

故障模式影响及危害性分析法在广州地铁2号线车门检修周期优化中的运用

姚哲夫 梁旭彤 文志远

(广州地铁集团有限公司,510330,广州//第一作者,工程师)

摘要 基于地铁检修人车比压缩以及人力成本管控的目的,以广州地铁2号线为工程背景,统计了近3年内车门系统修故障数据和正线车门故障数据。通过故障模式影响及危害性分析(FMECA)法,对车门检修周期进行了优化探讨,以达到减少作业人员、提升作业效率的效果。

关键词 地铁;车门;系统修;故障模式影响及危害性分析法;检修周期

中图分类号 U279.3+2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.07.036

Application of FMECA Analysis Method in the Optimization of Vehicle Door Maintenance Cycle on Guangzhou Metro Line 2

YAO Zhefu, LIANG Xutong, WEN Zhiyuan

Abstract Based on the compression of man-vehicle ration in metro overhaul and the control of human cost, Guangzhou metro Line 2 is taken as the engineering background, the fault data of vehicle door system repair and main line vehicle door in the past three years are collected. Then, by using the FMECA (failure mode effects and criticality analysis) method, the optimization of the vehicle door maintenance cycle is studied, in order to reduce the number of workers and improve the operation efficiency.

Key words metro; vehicle door; system repair; FMECA method; maintenance cycle

Author's address Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510330, Guangzhou, China

自2016年11月1日起,广州地铁2号线(以下简称“2号线”)车辆检修由传统的月检/半年检/年检模式开始全面切换为系统修模式,即每月以列车子系统为单位而开展的有针对性和偏向性的检修。按照检修计划,2号线每月对所有在线运营列车的各子系统开展一轮检修作业。但对某一个系统进行重点检修,如对车门系统,在1月份系统修和7月

份系统修中,分别按照半年检和年检的标准对车门系统进行检修,而其它10个月的系统修则按照月检的标准对车门系统进行每月的必检,以保证车门状态良好、运行可靠,以及符合上线载客运营的要求。

目前,除1月份系统修和7月份系统修的车门专检外,其余10个月的系统修中,车门系统检修人员数量为6人,约占当月非专项检查项点全部人员数量的一半,其所需检修人员数量较多。因此,计划在车门运营质量可控的条件下,对车门检修周期进行调研和分析,以优化检修人力资源配置、节约人力资源成本。

1 广州地铁2号线车门故障数据统计

1.1 车门系统修故障数据

2016年11月前,2号线为定检模式,即月检、年检、半年检的检修模式。自2016年11月起,2号线正式切换为系统修检修模式,至2017年10月系统修正式开展1年。系统修按照检修计划,每月固定完成对所有上线运营列车一轮的检修作业,即车门系统每月完成一次相应的检修作业。

统计2号线2016年11月至2017年10月的系统修车门故障数量,如图1所示。

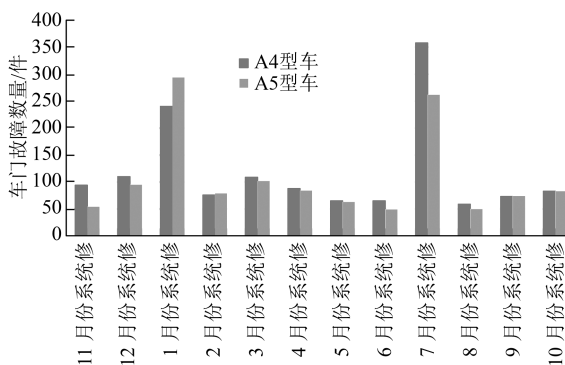


图1 2号线车门系统修故障数量

通过对比分析,可以初步得出如下结论:

1) 除车门专检的 1 月份和 7 月份系统修外,其它 10 个月的系统修故障数量相差不大。故预计调整车门检修周期后,除车门专检的月份,各月系统修故障数量不会存在明显差别。

2) 1 月份系统修和 7 月份系统修为针对车门系统(半年检标准)的检修,其故障数量明显高于其它系统修,多出的故障数量大多由参数超标等引起。

3) 7 月份系统修采用专人负责车门系统检修的方式,故 7 月份系统修故障数量多于 1 月份系统修。这说明可通过相关管理措施来提升检修人员的故障发现能力,从而提升检修质量。

