

中国机械工程学会主编

机 修 手 册

(試用本)

真 空 泵 的 修 理

机械工业出版社

本手册共分五篇。第一篇：修理技术准备；第二篇：修理工艺；第三篇：设备的安装与保养；第四篇：动力设备的修理；第五篇：电气设备的修理。

第四篇共分11章，分别阐述锅炉、制氧设备、乙炔设备、煤气设备、工业炉、工业管道、风机、空气压缩机、水泵、真空泵、热工仪表等修理，分成11个分册出版。

本分册是第四篇的第十章，书中介绍了各类真空泵的工作范围，国产各种真空泵的性能规格，真空泵的选择、使用和维修，还说明了修理后的试验方法等，可供设备维修方面的技术人员和高级技术工人参考。

参与审阅本分册初稿的有东北工学院真空技术教研室等，特此一并说明。

真空泵的修理

周世敦 编

*

机械工业出版社出版（北京苏州胡同141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·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $1 \frac{4}{16}$ · 字数 38 千字

1966年1月北京第一版·1966年1月北京第一次印刷

印数 00,001—23,000 · 定价(科四) 0.20元

*

统一书号: 15033 · 3967

目 次

真空泵的修理

(周世敦)

一、概述	1
(一) 真空技术中的单位及单位换算	1
(二) 真空区域划分、真空泵的主要参数及其工作范围	2
(三) 国产各型真空泵的性能规格	3
二、真空泵的选择与使用	11
(一) 选择原则	11
(二) 各型真空泵的使用条件	12
(三) 选择计算方法及实例	12
三、真空泵的维护与检修	18
(一) 往复式真空泵的维护与检修	18
(二) 水环式真空泵的维护与检修	19
(三) 油封式真空泵的维护与检修	21
四、检修后的试验	24
(一) 运转试验	24
(二) 性能试验	25
(三) 系统检漏	30
附录 1 英国爱德华 (Edwards) 公司油封式真空泵的性能规格	33
2 西德莱博耳 (Leybold) 公司油封式真空泵的性能规格	33
3 西德普发 (Pfeiffer) 公司油封式真空泵的性能规格	34
4 德意志民主共和国得累耶、荷兰-马丁 (Dreyer & Holland-Merten)	
厂油封式真空泵的性能规格	35
5 日本真空技术 (J. V. E.) 公司油封式真空泵的性能规格	35
6 苏联生产的油封式真空泵的性能规格	35

参考文献	36
------	----

真空泵的修理

一、概 述

(一) 真空技术中的单位及单位换算

1. 压强单位换算 (表 1)

表 1 压强单位换算表

	毫米汞柱 (mmHg)	吋 汞 柱 (inHg)	物理大气压 (atm)	达因/厘米 ² (dyn/cm ²)	公斤/厘米 ² (kg/cm ²)	磅/吋 ² (lb/in ²)
1mmHg (1torr)	1	3.9370×10^{-2}	1.3158×10^{-3}	1.3332×10^3	1.3595×10^{-3}	1.9337×10^{-2}
1inHg	25.40	1	3.3421×10^{-2}	3.3864×10^4	3.4532×10^{-2}	4.1115×10^{-1}
1atm	760	2.9921×10	1	1.0133×10^6	1.0332	1.4695×10
1dyn/cm ²	7.5006×10^{-4}	2.9530×10^{-5}	9.8692×10^{-7}	1	1.0197×10^{-6}	1.4503×10^{-5}
1kg/cm ²	735.56	2.0959×10	9.6784×10^{-1}	9.8067×10^5	1	1.4223×10
1Lb/in ²	5.1715×10	2.0360	6.8046×10^{-2}	6.8948×10^4	7.0307×10^{-2}	1

1 托(torr; tor) = 1 毫米汞柱;

1 微米汞柱(μ Hg) = 10^{-3} 毫米汞柱;

1 公斤/米²(kg/m²) = 10^{-4} 公斤/厘米² = 7.3556×10^{-2} 毫米汞柱;

1 微巴(μ bar) = 1 达因/厘米²(dyn/cm²) = 7.5006×10^{-4} 毫米汞柱;

