绍了各种主要的低真空系、中真空系、高真空系和超高真空系的抽气原理，结构特点以及设计计算方法与有关内容。

参加本书编写的人员有杨通恒(1、3、8、10、11章)，魏常青(5、7章)，姚民生(6、9章)，徐成海(12、13、14、15、16章)，赵裕生(2、4章)等同志。

由于我们水平所限，书中一定存在着许多缺点和错误，请读者批评指正。

《真空获得设备》

编写组

1979年3月

目 录

第一章	引论
第二章	水环泵
第三章	无油机械泵
第四章	旋片式机械泵
第五章	滑阀式机械泵
第六章	余摆线真空泵
第七章	罗茨式真空泵
第八章	分子泵
第九章	蒸气喷射泵
第十章	油籽散泵
第十一章	油栏泵
第十二章	分子筛吸附泵
第十三章	钛升华泵
第十四章	解道式钛泵
第十五章	溅射离子泵
第十六章	低温泵

第一章 引 论

第一节 概 述

什么叫“真空”？按定义来说，是指在规定的空间内，低于周围大气压力（或小于周围大气密度）的气体状态。

“真空”这种气体的特殊状态，其主要特点是：与大气状态比起来，单位体积内气体分子的数目减少了；在真空状态下，气体分子之间或是气体分子与其他质点相互碰撞的次数也减少了。“真空”的这个特点，被广泛地应用到工业生产和科学研究的各个领域，以满足某些工艺上的特殊要求。如在真空冶金方面，就是利用真空条件来去除金属及合金中的气体与杂质，活泼易氧化的金属，高纯度难熔的金属在大气中是无法冶炼的，有了真空条件以后才促进了这些金属产品的发展。除此之外，在航天技术，电子技术以及化学，机械，食品与工业部门，真空技术也得到广泛地应用。

根据不同工业部门对真空条件的特殊需要，相继地出现了各种各样的用以获得“真空”的设备，即所谓的各种类型的真空泵，为满足实际需要得到了相应地发展。

第二节 真空泵分类及其使用范围

真空泵是用以产生，改善和（或）维持真空的装置。基本上它可以分为气体输送泵和气体捕集泵两大类。

目前真空技术发展所涉及的压强范围为760托到 10^{-15} 托以下。这样宽的压强范围，现在还不能使用任何一种真空泵来实现。只能在不同的压强范围，使用不同型式的真空泵。因而也就出现了讨论各种不同型式真空泵的分类和使用范围的问题。

