

# 沈阳地铁电客车齿轮箱润滑油的国产化替代探讨

王友平

沈阳地铁集团运营分公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要：**文章介绍沈阳地铁电客车齿轮箱运行现状，并总结齿轮箱润滑油的失效形式，提出齿轮箱润滑油国产化的方案制定原则。

**关键词：**地铁列车；齿轮箱润滑油；国产化

前言：随着我国国民经济的快速发展，城市化进程日益提高，地铁作为城市轨道交通重要组成部分，在解决城市交通压力，缓解人民出行困难方面，发挥着日益强大的作用。地铁车辆作为采用齿轮箱传动的城轨车辆中速度最快、运力最大、工况最为苛刻的车型，满足地铁齿轮箱润滑需求也成了保障地铁正常运行的一个重要课题。

本文将通过介绍沈阳地铁在用齿轮箱及润滑油的基本情况从而确定齿轮箱润滑油日常使用所要求的各项关键参数，并制定相关试验方案作为日后开展润滑油国产化项目的验证标准及步骤。

## 1 齿轮箱润滑油国产化替代的原因和意义

1.1 齿轮传动系统是地铁车辆动力传输系统的关键部分，其使用性能的优劣和稳定性都影响着动力传输系统甚至整个列车运行的安全性。目前我国地铁等城轨车辆齿轮箱零部件生产及装配技术已逐步实现国产化，但配套使用的润滑油仍基本采用国外齿轮油产品，且用油类型牌号较为混乱。为贯彻建设交通强国指导思想，提高轨道交通设备核心竞争力，针对城轨车辆牵引动力的核心部件齿轮箱，使用具有自主知识产权的配套油品十分

有必要。

1.2 在用进口品牌市场上渠道众多，质量良莠不齐，判别质量也较为困难，并且进口产品到货周期还易受国际形势变化影响，对生产进度影响较大。

1.3 打破单一品牌采购，也对提升议价能力，降低运营成本有着重要意义。

## 2 齿轮箱润滑基本原理及常见失效模式

### 2.1 齿轮箱工作原理

沈阳地铁各线路使用齿轮箱为渐开线斜齿轮，主动与从动齿轮的两轴平行，啮合运动为滚动与滑动相结合。小齿轮轴承及齿轮箱悬挂用轴承均为圆锥滚子轴承或柱—柱—球形式。润滑形式采用飞溅润滑，将输出大齿轮浸入油池中，齿轮旋转将润滑油带到啮合齿轮面上，并且将润滑油搅动起来，通过在箱体内壁中合适的位置增加挡油板和集油槽，从而使润滑油流入轴承中对轴承进行润滑。

目前沈阳地铁电客车齿轮箱润滑油使用情况见下表，齿轮箱润滑油更换周期为12个月。

表1 沈阳地铁各线路齿轮箱及润滑油技术参数

线路	齿轮箱参数				润滑油型号
	传动比	法向模数	齿轮螺旋角	轴承形式	
1号线（既有车）	7.71	4.75	11°	柱—柱—球	品牌A 75w-90
1号线（增购车）	6.6875	5.5	17.5°	双圆锥	品牌A 75w-90
2号线	6.69	5.5	15°	双圆锥	品牌B SHC 150
9、10号线	7.06	5		双圆锥	品牌B SHC 150

### 2.2 齿轮箱常见失效形式

根据以往经验可知，齿轮箱润滑油的主要失效表现为：1）齿轮油氧化；2）齿轮油中添加剂有效成分含量降低；3）因齿轮油润滑性能不足产生金属颗粒等杂质进入齿面接触润滑处，产生二次磨损；4）防锈性能不足导致齿轮箱轴承腐蚀失效；5）齿轮油与橡胶密封材料适应性不良，导致油液减少或异物进入；6）齿轮箱热平衡失

