

超高真空玻璃油扩散泵系列的研制

上海灯泡厂三车间玻璃小组

编者按：上海灯泡厂三车间玻璃小组的工人同志，自无产阶级文化大革命以来，在毛主席的无产阶级革命路线的指引下，进一步破除迷信、解放思想，发扬敢想敢干的精神，从社会主义革命和建设的需要出发，在超高真空技术领域坚持了多年的科学研究，取得许多重要成果，其中有些已经超过国际先进水平，雄辩地证明了“**卑贱者最聪明！高贵者最愚蠢**”。这是对孔孟和林彪之流的“上智下愚”的唯心史观的有力批判，也是对一小撮阶级敌人对无产阶级文化大革命的污蔑的有力回击。本文介绍他们研制成功的超高真空玻璃油扩散泵系列。我们热烈欢迎全国各地工人同志们为本刊撰文报导自己的有关物理学的研究成果。

在无产阶级革命路线指引下，我们小组遵照毛主席“**独立自主、自力更生**”的伟大方针，在厂党委的领导和支持下，以路线斗争为纲，调动了社会主义积极性。在努力完成小组生产任务的同时，从社会主义革命和建设的需要出发，自找任务、自选课题，开展了群众性的科学研究活动。八年来，我们小组排除了修正主义路线的干扰，坚持唯物论的反映论，反复实践、反复认识，用毛主席哲学思想指导科学实验，在超高真空技术方面开展了科学研究，取得了一些初步成绩。现将其中超高真空玻璃油扩散泵系列的研制介绍如下。

一、概 述

玻璃材料化学稳定性好，表面清洁，容易得到不漏的焊接，对于制造超高真空油泵是很适宜的。国外的玻璃超高真空油泵大都是横式的，极限真空要比金属油泵高一个数量级以上，但抽速小，使用不方便，故仅在实验室中采用。虽然也出现了一些立式玻璃油泵^[1]，但技术性能总的来说是大大落后于金属油泵。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的。我们通过对超高真空油泵的分析，充分利用有利条件，积极发展立式玻璃油泵，取得了一些进展。现在，玻璃油泵，就获得大的抽速、高的极限真空、高的前级耐压、宽的工作范围来说，都已成为现实。

扩散泵是一种需要前级泵带动的后级泵。它的排气过程是当下部油锅中的泵油被加热至沸腾温度时，由于油锅内部压强远远大于其对应的外部空气压强，油蒸气以定向的音速或超音速从各级喷嘴喷出。空气分子由于热运动就向具有被抽气体分压甚低的蒸气流扩散，由于蒸气分子动量远远大于被抽气体分子动量，被抽气体分子在与油蒸气碰撞后，按接近于蒸气流速

度被带向泵壁。油蒸气碰到泵壁被冷凝后返回油锅，而空气分子碰撞泵壁后反射，但又受到油蒸汽流的碰撞而重新流向泵壁。由于蒸气流与泵壁保持了适当的角度，则反射的空气分子经过几次碰撞后被带至低真空区域。这样，被抽容器的气体，由于热运动，不断向压强低的油蒸气流扩散（泵的进气口），达到排气目的。为防止低真空气体分子的反扩散，因而设计上采用多级喷嘴串联，并安排适当的蒸气流密度和宽度。除极少数空气分子无碰撞地返回高真空端外，绝大部分空气被排至低真空区由前级泵抽走。

扩散泵的技术指标是综合性的，由许多因素来决定。因此合理地选择及设计扩散泵的几何尺寸、结构，对泵的性能是十分关键的。下面谈谈对油扩散泵的几个主要技术指标进行探讨的点滴。

二、影响油扩散泵极限真空的主要因素

1. 泵油的污染

上面讲了扩散泵在工作过程中泵油是连续循环的。各种泵油在工作过程中都会产生分解物，同时从被抽容器中排出的各种可冷凝的蒸气和有些被抽气体的化学溶解物，以及前级机械泵油蒸气的返流，都会随着油蒸气的冷凝返回油锅。这些被污染的油在油锅中通过气化从喷嘴喷出，随着油蒸气的返流而进入被抽容器，如此反复循环，聚结物愈来愈多。这样，油扩散泵的极限真空就限于泵油污染物的总压强。如果在设计上让向油锅回流时的油保持较高的温度，使各种溶解物、分解物和低沸点的油蒸气难以回入油锅，这样就使泵油得到净化（分馏）。

