

沙特集装箱平车涂装方案设计与施工

陈成¹, 孙术娟², 肖艳¹, 陈文兴¹, 邝稳刚¹

(1.中车长江运输设备集团有限公司,武汉 430212; 2.国家铁路局装备技术中心,北京 100070)

摘要:在“一带一路”倡议的推动下,中国铁路装备出口业务不断拓展,沙特集装箱平车项目应运而生。鉴于沙特特殊的地理气候条件以及铁路运输需求,本研究着重设计了适配的涂装方案,涵盖涂层体系、材料选择等方面,并对涂料进行了全面性能测试。同时,详细阐述了涂装施工工艺以及施工中的检验规范。通过研究,成功确定了满足沙特运营环境要求的防护涂装体系,为提升集装箱平车的耐久性、美观性和市场竞争力提供了有力支持,也为后续相关项目积累了宝贵经验。

关键词:集装箱平车;涂装设计;涂装施工;沙特环境;水性涂料

中图分类号:TQ639 文献标志码:B 文章编号:1007-9548(2025)04-0069-04

Saudi Container Flat Car Painting Scheme Design and Construction

CHEN Cheng¹, SUN Shu-juan², XIAO Yan¹, CHEN Wen-xing¹, KUANG Wen-gang¹

(1.Science and Technology Development Branch of CRRC Changjiang Group, Wuhan 430212, China;

2.National Railway Administration Equipment Technology Center, Beijing 100070, China)

Abstract: Driven by the "Belt and Road Initiative", the export business of China's railway equipment has been continuously expanding, and the Saudi container flat-car project has emerged as a result. In view of the special geographical and climatic conditions in Saudi Arabia and the requirements of railway transportation, this study has focused on designing a suitable painting scheme, covering aspects such as the coating system and material selection, and has carried out comprehensive performance tests on the coatings. At the same time, the painting construction process and inspection specifications during construction are elaborated in detail. Through research, a protective painting system that meets the requirements of the Saudi operating environment has been successfully determined, which provides strong support for improving the durability, aesthetics and market competitiveness of container flat cars, and also accumulates valuable experience for subsequent related projects.

Key words: container flat car; painting design; painting construction; saudi environment; water based coatings

0 引言

在全球经济一体化和“一带一路”倡议的大背景下,中国铁路装备制造行业迎来了前所未有的发展机遇,出口业务呈现出蓬勃发展的态势。沙特阿拉伯作为中东地区的重要国家,其基础设施建设正处于快速发展阶段,铁路运输作为重要的物流运输方式,在货物运输中发挥着越来越重要的作用。随着沙特铁路网络的不断

完善和货物运输量的持续增长,对集装箱平车的需求也日益增加。然而,沙特独特的地理和气候条件,如高温、强风沙、昼夜温差大以及沿海地区的高盐雾环境,对集装箱平车的性能提出了极为严苛的要求。特别是车辆的涂装,不仅要具备良好的防护性能,以抵御恶劣环境对车体的侵蚀,还要满足沙特客户对于环保和美观的特殊需求。因此,开展沙特集装箱平车涂装设计与施工的研究具有重要的现实意义。

1 沙特集装箱平车应用工况及环境特点

1.1 沙特地理与气候条件

沙特阿拉伯位于阿拉伯半岛,大部分地区属于热

收稿日期:2024-01-22

作者简介:陈成(1985—),男,硕士,工程师,主要从事铁路货车涂装新材料的研发工作。E-mail:421745906@qq.com。

带沙漠气候,气候条件极为恶劣。其年平均气温较高,夏季气温常常超过 40℃,在一些内陆地区甚至可达 50℃以上,高温会加速涂料的老化和分解,降低涂层的防护性能。

昼夜温差大也是沙特气候的显著特点之一,昼夜温差可达 20℃以上。这种剧烈的温度变化会导致车体金属材料频繁热胀冷缩,容易使涂层产生裂纹、剥落等缺陷,影响涂层的完整性和防护效果。

此外,沙特大部分地区风沙活动频繁,强风裹挟着大量的沙尘颗粒,对集装箱平车表面产生强烈的冲刷和磨损作用。尤其是在沙漠地区,沙尘的侵蚀会逐渐破坏涂层的表面结构,降低涂层的防护功能。而在沿海地区,空气中含有较高浓度的盐雾,盐雾中的氯化钠等盐分具有很强的腐蚀性,会对车体金属造成电化学腐蚀,加速金属的锈蚀过程。