在真空技术中，按照实际的需要，以一定的压力间隔

分几个真空范围，即：

$100 \text{ KPa} \sim 100 \text{ Pa}$

$100 \text{ Pa} \sim 10^{-1} \text{ Pa}$

$10^{-1} \text{ Pa} \sim 10^{-5} \text{ Pa}$

10^{-5} Pa 以下

低真空

中真空

高真空

超高真空

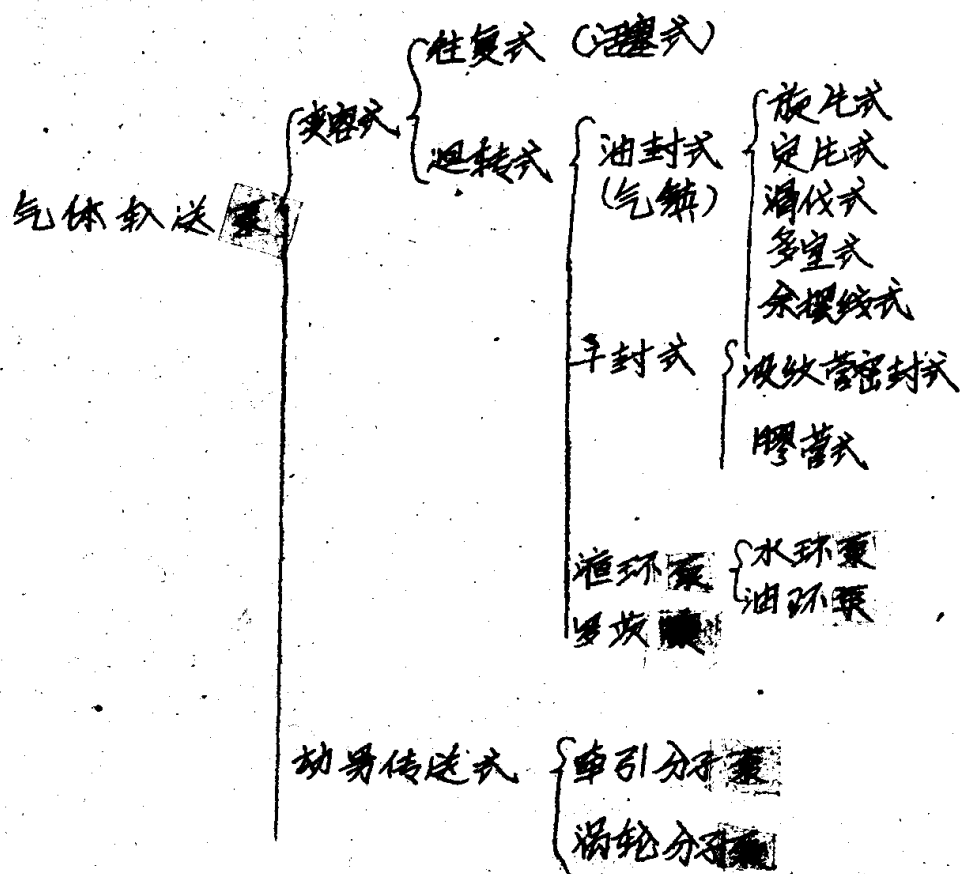
气体压强(压力)的单位多用“帕斯卡”(符号 Pa)表示。

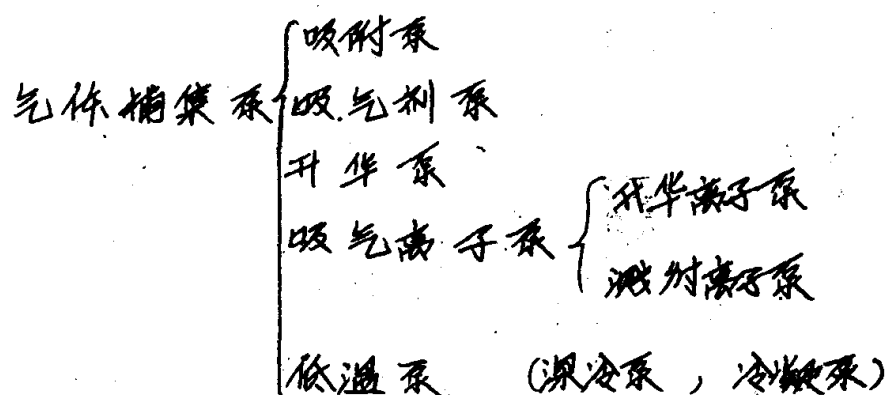
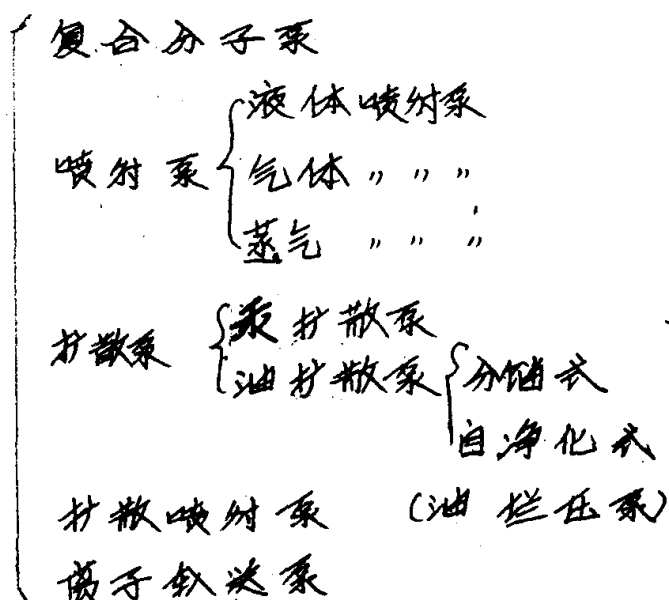
$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛顿/米}^2 = 0.75 \times 10^{-2} \text{ 托}$

