

作业条件危险性评价法在车辆检修作业风险评估中的应用*

贾文峥¹ 刘悦¹ 王军² 白雪翎²

(1. 交通运输部科学研究院, 100029, 北京; 2. 长春市轨道交通集团有限公司, 130022, 长春//第一作者, 副研究员)

摘要 针对车辆检修作业风险管理问题, 论述利用已有故障信息和维修经验进行风险评价的过程。利用作业条件危险性评价法, 对车辆检修作业风险进行分析和评价, 对发生事故/事件的可能性、暴露于危险环境的频繁程度和事故/事件所产生的后果3个参数, 分别制定等级划分和分值设置表, 并在此基础上形成事故/事件的风险值评价表。以长春轻轨3号线某次列车分离事故为例进行风险识别和风险分析, 并制定相关管控措施。作业条件危险性评价法可用于数据不充分条件下车辆检修作业初步风险分析, 评价结果可作为开展故障诊断和调整维修规程的技术依据, 但需要关注评估人员经验不足等因素可能带来的偏差。

关键词 城市轨道交通; 车辆检修; 作业条件危险性评价法; 风险评估

中图分类号 U279.2

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.06.032

Application of LEC Method in Risk Assessment for Rolling Stock Maintenance

JIA Wenzheng, LIU Yue, WANG Jun, BAI Xueling

Abstract Aiming at the risk management issues on rolling stock maintenance, the process of risk evaluation by the fault data and maintenance experiences are discussed. The risk of maintenance operation is analyzed and evaluated by LEC (likelihood, exposure, consequence) method from aspects of likelihood of accident, exposure of staff in dangerous environment and the consequences, the grade classification and the score setting table are formulated respectively. The risk identification and risk analysis based on a vehicle accident on Changchun LRT Line 3 are analyzed, and corresponding control measurements are produced. The results show that LEC method is suitable for the preliminary risk analysis of rolling stock maintenance under the condition of insufficient data, and the evaluation results can be used to make decisions for accurate fault diagnosis and adjustment of maintenance procedures. Meanwhile, issues on probable errors caused by the

inexperienced assessors require special attentions.

Key words urban rail transit; rolling stock maintenance; LEC method; risk assessment

First-author's address China Academy of Transportation Sciences, 100029, Beijing, China

EN 50126《铁路应用: 可靠性、可用性、可维护性和安全性(RAMS)的技术规范和证明》规定了系统安全生命周期各阶段在设计和技术实现方面对RAMS的管理要求。轨道交通车辆是保障行车安全的重要设备。车辆故障可能导致晚点、清客甚至行车事故, 进而影响客运服务质量。保持状态良好、运行安全可靠是车辆制造和运用检修工作的目标。文献[1]介绍了可靠性管理对车辆质量控制的作用, 阐述了车辆设计和制造阶段的可靠性工作, 提出了维护阶段基于可靠性的维修模式。文献[2]对车辆维修制度进行了调查分析, 提出了动态管理流程。文献[3]利用故障树对车辆维修安全故障因素进行了分析, 探讨了风险累积效应问题。文献[4]基于上海轨道交通运营实践, 提出了关键行车设备维护中基于测量测试分析的改善性预修模式、基于评估的预知性维修体系和综合化设备管理等理念。

本文依托吉林省交通运输科技项目, 针对长春轨道交通车辆检修作业风险管理存在的问题, 探讨了作业条件危险性评价法的应用情况, 并结合案例对该方法在评价过程中的不确定性进行分析。

1 车辆检修作业评估的重要性

利用先进的监测和检测手段, 通过对数据收集、整理和挖掘, 分析设备状态及变化规律, 改善设备检修管理, 是轨道交通行业设备维护的热点。轨道交通车辆检修作业风险评估是在积累故障数据和维修经

* 吉林省交通运输科技项目(2015-1-20); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(20164803)

验的基础上,对车辆检修作业进行风险识别,根据经验对风险严重程度进行估算,并结合实际条件提出预防措施。因此,轨道交通车辆检修作业风险评估至关重要。根据风险评估结果,可提出获取充分数据的监测技术需求,分析部件失效模型,开发故障诊断技术,为根据设备状态安排检修创造实施条件。

