

系列化中国标准地铁列车门角密封涂装施工优化研究

廖文昊, 张煜

(中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412000)

摘要: 目前, 系列化中国标准地铁列车在国内不断推广, 其车体侧墙与底架焊接的门角处存在焊缝, 需对其密封涂装。随着业主对地铁外观质量要求的不断提高, 在保证密封效果前提下, 提升门角密封涂装外观涂层质量十分必要。本文针对门角密封涂装施工过程中存在的涂层开裂、起泡、不平整等质量问题, 通过从工艺优化、材料调整等方面开展工艺验证试验, 提出一种新的绿色环保型门角密封涂装方案。试验结果表明: 采用优化后的门角密封涂装方案, 腻子、密封胶、水性涂料整体的配套性良好, 门角涂层表面光滑、平整, 有效解决了上述质量问题。

关键词: 系列化中国标准地铁; 门角密封涂装; 工艺验证

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)12-0055-05

Study on Construction Optimization of Door Angle Sealing Coating for Serialized Chinese Standard Subway Trains

LIAO Wen-hao, ZHANG Yu

(CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou 412000, Hunan, China)

Abstract: The serialized Chinese standard metro trains are being increasingly deployed domestically, with welds present at the door corners where the car body side walls and underframes are joined, necessitating the application of sealant coating. As owners' requirements for metro exterior quality continue to rise, it is imperative to enhance the appearance quality of door corner sealant coatings while ensuring sealing effectiveness. This paper addresses quality issues such as coating cracking, bubbling, and unevenness during the door corner sealant coating process. Through process verification tests focusing on process optimization and material adjustment, a novel environmentally friendly door corner sealant coating solution is proposed. Experimental results demonstrate that the optimized door corner sealant coating solution exhibits excellent compatibility among putty, sealant, and water-based paint, resulting in smooth and even door corner coating surfaces, effectively resolving the aforementioned quality issues.

Key words: serialized Chinese standard metro; door corner sealant coating; process verification

0 引言

目前, 系列化中国标准地铁列车车门与底架焊接的门角处, 由于无法实现全焊连接, 存在焊缝, 需采用门角密封涂装^[1-3]。随着系列化中国标准地铁列车的不断推广, 水性涂料应用的普及^[4], 以及业主对地铁外观

质量要求的不断提高^[5], 在保证门角涂装密封效果的前提下, 开展绿色环保的门角密封涂装施工质量提升研究十分必要。本文针对门角密封涂装施工过程中存在的涂层开裂、起泡、不平整等质量问题, 从工艺优化、材料调整等方面开展工艺验证试验, 得出优化后的门角密封涂装方案。

结果表明: 采用优化后的门角密封涂装方案, 使用全水性涂料, 绿色环保; 且腻子、密封胶、水性涂料整体的配套性良好, 门角涂层表面光滑、平整, 有效解决了上述质量问题。

收稿日期: 2024-07-31

作者简介: 廖文昊(1995—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事轨道交通车辆表面处理工艺研究与应用工作。E-mail: 447063642@qq.com。

1 试验部分

1.1 试验物料

LW5308W3012 水性米红色环氧底漆、LW0358W0000S水性环氧底漆固化剂、LWWATER 去离子水、LW5277W9010 水性聚氨酯中涂漆、LW0732L0000 水性中涂漆固化剂、LW6299W9016 水性交通白色丙烯酸聚氨酯漆、LW6299W1108070 水性黄绿色丙烯酸聚氨酯漆、LW0725L0008 水性面漆固化剂；株洲市九华新材料涂装实业有限公司；ST-2913-D 原子灰、弹性腻子：株洲华联高科有限责任公司；P551-1052 万能原子灰：庞贝捷上海有限公司；Sikaflex268密封胶、Sikaflex221 密封胶：西卡（中国）有限公司；MS930 密封胶、PU8680 密封胶：汉高（中国）投资有限公司；7003sskf 密封胶：波士胶芬得利（中国）黏合剂有限公司；3M550FC 密封胶：3M 中国有限公司；3420 密封胶：烟台德邦科技股份有限公司；P80 干磨砂纸、P240 干磨砂纸：东莞金太阳研磨材料有限公司；50 mm 美纹纸胶带：株洲博恒科技有限公司。以上原料均为工业级。