$1 \text{ 托} = 133.322 \text{ 帕}$

一般习惯上，把对应上述真空范围的真空泵又分成：低真空泵，中真空泵，高真空泵和超高真空泵。

对于真空泵的种类，是按其作用原理和结构型式来划分的。具体分类如下：





按它们的作用原理, 大致介绍如下:

① 变容式真空泵: 是利用充满气体的泵腔周期地扩大和缩小, 而吸入和排出气体的装置。这种系有往复式和旋转式两种。

② 气镇真空泵: 泵在工作中, 经气镇阀放入适量的非可凝性气体到泵的压缩室, 以降低气体中可凝性蒸汽在泵内凝结程度的变容真空泵。一些油封机械泵均可装气镇装置。

③ 油封(液封)真空泵: 利用油类密封各运动部件间的间隙和减少压缩室有害空间的旋转变容真空泵。

④ 干封真空泵: 不用油(或液体)密封的变容真空泵。

⑤ 活塞(往复)真空泵: 靠泵腔内活塞往复运动, 被抽气体

压缩并排出可变真空泵。

⑥液环真空泵：带有多叶片的转子偏心装在泵壳内，当旋转时，把液体抛向泵壳并形成与泵壳同心的液环，液环同转子叶片形成了周期变化容积的旋转变容真空泵。

⑦旋片泵：转子偏心装在泵壳内，在转子上装有两个（或两个以上）滑片，当转子旋转时滑片能沿其径向槽往复滑动且与泵壳内壁始终接触，将泵腔分成几个可变容积的旋转变容真空泵。

⑧定片泵：转子同泵壳内壁^不接触而偏心转动，泵壳上装有一个始终与转子表面接触的径向滑片，它随转子旋转而上、下滑动，将泵腔分成两个可变容积的旋转变容真空泵。

⑨滑伐泵：在偏心转子外有一滑伐环，转子旋转时带动滑伐环沿泵壳内壁滑动和滚动，滑伐杆固定在滑伐环上并能在装于泵壳适当位置摆动的滑伐导轨中滑动，而把泵腔分成两个可变容积的旋转变容真空泵。

