

大型机械真空泵的结构与防污染措施

西安变压器电炉厂 乔保振 (执笔) 施东乾 裴 阳 李俊华

摘 要

1. 介绍国产 H-150 型滑阀泵及 BALZERS 公司 BA 501 旋片泵的使用情况; 2. BA 501 泵结构简介; 3. 对 BA 501 泵和 H-150 型泵就防污染结构进行比较分析; 4. 提出 H-150 型泵的防污染措施。

主题词: 真空泵 污染 措施

一、大型机械真空泵的使用情况

在电工产品绝缘干燥处理的真空系统中,我国目前大都采用罗茨泵加滑阀式真空泵的真空系统,滑阀泵又以 H-150 型泵为最多。近年来,我厂所使用的 H-150 型滑阀泵损坏率较高,一般使用寿命为三到五年,最严重的一台新装上后,使用仅四个月真空度就严重破坏,极限真空仅有 500 Pa。还有一台装上后,系统在调试过程中泵就被损坏。

泵被损坏的原因及过程有如下几种情况。

1. 泵在运行过程中油中混入大量的水,使泵的润滑和密封性能变坏。泵当时真空度就上不去。如果继续运行,就会使泵温升得很高,最后咬死,甚至拉伤滑阀或泵腔。

2. 一些粉尘状垃圾进入泵内混入油中,或泵在停运期间油中的水对泵内零件及管道产生锈蚀而铁锈混入油中,这些垃圾逐渐沉积在油箱底部,使油路系统堵塞,出现

困油运行,也使润滑和密封性能变坏,极限真空变差,这时泵会发生“嘎!嘎!”清脆的声音。如果泵停止一会儿,让油返流回泵腔少许,再重新启动泵在短时间内极限真空很好。但运行几分钟之后又会出现同样的现象,极限真空又变差。如果继续运行,也会烧伤滑阀。

3. 较大的颗粒状垃圾进入泵内,使泵腔与滑阀、或滑阀与导轨直接拉伤。

上述引起滑阀泵损坏的原因,正是干燥处理真空系统的特点所导致的。干燥处理的目的是为了排除水蒸汽。一个干燥处理周期要通过真空泵排出的水份达几百公斤的情况是经常遇到的。另外,被干燥的材料或产品在干燥前的储运及制造过程中以及真空罐本身在敞口期间,都由于目前厂房清洁程度不是非常好,难免带进不少粉尘和颗粒状垃圾。这些垃圾在高压强抽气时,都有可能被湍流状气流带进真空泵。

避免上述原因导致滑阀泵损坏的措施,除了要求使用者精心操作,如及时放水,尽量使系统清洁外,我们认为有必要从泵的结构改进入手,采取一些根本性的防护措施。

我厂引进列支敦士登大公国的汽相干

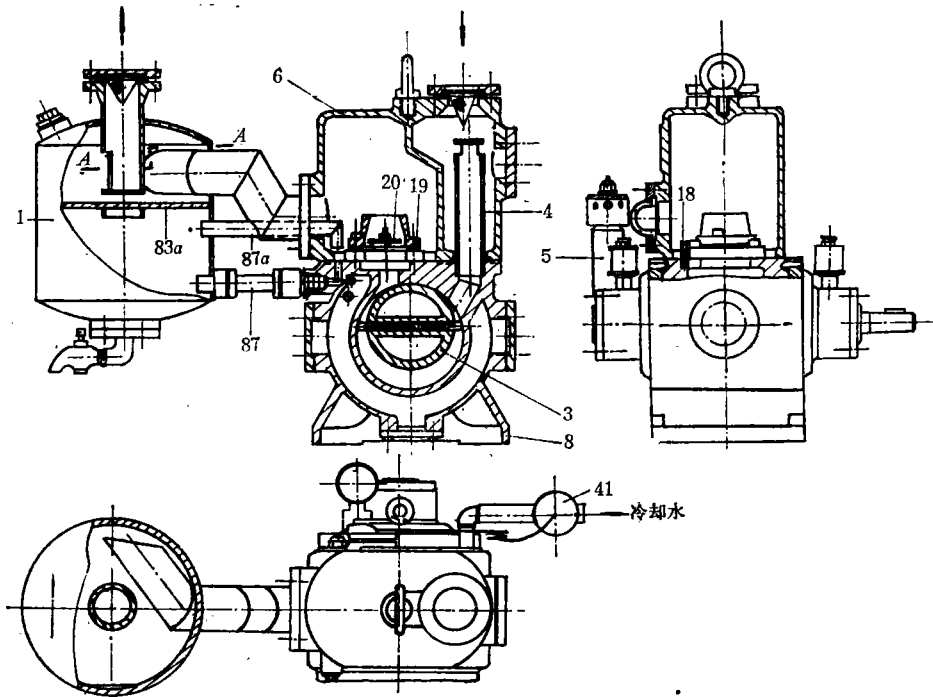
燥设备，其主真空系统中，采用的是 BALZERS 公司的 BA501 型旋片式真空泵，抽速是 $500\text{m}^3/\text{h}$ ，约 $150\text{L}/\text{s}$ 。使用两年多来，我们觉得该泵使用性能确实很好。从来没有出现过真空度上不去的情况，也没有出现过油中混水或因垃圾污物而导致泵性能变坏的情况。最近我们对该泵进行了拆卸清洗，并进行了一些测绘研究。该泵主要运转部分的清洁程度简直令人叫绝，运行了几个月的泵油几乎和新加的油一样干净，没有一点儿混水和混入垃圾的迹象。它的防污染

