

城市轨道交通全自动驾驶车辆段运用库的设计优化

骆礼伦

(中铁第四勘察设计院集团有限公司,430063,武汉//高级工程师)

摘 要 全自动驾驶方式是城市轨道交通一个新的运营理念,对车辆段(尤其是运用库)的工程设计和运营管理影响很大,国内尚缺乏实践经验,亦未有相应规范出台。部分城市轨道交通车辆段运用库在投入运营一段时间后会暴露出一些问题,影响检修人员的作业效率,使得运用库的整体运行效率低。本文分析了现有技术存在的问题,提出一种经济合理的全自动驾驶车辆段运用库布置方案,使得运用库不仅满足停车列检、双周三月检和补洗列位的流程要求,更做到工艺流程顺畅、空间流分配合理。该方案目前已运用到武汉轨道交通 5 号线。

关键词 城市轨道交通;车辆段;运用库;全自动驾驶;停车列检库

中图分类号 U279.1;U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.03.018

Design Optimization of the Application Library for Fully Automatic Driving Urban Rail Transit Depot

LUO Lilun

Abstract Fully automatic driving is a new operation concept in urban rail transit, it has great influence on the engineering design and operation management of depots (especially the application library), but practical experiences and corresponding norms are still needed in China. Some problems have exposed in urban rail transit depots after operating for a period of time, directly affecting the maintenance works and reducing the overall operation efficiency. In this paper, problems in the existing technology are analyzes, an economical and reasonable arrangement for the fully automatic operation depot is put forward. This new scheme could not only meet the flow requirements of the parking lot inspection, the two-week three-month inspection and the train wash-up arrangement, but also achieve smooth process flow and reasonable space flow distribution. At present, the arrangement scheme has been applied to Wuhan rail transit Line 5.

Key words urban mass transit; depot; application library; fully automatic driving; parking check library

Author's address China Railway Siyuan Survey and De-

sign Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

0 引言

全自动驾驶技术因其可靠性高、运营成本低、服务质量好等特点,成为城市轨道交通未来的发展方向和目标。目前,北京燕房线和机场线,以及上海轨道交通 10 号线等线路已具备全自动驾驶功能,成都、武汉、南京等城市的新建线路也在尝试采用全自动驾驶技术。

根据 EN 62267—2009《铁路应用设施——都市自动化有轨运输》,城市轨道交通自动化水平可分为 5 个等级,如表 1 所示。

表 1 列车运行自化等级划分表

自动化等级	列车运行方式	驾驶模式
GoA0	目视下列车运行(TOS)	无 ATP(列车自动保护)
GoA1	非自动列车运行(NTO)	ATP
GoA2	半自动列车运行(STO)	ATO(列车自动运行)
GoA3	有人值守列车自动运行(DTO)	FAO(全自动无人驾驶)
GoA4	无人值守列车自动运行(UTO)	

目前,我国城市轨道交通系统中正线的控制技术得到了大幅提升,自动化等级从最初的 GoA1 发展到目前最高等级 GoA4,已处于国际先进水平。但由于全自动驾驶车辆段与传统车辆段存在较大差异,导致车辆段区域自动化等级很低,仍需要进行人工维护。其中,运用库是车辆段区域中建筑面积最大、使用频率最高的单体建筑,运用库的设计将直接影响到车辆段及全线的自动化水平。

1 全自动驾驶技术实施的必要性

全自动驾驶技术包含对城市轨道交通列车在

内的多项系统和设备进行升级。随着全自动驾驶技术在城市轨道交通中的应用,势必会带动城市轨道交通相关产业技术的更新,并促进相关行业的快速发展。

1.1 提高轨道交通运营安全性和可靠性的需要

全自动驾驶系统利用高效的 ATC(列车自动控制)系统和综合监控系统中智能运转的功能保障,结合人工监视和干预的机制,在落实高精度列车运行的同时,减少了不必要的误操作。同时,该系统采用冗余互备技术,降低了列车运行故障,其完善的故障自诊断和自愈功能提高了整个系统的可用性和可靠性。

1.2 降低运营成本的需要

全自动驾驶系统能实现对列车的精确定位及实时跟踪,可以有效缩短行车间隔,以及提高旅行速度。全自动驾驶可以弱化驾驶员职能或直接取消驾驶员,即可以综合人员的岗位需求精减定员。