效导致内部压力过高，导致油液泄漏。

### 2.3 地铁齿轮箱润滑油的性能要求

结合齿轮箱的运行特点及润滑油的失效模式，能够满足齿轮箱润滑需求的齿轮油需具备以下性能：

2.3.1 具有良好的低温性能，保证全地域全季节全天候润滑；

2.3.2 具有优异的极压抗磨性，防止齿面和轴承擦伤

磨损；

2.3.3 具有优异的减摩性，防止齿轮箱温升过高，保护轴承和齿轮防止胶合、磨损；

2.3.4 具有良好的热氧化安定性，延长换油里程和齿轮箱使用寿命；

2.3.5 具有良好的抗泡性、剪切安定性、防锈防腐性等。

#### 2.4 地铁齿轮箱润滑油的研发方向

2.4.1 满足高温和低温的润滑需求：地铁齿轮箱润滑油需针对北方城市轨道交通车辆齿轮箱润滑，不同季节温差大，需要润滑油在高温和低温时都具有合适的黏度。润滑油中的基础油赋予油品良好的低温性能，所以可选用合成油作为基础油的主要组成，用以保证油品的高低温特性。

2.4.2 优异的承载和抗磨性：地铁车辆运用中启停频繁，不同区段速度随机变化大。随机多变的速度加之频繁的减速与启动，车轮和钢轨之间的冲击力会直接传递到齿轮箱齿面，轴承需承受齿轮啮合产生的载荷和振动载荷。严苛的工况要求齿轮油具有优异的极压抗磨和抗擦伤能力，在齿轮油中，高活性地含硫含磷剂赋予油品优异的极压抗磨性，硫化物、磷化物及其衍生物首先吸附在金属表面上，在有摩擦的极压状态下，发生摩擦化学反应，生成硫化铁、硫化亚铁、有机磷酸盐、有机亚磷酸盐、有机磷酸聚合物生成的多聚磷酸盐和无机磷酸盐膜。正是这些物理吸附和化学反应膜的形成，增强了齿轮的极压抗磨能力。

2.4.3 各添加剂之间的协和作用：齿轮油中5%~10%是复合剂，复合剂中除了主剂——极压抗磨剂外，还包括防锈剂、减摩剂、金属钝化剂、无灰分散剂、抗泡剂等功能添加剂，各类型添加剂在摩擦副表面存在竞争吸附，因此如何协调各类型添加剂加量（即复配），寻求最佳配比以达到齿轮油性能的平衡与统一，是提高齿轮油实际效果的核心所在<sup>[1]</sup>。

### 3 制定验证方案

因地铁齿轮箱润滑油在国内并无统一标准要求，根据上面地铁齿轮箱润滑油性能要求，为验证替代齿轮油的具体应用效果，需要在正式替代之前进行各类相关试验，并与原车用油的各项指标进行对比和分析。

通过查找资料，并与润滑油行业内专家进行交流，制定出润滑油替代过程中需要进行的试验项目。具体为：

#### 3.1 低温性能对比

北方城市地铁实际运营中会经常遇到低温启动和运行工况，因此要求油品有优秀的低温性能和黏温性能。主要测试项目包括：100℃运动黏度、黏度指数、-40℃低

温表观黏度和倾点。

#### 3.2 极压抗磨性能对比

极压抗磨性是齿轮油具备的最主要的性能之一，是防止在边界润滑条件下，齿轮运动时产生齿面磨损、擦伤、胶合等破坏形式的性能，主要测试项目见下图。

表2 极压抗磨性考察

项目	主要目的	试验方法
磨斑直径	抗磨性考察	NB/SH/T 0189
四球试验	极压抗磨性	GB/T 3142
MPR点蚀试验	评价油品抗点蚀性能	-
FZG承载能力	评价齿轮油的承载能力、磨损性能	-
FE8轴承磨损试验	评价油品对轴承的抗磨损性能	-

#### 3.3 密封材料相容性试验

齿轮箱密封材料的密封性能下降，会导致齿轮油泄漏而油量不足，影响润滑效果，所以齿轮箱润滑油与密封材料必须有很好的相容性。

#### 3.4 减摩性能试验

车辆运行过程中，摩擦造成的零件磨损和齿轮箱温度升高会导致齿轮和轴承的损坏，影响车辆运行安全。因此减摩性是考察齿轮箱润滑油的重要指标。主要测试项目包括：摩擦系数测试、油膜厚度测试和VW PV1454温升试验。