结构很值得我们借鉴。下面就 BA501 和 H-150 型两种泵的结构，主要在防污染方面进行一些比较分析。

二、BA501 泵和 H-150 型泵防污染结构的比较分析

BALZERS 公司 BA501 旋片式真空泵结构如图 1 所示，主要有泵体、转子、排气阀总成、主油箱和副油箱五部分组成。

泵的主要工作部分其实很简单，容易制



1. 副油箱 3. 转子 6. 主油箱 8. 泵体 19, 20. 排气阀总成 4. 进气管 5. 气镇阀 18. 油管 41. 冷却水流量调节器
图 1 BA501 泵的结构图

造和保证精度。

1. 泵体和端盖也是铸铁件，但其中掺有某些微量成份，铸铁件经磨削的表面非常亮，光洁度达 $1.6/\nabla$ 以上。旋片实际上是 20mm 厚的环氧类非金属材料，并不是有些人认为我们国家解决不了的材料。

2. 端盖与泵体之间，采用氟橡胶 O 型

圈密封。由于金属面直接贴紧接触，因而容易保证旋片与端盖的轴向间隙。主油箱和泵体之间也是 O 形圈密封，并且密封槽以外有很大面积的接触面，也不惜工本地磨削加工，光洁度在 $1.6/\nabla$ 以上。凡是真空密封的地方都尽量采用 O 形圈密封。

3. 排气阀总成是一个单独的部件，在

一块钢制底板 19 上装有四个排气阀（图 1 中仅画出一个）。排气阀的主要零件分离图如图 2 所示。阀座由阀罩压在底板上。阀座

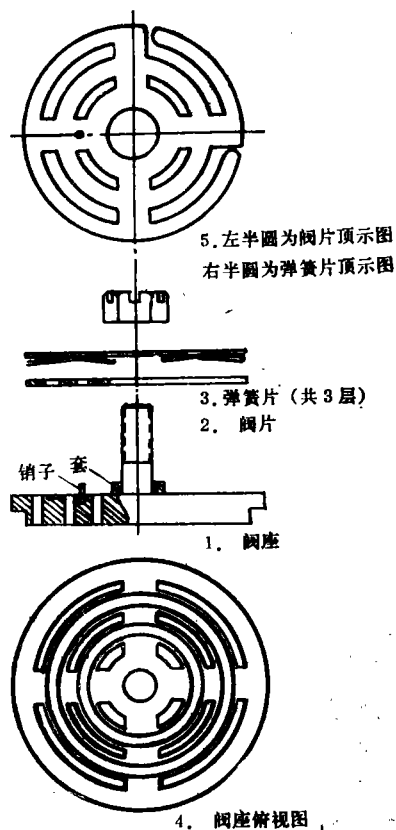


图 2 排气阀主要件分离图

是十字筋窗格状的，如图 2 中 1 和 4 所示，在不开孔的圆环上还开有一个槽。阀片也是窗格状的，如图 2 中 2 和 5 的左半圆所示，但不开孔的圆环正好盖住阀片上开孔的圆环。最后在阀片上压着 3 层弹簧片。弹簧片也是和阀片同样窗格状，但最外圈圆环在十字筋的一侧剪开，如图 2 中 3 和 5 的右半部所示。将剪开的四个头往下压，产生永久变形，成为图 2 中 3 所示的形状。阀片和三只弹簧片靠一个销子进行圆周方向定位。弹簧压紧力是不可调的，阀片套在图 2 中所示套的外圈，簧片用螺母直接压紧在套的端部，

