

YEYAYOU
de
Wuran
KONGZHI

何大钧主编 王孝培主审

液压油的污染控制

科学技术文献出版社重庆分社

液压油的污染控制

何大钧 主编

王孝培 主审

科学技术文献出版社重庆分社

内 容 提 要

液压油污染控制是使现代液压工业获得最佳经济效果的有效措施和方法。

全书共分十五章，主要包括：液压传动基础知识；造成液压油污染的原因及其危害；污染物的种类和特性；污染物的分析与检测；液压油的取样；液压油的污染控制、管理；液压系统的冲洗；液压油的再生；液压系统的可靠性等。本书可供从事液压技术的工程技术人员、工人及高等院校和中等专业学校有关专业师生参考。

液压油的污染控制

何大钧 主编 王孝培 主审
责任编辑 胡成儒

科学技术文献出版社重庆分社 出版

重庆市市中区胜利路132号

新华书店重庆发行所 发行
中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂 印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：12.5字数：27万
1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷
科技新书目：182—288 印数：1—2000

ISBN7-5023-0281-6/TB·17 定价：3.00元

前 言

液压传动应用十分广泛。在现代液压技术的应用和发展中,提高液压系统的可靠性和寿命已成为当今世界各国液压传动工业共同关注的重要课题。液压油的污染使液压系统产生的故障损耗和寿命降低是十分惊人的,因而液压油的污染控制是现代液压传动工业获得最佳经济效益所必需的技术措施和方法,所以得到了各国的高度重视,现已发展成为液压传动工业中的一门新学科。这一发展趋势在我国也势在必行,自1981年1月全国液标委首次召开的有关油液污染控制的国标制定工作协调会以来,发展十分迅速。

液压油的污染控制具体研究的范围包括:污染物的识别和描述;污染物的分析和定量;防止和限制污染物的侵入;捕集和清除污染物;确定元件和系统的污染敏感度;制定有关标准、规范或程序,建立并保持液压系统所需要的污染控制平衡等。其目的是通过对液压系统液压油的污染和污染影响因素的分析,以及对液压油污染度的合理控制,确保液压系统工作的可靠性及寿命,以达到最佳的经济效益。

全书共分十五章。重庆大学何大钧编写第一章到第五章、第七章到十一章、十三章;杨时永编写第十五章;陈明亮编写第十四章;第六章由何大钧、杨时永合写,第十二章由何大钧、陈明亮合写。全书由何大钧主编,重庆大学王孝培主审。

由于编者理论水平和实际经验有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

一九八七年十一月

目 录

第一章 概述	(1)
一、液压油的污染控制在液压传动工业中的 重要作用.....	(1)
二、国内外液压油污染控制概况.....	(3)
三、对液压油污染控制的客观要求.....	(10)
第二章 液压传动基础	(12)
一、液压传动工作原理.....	(13)
二、液压传动系统的基本组成.....	(14)
三、液压系统的类型和特点.....	(17)
四、液压系统基本回路.....	(21)
第三章 液压油	(40)
一、液压油的功用.....	(40)
二、发展简况.....	(41)
三、对液压油的基本要求.....	(42)
四、液压油的分类.....	(43)
五、液压油中常用的添加剂.....	(45)
六、几种常用液压油.....	(47)
七、液压油的选用.....	(61)
第四章 液压油的污染	(65)
一、造成液压油污染的原因.....	(65)
(一) 潜在污染 (66) (二) 侵入污染 (66)	
(三) 再生污染 (67)	

二、液压油中污染物的种类和特性	(69)
(一) 颗粒污染 (69) (二) 空气污染 (72) (三) 水污染 (76)	
(四) 微生物污染 (78) (五) 化学污染 (79)	
(六) 辐射污染 (80) (七) 静电污染 (81) (八) 腐蚀污染 (81)	
(九) 磁性污染 (82) (十) 热能污染 (82)	
三、液压油污染的危害	(83)
(一) 使液压系统工作性能下降, 动作失调	(83)
(二) 液压油污染对液压元件的影响 (84)	
(三) 液压油劣化变质对液压元件的影响 (88)	
(四) 液压油污染造成严重经济损失	(91)
四、液压元件污染敏感度	(91)
第五章 液压油中污染物的分析	(111)
一、含水量分析	(111)
二、空气污染分析	(112)
三、铁谱分析法	(114)
四、光谱分析法	(115)
五、显微镜颗粒计数法	(117)
六、自动光学测量法	(117)
七、颗粒尺寸分布曲线分析法	(118)
八、扫描电子显微镜检查法	(120)
九、淤积指数法	(120)
十、血球计数法	(122)
十一、重量法	(129)
十二、化学物和微生物分析	(129)
十三、现场检测	(129)
第六章 液压油的取样	(132)
一、液压油污染情况的检测部位和周期	(132)

