

文章编号:1000-582X(2007)06-0018-03

# 液压润滑系统目标污染度

游四海<sup>1</sup>, 俞宁<sup>1</sup>, 郑长松<sup>2</sup>

(1. 重庆工学院 重庆汽车学院, 重庆 400050; 2. 北京理工大学 车辆传动国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**为了控制油液的污染,建立了液压润滑系统简化后的污染控制系统的数学模型,推导出了理论平衡计算公式,并在实际工程考核应用背景下研究了其污染动态平衡的过程。提出了液压润滑系统污染动态平衡时的污染度亦即为液压润滑系统需要控制的目标污染度,并以该目标污染度作为换油指标。通过试验验证了结论的正确性。

**关键词:**目标污染度;污染控制;润滑油液;液压润滑系统

**中图分类号:**TH137

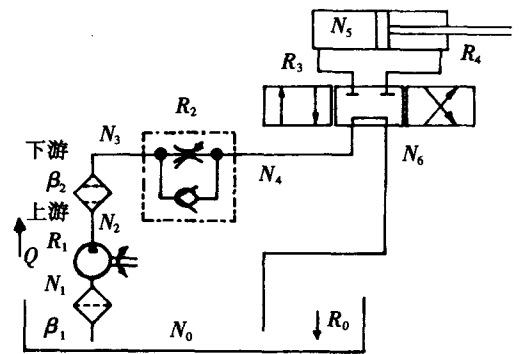
**文献标志码:**A

目前,润滑液压系统的污染控制主要是在吸油管路、压力油路、回油管路安装过滤器,将系统的污染度控制在液压元件污染耐受度的范围之内。在污染控制系统中,滤芯是一个很重要的元件。实践表明,滤芯的过滤能力受诸多因素的影响,除与本身的滤网形式、滤芯结构参数有关外,其它的液压系统参数(油温、压力等)的影响也很大。在使用过程中,过滤器的实际过滤比与理论过滤比相差很大,滤芯的实际过滤比一般远小于理论过滤比<sup>[1]</sup>。在工作过程中,滤芯的过滤性能受温度、流量的影响很大,温度越高、流量越大,其过滤能力降低。同时润滑液压系统油液的脉动和滤清效应会使得过滤器下游某颗粒尺寸浓度比上游的还大。

## 1 污染动平衡方程的建立

实际的大型润滑液压系统其工作条件都比较恶劣,常在高温高压大流量的情况下工作,要建立比较精确的污染控制平衡方程是非常困难的。笔者在推导污染平衡方程时,特做如下假设:1)过滤器在工作过程中过滤比不变;2)油箱里面的油液污染颗粒分布均匀;3)外部污染颗粒侵入率在工作期间均匀;4)油液无泄漏。

对于图1所示的液压系统试验台,要研究的是滤芯的过滤能力,而在工作过程中,各个阀分别是控制或



$N_0$ —油箱中的初始污染度; $N_i$ —第*i*个元件的污染度( $i=0, 1, \dots, 6$ );  $R_j$ —第*j*个元件的污染侵入率( $j=0, 1, \dots, 4$ );  $\beta_k$ —第*k*个过滤器过滤比( $k=1, 2$ );  $Q$ —系统的流量

图1 液压系统简图

执行元件。由于磨损会使油液中的污染颗粒含量增加,为便于试验研究,可以将其简化<sup>[2]</sup>。对系统中的过滤器、污染颗粒侵入率简化<sup>[3]</sup>,引入等效过滤比 $\beta_e$ <sup>[4]</sup>、等效污染颗粒侵入率 $R_e$ ,再进一步简化。针对简化后的模型,参考文献[5]作如下推导。

从液压系统的任一时刻*t*起,经过时间*dt*,颗粒总量的增加量为 $R_e dt$ ;颗粒因过滤而带来的颗粒总量的减少量为

$$(N_s Q \varepsilon + N_s q) dt, \quad (1)$$

式中: $\varepsilon$ 表示被过滤器过滤掉的颗粒数与过滤前的颗

收稿日期:2007-02-10。

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTS2005BB4079)。

作者简介:游四海(1975-),男,重庆工学院讲师,主要从事机械设计理论的研究(Tel)023-68667454;

