

液压系统污染控制

- 黄宪曾 陈学耀 等译
- 中南工业大学出版社

液压系统污染控制

黄光曾 陈学耀等译

责任编辑：雷丽云

插图责任编辑：刘裕英

●
中南工业大学出版社出版发行
长沙市新风印刷厂印装
湖南省新华书店经销

●
开本：787×1092/32 印张：8 字数：180千字
1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷
印数：0001—1500册

●
ISBN 7-81020-231-6/TH·003
定价：1.60元

前 言

液压系统的污染控制是一个既长久又现实的工程实际问题。工业界早已认为，液压系统的工作好坏与成败在相当大的程度上取决于能否有效地控制其污染，这对由于技术发展的需要而采用精密液压元件的系统（如伺服系统）特别重要。在我国，从事液压设备的设计、制造和使用的工业部门和厂家，为治理液压系统的污染已经做了并正在做大量的工作，成绩是显著的，但是，已经达到的水平和对污染控制的重要性认识的普遍程度还难说是令人满意的，与国外先进水平相比还有相当大的差距。

本译文集汇集了由英国机械工程师协会支持出版的16篇论文和研究报告，涉及了液压系统污染控制的相当广泛的方面，既有实际液压系统污染控制经验的总结，也介绍了关于污染控制的一些新的方法和设备，文章反映了国外的液压工业界对污染控制的高度重视和研究的深入程度，这对于我国的液压工业界无疑是有供鉴意义的。我们希望通过它的翻译出版，对于提高我国正越来越广泛使用的液压系统污染控制的技术水平作出一点贡献。

目 录

1、液压机械设备检修时的污染控制·····	(1)
2、实际系统的特性·····	(16)
3、军舰液压系统污染的研究现状·····	(50)
4、液压系统内污染物运动的研究·····	(68)
5、用铁磁动力学识别液压流体中的微粒·····	(84)
6、液压油污染的评定技术·····	(96)
7、液压流体系统的铁粉图和微粒分析·····	(112)
8、液压油的可滤率·····	(123)
9、微生物对液压油的污染·····	(138)
10、实际工作状态对液压过滤器性能的影响·····	(143)
11、液压流体的静电净化法·····	(161)
12、纤维过滤介质的过滤特性·····	(177)
13、液压泵污染灵敏度的研究·····	(198)
14、液压泵的污染灵敏度·····	(214)
15、水污染和水 β 值·····	(228)
16、最优的 β ——一种新的先进的过滤理论·····	(239)

液压机械设备检修时的污染控制

(英) J·R·CORLESS

【提要】 液压设备常常被选用是因为它们紧凑，具有高的功率—重量比。传递高功率需要高的工作压力。这就要求高精度和公差范围要小、有精密的公差配合以及加工时保证有高的表面光洁度等级，因此，高标准的清洁度是必不可少的。

液压设备故障的大多数原因是其清洁环境被破坏造成的，污染源是多种多样的，但通常是用已污染的油来补油，检修时不注意清洁度或在未经适当防护或锈蚀的环境中工作，液压系统的故障会导致设备停转，或由于泄漏过多而使性能降低。

因此，检修过程中必须注意确保污染物不侵入液压系统内，或者检测元件时要保持试验回路清洁度。

当系统重新安装时，要严格保持原来的清洁度控制，这个要求可以用设置在各个取样点的抽样检查设备进行监测。

最后，系统要进行冲洗，以清除从上述监测中逃脱的任何污染物。冲洗点的布置要保证有足够的冲洗速度以使整个系统中的液流都保持紊流状态。

结论是明显的，液压系统由于污染而产生故障是最常见的，故系统的所有部分必须保持清洁而使其能有效工作。

1、概述

液压传动以小的整套设备能提供高的动力源而显出它的优点，因而正在被越来越广泛地选用。它达到大的功率是由于油液具有高的压力。高压油作用在较小的面积上可转换成大的推力或转矩。然而，为达到这一点而付出的代价是要求摩擦面之间间隙小、精密的配合公差和加工时要求高等级的表面光洁度。达到这些以后，在检修时由于液压系统内部零件被暴露的时候，不允许由于放松清洁度标准而使上述条件受到损害。