1 毫巴(mbar) = 10^3 达因/厘米²(dyn/cm²) = 7.5006×10^{-1} 毫米汞柱;

1 巴(bar) = 10^6 达因/厘米² = 7.5006×10^3 毫米汞柱;

1 牛顿/厘米²(Newton/cm²) = 10^5 达因/厘米² = 7.5006×10 毫米汞柱;

1 普西(psi) = 1 磅/吋²(lb/in²) = 5.1715×10 毫米汞柱。

2. 真空度与压强对照 (表 2)

表 2 真空度与压强对照表

真空度 (%)	绝对压强 (p) (毫米汞柱)	真空压力 ($760 - p$) (毫米汞柱)	真空度 (%)	绝对压强 (p) (毫米汞柱)	真空压力 ($760 - p$) (毫米汞柱)
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	25	735
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

注 压强高于 1 毫米汞柱时, 常用真空度百分数表示:

$$\text{真空度}(\%) = \frac{760 - p}{760} \times 100\%$$

式中 p — 气体的绝对压强(毫米汞柱)。

(二) 真空区域划分、真空泵的主要参数及其工作范围

1. 真空区域

通常按压强高低分为:

粗真空	压强范围为 760~10 毫米汞柱;
低真空	压强范围为 $10 \sim 10^{-2}$ 毫米汞柱;
中真空	压强范围为 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 毫米汞柱;
高真空	压强范围为 $10^{-4} \sim 10^{-7}$ 毫米汞柱;
超高真空	压强在 10^{-7} 毫米汞柱以下。

2. 真空泵的主要参数

(1) 极限压强 (极限真空度) 真空泵可以达到的最低压强 (或称最高真空度)。

(2) 最大排气压强 真空泵排气口所允许的最大压强, 一般机械真空泵略高于大气压力约为 90 毫米汞柱。

(3) 抽气速率 真空泵在一定进口压强下单位时间内所抽走的气体体积。

3. 各类型真空泵的工作范围 (表 3)

表 3 各类型真空泵的工作范围

真空泵的类型	级数	极限压强(毫米汞柱)		抽气速率范围
		全压强	分压强	
1. 机械真空泵				
(1) 往复式真空泵	1 2		10~20 0.05~0.2	45~15000米 ³ /时
(2) 水环式真空泵	1 2		20~30 1~3	15~5000米 ³ /时
(3) 旋轉多片式真空泵	1 2		15~25 0.1~0.3	260~5000米 ³ /时
(4) 油封式真空泵				
1) 定片式	1 2	5×10^{-2} 5×10^{-3}	2×10^{-3} 1×10^{-4}	0.2~10升/秒
2) 旋片式	1 2	5×10^{-2} $10^{-3} \sim 10^{-4}$	2×10^{-3} $10^{-4} \sim 10^{-5}$	0.2~100升/秒
3) 滑閥式	1 2	$10^{-2} \sim 10^{-3}$ $10^{-3} \sim 10^{-4}$	10^{-3} $10^{-4} \sim 10^{-5}$	1~500升/秒
2. 罗茨增压泵	1 2	$10^{-3} \sim 10^{-4}$ $10^{-4} \sim 10^{-5}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$ $10^{-5} \sim 10^{-6}$	50~7000升/秒
3. 分子泵			$10^{-6} \sim 10^{-9}$	2~10000升/秒
4. 蒸汽流泵				
(1) 水蒸汽喷射泵			$10^{-2} \sim 10^{-4}$	10~10000升/秒
(2) 油扩散泵		$10^{-6} \sim 10^{-7}$		2~40000升/秒
(3) 汞扩散泵		$10^{-6} \sim 10^{-7}$		2~10000升/秒
(4) 油升压泵		$10^{-2} \sim 10^{-4}$		20000升/秒
(5) 汞升压泵		$10^{-2} \sim 10^{-4}$		15000升/秒
5. 钛离子泵		$10^{-9} \sim 10^{-11}$		10~1000升/秒