1.2 试验设备

600 mL 气动硅胶枪：佛山市锐台工具有限公司；打磨机：A2260，东莞市霹雳马机械制造有限公司；上壶式空气喷枪：SATA jet5000，德国萨塔有限两合公司；涂-4 黏度杯：LDN-1A，浙江西美精密工具有限公司，178-560-11DC 粗糙度仪：三丰精密量仪（上海）有限公司等。

1.3 试验过程

1.3.1 基材处理及试件准备

1) 基材处理

本试验选用的门角试件为 2024-T3 铝板制作。首先对试件进行清洗，除去其表面油污及氧化膜，然后对其表面喷砂至 Sa2.5（参照 GB/T 8923.1—2011），表面粗糙度达到 $R_{\text{a}} 50\sim 100\ \mu\text{m}$ ，最后吹灰除尘。

2) 水性底漆喷涂

喷涂水性底漆：在 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50\pm 5)\%$ 条件下，压缩空气压力为 0.6 MPa，水性底漆：固化剂=2:1，黏度 61 s，喷涂 2 道水性底漆。在 55~60 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤 5 h 后，油漆干燥，干膜厚度控制在 65~90 μm 。

3) 水性底漆打磨、清灰

使用 P80 目砂纸对试件表面底漆进行打磨，吹灰除尘干净。

1.3.2 门角密封涂装

1) 试验方案

试验方案见表 1。

2) 密封胶底涂刷涂

表 1 试验方案

方案编号	试件编号	试验方案
1	A1~A3	腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
2	B1~B3	密封胶(A)+中涂漆+面漆
3	C1~C3	密封胶(A)+腻子(弹性腻子)+中涂漆+面漆
4	D1~D3	密封胶(A)+腻子(原子灰)+中涂漆+面漆
5	E1~E3	密封胶(A)+腻子(万能原子灰)+面漆
6	F1~F3	密封胶(A)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
7	G1~G3	密封胶(B)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
8	H1~H3	密封胶(C)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
9	I1~I3	密封胶(D)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
10	J1~J3	密封胶(E)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
11	K1~K3	密封胶(F)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆
12	L1~L3	密封胶(G)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆

在 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50\pm 5)\%$ 条件下，使用美纹纸胶带将门角全部屏蔽后，使用美工刀将门角缝周围 1~2 mm 胶带纸划开，露出门角缝。使用油画笔蘸底涂对试件表面焊缝刷涂一层薄且均匀的底涂，刷涂完成后，撕除纸胶带，在室温下干燥 30 min。

3) 密封胶涂打

在 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50\pm 5)\%$ 条件下，使用美纹纸胶带将门角全部屏蔽后，使用美工刀将门角缝周围 1~2 mm 胶带纸划开，露出门角缝。打胶前挤出一段约 100 mm 长的胶不用，压缩空气压力为 0.6 MPa，使用 600 mL 气动打胶枪，对试件表面焊缝涂打密封胶，使胶填满整个接缝，胶线均匀丰满且与门角缝表面粘接良好。涂胶完成后，戴上橡胶手套，使用食指将胶朝一个方向迅速刮平，胶面刮平后随即将门角上的屏蔽纸胶带撕去。在室温下干燥 24 h，待密封胶完全干燥后，使用美工刀片沿着门角封板平面将凸出的多余密封胶割除。

4) 腻子刮涂

在 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50\pm 5)\%$ 条件下，使用橡胶刮片在门角试件表面刮涂 2 道腻子，腻子完全干燥后，使用 P240 砂纸手动打磨腻子表面，吹灰干净。

5) 水性中涂漆喷涂

在 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50\pm 5)\%$ 条件下，压缩空气压力为 0.6 MPa，水性中涂漆：固化剂=6:1，黏度 71 s，喷涂 2 道水性中涂漆。在 55~60 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤 5 h 后，油漆干燥，干膜厚度控制在 60~80 μm 。使用 P240 砂纸手动打磨水性中涂漆表面，将灰尘吹干净。

