

水 环 泵

任 德 高 编

机 械 工 业 出 版 社

水 环 泵

任 德 高 编



机 械 工 业 出 版 社

本书介绍了水环泵的工作原理、类型、结构、影响水环泵性能的各种因素，还介绍了水环泵的各种应用和选择、性能试验以及水环泵的安装、运行、维护、零件的修理及故障处理。书中还以我国常用的SZ型水环真空泵和压缩机、纳氏泵为例，作了具体的说明。

本书通俗易懂，可供使用部门的工人阅读，亦可供技术人员参考。

水 环 泵

任德高 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $6\frac{1}{4}$ · 字数 137 千字

1982 年 1 月北京第一版 · 1982 年 1 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,000 · 定价 0.51 元

*

科技新书目：15-77

统一书号：15033·5178

2R70/32

前 言

水环泵（水环真空泵和压缩机）在工农业生产中用途很广。但是，直至目前为止，有关水环泵的资料还是极为缺乏。为了满足水环泵用户的需要，在调查研究的基础上，针对我国具体情况，并结合工作中遇到的问题编写了本书。

书中介绍了影响水环泵性能的各种因素，根据不同的使用条件，叙述了应该注意的问题，对使用中出现的重大故障也进行了分析，以供使用部门参考。

任德高

一九七九年九月廿二日

目 录

第一章	概述	1
第二章	水环泵的工作原理	8
第一节	水环泵的工作原理	8
第二节	水环泵的工作特点	10
第三节	水环-大气喷射真空泵的工作原理	12
第三章	水环泵的类型与结构	15
第一节	水环泵的基本类型	15
第二节	水环泵的典型结构	19
第三节	水环泵工作系统的设备	31
第四章	水环泵的基本理论	43
第一节	泵内气体和液体运动的规律	43
第二节	水环泵的转速对性能的影响	67
第三节	海拔高度对水环泵性能的影响	76
第四节	液环种类对水环泵性能的影响	80
第五节	吸气孔和排气孔对水环泵性能的影响	89
第六节	补充水对水环泵性能的影响	93
第七节	间隙对水环泵性能的影响	98
第五章	水环泵的应用	105
第一节	水环泵的各种应用	105
第二节	应用中的几个问题	118
第六章	水环泵和电动机的选择	136
第一节	水环泵的选择	136
第二节	电动机的选用	141
第七章	水环泵的性能试验	148

IV

第八章	水环泵的安装	161
第一节	水环泵的装配	161
第二节	管道系统的安装	170
第九章	水环泵的运行及维护	173
第十章	水环泵零件的修理及故障的处理	180
第一节	零件的损坏及修理方法	180
第二节	修理后的检验——水环泵零件的技术要求	185
第三节	常见故障的原因及排除方法	187

第一章 概 述

水环泵是水环式真空泵和水环式压缩机的统一简称。这种泵既可单独作真空泵用，又可单独作压缩机用，或者同时兼作真空泵和压缩机用。

水环泵具有以下优点：

1. 泵内没有金属摩擦表面，无须对泵内进行润滑。零件精度要求不高，结构简单，制造容易，成本低，工作可靠，不易发生故障，维修简便；

2. 泵内一般用水密封和作液环，适宜抽吸有毒、有害气体，虽然吸进气体中含有少量水分或可凝性气体，但对泵性能没有什么影响；

3. 压缩气体是等温的，即气体在压缩过程中温度变化很小。这样，在压缩易燃易爆的气体（如瓦斯、天然气、乙炔、氧气、氢气等）时，不会发生爆炸或燃烧事故。这个特点在化学工业的应用中显得极为重要。

它的缺点是：

1. 效率低，一般为 30~45%；

2. 压缩比低，即产生的最大真空度或最大排气压力很低。

水环泵虽然效率低，但由于它具有很多优点，特别是等温压缩这个突出的优点，使它在低真空和低排气压力的范围内得到了广泛的应用。

水环泵是液环泵的一种。液环泵是工作时在泵体内形成

液环，即与泵体同心的圆环，并通过此液环完成能量的转换以形成真空或压力的泵。在一般的情况下，能量转换的介质是水，所以叫水环泵。水环泵是液环泵中最常见、应用最广泛的一种泵。因此，本书重点介绍使用最为广泛的水环泵。至于对使用其它液体的液环泵，将其与水环泵的不同之处，例如液环种类对性能的影响，液环泵的应用范围等，也作了一定的分析。