⑩多室真空泵：在一个机座上装有同一电动机驱动的多个独立工作的旋片泵。

⑪余摆线真空泵：其转子和泵腔的理论型线均为余摆线，故称余摆线真空泵，也是旋转变容真空泵的一种。

⑫罗茨真空泵：又称机械增压泵。泵内装有两个相反方向同步旋转的双叶形或多叶形转子，转子间以及转子同泵壳内壁均不接触，保持一定的间隙。

⑬动量传递式真空泵：高速旋转的叶片或运动的射流把动量传递给气体分子，使气体连续不断地从入口排到出口的真空泵。

⑭分子泵：是一种动量传递式泵。气体分子与高速转动的转子表面相碰撞而获得动量，被送到出口。

⑮ 涡轮分子泵：也是一种动量传送系的一种。由高速转动的动片与固定的定片相配合传送动量，使气体从入口排至出口。这种泵适于分子流条件下工作。

⑯ 喷射真空泵：是一种动量传送式泵。利用文丘里 (Venturi) 效应及高速射流把气体抽送到出口。喷射真空泵适于粘滞流和过渡流条件下工作。

⑰ 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。

⑱ 气体喷射真空泵：以非可凝性气体为工作介质的喷射真空泵。

⑲ 蒸汽喷射泵：以蒸汽 (水, 油, 汞等) 作为工作介质的喷射真空泵。

⑳ 扩散泵：是以低压高速蒸汽流 (油或汞的蒸汽) 作为工作介质的动量传送式泵。气体分子扩散到蒸汽射流中, 被送到出口。这种泵适于分子流条件下工作。

㉑ 自净化扩散泵：是一种油扩散泵。泵液中的易挥发杂质经专门的机构抽送到出口而不回到油锅中。

㉒ 分馏扩散泵：是一种多级油扩散泵。这种泵具有分馏装置, 使蒸汽压力较低的工作液供给高真空工作的喷嘴, 而蒸汽压力较高的工作液供给低真空工作的喷嘴。

㉓ 扩散喷射泵 (油增压泵)：是一种多级动量传送式泵。具有扩散泵特性的单级或多级由具有喷射泵特性的单级或多级接替工作。

㉔ 离子输送泵：是一种动量传送式泵。被电离的气体在电磁场 (或只用电场) 的作用下, 送到出口。

㉕ 气体捕集式真空泵：气体分子被内表面吸附或凝结而达到抽气目的真空泵。

㉖ 吸附泵：是一种捕集式真空泵。气体分子主要是通

过具有大表面的吸附剂(如多孔物质)的物理吸附^{作用}来抽气。

⑳吸气剂泵：(消气剂)是一种捕集式真空泵。泵内气体通常被吸在金属或合金吸气剂上。吸气剂以块状或沉积新鲜薄膜的形式存在。

㉑升华泵：是一种捕集式泵。用间断或连续方式升华吸气材料，以达到抽气目的。

㉒吸气离子泵：是一种捕集式泵。泵内被电离的气体通过电磁场(或只用电场)的作用，在附有吸气材料的泵壁内表面上吸附。

㉓升华离子泵：是一种吸气离子泵。泵内被电离的气体经送到以间断或连续方式升华或蒸发而附在泵内壁的吸气材料上而被吸附。

㉔溅射离子泵：是一种吸气离子泵。被电离的气体送到由于阴极溅射连续弥散的吸气材料上而被吸附。

㉕低温泵：(深冷泵，冷凝泵)是一种捕集式真空泵。也是由致冷的低温表面组成，用凝结气体的方法抽气，并且在泵中保持凝结温度的平衡蒸汽压等于或小于要求的低压。

根据实际需要，真空泵有如下一些主要性能：

①泵的抽气量：单位时间流经泵入口的气体量。用符号 Q 表示，其单位有：耗升/秒或帕³/秒。

②泵的抽气速率：(体积流率)泵的抽气量与泵的入口压强之比，简称抽速。用符号 S 表示，其单位有升/秒或米³/秒。

③泵的极限压强：在没有放入气体的情况下，经过充分抽气所获得的稳定的最低压强。

④启动压强：泵在此压强下启动时无损泵的工作并有效抽气作用。

⑤反压强：前级压强)排气压强终于一个大气压强的真

真空泵的出口压强。

⑥ 临界前级压强：蒸汽喷射泵或扩散泵超过了就不能正常工作的前级压强。即最高前级压强值，在该值下前级压强有微小的增加，还不致于引起入口压强显著增加。蒸汽泵的临界前级压强主要决定于气体流量。

(注：对于某些泵来说，工作失效不是突然发生的，因此临界前级压强不能确切地表述。)

