

文章编号: 1671-8909 (2022) 7-0029-003

高铁列车中性清洗剂的配方设计与优化

林 凯

(上海喜赫精细化工有限公司, 上海 201620)

摘要: 列车在行驶和检修保养过程中, 不同类型的污染物会形成粘附力很强的污垢附着在车体表面。针对目前一些高铁动车车体老化的外表面状态, 必须使用中性清洗剂从而避免进一步伤害车体油漆面, 减少对车身外壳的腐蚀。为了实现列车的中性清洁工艺, 通过正交实验和单因素试验, 确定了高铁清洁剂最佳配比为无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠: PO 嵌段 FMEE: 喜赫 FMES: 伯烷基磺酸钠 PAS: 6501: 乙二醇单丁醚: 硼砂: 油酸钠=4:3:2:3:1:1:1:1。产品环保无磷呈中性, 适用于列车自动清洗机或人工擦拭, 能有效的防止对车体的腐蚀。

关键词: 高铁; 老化; 中性清洗; 无磷; 腐蚀

中图分类号: TQ649

文献标识码: A

0 引言

近年来动车、高铁等轨道交通列车已经开始普及并成为当今社会的重要交通工具, 轨道交通列车在运行过程中车体的外表面极易受到污染, 如动物有机体, 列车运行时带起的砂尘, 受电弓及轮轨摩擦产生的碳粉和铁粉以及零部件泄露的油污等, 在列车高速行驶过程中多种污垢经过高温或日晒混合在一起, 在车体表面形成局部黄斑和条状流痕以及大面积静电灰污渍, 严重影响了车辆的美观与形象。

我国的动车与高铁已经正常运营十几年, 目前有大量的列车组车体外壳已经老化开裂, 在列车清洗工艺中, 针对目前大部分车体的表面状态, 为了避免进一步伤害车体油漆面, 减少对车身外壳的腐蚀必须使用中性清洗剂, 中性清洗剂虽然对车体损伤小, 往往清洗效果达不到要求。为了实现中性清洗, 需要通过多种表面活性剂原料, 复配出一种中性并且无磷环保的强力清洗剂, 能够在没有酸剂碱剂助洗的前提下, 将车身污垢清洗干净, 特别是针对长期高温日晒形成的黄斑要有较强溶胀与清洗力。喜赫 PO 嵌段脂肪酸甲酯乙氧基化物 FMEE 及其磺酸盐 FMES 具有良好的乳化作用, 适用于低温条件下对油污的清洗, 同时具有优异的分散作用, 可以将黄斑、静电灰膨胀松动有利于高压水枪的清

洗, 将 FMEE 和 FMES 作为列车清洗剂的清洗成分, 复配阴离子型渗透剂伯烷基磺酸钠 PAS, 静电灰去除剂无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠, 抗静电剂 6501, 并通过正交实验确定五种原料的最佳配比。

1 实验

1.1 主要试剂与仪器

试剂与材料: PO 嵌段 FMEE、FMES、无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠、伯烷基磺酸钠 PAS, 均为工业级, 上海喜赫精细化工有限公司; 6501, 工业级, 上海清奈实业有限公司; 机械油, 上海明威润滑油有限公司; 硼砂、乙二醇单丁醚, 分析级, 国药集团化学试剂有限公司; 铝合金片 10 cm×20 cm×0.6 cm, 苏州华鲁金属制造有限公司; 纳米氧化铁粉、气相二氧化硅、硅藻土, 工业级, 上海允复纳米科技有限公司。

仪器: XPR 精密电子天平, 梅特勒-托利多; HAD-BX II 摆洗机, 北京恒奥德仪器仪表有限公司; pH 计, 苏州凯斯特工业设备有限公司。

1.2 油污试片的制备与测试方法

1.2.1 金属试片污垢配制

按照 Q/CR 468—2015《动车组外表面清洗剂》方法配制, 称取 6 g 200 目氧化铁红、6 g 200 目气

作者简介: 林凯(1992-), 男, 硕士研究生, 上海喜赫精细化工有限公司车用化学品研发经理, 主要从事车用清洗剂的研发与应用。
收稿日期: 2022-03-31。

表 1 正交试验因素水平表 57

水平	因素				
	(A)FMEE 用量/(g·L ⁻¹)	(B) FMES 用量/(g·L ⁻¹)	(C) 乙二醇二邻苯基乙酸钠/(g·L ⁻¹)	(D) 伯烷基磺酸钠用量/(g·L ⁻¹)	(E)6501 用量/(g·L ⁻¹)
1	2	2	2	2	2
2	4	4	4	4	4
3	6	6	6	6	6
4	8	8	8	8	8

