

# TBM液压油污染处理的工艺研究

王 博

中国铁建重工集团有限公司, 湖南 长沙  
Email: icanfly\_2009@126.com

收稿日期: 2021年2月24日; 录用日期: 2021年4月12日; 发布日期: 2021年4月19日

---

## 摘 要

液压系统污染直接影响TBM的正常掘进与使用, 及时排查并处理可以有效提高液压油污染处理效率, 降低损失。文章基于常见问题案例, 结合国标、新处理设备, 研究开发出掘进机液压油污染处理的新工艺。

## 关键词

掘进机, 液压油, 污染

---

# Study on Technology of Hydraulic Oil Pollution Treatment of TBM

Bo Wang

China Railway Construction Heavy Industry Co., Ltd., Changsha Hunan  
Email: icanfly\_2009@126.com

Received: Feb. 24<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 12<sup>th</sup>, 2021; published: Apr. 19<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

Hydraulic system pollution directly affects the normal driving and use of roadheader. Timely investigation and treatment can effectively improve the efficiency of hydraulic oil pollution treatment and reduce losses. Based on the common problem cases, combined with the national standard and new treatment equipment, this paper studies and develops a new technology of hydraulic oil pollution treatment of TBM.

## Keywords

TBM (Tunnel Boring Machine), Hydraulic Oil, Pollution

---

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国基建的发展,隧道施工中 TBM<sup>1</sup>的应用越来越广泛,而液压系统又是 TBM 的关键系统,其工作介质液压油为各自系统提供冷却、润滑、传递动力的功能,若液压油发生污染,将直接影响系统工作进而影响设备使用, TBM 施工如图 1 所示:



Figure 1. TBM

图 1. TBM 全断面隧道掘进机

近年来, TBM 施工过程中,频繁发生大规模液压油污染问题,由于现场对设备不熟悉或对问题处理不及时,造成巨大的直接和间接经济损失。据统计常规单台 TBM 液压油含量约为 5000~6000 L,经济成本 7.5~9 万元,油液污染处理一般需要更换 3 遍,直接损失 22.5~27 万元,处理周期 5 天,工地因误工、延期、支付工人工资等费用约合 20 万以上,因此单次系统污染造成损失可达 120 万人民币以上,我国 TBM 目前保有量超 200 台,每年发生油液污染的概率为 20%,总的经济损失超过 4000 万以上,某施工现场大规模液压油污染如图 2 所示:



Figure 2. Large amount of hydraulic oil on site

图 2. 工地配置的大量液压油

因此快速排查和处理液压油污染问题,减少直接和间接损失具有重要意义。液压油污染主要分为乳化和清洁度不达标两种。其中乳化会加速液压油的氧化,降低液压油性能,使系统元件提前磨损或腐蚀;清洁度不达标会引起过滤系统的堵塞,液压油老化,液压元件磨损进而降低效率。

<sup>1</sup>全断面隧道掘进机,在中国,将用于岩石地层的简称为(狭义) TBM (硬岩 TBM),用于软土地层的称为(狭义)盾构机。

## 2. 液压油污染处理步骤

采样油液先进行目测，若油品存在明显乳化、变黑、杂质多等异常污染情况，可直接换油或进行其它处理。具体的液压油检测和处理步骤如图 3 所示：

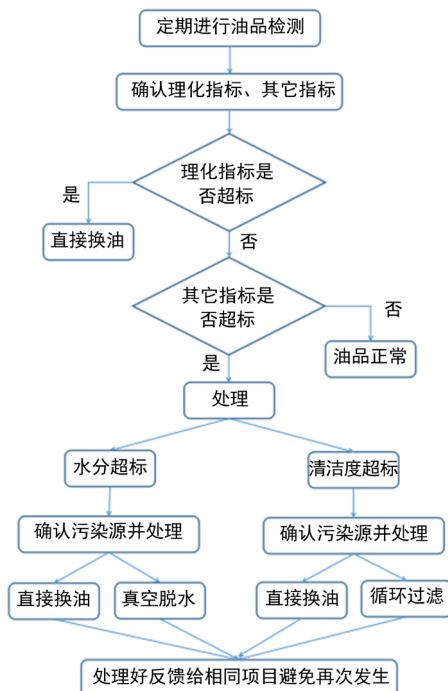


Figure 3. Large amount of hydraulic oil on site  
图 3. 工地配置的大量液压油

## 3. 液压油检测

### 3.1. 采样

参考 GB/T 17489 中第 4.1/4.2 条，采样操作如表 1 所示：

Table 1. Sample location and description  
表 1. 采样位置与说明

序号	采样位置	说明
1	管路采样	在系统运行情况下，从总回油管、总泄油管采样，油品可反映油液系统整体的污染情况；从具体元件的 2 回油、泄油管采样，可反映具体元件的污染磨损情况。
2	油箱采样	在系统运行情况下，从油箱中部采样，油品可反映进入泵头的油液质量。
3	过滤器采样	在系统运行情况下，从过滤器前采样，油品可反映泵头的磨损情况；从过滤器后采样，油品可反映过滤器的效果。
4	特定点采样	可以反映特定点的污染情况。