二、影响取样真实性的因素	(132)
三、取样容器的清洗和质量控制	(133)
四、取样容器的选择	(136)
五、管路取样	(137)
(一) 取样装置原理 (138) (二) 实验	(141)
六、油箱取样	(145)
第七章 液压油污染度检测仪	(147)
一、颗粒自动计数器 (PC-320)	(147)
(一) 颗粒自动计数器的工作原理 (147) (二) 颗粒自动	
计数器的标定 (148) (三) 传感器的应用条件 (152) (四)	
PC-320颗粒尺寸标定程序 (153) (五) 含铁粉较多油样的	
测定 (160) (六) 仪器的清洗 (161) (七) 滤油器过滤性	
能检测 (161)	
二、电阻计数器	(162)
三、XZR油液污染度检测显微镜	(163)
第八章 颗粒自动计数器对含水型	
液压油的颗粒计数	(165)
一、范围	(165)
二、取样过程	(166)
三、结论	(171)
第九章 液压系统污染杂质颗粒运动	(173)
一、概述	(173)
二、实验研究	(173)
三、颗粒的沉淀	(175)
四、颗粒在直管中的运动	(178)
五、颗粒在油箱中的运动状态	(183)
六、结论	(185)

第十章 液压油中允许颗粒杂质含量限度.....(187)

一、液压元件的临界间隙.....(187)

二、粒径不同的杂质颗粒对

液压系统的影响.....(187)

三、污染度.....(189)

(一) 按颗粒数分级(190) (二) 按重量法分级(198)

四、影响液压系统污染度的因素.....(199)

五、液压油污染度与故障的关系.....(212)

六、液压油允许的污染度等级.....(214)

七、机械工业部通用基础件工业局

液压件清洁度检测暂行办法.....(216)

第十一章 污染控制实施.....(221)

一、限制污染物的渗入.....(221)

(一) 液压系统零、部件带入的污染物 (222) (二) 人为原因引入的污染物 (223) (三) 来源于微生物的污染物 (224) (四) 外界吸入的污染物 (224) (五) 磨损产生的污染物 (225) (六) 从滤油器或其它集污染物元件中逸出的污染物 (227)

二、滤油器与过滤.....(228)

(一) 滤油器的功用 (228) (二) 滤油型式 (228) (三) 滤油器的种类 (231) (四) 滤油器的结构和特点 (231) (五) 滤油器的安装位置 (234) (六) 滤油器的性能 (239) (七) 滤油器性能的测试方法 (243) (八) 液压系统污染控制方程 (248) (九) 系统的过滤 (251) (十) 滤油器寿命的估计 (254) (十一) 滤油器的合理选择(260) (十二) 滤油器的检查 (264) (十三) 滤油器的使用维护 (265) (十四) 滤油器的故障 (266)

三、污染物的排除.....	(267)
第十二章 液压系统的清洗	(271)
一、为什么要清洗?	(271)
二、金属洗净剂的种类与应用.....	(272)
三、助洗添加剂的种类与应用.....	(277)
四、清洗方法.....	(277)
五、冲洗液的雷诺数与冲洗效率.....	(278)
六、液压元件、管件及油箱的清洗.....	(280)
七、液压系统的清洗.....	(282)
八、冲洗滤油器和冲洗时间.....	(284)
九、冲洗程序.....	(288)
第十三章 液压油的管理	(291)
一、液压油的贮存与取用.....	(291)
二、液压油在注入液压设备前的管理.....	(293)
三、矿油型液压油的使用管理.....	(296)
四、抗燃液压油的使用管理.....	(306)
五、液压油对金属和非金属材料的适应性.....	(309)
六、液压油的质量管理.....	(310)
七、液压油的安全管理.....	(311)
第十四章 废液压油的再生	(316)
一、废液压油再生的意义.....	(316)
二、液压油的更换与废液压油的回收.....	(316)
三、物理化学法再生.....	(320)
四、静电净油法再生.....	(325)
第十五章 液压传动系统的可靠性	(335)
一、液压可靠性的基础知识.....	(335)
(一) 液压可靠性的基本概念 (335) (二) 描述可靠	

