

宁波地铁 4 号线一系垂向油压减振器渗油原因分析及解决方案

竺跳跳 张钰 蒲安会 范溢峻 王宗帅
(宁波轨道交通集团有限公司 浙江 宁波 315000)

摘要：宁波地铁 4 号线地铁列车一系垂向减振器发生渗油现象。为找到故障原因，对发生渗油现象的减振器进行了详细地试验检测和各种检查，对渗油的原因进行分析调查。结合地铁 4 号线沿线环境情况，最终确定了渗油故障原因是地铁沿线灰尘中的细微颗粒物拉伤密封件与活塞杆的工作表面。通过控制空气中的沙尘侵入减振器内部，可以避免减振器发生油液渗漏，并据此提出了防尘罩的改进方案，从结构和材质两个方面进行优化，对优化前后的防尘罩的防尘效果进行了对比疲劳试验，试验结果验证了该优化方案具有良好的防尘效果。

关键词：一系垂向减振器；渗油；防尘罩

1 概述

城市轨道交通已经成为国内城市公共交通的主干线和客流量运送的大动脉，与城市居民的生活紧密联系在一起。地铁电客车具有高效、准点、环保等优点，不仅为人们的出行带来了巨大的便利，而且缓解了城市的交通压力和改善了人们的生活环境。油压减振器作为地铁车辆的重要减振部件^[1]，其性能对整车的安全性和舒适性至关重要。在地铁车辆运行过程中，一旦减振器出现故障，会对列车在线运营造成不同程度的影响。因此，本文对地铁列车运营过程中发生减振器渗油故障的原因进行深入分析，并提出相关解决方案，对保障地铁车辆安全运行和保证乘客乘车舒适性具有十分重要的意义。

2 事件分析

2.1 故障现象

宁波地铁 4 号线一系垂向减振器发生渗油现象。减振器外表面无磕碰痕迹，橡胶关节良好，缸筒外表面附有不同程度的油液痕迹，并伴有湿润沙尘，外置防尘套存在磨损现象，如图 1 所示。

2.2 故障试验检测

2.2.1 阻尼力检测

将故障件减振器安装在油压减振器综合性能试验台上进行阻尼性能检测^[2]，被检测减振器阻尼力均符合技术参数要求，说明渗油现象并未影响减振器的阻尼力效果。

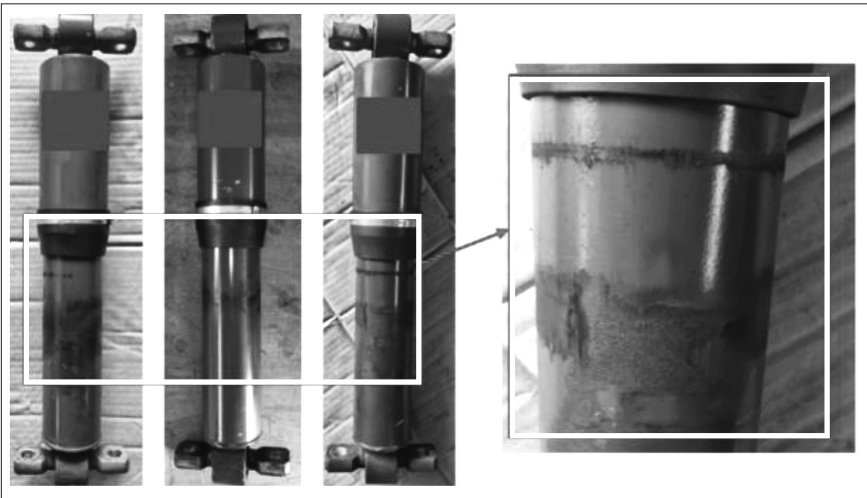


图 1 减振器外观

2.2.2 垂直往复台架泄漏试验

减振器保持原状态不变，按装车实际安装尺寸安装在油压减振器综合性能试验台上，垂直往复运行并观察泄漏情况，活塞杆工作表面和密封件唇口处有油液，如图 2 所示。清理活塞杆及唇口表面的油液，继续进行试验，随着运行次数增加，活塞杆上油液逐渐变少直至变成油膜。

2.2.3 倾角往复台架泄漏试验

因车辆运行时，减振器除了垂直往复工作，还同时伴随着偏摆，故将两件减振器按活塞杆与骨架油封唇口部位极限偏心位移安装在油压减振器综合性能试验台进行倾角往复台架泄漏试验^[3]。