2 作业条件危险性评价法

作业条件危险性评价法,即 LEC 法,是利用发生事故/事件的可能性(Likelihood)、暴露于危险环境的频繁程度(Exposure)和事故/事件所产生的后果(Consequence)3个参数,对危险和有害因素进行风险评价的方法^[5]。我国学者^[6-8]对该方法进行了实践,在矿产开挖、建筑施工、钻井作业等危险作业领域予以应用,用于评价矿山开挖、建筑施工模板制作、固井作业等方面的作业风险。近年来,该方法开始应用于城市轨道交通行业,主要用于地铁隧道盾构施工作业风险评估等领域^[9]。

根据经验对可能性、暴露频率和后果进行赋值,用这3个参数的乘积来评价风险的严重程度,即:

$$D = L \times E \times C \quad (1)$$

式中:

D ——风险值;

L ——发生事故/事件的可能性;

E ——暴露于危险环境的频繁程度;

C ——发生事故/事件产生的后果。

可以看出, D 值越大,表示风险严重程度越高,需要增加相应的防护手段来降低事故/事件发生的可能性,或在事故/事件发生后采取有效手段控制可能导致的后果。

文献^[5]基于经验给出了 L 、 E 、 C 的等级划分和分值设置的推荐原则。表1为事故/事件发生的可能性 L 取值表,取值从0.1到10,划分为7个等级,并将能够完全预料会发生事故/事件的分值规定为10,将完全出乎意料之外、极少可能发生的事故/事件的分值规定为0.1。表2为暴露于危险环境的频繁程度 E 取值表,取值从0.5到10,划分为6个等级,连续暴露的分值为10,非常罕见的暴露分值为0.5。表3为发生事故/事件产生的后果 C 取值,取值从1到100,划分为6个等级,重大灾难的事故/事件取值为100,仅需要引起注意的事故/事件取值为1。

采用 LEC 法进行风险评估时,普遍采用表4中 D 值的划分方法:将 D 值小于20的风险规定为可

表1 发生事故/事件的可能性 L 取值

| 风险等级 | L 取值 | 发生事故/事件的可能性 |
|------|--------|-------------|
| 1 | 10.0 | 完全可以预料 |
| 2 | 6.0 | 相当可能 |
| 3 | 3.0 | 可能,但不经常 |
| 4 | 1.0 | 可能性小,完全是意外 |
| 5 | 0.5 | 很不可能,可以设想 |
| 6 | 0.2 | 极不可能 |
| 7 | 0.1 | 实际不可能 |

表2 暴露于危险环境的频繁程度 E 取值

| 风险等级 | E 取值 | 暴露于危险环境的频繁程度 |
|------|--------|--------------|
| 1 | 10.0 | 连续暴露 |
| 2 | 6.0 | 每天工作时间暴露 |
| 3 | 3.0 | 每周一次,或偶然暴露 |
| 4 | 2.0 | 每月一次暴露 |
| 5 | 1.0 | 每年仅几次暴露 |
| 6 | 0.5 | 非常罕见的暴露 |

表3 发生事故/事件产生的后果 C 取值

| 风险等级 | C 取值 | 发生事故/事件可能造成的后果 |
|------|--------|----------------------|
| 1 | 100 | 重大灾难,许多人死亡,或造成巨大财产损失 |
| 2 | 40 | 灾难,数人死亡,或造成很大财产损失 |
| 3 | 15 | 非常严重,一人死亡,或造成一定的财产损失 |
| 4 | 7 | 严重,重伤,或较小的财产 |
| 5 | 3 | 重大,致残,或很小的财产损失 |
| 6 | 1 | 引起注意,不利于基本的安全卫生要求 |

接受风险;将 D 值大于160的风险规定为不可接受风险,要立即整改;当 D 值大于320时表明极其危险,不能继续作业。研究^[5]表明,这种基于经验的划分方式是相对保守的,这样可以避免风险被忽略。

