



LUOCI  
ZHENKONG  
BENG

JIQISHIYONG

罗茨真空泵

及其使用

52

四川省轻工业机械厂 李 泽 刘俊杰 编

四川科学技术出版社

### 罗茨真空泵及其使用

---

出版: 四川科学技术出版社  
印刷: 雅安地区印刷厂  
发行: 四川省新华书店  
开本: 787×1092毫米 1/32  
印张: 7.5  
字数: 14.2千  
印数: 1—3,330  
版次: 1985年6月第一版  
印次: 1985年6月第一次印刷  
书号: 15298·189  
定价: 1.90元

---

## 前 言

罗茨真空泵，又名机械增压泵，是一种具有节能效果显著、噪声污染低、性能优良的真空泵。它在造纸、冶金、包装、环卫、制药、食品等行业得到了广泛的应用。七十年代初，我国有关部门就明确提出大力推广和发展罗茨真空泵，大大推动了我国罗茨真空泵的应用和发展。

为了使已使用和准备使用的单位对罗茨真空泵从理论到实践有较系统的了解和认识，我厂组织了有经验的工程技术人员撰成此书。本书详细介绍了罗茨真空泵的原理、结构、使用与维护，并对常见故障及排除方法作了重点介绍。内容深入浅出，叙述简明易懂，相信它能成为工程技术人员、操作工人的良师益友。

在本书的编撰过程中，曾得到欧玉林、钟守先、李克仁、梁熙正、马在智、欧阳晓嘉、余辉嘉、杨培伦、唐正华等同志的大力支持，并参与本书稿的审定工作，在此表示衷心感谢。

编 者

1984年12月

# 目 录

第一章 绪论	( 1 )
第一节 概述	( 1 )
第二节 真空的概念	( 2 )
第三节 真空度的衡量	( 3 )
第四节 机械真空泵	( 7 )
第五节 罗茨真空泵的发展	( 19 )
第二章 罗茨真空泵的工作原理	( 20 )
第一节 工作原理	( 20 )
第二节 抽气速率	( 22 )
第三节 罗茨真空泵所需功率	( 28 )
第四节 极限真空	( 31 )
第五节 罗茨真空泵的特点	( 34 )
第六节 型号及主要参数	( 35 )
第三章 罗茨真空泵的结构	( 37 )
第一节 结构概述	( 37 )
第二节 总体结构	( 39 )
第三节 几种常用罗茨泵	( 41 )
第四节 传动装置	( 47 )
第五节 密封装置	( 54 )
第六节 冷却装置	( 60 )
第四章 罗茨真空泵的组合及运行	( 65 )
第一节 罗茨真空泵与前级泵的组合	( 65 )

第二节	罗茨泵—水环泵机组·····	( 67 )
第三节	罗茨泵—水环泵机组的运行·····	( 70 )
第四节	罗茨泵—旋片泵机组·····	( 79 )
第五节	罗茨泵—滑阀泵机组·····	( 79 )
第六节	湿式罗茨真空泵机组及其运行·····	( 82 )
第七节	罗茨泵的串、并联组合·····	( 84 )
第八节	罗茨泵及其机组的运行一般规则·····	( 86 )
<b>第五章</b>	<b>转子型线和总体结构·····</b>	<b>( 91 )</b>
第一节	基本原理·····	( 91 )
第二节	圆弧型转子的理论型线·····	( 92 )
第三节	渐开线转子的理论型线·····	(102)
第四节	摆线转子的理论型线·····	(111)
第五节	罗茨真空泵转子的实际型线·····	(113)
第六节	罗茨真空泵设计方案与结构选择·····	(117)
第七节	罗茨真空泵的主要几何尺寸的确定·····	(118)
第八节	抽速及极限真空度计算·····	(123)
第九节	消耗功率计算及电机选择·····	(124)
第十节	传动齿轮的选择和其它有关问题·····	(125)
<b>第六章</b>	<b>直排大气罗茨真空泵·····</b>	<b>(128)</b>
第一节	基本原理·····	(128)
第二节	渐开线型气冷罗茨真空泵·····	(129)
第三节	圆弧型气冷罗茨真空泵·····	(137)
第四节	水冷式直排大气罗茨真空泵·····	(139)
第五节	大流量地抽除危险气体的多级罗茨真空泵·····	(141)
<b>第七章</b>	<b>性能试验·····</b>	<b>(146)</b>
第一节	性能试验的项目及条件·····	(146)
第二节	极限真空和抽气速率的测试·····	(148)

