

# 浅析铁路客车车体腐蚀及防腐措施

慕成科<sup>1</sup> 杨丽君<sup>2</sup> 陈睿<sup>3</sup> 张友菲<sup>4</sup>  
中车成都机车车辆有限公司 四川 成都 610000

**摘要:**介绍了铁路客车车体腐蚀原理,分析其腐蚀状况的相关影响因素,并在铁路客车厂修过程中进行控制,预防铁路客车车体腐蚀。

**关键词:**铁路客车;车体腐蚀;防腐

## 引言

近些年来,我国轨道交通高速发展,高速铁路、普通铁路等客车已经成为人们出行的主要方式之一。客车钢结构车体作为整个客车车体的骨架,关系到车辆的运行安全和使用寿命,其强度和刚度很重要。当前客车车体主要采用碳钢、铝合金、不锈钢3种材料和正在初步采用的碳纤维材料,不锈钢材质运用于部分城市轨道交通车辆,铝合金材料在高速动车组列车和城市轨道交通车辆均有运用,普通25型铁路客车主要采用碳钢材料,碳纤维正初步运用于城市轨道交通车辆和磁悬浮列车。与不锈钢、铝合金、碳纤维材质相比,碳钢材质属于早期运用于轨道交通车辆车体的材料,有着较低的价格。但是,也存在着较低的表面化学稳定性能、耐腐蚀性能,在大气环境中容易产生电化学腐蚀,影响到车辆的使用寿命和安全性能。这对于运营企业和车辆厂修企业的经济效益和安全生产都带来了巨大的影响。因此,本文根据厂修客车车体腐蚀现状,将从客车车体钢结构腐蚀的现状、腐蚀影响因素及改进措施方面进行分析和探讨。

## 1 铁路客车车体腐蚀现状

针对公司入厂厂修现场正在拆解的的客车车辆,进行查看,发现车体腐蚀主要分布在侧墙车窗下沿、盥洗间和卫生间的地板以及其下方的悬挂部件、通过台区域地板、车门门框四周及门槛、端墙外侧安装座、车端墙板下沿等区域、底架边梁与侧墙连接区域的侧墙板、靠近盥洗室和卫生间处的侧墙及立柱下部等区域。

客车车体钢结构腐蚀,会使碳钢车体、部件受到损伤、变薄,甚至穿孔,降低车体部件承载的力学强度。车顶腐蚀穿透后会造车内漏雨。腐蚀还增大了检修工作量和材料消耗,增加了车辆检修费用,成本攀升。在检修钢结构时,为最大限度降低腐蚀的影响,不得已部分部件采用加大钢板板厚或型材断面,结果既多消耗了金属,又增加了车辆自重<sup>[1]</sup>。

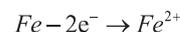
## 2 腐蚀影响因素及改进措施

### 2.1 材料选择

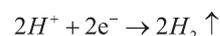
从调研车辆来看,厕洗间、通过台等部位易积水,外墙板、窗边等长时间受雨水冲淋,防腐涂层长期被水浸淋后容易起泡脱落,进而失去防腐效果,并且碳钢材质耐腐蚀性能低,遇水、氧气后容易产生电化学腐蚀,降低构件强度,引起安全隐患。

根据碳钢表面水液体薄膜的酸碱性不同,碳钢表面的电化学腐蚀分为析氢腐蚀和吸氧腐蚀,析氢腐蚀原理,当钢铁表面的电解质溶液酸性较强时,液体中 $H^+$ 、 $O_2$ 等介质通过车体涂层脱落处到达涂层界面,进行原电池反应,过程中有氢气放出。反应过程如下:

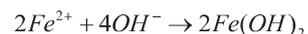
负极出现金属铁溶解反应:



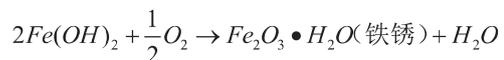
正极出现析氢反应:



溶解后的 $Fe^{2+}$ 与水中 $OH^-$ 的结合为 $Fe(OH)_2$ :



$Fe(OH)_2$ 接着氧化为氧化铁,就是我们常说的铁锈:

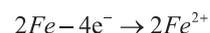


当钢铁表面的电解质溶液呈中性或碱性较强时,主要发生吸氧腐蚀, $H_2O$ 、 $O_2$ 等介质通过涂层脱落处到达底材涂层界面,形成腐蚀原电池。

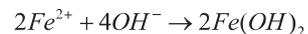
正极将出现耗氧反应:



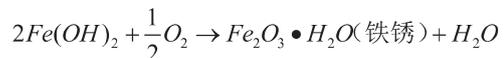
对应的负极将出现金属铁溶解反应:



溶解后的 $Fe^{2+}$ 与 $OH^-$ 结合为 $Fe(OH)_2$ :



$Fe(OH)_2$ 接着氧化为氧化铁,作为腐蚀产物:



积水、雨水、空气中 $H_2O$ 、 $O_2$ 、 $H^+$ 等介质不断地渗透

到涂层界面,进而富集,发生化学反应,在金属涂层界面处聚集起大量的腐蚀产物,这些腐蚀产物会使涂层与金属之间的附着力下降,最终导致涂层鼓泡、剥离、剥落<sup>[2]</sup>。

为了降低车辆车体及各部件的腐蚀,延长车辆车体使用寿命,在车辆车体检修时,我们改进了车体钢结构易腐蚀部位的金属材质,采用防腐性能更好的耐候钢板材质,部分易腐蚀部位采用不锈钢材质更新,比如厕所排便导筒安装座入厂检修车辆若为非不锈钢材质的,要更换为不锈钢材质。所有来车的接地座为非不锈钢材质的,全部更新为不锈钢接地座。所有非不锈钢排水导筒安装座(包括带法兰结构和不带法兰的直排结构),全部更新为耐候钢板材质。通过车辆运行情况表明改进材质对钢结构车体防腐性能的提高有很大的帮助。

## 2.2 设计结构

在车体结构中存在搭接结构,比如侧墙板与底架边梁就是搭接结构,除此之外还有封闭、半封闭结构。侧墙板与底架边梁、端墙板与缓冲梁连接形式为搭接,在搭接处存在缝隙。侧墙和端墙上的立柱和纵梁与墙板焊接后会形成封闭腔体,厂修时,腔体内部的锈蚀情况、夹杂情况等无法识别到。并且在车内防腐涂装时对这些搭接缝隙和封闭腔体进行施工难度大,防腐效果较弱。车辆长期运营过程中这种结构容易堆积灰尘、杂物、水汽,并且清理难度大,灰尘、水汽等腐蚀介质在碳钢金属表面渗透,最终产生电化学腐蚀。针对车辆车体这种腐蚀状况,进行优化设计结构,具体如下:

不合理搭接结构尽可能取消。以前25G型车辆侧墙与底架边梁连接采用搭接结构。搭接面处,存在缝隙,与外界大气相通,并且此处焊缝及搭接面易积灰积水,造成严重腐蚀,因此入厂检修时改进此种结构,墙板截换时,在墙板与底架边梁焊接前,采用侧墙板与底架边梁刨槽在槽内对接满焊,墙板内侧与边梁也采用满焊焊接,减少积水及灰尘等杂物进入缝隙中对墙板造成腐蚀的可能性,减少该区域的腐蚀<sup>[3]</sup>。

车体墙板与车内帽型立柱进行塞焊,会形成透气的封闭结构,后期无法对起内部进行防腐。在厂修时将截换墙板背后的侧柱截面由帽型改为乙型。乙型侧柱与墙板焊接后,结构相对简单,其表面处理和防腐涂装可以方便地进行,实现侧墙骨架的整体涂装防护,同时,也避免积水在根部聚集,车辆车体防腐性能进一步提高。

为了避免车辆厕所、盥洗间等下方出现由于地板积水导致或加速该地板区域和附近钢结构部件腐蚀的情况,我们在此区域设置了排水孔或排水槽,进行排水。

对于部分设计结构中的封闭腔、搭接焊缝无法改变

的情况,为了避免此种内腔和搭接面由于无法进行涂装防腐而产生腐蚀,要求在焊接封闭前对内部和搭接面进行预涂刷防锈漆等防腐处理,并对焊缝周边搭接处涂打密封胶进行密封间隙,阻止水汽、氧气等腐蚀介质的进入,从而避免内腔和搭接面内部遭受腐蚀。

## 2.3 涂装防腐

### 2.3.1 涂装前车体表面工艺

车辆解体后,对车辆车体进行喷丸除锈,此过程对涂装体系的附着力有着重要的影响。车辆车体经喷丸除锈后会车体基材形成大量的细小的尖峰,这种细小的尖峰可以增强范德华力和机械钉扎效果,增大油漆涂料在车体基材表面的附着力。从厂修入修的车辆来看,车体一些部位存在腐蚀,油漆涂料脱落,仔细分析发现,很可能和前次厂修时喷丸除锈不彻底有较大关系,喷丸除锈不彻底、补涂底漆不及时等都有将降低涂层附着力,降低涂层对基材的防腐保护能力。