1.2 沙特铁路运输特点

沙特铁路运输主要承担着石油、矿石等大宗商品的运输任务,这些货物在装卸过程中可能会对集装箱平车的车体表面造成刮擦、碰撞等机械损伤。同时,由于运输货物的特殊性,部分货物可能具有一定的化学腐蚀性,在运输过程中如果发生泄漏,会对车体涂层产生化学侵蚀。此外,沙特铁路运输的频率较高,车辆的使用强度较大,这就要求集装箱平车的涂装不仅要具备良好的防护性能,还要有较高的耐磨性和抗冲击性,以确保在长期频繁的使用过程中能够有效地保护车体。

1.3 客户特殊要求分析

沙特客户对集装箱平车的涂装提出了一系列严格的特殊要求。尤其在环保方面,明确规定涂料体系不得含有任何铅、氯化氢、异氰酸酯或其他重金属等有毒有害物质,这对涂料的研发和选择提出了更高的环保要求。

在防护性能方面,要求所有外部涂层必须具有 10 年的产品和应用质量保证期,并且在未来 10 年以上能够保持良好的保色性和防护性能。这意味着涂层需要具备出色的耐候性、耐腐蚀性和耐老化性能,能够在沙特恶劣的环境条件下长期稳定地发挥防护作用。

2 涂装方案设计

2.1 涂层体系设计

车辆运营环境在沿海地区且光照强的条件下,依照 ISO 12944-2:2018 腐蚀环境分类要求,该车运营环境可定义为 C4 级别,属于中等偏重腐蚀环境。参照 ISO 12994-5:2018 开展集装箱平车的涂层体系设计(见表 1)。

表 1 低合金碳钢处于腐蚀环境 C4 级下的涂层体系

方案	底涂层			后道涂层			防护期/a 7~15
	漆基类型	涂装道数	厚度/ μm	漆基类型	总涂装道数	总厚度/ μm	
1	醇酸	1	60~80	醇酸	2~3	160	√
2	环氧	1	80~160	聚氨酯、丙烯酸	2	180	√
3	环氧(含锌)	1	60~80	环氧聚氨酯、丙烯酸	2	160	√

由于客户要求涂料体系不得含有任何铅、氯化氢和异氰酸酯或其他重金属,漆基类型不能选择聚氨酯体系,根据铁路货车油漆涂装体系,选定不同种铁路货车拟使用的水性涂料,这也是国内货车制造企业首次在沙特铁路运营环境下采用水性涂料配套体系,并进行实验室性能检测,水性涂料样品测试项目见表 2。

表 2 水性涂料样品测试项目

涂层类型	漆种	重点测试指标
底漆	水性环氧磷酸锌	耐热性能、盐雾性能
	水性环氧富锌	耐热性能、盐雾性能
面漆	单组分水性丙烯酸	耐热性能、耐水性能、耐老化性能
	双组分水性丙烯酸氟碳	耐热性能、耐水性能、耐老化性能

2.1.1 水性环氧磷酸锌底漆性能测试

水性环氧磷酸锌底漆在 150℃环境下鼓风烤箱放置 4 h 后,漆膜无起泡、脱落、开裂、起皱等缺陷,在盐雾箱放置 720 h 后,表面漆膜出现部分破损。

2.1.2 水性环氧富锌底漆性能测试

水性环氧富锌底漆在 150℃环境下鼓风烤箱放置 4 h 后,漆膜无起泡、脱落、开裂、起皱等缺陷,在盐雾箱放置 1 000 h 后,漆膜表面无起泡、生锈,划痕处涂膜损坏或锈蚀宽度 ≤ 2 mm(单向)。

2.1.3 水性丙烯酸面漆性能测试

水性丙烯酸面漆在 150℃环境下鼓风烤箱放置 4 h 后,漆膜无起泡,无脱落、开裂、起皱等缺陷,40℃环境下在去离子水中放置 48 h 后,漆膜外观、颜色、没有变化,在水冷氙灯老化试验箱保存 300 h 后,漆膜等级为 3 级。

2.1.4 水性丙烯酸氟碳面漆性能测试

水性丙烯酸氟碳面漆在 150℃环境下在鼓风烤箱放置 4 h 后,漆膜无起泡、脱落、开裂、起皱等缺陷,40℃环境下在去离子水中放置 48 h 后,漆膜外观、颜色没有变化,在水冷氙灯老化试验箱保存 1 000 h 后,漆膜等级为 1 级。

根据以上测试和对比结果,按照铁路货车水性防腐涂装体系耐盐雾指标达到 1 000 h、耐老化指标达到 1 000 h 的要求,确定防腐涂装体系的配套方式为水性环氧富锌底漆底漆+水性丙烯酸氟碳面漆,并设计出了集装箱平车的防护涂层体系,见表 3。