并用开口销锁紧。阀片的开启高度仅有约 1.5mm。

上述泵的主要运动部分的结构与国产旋片泵的结构并没有实质性的区别。但 BA501 泵的防污染结构和其它辅助设施非常考究。

4. 泵的进气口和排气口都加有滤网，这样便挡住了从进气、排气口可能进入泵腔的尘埃污物。进气还要经过捕污腔，图 1 中 4 是侧开口的管子，万一进气口的网破坏或别的原因使污物进入进气口，也只能落在管子外面而不会进入泵腔。

5. 增加了一个比主油箱位置稍低的副油箱 1，主副油箱之间除了排气管相联外，在油面以下还有两根联通细管 87 和 87a。泵在运行期间，靠虹吸作用，油通过两管不断进行循环，对油进行自动净化处理。在主油箱内，混有凝结水份的油因比重较大沉在箱底，进入下面的联管，并流到副油箱中，而一旦进入副油箱就继续往下沉，再也不会返回到主油箱中，上面的联管会及时地将副油箱中上部无水份的油补充进主油箱。主油箱中可能进入的垃圾污物也通过同样的路径进入副油箱被沉淀分离掉。通过排气管直接进入副油箱的油、水及垃圾混合物也会在副油箱中进行分离。水和垃圾沉淀在副油箱底部，油处在其上部。

由主油箱进入泵腔的油是通过管 18（两个）直接流到转子的上死点轴线上的。因管 18 上口高出油箱底面一段距离，所以即使油箱底部有沉淀污物，也不会进入泵腔。另外，泵腔的润滑还靠两个直径约 0.3mm 的微孔进油，这两个微孔是穿过排气阀总成底板，分布在转子上死点轴线两侧，直接通入吸气腔和排气腔的。

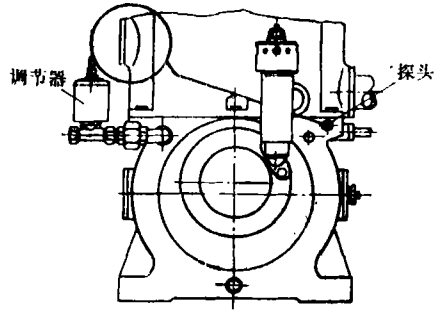
为了不使进入副油箱的排气冲击扰动而影响两个小油管 87 和 87a 的平稳循环，在副油箱内用一个环形板 83a 隔开，并且中孔又向下伸出一段。两个小油管上面的一

根 87a 在主油箱内的口也向下伸入油面，弯头口下平面距油箱底的距离仅有约 10mm，以便在油面较低时能同样不受排气的冲击。另外排气管进入副油箱后，斜着冲向副油箱内壁，转过 90° 后，通过侧开口的排气管排出副油箱。这样的考虑除了保证油面平稳以外，也能起到离心消雾作用。

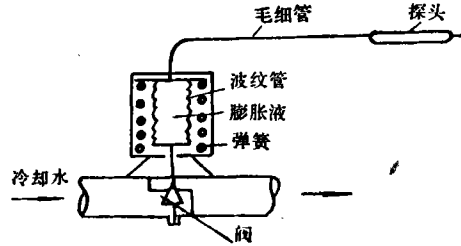
增加了上述这样复杂的副油箱及联接后，为泵的主要工作部分（泵腔与主油箱内排气阀、润滑系统等）创造了一个最佳的工作条件。尽管在运行期间，我们也在副油箱底部放出来一些水；泵在运行一个时期清洗时，在副油箱底部也能清理出整桶的粘稠状沉淀垃圾，但泵的主要工作部分非常清洁，既无水也无污物。