车辆在车体检修前须进行预处理,对车体全身采用喷丸和除锈预处理,喷丸除锈必须要彻底,除锈、打磨后在4小时内预涂防锈底漆,对车体基材进行保护,防止发生再次锈蚀。

### 2.3.2 涂装过程管控

目前厂修车辆使用涂料采用“双组分环氧树脂防锈漆+双组分不饱和聚酯腻子+双组分丙烯酸聚氨酯中涂层+丙烯酸聚氨酯底色漆+丙烯酸聚氨酯清漆”,内部采用“双组分环氧底漆+双组分环氧重防腐涂料+水性阻尼涂料”的涂装体系,有效保护车体基材的抗腐蚀能力。在涂料施工作业过程严格按照工艺文件要求进行,按比例调配涂料、固化剂的配比,避免不准确的配比对涂膜致密度、涂膜附着力产生不良影响,降低涂层保护基材的寿命。腻子涂刮不能过厚、油漆完全干燥后才可进行下层油漆。否则,会致使涂料涂层在基材表面的附着力低,同样会降低车体表面涂装防腐寿命。

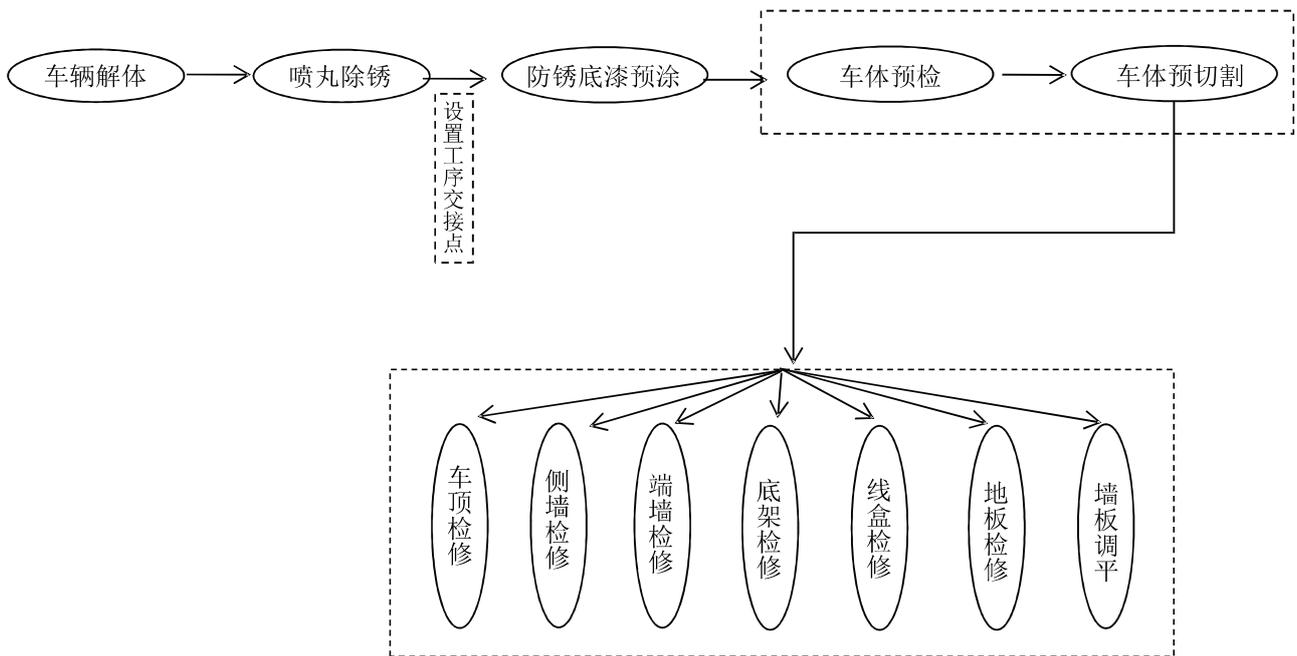
环境的温度和湿度对油漆涂料各组分的成膜化学反应影响较大,进而对涂料涂膜的致密度及其网状结构也有影响。因此,在进行车辆油漆涂装作业时,应对环境的温度和湿度进行实时监控,确保在工艺要求范围内。涂装是特殊过程工艺,通过控制涂装中间过程来保证涂装最终质量,除了对环境温度和湿度管控外,还需要对其他施工作业参数进行监控,比如工件表面清洁度、粗糙度、施工黏度、干燥温度、干燥时间、涂层厚度等。另外,油漆涂料本身的质量检验检测,作业人员的技能水平、工艺装备等进行严格管控,从而保证最终的涂装效果。随着技术的进步,可以投入建立喷漆房、烘房、