1.2 正线车门故障数据

统计 2015—2017 年 2 号线正线故障情况,除乘客原因、车门口哨声等问题外,将因部件原因而导致车门故障的事件进行统计,如表 1 所示。

表 1 车门正线故障数据统计表				
序号	正线故障部件	故障数/件		
		2015 年	2016 年	2017 年
1	门控器	16	20	13
2	行程开关	2	4	6
3	钢丝绳	3	0	0
4	螺母副	1	1	5
5	电机故障	0	1	0
6	丝杆磨损	0	1	0
7	平衡压轮	4	7	5
8	指示灯故障	1	1	3
9	紧固件松动	1	1	1
10	下档销	0	0	1
11	方孔锁	0	0	1
12	下导轨生锈异响	0	0	1
13	车门胶条	0	0	2
合计		28	36	37

由表 1 可知,序号 1~6 的部件在正线发生故障时,极有可能出现车门图标异常、车门防夹、车门动作异常等情况,司机需现场切除车门,从而导致列车晚点的可能性较大。而序号 7—序号 13 的部件发生故障时,基本不影响车门的正常开关功能,故对列车运营影响较小。

2 故障模式影响及危害性分析法

故障模式影响及危害性分析(FMECA)法是针对产品或系统所有可能的故障,根据对故障模式的分析,确定每种故障模式对系统产生的后果,并按故障模式的严重程度及其发生概率确定其危害性的一种归纳分析方法。FMECA 法的主要目的是通

过逐一分析系统各组成部分的不同故障对其产生的影响,全面识别系统薄弱环节和关键项目,并为评价和改进系统设计的可靠性提供基本信息。

2.1 故障等级确定

根据列车故障数据,将列车各故障模式造成的影响按严酷度即故障等级分类如下:Ⅰ级——影响列车运营安全;Ⅱ级——导致列车晚点、清客;Ⅲ级——导致列车抽线;Ⅳ级——影响列车服务质量;Ⅴ级——对列车运营无影响。

2.2 危害度计算

在特定严酷度等级下,部件故障模式中某一故障模式具有的危害度为 C 。对给定的严酷度等级和任务阶段而言,部件 i 的第 j 个故障模式的危害度 $C_{i,j}$ 可由式(1)计算:

$$C_{i,j} = \alpha_{i,j} \beta_{i,j} \lambda_i t \tag{1}$$

式中:

$\alpha_{i,j}$ ——部件 i 以故障模式 j 发生故障的频数比,即部件 i 以故障模式 j 出现的次数与部件 i 出现的全部故障次数之比;

$\beta_{i,j}$ ——故障影响概率,表示部件 i 在故障模式 j 发生的条件下,其故障影响将造成的致命度等级,一般由分析人员根据经验判断得到,通常按表 2 进行定量估计;

λ_i ——产品的故障率, λ_i 可采用可靠性试验方法确定,也可通过有关资料查得并进行修正;

t ——产品的工作时间,一般以工作小时或工作次数表示。

表 2 故障影响概率表	
故障影响	β
部件肯定发生损伤,丧失功能	1.0
部件可能发生损伤,丧失功能	0.5
部件很少发生损伤,丧失功能	0.1
对部件无影响	0

本文的 λ_i 是通过现场故障数据得到的平均故障率,其计算公式为:

$$\lambda_i = N / \sum t \tag{2}$$

式中:

N ——某一部件在规定时间内故障总次数;

$\sum t$ ——某一部件在规定时间内累积工作时间。

2.3 危害性矩阵输出

完成了对故障模式危害度计算后,再应用危害性矩阵对每一种故障模式进行危害性分析,进而为

确定维护措施的先后顺序提供依据。危害性矩阵图如图 2 所示。所谓危害性矩阵就是横坐标为故障等级、纵坐标为故障概率等级(定性分析时)或产

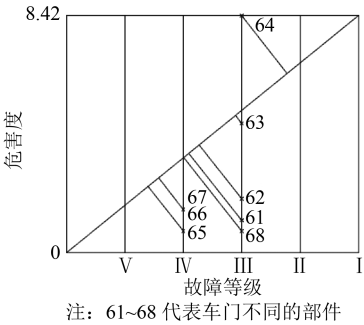


图 2 危害性矩阵图

品危害度或模式危害度(定量分析时)的矩阵图。在应用危害性矩阵时一般采用如下方法:从图中标记的故障模式分布点向对角线作垂线,以该垂线与对角线的交点到坐标原点的距离作为度量故障模式危害性的依据。该距离越长,表示其危害性越大,越需要尽快采取维护措施,以消除产品潜在危害性大的故障。

