

# 无人驾驶胶轮路轨系统的应用探讨

梁师嵩 包佳健

(中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司, 241060, 芜湖//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 无人驾驶的胶轮路轨系统是目前轨道交通的新制式。基于上海轨道交通浦江线胶轮 APM(自动旅客运输)系统, 结合其他胶轮路轨系统(香港机场 APM 项目、芜湖跨坐式单轨项目等)的设计, 从安全相关设置、车辆物理结构、远程控制、驾驶模式及运营场景等方面探讨了无人驾驶胶轮轨道交通系统的应用特点。

**关键词** 胶轮路轨; 无人驾驶; 远程控制

**中图分类号** U239.8

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2019.10.023

## Application of Driverless Rubber Tyre Rail Transit System

LIANG Shisong, BAO Jiajian

**Abstract** Driverless rubber wheel rail transit system is a new system in present rail transit. Based on Shanghai Pujiang APM (automated people mover) system and the design of other rubber wheel systems (Hong Kong Airport APM system, Wuhu monorail, etc.), the application of the characteristics of driverless rubber wheel system are discussed from aspects of safety related settings, vehicle physical structure, remote control, driving mode and operation scenarios.

**Key words** rubber wheel rail transit system; driverless mode; remote control

**Author's address** CRRC Puzhen Bombardier Transportation Systems Ltd., 241060, Wuhu, China

轨道交通无人驾驶线路区别于传统的轨道交通线路, 其最大的特点在于无需随车人员值守, 所有行车功能均由系统自动完成。这在节省人力成本的同时降低了人为错误的发生概率, 大大地提高了运营效率和系统可靠性。

胶轮路轨系统(以下简称“胶轮系统”), 是近几年国内轨道交通行业的新兴制式, 其最大的特点为爬坡能力强、噪声低、造价低。具有代表性的胶轮系统有自动旅客运输(APM)系统和跨坐式单轨系统。上海轨道交通浦江线是国内第一条以无人值守下的列车自动运行(GoA4)等级开通的 APM 胶

轮系统线路。

## 1 无人驾驶胶轮系统的安全相关设置

无人驾驶系统由于没有司机随车值守, 因此当发生影响安全的运营故障或者意外事件时, 难以进行有效的人为判断并做出相应的操作。本文以上海轨道交通浦江线为例, 对无人驾驶胶轮系统涉及安全的设置特点进行介绍。

### 1.1 车辆段无人区设置

在车辆段分设有人区和自动无人区<sup>[1]</sup>, 用于区分需操作人员入场进行的维保操作和列车自动收发车作业。

设置自动无人区, 其目的是为了使得列车在此区域内可以按照系统设置进行相关的自动操作, 如列车的唤醒、休眠、自检和发车等。无人区是由系统自动控制的, 为了保证人员安全, 无人区原则上不允许未授权人员进入。若维保作业需要人员进入无人区, 则要严格按照操作流程进行申请, 作业人员在获得批准后方可进入无人区。一般在人员进入无人区时, 需要进行相关的断电、扣车等操作, 以确保人员安全。

### 1.2 障碍物探测

无人驾驶系统由于缺少了司机的现场判断, 障碍物探测则成了保证运营安全的主要手段。目前常用的障碍物探测技术分为主动式及被动式两种。

主动式障碍物探测, 也被称为障碍物智能识别系统, 通过在列车前端安装传感器或视频监控系统来实现探测功能。当传感器或视频监控系统检测出列车前方有障碍物时, 探测系统产生报警信号并主动联动信号系统, 以使列车尽快停车, 保证行车安全。

被动式障碍物探测, 也被称为排障系统, 通过在车辆或者走行轮前端设置排障器来实现探测功能。当列车在行车过程中遇到障碍物时, 由排障器把障碍物推出列车行驶区域, 以保证行驶安全。此