1.3 提高乘客服务质量的需要

全自动驾驶能根据实时情况,控制列车运行的速度/时间,使其达到最佳性能状态,大大提高了车辆运行的平稳度和舒适性。全自动驾驶由于自动化程度较高,较容易实现准点运行,故而可提高乘客对城市轨道交通的信任度。

1.4 提高轨道交通的先进性的需要

城市轨道交通技术发展至今已经证明,全自动驾驶技术是未来重要的发展方向和目标。各城市迫切需要这项新技术来提高轨道交通线网建设的先进性。全自动驾驶系统无论是在人员还是在管理运营模式上都得到了合理、有效的精简,它是城市轨道交通管理领域的一次创新,将有效提高管理效率。

2 全自动驾驶车辆段运用库存在问题分析

全自动驾驶技术是城市轨道交通中的一个新的运营理念,其对车辆段(尤其是运用库)的工程设计和运营管理影响很大,国内尚缺乏实践经验,也没有相应规范。部分城市轨道交通车辆段运用库在投入运营一段时间后会暴露出一些问题,影响到检修人员的作业效率,增加了检修人员的劳动强度,使得运用库的整体运行效率大打折扣。目前,在城市轨道交通车辆段运用库的使用过程中,发现一些基础设施存在如下问题。

2.1 运用库工艺流程不全面

全自动驾驶车辆段运用库的工艺流程是否顺

畅合理是进行运用库设计的前提。但目前并没有相关规程或规范对全自动驾驶车辆段运用库流程进行全面描述和说明。

2.2 运用库横向地下通道均设置在运用库头部

北京燕房线阎村北车辆段和上海轨道交通 10 号线吴中路车辆段的运用库横向地下通道均设置在运用库头部,当列检人员进行第二列位列检时,要多走 1 列车长的距离;同时,由于地下通道阴暗潮湿,以及通风及照明条件差,导致检修人员的作业舒适性差。

2.3 车辆段控制中心与运用库第二列位距离较远

图 1 为北京燕房线阎村北车辆段运用库布置图。由图 1 可知,DCC(车辆段/场控制中心)与运用库第二列位距离较远,当列检人员从列检班组室进入第二列位列检作业时,空走距离较长,影响工作人员的维修效率。

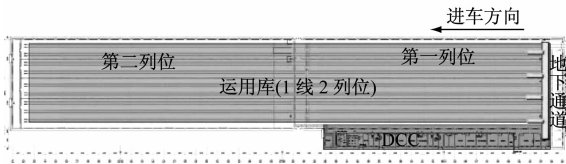


图 1 北京燕房线阎村北车辆段运用库布置图

2.4 运用库库门的设置

北京燕房线阎村北车辆段、上海轨道交通 10 号线吴中路车辆段均属北方地区,运用库均设置了库门,库门必须与信号连锁,频繁开启容易产生机械故障,影响行车安全以及发车效率。针对于运用库是否设置库门这一问题,南方地区全自动驾驶车辆段可不必生搬硬套。

3 武汉轨道交通 5 号线某车辆段运用库设计优化

3.1 工程概况

武汉轨道交通 5 号线(见图 2)横贯武昌东西,串接了白沙组团、武昌老城区、武昌滨江商务区、红钢城和武汉火车站,是武昌镇内的轨道主干线。5 号线线路南起南三环,北至武汉火车站,全长约 35.2 km,车站共计 25 座。其中,高架段长约 7.7 km,设置车站 4 座;地下线长约 27.5 km,设置车站 21 座。全线平均站间距为 1.4 km,换乘站共计 10 座;线路南端设青菱停车场,北端设工人村车辆段;全线共设 2 座主变所,并利用 7 号线徐家棚站和新建张家湾站进行主变;5 号线与 4、8 号线共用铁机路控制

中心。武汉轨道交通 5 号线工程采用 GoA4 技术,车辆采用国产 A 型全自动驾驶列车。项目于 2016 年开工建设,预计 2019 年开始调试,2021 年正式开通。



图2 武汉轨道交通 5 号线工程线路示意图

3.2 全自动驾驶列车驶回车辆段基本流程

车辆段是列车停放、检修、保养和维护的重要基地,是城市轨道交通工程中的重要组成部分。运用库由停车列检库、双周三月检库、办公区等组成,是负责列车的日常检修、周月检的重要基地,同时也负责所有列车的停放及日常整备工作。其主要特点是建筑面积大、库内股道多,且一般需要考虑近远期相结合。因此,运用库的设计优劣将直接影响到检修作业的效率与质量,进而影响到列车的日常维修维护及行车安全。