我们从为检修皇家海军液压设备获得的经验发现：不能获得或保持液压系统内的清洁状态是液压系统大多数故障的原因。固体颗粒污染引起所有元件造成划伤及磨损，这将能造成下述三种事故中的一种：

(a) 重大事故。此时，由于经常的划伤和引起系统进一步污染，使元件不能再工作。

(b) 断续性故障，此时，污染颗粒可能妨碍阀座的正确配合，但由于污染颗粒比阀座表面软，通常在阀再打开时被冲洗掉。这类短时间故障使得判断故障原因上造成困难，引起对系统的可靠性缺乏信心。

(c) 压力降低故障。此时，磨损或锈蚀引起液压元件内部泄漏，使压力能损失增大或控制失灵。这类故障常常会转变成大事故。

当系统中微颗粒比规定的极限值还要大时，这类故障更可能出现。这些微粒阻止阀芯运动走满行程、或粘附在阀孔内表面，或环绕泵的柱塞表面，并引起划伤或卡住。不仅仅大颗粒

是引起故障的原因。小的颗粒形成淤塞物，它阻塞控制阀的油流通道，也如同研磨剂的作用那样侵蚀阀芯尖锐的控制边，使泵的柱塞圆柱面产生椭圆度。这将产生更大的污染，同时也发展了径向间隙而使更大颗粒侵入，从而导致性能下降直至元件卡住和破裂。我们的情况是在海上环境中工作，在系统内防止水的污染的重要性不可忽视。水在稳定的乳化液状态时是无害的。但是，自由状态的水能引起锈蚀，特别是当水处于系统内被堵死的管道中时这种锈蚀更严重；再者由于水的润滑性能差会引起系统中的运动部件过度磨损。我们已经发现，在海上工作的液压设备中这种情况尤为普遍。这些设备用密封件防止海水进入系统的液压油中。盐水腐蚀造成如此大的损害，以至为此已发展了一种具有去水的添加剂的专用油。

2、污染源

为减少这些可能的故障，要进行污染控制，其第一步应是确定污染源。

2.1 新油

最常见的污染来源出现于给系统补充新油。当净化和配制油液时，要仔细检查，做到确保周围环境十分清洁。但这不一定总能做到，因为当油传输至油箱时，污物、磨料和锈蚀的颗粒会从传输管道进入油中，由于冷凝作用而使油箱内产生的铁锈或者由于空气滤清器选用不当而使油箱内进入污物，这些都使储存的油进一步被污染。当为了保存而把油输入油桶中时，这种污染的危险又重复发生了。即使油桶用聚乙烯衬砌，在衬

里处仍有不少缺陷使油桶材料仍受腐蚀。在海军船坞中，我们发现，储存的油每6个月需要过滤一次以保持要求的标准，因为污物的积累会引起油中颗粒的增加，从可以允许的每100毫升抽样的油中，含有12000个大于10微米的颗粒增加到大于10微米的颗粒在4万到10万个之间，对储存油每个月作的抽样检查的结果表示在图1-1中。因此，建议每次输送时都要过滤，要使油在进入系统之前尽可能地将其污染物去掉和把它们变成比较小的颗粒。为此目的，由排量为16升/分的泵和能滤去10微米大小颗粒的过滤器组成的小型“Filterpak”过滤设备已经发展起来。

2.2 内部污染的控制

最常见另一个可能的污染源是内部污染，它是在元件和管路的制造、安装、检修时产生的。污染物的形式通常是工作场所的铁屑、灰尘、纤维、砂子（特别是型芯砂子），水份、焊接飞溅沫，生锈颗粒和喷漆碎屑。这类污染只能通过制造加工和装配时使工作环境保持良好来控制。在造船厂，应力图使制造工序中产生的污染物与其它作业隔离开，而且在制造作业完成后，进行装配之前对元件进行彻底清洗。另一方面，在设备还处在元件阶段，我们能利用一些磨料作清洗处理，比如湿式喷砂或真空喷砂，但要保证在装配之前把所有剩下的废料全部清除掉。