方案下障碍物被排障器推出,列车无需停车。

目前由于主动式障碍物探测存在技术不成熟、可靠性低、成本高等因素,未能普遍使用。上海轨道交通浦江线及香港机场 APM 项目均采用了被动式障碍物探测方式。

### 1.3 防入侵检测

传统的有人驾驶轨道交通系统,一般是通过门禁系统来实现防入侵检测功能。当门禁被非法打开时会发出报警,由相应站务人员或者维保人员前往处理。

无人驾驶系统因大部分时间由系统自动运行,当出现非授权入侵时,需要由系统进行自动判断并作出相应的操作。另外,由于无人驾驶系统不设置司机,所以维保人员的人身安全也应纳入防入侵检测的考虑范围。

无人驾驶系统的防入侵检测系统一般可以设置为当与轨行区连通的安全门、疏散门被打开时,由防入侵检测系统产生相应位置的报警,并联动信号系统在入侵点关联区域内禁止列车通过。考虑到人员的触电风险,防入侵系统还需要联动供电系统进行入侵点关联区域内的紧急断电处理,以保证人员安全。香港机场 APM 项目在设计上采用了上述方案进行防入侵检测设置。

### 1.4 视频监控 (CCTV) 系统

无人驾驶系统的 CCTV 子系统要求视频监控的车辆和轨行区都为高清无死角,并具有特定工况下的联动推送功能,以便控制中心 (OCC) 可以在第一时间了解现场情况,并作出准确的判断及操作。

### 1.5 乘客紧急手柄

由于无人驾驶系统不设置司机,无法在第一时间对列车上发生的紧急情况进行处理,一般需要在列车内设置乘客紧急手柄,在发生紧急情况时供乘客拉下此手柄进行报警。同时,在拉下这个手柄的后果设置上,区别于传统有人驾驶系统的紧急制动停车,无人驾驶系统将后果设置为列车继续行驶到下一站后进行自动扣车操作,以便站务人员上车进行处理。

### 1.6 车门安全设置

传统有人驾驶系统列车司机可以在第一时间处理车辆相应的故障,所以车门保持关闭是一种可以接受的安全状态,其车门控制安全理念是采用故障导向车门关闭的控制逻辑。

无人驾驶系统不配置随车司机,所以当发生某

些极端工况或者故障时,车内并没有受过训练的专门人员来进行操作,以保证乘客安全。在这种情况下,车门是否可以被打开,反而成了安全的关键。所以,无人驾驶系统列车车门控制的安全理念是采用故障导向车门释放的控制逻辑。

有人驾驶系统和无人驾驶系统列车车门安全设置的具体逻辑区别如表 1 所示。

表 1 有人驾驶系统和无人驾驶系统列车车门安全逻辑对比

类别	零速信号高电平	零速信号低电平
有人驾驶系统	门释放,可以打开	门趋向关闭
无人驾驶系统	门释放,可以打开	门保持原状态

考虑到在列车行驶过程中可能会出现乘客误操作紧急解锁手柄而导致车门打开的风险,在无人驾驶系统中,车内车门紧急解锁装置需要采用防误操作的设计。依据疏散平台设置,由信号系统出发的电平信号驱动未设置疏散平台侧的车门紧急解锁内的电磁铁,实现锁闭该侧车门的解锁功能,以防止乘客误操作。

### 1.7 胎压监测

无人驾驶的胶轮系统特有一套胎压监测系统,用于实时监测轮胎的压力。当出现低压、超压、高温或者爆胎时,监测系统会产生报警,并联动信号系统进行到站扣车处理。

另外,无人驾驶的胶轮系统在轮胎中还应设有防爆钢圈,列车在出现爆胎后仍可以使用防爆钢圈维持一定公里数的运行,在保证列车安全的同时也可以使故障列车快速退出正线运营。

## 2 无人驾驶胶轮系统车辆的结构特点

### 2.1 司机室

无人驾驶胶轮系统列车本身无司机室设置,也无司机室隔间门及司机室侧门,如图 1 所示。当运营维护人员需要登车时,利用客室侧门进行登车操作。



图 1 APM 胶轮系统的车头设计

## 2.2 驾驶控制台

无人驾驶系统的驾驶控制台只在系统调试、故障处理等非正常运营情况下使用。基于此目标设定,驾驶控制台可以简化减小尺寸,仅保留其必要功能。另外,OCC 担当了绝大部分人工调度、故障处理的角色,因此驾驶台也无需设置人机交互界面(DMI)、CCTV 显示器等设施,进一步缩小了驾驶台的尺寸。考虑到没有独立的司机室,人工手动驾驶所需要操作的司控器、按钮面板等设施需要做成隐藏形式,以防止乘客在乘车过程中进行任何误操作。