(E-mail) yzy20010709@cqit.edu.cn。

粒数之比,用 $\beta$ 表示过滤器某一颗粒尺寸的过滤比,则 $\varepsilon = (\beta - 1) / \beta$ ;  $N_s$ 表示液压系统油箱中污染颗粒的浓度;  $q$ 表示液压系统油液的损耗率。

在 $t + dt$ 时刻,液压系统中的颗粒总量 $W$ 为:

$$W = N_s V_s + R_c dt - N_s (Q\varepsilon + q) dt, \quad (2)$$

式中 $V_s$ 表示油箱中油液的体积;  $R_c$ 表示液压系统工作过程中污染颗粒产生率。

同时 $W$ 也可有另一种表达,即

$$W = (N_s + dN_s)(V_s - qdt). \quad (3)$$

式(2)和(3)等效,故有:

$$N_s V_s + R_c dt - N_s (Q\varepsilon + q) dt = (N_s + dN_s)(V_s - qdt). \quad (4)$$

由假设知,系统不漏油,故 $q = 0$ 。该方程经整理可得微分方程(5):

$$\frac{dN_s}{dt} + \frac{N_s Q\varepsilon}{V_s} = \frac{R_c}{V_s}. \quad (5)$$

解一阶线性微分方程(5),得通解:

$$N_s(t) = C_1 e^{-\int \frac{Q\varepsilon}{V_s} dt} + e^{-\int \frac{Q\varepsilon}{V_s} dt} \int \frac{R_c}{V_s} e^{\int \frac{Q\varepsilon}{V_s} dt} dt, \quad (6)$$

式中: $C_1$ 表示常数。

通常,机械设备在稳定工作的情况下,其磨损状态应是线性的,亦即其颗粒浓度的增量为恒定值,即 $R_c$ 为恒量,则有

$$N_s(t) = C_1 e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} + e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} \int \frac{R_c}{V_s} e^{\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} dt = C_1 e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} + e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} \frac{R_c}{V_s} \frac{V_s}{Q\varepsilon} e^{\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} = C_1 e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} + \frac{R_c}{Q\varepsilon}. \quad (7)$$

在实际的液压系统中,由于滤芯受工作条件的影响,其针对某颗粒尺寸的过滤比为一动态变化的值,且远小于理论过滤比,甚至有可能出现小于1。而污染颗粒侵入率 $R_c$ 则更是一个很难确定的参数,按文献[6]给出的参考值,对于不同的液压系统,污染物侵入率的变化范围较大,每分钟侵入系统大于 $10 \mu\text{m}$ 的颗粒数大致在 $10^7 \sim 10^9$ ,平均值取 $10^8$ 个/min。

## 2 实例分析

假定试验系统是在一个密闭的环境下进行,实验室环境清洁,系统的油液初始污染度为 $N_0$ ;系统内部的污染生成率很小,可以忽略。则简化后的试验系统实际上是一个对一定污染度油液的过滤系统,可以通过该试验考核滤芯的过滤能力和实际的等效过滤比值之大小。式(7)中积分常数 $C_1$ 取决于初始条件:

1) 若液压系统中刚刚装满新油,即油中颗粒浓度可以认为是从0开始,再来考察液压系统中颗粒浓度的变化规律,则此初始条件为: $t = 0$ 时, $N_0 = 0$ 。代入

式(7),可得

$$C_1 = -\frac{R_c}{Q\varepsilon}. \quad (8)$$

将 $C_1$ 代入式(7),有

$$N_s(t) = \frac{R_c}{Q\varepsilon} (1 - e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t}). \quad (9)$$

式(9)是在以上假设条件下(无泄漏、稳定磨损、初始颗粒浓度为0),液压系统中颗粒浓度 $N_s(t)$ 与时间 $t$ 之间的函数关系式。根据此解,做出的某一尺寸颗粒浓度随时间变化的曲线如图2所示。图中, $N_b$ 为某一颗粒尺寸段的颗粒浓度。

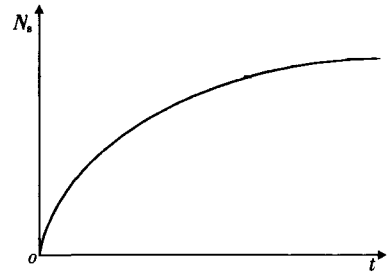


图2  $N_s(t)$ 与 $t$ 关系曲线(初始颗粒浓度=0)