第三节	消耗功率及效率的测试·····	(154)
第四节	噪声及其它项目的测试·····	(156)
<b>第八章</b>	<b>罗茨真空泵的应用·····</b>	<b>(158)</b>
第一节	在冶金工业中的应用·····	(158)
第二节	在医药方面的应用·····	(168)
第三节	在石油化学工业中的应用·····	(173)
第四节	在真空包装方面的应用·····	(180)
第五节	在造纸工业中的应用·····	(181)
第六节	在真空镀铝方面的应用·····	(295)
第七节	在环卫方面的应用·····	(299)
<b>第九章</b>	<b>罗茨真空泵的安装、使用与维修·····</b>	<b>(200)</b>
第一节	机械设备的安装基础·····	(201)
第二节	机械设备的找正·····	(208)
第三节	典型零部件的装配·····	(212)
第四节	常见故障的分析和处理·····	(223)

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

随着科学技术的发展，真空技术越来越广泛地应用在国民经济的各个领域之中。它已经从电子技术、热核反应、空间科学等方面的应用，扩展到冶金、机械、化工、石油、轻工、食品、交通运输、环保等工业部门。例如在民用工业中，高级合金的真空冶炼，各种材料的真空镀膜，医药化工的真空精馏，造纸工业的真空脱水，制糖工业的真空浓缩，牙膏肥皂的真空脱气，绝缘材料的真空浸渍，大型水泵的真空引水，烟草工业的真空回潮，食品工业的真空冷却，粒状物料的真空吸送，桶装货物的真空吸盘，各种商品的真空包装，等等，由于采用了真空技术，使得这些工业技术更为先进合理，从而取得了简化结构、提高效能、改善质量、降低成本、节约能源等方面的较好效果。甚至在有的工艺装备中，真空技术已起着无可代替的独特作用。

真空技术的运用，必须以性能优良的真空泵为前提。因此，人们努力对真空获得设备进行深入研究，不断研制出更加高效可靠、经济耐用的真空泵。

罗茨真空泵出现于四十年代末，在机械真空泵中是一种性能优良的机型，它具有抽速大、能耗小、结构简单、工作可靠等许多优点，因而用途不断扩展，使用越来越广泛。罗

茨真空泵过去多用于真空获得系统的中间级，作为后级高真空泵的预抽，并通过前级真空泵排向大气，因此又被称为机械增压泵。最近，由于已研究出能直排大气的罗茨真空泵，可省去前级机械泵，更加发挥了罗茨真空泵的优点，大大扩展了这种真空泵的用途。现在，除继续作为高效益的机械增压泵使用外，差不多可以代替各种直排大气的机械真空泵，且广泛使用于多种真空系统中。但是，由于直排大气的罗茨真空泵在我国研制的时光不长，人们还需要有一个认识和熟悉的过程，才能在更多的真空应用领域中替代那些低效的机械真空泵。

近年来，罗茨真空泵代替能耗高、噪声大的水环真空泵、旋片真空泵，取得了大幅度节约能源的效果。例如在造纸机的真空脱水部，以直排大气的罗茨真空泵取代水环真空泵后，不但噪声大大减少，而且节约电能达40%以上，有的工厂三、四个月节电的费用，就能收回购置罗茨真空泵的投资。因此，轻工业部把罗茨真空泵作为造纸工业重大节能措施之一，要求在全国推广应用。