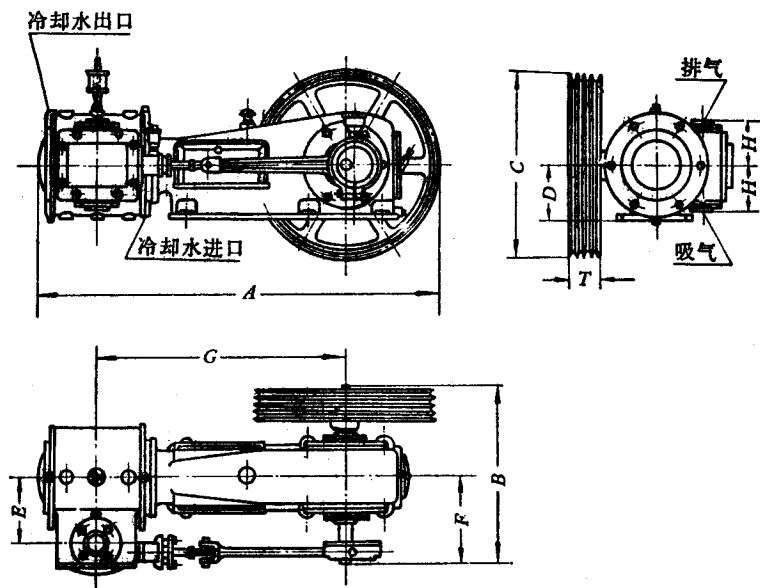
(三) 国产各型真空泵的性能规格

国产各型真空泵的性能规格见表 4~8, 其外形及安装图 (或结构图) 见图 1~8。

表 4 往复式真空泵的性能规格

序号	型号	抽气速率 (米 ³ /时)	极限压强 (毫米汞柱)	转速 (转/分)	电机功率 (千瓦)	气缸直径 (毫米)	冲程 (毫米)	生产厂
1	W1	80	10	300	2.2	170	100	申光机械厂
2	W2	160	10	300	3.7	210	135	申光机械厂
3	W3	264	10	300	5.5	250	150	永固机器厂
4	W4	690	10	300	14	350	200	永固机器厂
5	W5	1440	10	300	28	455	250	永固机器厂
6	W6	4500	10	300	—	—	—	永固机器厂

注 除本表所列之型号外,其他尚有大连新生机械厂,黑龙江第一机械厂曾生产往复式真空泵。由于往复式真空泵与低压往复式压缩机相同的特点,所以一般压缩机制造厂均可生产。



型号	尺寸	A	B	E	F	G	C	D	H	T
W3(V5)		1102	580	235	300	882	640	186	158	84
W4(V6)		1720	740	296	365	1082	785	220	202	112
W5(V7)		2267	930	430	512	1665	1040	260	300	159

图 1 W型往复式真空泵的外形尺寸

表5 水环式真空泵的性能规格(沈阳水泵厂)

序 号	型 号	真 空 度					最高真 空 度 (%)	轉 速 (轉/分)	电机 功率 (千瓦)	吸气口 直 徑 (毫米)	排气口 直 徑 (毫米)	水 消 耗 量 (升/分)
		0	40%	60%	80%	90%						
		抽气速率(米/分)										
1	SZB-4	0.4	0.38	0.3	---	---	80	1450	1.7	1"	1"	—
2	SZB-8	0.8	0.7	0.5	---	---	80	1450	2.8	1"	1"	—
3	SZ-1	1.5	0.88	0.5	0.15	---	90	1450	4.5	70	70	10
4	SZ-2	4.2	2.4	1.55	0.6	0.1	92	1450	10	70	70	30
5	SZ-3	11.5	6.8	4.5	2	1	97	960	28	125	125	70
6	SZ-4	27	17.6	11	5	2	96	720	70	170	150	100
7	SZ-5	55	34	22.4	10.1	4.7	94	600	145	250	225	200