性的主要指标 (336)

二、液压可靠性常用的概率分布及其应用.....(339)

(一) 常用的概率分布 (339) (二) 节流孔试验的时间预测 (343) (三) 污染对航空液压油泵使用寿命影响的典型例子 (347)

三、节流孔工作的可靠性.....(350)

(一) 节流孔的堵塞 (351) (二) 节流孔的失效判据 (351) (三) 节流孔失效的统计模型及其实验验证(352) (四) 节流孔工作的可靠度与系统油液污染的关系 (358) (五) 提高节流孔工作可靠度的措施 (359)

四、滤油器的寿命预测.....(360)

(一) 滤油器的试验结果 (361) (二) 滤油器的寿命特性确定 (363)

五、液压系统可靠性的失效树分析.....(366)

(一) 失效树分析概况 (366) (二) 顶端事件的选取及失效树的建立 (366) (三) 失效树在液压系统分析中的应用实例 (370)

第一章 概 述

一、液压油的污染控制在 液压传动工业中的重要作用

液压系统中存在有对系统的运转、工作寿命和可靠性有害的物质和能量统称为污染物。例如空气、不相容液体、微生物、化学物、腐蚀、热能、电荷、磁场、辐射及各种固体颗粒物等。

污染对于任何靠流体工作的系统至关重要，研究和探讨油液污染的原因并加以控制，是现代化液压传动工业获得最佳经济效益所必需的有效技术措施和方法。

液压油污染使液压系统产生故障或损坏的形式有三种：**性能不稳定、元件损坏和性能恶化**。前两种故障瞬时出现，是污染物直接作用的结果；后一种形式往往不引人注意，它是污染物作为媒介产生恶性磨损过程的结果。早在1965年，美国国家流体动力协会（NFPA）就作出了“液压系统的故障至少有75%是由于油液的污染所造成”的结论。

油液的污染管理，概括地分为污染分析和污染控制两个方面。施行油液污染管理的目的，就是要通过对液压系统的油液污染和污染影响的分析，通过对液压系统油液污染度的合理控制，确保液压系统的工作可靠性及使用寿命，使之获得最佳的经济效果。

许多研究和调查报告都指出油液污染对液压元件及系统有危害。例如国外有关液压泵的污染效应试验表明：若每

100毫升油液中含污物重量小于3—35毫克,粒径为10—15微米的颗粒少于3万个,且硬度高于莫氏6度的颗粒不超过30%时,则飞机用轴向柱塞泵的寿命才能达50小时。

油液污染造成液压系统的故障损耗和寿命的缩短是十分惊人的。在这些损耗中,包括元件的报废、维修费的增加和机器停产所造成的损失等。有人对三台特殊机械作了30个月的观测,结果表明,液压系统由污染和磨损造成的实际损失为56,171.50美元,但加以合理的污染控制后,每年平均节省费用为22,468美元。

油液污染给液压传动工业带来的另一严重经济损失是油液的大量补充和报废。1977年,英国设备制造商协会访华代表团在技术座谈中谈到:“通过试验和使用调查,液压系统合理使用滤油器后,油液的寿命可延长5—6年,有些延长7年”。日本对节省液压传动用油的问题也很重视,クソーンチツク工业公司的佐佐木彻在“传动油的净化性能和污染管理——能源时代传动油管理研究”一文中提出了如何不让油液污染,特别是不要换油的观点。我国液压传动用油80%以上仍是普通的机械油,每年总用量约为10万吨,以换油期一般是3—6个月来计算,我国液压传动工业的油液耗费是惊人的。

以上仅从液压系统可靠性和寿命以及节约液压油这两个方面来说明液压油污染控制的意义,这还不包括油液污染使系统产生故障而造成的事故损失。对那些可靠性要求高的液压传动系统,污染所致的元件、油液、甚至整个系统的预早性更换,也是一项不可低估的损失。液压油的污染控制的理论和实施的意义还在于在保证液压系统工作可靠性的前提下,发挥液压元件和系统的最大效用。

