

北京机场线无人驾驶模式系统的研究与实践

孙延焕¹ 陈丽民² 陈军科¹

(1. 北京东直门机场快速轨道有限公司 北京 100027; 2. 阿尔斯通交通股份有限公司 北京 100027)

摘要 北京机场线是国内首条采用无人驾驶技术的地铁线路。阐述北京机场线无人驾驶系统采用基于通信的列车控制系统的结构与性能,重点分析无人驾驶系统的技术应用,对无人驾驶系统投入运营的情况进行相关介绍。

关键词 城市轨道交通;无人驾驶;CBTC;北京机场线

中图分类号 U284 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2012)05-0038-04

近几十年来,我国城市轨道交通发展迅猛,在各大城市已逐步形成网络化规模的同时,信号技术“基于无线通信的列车控制系统”方案也获得了实际商业应用的成功。这在确保极高安全性的前提下,为提高城市轨道交通线网运输能力提供了可能;同时也将信号技术带入了“全自动无人驾驶模式”的发展期。全自动无人驾驶系统作为先进的城市公共交通体系,代表了城市轨道交通领域的发展方向。

1 北京机场线无人驾驶系统

北京机场线是北京市轨道交通线网规划中的一条客运专线,由市中心向东北方向连接首都国际机场,主要服务于航空旅客,具有城市候机楼功能。线路全长28.1 km,共设4个车站,分别为东直门站、三元桥站、T2站及T3站。全线设有主、备两处控制中心。

全线采用直线电机车辆,4节编组,共计10列,牵引供电形式为三轨授流、走行轨回流。信号系统采用基于无线通信技术的列车控制系统,即CBTC(commun-ication based train control)系统。

收稿日期:2012-06-20 修回日期:2012-07-24

作者简介:孙延焕,男,高级工程师,从事轨道交通建设与管理,sun-yanhuan@bjjcx.net

1.1 信号系统的结构与性能

机场线采用阿尔斯通公司提供的URBALIS[®]™ CBTC系统,支持全线和车辆段无人驾驶全自动运行。该系统的关键结构特点是使用了SDH(synchronous digital hierarchy,同步数字系列)冗余骨干网,以确保各子系统间的通信及通过无线系统实现车地双向通信。

1.1.1 URBALIS[®]™ CBTC系统特点

机场线无人驾驶系统主要由线路控制器、中央区域控制器、轨旁区域控制区、车地传输设备、骨干网及控制中心等设备组成,系统构成如图1所示。

北京机场线采用的URBALIS[®]™ CBTC系统是一个基于无线通信的CBTC移动闭塞系统,可在高等级安全性、可用性和可靠性的性能水平下实现全自动管理线路行车、优化系统生命周期成本,其主要特点如下。

1) 自动化。除正线使用CBTC模式外,车辆段也设计为全自动化车辆段。段内调车、列车清洗、车辆段和正线间的列车调控,均可通过中心ATS(automatic train supervision,列车自动监控)系统由控制中心的调度操作和管理,最大限度地实现了系统的集中控制、操作和管理,大大提高了线路的运营效率。

2) 安全性。自动列车控制、微机联锁、列车检测等设备均通过独立认证机构的SIL4级认证。基于故障导向安全原则,各子系统间的通信使用编码技术以安全防范未经许可的网络接入,并根据CENELEC标准,进行系统安全论证。