## 3 远程控制和驾驶运营场景

无人驾驶胶轮系统所有的控制权均集中在 OCC,其控制方式的最大特点是具有车地无线系统的远程通信、远程监控和远程控制等三大功能。

1) 远程通信。负责车辆与 OCC 的数据传输。这些数据主要包括自动行车指令、人工控制指令、车辆故障及状态上传、CCTV 视频上传、乘客广播、紧急对讲等。

2) 远程监控。负责 OCC 对车辆本身状态的采集,以及车厢内的 CCTV 监控。主要包括车辆的故障信息、车辆子系统的实时状态、CCTV 的循环以及联动推送等。

3) 远程控制。负责 OCC 对列车的自动以及人工控制功能,主要包括列车自动控制、人工调度设置、人工紧急停车、系统联动控制等方面。

这三大功能相辅相成,形成无人驾驶胶轮系统在驾驶模式、运营场景、联动功能等方面的特点。

### 3.1 车地无线系统

无人驾驶胶轮系统共设置了 2 套车地无线系统,一套基于信号系统,另一套则基于通信系统<sup>[2]</sup>。

基于信号系统的车地无线系统,主要用于传输车辆及轨旁 ATC(列车自动控制)的控制指令,并完成车辆关键故障的回采工作。列车自动运行所需要的控制指令,如时刻表、进路设置等,由 OCC 操作人员在 ATS(列车自动监控)上完成,通过车地无线系统下发至每一列列车,并由车载 ATC 控制列车执行指令。列车的故障信息、关键状态等通过车地无线系统反馈至 ATS,用于 OCC 人员判断列车状态。

基于通信系统的车地无线系统,主要用于完成 OCC 对车辆的远程人工广播及与车辆的紧急对讲工作,并完成车辆 CCTV 系统的视频流、音频流对 OCC 的实时推送上传工作。此外,用于远程诊断的

车辆实时状态数据采集,也可以通过这套车地无线系统来完成。

### 3.2 驾驶模式

无人驾驶胶轮系统采用全自动模式作为默认的运营模式。在这个模式下,列车的牵引、制动、到站开关门等操作全均由信号系统控制下的列车自动完成,运营过程中无需人工干预。

列车还配备有带 ATP 保护的人工驾驶模式,在全自动模式不可用的情况下,可由司机在 ATP 保护下手动驾驶列车运行。

另外,无人驾驶胶轮系统一般还配有全手动模式,用于列车调试、列车调库、信号系统故障下的清客回库、救援等非正常运营下的特殊工况。

原则上无人驾驶胶轮系统不设置后退模式,即在各种驾驶模式下,列车的默认行驶方向只能向前。

### 3.3 运营场景

无人驾驶胶轮系统在运营场景上,采用了自动唤醒、自动自检、自动巡道、自动回库、自动休眠等模式<sup>[3]</sup>:①系统根据设定好的时刻表和排班表自动唤醒列车。列车被唤醒后执行自检程序,若自检不通过,则产生相应报警,并由 OCC 远程操作派出备用车。②当自动唤醒和自检程序通过后,每天线路上运行的第一列列车将执行自动巡道功能。此时列车按照预设的速度进行低速巡道。③巡道顺利完成后,则表明系统满足投入运营的条件。所有列车按照时刻表安排按次序上线投入运营。④运营结束后,列车自动回库,并执行自动休眠程序。

