

液压系统污染控制展望

〔美〕 R.K. Tessmann, L.E. Bensch

原文提要 液压系统污染控制主要涉及互相关联的四个不同的方面：颗粒分析、过滤性能、污垢侵入及污垢敏感度与磨损。无论在上述的每一个方面还是在它们的相互关系的研究上都已经取得巨大的进展。为了给污染控制的展望打下基础，本文首先讨论该领域的历史与现状。虽然污染控制的每个方面都取得了重大的成就，但仍有一些可望取得进展的课题。

与许多工程技术领域相比，污染控制是一个相当新的技术领域。这并不是说颗粒性污染的有害影响刚被发现〔1〕。不过，只是在这几年里，污染控制才发展成四个主要方面，如今我们称这四个方面为：污垢分析、过滤、侵入及污垢磨损。

虽说污染控制的基础由所有这四个方面组成，但是最基本的大概还要算污垢分析。如果沒有一套方法和必要的仪器来测定侵入液压系统油液的污垢的数量和尺寸分布的话，研究员和工程师将无从估计任何污染控制状况。另一方面，如果没有过滤、污染磨损及侵入的分析和评价方面的技术，有关系统污染等级的知识也会降低价值。

事实上，污染控制的四个方面分别回答以下四个问题：

- 有多少污垢？
- 如何有效地降低污染等级？
- 污垢是从哪儿来到系统里的？
- 系统能忍耐多少污垢？

显然，这四个问题是互相依存的，虽说准确地回答其中任何一个问题都是有意义的，但完全的污染控制要求准确地回答所有这四个问题。

在过去十年里，流体动力行业目睹并资助了污染控制技术的巨大发展。该技术的所有四个方面都经历了广泛的努力并以大体相同的速

度取得进展。这并不是说所有的问题都已经解决了。看来，对一种情况的解决不过是使我们获得足以理解另一种情况的知识。不过，随着每个问题的研究、理解和解决，人们将可以造出工作寿命更长、可靠性更高的液压系统。这正是钱克拉克马州立大学流体动力研究中心开展污染控制研究工作的最高目标。

本文简单回顾一下污染控制的历史以便为予测未来的进步打下基础。将分别讨论该领域的四个方面，意在囊括以往的成就和有希望的新课题。我们将会看到，改善污染控制的许多目标已经达到了，但还有一些目标尚未达到。本文突出这些可以寄希望于未来的振奋人心的新发展。

污垢分析

污染控制的这个方面通常包括系统采样，采样容器的洁净度、颗粒计数及称重分析。此外，光谱分析和铁粉记录图分析也可以在这儿考虑，但由于它们主要用于磨损检测，所以打算在污垢磨损一节里讨论这两种方法。

采样法及采样容器洁净度实际上是准确的污垢分析的前提。由于通常没有可能对系统中的全部油液进行分析，所以必须采集其污染等级能代表系统油液的油样。此外，为了避免误差，盛装油样的容器必须“清洁”，不能增加油样的污染等级。已有采样标准及评定采样容器洁净等级的标准，可资遵循〔2、3〕。

通过颗粒计数来确定侵入油液的污染的尺寸分布,这是在1960年代初期随着显微镜法的标准化〔4〕而开始流行的。由于操作者的影响及许多其他因素,用显微镜法得到的颗粒数目出入很大。还有,这种方法是实验室用的,并要求操作者具有相当的专门技能。

用于液体的自动颗粒计数器是在1960年代中期登场的。这种新仪器迟迟未被接受,主要是因为用显微镜法得到的数目与用颗粒计数器对同一油样测得的数目不一致。

造成这项差异的原因在于,两种方法所测定的其实是污垢的不同物理特性。采用显微镜时,常见的作法是根据在视平面内的最长尺寸来确定形状不规则的颗粒的大小。然而,用得最广的颗粒计数器利用一种遮光法。就是说,根据遮光量理论上与一个污垢颗粒相同的球体来确定计数器所看到的这个颗粒的大小。这样一来,自动颗粒计数器并不根据最长尺寸来确定颗粒的大小。在1970年代初期制订自动颗粒计数器的标定步骤时〔5〕找到并证实了这两种计数方法之间的相互关系。

尽管在污垢分析方面已经取得了显著的进步,但这方面今后还有大量工作要做。例如,液体用颗粒计数器中广泛采用的原理是利用油液与污垢颗粒之间折射率的不同。遗憾的是,水珠和气泡也有不同的折射率,也会被计数器记录下来。

另外,某些油液在使用中变得很暗,给污垢分析带来另一个难题。高粘度油液也给自动颗粒计数器的使用造成困难。为测得准确的颗粒尺寸分布,必须保持一定的流量通过计数器传感器。这通常是靠向油样施加压力达到的。在测定高粘度油液的污染等级时,为了把需要施加的压力保持在合理的范围内,必须用低粘度液体把这样的油液稀释。