表4 风险值 D 取值

| 风险等级 | D 取值 | 危险危害程度 |
|------|-------------------|--------------------|
| 1 | >320 | 极其危险,不能继续作业,不可接受风险 |
| 2 | 160< \cdot ≤320 | 高度危险,要立即整改,不可接受风险 |
| 3 | 70< \cdot ≤160 | 显著危险,需要整改,不希望风险 |
| 4 | 20≤ \cdot ≤70 | 一般危险,需要注意,可容忍风险 |
| 5 | <20 | 稍有危险,可接受风险 |

3 案例分析

长春轻轨3、4号线采用70%低地板C型车。3号线2017年日均客运量14.4万人次,配置了56列列车,分别在2002年投入10列,2004年增投入1列,2006年增投入12列,2010年增投入33列。截至2018年4月,3号线共配备了列车驾驶员150名。4号线2017年日均客运量6.4万人次,配置21列车,分别在2012年投入7列,2017年增投入14列。截至2018年4月共计配备列车驾驶员120余名。按照车辆维修规程,3、4号线20余列列车已完成架修。

2014年起,为进一步满足运营需要,长春轨道交通集团开始进行短编组列车重联改造工作,即通过车钩将两组车辆连接,将车辆重联端插板式救援车钩更换为密接棒式车钩。2016年,轻轨3号线某短编组列车由于重联车钩螺纹锈蚀、松动,导致两组车辆不能有效连接,发生分离事件。事件发生后车辆由工程车救援回库,未造成人员伤亡。

3.1 危险和有害因素分类与作业活动划分

根据城市轨道交通运营特性以及设施设备运行和检修经验,为使生产过程危险和有害因素分类在实际操作中更有针对性,根据国家标准 GB/T 13861—2009《生产过程危险和有害因素分类与代码》,分别从人、物、环境和管理等4方面提出长春轨道交通危险和有害因素分类表,包含12类二级代码和54类三级代码,具体见表5。

表5 长春市轨道交通危险和有害因素分类表

| 一级代码 | 二级代码 | 三级代码 |
|-----------|------------------|--|
| A 人的因素 | A1 心理、生理性危险和有害因素 | A1-1 负荷超限、A1-2 健康异常、A1-3 禁忌作业、A1-4 心理异常、A1-5 识别功能缺陷 |
| | A2 行为性危险和有害因素 | A2-1 指挥错误、A2-2 操作错误、A2-3 监护失误、A2-4 技能不足 |
| B 物的因素 | B1 物理性危险和有害因素 | B1-1 有害物质、B1-2 设备缺陷、B1-3 设备故障、B1-4 超负荷、B1-5 结构缺陷、B1-6 其他结构危害、B1-7 防护缺陷、B1-8 电伤害、B1-9 噪声、B1-10 振动、B1-11 辐射、B1-12 有害光照、B1-13 标志缺陷、B1-14 其他 |
| | B2 化学性危险和有害因素 | B2-1 有毒有害气体、B2-2 具有腐蚀性的化学品、B2-3 巨大能量释放的化学品、B2-4 其他 |
| C 环境因素 | C1 自然环境 | C1-1 大风、C1-2 高温、C1-3 雷电、C1-4 大雾、C1-5 暴雨、C1-6 洪水、C1-7 暴雪、C1-8 地质灾害、C1-9 冰雹 |
| | C2 作业不良环境 | C2-1 空气不良、C2-2 采光照度不良、C2-3 温度及湿度不适、C2-4 粉尘过大、C2-5 场所杂乱、C2-6 地面湿滑、C2-7 作业场所建筑环境缺陷 |
| | C3 外界不良环境 | C3-1 外界物体侵限、C3-2 毗邻重大危险场所、C3-3 车站毗邻人员密集场所 |
| D 管理因素 | D1 安全组织机构 | D1-1 安全组织机构不健全 |
| | D2 安全责任制 | D2-1 未签安全生产责任制 |
| | D3 安全管理规章制度 | D3-1 建设项目“三同时”制度未落实、D3-2 操作规程不规范、D3-3 事故应急预案及响应缺陷、D3-4 培训制度不完善、D3-5 其他规章制度不健全 |
| | D4 安全投入 | D4-1 未完成安全生产维修改造计划、D4-2 未完成安全生产品质采购计划 |