2.2 涂料的技术指标

集装箱平车车体表面涂料的主要技术指标见表

4~5。

表 3 沙特集装箱平车防护涂层体系

涂料名称	型号	颜色	干膜厚度/ μm	涂装道数
水性环氧富锌底漆	H53-88	红色	100	2
水性丙烯酸氟碳面漆	B04-18	乳白色	60	1~2

表 4 水性环氧富锌底漆主要技术指标

项目	技术指标	实测值	检验方法
表干时间((23±2)℃)/h	≤2	2	GB/T 1728
实干时间((23±2)℃)/h	≤24	23	GB/T 1728
附着力(划格法)/级	≤1	1	GB/T 9826
耐冲击性/cm	≥50	65	GB/T 1732
耐热性(150℃,4h)	不起泡、脱落、开裂、起皱	不起泡、脱落、开裂、起皱	GB/T 1735
耐盐雾性(1 000 h)	板面无起泡、生锈;划痕处漆膜损坏或锈蚀宽度≤2 mm(单向),刀片撬动附着力无明显降低	板面无起泡、生锈;划痕处漆膜损坏或锈蚀宽度=2 mm(单向),刀片撬动附着力无明显降低	GB/T 1771

注:水性环氧富锌底漆的主体树脂为水性环氧树脂;颜填料为锌粉、防锈颜料;助剂为分散剂、流平剂、催干剂、防闪锈剂(底漆)、杀菌剂等。

表 5 水性丙烯酸氟碳面漆主要技术指标

项目	技术指标	实测值	检验方法
表干时间((23±2)℃)/h	≤2		GB/T 1728
实干时间((23±2)℃)/h	≤24		GB/T 1728
附着力(划格法)/级	≤1	1	GB/T 9826
铅笔硬度	≥HB	2HB	GB/T 6739
耐冲击性/cm	≥50	68	GB/T 1732
耐热性(150℃,4h)	不起泡、脱落、开裂、起皱	不起泡、脱落、开裂、起皱	GB/T 1735
耐水性(40℃,48h)	漆膜基本无变化	漆膜基本无变化	GB/T 1733
耐人工气候加速老化试验(1 000 h)/级	≤2	1	GB/T 1767
耐酸性(5%的 H ₂ SO ₄)	24 h 漆膜基本无变化	24 h 漆膜基本无变化	GB/T 9274
耐碱性(5% NaOH)	24 h 漆膜基本无变化	24 h 漆膜基本无变化	GB/T 9274

注:水性丙烯酸氟碳面漆的主体树脂为羟基丙烯酸乳液、水性氟碳乳液;颜填料为钛白粉、炭黑、热反射填料;助剂为分散剂、流平剂、催干剂、防闪锈剂(底漆)、杀菌剂等。

水性环氧富锌底漆和水性丙烯酸氟碳面漆的性能指标均满足国标要求,通过模拟现场施工环境,来验证水性底漆与水性面漆的施工性;水性底漆、水性面漆搭配,并分别与传统面漆、传统底漆搭配,用以验证涂料的配套性。

3 涂装施工工艺

集装箱平车涂装工艺流程如下:钢材表面喷射预处理→(车体组焊)→车体涂漆前表面处理→车体内外面漆喷涂及干燥→底漆检查修补→车体内外面漆喷涂及干燥→面漆修补检查→标记涂打及粘贴。

3.1 钢材表面喷射预处理

车体所有碳钢材质的型材、板材下料前进行表面

喷射预处理,喷射预处理后,钢材表面立即喷涂一层可焊性预涂底漆,干膜厚度为 10~20 μm 。可焊性预涂底漆为 H06-1 型环氧车间底漆。

3.2 车体涂漆前表面处理

车体钢结构完工后,对车体内外面预涂底漆表面进行除油处理,使用专用清洗剂擦洗干净表面油污。表面清洁处理后,对车体所有外露表面的焊缝、切割边及预涂底漆烧损、破坏和锈蚀的区域进行喷射处理,因结构受限无法喷射的表面进行人工打磨处理,钢材下料前表面未经喷射清理的零部件,在组焊后整体进行表面喷射清理,表面喷射清理后应在 4 h 内涂漆,以防止钢材表面返锈。最终涂漆前,需对车体内外面进行清洁