3) 可用性。通过内嵌冗余技术的系统结构和高可靠性设备的选用得以实现。

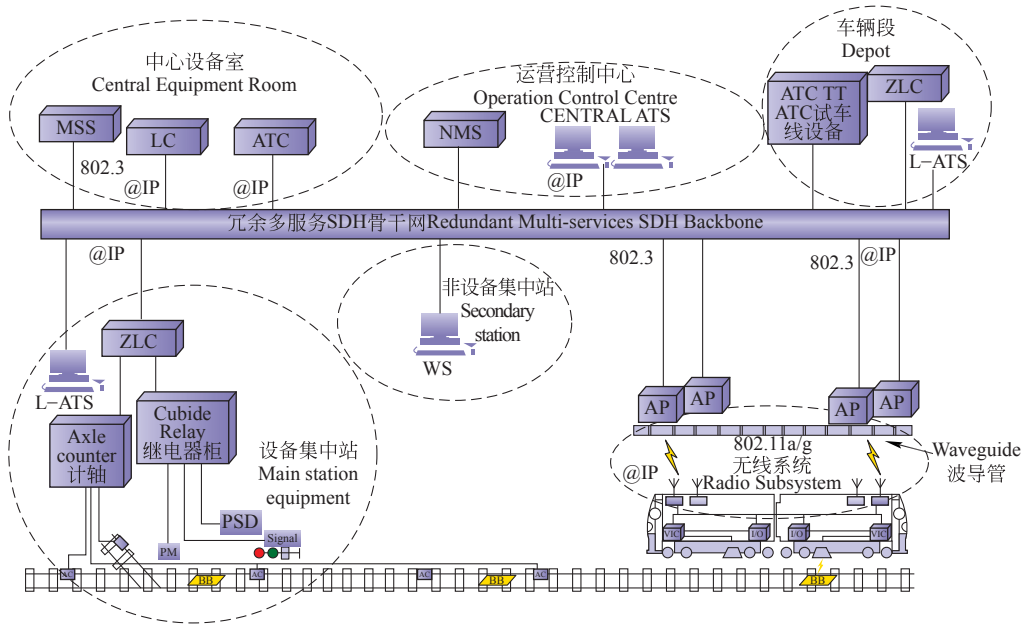


图1 机场线 URBALIS[®] 总体结构

4) 可维护性。各系统主要设备的内嵌自检功能和数据通信系统可将报警和诊断结果实时发送给控制中心,使系统的可维护性有了较大的提高。

5) 可扩展性。由于使用骨干网传输,可以通过增加骨干网模块实现系统扩展,以应对增加列车、车站,或延伸线路的需求。

1.1.2 SDH 冗余骨干网技术

冗余骨干网是 CBTC 信号系统所有通信设施的基础。通过以太网开关和 SDH 节点与各车站信号设备室、车辆段及控制中心连接。SDH 冗余骨干网络由于采用光纤连接方式,故可以得到可靠防护,当光纤被切断时,它能够很快地进行系统自身的重新配置,以确保传输不受影响,如图 2 所示。当切断或损坏光缆修复完成后,系统可自动恢复保护,并切回正常运行模式。

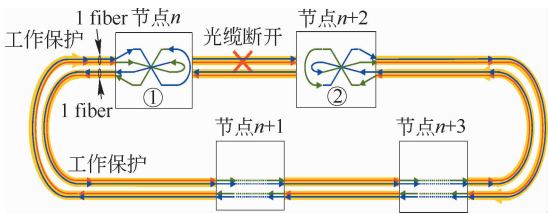


图2 SDH 网络保护原理

1.2 无人驾驶系统的列车控制应用

机场线无人驾驶系统是基于无线通信的列车自动控制系统,无人驾驶功能的实现,主要通过车载设备、轨旁区域控制器及线路控制器等主要设备进行列车定

位、防护及精确停车,具体功能如下。

1.2.1 车载设备

车载设备系统通过读取沿线设置的位置信标结合编码里程计进行位置计算,由此来确定列车在轨道上的位置,并将此信息发送给轨旁 ATP/ATO (automatic train protection/automatic train operation,列车自动防护/列车自动运行)设备。

在列车头尾各设置一套车载计算机设备,采取头尾热备冗余配置方式,车头为主用,车尾为备用。当车头主用计算机设备发生故障时,在不影响正常行车的情况下,车载设备自动切换至车尾设备,继续正常行车。

1.2.2 轨旁区域控制器

轨旁区域控制器根据在线列车的位置情况,给每列车建立一个安全范围,称为 AP (automatic protection, 自动保护),其他列车均不能进入此范围。轨旁区域控制器根据每个 AP 的位置和 CI (computer interlocking, 计算机联锁)发送轨旁设备的状态计算出授权终点,将此授权终点通过车地无线通信发送给列车,列车根据接收的授权信息和线路限速等相关信息,计算出一条至前车尾部的控制曲线,作为列车安全运行的防护曲线。