由此解析式和曲线,可以推出以下几点结论:

a. 在一个有滤清器的循环机械液压系统中,液压系统的污染浓度经过一定的时间后,会达到一个动态的平衡(即工作过程中不断生成的污染颗粒与滤清器滤掉的污染颗粒在相当一段时间内持平)。

b. 按照式(9),只有当时间趋于足够大时,污染浓度方能达到平衡。在实际的液压系统中,以达到平衡浓度的90%为准,利用该式估算出某一液压系统中颗粒达到一定程度平衡时所需要的时间。令 $N_s = 0.9N_b = 0.9R_c / (Q\varepsilon)$ 代入式(2) - (9),有

$$1 - e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s} t} = 0.9, \\ -\frac{Q\varepsilon}{V_s} t = \ln 0.1, \quad (10) \\ t = -\frac{V_s}{Q\varepsilon} \ln 0.1 = 2.3V_s / (Q\varepsilon).$$

c. 液压润滑系统达到的污染动态平衡的时间与液压系统的 $V_s/Q$ 成正比,即与油箱内完成一次循环所用的时间(液压油循环周期)成正比。因此,小油箱、大流量的液压循环系统,为能及时捕捉液压系统的污染信息,取样的时间应该更短;在其他条件不变的前提下,达到污染平衡的时间与液压系统过滤器过滤比 $\varepsilon$ 有关,是成反比关系。即液压系统过滤器过滤能力越强,达到平衡的时间就越短。

2) 如果液压系统中初始污染度为 $N_0$ ,考察液压系统污染颗粒浓度的变化规律,则此初始条件为

$t=0$  时,  $N_s = N_0$ , 代入, 可得

$$C_1 = N_0 - \frac{R_c}{Q\varepsilon} \quad (11)$$

将  $C_1$  代入式(7), 有

$$N_s(t) = N_0 e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s}t} + \frac{R_c}{Q\varepsilon} (1 - e^{-\frac{Q\varepsilon}{V_s}t}) \quad (12)$$

同理, 式(12)是在假设无泄漏、初始污染度为  $N_0$  (已经使用过的脏油) 的条件下, 液压系统中颗粒浓度  $N_s(t)$  与时间  $t$  之间的函数关系式。根据此解, 做出的某一尺寸颗粒浓度随时间变化的曲线如图 3 所示。

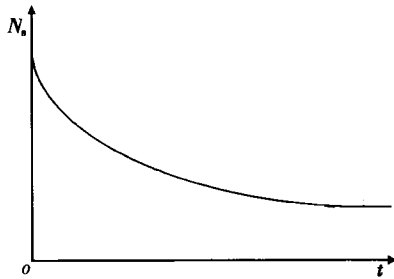


图 3  $N_s(t)$  与  $t$  关系曲线(初始污染度为  $N_0$ )

由解析式和图 3 曲线可以得到。

a. 液压系统工作中污染物不断侵入, 又不断被过滤器滤除, 经过一定时间后, 系统油液的污染度达到某一稳定值, 而达到稳定值所需的时间决定于  $R_c/(Q\varepsilon)$ 。

b. 图 3 曲线可以看出, 当时间  $t$  趋于足够大时, 液压系统的污染度趋于稳定, 其稳定值为  $R_c/(Q\varepsilon)$ 。

c. 液压系统油箱容积  $V_s$  越大, 油液污染下降缓慢, 过滤净化速度降低。因而较小的油箱容积对油液净化是有利的。

3) 从以上分析可以看出, 对于任何带有过滤器的液压润滑系统, 其最终油液的污染度都能达到一个平衡状态, 亦即  $R_c/(Q\varepsilon)$ , 可以将该污染度定为系统的目标污染度。当液压润滑系统的污染度超过该指标的时候, 液压润滑系统应更换油液, 以保证能可靠的运行。

### 3 试验分析

按图 1 所示的简化模型, 搭建试验台, 采用一定污染度的脏油, 在精滤的上、下游取油样, 则系统相当于一个污染 - 过滤系统。将所取的油样经过振荡均匀后, 利用超声波清洗仪将振荡过程中产生的小气泡颗