3 车门各部件故障危害度分析

对车门系统各部件定检和正线故障数进行综合统计,并按故障影响等级进行排序及 FMECA 计算,得到各故障模式的危害度。列举部分部件如表 3 所示。

表 3 故障模式危害度表

编号	组件	故障模式	故障等级	β	$t/(万\ h)$	总故障数/件	λ	C
1	门控器	门控器故障	II	0.5	1.863	90	36.96	34.43
2	螺母副	螺母副故障	II	0.5	1.863	41	16.84	15.68
3	尼龙螺母	断裂	II	1	1.863	10	4.11	7.65
4	丝杆	丝杆磨损	II	0.5	1.863	26	10.68	9.95
5	中间支撑	轴承磨损	II	1	1.863	2	0.82	1.53
6	行程开关	裂纹	II	0.1	1.863	412	169.18	31.52
7	行程开关	调整	II	0.1	1.863	159	65.29	12.16
8	电机	电机故障	II	1	1.863	9	3.70	6.89

根据表 3 得到各编号故障模式的危害度数值。根据危害度和故障等级,制作危害性矩阵,如图 3 所示。

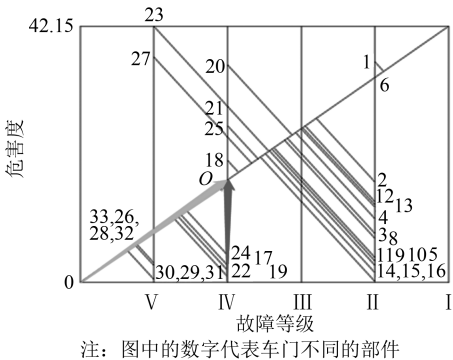


图 3 带 O 点的车门危害性矩阵图

图 3 中,将各编号故障模式的分布点向对角线作垂线,以该垂线与对角线的交点到坐标原点的距离作为度量故障模式危害性的依据。该距离越长,表示其危害性越大。故依据危害性的大小,对各部件故障模式进行分析。由于故障等级 IV 与 V 的影响较小,故以等级 IV 为分界点向对角线引线,将交点记为 O。若相关部件的垂线位于 O 点之上,则认为影响较大。若故障等级较低的部件危害度较大,

该部件的垂线同样位于 O 点之上,则可确保分析的可靠性。现举例部分部件进行分析。

3.1 门控器(编号 1)

门控器故障通常需切除车门,易造成晚点,对正线影响较大。但门控器发生故障后,较容易在车辆屏中体现。目前,系统修也仅通过有电功能和故障履历检查车门门控器状态。此外,目前日常检修中每天进行四日检和巡检,晚高峰出车前也进行出车检以保证门控状态。故系统修车门机构的检修周期变化对门控器故障无明显影响。

3.2 行程开关裂纹(编号 6)

行程开关裂纹均在检修中发现,目前尚未发生因行程开关裂纹导致的正线车门故障。目前检修执行的更换标准比供应商提交的更换标准更加严格,且行程开关发生裂纹后并非马上导致车门故障,故综合考虑,可接受延长检修周期至 3 个月内,但将考虑延长检修周期后是否继续提升更换标准。

3.3 螺母副(编号 2)

螺母副故障通常表现为弹簧回弹力不足、翻转不到位,多在检修中发现,但近年正线故障数量也呈上升趋势,且故障后多表现为车门图标红色,需切除车门。经分析,A5 车螺母副翻转不到位的原因

是 LS 型锁闭机构存在的设计缺陷。该设计缺陷导致 A5 车螺母副在惯性动作下存在螺母副回弹不可靠,而检修中检查功能正常并不能完全保证正线不出问题,故建议试行并跟踪调整检修周期后的螺母副状态。

