

基于安全风险评估的城市轨道交通车辆 车体裂纹管控策略研究

丁亚琦

(上海地铁维护保障有限公司车辆分公司, 200235, 上海//高级工程师)

摘 要 为降低车体裂纹给城市轨道交通列车带来的运营风险,以完善列车运营风险管控方案,杜绝因车体裂纹导致的城市轨道交通运营事故发生,上海城市轨道交通自 2015 年发现首列车车体裂纹以来,结合现场车体裂纹检修情况,对已发现的车体裂纹数量及形式进行了梳理。基于 LS 法(风险矩阵法)-FAHP(模糊层次分析)模型对存在车体裂纹的列车进行了安全风险评估,针对裂纹的形成原因及管控措施进行了分析。依据风险因素制定了完整的管控策略,确定了详细的修复、验收及复查机制,并从列车的例外放行、后续跟踪、新车采购及监造等方面,对例外放行车体裂纹长度、裂纹拓展检查、跟踪检修频次、无损探伤检查等提出了相应要求。通过在多条线路中的实际应用,结合相应的检查结果,验证了车体裂纹管控策略在有效满足城市轨道交通正线基本运能的同时,也保证了列车安全运营。结果表明:基于安全风险评估的车辆车体裂纹管控策略能够有效提高检修人员发现与处置车体裂纹故障的能力,进一步保障了城市轨道交通线路运营列车安全及正线服务水平。

关键词 城市轨道交通;车辆;车体裂纹;安全风险评估;管控策略

中图分类号 U279

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.06.034

Management and Control Strategy of Urban Rail Transit Vehicle Carbody Cracks Based on Safety Risk Assessment

DING Yaqi

Abstract In order to reduce the operation risks brought by carbody cracks on urban rail transit train, to improve the train operation risk management and control scheme, the occurrence of urban rail transit operation accidents caused by carbody cracks must be eliminated. Since the discovery of carbody cracks on the first train of Shanghai urban rail transit in 2015, based on the on-site inspection and repair of the discovered carbody cracks, the number and form of the carbody cracks are sorted. Based on LS (risk matrix)-FAHP (fuzzy analytic hierarchy process) model, safety risk assessment is conducted on

trains with carbody cracks and the crack formation causes and control measures are analyzed. A complete management and control strategy is developed based on risk factors, and detailed repair, acceptance and review mechanisms are determined. In terms of aspects such as exceptional release, follow-up tracking, new vehicle procurement, and supervision of train manufacturing, requirements are proposed correspondingly to carbody crack length of exceptional release, crack expansion inspection, tracking maintenance frequency, non-destructive crack detection. Through practical application on multiple lines and corresponding inspection results, it has been verified that the carbody crack management and control strategy not only effectively meets the basic transportation capacity of urban rail transit main lines, but also ensures the safe operation of the train. Results show that the above strategy based on safety risk assessment can effectively improve the ability of maintenance personnel to detect and handle vehicle crack faults, further ensuring the train operation safety on urban rail transit lines and the service level of main line.

Key words urban rail transit; vehicle; carbody crack; safety risk assessment; management and control strategy

Author's address Vehicle Branch of Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

车体作为城市轨道交通车辆最关键的组成部分之一,其良好的状态对列车安全运营至关重要。它是容纳乘客和司机驾驶(对于有司机室的车辆)的地方,又是安装与连接其他设备和部件的基础;同时承受着因各种原因产生的垂向力、横向力以及走行部传来的振动和冲击等,复杂的应力环境对车体存在着极大的影响。因此,对车体的检查与维护成为了城市轨道交通车辆日常检修的关键内容。

2015 年 9 月 15 日,上海轨道交通 1 号线(以下简称“1 号线”)检修人员在列车例行检查过程中首次发现车体牵引梁加强筋焊缝裂纹,并在此后加强

了对上海轨道交通全线网运营列车的车体检查。截至2021年5月,陆续发现1、2、7、9号线等4条线路部分车型的车体存在裂纹(见图1),并已完成修复。统计发现车体裂纹主要发生在车体牵引梁-枕梁连接区域、车钩安装座、空簧及抗侧滚扭杆安装座等部位^[1],具有数量多、范围广、隐蔽性强、安全隐患大的特点。