⑦ 最大前级压强：能损坏泵的前级压强。

⑧ 最大工作压力：对应最大抽气量的泵入口压强。此时泵能连续工作而不恶化或损坏。

根据真空泵的性能，它在应用中可承担如下工作：

① 主泵：在容器(或系统)中，用以获得一定的真空度并满足特定工艺要求的真空泵。

② 付主泵：(附属真空泵)在已抽空的容器中维持其低压的小型辅助真空泵。

③ 前级泵：维持另一个泵的前级压强在最大允许压强以下的真空泵。前级泵也可以做粗抽泵使用。

④ 粗抽泵：从大气压开始降低容器(或系统)的压强到另一抽气系统开始工作的真空泵。

⑤ 维持泵：在真空系统中，当气体流量很小时，可停止其前级泵工作，而用另一台小的前级泵来维持所需压强。

⑥ 增压泵：装于高真空泵和前级泵之间，以增压中等压强范围的抽气量和降低对前级泵的抽速要求。

⑦ 低真空泵：在低真空范围工作的真空泵。

⑧ 高真空泵：在两台以上泵串联工作的真空系统中，在较低压强下工作的真空泵。

各种真空泵的工作压强范围，大体^上为：

① 往复式真空泵：

$$\begin{cases} 760 \sim 3 \text{ 托 (单级)} \\ 760 \sim 10^{-2} \text{ 托 (双级)} \end{cases}$$

② 油封式机械泵:

$$\begin{cases} 760 \sim 10^{-3} \text{ 托 (单级)} \\ 760 \sim 10^{-4} \text{ 托 (双级)} \end{cases}$$

③ 机械增压泵: $30 \sim 10^{-4}$ 托,

④ 油增压泵: $1 \sim 10^{-4}$ 托,

⑤ 油扩散泵: $10^{-3} \sim 10^{-10}$ 托,

$$\text{⑥ 水蒸汽喷射泵} \begin{cases} 760 \sim 100 \text{ 托 (单级)} \\ 200 \sim 20 \text{ 托 (双级)} \\ 30 \sim 3 \text{ 托 (三级)} \\ 5 \sim 0.5 \text{ 托 (四级)} \\ 1 \sim 5 \times 10^{-2} \text{ 托 (五级)} \\ 1 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-3} \text{ 托 (六级)} \end{cases}$$

⑦ 钛泵: $10^{-2} \sim 10^{-11}$ 托

其中:

$$\begin{cases} \text{溅射离子泵 } 10^{-2} \sim 10^{-11} \text{ 托} \\ \text{解道式钛泵 } 10^{-4} \sim 10^{-11} \text{ 托} \\ \text{蒸发式钛泵 } 10^{-3} \sim 10^{-11} \text{ 托} \end{cases}$$

⑧ 分子泵: $10^{-2} \sim 10^{-11}$ 托

⑨ 冷凝泵: $10^{-3} \sim 10^{-13}$ 托.

在选用上述一些真空泵时, 在满足性能指标的同时还要注意其经济效果。

从上述真空范围的划分来看, 真空度越高, 则单位体积内气体分子数目越少。因此, 获得真空的主要目的就是去降低被抽容积内空间的气体分子数目。

减少被抽容器内气体分子浓度的方法很多，但主要的有两种：一种是把空间气体分子排除而获得真空，另一种是把空间气体分子收集到某一表面上，使被抽容器的空间内气体分子数目减少而获得真空。这也就是已述的气体传送式和气体捕集式两种抽气原理的基本思想。从这一点出发，创造出很多新型的真空泵，来满足不断发展中的需要。