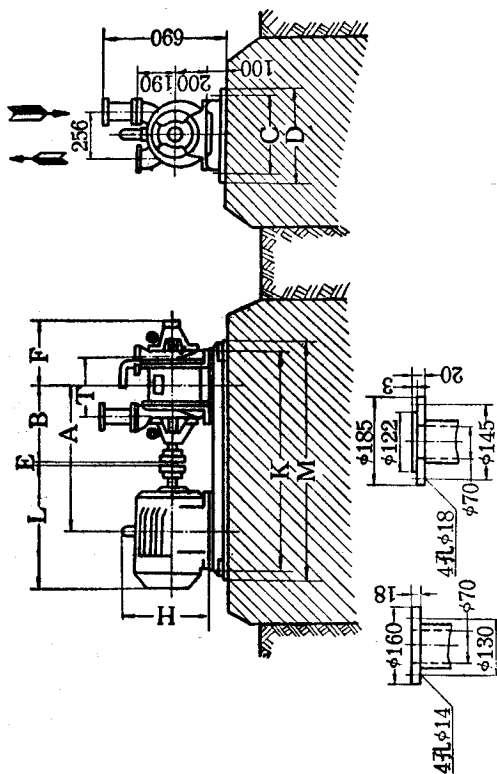
表6 水环式压缩机的性能规格(沈阳水泵厂)

序 号	型 号	压力(公斤/厘米 ²)					最大 压力 (公斤/ 厘米 ²)	轉 速 (轉/分)	电机 功率 (千瓦)	吸气口 直 徑 (毫米)	排气口 直 徑 (毫米)	水 消 耗 量 (升/分)
		0	0.5	0.8	1.0	1.5						
		最大排气量(米 ³ /分)										
1	SZ-1	1.5	1	—	—	—	1	1450	4.5	70	70	10
2	SZ-2	4.2	3.8	2.8	2	—	1.4	1450	14	70	70	30
3	SZ-3	11.5	10.9	10	9	5.3	2.1	960	40	125	125	70
4	SZ-4	27	26	20	16	9.5	2.1	720	80	170	150	100
5	SZ-5	55	55	47.5	28.5	20.2	2.1	600	200	250	225	200

表7 水环式真空泵的性能规格(永固机器厂)

序 号	型 号	真 空 度			最 高 真空度	轉 速 (轉/分)	电机 功率 (千瓦)	吸气口 直 徑 (毫米)	排气口 直 徑 (毫米)	水 消 耗 量 (升/分)
		0	80%	90%						
		抽气速率(米/分)								
1	S1	0.4	—	—	80	1450	1.7	25	25	—
2	S2	0.8	—	—	80	1450	2.8	25	25	—
3	S3	1.5	0.15	—	90	1450	5.5	70	70	10
4	S4	4.2	0.6	0.1	92	1450	10	70	70	20
5	S5	11.6	2	1	97	960	28	125	125	60
6	S6	27	5	2	96	720	70	200	150	100

注 其他尚有佛山水泵厂、重庆水泵厂、长沙水泵厂、浙江水泵厂等工厂生产的水环式真空泵,其性能规格均与本表所列的基本相同。



型 号	尺 寸	A	B	E	F	T	L	H	K	M	C	D
SZ-1		590	312	2	280	186	494	378	597	912	450	500
SZ-2		740	377	2	346	316	647	475	747	1192	470	520

