

文章编号: 1001-4632 (2009) 04-0140-05

· 成果简报 ·

环保型铁路轮轨润滑脂的开发研制

刘晓峰¹, 李英姿¹, 邹策², 吴宝杰³, 刘亚春³, 童宗文¹

(1. 中国铁道科学研究院 金属及化学研究所, 北京 100081; 2. 北京市地铁运营公司 线路公司, 北京 100082
3. 中国石油化工股份有限公司 润滑油天津分公司, 天津 300480)

摘要: 环保型铁路轮轨润滑脂以植物油和一定比例的合成油为基础油, 采用天然高级脂肪酸锂皂为稠化剂, 加入有一定协同效应的氧化抑制剂、防锈剂、摩擦改进剂等添加剂和固体润滑剂, 按照试验确定的配方、工艺制成。对该脂分别进行了室内理化性能评定、北京地铁现场试验和可生物降解性静置模拟试验等。结果表明: 该脂具有良好的可生物降解性、防腐蚀性、抗水性、高温稳定性和低温泵送性; 抗磨性能与地铁原用脂相当, 与北京地铁钢轨涂油器有良好的匹配性。制订了该脂的技术条件。该脂适用于环境温度-30~120℃条件下, 我国城市轨道交通以及有环保要求铁路干线(特别是中东部)的轮轨润滑。

关键词: 环保型; 轮轨润滑脂; 室内配方; 成脂工艺; 技术条件

中图分类号: U213.422 **文献标识码:** B

为了保护环境, 适应铁路可持续发展的需要, 开发研制环保型铁路轮轨润滑脂(以下简称“环保脂”)。本文主要从室内配方与工艺、北京地铁现场试验和可生物降解性静置模拟试验、技术条件的确定等方面, 概述环保脂的开发研制状况。

1 室内研究

1.1 基础油评选

一般润滑脂组成中80%以上都是基础油, 因此选择1种可生物降解性能好的基础油是环保脂研制的关键之一。植物油、合成油、矿物油3类基础油相比较, 其可生物降解性能差异明显。矿物油可生物降解性差, 其中环烷烃很难降解, 烷烃只有50%左右可以降解。合成油类中的酯类油可生物降解性较高(一般为80%以上); 聚 α -烯烃(PAO), 随着黏度的增大, 其可生物降解率变小, 40℃时运动黏度低于 $20\text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的PAO2~PAO4一般可生物降解性在60%以上。植物油可生物降解能力一般更高, 可达90%以上^[1]。

植物油可生物降解性好, 无毒性, 又具有良好的润滑性和广泛的来源, 价格较低, 且资源还可再

生, 但抗氧化性能、低温性能较差; 酯类油、PAO类油等合成油生物降解性也很好, 且有好的低温性能和氧化安定性, 然而价格高。

综合考虑上述因素, 选用植物油和合成油复合调配成基础油。通过调研走访相关研究院所, 较全面地了解了国内外植物油、合成油的情况, 进行了植物油评选及其与合成油的复合评定, 经过氧化安定性、黏温性和低温流动性等项主要指标筛选、评定, 最终优化确定了植物油、合成油及其调配比例的复合基础油, 以此作为环保脂的基础油。对参与评选的植物油、合成油等基础油的主要理化性能分析结果见表1。

1.2 稠化剂

从环保角度考虑, 研制组首先用改性膨润土作为稠化剂进行了试验与评选。膨润土润滑脂属于非皂基润滑脂, 是用改性膨润土稠化基础油制备的高温脂。膨润土是1种以蒙脱石为主要成分的黏土矿物, 具有无污染的特点, 它不仅具有良好的耐热性(滴点 $>260^\circ\text{C}$), 还有良好的机械安定性和胶体安定性。但选用进口膨润土稠化半合成型基础油时发现, 该膨润土与基础油的配伍性不是很好, 稠化能力差, 成脂均匀度不好。之后又根据近几年国内外

收稿日期: 2009-04-16; 修订日期: 2009-05-07

基金项目: 中国铁道科学研究院基金资助项目(0451JH1405)

作者简介: 刘晓峰(1965—), 男, 山东济南人, 副研究员。

开展可生物降解润滑脂的资料介绍^[2-4]，以及 20 世纪 90 年代研制铁路轮轨润滑脂的经验，在综合分析对比后，确定了 12-羟基硬脂酸锂皂作为环保脂的稠化剂，因为锂皂与各类基础油（植物油、合成油、矿物油等）配伍性好，稠化由上述基础油制得的锂基润滑脂具有良好的抗水性、机械安定性、氧化安定性、使用温度较宽、寿命长等特点。