3.2 风险识别

根据城市轨道交通检修作业模块,对车辆检修活动作业进行划分,主要包括检查作业、电焊作业、架车作业、切割作业、砂轮机作业、探伤作业、充电作业等。

风险识别通常从两方面入手:一是依据轨道交通车辆的运行和检修数据,对运营过程发生的因车辆故障引起的事故/事件以及检修发现的车辆设备故障进行总结分析;二是搜集整理其他城市车辆故障情况,比较车辆设备和修制修程,提炼危险和有害因素,或依赖评估人员经验,预判可能存在但尚未表现的危险和有害因素。

对于此次列车分离事件,事后评估人员进行了分析,主要原因为重连接处螺纹副锈蚀,导致防松失效,螺纹副松动。同时存在螺纹尺寸加工超差可能,经过近2年的交变载荷作用及磨损,螺纹副逐渐失效,导致中心轴螺母与中心轴相对脱出。事故发生前,长春轻轨3号线检修人员一般通过目测方式对重联部位进行检查,该方式难以发现螺纹副松动问题,最终导致了车辆出现分离事故。因此,确定危险和有害因素为重连接处螺纹副锈蚀,属于检查作业,分类为B1-3设备故障。

3.3 风险分析

风险分析的主要步骤如下:

- (1) 评估人员分别独立确定发生事故/事件的可能性 L 、暴露于危险环境的频繁程度 E ,以及发生事故/事件产生的后果 C ;
- (2) 全体评估人员对分析结果进行多轮讨论和探讨,最终形成一致意见;
- (3) 根据表1~3中的取值规定,对3个参数分别赋值。

风险分析流程如图1所示。

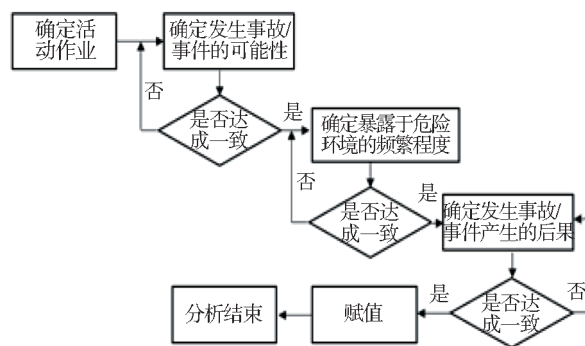


图1 风险分析流程图

短编组列车重联连接处螺纹副锈蚀事件在长春轨道交通运营中尚属首次,同时由于短编组列车重联技术在城市轨道交通领域应用时间较短,国内采用类似技术的城市轨道交通系统较少,也未见有类似事件报道。因此,评估认为:短编组列车重联连接处螺纹副锈蚀这一危险和有害因素发生概率较低,

综合评定其出现的可能性 L 为“可能,但不经常”,取值为 3;暴露于危险环境的频繁程度取值 E 为 1;考虑到可能由于列车分离出现人员死亡或重伤、重大财产损失,后果 C 取值为 15。

3.4 风险评价与应对

根据式(1)进行计算,短编组列车重联连接处螺纹副锈蚀这一危险和有害因素风险值 D 为 45,在风险等级为 4 的取值范围内,即为一般危险,可以容忍。

风险评估工作可以指导责任单位正确认识事故/事件性质,制定合理的管控措施。车辆检修风险应对措施通常包括技术措施和管理措施:技术措施包括调整修制修程、提升检修仪器自动化和智能化程度等;管理措施包括建立检查监督和奖惩机制、加强员工教育培训等。风险控制措施应具有可行性、可靠性、先进性、安全性和经济性,并确保可实施。