二、国内外液压油污染控制概况

由上述情况可知，液压油污染控制是十分重要的并普遍引起各国液压传动工业的重视。从五十年代开始就对油液污染控制进行全面的开发研究，现已发展成为内容极为广泛和完整的一门新技术。由于液压传动的工作原理和工作状况所决定，也由于液压传动正在向高压、高性能和高质量的方向发展，固体颗粒物侵入油液的机会最多，对液压元件和系统的危害也最大。因此，液压油污染控制首先是从研究和分析固体颗粒污染开始的，并以固体颗粒污染的研究和分析为主要内容。

1. 国外情况

就固体颗粒物的污染来说，首先确定与系统相关并能反映污染物物性和特征的要素，如颗粒尺寸、尺寸分布、颗粒状况、硬度、浓度、团聚性、堆积性、沉降性、悬浮度和飘移度等，然后针对这些要素进行检测，通过大量的调研、检测和试验研究，制订出各种标准和规范。

油液污染分析，首先是围绕着如何检测这些要素来进行的。检测的方法很多，曾经经历过漫长而复杂的试验过程。如目测法、比色法、淤积指数法、重量法、显微镜计数法，直至自动颗粒计数法、铁谱分析法等。

在五十年代中期以前，当时还没有适当的方法来评定滤油的质量，也没有办法来测定油液的清洁程度，故只能在系统中安装多个滤油器，以期获得较好的效果。

当时，对中等温度的系统只能用酚醛树脂处理过的滤纸作为滤芯的油滤。用额定精度等级来表示油滤的规格（至今

往往也仍采用这种办法），按照此规格可将油液中比等级粒度大二倍的颗粒滤去98%。可是当时尚无仪器来验证是否与这些要求相一致。

六十年代中期，美国首先将HIAC自动颗粒计数仪应用于油液的污染分析，但直至七十年代初才找到了合适的标定方法，完善了仪器的标定程序，并在证实了自动颗粒计数仪与显微镜计数法的关系后，自动颗粒计数法才在所有污染分析法中占有最优势的地位。

油液污染分析的第二项重要内容是对各行业的液压传动系统油液清洁度的测定，以及在这些基础上提出各行业液压系统用油的清洁度规范或参照标准。

1978年，美国太平洋科学公司HIAC仪器分部向美、英、德、法、日等九个国家的85个公司作了液压油污染控制的调查，公布了所调查的各个行业液压传动系统用油清洁度等级和使用标准。这次调查所得到的结果成为世界各国在制定或推荐不同行业液压传动系统用油清洁度的最早的一个依据。

1964年制定的美国宇航标准（NAS1688）中规定了液压元件的清洗和清洁度的要求。液压设备制造企业也相应地制定出设备元件和系统的清洗规程，并把清洗质量管理和设备的防外部污染措施作为产品竞争的手段。

七十年代初，美国俄克拉何马州州立大学（OSU）对液压元件（液压泵、液压马达、液压缸、阀和密封件等）污染敏感性进行了全面试验并发表了有关试验研究的成果和数据，供各国液压行业作同类元件的对照参考，而且，其试验设备、试验方法或程序、检测技术和处理办法等都为各国液压行业的油液污染控制技术提供了宝贵的借鉴依据。

污染控制的主要措施是过滤，随着液压技术的发展，对

污染控制提出了更高的要求，人们对于过滤和滤油器也赋予了许多新的理论和认识。这包括过滤机理研究、滤油器研制、滤油器的性能测试以及匹配选用等广泛而又复杂的技术内容。

滤油器是一种比例控制器，其滤除油液中污染物的能力或效率是系统各因素动态过程的结果。反映滤油器性能的主要参数是过滤比 β 值、纳垢容量和压力损失，其中过滤比是一个代替传统的“过滤精度”的新术语，也是揭示过滤机理的最有意义的概念。