表 1 基础油理化性能数据

基础油种类	运动黏度 (40℃) / (mm ² · s ⁻¹)	黏度指数	氧化安定性 (120℃, 8 h, 通空气, Fe, Cu 片) 100℃ 运动黏度增加/%	倾点/℃
植物油				
大豆油	32.12	230	58.29	-9
菜籽油	42.80	212	22.82	-12
花生油	36.32	214	50.85	0
蓖麻油	248.89	88	9.31	-24
合成油				
I	19.83	108	5.28	<-50
II	19.25	140	-	<-50
III	27.14	142	9.16	-46
复合基础油	26.96	178	0.67	-30
试验方法	GB/T 265	GB/T 2541	参考 SH/T 0192	GB/T 3535

1.3 添加剂和固体润滑剂

经筛选试验确定了有一定协同效应的氧化抑制剂、防锈剂、摩擦改进剂等组成的添加剂配方和固体润滑剂（天然鳞片石墨，纯度>98%）。选用天然鳞片石墨作为环保脂的极压抗磨剂是因为石墨对生物细胞无毒性，不妨害人体健康，抗水性好，摩擦系数小以及对铁路轮轨润滑独特的极压抗磨性等方面的性能^[5]，而且价格适中，比 MoS₂、PTFE（聚四氟乙烯）有润滑、环保、成本等方面的综合优势。

1.4 成脂工艺

锂基润滑脂的生产目前主要有常压釜间歇式、压力釜间歇式、管式炉连续式和预制皂法 4 种生产工艺。这些工艺用来生产矿物油型锂基润滑脂虽已日臻成熟，但本文环保脂所选用的基础油为不含矿物油的复合油，因此需要对其成脂工艺进行研究。在研制脂用量不大时，其成脂工艺以常压（开口）、

间歇式为主。在实验室对环保脂成脂工艺关键步骤进行考察后，从逐项工艺流程中找出影响因素，确定了其最优工艺条件和过程，环保脂生产工艺流程如图 1 所示。其工艺要点说明如下。

(1) 皂化用油：用量约为基础油总量的 1/3。

(2) 皂化反应：12-羟基硬脂酸在基础油中加热溶解后，直接缓慢加入氢氧化锂水溶液进行皂化反应，并在 100~105℃ 温度下继续皂化 1.0~1.5 h，过程中应注意搅拌，补充少量水以使皂化反应完全。

(3) 加剂升温：皂化结束，待体系温度升至 130℃ 以上后，加入抗氧化剂及升温油（约 1/3 总油量）继续加热到 210℃ 左右形成真溶液。

(4) 急冷调稠：迅速加入余量基础油作为冷混油，待体系温度降至 150~170℃ 时成脂，并调整稠度。

(5) 加剂均化：体系温度降至 110℃ 以下时，加入其他添加剂，均化后即成基础脂；再加入天然鳞片石墨，搅拌滚轧均匀后，经检验合格成为成品脂。

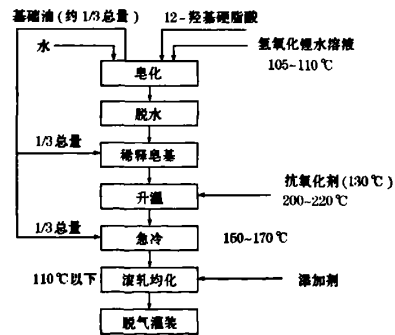


图 1 环保脂生产工艺流程示意图

1.5 主要理化性能评定结果

通过上述基础油、稠化剂、添加剂及其成脂工艺等专项研究、考察，确定了环保脂的配方和工艺。在环保脂室内小样的基础上，为北京地铁现场试验放大生产了 3 批中样，其室内理化性能评定结果典型数据及预定技术条件见表 2。