运用库总平面设计时,应注意运用库的物流因素,这样不仅能降低其间的运输成本,加快生产流程,而且还能提高车辆段生产能力,降低企业生产成本。

全自动驾驶列车驶回车辆段的基本流程,如图 3 所示。

3.2.1 回段

需要退出正线服务回段(场)的列车折返后进入最后半周运行时,在终到站为非线路终端站的情况下,应由折返站开始的沿途各站站台广播提醒乘客本次列车终到站站名,车载广播也同时提醒乘

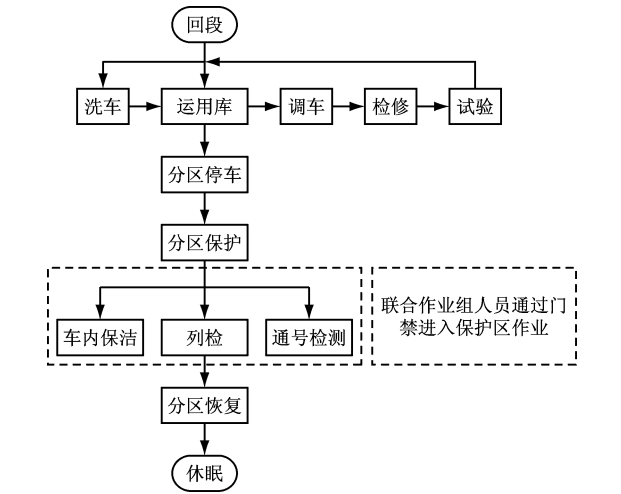


图3 全自动驾驶列车驶回车辆段基本流程图

客。到达终到站时,车载广播应提醒车上乘客下车;TIAS(行车综合自动化系统)联动车站广播,提醒站台乘客不能上车。停站未清客完成期间,车载信号设备保持车门打开。清客确认后,信号系统自动发送关闭列车车门和站台门的指令。在条件具备的情况下,列车自动起动驶离终到站,并运行至转换轨(车辆段接轨站一度停车处)。

TIAS 判断列车完全进入转换轨后,删除车次号,并转换为车组号,自动向列车发送“停止正线服务”指令。车辆收到指令后,进行关闭照明、空调或电热等相关操作。

3.2.2 洗车、回库和调车作业

列车从转换轨驶出后,列车控制转交 DCC(车辆段控制中心),根据洗车、调车等计划,选择洗车(洗车库空闲情况下)、回库(停车列检库)和调车(检修库、双周三月检库)等作业。

洗车机设于车辆段(场)全自动运行区,洗车作业由 TIAS 控制完成。

3.2.3 分区停车

列车根据列检计划,自动分区停车。

3.2.4 分区保护

一个保护分区停满列车后,控制中心的行车调度将该分区锁闭,电力调度切断该分区牵引供电,上述工作确认完成后,激活门禁系统,工作人员方可进入该保护分区进行作业。

3.2.5 列检、保洁及通号检测

工作人员(包括列检、保洁和通号人员)取得授权后,进入该保护分区,打开 SPKS 锁(工作人员防护钥匙开关),之后进行联合平行作业。列检作业

时间为 30 ~45 min,车内保洁作业时间为 45 min,通号作业时间为 15 min。综合考虑门禁授权、打开 SPKS 锁等辅助时间,取作业时间为 50 min。