各国都十分重视滤油器的研制工作并在研制中充分利用了污染控制技术的新成果。美国PALL公司、英国FAIREY公司、西德HYDAC和EPE公司等是滤油器研制和生产方面的代表；日本大生等公司也有长足进展，已自行配套生产名义精度为3微米的滤油器系列。滤油器的关键是滤材，国外十分注意滤材的开发研制，现有的精密滤芯的滤材有金属纤维、化学纤维、玻璃纤维等。就名义精度来说，常见的滤油器产品过滤精度是20微米、10微米、3微米和1微米。这里所谈的滤油器是用多孔性滤材作机械性过滤的，而机械性过滤只能除去磨粒或较大污物，不能去除引起氧化变质的微尘。因此，还需要研制其它形式的净化器，如静电净化机等，它现已广泛应用。

在滤油器性能测试上最重要的研究成果是多次通过滤油器试验法，这种方法由OSU完成并成为美国国家标准协会(ANSI)和国际标准化组织(ISO)的标准。

多次通过试验法在自动颗粒计数器和污染分析技术的基础上，模拟了液压系统中的真实情况，以一种最有效和可靠的方式来评定滤油器的性能——过滤比和纳垢容量。

污染控制平衡理论和实施是油液污染分析和控制的全部活动的总成。1978年由OSU提出的“污染控制平衡理论”，它的关系式可简化为：

滤油器滤清能力 $\geq$ 油液污染度 - 系统耐污染度

这一理论对指导油液污染控制工作很有意义。一个液压传动系统只有建立起污染控制平衡，才能达到在最佳经济效益的基础之上维持系统的可靠性及寿命。目前对这一理论还在继续研究和不断完善之中。

概括国外污染控制状况，可以说明国外在污染控制领域已做了大量的工作并取得了较大的成果，一门污染控制新技术体系已经形成，但仍存在不少有待解决的课题，例如空气和水的污染控制，水、空气、磁性颗粒对自动颗粒计数器的影响，测试仪器的完善和研制以及寻求动态分析的数学方法等。另外，随着液压传动工业的发展，总是会向污染控制提出新问题的。

2. 国内情况

1981年1月，全国液标委首次召开了有关油液污染控制的国标制定工作协调会。到1983年底，大部份国标草案已经完成，仅多次试验法因试验台的技术难度高、制作期限长而未完成。1983年4月，中国机械工程学会液压专业委员会首次召开了全国性的油液污染控制的学术交流会，这说明我国对油液污染控制的研究和实践工作已有了良好的开端。

目前我国已生产了能反映我国滤油技术水平的高性能的滤油器、滤油车、净油机和其它过滤装置等。这些产品归纳起来有如下特点：

(1) 过滤精度普遍提高 江苏太仓液压件厂和上海机械制造工艺研究所研制的“清泉”牌ZG型精密长效滤油器的过

滤精度达0.3微米，许多单位开始采用国际标准(如ISO4406和NAS1638标准)来衡量油液污染度，向国际标准靠拢，这对我国滤油器产品的发展与提高具有推动作用。

(2)滤油器的寿命明显延长 大连滤油器厂生产的D型纤维织物滤油器因其使用寿命长而受到广大用户的欢迎。图1-1是D型滤油器与烧结及纸质滤油器的对比图。由图可知： D_1 、 D_2 型滤油器的一次使用寿命比老式的高10倍以上。

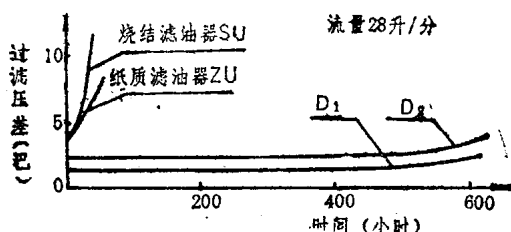


图1-1 D型滤油器与烧结及纸质滤油器的对比

(3)独立过滤装置正在兴起 所谓独立过滤装置是指有独自の液压系统和动力源的过滤装置，它既可串接于系统又能单独使用。图1-2所示是JLC-10-25型精密滤油车原理图。它是由齿轮泵、电气控制箱、溢流阀、滤油器等组成，是一种移动式装置，即使在狭窄地段也能使用，能为液压机械油箱定期换油或作灌注过滤及旁路过滤保养。其它如LUC-16型精密滤油车、JLJ-25型精密滤油机等也具有相似的原理结构，有的还增加了磁性装置及线隙式过滤。

(4)过滤新技术的应用 长期以来，线隙、烧结、网式、纸质等滤油器用得较多，近些年来，出现了不少新产品。如北京自动化研究所和天津滤油器厂研制的DJ-10、JJ15型静