表 2 环保脂中样理化性能典型数据

项目	外观	工作锥入度 (25℃)/ 0.1 mm	滴点/℃	极限剪应力 (τ _{0.6}) (-30℃, 0.6 s ⁻¹) / (g · cm ⁻²)	相似黏度 (η _{0.6}) (-30℃, 0.6 s ⁻¹) / (392 N, 30 min) / (Pa · s)	四球磨损直径 D / mm	腐蚀 (T3 铜, 100℃, 3 h)	水分/%	可生物降解性/%
预定技术条件	光亮均匀油膏	355~385	不低于 165	不大于 8.0	不大于 1 500	报告	合格	无	不小于 60
典型数据	光亮均匀油膏	367	177	1.68	770.0	0.64	合格	无	63.2
试验方法	目测	GB/T 269	GB/T 4929	ASTM D 2196	ASTM D 2196	SH/T 0204	SH/T 0331	GB/T 512	参照 ASTM D5864

实验室理化性能评定结果：环保脂可生物降解率在60%以上（参照ASTMD5864试验方法），具有良好的可生物降解性，好的高温稳定性、低温泵送性以及优良的防腐蚀性、抗水性等。

2 北京地铁现场减磨试验

2.1 在北京地铁曲线钢轨上的减磨试验

自2005年11月至2006年8月，在北京地铁公司所属八通线的八里桥—通州北苑、通州北苑—果园间曲线半径 $R < 400$ m的2个区段上、下行的4个钢轨涂油器上进行了装用环保脂的现场试验，重点考察环保脂对曲线钢轨的减磨效果。每个测试区段选定10个测试点，使用数字式钢轨磨耗测量仪定期跟踪精确测量测试点的钢轨磨耗，用这些测试点钢轨磨耗量的平均值来衡量比较钢轨磨损情况。北京地铁八里桥—通州北苑区间钢轨磨耗量见表3。

表3 北京地铁八里桥—通州北苑区间钢轨磨耗量

日期	上行		下行	
	平均磨耗量/mm	实际磨耗量/mm	平均磨耗量/mm	实际磨耗量/mm
2005-11-19	1.226	初始值	1.179	初始值
2005-12-30	1.343		1.387	
2006-02-21	1.348	0.12	1.385	0.21
2006-03-07	1.378		1.309	
2006-04-10	1.440		1.345	
2006-05-30	1.483	0.22	1.450	0.27
2006-06-27	1.483		1.441	
2006-07-29	1.480		1.441	
2006-08-27	1.487	0.26	1.460	0.28

由表3可以看出：使用环保脂现场试验9个月，八里桥—通州北苑区间上、下行钢轨的平均磨耗为0.26, 0.28 mm，其中试验半年后钢轨的平均磨耗值已经基本变化不大，钢轨磨耗基本趋于稳定，说明环保脂的润滑效果良好。随着环保脂的继续正常使用，预测钢轨磨耗将会变化很小。

在北京地铁果园站上、下行各检测点9个多月的试验期间，钢轨平均磨耗为0 mm，钢轨几乎没有磨耗，也证明了环保脂具有良好的抗磨性能。

2.2 环保脂与原用脂减磨性能的比较

据现场统计，原用脂与环保脂在同一线路使用近1年的钢轨磨耗量比较见表4，可见，环保脂的抗磨效果相当于或优于原用脂（特别是在长期使用的情况下）。

表4 环保脂与原用脂使用近1年的钢轨磨耗量

油脂	时间	磨耗量/mm			
		八里桥—通州北苑区间		通州北苑—果园区间	
		上行	下行	上行	下行
原用脂	2004-11—2005-09	0.50	0.32	0	0
环保脂	2005-11—2006-09	0.26	0.28	0	0

2.3 现场试验效果

通过在八通线的运用试验表明：①环保脂的黏稠度随温度的变化较小，不分冬季、夏季用脂，在最冷的冬季（-17℃）与最热的夏季（钢轨温度最高为53℃）均未发生异常喷脂等情况，与北京地铁钢轨涂油器有良好的匹配性，适用于在北京地铁曲线安装的涂油器上使用；②与原用脂对比，其减磨、降噪性能、极压性能相当；油脂消耗量基本相近，但环保脂的可降解性能较好，与钢轨作用形成较光亮的油膜，露天使用后残留在钢轨及路基的脂经过一段时间后，用手碾压时象土一样，没有油的感觉。

3 可生物降解静置模拟试验

鉴于北京地铁试验区段为高架混凝土整体道床，没有土壤环境，不利于考察环保脂在自然条件下（日光、空气、土壤等因素）的可生物降解性，因此，又探索进行了环保脂在自然条件下的可生物降解性静置模拟试验。