真空技术的推广应用，真空泵的本力就是为这种应用提供低压的纯净的空间和表面。随着真空度的提高，真空泵选择的标准也就要从被抽容器的空间性转移到表面性上来。

真空技术不仅是研究物理学，化学的一种手段，而且是实现四个现代化所必需的一门新技术。为什么“真空”在工业生产和科学研究中得以应用呢？主要是因为真空条件有如下特征：

① 机械力 (和大气压差 $\leq 1 \text{ kgf/cm}^2$)：这种机械力可在真空输送，真空制动上得到应用；

② 使粒子不受阻碍地在空间运行。如真空管，加速器，离子质谱中得到应用。

③ 能提供清洁的气氛免去杂质的来流。如真空冶金。

第三节 国产真空泵型号；规格，性能表示法

泵的型号以拼音字母表示。如果双级泵则在拼音字母前冠以“2”字表示双级。

W——往复式真空泵

SZ——水环式真空泵

X——旋片泵

D——定片泵

H——滑阀泵

YZ——余摆线泵

XD——旋转多片泵

F——分子泵

ZT——机械增压泵

Z——油增压泵

K——油扩散泵

KC——超高油扩散泵

L——溅射离子泵

S——升华泵

P——水蒸汽喷射泵

PS——水喷射泵

N——冷凝泵

IF——分子筛吸附泵

品种分档与抽速的关系 (l/s 表示):

抽速以几何级数分档, 即 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 70, 150, 300, 600, 1200, 2500, 5000, 10000, 20000, 40000。

以上介绍的表示法有很多地方在实际应用上有所改动。如有的泵以口径来分档。因此这里介绍的仅供参考。具体选用时可详见产品目录及说明书。

第二章 水环式真空泵

概述

水环式真空泵是液环式真空泵的一种，其工作介质是水，故称为水环式真空泵，工作介质是油的，称为油环式真空泵，以后水环式机械泵简称水环泵。

水环泵是一种粗真空泵，其工作时获得的极限压强范围为2—40托（即表值728—620mmHg）。水环泵也可用作压缩机，此时称为水环式压缩机，也是属于低压的压缩机，其压力范围为1—2表压力。

水环泵出现较早，最初用做自吸水泵，常用在消防和飞机上，而后来逐渐广泛应用于许多生产部门中。如石油化工，机械，矿山，轻工，电力，食品与工业部门。在工业生产中真空过滤，真空引水，真空送料，真空蒸发，真空浓缩，真空浸渍、真空回潮，真空封罐。真空脱水与许多工艺都应用水环泵。

水环泵在化学工业中应用得最广泛。由于水环泵中气体压缩是等温的，故可以用来抽吸易燃、易爆的气体，由于它没有排气阀，故可以抽除带尘埃的气体、可凝性气体和汽水混合物。

由于真空技术的飞速发展，粗真空的获得方法水环泵被人们更加重视，目前各部门应用生产水环泵的单位日渐增多。

水环泵和其他类型机械真空泵比较有以下优点

1. 结构简单，制造精度要求不高，容易加工制造，便于用户维修。

2. 结构紧凑，泵的转速可以很高，且泵与电机一般可以直接连接，无须减速装置、故小的结构尺寸，可以获得大的

排气易，占地面积也小。

3. 压缩气体基本是等温的即在压缩气体时温度变化很小。在压缩具有腐蚀性以及易燃、易爆（如乙炔、氢气、氧气及汽油等）不会发生爆炸或燃烧事故。这个突出的优点在化学工业中得到广泛地应用。