6. 正因为泵的主要运转部分在非常好的条件下工作，再加上采用了耐高温的氟橡胶密封材料，所以泵可在较高的温度下工作。该泵的最高允许温度为 90℃，正常工作温度调定在 $75 \pm 5^\circ\text{C}$ 。这样的“热泵”运行，更减少了可凝性气体在泵内的凝结。泵的工作温度是用冷却水流量调节器 41 来控制的。泵在投入系统抽空以前，要提前约 1 个小时启动空转予热，泵温升高到工作温度后，泵才接入系统进行抽空。在泵预热期间，开始冷却水并不接通，只有当泵温达到调节温度时，冷却水才接通，并继续维持此温度。

冷却水流量调节器是一个内装氟里昂类液体的膨胀器。一端为指状容器作为探头，插在泵体排气侧油箱底部的孔套中，孔套与泵油接触。另一端为波纹管，中间用毛细管相联，波纹管顶着冷却水阀塞（如图 3），当温度升高，高于调节温度时，内装的液体膨胀，顶开冷却水阀，使冷却水接通。温度越高，打开越大；泵温降低，冷却水流量又减小，直到泵温低于调定温度，冷却水阀又重新关闭。这样便可把泵温维持在要求的范围



(a) 流量调节器在泵上的位置



(b) 冷却水流量调节器原理示意图

图 3 冷却水流量调节器

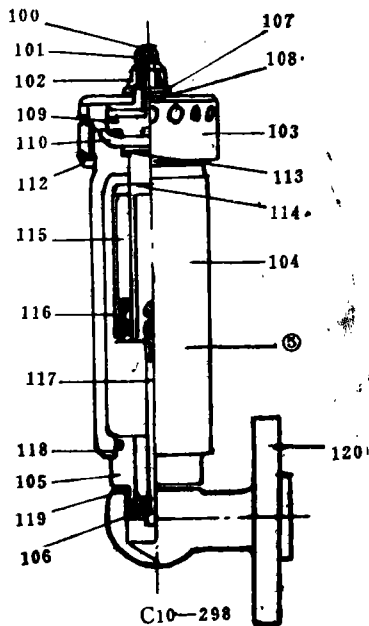
内。

7. BA501 泵的气镇阀也很考究。气镇阀入口处有防尘装置。阀内有简单的单向阀，即侧开孔的空心六方柱体，外面用一簧片单向封住，使气体只能进入泵腔，而不能排出来气体或油。如图 4 所示，阀内还有消音装置，进行微量掺气以控制泵的噪音。

该泵的气镇效果确实很好。我们曾做过一次试验，在同样的条件下两台泵同时工作，其中一台泵打开气镇阀，另一台关闭气镇阀。结果打开气镇阀的一台泵，副油箱中放出约 1 公斤水，而关闭气镇阀的一台放出竟达 20 公斤水。

国产 H-150 型滑阀式真空泵尽管主要工作部分与 BA501 泵没有可比性，但防污染结构及辅助设施和 BA501 泵比较起来就大为逊色。

(1) 最新出产的 H-150 型泵，油箱内排气阀壳的右侧（见图 5）有一个楔形死角空间 A，可容纳约 2 公斤水。这些水根本就无



100~109 防尘装置 114 侧开孔的空心六方
 115 一端固紧的单向阀弹簧片
 117 消音器的针阀杆
 图 4 气镇阀结构图

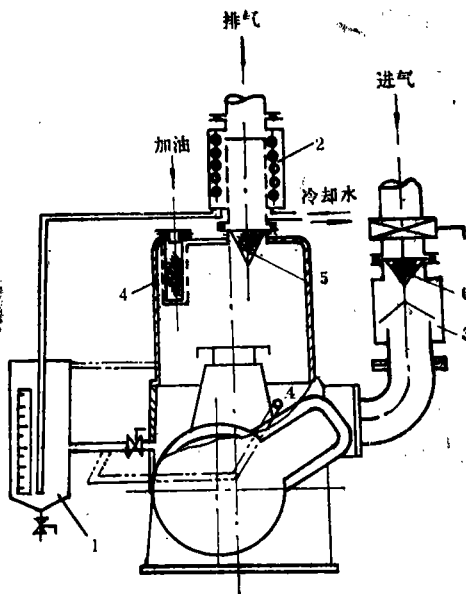
法通过放油阀放出来。即使把油放光，打开油箱，这个死角的水也放不出来，只好用棉纱一点一点吸出来。还不如前几年出的老结构的泵，油箱内底面左右是联通的，至少在放油或换油时，能把油箱中的水彻底放光。