本书中主要基本名词术语的简要注释：

1. 气量

水环泵的气量是指泵进口在吸入状态下，单位时间内所通过的气体体积，一般以 $\text{米}^3/\text{分}$ 表示，有时也以 $\text{米}^3/\text{时}$ 、 $\text{升}/\text{秒}$ 表示。

其中水环真空泵的气量，是指泵的进口在给定真空度下和泵的出口为标准大气压状态时的气量，用 Q_2 表示。

水环压缩机的气量，是指泵的出口在给定排气压力下和泵的进口为标准大气压下的气量，用 Q_1 表示。

水环泵进口和出口均为标准大气压状态时的气量称为名义气量，一般情况下它是泵的最大气量。

2. 真空度

习惯上用真空度一词，表示水环真空泵进口处真空压力（即低于一标准大气压的绝对压力）的大小，也就是真空状态的程度。真空度高，说明真空压力（即绝对压力）低，反之，说明真空压力高。真空度的单位常用毫米汞柱、毫、负毫米汞柱和百分比表示。

（1）毫米汞柱——这是用水银压差计测定气体绝对压力的单位。

一般水银压差计的水银柱高度用毫米作单位，称为毫米

汞柱，简写为mmHg。并且规定，0℃时海平面上760毫米汞柱所代表的大气压为一标准大气压（这种规定很直观、具体。严格的定义是1标准大气压=1013250达因/厘米²），又由于水银0℃时的比重为13.6克/厘米³，所以：

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ 毫米汞柱} = 1.033 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

水银槽内和管内若是用别的液体来代替水银，则同样的气压 P 会产生不同的液柱高度，它与液体的比重成反比：

$$P = h_1 \gamma_1 = h_2 \gamma_2$$

式中 h_1 、 h_2 ——分别为槽和管中盛有比重为 γ_1 和 γ_2 的液体的高度。

实际上常用汞柱高和水柱高来表示气压，对于水柱高，有：

$$1 \text{ 标准大气压} = 10.33 \text{ 米水柱}$$

米水柱值及毫米汞柱值愈大，则压力愈大。

（2）毛——测量气压的另一常用单位，它的定义为：

$$1 \text{ 毛} = \frac{1}{760} \text{ 标准大气压} = 1 \text{ 毫米汞柱}$$

（3）负毫米汞柱——表示气体绝对压力与1标准大气压的差值，用带负号的毫米汞柱表示。该值愈小（即绝对值愈大），真空度愈低。

例如，某容器真空度为-700毫米汞柱，即表示该处气体压力与1大气压的差值为700毫米汞柱，而该处气体绝对压力则为760-700=60毫米汞柱。

（4）百分数——用气体绝对压力与一标准大气压的差值占1标准大气压的百分比数来表示。

$$J = \frac{760 - P}{760} \times 100\%$$

式中 J ——真空度(%);

P ——气体绝对压力(托)。

百分数愈大, 真空度愈高。

例如, 某气体压力为 80 托, 则真空度 (%) 为:

$$J = \frac{760 - P}{760} \times 100\% = \frac{760 - 80}{760} \times 100\% = 89.5\%$$

即绝对压力为 80 托的气体, 其真空度为 89.5%, 若用毫米汞柱表示, 则为 80 毫米汞柱或 -680 毫米汞柱。

由于泵厂试验和现场用户使用的真空计, 大都是以相对于标准大气压的差值来表示真空度的, 因此水环泵行业, 一般用负毫米汞柱来表示真空度。

本书中所提到的极限真空度, 即最大真空度, 也就是极限真空压力, 或最小真空压力 (但单位不同)。

3. 排气压力

用于表示水环压缩机排气口处气体压力的大小, 常用公斤力/厘米²作单位, 用符号 P_2 表示绝对压力;