全部元件清洗过后，把它们放到可以控制的干净地方以准备安装，如果要搬运或者暂时不安装时有必要把它们用聚乙烯包装起来。这些可控制的安装区应是封闭的，它们应被安排得容易清洗和易于保持清洁。通风口处的空气要过滤在20℃时湿

度控制在35%到45%之间。这样的湿度将能防止待安装的钢铁另件生锈，也可防止在那种环境中的工作人员口干舌燥。

装配过程是在清洁的不锈钢面的工作台上进行，每个工作周期开始都要被擦洗干净，并且装配完成后，检查管理人员要保证把设备中打开的口子堵住，且将其装入聚乙烯袋内以便运至工作地点。

管道是引起内部污染特别敏感的地方，这种情况在当制造者和管道安排者的错误地认为，安装完成后总要进行冲洗的，因而就不担心管道清洁度问题时就更加严重了。正如下一节将要讨论的冲洗并不是清除污染的完全可靠方法。为确保得到尽可能最高标准的清洁度，在工作的各个阶段必须对清洁度的各个项目进行检查，新管装完后必须立即进行清洗。

在造船厂，规定了两种管道的清洗方法：

(a) 化学清洗

(b) 真空研磨剂清洗（仅用于碳素钢管）

管子的化学清洗法是，或者把全部管子都浸没在溶液中，而溶液通过管子的内孔循环流动，或者利用溶液的重力从处于上部的油箱引出，通过管子的孔下流，然后用泵抽回到油箱中去。钢管或有色金属首先都要放在1:10合成乳化剂和煤油配成的溶液中进行脱脂，然后进行冲洗，随后用酸清除热加工时留在管壁上的附着物。对于有色金属管，使用带有氧化剂的10%硫酸溶液。钢管清洗，用10%防腐蚀盐酸溶液通过管子循环流动，然后用热水冲洗，再用0.2%的盐酸或3~5%柠檬酸去除锈。这两种酸清洗后残留着的酸都用0.5%的硝酸钠溶液来中和。

所有管子经化学清洗过后用热水冲洗并用热风吹干。通常

钢管外表面镀上一层锌以保持它的使用寿命。这种情况下不能用化学清洗法因而要用真空研磨剂清洗工艺。当研磨剂清洗操作完成后，关掉磨料，管内残留物只能用抽真空的办法从管中清除。然后用干净的热风吹过管子，管子的所有端头要用磁铁吸去铁粉颗粒。无论用那种清洗方法，在清洗结束后，都要对管子内部进行检查，看看其内孔中是否已除去了锈皮或其他污染物，其内表面应是光滑和无锈蚀缺陷。为了观察管子的弯曲部位，建议用端部显微镜。然后，管端加盖和密封。如果管子不马上投入使用，要用过滤的防锈油喷涂，防锈油要过滤达到和正常运转中的油一样的清洁度。在管子安装到系统以前，不需要进一步冲洗或清除这些油。

尽管采用了上述保护措施，碳素钢管在使用期内将继续产生污染物。如果有任何微量水分和空气存在，氧化将会发生，而在海上环境下，潮湿是不可避免的，因此，在这些地方，要尽可能地用其他材料的管子代替钢管。吞喀姆、硅黄铜管（Tungum）在正常使用下实际上是不生锈的。我们发现，此种硅黄铜在海上的环境中使用是非常适当的，尽管在那里管子内部或外表都在潮湿的环境下。与其它的黄铜一样，在有振动存在时它易疲劳破坏，因此，这种危险必须避免。同时，在潜水艇内的液压系统，事故可能是由于振动引起的，因此在那里用硅黄铜是不合适的，已经采用了70—30紫铜-镍合金管。如果从系统的经济性方面看花费是有道理的话，用不锈钢管也可以考虑。

当从一系统中卸下有缺陷的元件时，我们应力求保证污染物不会通过外露的端部进入系统。为了做到这一点，每根管子或螺纹连接被拆开之前，检验人员要检查其外部周围界面上是否

已弄干净，拆卸以后还要检查所有开口和管端是否都用盖子盖好。为这一目的所用的每个盖子必须是坚固的和有一足够大的凸缘，以避免管子再次连接时会有盖子留在回路内。如果检修环境本身是脏污的，或者在周围有其他脏污的操作，在拆卸元件时，我们要使上述操作停止，或者如这不可能，就用聚乙烯塑料板建立一个局部清洁的区域。