## 第二节 真空的概念

真空，是指压强低于大气压的气态空间。也就是指在给定的空间内，气体分子的密度低于一个大气压的气体分子密度的状态。具体地说，真空的特点有三：一是在真空状态下气体分子个数减少。在不同的真空度下，有不同的分子密度，真空度越高，气体分子个数越少。在标准状态下，每立方厘米气体的分子个数为  $2.687 \times 10^{19}$  个，而在真空度为  $10^{-6}$  Torr 时，减少到  $3.24 \times 10^{10}$  个，相差9个数量级。二是在真



空状态下气体分子的碰撞次数减少。不论在分子之间、分子与其它质点（如电子、离子）之间、或分子与容器壁之间的碰撞次数都随真空度的上升而减少。三是在真空状态下容器要承受大气压力的作用。作用压力的大小，是由该地区大气压与真空容器内气体压强之差决定的。真空度越高，作用的压力就越大。这一作用有时能直观地反映出来，例如不太结实的真空容器在抽到一定的真空度时，容器会因承受不住大气压力而变形。又如著名的马德堡半球实验，更形象地证明了真空容器承受的强大压力。

真空技术的应用，正是以上述真空特性为基础的。例如电子管、显象管、摄象管、粒子加速器等真空器件，必须是在高真空环境里工作，就是因为在高真空状态下空间碰撞次数大大减少，避免了带电粒子或其它基本粒子遭受分子的碰撞，并且在高真空状态下表面碰撞次数也大为减少，使得光电阴极、氧水物阴极的活性表面不易损坏，从而可以维持较长的工作寿命。又如散装粒料的真空吸送、板状物料的真空吸盘以及真空压缩包装等，都是利用大气压力对真空容器压力作用的特点，用控制真空度的手段，达到灵活操纵的效果。

### 第三节 真空度的衡量

工程上常以真空度的高低，来衡量气体稀薄的程度。尽管真空度的高低实质上是气体分子个数的多少，但由于不可能对分子个数进行测量，不便使用，所以通常用真空容器内气体的压力来表示。气体的压力越低，表示真空度越高；气体的压力越高，则表示真空度越低。这种方法易于测试，反应

灵敏，是真空测量的基本方法。

真空度的测量单位通常有下列三种：

(1) 毫米汞柱 (mmHg) 和托 (Torr) 因为早期对真空度测量使用U形水银压力计，以汞柱的高度来表示真空容器的压强，于是就以毫米汞柱作为真空度的测量单位，一直沿用至今。过去曾规定一个标准大气压为760毫米汞柱，后来由于科学技术的进步，发现以汞柱的高度来表示压力并不精确，因为即便是用高纯度的汞来测量标准大气压，其结果也不一致。所以要求测量的精确度较高时，使用毫米汞柱这个单位就不合适了。

国际计量单位规定，标准大气压的压力单位为帕(Pa)，1 Pa等于每平方米面积上作用1牛顿的力，以Pa来定义的标准大气压为：

1 标准大气压(atm) = 101325帕(Pa)。为了与毫米汞柱相对应，又以Pa定义的标准大气压的1/760命名为托。托在数值上与毫米汞柱相差甚微，通常认为二者相等。其关系如下：

$$1 \text{ 托 (Torr)} = \frac{1}{760} \text{ 标准大气压} = 1.333224 \times 10^2 \text{ 帕}$$

$$1 \text{ 毫米汞柱 (mmHg)} = 1.00000014 \text{ 托 (Torr)}$$

(2) 毫巴 毫巴是在CGS制中，以每平方厘米的达因数来表示压力的测量单位。因为毫巴是国际单位帕的100倍，又等于毫米汞柱的3/4，换算方便，使用较多，尤其在气象科学中使用最为普遍。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 毫巴 (mbar)} &= 10^3 \text{ 达因/厘米}^2 \text{ (dyn/cm}^2\text{)} \\ &= 100 \text{ 帕 (Pa)} \\ &= 0.75 \text{ 毫米汞柱 (mmHg)} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 微巴 } (\mu\text{bar}) = 10^{-1} \text{ 帕 } (\text{Pa})$$

各种压力单位之间的换算见表 1—1。

(3) 真空百分数 在测量低粗真空(压力高于1Torr)时,也有用真空百分数来表示真空度的。这就比较直观地表达了与标准大气压相比真空容器压力减少的比例。真空百分数越大,表示真空度越高;真空百分数越小,表示真空度越低。其计算公式如下:

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

式中:  $\delta$ —真空百分数;

$P$ —真空容器的压力, Torr。

真空百分数与压力有固定的对照关系,详见表 1—2。

对真空的程度又划分为五个区域,以便概括其工作范围。这主要是根据真空应用、真空物理特点、常用真空泵、真空规等的使用范围及其它方面来考虑的。

下面的真空区域划分仅供参考。

粗真空  $< 766 \sim 10$  Torr

低真空  $< 10 \sim 10^{-3}$  Torr

高真空  $< 10^{-3} \sim 10^{-8}$  Torr

超高真空  $< 10^{-8} \sim 10^{-12}$  Torr

极高真空  $< 10^{-12}$  Torr

一般工业技术中的真空应用,例如冶炼、蒸发、脱水、脱气、浸渍、吸移等工艺要求,多在粗真空和低真空的区域内。电子器件要求的真空度,如电子管、显象管、 $x$ 射线管等多在高真空区域内。宇宙航行、空间科学的模拟室,以及表面物理的研究试验装置,则要求达到超高真空的区域。

表 1—1 压强单位换算表

单位名称	帕 (Pa)	托 (Torr)	微米汞柱 (mmHg)	微巴 ( $\mu$ bar)	毫巴 (mbar)	大气压 (atm)	磅/英寸 <sup>2</sup> (lb/in <sup>2</sup> )
帕 (Pa)	1	$7.50062 \times 10^{-3}$	7.50062	10	$10^{-2}$	$9.86923 \times 10^{-6}$	$1.450 \times 10^{-4}$
托 (Torr)	1.33.322	1	$10^3$	1333.22	1.33322	$1.31579 \times 10^{-3}$	$1.934 \times 10^{-2}$
微米汞柱 ( $\mu$ Hg)	0.133322	$10^{-3}$	1	1.33322	$1.33322 \times 10^{-3}$	$1.31579 \times 10^{-6}$	$1.934 \times 10^{-5}$
微巴 ( $\mu$ ba)	$10^{-1}$	$7.50062 \times 10^{-4}$	$7.50062 \times 10^{-1}$	1	$10^{-3}$	$9.86923 \times 10^{-7}$	$1.450 \times 10^{-5}$
毫巴 (mba)	$10^2$	$7.50062 \times 10^{-1}$	$7.50062 \times 10^2$	$10^3$	1	$9.86923 \times 10^{-4}$	$1.450 \times 10^{-2}$
大气压 (atm)	101325	760	$760 \times 10^3$	$1013.25 \times 10^3$	1013.25	1	14.695
磅/英寸 <sup>2</sup> (lb/in <sup>2</sup> )	6895	51.715	$51.715 \times 10^3$	$6.895 \times 10^4$	68.95	$6.805 \times 10^{-2}$	1

表 1—2

真空百分数与压强对照表

真空百分数%	压 力 P(Torr)	真空表读数 760—P(Torr)	真空百 分数%	压 力 P(Torr)	真空百分数 760—P(Torr)
0	760	0	85	114	646
10	684	76	90	76	684
20	608	152	95	38	722
30	532	228	96	30	730
40	456	304	97	23	737
50	380	380	98	15	745
60	304	456	99	8	752
70	228	532	99.5	4	756
80	152	608	100	0	760

#### 第四节 机械真空泵

真空泵是一切获得真空装置的统称,包括用机械、物理、化学以及物理化学的方法对密闭容器抽真空的各种机器或器件。在粗真空或低真空区域,有时使用一种真空泵即可达到要求,而在真空度要求较高时,往往需要几种不同类型的真空泵联合工作,才能满足需要。为此,目前已生产出各种类型的真空泵,尽管种类繁多,但从基本原理来看,可归纳为两大类:

(1) **压缩型真空泵** 这类真空泵不断从吸气方吸取气体,经压缩从排气方排走,从而逐渐获得真空。例如机械真空泵在工作循环中的吸气—压缩作用,蒸汽喷射泵利用气体粘滞牵引作用,以及分子泵的分子牵引作用,都属于这种类型。