对故障件进行多周期重复的倾角往复台架泄漏试验，减振器活塞杆工作表面靠密封件张口一侧出现轻微油膜，但无油液积累现象，如图 3 所示。

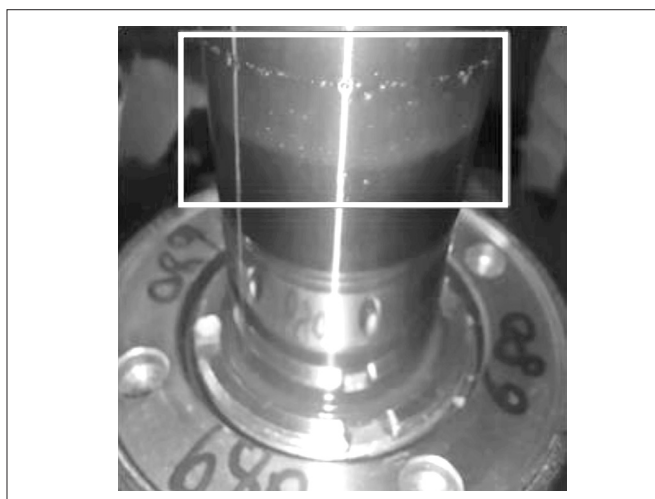


图 2 垂直往复台架泄漏试验（有油液渗出）

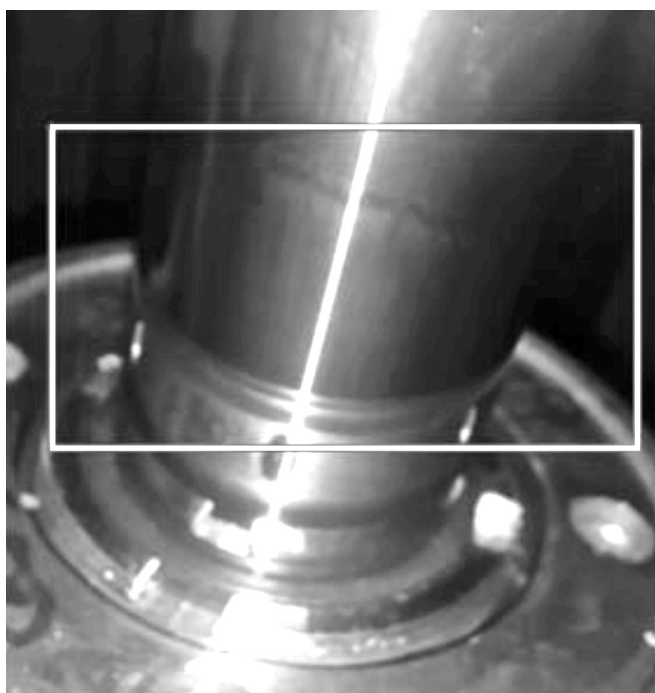


图 3 倾角往复台架泄漏试验（有轻微油膜存在）

2.2.4 振动冲击试验

将经过台架泄漏试验的两件减振器，提高试验工况的严酷度，依据国标《机车车辆设备冲击和振动试验》（GB/T 21563-2018）标准 2 类进行垂向振动试验，试验过程中对减振器进行风冷散热，减振器的表面温度维持在 50℃ 左右，试验过程未出现渗油和零部件松动现象，如图 4 所示。

2.3 解体检查

将减振器解体，对影响密封的骨架油封、活塞杆等零部件进行检查。

2.3.1 骨架油封检查

目测拆解下的骨架油封，骨架油封内部沟槽中均存



图 4 冲击振动试验（未出现渗油现象）

有一些细微的颗粒异物。对骨架油封内径（唇口）尺寸进行检测，检测值均符合技术要求。将骨架油封清洗后，放大 500 倍检查骨架油封唇口状态，骨架油封唇口局部均有不同程度的划伤痕迹，且形成贯穿沟槽，如图 5 所示。