3.1 可生物降解性静置模拟试验方法

静置模拟试验采用重量法评定环保脂可生物降解性，该方法建立在已降解环保脂全转化为CO₂和水的理论上设计的。基本方法为：将一定量的环保脂样（约1%）均匀混合于当地植被下筛选的土壤中（颗粒度<1 mm），加入污水处理厂提供的活化菌液和微量无机培养液，掺混均匀，并保持一定湿度，置于空旷处直接接触阳光、大气等外界环境，使试验脂样自然生物降解，脂样中的碳氢化合物转化为CO₂和水汽逸散掉。静置试样90 d后，测定并计算试验脂样的可生物降解率。

3.2 试验结果及其分析

静置模拟试验于2006年6月至9月，分别在北京（铁科院金化所）和天津汉沽（中石化润滑油天津分公司）进行。在北京的静置模拟试验进行了日本SL脂（简称进口脂）、JH-1型轮轨脂（简称JH轮轨脂）和环保脂3种试样加培养液及其未

加培养液 2 种条件下的可生物降解性试验。在天津 件下的试验，试验结果见表 5。
汉沽的静置模拟试验仅进行了 3 种试样加培养液条

表 5 不同脂样可生物降解性的静置模拟试验数据

脂样	北京试验的可生物降解率				天津汉沽试验的可生物降解率	
	加培养液/%	降解率比	未加培养液/%	降解率比	加培养液/%	降解率比/%
进口脂	68.63		86.09		47.76	
JH 轮轨脂	90.70	0.54 : 0.71 : 1.00	72.43	0.87 : 0.73 : 1.00	33.48	0.55 : 0.38 : 1.00
环保脂	127.47		99.17		87.02	

静置模拟试验在室外静置的过程中影响因素较多，试验时间较长，以及试验中一些不可避免的误差，都会影响到模拟试验数据的精确性，本项试验仅作相对比较。从表 5 可以看出 3 种脂样可生物降解性的大致趋势：①在北京的试验加入培养液的 3 种润滑脂的可生物降解率比为进口脂：JH 轮轨脂：环保脂=0.54 : 0.71 : 1.00，不加培养液的 3 种润滑脂的可生物降解率比为进口脂：JH 轮轨脂：环保脂=0.87 : 0.73 : 1.00。说明环保脂相比较其他 2 种脂具有良好的可生物降解性。②因北京、汉沽两地存在土质、水质、光照、温度、人员操作、仪器等多影响因素的差异，同一脂样在北京、汉沽两地的试验结果数值之间差异较大；但北京和汉沽两地试验结果都是环保脂的可生物降解率最大，且进口脂与环保脂可生物降解率比基本都为 0.55 : 1.00。可以得出，环保脂的可生物降解性较好，优于参比进口脂。

4 研制脂的毒性

为了考察环保脂添加剂中是否有对环境不利的重

金属元素，采用电感耦合等离子发射光谱 (ICP-AES) 测试仪器，根据 IEC62321 标准，测定该脂 (基础脂) 样品中重金属镉 (Cd)、铅 (Pb)、汞 (Hg)、铬 (Cr⁺⁶) 的含量，检测结果为“未检出”，即检测值低于 2 mg · kg⁻¹ 极限检测值。因此环保脂 (基础脂) 不含上述 4 种对环境有害的重金属元素。

5 环保型铁路轮轨润滑脂技术条件

结合北京地铁钢轨涂油器的主要技术参数、JH 轮轨脂在全路使用多年的经验以及环境友好型润滑剂的发展状况，为了研制出既能满足轮轨润滑，又可生物降解的环保脂，拟定了环保脂的预定技术条件。现场试验使用的 3 批环保脂中型放大脂样的性能均达到了预定技术条件，且此技术条件满足了北京地铁的需要，最终确定了环保脂的技术条件，见表 6，此技术条件与 JH 轮轨脂的相近。环保脂可适用于环境温度 -30 ~ 120 °C 条件下，我国城市轨道交通以及有环保要求铁路干线 (特别是中东部) 的轮轨润滑。

表 6 环保脂技术条件

项目	外观	工作锥入度	极限剪应力(τ_0)		相似黏度($\eta_{0.6}$)	四球磨斑直径 D	腐蚀(T ₃ 铜片,	水分/%	可生物降解性/%
		(25°C)/ 0.1 mm	滴点/°C	(-30 °C, 0 s ⁻¹)/ (g · cm ⁻²)	(-30 °C, 0.6 s ⁻¹)/ (Pa · s)	(392 N, 30 min)/ mm	100 °C, 3 h)		
环保脂	黑色光亮均匀油膏	355~385	不低于 170	≥ 8.0	1500	实测	合格	≤	≥ 60
JH 轮轨脂	黑色光亮均匀油膏	355~385	165	8.0	1500	实测	合格	≤	—
试验方法	目测	GB/T269	GB/T4929	ASTM D 2196	ASTM D 2196	SH/T0204	SH/T0331	GB/T512	参照 ASTM D 5864