此外,无人驾驶的胶轮系统还设置了自动洗车、正线自动调整(跳站、扣车、时刻表追赶)等功能,可用于不同的运营需求。

### 3.4 联动功能

1) 车门和屏蔽门联动。当某个车门或者屏蔽门切除后,对应的车门或者屏蔽门将自动不打开。

2) 自动扣车功能。当发生某些影响安全的工况时,如火灾、乘客拉动紧急拉手等,信号系统将实时采集这些信号,并触发自动扣车功能。

3) CCTV 联动功能。在某些特定工况下,如车上驾驶盖被打开、防入侵系统启动等,CCTV 会产生相应联动,并主动推送相应的摄像头画面至 OCC。

香港机场 APM 项目在上海轨道交通浦江线的基础上,新增了以下联动功能:

1) 与防入侵系统联动。当防入侵系统产生报警后,基于安全原则,入侵点关联范围内行车区域

将禁止列车通过,已在区域内的列车将紧急制动停车。另外,关联区域内的供电将被自动切断。

2) 与通风系统的联动。为了保证在隧道火灾情况下的安全,信号系统与通风系统设有联动接口,以保证一个通风区域内只有一列车。

3) 与供电系统的联动。当供电系统发生部分区间断电时,信号系统会计算此时列车是否可以顺利通过无电区。若无法通过,信号系统将发出制动指令,使列车停在无电区前。

4) 与防火门的联动。当隧道或者车辆段发生火灾时,出于消防要求,防火门将自动关闭。此时系统会计算列车是否可以在防火门关闭前通过,若无法通过则制动停车,以避免列车撞上防火门产生安全事故。

#### 4 结语

本文以上海轨道交通浦江线为基础,阐述了以GoA4 开通运营的无人驾驶胶轮系统通过采用车辆

段无人区、防入侵检测、障碍物探测等措施强化了系统的安全设置和安全管理。无人驾驶胶轮系统更侧重于无人值守情况下的乘客以及维护人员的安全,在物理特性上取消了司机室,采用简易车载操作台设计,增加了载客能力,提升了乘客的乘坐舒适性;在控制方式上,基于无线车地通信系统的远程通信、远程监控、远程控制三大功能相辅相成,形成了无人驾驶胶轮系统在运营场景、驾驶模式、联动功能等方面的特点。

#### 参考文献

[1] 王寅.我国城市轨道交通应用全自动无人驾驶系统的探讨[J].中国工程咨询,2017(2): 21.  
[2] 肖芑,刘维萍.浅谈地铁无人驾驶系统设计[J].中国工程设备,2017, 11(上): 100.  
[3] 王鹏.无人驾驶关键技术和典型场景应用分析[J].城市轨道交通研究,2017(10): 69.

(收稿日期:2019-05-06)

### 新一代大运量全自动无人驾驶智慧列车——上海轨道交通 14 号线 首列列车成功下线



2019 年 9 月 3 日,由中车南京浦镇车辆有限公司(以下简称“中车浦镇公司”)研制的我国新一代大运量全自动无人驾驶智慧列车——上海轨道交通 14 号线首列列车在中车浦镇公司成功下线,这标志着我国城市轨道车辆在运能和智能化方面又达到了一个新高度。上海轨道交通 14 号线采用 8 节编组 A 型车,项目配置 49 列列车,列车长 185.6 m,车宽 3 m,车厢采用纵向座椅布置,司机室敞开设计和客室空间融为一体,极大地增加了载客能力。列车定员、超员(最大)载客量相比座椅横纵排布的 8 节编组 A 型车,定员人数增加 18% 以上,超员人数增加 16% 以上。中车浦镇公司研发的上海轨道交通 14 号线的列车是国内首个可以从运营伊始即进入无人值守的全自动无人驾驶状态的项目,列车按照全自动驾驶标准 EN 62290:2014 中最高等级 GoA4 进行设计。新一代大运量自动化无人驾驶智慧列车除了安全性、可用性、乘坐舒适性等方面进行升级外,重点对全自动驾驶列车功能进行升级——列车不仅能实现自动唤醒/休眠、自检、自动出入停车场、自动清洗、自动正线运行、自动停车、开关门控制、故障情况下自动恢复等功能,还能实现车门对位隔离、跳跃停车、远程控制、微断复位等功能。此外,列车增设了登乘人员识别装置,可通过刷卡等方式记录登车工作人员身份、上下车时间等信息,以利于全自动驾驶列车的运营管理。

(中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司供稿)