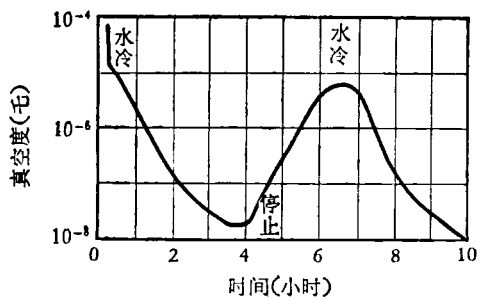


图1 不带水冷帽时, PY-4 扩压器水冷对极限真空的影响

净化对泵的极限真空影响是很明显的。我们曾在 PY-4 型泵中对前级扩散器进行水冷,即使采用饱和蒸气压很低的 275 硅油,泵的极限真空也只是 1×10^{-7} 托,而停止水冷后,真空度随着泵油的净化而逐步上升至 1×10^{-8} 托,见图 1 示。

2. 油蒸气的返流

污染后的泵油在气化后从喷嘴喷出,经过各种途径返流入被抽容器,限制了油泵的极限真空。降低返油率相对地讲就能提高极限真空。在现代油扩散泵设计中都强调降低油蒸气的返流。

扩散泵油蒸气返流来自下列几方面^[1](见图 2):

- (1) 顶喷嘴表面油膜和油滴的蒸发;
- (2) 喷嘴内高速油蒸气流的喷射;

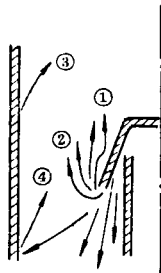


图2 油泵油蒸气返流模拟示意图

表1 DC-705 硅油饱和蒸气压与温度的关系^[1]

温度	81℃	75℃	63℃	58℃	47℃	42℃	31℃	27℃	18℃	14℃	5℃
饱和蒸气压	1×10^{-6} 托	5×10^{-7} 托	1×10^{-7} 托	5×10^{-8} 托	1×10^{-8} 托	5×10^{-9} 托	1×10^{-9} 托	5×10^{-10} 托	1×10^{-10} 托	5×10^{-11} 托	1×10^{-11} 托

三、超高真空油扩散泵的设计

1. 加强工作液的净化

缩短第二级喷嘴下段水冷套管,并不对前级管道进行水冷却,将便于各级喷嘴喷出的油蒸气和油液在此保持很高的温度,以便排出各种分解物和可溶解蒸气等污染物。

在前级管道出口处,离喷射喷嘴一定距离,安装二只重迭的捕集器,这便于收集排出的油分解物和可溶解蒸气。捕集器也用来收集低沸油蒸气和机械泵返流过来的油蒸气,以保持泵油连续循环时的清洁。

利用同心蒸气管道,于相对位置上开半圆孔,构成

- (3) 泵壁上部冷凝油膜的蒸发;
- (4) 油蒸气流的反射。

在上述几方面的返流中,顶喷嘴油滴蒸发是油泵返流的主要原因。为了防止油蒸气的返流,因而采用了各种挡油帽和挡油板,其中金属的要以水冷挡油帽和至冷光学屏蔽挡板效果较好。采用玻璃双层水冷挡油帽具有比金属水冷帽更好的效果,使返油率可降至无水冷帽时的 1% 以下,而对抽速影响小。

影响油蒸气返流的还有顶喷嘴的角度^[1],工作液的特性,加热功率等。

3. 其它因素

(1) 泵油是决定油泵极限真空的重要条件。泵油中影响极限真空的主要性能是室温下的饱和蒸气压,而油的饱和蒸气压又与油的稳定性有关。国产 275 硅油性能相似国外 DC-705 硅油。我们使用上海树脂厂出品的 275 硅油,在室温 25℃ 时的饱和蒸气压是 2×10^{-11} 托。表 1 是 DC-705 硅油的饱和蒸气压与温度的关系,从表中可以看到饱和蒸气压是随温度升高而升高。因此,室温的升高将会使油泵的极限真空下降,所以一般冷天容易获得更高的极限真空。新油使用时要预抽一、二天才能稳定。