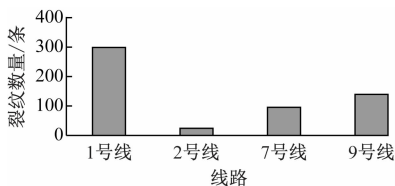


图1 车体裂纹发现数量

Fig. 1 Carbody crack discovery quantity

为了确保上海轨道交通超大规模网络运营安全,本文结合LS法(风险矩阵法)-FAHP(模糊层次分析)模型,对存在车体裂纹的列车进行了全面的安全风险评估,并在此基础上制定了一系列针对性的风险管控方案,在确保列车与乘客绝对安全的前提下,维持全线路基本运能,以保证市民正常出行。

1 城市轨道交通安全风险评估

为保证城市轨道交通线路的基本运能与行车安全,对存在车体裂纹的列车采用LS法-FAHP模型进行了风险评估,并确定了影响安全运营的因素,从而对数量庞大的车体裂纹做到有轻重缓急的修复以及完善的管理控制。

安全风险是指可能导致行车、客运事故发生的不安全因素,包括人的不安全行为、设备设施的不安全状态及管理缺陷等^[2]。LS法是指通过确定风险点的风险可能性和风险严重程度,对照风险等级划分矩阵表确定风险及其重要性等级。FAHP能够在风险评估的过程中,对每个风险点合理地增加权重,从而达到定性且定量地评估风险点的目的^[3]。采用两者相结合的LS法-FAHP模型,能够从人工、设备、环境等多个角度突出重点风险因素,确认安全事故预防重点,为城市轨道交通列车安全管控措施的制定提供依据。

通过LS法-FAHP模型研究发现:影响列车运营的十大安全风险因素依次是违规操作、列车设计缺陷、设备损坏、质量缺陷、备品备件不足、工艺文件出错、整改不彻底、高温潮湿环境、验收方法不当及监造过程不规范。

2 车体裂纹管控策略

基于本文研究得出的影响列车运营安全的风险因素,针对车体裂纹,通过与车辆设计厂家进一步讨论,最终制定了基于安全风险评估的列车管控措施与流程,如图2所示。图2中,备品备件不足、高温潮湿环境在车体裂纹的管控中不涉及,故不做考虑。车体裂纹管控流程如图3所示。

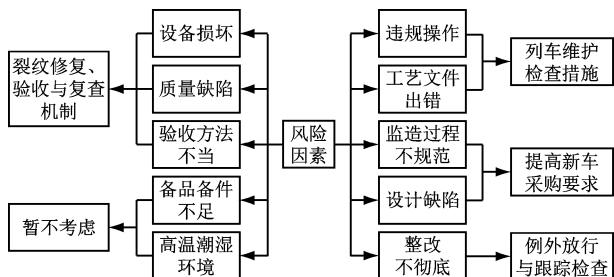


图2 基于安全风险评估的列车管控措施与流程

Fig. 2 Train management control measures and process based on safety risk assessment

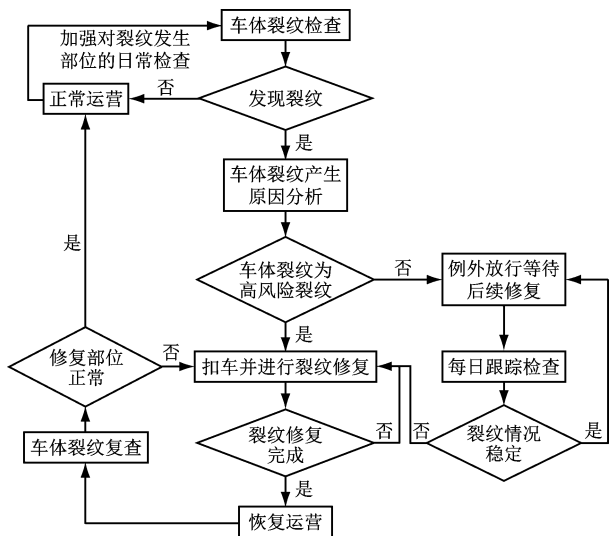


图3 车体裂纹管控流程

Fig. 3 Management control process of carbody crack

2.1 修复、验收与复查机制

针对设备损坏、质量缺陷及验收方法不当等3个影响运营安全的因素,建立车体裂纹修复、验收与复查机制,即针对所有类型的裂纹形式,均应由专业机构或原厂设计方出具相应的裂纹修复方案,并在方案通过相关评审后具体实施。同时制定裂纹修复后的验收标准与复查机制,确保车体裂纹及时有效修复且修复质量满足设计要求。