(2) 油箱中的水和垃圾物，始终和油混在一起，并逐渐沉积在油箱底部，轻度污染时，过滤器还可以把垃圾挡一挡，继续运行。时间一长，滤网便糊住，结果使油路堵塞。而大量的水混在油中，不能及时分离掉，继续进入泵腔参与泵的运行，这是最严重的缺陷。操作者不可能总站在泵旁边放水，即使连续放水，也因为经过沉淀分离，油水混合，不可能单独把水彻底放出来。

由于结构上不十分合理，所以泵启动后，油很快就被污染，变成乳化状。这样使泵的主要运转部分处在极其恶劣的条件下工作，所以泵的损坏率很高。

(3) 泵的气镇阀和手动充气阀结构太不讲究，就靠一只O形圈放在阀盖下，O形圈在槽内嵌不紧，常出现O形圈掉出槽来封不住的情况，也发生过充气时因O形圈掉出槽而被吸进泵腔的事故。而BA501的气镇阀密封圈采用梯形截面的密封圈和密封槽。小小的改进，便会给使用带来极大的方便。

(4) 另外一种结构的国产H-150型滑阀泵，尽管有一只副油箱，但遗憾的是副油箱与主油箱之间仅有排气管相联，并且排气管联在副油箱的底部（见图6），但油箱中的水及垃圾仍然能返回主体继续参与泵的运行，同样使泵运行条件恶化。这种泵的原结构在副油箱下面倒是有一只很小的水份沉淀排放装置，但后来被改掉了。我们曾向该泵制造厂家建议过，希望借鉴BA501的结构加以改进，仅仅把副油箱按图6中双点划线所示往下移一点即可，不知是否引起重视。



1. 油水分离收集筒 2. 排气分离器 3. 捕污器 4. 加油口滤网 5. 排气口滤网 6. 进气口滤网
 图 5 国产H-150型泵的防污染措施

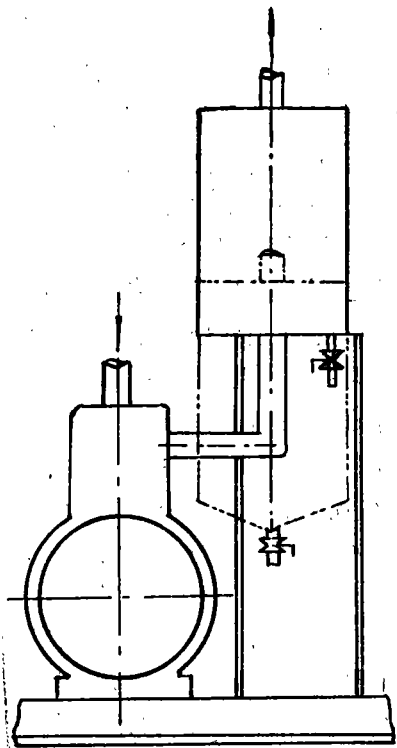


图 6 另一种结构的 H-150 泵防污染结构的建议

三、实用中对 H-150 型泵所采取的防污染措施

根据上面的比较分析可知，H-150型泵损坏率较高的原因主要是水垃圾和污物所致，而且目前国产尚没有象 BA501 那样结构完美的泵，在实用中我们只好自己采取一些防护措施，如图 5 所示。

1. 在进气口、排气口及加油口都相应地加上了铜滤网约 400 目。因为垃圾污物无非是从这几个口进入泵内，这样便挡住了可能进入泵内的垃圾，另外在泵入口也加上了捕污器。

2. 在泵的旁边装一只油水分离收集筒，将泵原来的放油放水阀与该收集筒相联。放油放水阀常开，联管要稍有斜度，以便使油箱中水份靠自然流动，能连续自动地

分离沉淀到收集筒的底部。油箱中排气阀壳右侧 A 处的死角中的水，也可在泵体上适当的位置上打一个孔，并用管子接到收集筒中。在油箱油面以下的位置上也打一个孔，用管子与收集筒相联。如图 5 中双点划线所示。这样使油箱中的凝结水和垃圾污物能连续自动地流进收集筒，并沉淀在收集筒下部，不再参予主体的运行。收集筒上部的清洁油及时补进油箱。与 BA501 泵一样，起到连续循环、自动净化的作用。