图 2 SZ-1, SZ-2水环式真空泵外形及安装图

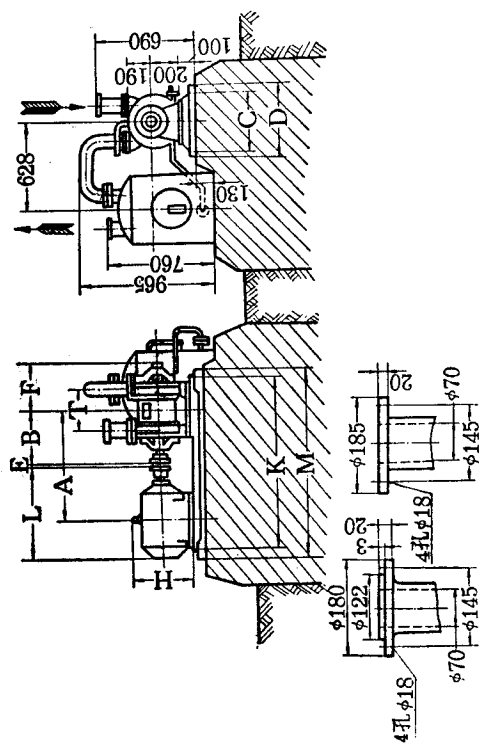
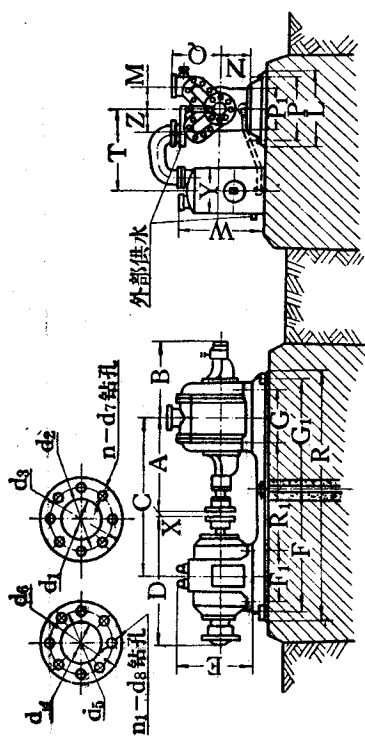


图 3 SZ-1, SZ-2水环式压缩机外形及安装图

型 号	尺 寸		A	B	E	F	T	L	H	K	M	C	D
SZ-1			590	312	2	280	186	494	378	597	912	450	500
SZ-2			740	377	2	346	316	647	475	747	1192	470	520



型号	尺寸	A	B	C	D	X	E	F	F ₁	G	G ₁	R	R ₁	d ₁	d ₂	d ₃
SZ-3		769	648	1289	861	5	640	800	—	800	—	1958	—	125	210	235
SZ-4		912	791	1622	1665	5	860	980	—	980	—	2462	—	175	255	290
SZ-5		1224	916	2178	1665	5	1253	—	770	—	940	—	1374	250	335	370
型号	尺寸	d ₄	d ₅	d ₆	n-d ₇	n ₁ -d ₈	T	Z	M	L	P	P ₁	W	Y	N	Q
SZ-3		100	215	220	8孔φ18	φ18	912.5	142.5	142.5	710	640	—	1100	650	295	380
SZ-4		100	215	220	8孔φ18	φ18	864.5	192.5	192.5	850	780	—	1100	650	405	465
SZ-5		205	280	315	12孔φ18	φ18	1295	24.5	24.5	—	—	780	1400	1010	530	580