3.4 拨叉角度调整(编号 12)

拨叉角度异常将对螺母副和行程开关配合产生影响,但尺寸超标并非立即对车门机构的运动产生影响,故可接受延长检修周期。建议试行并跟踪调整检修周期后的拨叉状态。

3.5 行程开关间隙调整(编号 7)

目前行程开关间隙调整故障大多在检修中发现,正线中亦发生过 12 起。该故障可能导致无法正确触发,与螺母副故障表现类似。间隙异常可能导致车门图标红色,需切除车门,但间隙超过标准后并非立即对正线运行造成影响,故可接受延长检修周期。建议试行并跟踪调整检修周期后的行程开关间隙状态。

3.6 下挡销干涉(编号 13)

下挡销与门槛干涉严重时可能导致车门防夹,该故障也可在有电检修作业中发现。目前,四日检已要求对车门开关情况进行检查。考虑到该故障危害度不高,故接受延长检修周期至 3 个月内。

3.7 丝杆(编号 4)

丝杆磨损后产生毛刺,会增大车门动作阻力,可能导致无法关门或防夹启动。目前,该故障多在检修中发现。丝杆磨损故障率不高,若在确保系统检修质量前提下,可延长检修周期至 3 个月内。

图 3 中其他编号如 17、19、22、24 的部件,发生故障等级为 IV 级的故障时,在检修周期优化后需在日常检修或驻站中及时确认状态,并及时处理。编号为 26~33 的部件,发生故障等级为 IV 级的故障时,对列车运营无明显影响,但需关注故障率较高的部件,以防检修周期优化后的故障修任务过重问题。

4 车门检修周期优化方案及质量保障措施

4.1 优化方案

目前,车门对正线运行影响较大且较长发生的故障主要集中在螺母副、行程开关及门控器。除行程开关可以通过检修的形式发现裂纹隐患外,其他故障均无法通过常规的检修发现存在的隐患,需要进行技术升级改造以提高设备可靠性。目前,故障

的发生存在不确定性,人为加密检修周期亦无法遏制故障的发生。

综合以上分析,建议检修周期优化方案如下:全部列车车门检修周期延长至 3 个月,即由现有的每月检修调整为 3 个月检修 1 次。

4.2 质量保障措施

为保障车门检修周期优化后的检修质量,制定如下措施。

4.2.1 完善规章制度

制定适用于车门优化的检修规程、工艺流程,针对故障率高或危害度高的部件,明确相应检查要求,并拍摄检修视频。

4.2.2 培训管理

1) 组织所有员工学习作业指导书和视频工艺、流程,并对学习效果进行评估;

2) 梳理车门故障类型,制定故障检查、判断方法,组织所有轮值班员工进行学习,并对学习效果进行评估。

4.2.3 质量监控

1) 车门系统修时,安排技师和技术人员对照规程和工艺,检查员工是否严格按照规程作业,评估作业质量。

2) 现场对检修人员进行技能抽查问卷。

3) 定期对跟踪列车运用情况和发生的故障进行总结和评估,进一步优化检修模式,并针对故障高发的部件提出技术措施。

4.2.4 责任管理

1) 为使检修人员尽可能多地发现隐患、做好检修后的恢复工作,保障关键部件的检修效果,将挑选责任心强、技能过硬的人员,对车门项点进行专人作业。每天系统修完成后,由工班长和质量组对专项人员通过技能矩阵进行评分,建立专项人员技能库,确保关键部件检修质量。

2) 对当月车门检修内容采取责任制管理,对检修后 1 个月内因人为漏检、漏修或作业质量问题发生的正线晚点故障,将追究相应作业人员、作业班组责任。

5 车门检修人工作业时长优化分析

5.1 优化前

每月系统修均需开盖检查车门,每列列车需 6 人。1 月份和 7 月份的车门专项系统修作业中,每人作业时长约 6.5 h,其余月份车门检修每人约 4 h。

按照目前每年开盖检查车门的周期进行计算,全年针对 54 列列车车门进行系统修检修任务共需 10 044 人工 h。

5.2 优化后

优化后,平均每天开展 2 列列车系统修,因此,除 3 月份、6 月份、9 月份、12 月份外的剩余 8 个月中,每列列车系统修可节约 1~2 人,每天根据检修车数的不同可节约 2~4 人,全年可节约 3 888 人工 h。若改为每年按照 3 个月开盖检查 1 次的周期进行计算,全年针对车门进行系统修检修共需约 6 156 人工 h。