当拆卸、检修和重新安装元件时做到了所有这些防护之后，还要注意，是否在进行试验时都做到了不使用脏油。试验系统的清洁度标准必须至少要被试零件将要在其中工作的系统的清洁度标准同样高，要按规定进行采样和分析以确保执行。管理人员还必须进行严格的控制，以保持在装配和拆卸时高标准的清洁度，保证试验后所有打开的口子塞住或用盖子盖上，还要保护好活塞的外露部分，以及在把另件送到安装地之前用聚乙烯塑料袋密封好。最后，当再安装时必须采取同样的防护措施，否则，为确保进入污物最少而花在设备上的全部时间和经费将全功尽弃。

为防止由于污染而损害军舰液压系统中被重新安装的元件，我们发现最有效的方法是采用下列步骤：

(a) 在把对污染很敏感的元件放到安装位置之前，要安装好管道和对污染不敏感的元件。直到被安装前管子的端部仍然要盖封。

(b) 用连接板来代替对污染敏感的元件组成液压回路，对系统充油和进行压力试验。冲洗系统直至达到要求的清洁度标准为止。

(c) 作完上述各项以后，再装上对污染敏感的元件，如果重新安装元件时已经很留心控制污染了，再作大范围冲

7

洗就不必要了。但是，要做到这些，要严格禁止周围进行诸如焊接、喷涂、修磨、钻削或研磨等作业，因为它们能通过空气污染油。

对于污染敏感的设备进行安装时，作为进一步地防护，如像在搬动这些设备时那样，要设置一个临时的清洁区，且要控制人员的接近；对于那些一定要接近这些设备的人，在他们接近这个清洁区时，不允许携带食物或抽烟。

最后，要强调指出，直到最后时刻才允许把用于防护的各个盖子从元件和管路上拆下，而且代替它们相配另件必须清洗干净和被吹干。

2.3 外界污染的预防

机器检修期间的环境条件通常比机器正常运转时的环境条件具有更大的威胁性，一般说来，空气中充满灰尘，烟雾和水份，而机器又常常处于被削弱了污染保护的条件下。一些比较严重的污染通道如下所述：

(a) 油箱的各出入通口的盖子和通气装置。这些地方在清洗油箱和向系统充油时常常被打开。当清洗和充油操作完成以后，很重要的是要检查这些盖子是否都完全复位，如果没有把通口都盖好，在使液压缸和活塞动作以进行排气操作时，脏的空气就会被吸进去。

(b) 液压缸的密封，用安装防尘圈的办法从暴露在外的活塞杆上刮下细小的污染物，这并不百分之百地有效，因为密封件在擦干活塞杆时其自身也磨损了。俄克拉何马州立大学的E·C·弗奇博士已通过实验证实，活塞杆的环形面积每扫过一平方厘米，大约有一个大于10微米的颗粒进入液压缸，用比

较实际的说法，这就意味着，一个直径为50毫米的活塞杆，若是以12米/分的速度往复运动，则每分钟将有20,000个10微米以上大小的颗粒进入液压缸内。因此，液压缸在启动前，其活塞杆要擦洗干净，在那些持续存在环境严重污染的地方，要避免液压缸频繁地工作。

3、从系统中排除污染

尽管在检修和再安装时采取了各种保护措施，仍然还有些污染物留在系统内，在一些对污染很敏感的元件没有受到它们的损害或被磨损以前，要通过选择恰当的流动路线把污染物从系统中冲洗掉。如2.2节所述，系统的冲洗应在对污染敏感的元件装入系统之前进行，这样可以避免损害这些元件很高的光洁度。也可避免压力油流经它们的节流孔道时产生的压力损失。这些对污染敏感的元件要被隔离开。选择用以产生油流循环的路线应是流体阻力尽可能小。如此要求的原因在于，只有在冲洗过程中保持液流是紊流状态，对系统的冲洗才是有效的，这时，产生流体漩涡且在管壁处有很高的流速，对于把脏物从管壁上冲下来并使之悬浮在液体中都是最有效的。最后，这些脏物被冲洗滤油器收取。