图4 SZ-3, SZ-4, SZ-5水环式真空泵和压缩机外形及安装图

表 8 油封式真空泵的性能规格

序号	型 号	结构型式	抽气速率 (在760毫米汞柱时)	极限压强 (毫米汞柱)	电机 功率 (千瓦)	生 产 厂
1	1405	双级定片式	10(升/分)	1×10^{-3}	0.18	上海医疗器械厂
2	1406	双级定片式	30(升/分)	1×10^{-3}	0.375	上海医疗器械厂
3	ZB I -50	双级定片式	50(升/分)	1×10^{-3}	0.6	南光机器厂
4	ZB I -200	双级定片式	200(升/分)	1×10^{-3}	0.8	南光机器厂
5	2X-08	双级旋片式	0.2(升/分)	1×10^{-3}	0.25	{ 申光机械厂 北京仪器厂 沈阳教学仪器厂
6	2X-09	双级旋片式	0.5(升/分)	1×10^{-3}	0.25	沈阳教学仪器厂
7	2X-1	双级旋片式	1(升/分)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	0.25	沈阳教学仪器厂
8	2X-2	双级旋片式	2(升/分)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	0.375	沈阳教学仪器厂
9	2X-3	双级旋片式	4(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	0.6	申光机械厂、北京 仪器厂
10	2X-4	双级旋片式	8(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	1	申光机械厂
11	2X-5	双级旋片式	15(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	1.7	申光机械厂
12	2X-6	双级旋片式	30(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	4.0	上海东方机械厂
13	2X-7	双级旋片式	70(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	7	上海东方机械厂
14	XB-200/2	双级旋片式	200(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	1	上海医疗器械厂
15	XB-500/2	双级旋片式	500(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	1.5	上海医疗器械厂
16	XB-800/2	双级旋片式	800(升/秒)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	1.7	上海医疗器械厂
17	J 160	双级旋片式	160(米 ³ /时)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	4.5	兴平机器厂、辽宁 省机械研究所
18	JB10	双级旋片式	10(米 ³ /时)	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	1.0	辽宁省机械研究所
19	ZB-500	单级滑阀式	500(升/分)	5×10^{-3}	1.7	北京仪器厂
20	ZB I -400	双级滑阀式	400(升/分)	3×10^{-3}	1.7	浙江水泵厂、南光 机器厂
21	ZB I -1300	双级滑阀式	1300(升/分)	3×10^{-3}	2.8	同上
22	1402	单级滑阀式	26.6(升/分)	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	2.2	上海医疗器械厂
23	1401	单级滑阀式	53(升/分)	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	5.5	上海医疗器械厂
24	1400	单级滑阀式	106(升/分)	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	5.5	上海医疗器械厂
25	J 550	单级滑阀式	155(升/分)	1×10^{-2}	20	—
26	H-4	单级滑阀式	8(升/秒)	5×10^{-3}	2.2	{ 上海东方机械厂 浙江水泵厂 沈阳第二电工厂
27	H-5	单级滑阀式	15(升/秒)	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	3	上海东方机械厂
28	H-6	单级滑阀式	30(升/秒)	10^{-3}	4	浙江水泵厂、上海 东方机械厂
29	H-7	单级滑阀式	70(升/秒)	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	7	同上
30	H-8	单级滑阀式	150(升/秒)	10^{-2}	17	同上
31	H-9	单级滑阀式	300(升/秒)	10^{-2}	—	同上

注 旋片式又称刮板式。滑阀式又称柱塞式。

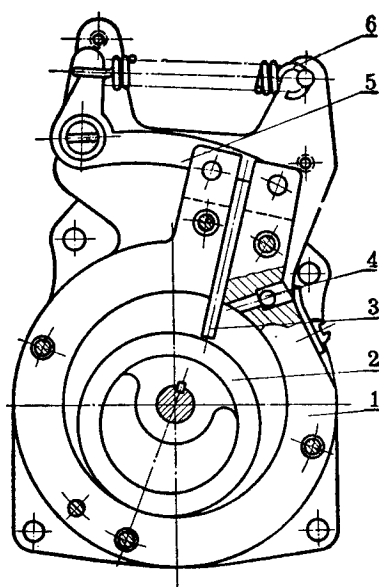


图5 定片式真空泵的结构图:

- 1—泵缸；2—偏心转子；3—平板叶片；
4—排气阀；5—曲板杠杆；6—弹簧

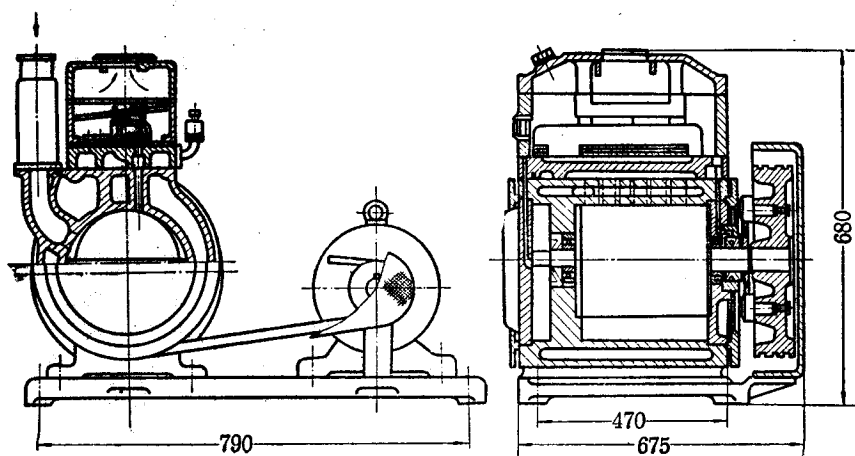


图6 双级旋片式真空泵的结构图

旋轉多片式真空泵結構(參看圖8)與迴轉式葉片鼓風機相同,性能與往復式真空泵相近,但其体积小、重量輕,国内北京仪器厂曾試制过 XD-25 型旋轉多片式真空泵(抽气速率 25 升/秒),苏联生产的 PBH-8, PBH-30, PBH-60, PBH-75 即此种泵。