而用 P_2' 表示相对压力, 该压力是用压力表测得的数值, 它表示超过当地大气压的余值, 故又称为表压。

本书中提到的极限排气压力, 就是最大排气压力。

4. 功率

表示作功本领的大小。它又分为有用功率 N_y 、损失功率、轴功率 N 和配套功率。

(1) 有用功率——又叫有效功率。水环泵是等温压缩的, 其等温压缩功率 (即有效功率) N_y 为:

水环真空泵

$$N_y = 3.763 P_1 Q \lg \frac{P_2}{P_1}$$

水环压缩机

$$N_y = 3.763 P_n Q_1 \lg \frac{P_2}{P_1}$$

式中 各符号意义见第七章。

(2) 损失功率——水环泵在作功时所损失的功率。

(3) 轴功率——原动机传给水环泵的总功率，即为有用功率与损失功率之和，用 N 表示。

(4) 配套功率——根据水环泵的最大轴功率，考虑一定的过载量（即安全系数）而选用的配套电动机的功率。

真空泵的配套功率以具有最大轴功率的 10% 的余量为宜，而压缩机的余量约为 15~20%。

5. 效率

表示水环泵对轴功率的有效利用率。这个参数反映出泵性能的优劣。用 η 表示：

$$\text{效率} = \frac{\text{有效功率}}{\text{轴功率}} \text{ 或 } \eta = \frac{N_y}{N}$$

6. 饱和蒸汽压

液体饱和蒸汽所产生的压力。

一切液体在任意温度下都会蒸发。在密闭的容器里，蒸发出来的汽分子由于运动和相互碰撞，有一部分会回到液体中来。随着蒸发出来的气体分子的增加，返回液体中的汽分子也随着增加。最后，势必会在同一时间里，从液面蒸发出来的汽分子和返回液面的汽分子数相等，处于所谓动平衡状态。这时的蒸汽就叫做饱和蒸汽。饱和蒸汽的压力称为饱和蒸汽压。

饱和蒸汽压随液体温度的变化而不同。温度愈高，饱和蒸汽压也愈大。

7. 相对湿度

它是指空气中某一温度的水汽压力与同一温度下水的饱和蒸汽压的百分比。

如果某温度下空气的水汽压用 P 表示，同一温度下水的饱和蒸汽压用 $P_{\text{饱}}$ 表示，相对湿度用 B 表示，则：

$$B = \frac{P}{P_{\text{饱}}} \times 100\%$$

8. 粘度

表示流体流动时粘滞力的大小。

流体在流动时，各部分的流动速度是不相同的。相邻两层流体以不同的速度向前流动时，两流体层之间发生相对运动，从而在层与层的交界面上产生阻碍流体层相对运动的摩擦力。由于这种力在流体内部产生，故叫内摩擦力，也叫粘滞力。

不同的流体有不同的粘滞力，同一流体的粘滞力随温度的升高而迅速减小。

粘度分为绝对粘度和运动粘度。

(1) 绝对粘度——又叫动力粘度，用 μ 表示。单位是克/厘米·秒，又称泊。

(2) 运动粘度——用 ν 表示。为绝对粘度 μ 与流体密度 ρ 之比，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

其常用单位为：

$$1 \text{ 沱} = 1 \text{ 厘米}^2 / \text{秒} = 10^{-4} \text{ 米}^2 / \text{秒}$$

$$1 \text{ 厘沱} = 0.01 \text{ 沱}$$

另外，工业上也常用粘度计的测定值来表示粘度大小，

多用雷氏（雷德伍德）秒数 R 、赛氏（赛波特）秒数 S'' 、恩氏（恩格尔）度等表示。

9. 密度和重度

分别表示单位体积物体的质量和重量。其单位分别为 $\frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$ 和 $\frac{\text{公斤力}}{\text{米}^3}$ ，它们之间的关系为：