3.2.6 分区恢复

列检、车内保洁、通号检测等作业完成后,行车调度将该分区信号恢复,电力调度将该分区牵引供电恢复,并关闭 SPKS 锁,此时门禁系统被锁定。

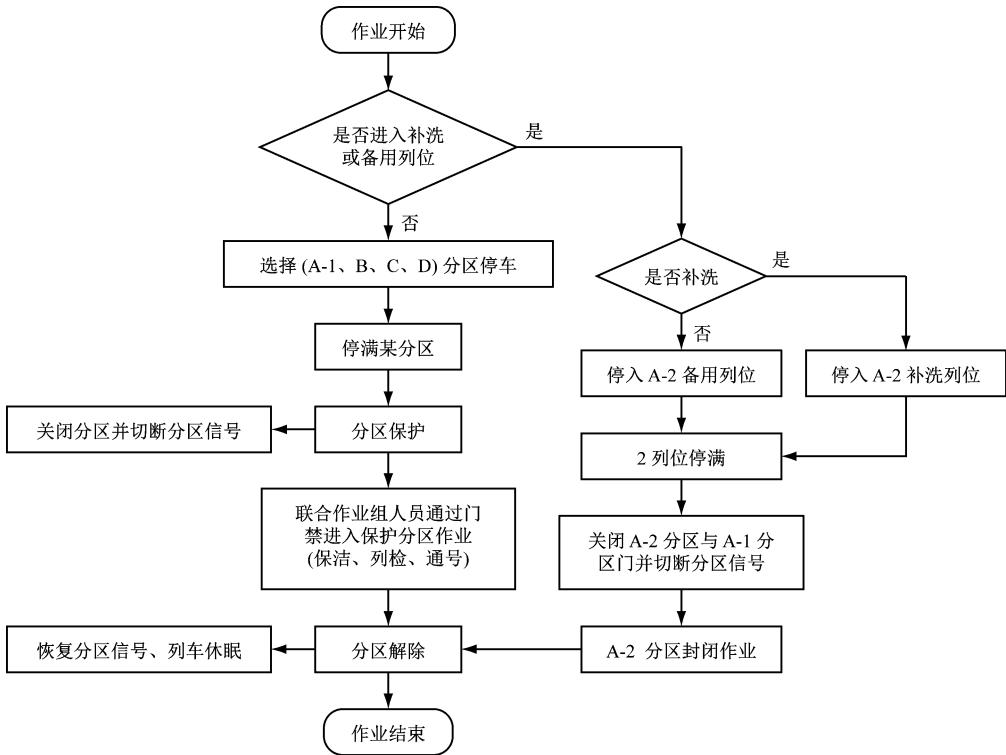


图4 全自动驾驶列车列检基本流程图

3.3 车辆段运用库平面布置优化设计

针对上述技术问题,结合武汉轨道交通 5 号线工程地处武汉地区,天气潮湿闷热,运用库不易设置在横向地下通道,此外 5 号线拟采用三轨 A 型车。结合工程现场实际情况和建设运营单位的需求,本次优化设计采用下述技术方案进行解决:①采用库内天桥设计,将天桥设置在运用库中部位;②将 DCC 与天桥设计在同一平面上,使得运用库既能满足功能要求又安全高效;③地面保留列检尾部通道门(带门禁),如需更换门窗和处理大故障,可方便工作人员和大型工具进入运用库区。

车辆段运用库布置整体示意如图 5 所示,侧视图如图 6 所示。

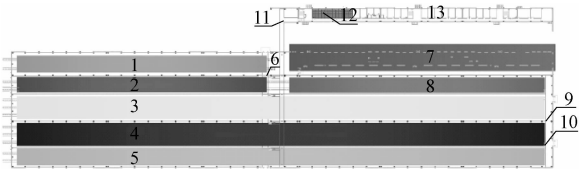
3.3.1 库内天桥设置在运用库中部

与地下通道相比,运用库采用库内天桥设计可避免积水深、通风差等问题,库内天桥结构如图 7 所示。由于天桥高度较高,运用库屋架需上抬约 1 m

3.2.7 休眠

车载设备收到“休眠”指令后,将该指令传送到车辆,由车辆控制断电。休眠期间,用于唤醒列车的设备将持续工作。若休眠作业未能正确执行,列车将向 TIAS 中心报警;休眠成功后,列车将向 TIAS 发送休眠状态信息。

全自动驾驶列车列检的基本流程如图 4 所示。



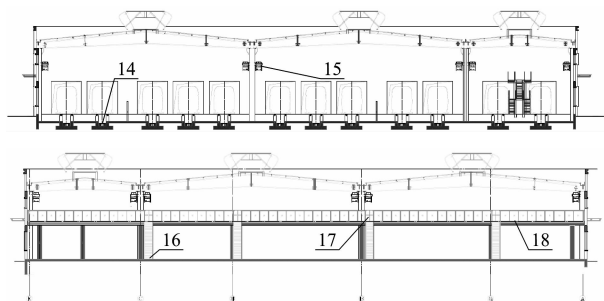
注:1——双周三月检库;2——A1 区;3——B 区;4——C 区;5——D 区;6——消防联动门;7——辅跨一层;8——A2 区;9——隔离护栏;10——列检尾部通道门(带门禁);11——库内天桥;12——DCC 控制室;13——辅跨二层