造船厂里的经验说明，最不可预测且花时最多的工作是元件重新安装好以后对一个复杂液压系统进行冲洗作业。为了比较精确地安排这项工作的程序，要制定出能找到最有效的清洗步骤的方案。

首先，如前所述，要使油流有足够的速度使其在管道中保持紊流状态，要做到这一点，要采取措施保持油温较高从而降

低其粘度。办法就是使冲洗台和被冲洗系统之间的导管尽可能的短。这可以运用所谓“分解”或设计的清洗台来实现，它是把组成的元件分开，紧凑的泵组和滤油器组件用软管和被冲洗的系统相连，这样可以使它们互相靠近。对于有的液压系统不可能使泵组和过滤器组件与它靠近时，组件到系统的连接管路较长，此时，连接管置于隔热保护座中以防止热量损失。

第二步就是检查管路系统的设计方案。选择专门的冲洗路线使油阻力尽可能小，以保持其处于紊流状态。这就要求一些小口径的导管要很短。此外，由于油流在系统的直立管段内流动时向上冲洗污染物困难，选择的冲洗路线要避免这些直立管段，若不可能完全做到，就把滤油器组件装在这些直立管道的下部。如果需要在液压回路的最有效的位置上设置一个以上的滤油器组件时，冲洗台的“分解”式方案特别适用。

第三，防止脏油在系统中已冲洗的部分内再循环流动是很重要的，因此，要选择好进入供油总管和回油管的冲洗支管的流动路线，然后隔离这些支管，再向着油箱冲洗主管道。

油箱是最难于作有效冲洗的元件。因为油流通过它时流速必然很低。因而在冲洗作业时是用一个分开的油箱组件代替系统中用的油箱。对于系统中用的油箱是把它打开用人工清洗。

最后，我们选用了坚固的和具有很大的保持污物能力的冲洗滤油器，这样可以减少在冲洗作业过程中有必要地更换滤油器的次数。我们发现用分段过滤的办法，即先粗过滤再用精滤油器精过滤的办法是不经济的。在尽可能少的过滤次数中把污物滤掉比较好。为做到这一点，我们选择了一种滤芯，其过滤效率达到大约99.6% ($B_0 = 250$)，滤芯易于更换且不会损害

系统的清洁度。我们发现，用大的滤芯比用小的滤芯在经济上要合算些，这就支持了滤油器制造商们的论点，即如滤芯面积增大4倍，则其使用寿命会增加8倍，用大滤芯其总投资不过增加3倍，而每次冲洗的花费则降低到用小滤芯时所需费用的40%。

在按照流量路线进行冲洗时，很重要的一点是，在管路系统清洗达到要求的水平以前检修，已被分别清洗干净的元件在初步冲洗时要被旁路通过。我们从实际经验中得出的结论得到了美国两个文件的支持。第一个文件是美国汽车工程师学会(AES)推荐实行J1227“液压系统和元件的清洁度评定法”，该文件提出了湿表面积这一概念，它告诫我们要检查系统中总的湿表面积，并建议要重点清洗在系统中占有最高的湿表面积百分比的那些元件。这表明影响严重的元件是油箱、液压缸和管道。它还提醒我们，油本身是系统中最重要元件并强调在油进入系统之前一定要过滤。

第二个文件是美国国家标准协会(ANSI) B93.54M标准名为“液压动力站——组装件系统——获得清洁度方法”(NFPA/T298—1979)。该文件提出冲洗作业的过程要点。其方块图如图1-2所示，这个标准提出了两个基本的问题，其一是使用什么样的滤油器最好。这个问题已如前面讨论过的那样。第二个问题是，花在冲洗系统上的时间与所选用的滤芯的过滤效率有关，也与能把脏物从系统的各内表面上冲洗下来的有效的冲洗能量的大小有关。前节已说明，为了在最短的时间内达到所要求的清洁度，使用具有最高过滤效率的滤油器是最有效的。能得到的冲洗能量的大小与所用冲洗泵组的大小有关。通常，冲洗泵组的选择是在被冲洗设备的传递能力和在最