(2) 油泵在适当的加热功率时将会得到最佳工作状态,而过高的加热功率会使泵油工作温度偏高,热分解加快,将造成泵的极限真空下降。

(3) 泵芯的结构,如喷嘴缝隙,蒸发面,压缩比的选择也将会明显影响泵的极限真空。

(4) 在一般四级油泵中,前级气体的反扩散对极限真空的影响并不明显。我们实验表明,在 1×10^{-11} 托时,前级气体的反扩散才会影响泵的极限真空。

长的油液迥路,以达到液相分馏。

2. 防止返流

在顶喷嘴上方装一只双层水冷帽,以防止顶喷嘴油滴和油膜的蒸发,可使泵总的返油率下降 99% 以上。

泵顶装一盘香形水冷挡板,以捕集其它原因引起的返流油蒸气,使此返油率下降 80—90%。

在水套管上部封一环

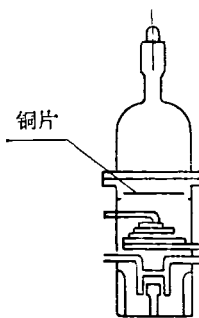


图3 玻璃油泵返油率测试装置

状薄壁，用以防止油膜向进气口方向爬行。

我们采用了图3的特殊方式进行测量油蒸气的返流率，泵体与泵顶经过研磨，用油脂密封，内放一块经过处理过圆形无氧铜片，与泵壁距离为1—1.5mm，泵能在 10^{-3} 托工作。测量结果见表3。

3. 泵芯

采用四级串联形式，即三级扩散喷嘴加一只喷射喷嘴。各级喷嘴的过流环形面积之比约为1:0.6:0.22:0.06。

蒸发面是用三个蒸气管道分隔，它们之比是1:3:5。顶喷嘴和喷射喷嘴都由单独蒸发面提供蒸气流。

各级喷嘴张角采用逐级增加的办法。顶喷嘴张角在 70° — 75° 之间。

顶喷嘴呈流线型伞状，喷嘴直径是泵径的0.16—0.2。

超高真空玻璃油泵的结构见图4。

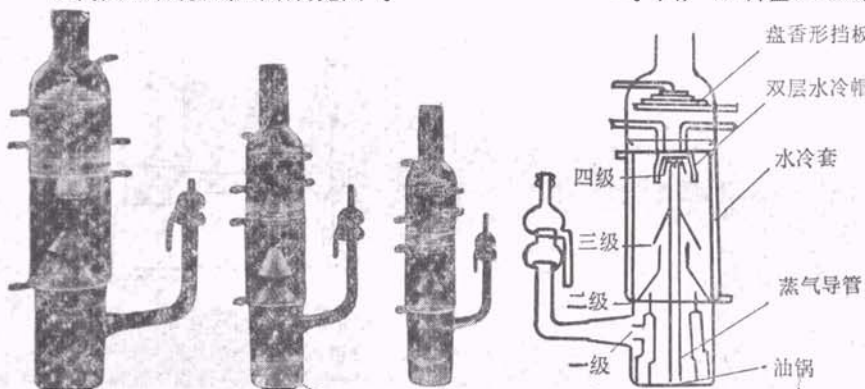


图4 PY-1,2,3超高真空玻璃油泵的外形(左)和结构图(右)

4. 泵的极限真空测试

(1) 系统装置见图5。系统采用双泵串联，不但

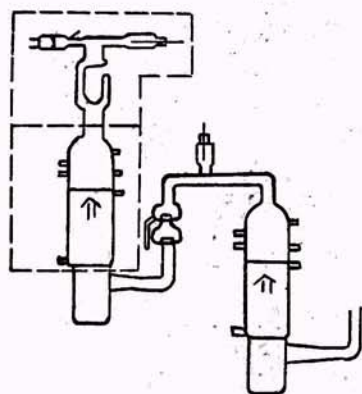


图5 极高真空系统示意图

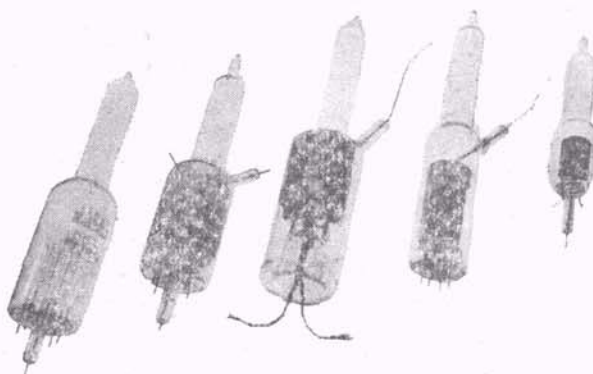


图6 超高真空和极高真空测量规管系列
(从左到右分别为DG-1,2,3,4,5)