(2) **吸附型真空泵** 这类泵在前级泵抽至较高真空度的基础上,利用包括吸气物质在内的各种吸气作用将气体吸

去，从而进一步降低气压，提高真空度。例如离子泵利用电离吸气作用，吸附泵、低温泵和吸气剂泵利用物理化学吸附作用，都属于这种类型。

机械工业部部颁标准规定的各种真空泵的产品名称及代号见表1—3。

表1—3 真空泵的名称及代号

名 称	代号	表 示 意 义	参 数 单 位
往复真空泵	W	“往”复 Wang	抽速(L/S)
水蒸气喷射泵	P	“喷”射 Fen	抽气量(kg/h)
水喷射泵	PS	“喷”射 Fen, “水”Shui	抽气量(kg/h)
定片真空泵	D	“定”片 Ding	抽速(L/s)
旋片真空泵	X	“旋”片 Xuan	抽速(L/S)
滑阀真空泵	H	“滑”阀 Hua	抽速(L/S)
机械增压泵	ZJ	“增”压 Zeng “机”械 “Ji”	抽速(L/S)
轴流分子泵	F	“分”子 Fen	抽速(L/S)
油增压泵	Z	“增”压 Zeng	口径(mm)
油扩散泵	K	“扩”散 Kuo	口径(mm)
超高油扩散泵	KC	“扩”散 Kuo “超”高 Chao	口径(mm)
溅射离子泵	L	“离”子 Li	抽速(L/S)
升华泵	S	“升”华 Sheng	口径(mm)
回旋泵	HX	“回” Hui “旋” Xuan	口径(mm)
分子筛吸附泵	XF	“吸”附 Xi “分”子 Fen	分子筛重(kg)
冷凝泵	N	“冷”凝 Ning	抽速(L/S)

从表中可看出，对直排大气的罗茨真空泵尚未作规定，目前在轻工业系统中，非正式地将直排大气罗茨真空泵定为ZBK型，并以抽速和额定真空度为主要参数。

在压缩型真空泵中，机械真空泵使用最为普遍。机械真空泵，是借助机构的运动周期以改变泵内空间的容积，使真空容器内的气体不断被抽吸并压缩排出而获得真空的泵。机械真空泵的种类很多，有活塞往复真空泵、定片真空泵、水环真空泵、旋片真空泵、滑阀真空泵、罗茨真空泵、余摆式真空泵、分子泵等等，活塞往复真空泵和定片真空泵因机械效率低、机构复杂，目前已较少使用。水环真空泵和旋片真空泵的应用最为广泛，无论在粗真空方面的单独运用，还是作为前级泵在较高真空方面的配合应用，都遍及真空技术的许多领域。由于性能更优的罗茨真空泵，往往正是取代或部分取代这两种真空泵在有关领域中的应用，因此这里对这两种真空泵作一简介，以便与罗茨真空泵相比较对照。

1 水环真空泵：水环真空泵在粗真空、大抽气量的应用中十分普遍，主要在化工、石油、轻工部门应用。单级水环泵的极限真空度可达30Torr，双级水环泵的极限真空度可达15Torr，抽气量为 $0.12\sim 50\text{m}^3/\text{min}$ ，国内主要有SZ、SZB、SZH、SZZ、SZL和ZBK等型号。

(1) **工作原理** 水环真空泵借助旋转的叶轮，使水或其它工作液体形成旋转液环，通过液环将抽吸的气体压缩排出，从而获得真空。如果吸气口并非与真空容器相连，而是不断地供给气体，那么这种泵也可以作为压送气体的压缩机使用，例如化工厂输送氯气、煤气、乙烯、氧气时，就常使用这种泵。它的工作液体不仅可使用水，还可以用油或其它液体，因此这种泵又统称为液环泵。