备注：避免在系统未运行、油液不流动、不循环的死区采样，避免在油管末端和立管中采样。

### 3.2. 液压油换油指标与分析

1) 参考 NB/SH/T 0599-2013 换油标准第 3.1 条，如表 2 所示：

**Table 2.** Hydraulic oil change index**表 2.** 液压油换油指标

项目	换油指标
40℃运动粘度变化率	超过±10%
酸值增加*/(mgKOH/g)	>0.3
水分(质量分数)	>0.1%
清洁度	>-/18/15 或 NAS9
Fe(铁) mg/kg	≤20
Cu(铜) mg/kg	≤10
Pb(铅) mg/kg	≤8
Cr(铬) mg/kg	≤5

## 2) 指标分析

a) 运动粘度、水分、酸值、清洁度为油品关键指标，每月检测一次。

b) 运动粘度、酸值为油品的不可逆理化指标，超限需及时换油。

c) 水分、清洁度为油品的污染度指标，影响系统润滑、元件和油液寿命，但在油品理化指未超标的情况下，可以采取专业的除水、过滤等相应维护措施继续使用。

d) 元素分析指标分三类，第一类为磨损元素(金属等)，反应设备、元件磨损情况；第二类为污染元素(硅钙等)，反应油液进泥沙污染情况；第三类为添加剂元素(磷锌等)，反应油液添加剂的消耗程度[1]。

## 4. 液压油污染处理

液压油污染必须先确定问题根源并解决，然后再进行处理。

### 4.1. 液压油乳化处理

#### 1) 排查乳化源

a) 水冷器击穿导致乳化，原因如表 3 所示：

**Table 3.** Water cooler inspection items**表 3.** 水冷器击穿检查项目

序号	检查项目	排查方法
1	水冷器进油/水存在冲击，包括换向冲击、启动冲击等会产生高于正常数倍的回油/水压力，进而击穿水冷器。	参考 NB/T47004-2017 种 8.4 和 8.5 条进行液压或气体实验，板式热交换器应两侧分别进行单侧液压试验。一侧进出口保压时，另一侧进出口应敞开，保压压力应为油、水通过换热器的实际工作压力，保压 30 min，检查板式热交换器是否有渗漏、异响、变形。
2	水冷器接口上受额外负载，包括硬管、元件等直接固定在接口上产生弯矩，进而扭裂接口。	逐个检查冷却器的油/水进出口。
3	水冷器固定位置震动剧烈损坏冷却器。	现场确认工作过程中震动程度。

b) 油箱进水导致乳化，原因如下：

冲洗设备时，冲洗水进入油箱。或隧洞内水分大，油箱液位频繁升降从呼吸帽吸入潮湿空气，累积导致乳化。

c) 密封结构失效导致乳化，原因如下：

中心回转、泄露腔密封失效进水。

d) 人为误加导致乳化，原因如下：

将水、水玻璃等误加入油箱，进而导致乳化[2]。

2) 乳化油处理

a) 在线真空脱水

此处理工艺目前在 TBM 隧道施工行业应用并不广泛，但前景广阔，具有处理效率高、无需油液冲洗等特点，对于理化指标未超限的油液特别适用，可以直接降低污染油处理成本并提高效率优势明显，其处理工艺如下：

在泵站油箱处接入真空滤油机设备在线脱水，避免死区。

脱水过程中间隔运行各个系统，将泵、阀、过滤器、马达、油缸、管路中的乳化油冲回油箱脱水。

一直循环脱水，直到水分指标满足要求为止。

真空滤油机<sup>2</sup>工作原理为：将液压油加热到 70℃左右，在此温度范围内不会造成液压油的老化，同时提高真空罐内的真空度，使水分汽化，进而达到脱水目的[3]，真空滤油机设备见图 4 所示。



Figure 4. Vacuum oil filter  
图 4. 真空滤油机

滤油机的真空度设定与油温相关，需满足水份在此温度下的汽化条件，具体参照表 4 所示：

Table 4. Water vaporization conditions  
表 4. 水在特定温度下的汽化真空度条件

温度(℃)	真空度(Kpa)	温度(℃)	真空度(Kpa)	温度(℃)	真空度(Kpa)	温度(℃)	真空度(Kpa)
20	-98.7	40	-93.7	60	-81.2	80	-53.9
21	-98.6	41	-93.3	61	-80.0	81	-51.9
22	-98.4	42	-92.9	62	-79.3	82	-49.9
23	-98.3	43	-92.5	63	-78.3	83	-47.8
24	-98.1	44	-92.0	64	-77.2	84	-45.6
25	-97.9	45	-91.5	65	-76.1	85	-43.4