涂装流水线，自动喷涂设备、静电喷涂等新型工艺设备，大幅度提升涂装效率及涂装质量<sup>[4]</sup>。

2.4 进一步优化检修工序，提升检修质量

改善前的作业模式为入修客车车辆解体、对车体喷丸除锈、喷涂防锈底漆、进入车体检修工序，工序组织结构如图1所示，这种结构存在质量提升瓶颈。为了进一步提升产品检修质量，进行优化检修工序结构：一是组建车体检修预检组、预切割组，专业负责预检、预切割。按最小作业单元做细做实产品质量，质量责任进一步明确。二是在喷丸除锈完成后，设置工序交接点。要求

上下工序交接确认喷丸除锈彻底，且符合要求，才可进行下一道工序，即防锈底漆的喷涂。三是对车体检修及相关工序进行工序优化，按照最小作业单元将之前的两个平行车体检修班组合并拆分为7个班组，即车顶检修组、侧墙检修组、端墙检修组、底架检修组、线盒检修组、地板检修组、墙板调平组，进行专业化检修作业。四是检修作业模式由“车不动人动”改变为“车动人不动”，形成流水线检修流转。优化后的检修工序（如下图），趋于专一化、精细化、可追溯化、程序化检修，从管理上提高喷丸除锈、车体检修质量，减少车体腐蚀率。



车体检修及相关工序优化后的组织结构图（虚线框内区域为优化部分）

2.5 车辆运行环境

2.5.1 自然环境的影响

中国的气候复杂多样，铁路车辆所属路局不同，所处地理环境不同，铁路客车运行里程长、频次多，车辆运行跨区域大、应用在各种自然条件下。首先，车体腐蚀的程度受到温度、湿度的影响较大。南方局段、北方局段车辆都有腐蚀，但是南方局段和较潮湿闷热区域车辆腐蚀要严重一些，这主要是因为高温湿热会加速腐蚀。大气中的污染物也会加重对车体的腐蚀程度，沿海地区空气中盐分浓度高，含有易侵蚀碳钢车体的氯、氟等离子，凝结成的水滴易吸收硫离子，粘附在车体上易导致腐蚀。高原地区运行的车辆受较强的紫外线，强有力的风沙侵蚀会导致腐蚀。

2.5.2 车辆维护的影响

铁路客车是运输铁路旅客的重要技术装备，为使其

在运营中保持性能良好、安全可靠，须定期检修。并且，根据铁道客车车辆厂修规程要求，车体使用寿命为30年。在这30年中，车辆会经过数次的厂修、段修，会对涂膜破损处进行修补，这就会直接影响到车辆车体抗腐蚀性能。段修时，加强工艺和质量控制，对“人、机、料、法、环、测”六要素把控到位，以保证涂层使用寿命，从而降低车辆的维护成本。另外，在车辆维护清晰过程中避免使用强碱性和强酸性液体洗车，应采用中性洗涤剂进行清洗。否则，会导致车辆车体漆膜的光泽度过早降低、老化、腐蚀。

结语

通过对铁路客车车体腐蚀的现状及原理分析，提出改进车体及部件材质、优化设计结构、改进涂装体系和涂装工艺、优化厂修检修工序组织管理。目前，这些措施已经实施落地，出厂的铁路客车车体防腐质量得到了很大的提

升,涂层寿命也延长很多,降低车辆的检修维护成本,也避免了运营过程中由于腐蚀产生的安全隐患。

#### 参考文献

[1]李康,睦军燕,姜艳林,等.铁路客车车体腐蚀及对策[J].现代涂料与涂装,2017,20(11):3.

[2]张玉成.客车车体钢结构腐蚀原因分析与防止措施

[J].铁道车辆,2004,42(10):38-39.

[3]王钦鹏.铁路客车车体腐蚀及对策[J].中国战略新兴产业,2019,000(2019年32期):240.

[4]中国铁路总公司.铁路客车厂修规程[M].北京:中国铁道出版社,2022.