能保证主泵烘烤时维持高真空，而且还能减少气体反扩散的影响。

采用结构简单的液氮冷阱，便于保持较大的通导。玻璃渗氦是阻碍玻璃系统获得极高真空的原因之一。国产95料在 25°C 时的渗氦系数是 3×10^{-12} 托·

升/秒厘米²。氦气对本系统的极限真空约为 5×10^{-14} 托·升/秒。

(2) 新的泵油中多少存在着低沸点的油蒸气，在系统进入 10^{-10} 托后，油液的沸腾会使低沸点的油蒸气返流入被抽容器，从测量仪表指针摆动可以观察到，而压强则慢慢上升至 19° 托。为获得更高的真空度，应对主泵的油进行特殊的净化处理，即

加大加热功率，并把前级出气管道用石棉带包好，让油蒸气保持过热状态，借助泵内净化装置排出低沸点油蒸气储存在前级捕集器中，此过程一般约为48小时。捕集器小管存油约为1/2左右。经过处理后，油液的沸腾就对泵的真空度无影响，系统通过彻底除气能稳定进入 10^{-13} 托。

在返油率很低的油泵中，冷阱仅用来维持系统真空度。在系统进入 10^{-12} 托后应慢慢加入液氮，这时系统和规管都不能再烘烤了，只要对电极作适当除气，就可慢慢进入 10^{-13} 托。若发现加液氮后，真空度下降，这是除气不净之故。

测试采用本厂生产的DG-1型BA规和DG-3型冷阴极磁控规二种，后者的测量下限是 1×10^{-13} 托(图6)。冷规由于没有热丝，只要经过烘烤和高频线圈除气，就容易获得更高的真空。此种冷规在 2×10^{-10} 托真空度以上呈非线性，加之冷规的不稳定性，因此测量

误差较大。

停止前级辅助油泵,由于气体反扩散影响,真空度将会下降至 $\sim 1 \times 10^{-11}$ 托,这被认为是单泵的极限真空。

四、拓宽油扩散泵工作范围的途径

油泵在 10^{-4} 托真空度以下抽速迅速下降,是由于泵的前级真空迅速恶化所引起的。当前级压强升高并接近泵的额定最大前级耐压时,首先引起各级喷嘴的前置真空度变坏,油蒸气流在泵壁出现环状,并向喷嘴移动,这种现象玻璃泵可以通过水冷套看到。此时,泵的返流增加,抽速下降,直至油蒸气流与泵壁出现通道,泵内出现雾状,前级气体分子被反扩散到被抽容器,这时虽有定向运动的油蒸气分子,但抽速等于零。因此,油泵要在高压强下工作,就首先应该提高泵的前级耐压。

油增压泵具有很高的前级耐压主要是因为^[5]:

- (1) 采用拉瓦尔喷嘴和扩压器;
- (2) 有足够大的蒸发液面;
- (3) 使用蒸发热很低的增压泵油。

由此可知,油增压泵的结构对提高油泵前级耐压是有效的。油泵只要控制适当的油蒸气密度,就能在超高真空范围内正常工作。因此,当采用一种饱和蒸气压低的油时,就有可能复合一种既能在低真空又能在超高真空工作的扩散增压泵。

五、超高真空玻璃油扩散增压泵的设计

1. 拉瓦尔喷嘴与扩压器

拉瓦尔喷嘴和扩压器在多级扩散增压泵中的主要作用是提高泵的最大前级耐压。为了保持工作液的净化效果,扩压器不进行水冷却。喷嘴与扩压器的尺寸见表2。

表2 喷嘴与扩压器尺寸

扩压器	拉瓦尔喷嘴
喉径面积 0.77cm^2	喉径面积 0.38cm^2
与喷嘴出口缝隙 0.3cm	出口面积 1.8cm^2
收缩率 9	扩张率 4.7
收缩角 7°	扩张角 10°
扩压器长度 $\sim 19\text{cm}$	喷嘴长度 5.5cm
出口管道直径 3cm	