<sup>2</sup>利用真空条件下水汽化的原理除水的设备。

Continued

26	-97.7	46	-91.0	66	-75.0	86	-41.1
27	-97.5	47	-90.5	67	-73.8	87	-38.7
28	-97.3	48	-89.9	68	-72.6	88	-36.3
29	-97.1	49	-89.4	69	-71.3	89	-33.8
30	-96.8	50	-88.8	70	-70.0	90	-31.2
31	-96.6	51	-88.2	71	-68.0	91	-28.5
32	-96.3	52	-87.5	72	-67.0	92	-25.7
33	-96.1	53	-86.8	73	-65.7	93	-22.8
34	-95.8	54	-86.1	74	-64.2	94	-19.8
35	-95.5	55	-85.4	75	-62.6	95	-16.8
36	-95.2	56	-84.6	76	-61.0	96	-13.6
37	-94.8	57	-83.8	77	-59.3	97	-10.4

## b) 直接换油

此处理工艺主要用于理化指标超限，无法复原的污染油处理，必须将旧油进行置换，其处理工艺如下表 5:

- 将油箱、泵、阀、过滤器、马达、油缸、管路中的油液排出。
- 清洗油箱、泵、过滤器、马达、油缸、管路，清洗方式如表 5 所示:

Table 5. Cleaning condition of hydraulic system

表 5. 液压系统清洗方式

序号	项目	清洗方式
1	液压油箱	排油完成后，用无纺布清洗干净油箱内部。
2	泵、马达	吸油、出油、泄油口拆开排油后重新安装，泄油口灌满新油。
3	油缸	排掉有杆腔、无杆腔污染油。
4	液压管路	所有管路拆开，排出污染油后安装。

- 加入新油，运行各个系统，用新油冲洗所有液压管路和元件。
- 进行水分检测，若超标则继续上一个循环，若正常则开始使用。

## 4.2. 清洁度超标处理

## 1) 排查乳化源

a) 元件磨损，检查项目如表 6 所示:

Table 6. Component wear inspection items

表 6. 元件磨损检查项目

序号	检查项目	排查方法
1	检查回油、泄油、出油过滤器滤芯。	若存在异常数量的铁屑、铜屑、密封碎屑等，说明系统元件存在磨损，根据碎屑出现的位置和种类判断磨损的元件。
2	检查泵、马达泄油流量。	根据容积效率，泄油流量一般为 2~5%，若流量异常则可能磨损。(验证确认哪个泵损坏)

b) 过滤器失效

若液压系统污染度高且无法控制，则说明整套过滤系统已失效，需要更换吸油、出油、回油、泄油过滤器滤芯。

c) 空滤器失效

多粉尘施工现场空滤器损坏或缺失，粉尘直接进入油箱污染油液。

d) 机械原因

机械结构本身磨损或者存在泄露缝隙等，导致污染物进入。

2) 污染油处理

a) 在线过滤

- 首先更换磨损的元件。
- 更换整套过滤系统滤芯。
- 运行泵站上的独立过滤系统开始过滤。
- 过滤过程中间隔运行各个系统，将泵、阀、过滤器、马达、油缸、管路中的污染油冲回油箱过滤。
- 直到清洁度指标满足要求为止。

备注：也可在泵站油箱处接入专门的外置过滤设备处理。

b) 直接换油

- 将油箱、泵、过滤器、马达、油缸、管路中的油液排出。
- 清洗油箱、泵、过滤器、马达、油缸、管路，参考乳化油处理。
- 加入新油，运行各个系统，用新油冲洗所有液压管路和元件。
- 进行清洁度检测，若超标则继续上一个循环，若正常则开始使用。

## 5. 结语

本论文是在分析 TBM 液压系统冷却原理的基础上，并总结近年来工地液压油污染的实际案例，设计的液压油污染处理工艺具有较强的针对性和操作性，根据论文中的参考标准、分析步骤和处理方式可以快速解决工地液压油污染问题，进而降低损失，同时传统污染油处理的基础上，将真空脱水的在线处理方式引入到 TBM 的施工中来，对传统的油液处理工艺提出了革新，具有很高的理论意义和实用价值。

## 参考文献

- [1] 张忠狮, 张昱. 液压油污染的分析与控制[J]. 液压与气动, 2008(3): 74-77.
- [2] 封艳秋. 液压污染控制技术的现状和发展[J]. 煤矿机械, 2011(1): 1-3.
- [3] 李立, 张京. 液压系统油乳化故障处理新工艺探索[J]. 中国修船, 2015(5): 29-30.