4. 泵腔内没有金属摩擦表面，无须对泵内进行润滑、磨损也小。转动件和固定件之间的密封可以直接由工作液（水）来完成。

5. 工作平稳，吸气均匀，工作可靠，操作和维护简单。

任何事物都是一分为二的，水环泵也有其缺点，主要有以下几点：

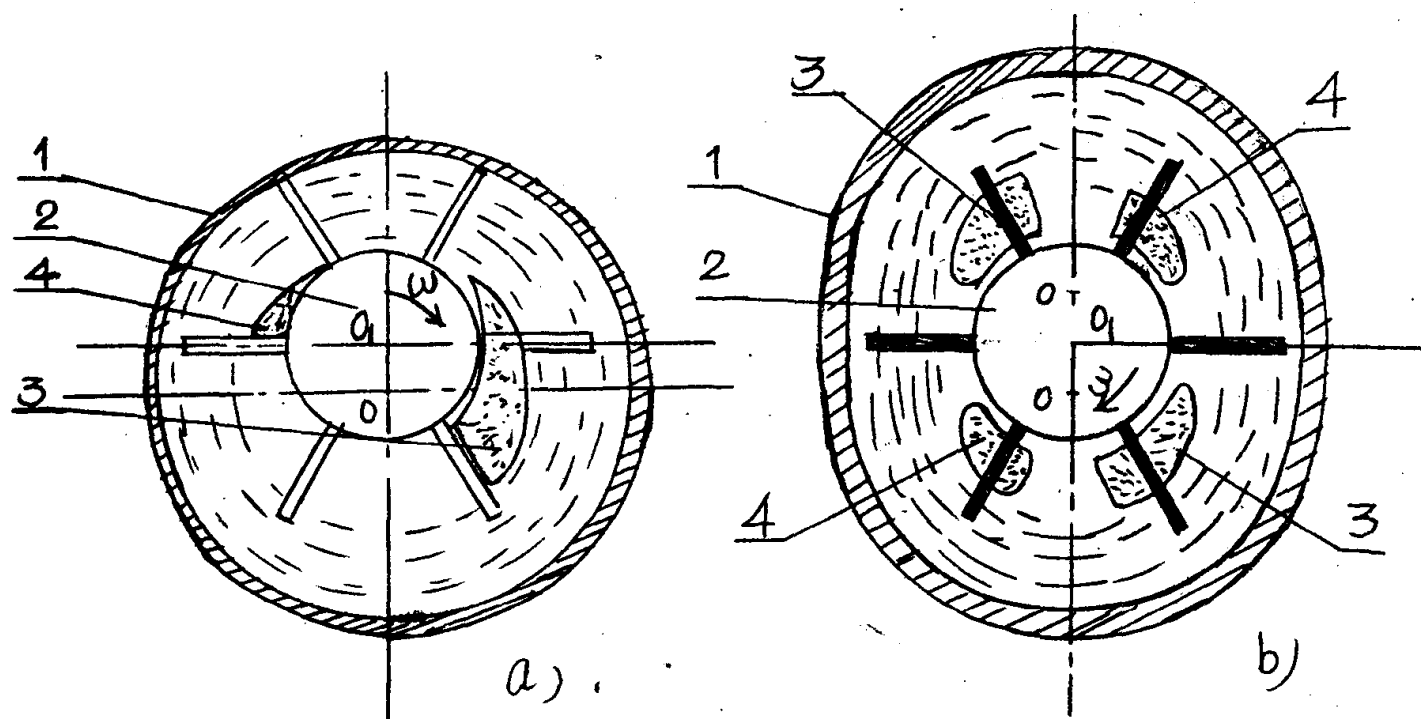
(1) 效率低一般在30%左右，好的可达50%左右。

(2) 真空度低这不但受到结构的限制，而且工作液的饱和蒸汽压也决定了其真空度不会太高。用水作工作液只能达到10~15托左右。（国外单级单作用泵真空度可达30托，国内单级单作用泵可达50托，单级双作用泵可达110托）。用油作工作液极限压强可达1托以下。由于水环泵真空度低，限制了其工作范围。

(3) 用户（特别是化工矿山）的反映，由于对硬水未做软化处理或抽带腐蚀性气体时，造成^泵内结垢或零件的腐蚀损坏。

总之由于水环泵具有等温压缩气体：可以排除含有灰尘和水分的气体，这两个突出的优点，尽管其效率低，仍然得到了广泛地应用，而且随着我国社会主义建设的飞跃发展和水环泵技术的改进，更具有广阔的发展前景。