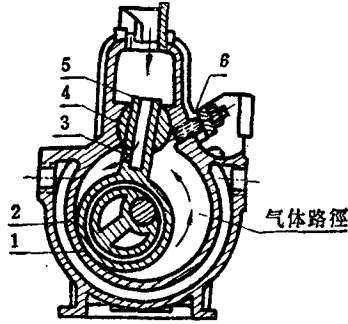


图7 滑閥式真空泵的結構图:

1—轉子; 2—泵体; 3—进气孔; 4—柱塞;
5—空心滑板; 6—排气閥

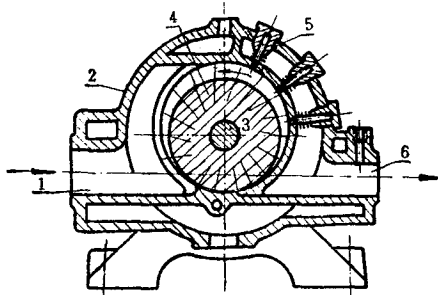


图8 旋轉多片式真空泵的結構图:

1—进气口; 2—泵体; 3—轉子; 4—叶片;
5—安全閥; 6—排气口

二、真空泵的选择与使用

(一) 选择原則

1) 首先, 真空泵的結構須适合于使用条件。如一般的真空泵不能用于抽有腐蚀性的气体; 有潤滑油的真空泵不能用于与油起化学反应的气体。

2) 真空泵的真空度必須能滿足工艺条件所需的真空度。例如，鋼水处理需要在 $0.1 \sim 20$ 毫米汞柱真空度下进行，合金鋼冶炼需要在 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ 毫米汞柱下进行。

3) 所选用的真空泵必須有足够大的抽气速率，保証能在規定時間內把工艺过程中所产生的气体抽走。

4) 真空泵的連續工作時間必須滿足一个工艺循环的要求。

(二) 各型真空泵的使用条件

(1) 往复式真空泵 适用于真空度要求不高的大型容器的抽气，如处理鋼水及鋼錠模除气、真空浸蝕、真空蒸餾、真空干燥、真空过滤、真空濃縮等工艺过程的抽气。

(2) 水环式真空泵 主要用于抽空气，也可用于抽带有液体的气体，如果用于抽除有腐蝕性的气体，則泵需要用耐腐蝕材料制造，国外有将水环泵用油作工作液，真空度达 99.5% (极限压强 4 毫米汞柱)。由于水环式真空泵的結構簡單、制造容易、使用可靠，所以应用非常广泛，如离心水泵引水、鋼水处理等，在化学工业、輕工造纸工业部門应用尤为广泛。

(3) 旋轉多片式真空泵 它的使用范围与往复式真空泵差不多，但泵的体积和重量比往复式真空泵小得多，因此特别适用于需要經常移动的地方。一般來說，这类泵在化工厂使用較多。

(4) 油封式真空泵 包括定片式、旋片式、滑閥式三种型式，工作时用油潤滑及密封机件，主要用于抽清洁空气和对油不起化学变化的气体，以及对黑色金属无腐蝕作用的气体，如灯泡、电子管抽气、真空干燥、真空浸漬等工艺过程的抽气，此种泵可单独使用，还大量用作高真空扩散泵及罗茨增压泵的前級泵。

(三) 選擇計算方法及实例

图 9 表示一簡單的真空系統，气体流量在整个管路任何断面都是相同的：

$$Q' = p_i S_i = \text{常数}$$

式中 p_i ——任一断面的压力 (毫米汞柱)；

S_i ——单位時間內通过該断面的气体体积 (升/秒)。

在泵进口处压力 p_B 比容器內压力 p 低，这是因为系統中任何元件 (导管、閥門等) 当气流通过时都有阻力，称为流阻，其单位如下：

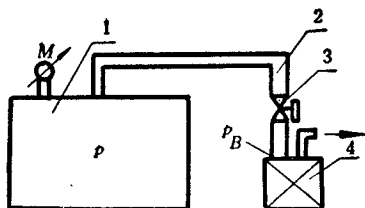


图9 真空系统示意图:

1—容器；2—连接管道；3—阀门；4—真空泵；M—真空计

$$w = \frac{p_1 - p_2}{Q'} \text{ 升/秒}$$

式中 p_1 、 p_2 ——元件两端气体压力， $p_1 > p_2$ （毫米汞柱）。

在真空技术中常采用与流阻相反的量——通导能力 U 来计算， U 称为在元件中单位流阻所通过的流量，即

$$U = \frac{1}{w} = \frac{Q'}{p_1 - p_2} \text{ 升/秒}$$

从上述两式看出三个参数之间有类似欧姆定律的关系。

真空系统的总流阻和通导能力，根据元件的串联与并联按下列公式计算：

串联

$$W_c = W_1 + W_2 + \dots$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \dots$$

并联

$$\frac{1}{W_b} = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} + \dots$$

$$U_b = U_1 + U_2 + \dots$$

式中 W_c 、 U_c ——串联时的总流阻与通导能力；

W_b 、 U_b ——并联时的总流阻与通导能力；

W_1 、 W_2 及 U_1 、 U_2 ——单个元件的流阻与通导能力。

在泵进口处的气体流量可按下列式计算：

$$Q' = p_B S \text{ 毫米汞柱} \cdot \text{升/秒}$$

或

$$S = \frac{Q'}{p_B} \text{ 升/秒}$$

式中 S ——泵在压强 p_B 情况下单位时间进入泵的气体体积，称为泵的抽气速率。

在实际应用中，我们最注意的是有效抽气速率 S_e ，泵以抽气速率 S 对容器进行抽气，但与容器连接的管道有阻力，所以 $S_e < S$ ， S_e 可用下列式计算：

$$s_e = \frac{SU}{S+U} \text{ 升/秒} \quad (1)$$

或
$$s_e = \frac{U}{1 + \frac{U}{S}} \text{ 升/秒} \quad (2)$$

或
$$s_e = \frac{S}{\frac{S}{U} + 1} \text{ 升/秒} \quad (3)$$

从式(3)知 $s_e < S$, 当 $U = \infty$ 时, $s_e = S$, 即当系统通导能力特别大时, 有效抽气速率接近于泵的抽气速率。从式(2)看出, s_e 不能大于 U , 实际的 s_e 在 S 与 U 之间, 因此为了提高 s_e , 容器与泵之间的管道应当短而粗。在通导能力很小的情况下, 如用大抽气速率的泵来提高有效抽气速率, 其效果是不大的, 实际上可以认为有效抽气速率决定于 U 。从经济观点出发, 在使用机械泵进行抽气时, 采取 $s_e \approx 0.8 \sim 0.9 S$ 较为合适。

通导能力 U 根据气体流动状态不同, 采用不同公式计算。

平均自由程 气体分子两次碰撞所经过的路程, 通常取其平均值, 称为平均自由程, 以 λ 表示:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} N_1 \pi \sigma^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right)}$$

式中 N_1 ——气体分子浓度;

σ ——分子直径;

T ——气体绝对温度;

C ——与气体种类有关的常数。

空气在 20°C 时的 λ 值见表 9。

粘滞流动 当 $\frac{\lambda}{r} < \frac{2}{\pi}$ 时 (压强约在 760~100 毫米汞柱), 流过圆断面长管的粘滞流动的气体流量可以根据泊肃叶 (Poiseuille) 公式计算:

$$Q' = \frac{\pi}{8\eta} \frac{r^4}{l} \frac{1}{2} (p_1^2 - p_2^2)$$

式中 η ——温度为 T 时的粘滞系数;

r 、 l ——管道的半径及长度 (厘米)。

对于 20°C 的空气

$$Q' = 2.93 \times 10^3 \frac{r^4}{l} \times \frac{1}{2} (p_1^2 - p_2^2) \text{ 毫米汞柱} \cdot \text{升/秒}$$