6) 水性面漆喷涂

在 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $(50\pm 5)\%$ 条件下，压缩空气压

力为 0.6 MPa,水性底漆:固化剂=2:1,黏度 21 s,喷涂 2 道水性面漆。在 55~60 ℃烘烤 2 h 后,油漆干燥,干膜厚度控制在 40~60 μm。

7) 涂层干燥

在 (23±2) ℃、湿度 (50±5)% 条件下,将上述试件放置自然干燥 7 d,干燥后观察试件表面涂层状况,并开展相关性能测试。

1.4 性能测试

1) 弯曲试验测试

按照 GB/T 6742—2007《色漆和清漆 弯曲试验》中 4.1.2 要求,测试门角涂层中腻子在密封胶上附着力,以及涂层整体的耐久性、抗裂性^[9]。

2) 静强度试验测试

按照 EN 12663-1:2010+A1:2014《铁路应用铁道机车车辆车体结构要求第 1 部分:机车和旅客列车(和货车的替代方法)》中压缩组合工况及拉伸组合工况要求,测试门角密封涂装涂层结构强度^[7]。

3) 耐高低温循环交变试验测试

按照 Q/CR 546.1—2016《动车组用涂料与涂装 第一部分 车体外表面用涂料及涂层体系》中 5.4.22 要求,测试门角涂层体系在 60 个周期高低温循环交变试验后表现出的耐老化性能。

2 结果与讨论

2.1 腻子对涂层外观平整性的影响

目前,系列化中国标准地铁列车车门与底架焊接的门角处,由于无法实现全焊连接,门角封板间存在 0~2 mm 高度差的焊缝,门角表面凹凸不平,极不美观,且门角在车门合上后,部分外露,严重影响标准地铁的外观质量,因此门角密封涂装须将焊缝表面找平,保证门角表面涂层的美观。按照上述试验方案制作试验,干燥 7 d 后,不同涂层体系下的门角涂层表面见图 1。

由图 1 可知:A1、F1 试件涂层表面光滑、平整;B1 试件涂层表面有明显凹陷,且中涂漆与密封胶间存在开裂现象;C1 试件涂层表面有明显凹陷现象,D1 试件喷涂完面漆后,检查试件表面涂层状况,发现试件涂层表面光滑、平整,但在室温下自然干燥 7 d 后,D1 试件在门角封板间焊缝处出现明显的收缩凹陷,E1 试件表面涂层存在明显的小颗粒以及小凹坑。

试验结果表明:密封胶+中涂漆以及密封胶(A)+腻子(弹性腻子)+中涂漆的涂层体系无法有效找平门角表面封板间高度差,密封胶与中涂漆之间附着力较差,导致 B1 试件涂层表面中涂漆与密封胶间存在开裂现象。采用密封胶(A)+腻子(原子灰)+中涂漆+面漆的涂层体系,涂层制作完成的初期,表现为可找平门角表面封板间高度差,但由于原子灰腻子本身存在一定

的收缩性,7 d 自然干燥后,门角封板间焊缝处出现明显的收缩凹陷,故也无法有效找平门角表面封板间高度差;采用密封胶(A)+腻子(万能原子灰)+面漆的涂层体系,可有效找平门角表面封板间高度差,但由于万能原子灰打磨后,表面存在小凹坑以及小颗粒,面漆无法找平,故试件表面存在明显的小颗粒以及小凹坑;采用腻子(万能原子灰)+中涂漆的涂层体系能有效找平门角表面封板间高度差,且表面状态光滑、平整。