表 2 正交实验结果

项目	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	清洗率/%
1	2	2	2	2	2	57.76
2	2	4	4	4	4	62.12
3	2	6	6	6	6	69.09
4	2	8	8	8	8	74.33
5	4	2	4	6	8	64.57
6	4	4	2	8	6	61.31
7	4	6	8	2	4	75.99
8	4	8	6	4	2	74.12
9	6	2	6	8	4	75.63
10	6	4	8	6	2	77.85
11	6	6	2	4	8	65.07
12	6	8	4	2	6	69.39
13	8	2	8	4	6	75.64
14	8	4	6	2	8	71.57
15	8	6	4	8	2	72.43
16	8	8	2	6	4	69.70

表 3 正交试验极差分析

项目		A	B	C	D	E
清洗率	均值 1	65.825	68.400	63.460	68.677	70.540
	均值 2	68.998	68.213	67.127	69.237	70.860
	均值 3	71.985	70.645	72.602	70.302	68.858
	均值 4	72.335	71.885	75.953	70.925	68.885
	极差	6.510	3.672	12.493	2.248	2.002

相二氧化硅、2 g 200 目氢氧化铝和 6 g 60 目硅藻土助滤剂，混合后充分研磨，用 200 目标准分样筛筛取磨料，置于烧杯中并加入 80 g 机械油搅拌，使固体颗粒与机械油充分接触并混合均匀备用，将准备好的铝合金试片准确称重 m_0 ，浸入人造混合污垢中静置 5 min，取出后烘箱 180 ℃烘烤 1 h 并准确称重 m_1 。

1.2.2 清洁率

清洗后的试片，80 ℃烘干室温保持 24 h 后称重质量为 m_2 。清洁率的计算公式：

$$\text{清洁率} = [1 - (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)] \times 100\%$$

1.2.3 性能测试

根据 JB/T 4323.2—1999《水基金属清洗剂 试验方法》，分别测试清洗剂的 pH 值、腐蚀性、泡沫性、耐硬水、高低温稳定性。

1.3 清洁工艺

将金属试片悬挂浸入温度为 65 ℃的脱脂工作液中，浸渍 3 min 后开始摆洗 10 次，取出后继续在清水中摆洗 10 次并沥干。

2 实验内容

2.1 PO 嵌段

FMEE、喜赫 FMES、伯烷基磺酸钠 PAS、无磷乙二醇二邻苯基乙酸钠、6501 正交试验因素水平的确定。

PO 嵌段 FMEE 具有低温除油污性能好，泡沫低易漂洗的特点，分子链结构中有末端甲基和引入的环氧丙烷甲基，多个极性甲基基团可同步吸附于油污污垢分子表面，将油污彻底清洗。喜赫 FMES 对沥青和积碳的清洗力较强，并有优异的分散性，有利于溶胀列车表面的泥土和静电灰。伯烷基磺酸钠 PAS 能提高清洗体系的渗透力，能帮助工作液渗透到硬表面和污垢的结合处，对污垢起到剥离作用。无磷乙二醇二邻苯基乙酸钠对铁灰和锈迹有明显的去除效果，可以有效的螯合工作液中的金属离子，铁离子的螯合值为 100 mg/g，易于溶解沉积于车身表面不溶于水的金属皂盐。烷基醇酰胺 6501 对车轮有很好的防锈与缓蚀效果，同时也具有悬浮

污垢的作用。以 PO 嵌段 FMEE、喜赫 FMES、无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠、伯烷基磺酸钠、6501 为因素确定了正交试验因素水平如表 1, 试验测试结果与极差分析见表 2、表 3。

2.2 各因素对清洁率的影响

由表 3 可知, 对清洁率的影响因素排序为无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠 > PO 嵌段 FMEE > 喜赫 FMES > 伯烷基磺酸钠 PAS > 6501。无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠 EDDHA-Na 的螯合与分散性能优异, 分子结构中含有 2 个配位体, 可以与钙镁铁等金属离子形成稳定的六元环状结构络合物, 将非水溶性的金属皂分解的同时, 有利于将紧贴在硬表面的污垢分散开, 削弱了污垢与表面之间结合力, 最终污垢被松散进一步去除, 无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠对硬表面的薄层致密污垢清洗影响因素最大。喜赫 PO 嵌段 FMEE 为十八碳长碳链结构, 与各种油污有相似的碳烃结构, 根据相似相溶原理, FMEE 对油污有优异的增溶作用, 在低温条件下更容易清洗矿物油, 车身表面的污垢一般是各种灰尘与油污形成的拒水混合体, 随着油污的乳化分解, 车身的污垢也被随之彻底清洗, 因此, 具有优异的除油性能的 FMEE 对车辆清洗影响也较大。喜赫 FMES 主要是对车体上的积碳和沥青有很好的去除效果, 对车头的昆虫尸体等蛋白质污垢有很好的溶胀作用。伯烷基磺酸钠 PAS 渗透力出众, 能协助清洗工作液沿污垢边缘进入污垢与硬表面的结合处, 降低污垢在硬表面的附着力, 对各种污垢有卷离作用, 特别是针对于车身结合处的缝隙污垢清洗效果明显。烷基醇酰胺 6501 主要起到抗静电和悬浮污垢的作用, 对下方裙板和车轮也有短暂的防锈作用, 但对清洗效果影响最小。