处理,应使用干燥洁净的压缩空气吹干净表面的颗粒物、灰尘及其他外来杂物。

3.3 油漆喷涂

喷涂油漆期间,环境温度不低于 5℃,环境相对湿度不大于 85%。喷涂油漆前,对上心盘、上旁承和中梁上磨耗板的磨擦面进行覆盖保护,防止漆雾污染;对无法喷涂到的区域,应先用刷子进行预涂,确保涂层干膜厚度达到规定要求。喷涂设备采用(45~60):1 的高压无气喷涂机,喷嘴孔径为 0.4~0.6 mm,进气压力控制在 0.4~0.6 MPa。高压无气喷涂过程中喷枪的喷涂角度以与工作面垂直为原则,喷枪与工作面距离应控制在 300~500 mm,相邻两条漆带覆盖 50%左右。喷涂完毕后进行全面检查,修补缺陷部位。

3.4 油漆干燥

油漆干燥采取自然干燥或烘干室烘干方式。采取自然干燥方式时,环境温度不低于 5℃,相对湿度不大于 85%;采取烘干方式时,烘干室温度为 50~70℃。漆膜实干后方可露天存放或者进行下道油漆的施工,实干时间应符合材料制作商的规定。

3.5 检查和修补

涂层干燥后,检查车体涂层质量。发现有厚度不足、漏涂、龟裂、流坠、针孔、起泡、起皮、干喷及漆渣等缺陷时进行修补。对龟裂、针孔、起泡、起皮及烧损等缺陷部位应进行彻底打磨,去除缺陷涂层,且将边缘应处理成斜坡形式,清除灰尘后补涂与所在部位相同的油漆,补涂涂层厚度应达到规定要求;对厚度不足及漏涂部位,先对涂层表面进行清洁处理,然后补涂与所在部位相同的油漆,补涂涂层厚度应达到规定要求;对流坠、干喷及漆渣等缺陷,先打磨平整流坠及漆渣,清理干净打磨粉尘,补涂与所在部位相同的油漆,补涂涂层厚度应达到规定要求。

4 施工中的检验规范

4.1 表面处理

4.1.1 表面清洁度

所有规定喷射处理的表面应清理达到 ISO 8501-

1 规定的 Sa2.5 级标准(等同于 SSPC-SP6)。

4.1.2 表面的粗糙度

喷砂表面的粗糙度应达到 30~80 μm,表面粗糙度用 ISO 8503-5 复制胶带法检测。

4.2 涂层质量

4.2.1 外观

涂层表面不能有流挂、气泡和其他明显的缺陷。面漆层表面还应没有任何夹杂物(如磨料颗粒、污垢、灰尘和昆虫)及气孔和起泡。面漆层轻度的橘皮、浅的刷痕、细小的局部流挂、轻微的花纹和少量的干喷只允许出现在复杂区域。

4.2.2 干膜厚度

干膜厚度用磁性涂层干膜测厚仪检测,检测方法及其判定准则符合 ISO 19840。车体内外表面各随机选取 40 个测试点,测试点应在涂漆范围内尽量均布。

结果判定准则:1)所有测量点的算术平均值不应小于额定干膜厚度值;2)所有测量点的值不应小于额定干膜厚度的 80%;3)所有测量点中,低于额定干膜厚度但不低于 80%额定干膜厚度的测量点不应超过总测量点的 20%;4)所有测量点的值不应超过额定干膜厚度的 3 倍。

4.2.3 涂层附着力

涂层体系的附着力不小于 5 MPa,检测方法符合 ISO 4624 拉开法。涂层的附着力采用挂试板法验证,每 20 辆车抽检 1 次。

5 结语

沙特集装箱平车是国内货车制造企业首次在沙特铁路运营环境下采用水性涂料配套体系,方案的设计和施工方案遵照 ISO 12944 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护的标准进行,并结合了客户的防腐环境和防护年限的要求,代表了国内铁路货车制造企业最先进的防腐理论和技术,在未来十年的运营过程中,将持续跟踪该涂层体系的运营状态,确保涂料的防腐性能最大程度地发挥。

(上接第 68 页)

巩固措施 3:定期盘点电泳工装损坏数量,出现异常损坏及时优化。

3.2 标准化

将新型电泳工装图纸标准化存档,并将安装、检查与拆卸落实到标准化文件中。

4 项目总结

本次 QC 案例主要运用了工业工程中的鱼骨图分

析法,经过问题的解决,团队在解决问题能力、QC 知识、工作热情、团队意识、个人能力等方面得到了提升。但也存在对 QC 道具运用不够熟练、改善思维局限化等不足。本次 QC 活动强化了小组成员 QC 知识的培训,同时通过集团优秀改善的学习,增强了小组成员的见识。更为重要的是,我们完成了既定目标,不仅优化了人机工程、解决了工时瓶颈,而且大大降低了运营与维护成本,为公司降本增效贡献了力量。