基于制定的修复方案和验收标准进行裂纹的

修复及验收。针对 1、2、7、9 号线等 4 条线路的不同类型裂纹,采取的修复及验收方案均有差异。

复查是指对于已经完成车体裂纹修复的列车,需要在其剩余的周期生命里,对列车车体上已发现裂纹的部位进行规律性检查。例如,对于 7 号线及 9 号线,列车的牵引梁连接处背部筋板裂纹在修复后,需要在恢复运营 30 d 后进行目测检查,每 3 个月进行一次 UT(超声)检测,持续检查两年后,可以考虑降低检查频率。车体裂纹修复后的复查周期均得到各专业公司的充分评估,以最大限度地确认修复效果,从而保障行车安全。

2.2 例外放行与跟踪检查

针对整改不彻底而影响运营安全的因素,对列车采取了严格的例外放行及扣车标准,同时要求对例外放行列车进行持续跟踪检查,确保其状态在可控范围内,防止漏检现象发生。对于不同类型的车体裂纹,相应的要求与标准也有所不同。以 1 号线牵引梁-枕梁区域裂纹为例,可对存在以下两种裂纹的列车进行跟踪运营,且须在裂纹两端做好标记。

1) 对于纵向单一或累计长度小于 120 mm 的裂纹;

2) 靠近枕梁横向焊缝裂纹的单一或累计长度不超过 200 mm 的裂纹。

持续跟踪检查包括对裂纹进行每天目测检查以及每月一次 PT(渗透)探伤,以保证对裂纹延伸情况的实时跟踪。由专人每日跟踪检查裂纹是否延伸超出两端的红色标记,并记录检查结果。每月在均衡修中由专人对列车出现裂纹的位置进行检查,检查其是否延伸出两端的红色标记,并在检查完毕后对裂纹重新进行探伤及测量,且重新在裂纹两端设置红线标记。每日由质检专员对前一日裂纹的跟踪记录表进行检查及确认。由维修部门车体裂纹专项负责人对跟踪检查记录表进行汇总,如车体裂纹有扩展应立即扣车停止运营,以完成裂纹修复。

2.3 列车维护检查措施

针对违规操作、工艺文件出错这两种影响运营安全的因素,在日常维护检查和架大修规程中,增加对已发现车体裂纹部位的检查,以保证车体裂纹能被及时发现及处理。

所属维修线路需按照日检、均衡修作业规程中的规定,对裂纹易发生位置进行重点检查,确保车体状态良好。各日检班组以 8 d 为一轮次,由专人

对班组承包列车进行车体裂纹专项检查并记录检查结果。同时每月在均衡修中对未发现过车体裂纹的车辆,于相关区域进行清洁及目测检查;在架大修作业时对架大修承揽商提出关于车体裂纹的进一步检查要求。架大修规程明确规定,承揽商需按照架大修作业规程对车体裂纹部位进行探伤检查,确保车体无裂纹。

2.4 新车设计与监造要求

针对列车设计缺陷、监造过程不规范这两种影响运营安全的因素,根据裂纹产生的原因,从列车设计源头抓起,对新车设计与监造提出了进一步的要求。

新车车体设计时,应严格按照技术规格书要求,明确车体的功能,确定车体的总体要求、结构布置、材料要求、结构强度要求、车体焊接要求、车体的尺寸及性能指标等。所有参与车体焊接工作的焊工应通过资格检查,车体结构件的所有关键焊缝均需经过 X 射线探伤或超声波探伤鉴定,检查质量水平应满足或超过 EN 462—1994《无损探伤—射线照相成像质量—第 1 部分:成像质量指示器(导线型)—成像质量值的确定》或其他等同国际标准的要求,确保车体的强度满足设计要求。

同时,新车首检及监造时需进一步做好以下工作:

1) 对新车进行首检时,需对所有关键焊缝进行 X 射线或超声波或磁粉探伤检查,从批量产品中抽检 10%,如发现缺陷,则对该批产品进行 100% 检查。

2) 驻厂监造人员需落实质量监督职责,全方位监督车体制造、组装、焊接过程,一旦发现尺寸、工艺要求不达标的情况,需及时进行反馈,尤其是对关键部位的制造过程应作全覆盖检查。