2. 锅炉的特性

为了得到高的锅炉压强,希望扩大工作液面,但又考虑到实用经济效果,故仅取扩散增压泵的工作液面

为同口径油泵的三倍。

采用分隔式的同心蒸气管道,蒸发液面之比是 $1:4.5:37$ 。

使用275硅油。外加热的电炉中心温度应偏低些,以降低内导管的蒸气密度。一般正常工作条件下,锅炉压强为 3.6 托,最大前级耐压是 1.2 托。

前级耐压测定是在进气口真空度为 1×10^{-3} 托时,在泵的额定加热功率下,从前级管道上针阀放入干燥空气,通过热偶管或充油U形管取得读数。当压强超过 0.5 托后,热偶管误差已超过 15%,应改读U形管。油锅压强可通过观察表读出。测试装置是与抽速测试一起进行,见图7。

3. 泵芯

(1) 为保证超高真空范围的工作特性,仍采用同

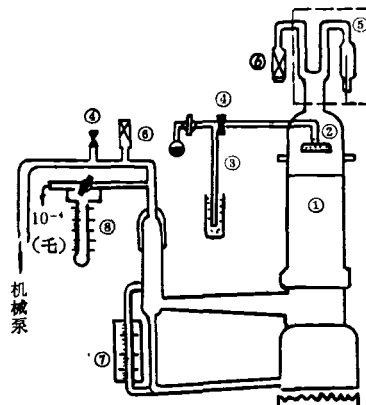


图7 油泵抽速和前级耐压测试示意图

- 1—被测泵 2—散流环 3—流量管 4—针阀
- 5—DG-1 规 6—热偶管 7—油锅压强观察表
- 8—充油U形管

口径油泵的第三、四级喷嘴和内蒸气导管,并把泵芯提高 8cm,这是因为加热功率高和蒸发面积相差很大而造成了各级蒸气导管中的液面差。实验结果,提高泵芯后抽速增加 20%。

(2) 从图8知道,要增加高压强抽速,应扩大第二级喷嘴的过流面积,但又考虑到不至于影响前级耐压。因此,第二级采用了拉瓦尔环形喷嘴,并把第二喷嘴下端泵壁放大。

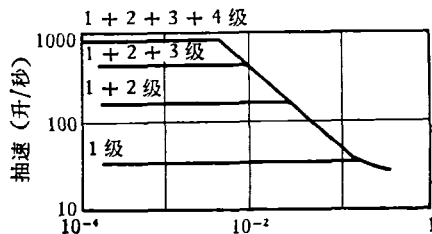


图8 油泵各级喷嘴抽速

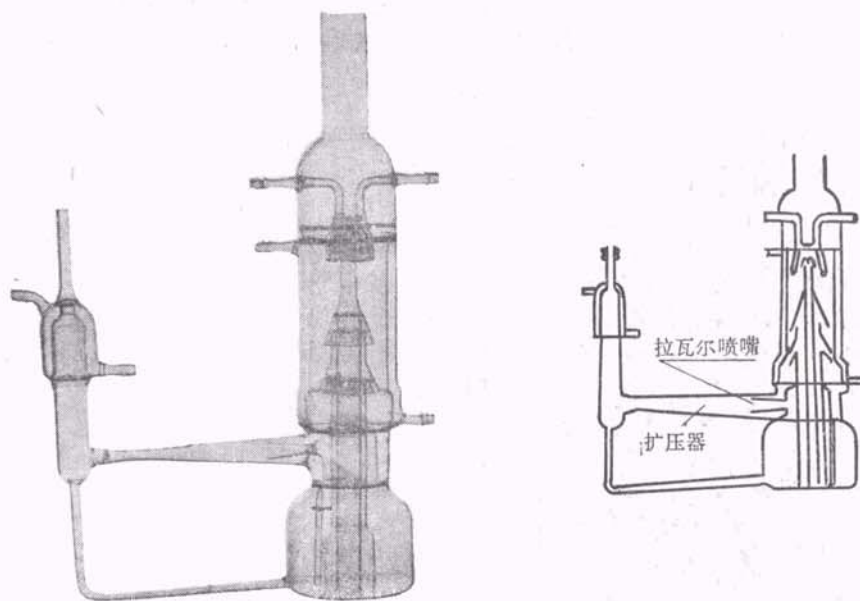


图9 PY-4型玻璃油扩散增压泵外形(左)和结构图(右)