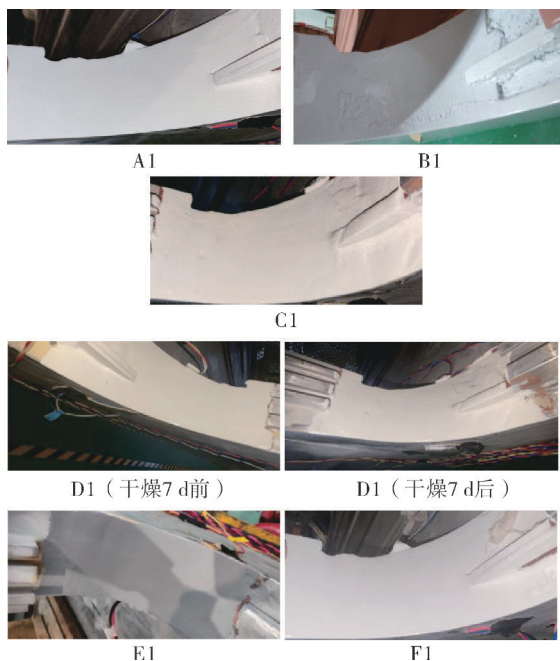


图 1 不同涂层体系下的门角涂层表面

2.2 涂层体系对涂层耐老化性的影响

系列化中国标准地铁列车项目对车体的正常使用寿命期限规定是 30 年^[8],为保证门角密封涂层在地铁车辆运行过程中受到高低温、高湿度环境等的影响而不发生老化导致性能逐渐下降^[9],防止门角密封涂层开裂、鼓包等现象。将试验方案 1 及 6~12 制作的门角试件按照 Q/CR 546.1—2016 标准要求开展高低温循环交变试验,测试门角涂层的耐老化性能,试验结果见图 2。

由图 2 可知:A1、L1 试件涂层表面有明显凹陷现象,J1 试件涂层表面底部有油漆裂纹现象,K1 试件涂层表面有油漆起泡现象,F1、G1、H1、I1 试件涂层表面光滑、平整。

试验结果表明:老化试验中,仅采用万能原子灰+中涂漆的涂层体系,由于温度变化可能导致万能原子灰存在微小的收缩,并且在高湿环境下,由于万能原子灰对门角焊缝部位密封不良,万能原子灰存在一定程度的吸水,导致涂层体系在门角焊缝部位存在凹陷的

现象,无法找平门角表面封板间高度差;不同的密封胶与万能原子灰涂层体系下耐老化性能不同,J1、K1、L1 试件涂层体系耐老化性较差,高低温循环交变试验条件下,密封胶密封效果变差或密封胶本身存在形变,导致涂层体系在门角焊缝部位存在凹陷的现象,无法找平门角表面封板间高度差;F1、G1、H1、I1 试件涂层体系整体耐老化性良好。

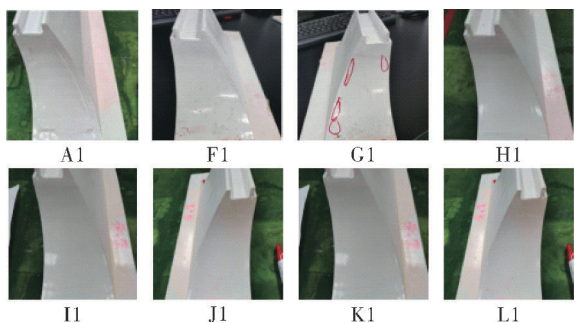


图2 不同涂层体系下的门角密封涂装老化试验

2.3 涂层配方对涂层附着力性能的影响

涂层弯曲试验是衡量涂层在实际应用中引起应力的情况下,是否能保持完好、不破裂的方法,以此评估涂层的耐久性、抗裂性和附着力。门角密封涂装中,密封胶和腻子的配套性是影响密封涂装稳定性能的核心要素,为测试密封胶与腻子间的附着力,以及门角涂层整体的耐久性、抗裂性和附着力,按照 GB/T 6742—2007 标准要求开展弯曲试验,试验结果见图 3。