重度 = 密度 $\times$ 重力加速度 即 $\gamma = \rho g$

10. 理想流体

忽略可压缩性和内摩擦力的流体。

理想流体的提出，使许多流体力学的问题得到简化。

11. 稳定流动

流体各处的速度和压力不随时间而改变。

12. 流线

稳定流动中，沿着流体质点运动轨迹所画的线。

13. 压缩比 临界压缩比 最大压缩比

压缩比 x 一般均指水环泵排气孔处气体绝对压力 P_2 和吸入孔处气体绝对压力 P_1 之比，即 $x = P_2 / P_1$

临界压缩比 x_{kp} 为能保持水环泵理论气量不变的最大压缩比，超过该压缩比，理论气量就要下降。

最大压缩比 x_{max} ，又称极限压缩比，为水环泵所能达到的最大的压缩比，此时气量为零。

14. 雷诺数 R_e

$$R_e = \frac{v_{cp} d}{\nu}$$

式中 v_{cp} ——管内流体平均流速，厘米/秒；

d ——特征尺寸，对于圆管取其内径，厘米；

ν ——流体的运动粘性系数，厘米²/秒。

第二章 水环泵的工作原理

第一节 水环泵的工作原理

水环泵的工作原理示于图 2-1。

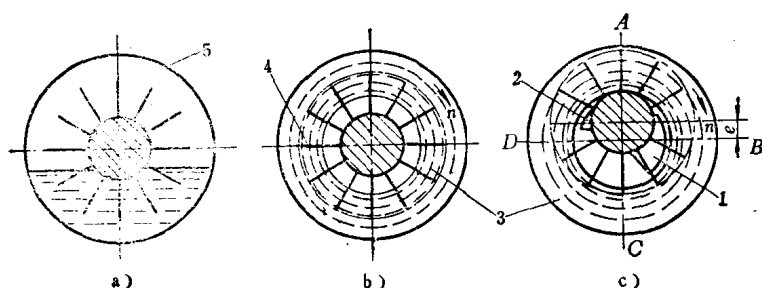


图2-1 水环泵的工作原理

1—吸气孔 2—排气孔 3—水环 4—叶轮 5—泵体

图 2-1 a：叶轮处于静止状态，水存于泵腔的下部。

图 2-1 b：叶轮和泵腔同心安装。叶轮旋转时，由于离心力的作用，水被甩向四周，形成等厚度的圆环，泵腔内也形成等半径的环形空间。设叶片的数目为 12，则由图可见，环形空间被分成 12 个等容积的部分。叶轮在运转过程中，其容积不发生变化，因此空腔中的气体不会扩展或压缩。

图 2-1 c：叶轮偏心地安装在泵体上（设偏心距为 e ）。当叶轮旋转时，所形成的水环仍是等厚度的，这是因为水环的形成是由于离心力的作用，而与偏心无关。但不能形成等

半径的空腔。如果泵腔内的水量适当，则所形成的水环中的一部分（图 2-1 c 中的上部）刚好与轮毂相切，而其它部分与轮毂、叶片等形成月牙形空腔，并且也被 12 个叶片分成 12 个容积不等的小空腔。小空腔的容积是随着叶轮的旋转而逐渐变化的：在由 $A-B-C$ 顺序运转的前 180° 里，由于水环内表面逐渐脱离轮毂，小空腔渐渐由小变大，月牙形内气体压力也逐渐相应地由高变低，这时如果让吸气孔与容器或大气相通，则气体在压力差的作用下不断进入泵腔，这就是吸气过程；在由 $C-D-A$ 顺序运转的后 180° 过程里，水环内表面逐渐向轮毂靠拢，其小空腔的容积逐渐由大变小，月牙形气体被压缩，压力由低升高，当运行至排气孔时，气体就随之排出，这就是排气过程。可见，水环泵的工作可分为吸气、压缩、排气三个过程。我们将泵腔中右半部 $A-B-C$ 叫做吸入腔，左半部 $C-D-A$ 叫做压缩腔。