粒消除, 用便携式污染颗粒计数仪 (PODS) 进行油液污染分析, 采用  $d > 40 \mu\text{m}$  ISO4406 国际标准输出, 实验监测的结果如图 4 所示。

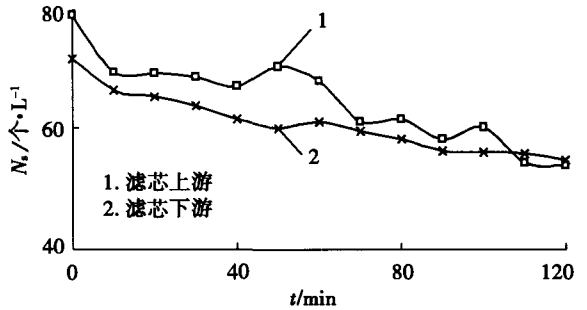


图 4 液压系统精滤上下游污染颗粒含量图

### 4 结论

在实际的液压系统中, 由于各种因素的影响 (如油液温度变化、流量脉动、压力变化、纳垢容量、过滤器吸附率等), 系统的污染物颗粒的数量最终处于一个平衡状态, 过滤器并没有堵塞, 过滤器上下游的压差仍然在滤芯正常的工作范围之内, 认为此时达到动态平衡, 而此时的油液污染度即为该系统的目标污染度。因此在液压系统污染控制系统的设计中, 为防止液压系统污染类故障的发生, 应该考虑到将系统的目标污染度控制在系统的污染动平衡之内。

### 参考文献:

- [1] 郑长松, 马彪. 液压系统污染控制动平衡研究[J]. 机床与液压, 2005(8):126-129.
- [2] 吕伟华, 徐霖, 于今. 液压系统污染控制的理论研究[J]. 机床与液压, 1997(4):52-53.
- [3] 郑长松. 多技术油液分析故障诊断方法在综合传动装置中的应用研究[D]. 北京:北京理工大学机械学院, 2006.
- [4] 涂群章, 龚烈航, 王强, 等. 液压污染控制系统建模[J]. 中国机械工程, 2001, 12(6):629-631.
- [5] 杨其明. 颗粒分析 - 颗粒图谱与铁谱技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 2002.
- [6] FICH E C. Fluid contamination control[M]. New York: FES INC, 1988.

## Mathematical Model of Selective Catalytic Reaction of $\text{NO}_x$ in Reactor and Its Simulation

ZHOU Xiang-qiu, YANG Chen

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** As the domestic technology of selective catalytic reduction (SCR) has not been mature. A assembled-parameter dynamic mathematical model is established for the primary chemistry reaction process in SCR reactor. The mass balance equation of the  $\text{NH}_3$  adsorption-desorption on the catalyzer surface and six gas components, and total energy balance equation in SCR reactor are set up respectively. A dynamic simulation model has developed by using MATLAB simulation tool. The steady calculation for model is carried on. Based on the established dynamic simulation model, two dynamic simulation experiments have been done, which include the simulation experiment of step disturbance about  $\text{NO}_x$  concentration and temperature. The simulation results current is correctl. The analyzed results indicate that the established dynamic mathematical model for SCR reactor is credible, and prove that the simulation model is practical.

**Key words:** selective catalytic reduction reaction;  $\text{NO}_x$ ; MATLAB; dynamic mathematical model

(编辑 吕建斌)

~~~~~  
(上接第20页)

## Research on the Contamination Level of the Lubrication and Hydraulic System

YOU Si-hai<sup>1</sup>, YU Ning<sup>1</sup>, ZHENG Chang-song<sup>2</sup>

(1. Chongqing Automobile College, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China;

2. National Key Lab of Vehicular Transmission, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To control the oil contamination, the mathematical model is set up on the lubrication and hydraulic system and simulated the dynamic proceed in the real circumstance. The contamination degree is contamination level to be controlled and change the oil when system is dynamic balance. It is validated by the test and this result is useful to the act.

**Key words:** contamination level; contamination control; lubrication oil; lubrication and hydraulic system

(编辑 李胜春)