图5 车辆段运用库布置整体示意图

方可满足高度要求。经与有关专业落实,抬高运用库层架与设置地下通道的造价差异不大。同时,因天桥设置在运用库中间,亦可兼顾第一列位和第二列位列车列检作业。

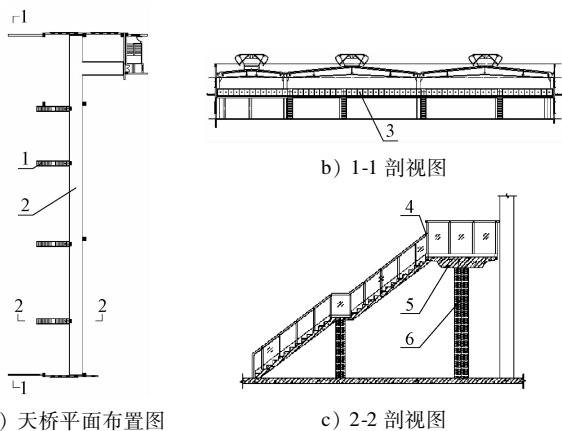
3.3.2 DCC 与天桥设计在同一平面上

该措施是将 DCC 与天桥设置在同一楼层,通过库内天桥将列检班组室与停车列检区连接起来,并在楼梯入口处设置列检通道门(带门禁)。列检现



注:14——检查坑;15——综合支吊架;16——天桥楼梯;17——天桥列检通道门(带门禁);18——天桥走廊

图6 车辆段运用库布置侧视图



a) 天桥平面布置图

c) 2-2 剖视图

注:1——楼梯;2——桥面;3——玻璃护栏;4——不锈钢扶手及立柱;5——箱型梁;6——墩柱

图7 车辆段运用库内天桥结构示意图

场人员可以很方便地通过天桥列检通道门到达列检各分区作业,提高检修效率,同时便于库内工作人员及时有效沟通,提高团队协作能力。

3.3.3 地面保留列检尾部通道门

如需更换门窗、处理大故障,列检人员可通过列检尾部通道门(带门禁)携带工具进入运用库作业。

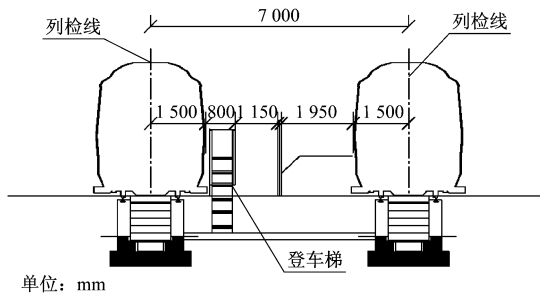
3.3.4 运用库不设置库门

本工程处于南方地区,运用库可不设置门,避免车库门与信号连锁,频繁开启库门将影响行车安全以及发车效率。

3.3.5 其它措施

如图5~6所示,停车列检库内应设置安全保护分区,按照2~3股道作为一个分区进行设置(车辆段规模较大时可取4~5股道),并通过金属防护围栏进行分隔保护。该措施采用物理性隔离,安全性能较高,此外需在通道入口设置门禁。从正线退出运营的列车优先停放在一个分区,待列车停满且该分区切断列车供电后,工作人员才可进入两股道间

的防护分区进行列检作业。为满足空间需求,分区线间距应由常规的5 m增加至7 m,如图8所示。



单位: mm

图8 停车列检库安全保护分区线间距示意图

停车列检库内列车头部至车档前的安全距离不小于15 m,同条列检线两列位停车安全间距不小于20 m,室外牵出线至车档的安全距离按15 m控制。因此,全自动驾驶车辆段停车列检库比常规停车列检库长27 m左右,用地方面也较为宽松一些。

列车清洗是地铁车辆段最重要的功能之一,采用自动化机械洗车机以提高洗车效率和清洗质量,并增加补洗流程。运用库设有补洗列位,可以对未洗干净的列车进行补洗、打蜡等作业。

通过采用上述运用库技术方案,可提高城市轨道交通车辆段运用库的检修效率与质量,改善双周三月检及列检作业的工作环境,减轻工作人员劳动强度,同时检修作业的合理性与便利性将得到显著增强,充分体现了以人为本的设计理念。

4 结语

随着城市轨道交通的发展,全自动驾驶技术有了飞速进步,但车辆段区域的自动化水平仍较低,其运用库的布置也不尽合理。本文充分结合武汉轨道交通5号线工程地处南方地区、采用三轨A型车等特点,重新梳理全自动驾驶车辆段运用库工艺流程,提出一种针对全自动驾驶车辆段运用库布置的方案。目前,该方案已运用到武汉轨道交通5号线中,取得了良好的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 汪小勇. 城市轨道交通自动化车辆段和停车场的关键功能分析[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(2):53.
- [2] 黄志红. 车辆段/停车场增设全自动运行功能的分析[J]. 现代城市轨道交通, 2015(5):4.
- [3] 张艳兵, 王道敏, 肖衍. 城市轨道交通全自动驾驶的发展与思考[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(9):70.