(3) 仍保留双层水冷帽。各级喷嘴的过流面积之比是 1:0.7:0.6:0.06。

超高真空油扩散增压泵的结构见图9,它能在 10^{-10} 托— 10^{-1} 托范围内正常工作,并在 5×10^{-3} 托时保持满抽速。

六、玻璃油扩散泵提高抽速的途径

扩散泵提高抽速的很大关键是增加泵径。然而玻

璃扩散泵却受到材料强度的限制,而在很大程度上又是泵底和加工的限制,不能无限制地依靠放大泵径来增加抽速。因泵底在工作时,需迅速加热启动,并要长时间地工作在高温和真空条件下,这样玻璃的强度就受到了影响。采用国产95料,当泵底直径放大至 15cm 时,就容易在工作过程中发生炸裂。随着泵体的增大,泵身也将随之增高,这就给使用带来了不便。同时,泵的启动时间和冷却时间都会因泵体的增大和泵身的增高而增长,使实际使用效果不好。

在超高真空油泵中,我们采取把水冷套由原来的泵径内移至泵径外。这样,在同一直径泵底情况下,抽速增加 40—50%。通过反复实践使我们认识到,不增加泵底直径,而只扩大泵的腔体和进气口径,同样也能增加顶喷嘴的过流面积,这是大幅度提高玻璃油泵抽

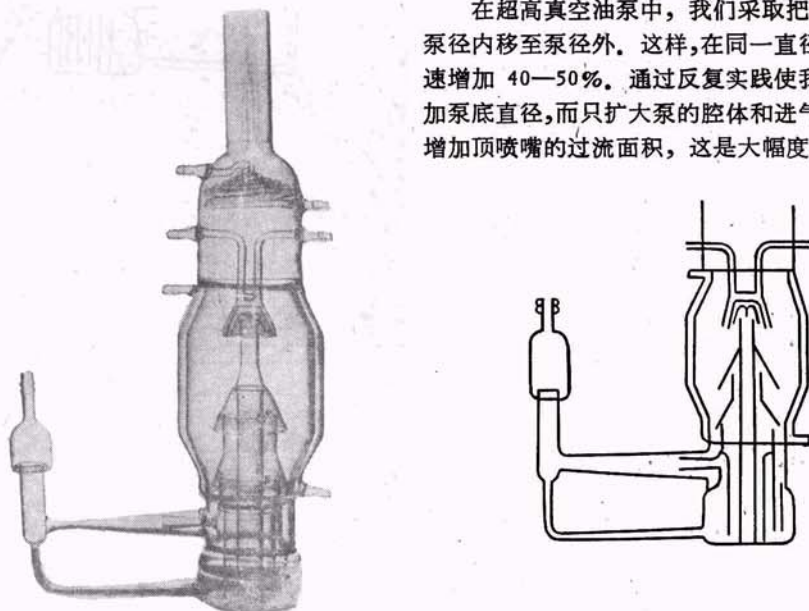


图10 PY-5型玻璃胖体油泵外形(左)和结构图(右)

速的有效措施。

油泵的抽速是各级喷嘴抽速的总和^[6] (见图 8)。因而在强调扩大顶喷嘴过流面积的同时,也要适当增加各级喷嘴的过流面积。

七、玻璃胖体油扩散泵的设计

PY-5 型是进气口径 10cm 的玻璃胖体油泵见图 10。采用扩大腔体的办法,把水套管中段的内径扩大至 14.5cm,使顶喷嘴下端的截面积增加一倍多,而下段水冷管仍逐渐收缩至 10cm。这样,随着腔体的扩大,顶喷嘴的过流面积就会随之增大,加之腔体的形状有利于气体分子的运动,抽速将明显提高。