基于以上因素,长春市轨道交通集团综合考量后更换了相应部件,未调整相关修制修程,将此项危险和有害因素纳入企业风险评价表,见表 6。技术措施调整后,至今未再次发生类似事件。

表 6 风险评价表

| 危险和有害因素 | 活动作业 | 类别 | 风险评估 | | | | 风险评价等级 | 风险应对 |
|-----------------|------|------|------|-----|-----|-----|--------|--------|
| | | | L | E | C | D | | |
| 短编组列车重联连接处螺纹副锈蚀 | 检查作业 | B1-3 | 3 | 1 | 15 | 45 | 4 | 更换失效零件 |

4 不确定性分析

作业条件危险性评价法简单易懂、使用方便,在数据不充分条件下可依赖评估人员经验进行初步风险分析。但也应注意到,作业条件危险性评价法的风险评价过程存在以下不确定性。

一是评估人员能力可能导致评价结果存在偏差。作业条件危险性评价法的实施对评估人员经验依赖性较高,对相同的危险与有害因素,经验丰富人员的评估更贴近实际情况。评估人员如果发现问题、总结分析问题和预见问题的能力不足,可能给出过于乐观或悲观的意见,这会导致评价结果偏差。

二是应用场景可能导致风险分析结果不同。功能不同、客流量差异较大的线路,即使存在相同的危险和有害因素,其引发的后果大多也会有差异。例如城市轨道交通网络中的骨干线路,突发事件会在线网内传播,造成影响比较大;相较而言,对尚未形成网络的城市轨道交通系统,突发事件造成的后果可能小

一些, C 的取值也会较小,从而风险等级相对较低。

三是可能造成对后果严重但发生可能性较低的危险和有害因素重视程度不足。在某些情况下,一些后果严重但发生可能性较低的危险和有害因素,与后果轻微但发生可能性较高的危险和有害因素相比,计算得到的风险等级要低。这样可能导致对后果严重但发生可能性较低的危险和有害因素的管理资源不足、监管意识不够,导致灾难性事故的发生。

5 结语

利用作业条件危险性评价法,对车辆检修作业风险进行了分析和评价,探讨了该方法在城市轨道交通车辆检修作业风险评价中存在的确定性。研究表明,作业条件危险性评价法可用于数据不充分条件下依赖评估人员经验进行车辆检修作业的初步风险分析。该方法对评估人员经验有较高要求,必须具备一定的知识储备、实践和管理经验,同时应做好车辆运行及维修数据的收集和分析,为风险评估提供更多证据。此外,还应根据场景不同进行合理分析,对后果严重但发生可能性较低的危险和有害因素要给予足够重视。

参考文献

- [1] 陶涛,龙静,龚玲.可靠性管理在城市轨道交通车辆全寿命周期内的应用[J].城市轨道交通研究,2014(12):4.
- [2] 孙洪亮,周博.城市轨道交通车辆维修制度探讨[J].城市轨道交通研究,2017(2):105.
- [3] 黄立新,黄正.基于“风险累积”效应的城市轨道交通车辆维修风险分析[J].城市轨道交通研究,2012(8):117.
- [4] 张郁.城市轨道交通网络化运营时期关键行车设备管理若干问题研究[J].城市轨道交通研究,2017(10):116.
- [5] GRAHAM K J, Kinney G F. A practical safety analysis system for hazards control[J]. Journal of Safety Research, 1980(12): 13.
- [6] 王卸云.浅谈 LEC 法在非煤矿山安全评价中的应用[J].金属矿山,2008(1):110.
- [7] 王昊.建筑施工中模板工程事故分析及安全评价研究[D].天津:河北工业大学,2015.
- [8] 马洪刚,张来斌,樊建春.作业条件危险性评价法在深水钻完井作业评价中的应用研究[J].中国安全生产科学技术,2011(9):89.
- [9] 李常茂.作业条件危险性评价法在盾构施工安全评价中的应用[J].黑龙江科技信息,2014(18):198.
- [10] 胡月亭.事故防控策略与技术[M].北京:石油工业出版社,2017.

(收稿日期:2018-11-16)