(下转第110页)

5 结语

本文仿真分析了上海轨道交通 2 号线车站内 AP 信号强度的变化趋势,阐述了 AP 场强分布规律,解释了较大波动幅度的信号强度对车-地通信的不利影响。当列车进站时,为保证车-地通信顺畅,可提升 AP 信号强度,防止断连影响列车运行。但如果车-地通信时 AP 未及时提升信号强度,导致通信不稳定,列车和控制中心信息不能同步,极可能会影响列车正常运行。通过分析,发现张江高科站和金科路站 AP 的场强分布曲线变化趋势均一致,证明车站内 AP 场强分布具有相似性,符合交叉覆盖规律,列车进站时需优先选择信号最强的 AP 进行连接。测试了上海轨道交通 2 号线江苏路站和娄山关路站等车站,发现均符合以上特点。根据无线通信的共性规律,由以上 4 站分析得到的场强规律均适用 2 号线;同时,采用相同通信机制的其他城市轨道交通车站内 AP 也同样具有相同的场强分布规

律。针对这些场强共性,从降低干扰源、切断干扰路径和合理布置 AP 位置等方面提出增强信号强度和保障通信质量的措施,这对其他车站的车-地通信故障分析和 AP 位置布置也具有参考意义。

参考文献

[1] HIERTZ G R, ZANG Y, MAX S, et al. WLAN mesh standardization and high performance extensions[J]. IEEE Network the Magazine of Global Internetworking, 2008, 22(3):12.

[2] 宁咏梅. 隧道内车站信号系统方案研究[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(12):19.

[3] 张志刚. 基于 WLAN 的列车控制系统中轨旁 AP 快速切换方法研究[D]. 西安:西安理工大学, 2011.

[4] 杨兴. 干扰地铁无线通信系统的相关因素和对策探析[J]. 科技与创新, 2014(2):136.

[5] 林福昌, 李化. 电磁兼容原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.

[6] 李莉. 关于地铁通信的无线系统覆盖探索与研究[J]. 通讯世界, 2017(23):33.

(收稿日期:2018-03-23)

(上接第 6 页)

长达 35 a 的起步阶段仅有 4 个城市开通 7 条线路,总运营里程为 146 km,年均仅 4.2 km;2000—2018 年短短 18 a 的快速发展,已累计有 35 个城市开通 185 条线路,总运营里程为 5 761 km,年均达 320 km。城轨交通的快速发展带动了城镇化发展,基础设施建设对经济发展亦起到明显的拉动作用。我们要抓住城轨交通的发展机遇,夯实行业发展基础,推动城轨交通由大变强,从快速发展向高质量发展转变。在政策、人才、资金和技术带动下,走出一条建设融资、管理运营、综合开发等可持续发展

之路,推动城轨交通形成自求平衡、滚动推进、高质量发展的良性循环模式。

参考文献

[1] 宋敏华. 我国城市轨道交通发展回顾与思考[J]. 城市轨道交通研究, 2018(5):8.

[2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知(国办发[2003]81号)[Z]. 北京:国务院办公厅, 2003.

(收稿日期:2018-10-25)

(上接第 82 页)

[4] 贾晓宏. 地铁车辆段运用库的工艺特点与分析[J]. 科技交流, 2011(1):116.

[5] 肖瑞金. 轨道交通全自动运行车辆段设计研究[J]. 都市快轨交通, 2018(1):58.

[6] 张雄, 李剑虹. 论地铁车辆段洗车线布置型式及能力分析[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(6):75.

[7] 步文亮, 王洪昆, 刘光涛. 车辆段调车作业全过程自动化的研究与实现[J]. 铁道机车车辆, 2007, 27(3):44.

[8] 刘迪. 北京轨道交通燕房线(主线)工程阎村北停车场停车

列检库工艺设计[J]. 科技与创新, 2015(2):71.

[9] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 城市轨道交通无人自动运行运营需求规范[R]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2017.

[10] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 城市轨道交通无人自动运行功能需求规范[R]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2018.

(收稿日期:2018-08-03)