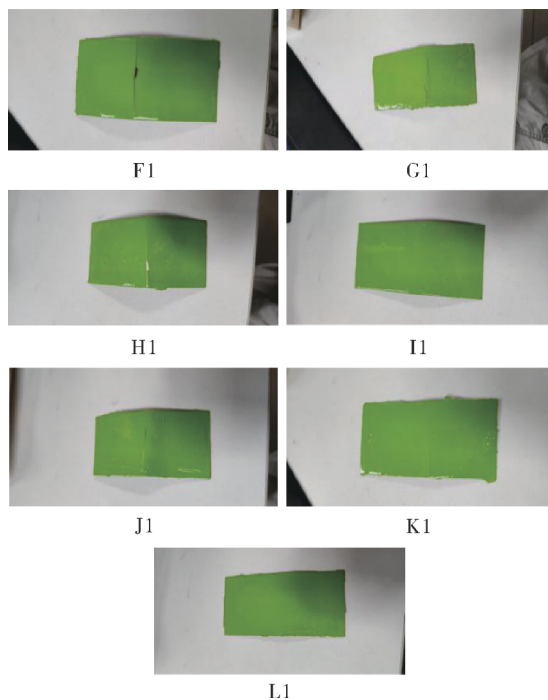


图3 不同涂层体系下的弯曲试验

由图 3 可知:弯曲试验中 F1、G1、H1、J1、K1 试件涂层体系密封胶与腻子间出现明显开裂现象,底漆与密封胶、腻子与中涂漆、中涂漆与面漆间附着良好,无开裂现象。I1、L1 试件涂层体系表面平整,无开裂现象,F1、G1、H1、I1、J1、K1、L1 试件底漆与密封胶、腻子与中涂漆、中涂漆与面漆间附着良好,无开裂现象。

试验结果表明:F1、G1、H1、J1、K1 试件涂层体系中密封胶与腻子抗裂性和附着性较差,在弯曲试验中密封胶与腻子出现分离开裂现象;I1、L1 试件涂层体系中密封胶与腻子抗裂性和附着性较好,在弯曲试验中密封胶与腻子未出现开裂,并附着良好;F1、G1、H1、I1、J1、K1、L1 试件底漆与密封胶、腻子与中涂漆、中涂漆与面漆抗裂性和附着性较好,在弯曲试验中未出现开裂,并附着良好,总体而言,I1、L1 试件涂层体系配套性良好,门角涂层整体耐久性、抗裂性优异。

2.4 涂层配方对涂层结构强度的影响

地铁在运行过程中,门角会承受一定的拉伸力及压缩力^[9],为验证门角涂层在地铁运行时涂层结构是否能保持完整,以及外观是否能保持美观,根据试验方案 9,在标准地铁实车上进行门角密封涂装,按照 EN 12663 标准要求开展静强度试验,试验结果见图 4。



图4 试验方案 9 门角涂层体系静强度试验

由图 4 可知:采用试验方案 9 密封胶(D)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆方案的门角涂层,静强度试验后,门角涂层表面光滑、平整。

试验结果表明:采用密封胶(D)+腻子(万能原子灰)+中涂漆+面漆方案的门角涂层,能承受系列化中国标准地铁列车运行时的强度,保持涂层结构的完整性以及美观性。

3 结语

本文通过从工艺优化、材料调整等方面开展门角密封涂装工艺验证试验,主要通过密封胶密封门角焊缝,万能原子灰找平实现门角密封涂装涂层表面美观;通过开展附着力检测试验、老化检测试验、静强度检测试验筛选出最优涂层配方。采用优化后的门角密封涂装方案,采用全水性涂料,绿色环保,且腻子、密封胶、水性涂料整体的配套性良好,门角涂层表面光滑、平整,能承受系列化中国标准地铁列车运行时的

强度,保持涂层结构的完整性以及美观性。

参考文献:

[1] 唐飞龙,赖森华,于青松.系列化中国标准地铁列车综述[J].电力机车与城轨车辆,2021(5):1-8.
 [2] 陈国锋,蔡勋,蔡岳辰,等.我国标准地铁车辆的全寿命周期成本构成及控制[J].城市轨道交通研究,2023(4):5-8.
 [3] 邱祥国,高侠,陈军跃,等.从精益生产分析汽车涂装焊缝密封胶工艺[J].现代涂料与涂装,2020(1):37-39.
 [4] 苏权,刘百良,谭晓晔,等.轨道交通车辆构架水性涂料施工工艺研究及应用[J].现代涂料与涂装,2023(1):16-17.
 [5] 侯秀芳,杨浩,王俊玲.中国标准地铁列车产品平台的研发