顶喷嘴的出口,宜在泵体最大截面积进气口临界上,此时,泵的抽速为最大。但是,由于玻璃泵的结构影响和泵上段的收缩,管阻影响就明显反映出来,这

样,泵口抽速又将下降。如把泵的顶喷嘴移至泵入口,虽然管阻影响减弱了,但此时过流面积却缩小了 30%,泵口抽速虽有所下降,但不明显。

第三喷嘴出口在泵的收缩段上,对抽速曲线影响明显。在喷嘴直径不变时,喷嘴位置上下移动,将引起过流面积的变化。要得到高真空有较大抽速,应把此级过流面积做得大些,但前级耐压就会下降。若缩小过流面积,前级耐压就会升高,但 10^{-4} — 10^{-5} 托范围内抽速却要下降 20%。

玻璃胖体油泵随着腔体的扩大,将引起在较高压强时排气量下降,如采用一般的喷射嘴,前级耐压仅是 0.2 托,这样,泵就不能在 5×10^{-4} 托真空度以下工作。通过分析,认识到排气量的下降是由于前级耐压下降引起的,于是我们采用了 PY-4 型扩散增压泵的拉瓦尔喷嘴,扩压器等措施,使前级耐压提高到 0.7 托左右,这样,就保证了胖体油泵能在 10^{-4} 托范围下正常

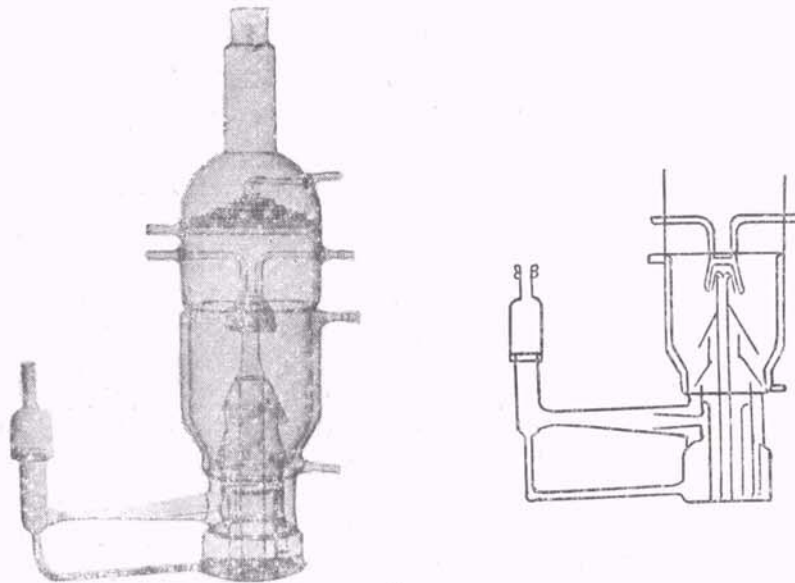


图 11 PY-6 型玻璃胖体油泵外形(左)和结构图(右)

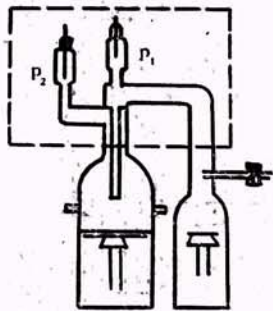


图 12 超高真空范围抽速测试示意图

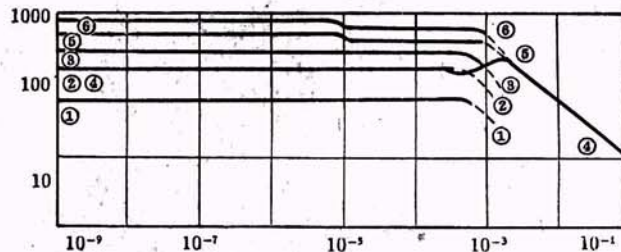


图 13 各种油泵的抽速曲线(不加液氮)

1—PY-1 型 2—PY-2 型 3—PY-3 型
4—PY-4 型 5—PY-5 型 6—PY-6 型

工作。

玻璃胖体油泵的各级喷嘴过流面积之比是1:0.5:0.1:0.01。

考虑到拉瓦尔喷嘴要有高的油锅压强,泵底直径由10cm增至11.5cm,从造型角度来看也更为美观。各级蒸发面积之比是1:3:13。

PY-6型玻璃胖体油泵是在PY-5型基础上改进的(见图11)。我们采用了扩大进气口径的办法,把原来10cm改为14.5cm,并把喷嘴置于泵的入口,从而消除了管阻的影响,使抽速增加50%以上。