3. 在泵的排气口上装一个排气分离器，实际上是一个小冷凝器，使通过泵尚未凝结的水份以及喷出来的油雾在这里，在大气压力下得以冷凝。实践证明：在“热泵”运行时，排气口排出的水蒸汽量相当可观。如果不采取措施，这些水蒸汽会在较长的排气管道中凝结成液体，再回流到油箱中。增加排气分离器后，将这一部分水蒸汽及油雾冷凝并用管子引入收集筒中，既减少了油的消耗，也防止了水流回油箱。因为排气分离器中凝结的水份比油的比重大，所以排气分离器的冷凝液直接引入收集筒的底部。

把泵油箱中和排气分离器中的凝结水都收集到收集分离筒中，收集筒上有带刻度的有机玻璃观察窗，可以对总凝结水量和干燥終了时产品的出水率进行测量。这些测量值可以作为干燥结束判断的一个指标。当收集筒下部沉淀的水积存到一定量时，一次性地放掉。这样也方便了操作。另外定期清理收集筒底部的垃圾。

4. 另外一种型式的 H-150 型泵，我们就根据图 6 中双点划线所示，把油箱往下移一段，把主油箱排气管接在副油箱中部。

采取上述措施后，泵的运行性能明显改善，泵油中混水和垃圾污物问题已得到很好的解决。也受到操作者的欢迎。目前，我们正在把上述措施往全厂所有的 H-150 型泵及 H-300 型泵上推广。（下转 79 页）

国内首次实现高真空远距离连续测量技术

中国科学院近代物理研究所最近在国内首次实现了高真空的远距离连续测量技术，并已成功地用于我国科研重点项目——兰州重离子加速器建设的真空测量中。

真空测量在科研、生产和国防建设的许多部门都有广泛应用。近距离的高真空测量和远距离的低真空测量都不是十分困难的。困难在远距离对高真空进行长期连续测量，这是国内过去没有解决的课题。目前国内生产的真空计都不能满足这一要求。在常用的两类真空计中，电阻磁放电真空计能勉强把测量距离延伸到大约 100 米，却不能长期连续工作，且测量精度不高，稳定性差，价格昂贵；热阴极电离真空计性能好，价格低，但缺点是不能作远距离高真空测量，一般用在几米范围内，最多也只能延伸到 30 米左右。

中国科学院近代物理研究所在解决 1.7 米回旋加速器真空测量中攻克了这一难题。此项新技术的实现，可在 300 米以内准确地测量万分之一帕以上的高真空，且能长期连续运行，经济效益显著，其设备价格仅为电阻磁放电真空计的三分之一，为热阴极电离真空计在远距离自动控制和高真空测量中的应用开辟了广阔的前景。

(中国科学院近代物理研究所 宋文杰)

(上接 46 页)

但是我们希望这些防护措施能在泵的设计制造过程中由泵的制造厂家首先予以考虑，直接加进泵的整体结构中。我们需要直接买到结构很完善的泵，而不是由我们买回泵后，自己再修改。这样即使相应提高泵的价格，用户也是乐意选购的。

四、一点建议

我们作为大型机械真空泵的使用者，同时使用着国产和引进的真空泵。通过使用和分析比较，我们认为在使用性能和结构组成等方面，国产真空泵尚有不少急待改进的地方，而引进的真空泵确实有很多值得借鉴的

地方。再举二例。一是 BALZERS 的 70L/s 旋片泵和 3000L/s 罗茨泵都可以不用水冷，这给使用带来极大的方便。二是 3000L/s 的罗茨泵竟是 2000L/s 的直联泵，将其转速由一增速器从 1470r/min 增至 2185 r/min 变来的。并且该泵可在 2.6×10^4 Pa (≈ 200 托) 甚至更高的压强时启动。

我们希望与我国的真空设备制造厂家联合起来，一方面对现有的真空泵进行结构改进，另一方面经过借鉴，制造出结构完美、使用可靠的大型机械真空泵。一则满足我们的使用，也为提高我国真空产品的水平做一点贡献。