大概自动颗粒计数器的用户所遇到的最大的困境就是饱和问题。饱和现象有点难以讨论,因为颗粒计数器一般同时测定几种颗粒尺寸。不过,最好是仅考虑计数器的一个信道来

理解。随着污垢浓度的提高,一个以上的颗粒在同一时间处于传感区的概率也增加。发生这种情况时,计录器仅记下一个颗粒。

为简单起见,假定两个15微米的颗粒同时穿过传感区。如果调定适当,颗粒计数器将在实际上有两个颗粒时指示一个大于20微米的颗粒,而在有一个颗粒时指示一个大于10微米的颗粒*。虽然这是一个过份的简化,但它说明准确的颗粒尺寸分析的一个重要的侧面是颗粒计数器的饱和特性。

为了指导污垢分析方面今后的发展工作,已经成立了一个由这方面最受尊敬的专家组成的委员会。该委员会的目的是识别和确定与这方面有关的最重要问题,并提出将导致能被工业界接受的解决办法的行动步骤。作者相信,作为这个委员会的特征的影响力和专长将会促进污垢分析技术的进步。

过 滤

一些年来污染控制中最引人注意的方面无疑是过滤。高压和高性能液压系统刚一问世,工程师们立刻意识到必须减少或控制颗粒性污染。可以理解,他们向滤油器制造商寻求这个问题的答案。只要看一看液压的增长就会明白这些供应商在完成他们的使命中做了大量工作。

为了提供在滤油器用户与供应商之间进行技术交往的有效工具,制订了若干种滤油器性能试验法。这些早期的试验法基本上是试图确定滤油器在清除污染方面的“良好程度”。

在1960年代后期和1970年代初期,俄克拉何马州立大学流体动力研究中心根据与美国陆军行走装备研制司令部的合同制订了一种可被工业界接受并为验收目的而采用的比较逼真的滤油器性能试验法,这项工作的成果〔6〕是多次通过滤油器性能试验法,它实际地评定滤油器在试验污垢不断侵入的条件下控制工作系统

* 这句话的原文直译为“如果调定适当,颗粒计数器将在实际上有两个颗粒时指示一个大于10微米的颗粒,而在没有颗粒时指示一个大于20微米的颗粒。”疑有误——译者。

污染等级的能力。以这种逼真的方式来考虑整个过滤过程,就可以建立起描述系统污染等级的完整数学模型。

用于液压滤油器的多次通过滤油器性能试验法的制订,在污染控制的总技术发展中树立了一个里程碑。该试验法现已被美国标准学会和国际标准化组织采纳〔7〕。

有了这种评定方法,过滤材料和滤芯制造商及滤油器用户就有了讨论过滤要求的共同基础。多次通过试验法已成为设计滤油器和以与元件敏感度分析相协调的方式评定滤油器性能的有力工具。

一般来说,多次通过试验法具有很高的重复率〔8〕。不过,随着更多的公司取得该试验的经验,出现了四个非常重要的因素:

- 周期性或动态流量事实上将影响被试滤油器的性能。

- 滤油器的性能与试验时的湿度条件有关。

- 绕过滤芯的任何漏油对大颗粒的影响比对小颗粒的影响更显著。

- 对超精细滤油器来说,在线颗粒计数得出的数据比油瓶采样更准确。

在周期性流量对滤油器性能的影响〔9〕方面已经进行了数量可观的工作。这些工作已经产生了与动态流量的振幅、频率及波形有关的

数据。根据这些资料,将有可能制订出确定动态流量对滤油器性能的影响的一种逼真的试验步骤。由于大多数液压系统中的流量严格说来都是动态流量而不是稳态流量,有理由估计对这种现象会有更大的兴趣。

随着人们用多次通过试验法取得更多的经验而出现的第二个因素是,试验结果与试验时的相对湿度多少有些关系。这种现象被归因于静电荷的影响。碳氢化合物通过多孔物质时能产生静电。从本质上说,这意味着正电荷与负电荷的分离。由于多次通过试验中所用的MIL-H-5606 液压油之类的碳氢化合物是不良导体,所以只要有油液流动这种电荷就将积聚起来。根据推理,在多次通过试验中这些电荷对滤油器的过滤能力影响很大,因为静电把颗粒吸附在滤油器上和连接管管壁上。

液压行业的趋势是采用流量更大的更精细的滤油器。一般来说,已经积累的资料表明采用流量较大和较精细的滤油器时静电效应更为严重。由于这个缘故,流体动力研究中心已经开始了一项调查静电效应的计划。该工作是一项与行业联合进行的事业,它将产生有关确定影响程度及为消除这些影响所造成的与标准试验结果的变异而应采取的行动的指导。

(待续)

(上接14页)

〔13〕《计测と制御》,1973, Vol.12, No.8

〔14〕George W.Michalec,《Precision gearing,theory and practices》, New York, London, 1966

〔15〕李连升,电液伺服系统中的消隙传动,《机床与液压》1975年第6期

〔16〕C.A.Bass and D.H.Jownsend, The NRL microwave space research facility design and development of the 60-ft x-band antenna,《NRL Report 6921》,1969.8

〔17〕P.Gale and R.Bell,An economic technique for the improvement of the stability of hydraulic cylinder drives,《Proceedings of the twelfth international machine tool design and research conference》,1971

〔18〕Acker,R.,Designing servos for large-signal stability,《Control engineering》, May 1965

〔19〕Anon,Dynamic pressure feedback,《Aircraft engineering》,June 1960