通过正交实验分析, 无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠与 PO 嵌段 FMEE 对净洗性能影响最明显, FMES 和伯烷基磺酸钠次之, 6501 影响最小, 参考表 3 中的 10 号实验, 无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠用量 8 g/L, PO 嵌段 FMEE 用量 6 g/L, FMES 用量 4 g/L, 伯烷基磺酸钠用量 6 g/L, 烷基醇酰胺用量 2 g/L 能获得最高的清洁率, 清洁率为 77.85%。根据上述用量, 将无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠、PO 嵌段 FMEE、喜赫 FMES、伯烷基磺酸钠 PAS、6501 五种原料按照 4:3:2:3:1 复配制得车体清洗剂的表面活性剂组分 A, 进一步与助洗剂、溶剂复配提高免擦清洗效果。

(1) 溶剂对清洁率的影响。在实际车体清洗工

艺中, 不仅工作液温度低, 整个清洗时间仅有十几分钟, 需要借助溶剂来降低硬表面的表面张力, 减弱污垢与硬表面的结合力, 同时溶剂对牢固硬化的污垢, 特别是针对静电灰有很好的溶胀作用, 因此对于列车清洗工艺, 溶剂必不可少。能用于洗车的溶剂包括苯类溶剂、乙二醇单丁醚、丙二醇丁醚等, 乙二醇丁醚相对环保且价格适中。选择乙二醇丁醚作为与复配的表面活性剂 A 共同应用于清洗工艺, 参照工艺 1.3, 分析乙二醇丁醚的用量对复配表面活性剂 A 净洗效果的影响。

通过图 1 可知, 乙二醇丁醚用量 0~2 g/L, 清洁率随乙二醇丁醚用量增加相应提高, 当乙二醇丁醚用量超过 2 g/L 后, 清洁率变化不大。由此可知, 乙二醇丁醚的最佳用量为 2 g/L, 过多的添加溶剂乙二醇丁醚, 不仅不会提高净洗率, 也会导致成本提高。

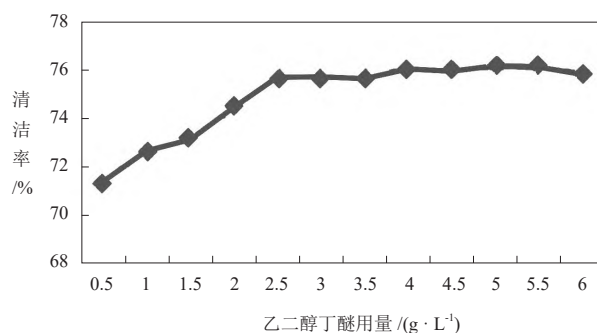


图 1 乙二醇丁醚用量对清洁率的影响

(2) 助洗剂对清洁率的影响。助洗剂可以协助表面活性剂更好的乳化分散和悬浮污垢, 在轮胎清洗过程中, 硼砂是一种性能优异的助洗剂, 硼砂可以去除氧化铁皮, 对车体表面的锈迹、氧化铁粉有很好的清洗效果。硼砂也可以在玻璃表面形成一层可增强紫外线的透射率的薄膜, 提高车窗玻璃的通透性与光亮性。选择溶硼砂作为与复配的表面活性剂 A 共同应用于清洗工艺, 参照工艺 1.3, 分析硼砂的用量对复配表面活性剂 A 净洗效果的影响。

通过图 2 可知, 助洗剂硼砂用量 0~2 g/L, 清洁率随助洗剂硼砂用量增加相应提高比较明显, 当助洗剂硼砂用量超过 2 g/L 后, 清洁率提升缓慢, 几乎没有变化, 因此将助洗剂硼砂的用量确定为 2 g/L。

(3) 缓蚀剂用量对防腐蚀效果的影响。列车车体多为铝或铝合金的结构, 自身化学性质比较活泼,

表4 清洗剂的性能指标

产品指标						
固含量	pH 值	泡沫性	耐硬水	耐高温 42℃	耐低温 -2℃	5% 水溶性
20%	7.1	无泡	澄清透明	稳定不分层	稳定不分层	澄清透明