[J].现代城市轨道交通,2019(5):11-15.
 [6] 刘振作.漆膜柔韧性试验技术现状[J].中国涂料,1997(1):9-11.
 [7] 王晓阳,李晓峰,李世战,等.钢铝混合地铁车辆静强度分析及试验验证[J].城市轨道交通研究,2015(10):93-97.
 [8] 苏柯,金希红,刘永强,等.地铁列车车体技术研究[J].机电传动,2022(2):82-88.
 [9] 常西亚,张连英,马超,等.硅烷改性密封胶涂装配套技术研究[J].中国胶黏剂,2019(6):50-54.
 [10] 陶斯嘉,王玉艳,赵阔,等.地铁铝合金车体静强度分析及底架横梁尺寸优化[J].科技创新与应用,2018(14):15-16. ◆

(上接第 36 页)的贝纳德旋涡使不同粒径的颜料运动速度不同,较易出现浮色发花问题,当干燥速度相对较快时,浮色发花问题也相对较为轻微;在涂料中使用合适的流变助剂能够避免密度较大的颜料在体系中的沉降,防止颜料在垂直方向上形成浓度差而出现浮色问题。

3 结语

当白色单色面漆使用 DISPERBYK -180 作为其润湿分散剂、黑色单色面漆使用 DISPERBYK-2025 作为其润湿分散剂,添加量分别为 3%和 70%时,两者混拼复配后的客车用灰色 2K 丙烯酸聚氨酯面漆的浮色

发花程度最小,目视无色差。本文为通过使用润湿分散剂解决 2K 丙烯酸聚氨酯面漆浮色发花问题提供了一种解决方法,并总结了润湿分散剂的评价和筛选的过程和步骤。

参考文献:

[1] 沈球旺.色素炭黑润湿分散剂的选择[J].中国涂料,2008, 23(1):49-52.
 [2] PATTON T C.涂料流动和颜料分散:流变学方法探讨涂料及油墨工艺学[M].郭隽奎,王长卓,译.2版.北京:化学工业出版社,1988:561-562. ◆

《现代涂料与涂装》征稿启事

征稿范围:

- ★ 涂料涂装行业关键核心技术自主创新及进口替代进展
- ★ 最新涂料涂装政策、标准解读及应对措施
- ★ 环境友好型涂料及特种功能型涂料的研发及创新应用
- ★ 涂装行业 VOC 源头控制、过程管理、末端治理技术及设备,涂料涂装废水处理技术及设备
- ★ 涂料涂装行业安全生产管理创新
- ★ 传统制造业(汽车、工程机械、轨道交通、船舶)、战略性新兴产业和新型基础设施涂装智能化及新工艺、新材料和新设备

征稿要求:

- (1)来稿涉及技术保密问题需通过作者单位审查;来稿请注明作者单位(中英文)、地址及邮编。
- (2)请勿一稿多投,如欲改投,请提前告知本编辑部。稿件收到后即发回执,稿件一经刊发,即按规定付给稿酬,并赠送期刊 3 本。
- (3)稿件要求内容新颖、主题明确、逻辑严谨、文字精炼、格式规范、数据真实,全文字数不少于 5 000 字,相似度不高于 15%,附 200 字左右的摘要并列关键词(3~8 个)及相应的英文。
- (4)稿件一律采用法定标准计量单位名称和符号。
- (5)文章标题以 3 级为限,文题简洁,表格一律为三线表,文中插图要清晰。
- (6)参考文献勿省略,置于文末,并在文中注明序号、排好次序。

投稿方式:

请访问现代涂料与涂装官网(<https://xdtlytz.magtechjournal.com>)进行在线投稿。



期刊网站