此外,全年除 3、6、9、12 月份之外的其他月份与此 4 个月作业人数差距较大的情况,可通过调整系统修可变包、专项修及普查改造的作业安排来确保各月作业人数保持一致。

6 结语

本文通过 FMECA 分析法,以地铁检修人车比

压缩以及人力成本的管控为目的。通过梳理 2016 年至 2017 年执行系统修后的车门故障数据,对车门系统的 33 个部件情况进行分析,并对其中 7 个重点部件进行了详细研究,最终确立了将车门检修周期从每月一检修调整为每三月一检修的优化方案。预计优化后全年能节约 3 888 人工 h,充分实现了优化人员配置、控制人车比的目的。

参考文献

- [1] 全国六西格玛管理推进工作委员会.六西格玛管理评价准则[M].北京:中国标准出版社,2007.
- [2] 何帧,张志红.精益与六西格玛的比较研究[J].工业工程,2006(1):1.
- [3] 巴尼 M,麦卡锡 T.总裁读:新六西格玛[M].摩托罗拉大学,译.北京:中国人民大学出版社,2003.
- [4] 周海京,遇今.故障模式、影响及危害性分析与故障树分析[M].北京:航空工业出版社,2003.
- [5] 王绍印.故障模式和影响分析[M].广州:中山大学出版社,2003.

(收稿日期:2018-07-27)

(上接第 166 页)

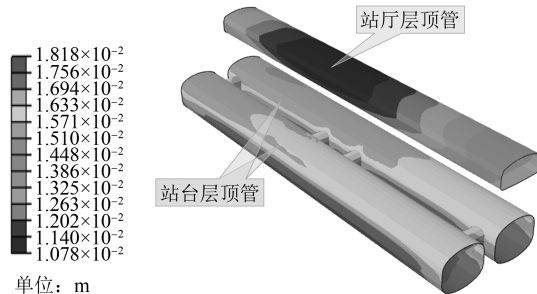


图 14 顶管段结构抗震计算位移云图

通过上述计算分析,车站两端采用明挖法、中部采用顶管法的施工方案,可以满足抗震要求。

4 结语

14 号线静安寺站是上海首个采用暗挖法实施的地铁车站,已于 2017 年 1 月正式开工建设。本文在提出暗挖车站站型及总体布置的基础上,进一步对软土地区地铁车站的矩形顶管法施工方案进行研究,主要得到以下结论:

1) 站顶层顶管断面宽度应考虑设备限界、管线敷设空间、曲线段加宽、施工误差等因素;断面高度应考虑管节受力、设备布置、叠交顶管施工净距、

明挖段建筑布置等因素。本工程采用 A 型车,横断面尺寸取 8.85 m×7.65 m。

2) 站顶层超大大类矩形顶管可采用钢管节+后浇钢筋混凝土结构型式的复合管节。

3) 顶管管节纵缝采用刚接接头,环缝采用改进型的 F 型承插口;暗挖段防水关键在于环缝防水处理,施工阶段采用承插口处弹性密封垫与钢套环挤压防水,使用阶段采用后浇的一体型钢筋混凝土结构防水。

4) 两端明挖、中间顶管法实施的地铁车站结构可以满足抗震要求。

参考文献

- [1] 朱合华,骆晓,彭芳乐,等.我国城市地下空间规划发展战略研究[J].中国工程科学,2017(6):12.
- [2] 朱久川,王文军.大直径盾构开挖修建地铁车站的探索[J].城市道桥与防洪,2013(5):184.
- [3] 张春飞.地铁限界设计分析[J].北方交通,2008(8):160.
- [4] 上海市城市建设设计研究总院.上海市轨道交通 14 号线静安寺站暗挖专题研究报告[R].上海:上海市城市建设设计研究总院,2015.

(收稿日期:2018-08-08)