为了保证玻璃胖体油泵的极限真空,我们在设计

上保留了双层水冷帽,这对于降低返油率有很大的作用,而对抽速影响却较小。

泵的抽速测试是:在 5×10^{-6} 托真空度以下,采用定压法,装置见图7;在 5×10^{-6} 托真空度以上,采用压差法,示意装置见图12。 P_1 为辅助泵, P_2 为被测泵, F 为已知通导。当气体从针阀进入辅助泵后, P_1 与 P_2 出现压差,达到动态平衡后,取得两读数根据公式算出: $S = F(P_1/P_2 - 1)$ 。

定压法与压差法的测量误差为5%,图13是各种泵的抽速曲线。

表3 PY型玻璃油泵特性

型号	名称	口径(厘米)	抽速(升/秒)	极限真空(托)	测试室温(°C)	返油率(毫克/厘米 ² ·分)	最大前级耐压(托)	加热功率(千瓦)	加油量(275佳油毫升)	比抽速(升/秒/厘米 ²)
PY-1	超高真空玻璃油泵	φ7	75	▲ 1×10^{-12}	10	$< 5 \times 10^{-6}$	0.35	0.45	45	2
PY-2	超高真空玻璃油泵	φ9	150	▲ 5×10^{-13}	10	$< 5 \times 10^{-6}$	0.4	0.75	70	2.36
PY-3	超高真空玻璃油泵	φ12	280	▲ 2.3×10^{-13}	10	$< 5 \times 10^{-6}$	0.43	1	150	2.52
PY-4	玻璃油扩散增压泵	φ7	150	5×10^{-10}	20	2×10^{-4}	1.2	1	150	3.85
PY-5	玻璃胖体油泵	φ10	550	1×10^{-10}	15	5×10^{-5}	0.7	1	150	7
PY-6	玻璃胖体油泵	φ14.5	850	1×10^{-10}	15	5×10^{-5}	0.7	1	150	5.2

▲ 采用双泵串联。

八、结 语

1. 立式玻璃油泵具有极限真空高、抽速大、返油率小、前级耐压高及排气时间短等特性,使用方便、经济耗费小,很适宜科学研究,可用于建立简单的玻璃超高真空系统及其装置。

2. 油泵获得极高真空,必须强调泵油的净化和降低返油率;采用扩大腔体和进气口径的方法是大幅度提高玻璃泵抽速的有效途径;使用合理的拉瓦尔喷嘴,扩压器及油锅,能明显地提高油泵的前级耐压和扩展高压强的工作范围。

3. 泵油的质量是影响油泵极限真空的主要条件,但任何泵油在较低的室温条件下,都容易获得更高的极限真空。

4. 采用紧凑的排气工艺,4—6小时就可以获得

10^{-10} 托的真空。

上述系列油泵适用于电子物理、表面物理、激光、低温技术、真空规等研究,以及各种电真空器件和电光源生产等。

由于我们经验肤浅,上述介绍有不足和错误之处,希同志们批评指正。

参 考 文 献

- [1] *Vacuum Technik*, Jena (1965), 10.
- [2] Kobayash, S., and Otake, H., *Advances in Vacuum Science and Technology*, 1 (1958), 193.
- [3] Stevenson, D. L., *Trans. 1963 (10th) Natl. vac. Symp.*, 134 (1964).
- [4] 林主税(日),《超高真空》,133.
- [5] 金建中等,《1964年全国测试基地年会报告集(真空测试)》,498.
- [6] Rächler, W., *Trans. 1963(10th) Natl. Vac. Symp.*, 153 (1964).

(上接第66页)

批判,用批判来促进学习,边学边议边批,要把孔孟的反动论点同林彪的反动谬论和反革命罪行加以对照,环绕批“克己复礼”这个中心,联系实际,逐条地批;并在斗争中改造世界观。

我们要牢牢掌握批林批孔这个中心,防止纠缠于某些具体问题而冲淡批林批孔。要牢牢掌握斗争的大

方向,严格区分两类不同性质的矛盾,对于具体问题进行分析,坚决贯彻执行毛主席的各项无产阶级政策,团结百分之九十五以上的干部和群众,抓革命,促生产,促工作,促战备。

让我们发扬敢于反潮流的革命精神,迎着风浪上,在毛主席为首的党中央的领导下,把批林批孔这一伟大的革命斗争进行到底!