水环真空泵的构造如图1—1所示，泵的叶轮与泵体呈一定距离的偏心安装，在叶轮两侧设有吸气口和排气口，分

别与泵的进出气管相通。当叶轮旋转时，加入泵体内的水被甩成水环，在泵体与叶轮之间形成旋转的水环，如图 1—2 所示。由于偏心的缘故，水环的内表面与叶轮轮毂表面之间构成月牙形的工作空腔，叶轮的叶片将空腔分成几个互不连通、容积不等的封闭小室，当叶片间小室从排气口末端向吸气口旋转时，小室的容积逐渐扩大，产生抽吸作用，气体通过吸气口被吸入小室，继续旋转则小室的容积逐渐缩小，气体被压缩而升高压力，在经过排气口时强行排走。叶轮旋转一周，进行一次吸气—排气循环，叶轮不断旋转，吸气—排气重复进行，因而能将容器抽成真空。

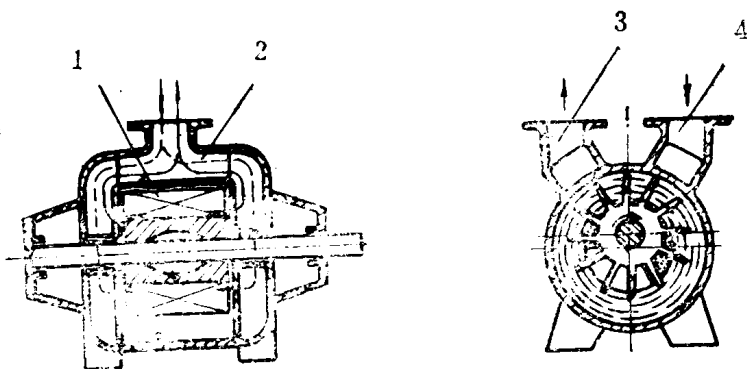


图 1—1 水环真空泵示意图

1. 叶轮 2. 泵体 3. 出气口 4. 进气口

水环在运转中不仅是传递能量的介质，还起着密封工作腔和冷却气体的作用，因此形成一个适当的水环是十分重要的。由于水环的存在，在使用中还必须注意：水环温度升高，会导致真空度下降，亦会导致抽气量下降。所以，为降低其温度，必须不断补充水。



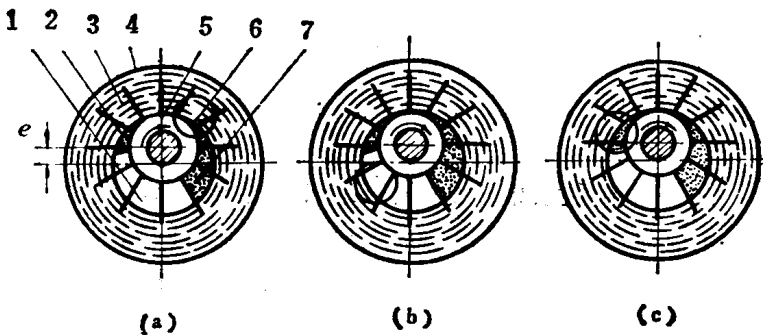


图 1—2 水环泵工作原理图

1. 月牙空腔 2. 排气口 3. 水环 4. 泵体 5. 叶轮  
6. 叶片小室 7. 吸气口

(2) **主要优缺点** 水环真空泵的主要优点:

1) 结构简单, 制造要求不高, 不需要吸气、排气阀, 工作平稳, 气量均匀;

2) 对气体的压缩接近等温压缩, 压缩时温度变化小, 泵内没有相互摩擦的金属接触面, 不易发生燃烧爆炸事故, 适用于易燃爆或温度上升易分解的气体, 这对化工应用有突出的优越性;

3) 液环如采用非油工作介质, 可使抽吸的气体不受油污染。也适用于含有蒸汽、水份或固体微粒的气体;

4) 泵腔内转动件与固定件之间由液体密封, 又无需润滑, 维护简单, 操作容易, 工作可靠。

水环真空泵的主要缺点:

1) 效率低。这种泵的效率一般为30~50%, 最高也只有55%, 能源消耗大; 2) 噪声大。较大型的水环真空泵噪声多在95dB以上, 超过环保条例规定, 有的甚至高达105dB,