短时间内实现有效的冲洗所需要的功率之间取折衷方案。

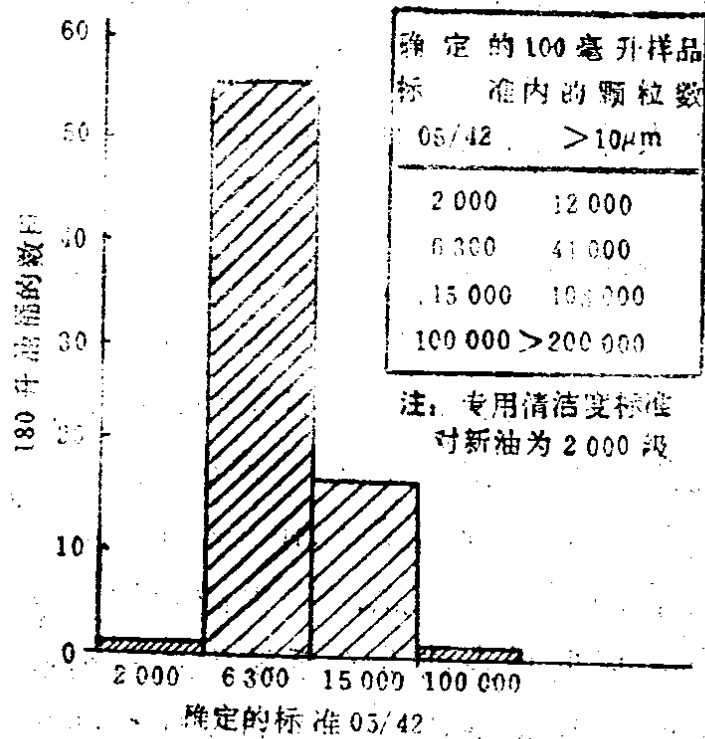


图 1 - 1 使用前的新油清洁度分析

3.1 冲洗台

皇家海军中的液压系统，从驱逐舰或潜水艇中的环形主系统到为舰船上的操纵机构或减摇装置的小巧的动力单元，其大小和复杂程度差别很大。所以，不可能有一种冲洗台能适应所有的工作条件。有些冲洗台只是要产生足够的流体能量以克服系统管路的阻力使液流保持在紊流状态。另外一些冲洗台除上述功能外还要提供足够的压力，使进行冲洗作业时能将系统中的某些执行器“冲动”，因而，为了适应多种需要，已经生产了从24巴时流量为22升/分到138巴时流量为900升/分的多种式样的冲洗台。

如上节所述，使用最广的冲洗台是分解式的，它具有通用

性且能运送到被冲洗系统附近，这种清洗台所用的泵组既有能打出高压油的，也有能打出低压油的，如果必要，可以在回路的最有效部位设置多个滤油器，而泵组可以和这多个滤油器相连。它也能直接和系统的油箱接通，如果需要，也可以只使用泵组中的单台的泵。这种泵组的主要缺点是它必须采用能承受高压或大电流（110伏、50赫、3相、40安，或415伏、50赫、3相、21安）的电缆，这些电缆要从海岸边的供电处一直敷设到冲洗的地点。在这种情况下，我们一定要保证这些电缆由复盖金属编织层保护，或有对地漏电保护装置，或使用安全断路器。

如果在附近有合适的电源，这种分解式冲洗台才能使用。不幸的情况并不总是这样，特别是在许多商业港口或有小型液压设备需要修理的地方不一定有这种电源。遇到这种情况，皇家海军有一种轻便的冲洗台，它的泵组装在一个长轴距的车（Landrover）上，车上有提供给泵驱动用的动力输出装置，滤油器组安装在车子的后部，通过后门控制操作泵组，这个冲洗台在69巴压力下输出流量大约是270升/分。

在所有的冲洗台上，都有油的取样点，放在滤油器的入口处，从一个自封式管接头处取油样，这些油样用来进行分析以确定系统清洁度水平。

4、结论

液压元件失效的最常见原因是液压油被污染。这种污染可能是新油中原来已存在的，也可能是由于安装了已被污染的管道和元件引起的。污染还可能是由于在污染了的环境中粗心地安装液压回路造成的，设备运行时液压元件受到腐蚀和磨损也