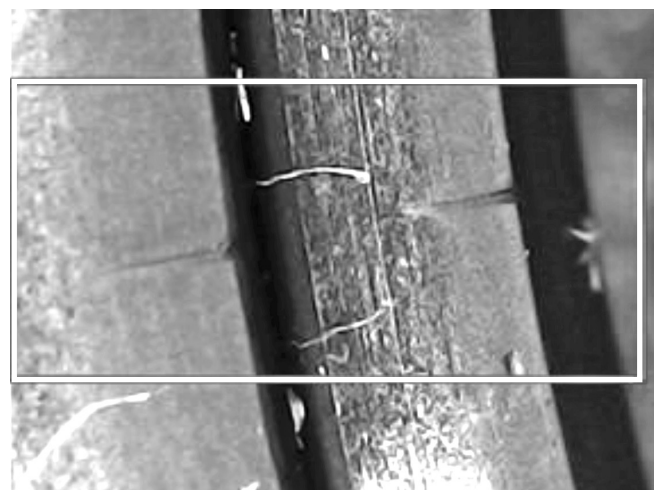


图 5 骨架油封检查（放大 500 倍）

2.3.2 活塞杆检查

采用放大 500 倍检测活塞杆往复工作部位表面质量状态，发现每支活塞杆与骨架油封配合工作部位局部都有不同程度的划伤，如图 6 所示。



图 6 活塞杆检查检查（放大 500 倍）

2.3.3 减振器油量检查

对减振器的油量进行测量，油量在 365 ~ 370mL，在设定值范围内。

2.3.4 异物收集、检测

利用洁净的清洗剂清洗密封件唇口部位、活塞杆表面，并利用干净的白色纱布过滤清洗液，将异物收集。将异物进行理化分析，分析结果如下表所示，其中 C、O、Al、Si 元素含量最高。

表 异物理化分析结果

元素	净缓含量 /%
C	24.68
O	41.75
Mg	4.32
Al	6.35
Si	15.06
K	2.62
Ca	3.33
Fe	1.88
总量	99.99

3 地铁 4 号线线路特点与周边环境

宁波地铁 4 号线由地下线 24.71km 和高架线 11.1km 构成，其中高架沿线相邻铁路、高速铁路、公路，全线较大弯道有 12 处，车辆运行时蛇行摆动频率较高，高架沿线（慈城—洪大路）两边目前有 14 处正进行开发施工作业，干燥和大风天气易形成扬尘环境。

4 故障原因分析及影响

根据上文的试验检测 results 和车辆线路特点及沿线环境分析：

（1）活塞杆工作表面和骨架油封密封面局部出现划痕是导致密封不良而渗油的原因。活塞杆工作表面和骨架油封密封面存在细微颗粒物，减振器在往复运行工作时，活塞杆工作表面、骨架油封的密封面和细微颗粒物发生反复摩擦，导致活塞杆工作表面和骨架油封密封面的局部划伤。

（2）车辆运行线路弯道多使得车辆蛇行工况频度高，一系垂向减振器相对偏摆频度高且幅度大，使得外置防尘套与储油缸筒体偏摆方向接触摩擦和偏离间隙频繁；加上高架沿线时因临时开发施工处较多，干燥和大风天气易形成扬尘环境，导致沙尘进入防护罩筒体腔体内，粘附于活塞杆表面并积累，细微颗粒物部分被带入密封件中。

（3）发生渗油的减振器阻尼力、减振器油量均符合

技术参数要求，说明尽管发生了渗油现象，但是对地铁列车运行安全没有影响。

（4）异物的元素成分有 C、O、Mg、Al、Si、K、Ca、Fe，其中 C、O、Al、Si 元素含量最高，与扬尘中主要元素的分布特征相符。

由此可见，细微颗粒物导致密封件与活塞杆工作表面的拉伤是减振器渗油的原因，通过控制空气中的沙尘侵入减振器内部，可以避免减振器发生油液渗漏。

5 解决措施

5.1 优化方案

针对外置防尘套磨损，防尘能力减弱的问题，对外置防尘套进行以下的结构优化：

- （1）由单层防尘结构改为双层渐变分级防尘结构；
- （2）减小外置防尘套与储油缸筒体接触位置的过盈量和接触长度，进而减小外置防尘套与缸筒之间接触应力、摩擦系数，形成对灰尘逐级隔离控制；
- （3）材料选用相对耐高温、耐老化的三元乙丙橡胶（EPDM）替换原来天然橡胶（NR），从而减少因局部摩擦高温导致橡胶磨损。

5.2 外置防尘套试验验证

将优化前后的外置防尘套装配在减振器上，并安装在摇摆往复疲劳试验台上，在沙尘环境中进行对比试验，验证其防尘及耐久性能。

根据铁路运输行业标准《机车车辆油压减振器》（TB/T 1491-2015）第 6.5 条款进行耐久性试验，完成高频（行程 ±3mm，频率 10Hz）1000 万次，低频（行程 ±10mm，频率 2Hz）100.0676 万次，共计完成试验次数 1100.0676 万次。