第一节：水环泵的工作原理及型式



1. 壳体 2. 转子 3. 吸气口 4. 排气口

图 2—1 水环泵工作原理图

一、工作原理：

由图 2—1 可见：水环泵是由壳体 1 中、偏心安装一个带有叶片的转子（简称叶轮）2 组成。图 2—1 (a) 是一台单作用的水环泵示意图。在泵体中装有适量的工作液——水（或油等）。当叶轮按图中指示方向旋转时，水被叶轮抛向四周，由于离心力作用，水形成一个决定于壳体形状的近似的封闭圆环。水环的上部的表面恰好与叶轮轮毂相切；下部的水环内表面刚好与叶片的顶端接触。此时叶轮的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小室。（图中叶片数目 $z=6$ 则分成 6 个小室）。如果叶轮转动以上下为起点（ 0° ），那么叶轮在前 180° 时，小室容积由小变大，而其端面开有吸气口，与进气管道相通，（应注意吸气口的终止位置应开在使小室容积最大时）。而当叶轮由 180° 位置继续转动时，小室则与吸气口隔绝。

而且其体积由大变小，使气体被压缩，为小腔与排气口相通时，气体便被泵排出泵外。

图 2—1 (b) 是双作用水环泵的原理图，其泵体内表面近似椭圆形的。它在叶轮转动一周时，每个小腔吸入和排出两次气体。从而可以缩小泵的几何尺寸。

综上所述可知水环泵也是靠泵腔容积的变化来实现吸气、压缩、排气的，因此它也是容积泵的一种。

值得注意的是，水环泵吸气终止的位置和排气口的开始决定着泵的压缩比。因为吸气口终止位置决定着吸气小腔吸入气体的体积。而排气开始的位置决定着排气开始时该小腔内被压缩了的气体的体积。那对已经确定了结构的水环泵，其压缩比，我们可以求其压缩比；对在设计时对它给定了的压缩比（或事先确定的压缩比）时，可以确定其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产生的：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壳内运转。就单作用水环泵来说在吸入侧（前 180° 时），埋入叶轮中的水被叶轮加速，当水从叶轮腔内被甩出之后，水具有与叶轮叶片端切线速度相近的速度，在前半周，由于压强恒定，其各点速度相等。在后半周，气体开始被压缩。当水重新进入叶片腔时速度下降，使其动能有一部分转变成势能（压力能），以抵抗气体膨胀压力。而在空载时不压缩气体则后半周水的动能便会重新放出，推动叶轮加速运转。

二、型式参数

据 1955 年版《几个批的标准草案》，水环泵的型式与参数如下：

1. 性能范围

在吸入气体温度为 $-20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内；

真空泵最大抽速： $0.4 \sim 250 \text{ m}^3/\text{min}$ ($\text{米}^3/\text{分}$)，极限真空度 $2 \sim 110 \text{ mmHg}$ 。压缩机：最大气量 $1.5 \sim 120 \text{ m}^3/\text{min}$ ，工作压力 $1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ (表压)

2 型水环泵按不同结构可分以下类型

(1) 单级水环泵

型号用作 SK—XX。XX 表示名义气量，包括单作用和双作用两种。名义气量为 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ 及以上泵一般为双作用泵， $12 \text{ m}^3/\text{min}$ 及以下为单作用泵。另外 SK—1.5—60 水环泵也可用作压缩机用，只是其电机功率加大，工作压力范围 $1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 。

单级单作用水环泵，所谓单级，指只有一个叶轮，单作用是指叶轮在旋转一周之中吸气排气各一次，如图 2—1 a) 所示。这种泵的极限真空度较高 ($130 \sim 145 \text{ mmHg}$ ；水泵行业习惯把表压力作为恒量真空度的标准)，因其是相对压力所以用 mmHg 表示，绝对压力用托表示。) 但抽速较低，效率较低。

单级双作用水环泵：一级叶轮，所谓双作用，指叶轮旋转一周吸气，排气各两次。这种泵的泵壳相对于叶轮做成双偏心的，外壳近似椭圆断面，如图 2—1 b) 所示。在相同抽速条件下，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叶轮两侧，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的几何形状较复杂，使加工较为困难，此泵的抽速较大，效率也较高，但极限真空度较低 (650 mmHg)。

(2) 双级水环泵

型号用作 2SK—XX。双级水环泵大多是单作用的。当前生产的实际是双级单作用水环泵，这种水环泵实质是两