注：铁路 JH-1 型轮轨润滑脂还有滑落试验、游离碱 2 个项目指标未列出。

6 结论

(1) 以植物油和一定比例的合成油为基础油，采用天然高级脂肪酸锂皂为稠化剂，加入有一定协同效应的氧化抑制剂、防锈剂、摩擦改进剂等添加剂和固体润滑剂，按照试验确定的配方、工艺，制

成了生物降解性大于 60% (参照 ASTM D5864 试验方法) 的环保型铁路轮轨润滑脂。

(2) 室内理化性能评定、可生物降解性静置模拟试验和北京地铁现场试验结果表明：环保脂具有良好的可生物降解性、防腐蚀性、抗水性、高温稳定性和低温泵送性；抗磨性能相当于或优于地铁原用脂，与北京地铁钢轨涂油器有良好的匹配性。

(3) 环保脂可适用于环境温度 $-30\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,我国城市轨道交通以及有环保要求铁路干线(特别是中东部)的轮轨润滑。

参 考 文 献

- [1] 黄文轩. 润滑剂添加剂应用指南 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2003: 265-272.
- [2] 姚智勤, 杨 玮, 孙洪伟. 生物降解润滑脂的研究 [C] //第 12 届全国润滑脂技术交流会论文集. 济南: 中国润滑脂协会, 2003: 75-79.
- [3] 王 九, 陈波水, 董浚修, 等. 美军可生物降解润滑脂研究现状 [J]. 润滑与密封, 2001 (3): 60-62.
(WANG Jiu, CHEN Boshui, DONG Junxiu, et al. The Present Research Situation of US Military Biodegradable Greases [J]. Lubrication Engineering, 2001 (3): 60-62. in Chinese)
- [4] 徐建平. 生物降解润滑脂 [J]. 合成润滑材料, 2002, 29 (2): 7-12.
(XU Jianping. Biodegradable Lubricating Grease [J]. Synthetic Lubricants, 2002, 29 (2): 7-12. in Chinese)
- [5] 杨启尊, 刘晓峰. 近 10 年新型轮轨润滑剂的发展与展望 [J]. 中国铁道科学, 2001, 22 (3): 96-101.
(YANG Qichun, LIU Xiaofeng. Development and Prospects of New-Type Lubricants for Wheel/ Rail Lubrication in Last 10 Years [J]. China Railway Science, 2001, 22 (3): 96-101. in Chinese)

Development of Environment-Friendly Railway Wheel/Rail Grease

LIU Xiaofeng¹, LI Yingzi¹, ZOU Ce², WU Baojie³,
LIU Yachun³, TONG Zongwen¹

- (1. Metals and Chemistry Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China;
2. Line Company, Beijing Mass Transit Railway Operation Corporation, Beijing 100082, China;
3. Lubricant Tianjin Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Tianjin 300480, China)

Abstract: With the mixture of proper proportion of the plant oil and synthetic oil as the base oil, high-level natural lithium fatty acid soap as the thickener, the environmental friendly railway wheel/rail grease has been produced according to the formula and fabrication technology obtained from the experiments along with appropriate combination of such synergistic effect additives and lubricant as the oxidation inhibitor, antirust, friction modifier, etc. Indoor physical and chemical properties evaluation, field tests in Beijing Metro and the biodegradability simulation tests have been conducted respectively for the developed grease. Results show that the grease possesses excellent biodegradability, anticorrosive property, water resistance, high-temperature stability and low temperature pumpability. Its anti-wear property is equivalent with the subway formerly used grease. Moreover, it can be well matched with wheel and rail lubricating devices in Beijing Metro. The technical specifications have been worked out for the developed grease. The developed grease can be applied to the wheel and rail lubrication in domestic urban rail transit and the trunk lines (especially in middle-east region) that demand environmental protection under the condition of the environmental temperature from $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Key words: Environment friendly; Wheel/rail grease; Formula indoor; Technical specification

(责任编辑 刘卫华)