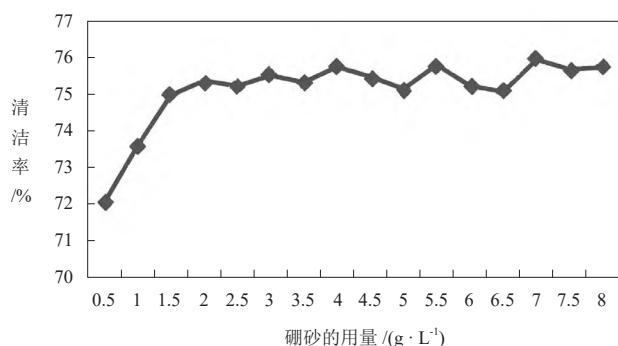


图2 硼砂用量对清洁率的影响

在清洗过程中极易发生腐蚀，导致列车外壳性能受到严重的影响。加入缓蚀剂是降低车体腐蚀的最简单且有效的方法。油酸钠是性能优异的铝合金缓蚀剂，油酸钠含有长碳链的羧基 (-COOH) 极性基团，能在铝合金的表面上形成一层多孔致密的疏水钠盐层，降低铝合金的自腐蚀。选择油酸钠作为缓蚀剂与复配的表面活性剂 A 混合后，参照 1.2.3 的腐蚀性测试方法，分析油酸钠的用量对铝合金缓蚀性能的影响。

通过图 3 可知，油酸钠用量 0~2 g/L，铝合金缓蚀率随油酸钠用量增加相应提高比较明显，说明油酸钠的缓蚀效果明显，当油酸钠用量超过 2 g/L 后，缓蚀率几乎没有变化，因此将油酸钠的用量确定为 2 g/L。

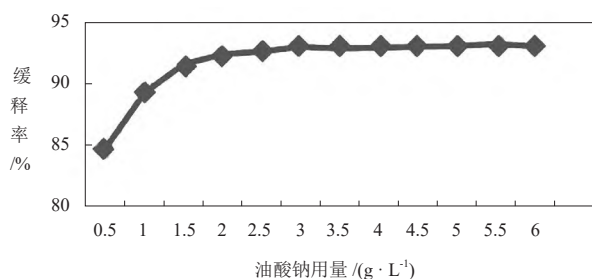


图3 油酸钠用量对缓蚀效果的影响

通过测试与分析乙二醇丁醚、硼砂用量对净洗率的影响以及油酸钠的用量对缓蚀性能的影响，最终确定了动车清洗剂的原料配比为无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠：PO 嵌段 FMEE：喜赫 FMES：伯烷基磺酸钠：6501：乙二醇单丁醚：硼砂：油酸钠

= 4 : 3 : 2 : 3 : 1 : 1 : 1 : 1，将上述几种原料按照该比例配制成固含量 20% 的成品，并参照 JB/T 4323.2—1999《水基金属清洗剂 试验方法》，分别测试清洗剂的 pH 值、泡沫性、耐硬水、高低温稳定性（表 4）。

3 结论

无磷螯合剂乙二胺二邻苯基乙酸钠 EDDHA-Na 对车体表面清洗的影响最大，通过正交实验和单因素试验确定表面活性剂、助洗剂、溶剂、缓蚀剂的最佳配比为无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠：PO 嵌段 FMEE：喜赫 FMES：伯烷基磺酸钠 PAS：6501：乙二醇单丁醚：硼砂：油酸钠 = 4 : 3 : 2 : 3 : 1 : 1 : 1 : 1。按照该比例配成含固量 20% 的成品动车洗车剂，产品的 pH 值、外观、稳定性符合 Q/CR 468—2015《动车组外表面清洗剂》标准的要求，产品环保无磷，呈中性，适用于列车自动清洗机或人工擦拭，可有效的防止对车体的腐蚀。

参考文献：

- [1] 唐继烈. 动车组外车皮清洗车研制 [J]. 上海铁道科技, 2015,38(03):24-25.
- [2] 唐慧斌. 动车转向架构架上污垢类质的水射流清洗工艺研究 [D]. 秦皇岛：燕山大学, 2020.
- [3] 唐安喜. 二元催化剂在脂肪酸甲酯乙氧基化物 FMEE 合成中的应用 [J]. 中国洗涤用品工业, 2022(02):34-39.
- [4] 于兴凯, 卫杰刚, 左建民. 乙二胺二邻苯基乙酸钠的合成以及在皂洗中的应用 [J]. 染整技术, 2012(09):35-38.
- [5] 鲍文杰, 乔建江. 环保水基渗透剂的开发及性能优化 [J]. 工业安全与环保, 2019,45(03):79-83.
- [6] 钱初洪. 利用混合油制取烷基醇酰胺的研究 [J]. 中国油脂, 2002,27(03):70-71.
- [7] 唐安喜. 低泡沫环氧丙烷封端 FMEE 的合成与性能研究 [J]. 精细与专用化学品, 2022,30(03):38-42.
- [8] 徐铭勋. 脂肪酸甲酯乙氧基化物及其磺酸盐的生产技术与应用 [J]. 化学工业, 2012(30):30-32.