5.3 试验结果

（1）防沙尘效果：优化前的外置防尘套，有少量沙尘进入，可见沙尘刮擦痕迹；优化后的外置防尘套几乎没有沙尘进入，只有很轻微的沙尘刮擦痕迹，如图 7 所示。

（2）防尘套磨损检查：优化前的外置防尘套在储油缸上留下了较多的橡胶附着物；优化后的外置防尘套在储油缸上没有留下橡胶附着物，如图 8 所示。

（3）沙尘覆盖情况检查：优化前的外置防尘套结构在活塞杆、防尘圈唇口及外螺盖上有少量沙尘覆盖；优化后的外置防尘套结构在活塞杆、防尘圈唇口及外螺盖上粘附的沙尘明显减少，如图 9 所示。

（4）骨架油封显微检测：优化前的外置防尘套结构的减振器骨架油封唇口有少量划痕；优化后的外置防尘套结构的减振器骨架油封唇口无划痕，如图 10 所示。

5.4 改进措施

根据上述优化前后外置防尘套的防尘及耐疲劳性能试验结果分析，优化后结构采用三元乙丙橡胶（EPDM）

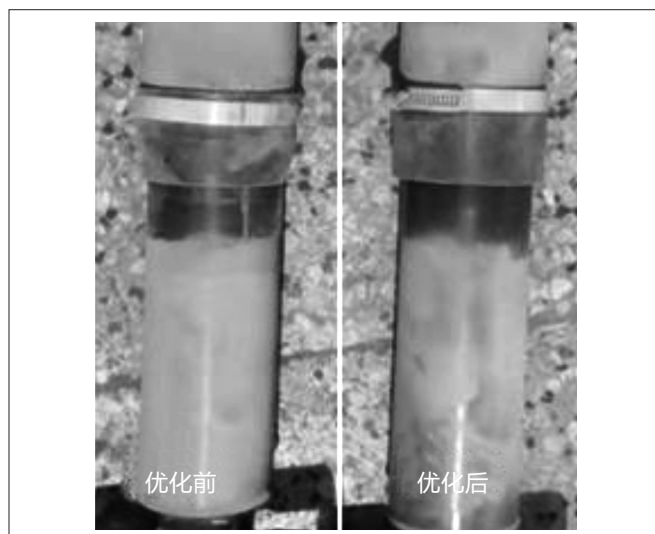


图 7 防沙尘效果优化前后对比图



图 8 防尘套防磨损优化前后对比图

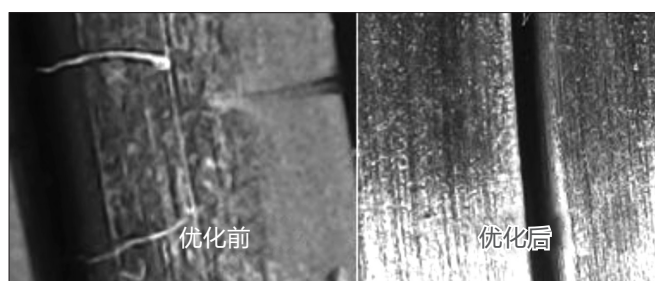


图 9 沙尘覆盖优化前后对比图



图 10 骨架油封磨损优化前后对比图

的外置防尘套达到了疲劳试验后无橡胶粉末粘附的要求，同时很好地阻挡了沙尘的侵入，因此可以解决一系垂向油压减振器的渗油问题。

完成外置防尘套优化方案实验验证，按优化方案制样备品备件，并编制减振器故障件更换跟踪表，记录车号、安装位置、运行里程等信息。建议按优化方案的一系垂向油压减振器外置防尘套，试装运行考核一年，并持续跟踪运用情况。

6 结语

本文通过对一系垂向油压减振器渗油现象的全面试验验证和分析，找出了渗油的根本原因，并针对所存在的缺陷及弊端，提出了相应的解决方案，有利于提升列车运行平稳性和保障乘客乘车舒适性。

参考文献：

- [1] 贾洪龙，宋春元，强锋．铁道车辆减振器漏油故障与内部特性分析[J]．铁道机车车辆，2015（06）：32-34+40.
- [2] 樊友权，柯坚，李俊琦，等．油压减振器的特性分析[J]．中国机械工程，2013，24（23）：3170-3175.
- [3] 杨国桢，王福天．机车车辆液压减振器[M]．北京：中国铁道出版社，2003：119-121.

作者简介：竺跳跳（1990.11-），男，汉族，浙江宁波人，本科，工程师，研究方向：轨道交通车辆运营维护、维保。