水环泵属于容积泵类型。在水环泵中，液体随着叶轮而旋转，相对于叶轮轮毂所作的径向往复运动，使月牙形小腔的容积作周期性的变化。水环泵就是靠这种容积的变化来吸气和排气的。

水环泵内的能量是如何通过水环相互转化的呢？

在由 $A-B-C$ （即吸入腔）顺序的运转过程中，叶轮把能量传递给水，使其动能增加。当水从叶片端甩出时，达到叶轮切线速度的水就在泵腔内回转，形成水环；在由 $C-D-A$ （即压缩腔）的运转过程中，小腔容积逐渐变小，水重新进入叶轮内，水的速度开始下降，此时气体被压缩，动能逐渐转化成压力能，从而抵抗气体受到压缩时的反作用力。在这半圆周里，是水环的动能向压力能发生转化的过程，转化后的压力能又传递给气体，使气体获得能量（它与吸入时

的压力能之比即为压缩比)。如果水环泵空载运转,即不压缩气体,在这后半圆周里水环的动能就会放出,推动叶轮旋转。

第二节 水环泵的工作特点

由道尔顿定律知,泵腔内的绝对压力等于气体分压和饱和水蒸汽压之和(假设泵腔内相对湿度为100%)。水温越高,饱和蒸汽压就越高,相应泵腔内的绝对压力也越高,这样水环泵所能抽到的真空度也就越低。这就是为什么水温高会降低真空度的原因。所以,为了提高水环泵的真空度,可以降低水温和改用饱和蒸汽压低的工作液体。例如油的饱和蒸汽压远比水为低,如用来作液环,则油环泵的极限真空度可以达到99.5%(即绝对压力为4托)。

水环的水温对泵气量的影响也较大,真空度愈高时,这种影响也愈显著。水温升高,气量下降,定量的变化可由下式求得:

$$Q_t = Q_{15} \frac{P_1 - P_t}{P_1 - P_{15}} = Q_{15} K$$

式中 Q_t ——水温为 t °C 时的气量 (米³/分);

Q_{15} ——水温为 15°C 时的气量 (米³/分);

P_1 ——水环泵吸入压力(托);

P_t ——水温为 t °C 时的饱和蒸汽压(托);

P_{15} ——水温为 15°C 时的饱和蒸汽压(托)。

例如某一台水环泵,当吸入压力为150托时,水温对气量的影响如表2-1所示。

由此可以看出,水环水温对泵真空度和气量都有一定的影响。为了提高水环泵的性能,应使水环的水温尽可能在

15℃以下，最高也不要超过 25℃。为了达到这个目的，可采用补充冷却水。

表2-1 水环水温对气量的影响

水 温 (℃)	5	10	15	20	25	30	35
K	1.05	1.03	1	0.97	0.92	0.86	0.79

溶于水环内的气体量对泵的气量也有一定的影响。例如在压缩腔内，溶于水环的气体，当该水环运行到吸入腔，也就是说当水环表面的压力降低时，一部分气体就要从水环内析出而占据一定的空间，从而降低泵的气量。同时，由于这部分气体析出后，空腔内形成附加气压，也会降低泵的真空度。但是，由于水环运行很快，一般气体来不及从水环内析出就又被带到压缩腔了。

还必须说明，如果水环泵输送的是 CO_2 ，那么气量和真空度的降低都很明显。在 30 毫米汞柱的真空压力下，气量要降低 10% 左右。在输送 SO_2 时，气量降低更明显。

由此，采用气体溶解度小的液体作液环是有利的。

水环泵在排气时，不可避免地有部分液体随之排走，为了保持恒定的水环，必须连续不断地向泵内供水。另外，水环泵压缩气体时所产生的压缩热、叶片搅动水环所产生的热，都会使水温上升，导致泵的真空度和气量下降。为了排除这些热量，必须不断地向泵内供水以作冷却用。水环泵的补充冷却水，由自来水通过填料函处，从通过冷却器气水分离器有时还由泵体下面供应进去（图 3-19 b、c、d）。在没有自来水的地方（如农村），补充冷却水是由气水分离器供应的（图 5-1）。