#### 3.5 剪切安定性试验

齿轮箱运行过程中，润滑油受剪切频率较高，其剪切安定性也是重要性能之一。主要测试项目为KRL圆锥滚子轴承剪切试验

3.6 热氧化安定性对比试验。氧化会使润滑油黏度增加，并生成油泥，影响油的流动和齿轮箱的散热。氧化生成的酸性物质会造成齿轮及箱体的腐蚀和生锈。氧化生成的沉淀物还易影响密封件，使其老化失效。因此良好的热氧化安定性能够延长换油周期并保护设备使用寿命。主要测试项目参照CEC L-48-A-95进行<sup>[2]</sup>。

#### 3.7 抗泡性试验

运行过程中，齿轮表面产生大量泡沫，会造成润滑部位供油不足，无法形成保护油膜，提供全覆盖润滑保护层。主要测试项目包括润滑油抗泡沫性测定和Flender油沫测试。

#### 3.8 防锈防腐性

齿轮箱呼吸作用会使冷凝的水汽进入润滑油液中，油品需要良好的防锈性，使其在微量水条件下不易产生锈蚀。油液中含硫剂会对金属造成腐蚀，因此要求润滑油也要有优秀的防腐性能。主要测试项目包括液相锈

蚀试验和铜片腐蚀试验。

### 3.9 齿轮箱台架试验

包括跑合试验、油位油量试验、噪声试验、高温试验、低温启动试验、模拟运行温升平衡试验、最高试验转速加载试验、最大启动扭矩加载试验、耐久性试验、传动效率测试试验、振动测试试验等。

### 3.10 装车试验

包括试车线装车试验及正线装车载客运行。定期对润滑油取样，进行化学分析，对其中Fe、Si、Cr等元素含量进行监控；对总酸值、水含量、运动粘度进行监控；对戊烷不溶物、甲苯不溶物含量进行监控。

表3 装车试验跟踪检查标准

序号	跟踪检查措施	具体检查内容及判定标准
1	在地铁车辆每次入库时，对每个齿轮箱的渗油状态、润滑油颜色进行检查记录	渗油状态：如果在齿轮箱端盖及轴承座附近有干燥或略带潮湿的油灰聚积属正常现象，可继续运用；如果油灰浸有光亮的油滴，须清理油灰，确认齿轮箱油位正常，可继续运用观察，如果仍有光亮的油滴渗出，须暂停试验并检查；如果油灰有被渗油冲刷痕迹，且积有大量油滴，须立即停止试验并检查。润滑油颜色：正常颜色是淡黄色至深褐色，清澈透亮，如果在换油周期前润滑油有乳化、起泡、浑浊现象，须更换润滑油，并对换下的润滑油采样分析。
2	温度监控	地铁车辆温度监控主要根据感温贴片，测量范围为71-110℃，车辆回库后可及时检查温度贴片，进行分析，如温度超过警戒温度，需及时联系项目负责人。
3	定期取油化验	在实车验证动车组齿轮箱上线运行后，定期抽取润滑油200ml送第三方机构进行化验分析。

## 4 国产化成果的推广和应用

为尽可能降低风险，可能会先选取沈阳地铁1-2条线路的少量列车进行试验，首轮试验至少持续一个换油周期（12个月），如验证替代润滑油运行状态良好，可批量更换整条线路所有列车用油，并向使用相同油品的其他线路及新线列车采购过程中进行推广，直至完成沈阳地铁全部列车的齿轮箱润滑油的国产化替代。

## 5 结语

近年来因各类不可抗因素影响，进口齿轮箱润滑油到货周期日渐延长，伴随着日常检修工作的日益增多，

保障齿轮箱润滑油按期更换的任务越加艰难，进行国产润滑油替代研究也成为保障地铁列车安全运营的一项必要选择。通过明确齿轮箱润滑油应具备的性能及技术指标以及各项试验流程，能够为后续的润滑油替代项目的顺利开展打好基础。

### 参考文献：

- [1]邢小军.浅谈公路交通安全设施工程施工质量检测技术[J].交通企业管理, 2021(5):92-93.
- [2]秦瑾.公路交通安全设施设计理念及要点[J].山东交通科技,2021(5):113-114,121.