3 车体裂纹管控策略验证

自大规模发现各类型车体裂纹以来,上海申通地铁集团有限公司检修部门及时采取了上述车体裂纹管控措施。同时,车辆分公司要求检修人员实时统计车体裂纹的发现与修复情况,关注裂纹修复后的列车运行状态,借此对管控措施的效果进行量化验证。以 1 号线为例,具体情况如下。

3.1 车体裂纹发现与修复概况

1 号线列车车体裂纹发现与修复数量见图 4。由图 4 可知:裂纹的发现数量在 2016 年第一季度呈

现爆发式增长,这是由于在新的管控措施实行之后,经过短时间熟悉,一线检修人员对车体裂纹的检查水平、敏感程度都有了大幅度的提升,车体裂纹检修效率也得到大幅度提高;后续的检修过程中,车体裂纹的发现数量始终维持在一个较为稳定的变化范围内,这表明在现有管控方案施行后,大规模的车体裂纹引发线路供车不足的情况能够有效避免。

结合图4还可知:在针对性的管控措施实行下,车体裂纹的修复效率也在稳步提高;2019年第二季度以来,每季度车体裂纹修复数量基本与发现数量持平,有效保证了1号线可用车数量与基本运能。

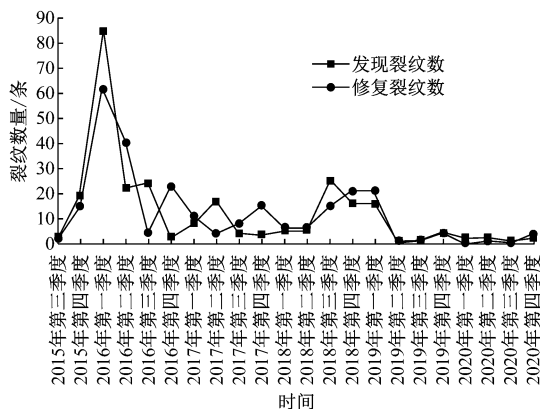


图4 1号线列车车体裂纹发现与修复数量曲线

Fig. 4 Curve of Line 1 train carbody crack discovery and repair quantities

3.2 车体裂纹复发率

对于修复完成的裂纹,始终应保持高度的关注,严格根据上述管控方案进行规律性复查与日常检查。在对已修复车体裂纹的检查中发现,截至2021年5月,1号线修复车体裂纹共计300条,其中包含两例反复裂纹,分别为抗侧滚扭杆上支座裂纹与空簧筋板裂纹。对其分析评估后均确认为低风

险裂纹,并安排了后续进一步的修复工作。根据统计结果可知,1号线车体裂纹修复后的复发率为0.66%,复发率较低,保证了列车的安全运营,也从一定程度上说明上述管控措施起到了较好的应用效果。

4 结语

1) 为了保证城市轨道交通正线基本运能,在对车体裂纹进行风险评估后,需要对列车进行分级修复和管控。

2) 车体裂纹管控措施主要包括修复、验收与复查机制,例外放行与跟踪检查,列车维护检查,以及新车设计与监造要求等。

3) 在车体裂纹管控措施实施期间,一线检修人员对于车体裂纹的检修水平有了大幅度提升,裂纹修复能力基本满足供车需求,裂纹复发概率较低,保证了列车运营安全以及各线路的供车需求。

参考文献

- [1] 王生华. 上海轨道交通1号线列车车体裂纹原因分析及解决措施[J]. 铁道车辆, 2018, 56(3): 41.
WANG Shenghua. Analysis of causes to cracking in carbody of trains for Shanghai rail traffic No. 1 Line and measures for solution [J]. Rolling Stock, 2018, 56(3): 41.
- [2] 徐叶鹏. 铁路运输安全风险管控及评价体系构建[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(11): 105.
XU Yepeng. A construction of risk control and evaluation system for railway transport safety [J]. Railway Transport and Economy, 2019, 41(11): 105.
- [3] 姚海星. 基于LEC-FAHP法的地铁站深基坑施工安全风险评估[J]. 山东交通学院学报, 2020, 28(3): 61.
YAO Haixing. Safety risk assessment of deep pit construction in metro station based on LEC-FAHP method [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2020, 28(3): 61.

(收稿日期:2021-06-01)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com