轨旁区域控制器采用 3 取 2 冗余方式,主要由计算机设备和输入输出设备组成,当主用计算机发生故障时,系统自动切换至备用设备,不影响列车正常

运行。

1.2.3 车地无线传输

机场线车地无线传输采用波导管传输方式,沿线设置无线接入点与波导管连接,车载信息通过车上无线天线与轨旁无线接入点进行数据交互,从而实现车地数据的双向传输。

1.2.4 车站精确停车

通过列车位置测量,可实现站台停车功能。为实现站台精确停车,在站台停车点前设置2个重新定位信标,列车在进站停车过程中,可通过读取重新定位信标进行列车位置的精确修正,从而实现站台精确停车。

1.3 车载图像监控系统的应用

机场线车地图像传输系统采用列车内部和外部设置摄像头方式,将列车内部情况和列车运行区域的线路情况,通过车地无线传输将信息实时传送至控制中心。

列车在无人驾驶模式下,控制中心调度员进行运行列车的实时监控,若车内发生特殊情况需要处理时,中心调度员通过车载电台与车内乘务人员取得联系,进行特殊情况的处理。

1.4 车辆段采用自动化设计

机场线车辆段为自动化车辆段,在无人驾驶模式下,列车接收发车指令后,从车辆段停车线自动发车上线载客运行,当天运行任务结束后,列车通过回段进路自动运行至车辆段停车线。

另外,机场线车辆段具备列车自动洗车功能。当列车有洗车需求时,自动洗车命令触发后,列车自动被发往洗车线执行洗车操作,列车到达洗车开始位置后,将根据ATS的远程命令对列车实施速度控制以执行洗车程序。列车运行至洗车库洗车范围后自动停车,洗车机以一定速度往返运动。洗车结束,列车自动返回停车线。

2 机场线无人驾驶系统的优越性

机场线采用的全自动无人驾驶系统是一种将列车驾驶员执行的工作,完全由自动化、高度集中的控制系统所替代的列车运行模式。

机场线无人驾驶系统最显著的特点:控制系统的操纵完全依照信号系统发送的行车指令进行系统控制。

无人驾驶与有人驾驶相比具有明显的优势,主要体现在安全性和可靠性高,列车高密度运行,实现更

快、更安全的旅客输送。

2.1 安全性、可靠性高

列车人工操作易受主观和外界因素干扰,从而在安全性方面存在不确定性和不稳定性,成为导致轨道交通故障或事故的原因。

机场线全自动无人驾驶系统运用现代设计理念,采用硬件和软件的冗余措施,利用高可靠性和安全性的信号系统,可靠、实时地传输大容量通信数据,快速准确地进行故障诊断分析与排除,结合自动列车监控系统、控制中心以及人工监视与干预的机制来确保较高的安全性和可靠性。

2.2 行车密度高

机场线全自动无人驾驶系统的信号系统采用了基于无线通信技术的移动闭塞系统,通过与车辆高精度控制系统的技术接口来实现列车精确定位、高速运行、实时跟踪和自动折返,有效地缩短了列车运行间隔,提高了行车密度和旅行速度,可适应大客流的需要。

2.3 维护、维修成本低

全自动无人驾驶系统具有按客流自动调整运营策略和列车开行密度的功能,能灵活地适应高峰大客流和低峰客流的运营需要,提高列车满载率。

机场线全自动无人驾驶列车不设驾驶员,使操作人员大幅度减少;车辆配属数量低也使维护、维修人员减少,使整个维护、维修成本降低。

3 无人驾驶对列车控制及运营管理的要求

3.1 对列车控制系统的要求

列车控制系统充分考虑了系统的容错能力,采用多重冗余技术,通过为列车提供安全性设施和冗余设备来提高系统的可靠性和可用性,主备系统之间能够实现无缝切换。

全自动无人驾驶车辆需要高可靠性、大容量、具有实时传输功能的车地无线传输系统,以实现控制中心与运行列车之间的实时双向数据传输。

列车控制系统具备了更高的牵引和制动控制精度,要求列车能在信号系统的控制下实现误差在30 cm范围内的精确停车;具备了快速、准确、安全的故障诊断能力和完善的监控功能,以便对列车运行状态的实时监控及对故障列车的及时处理。

3.2 对运营模式的要求

由于无人驾驶系统具有高度集中管理的要求,对全自动无人驾驶的行车控制采用小营控制中心控制模

式,与传统的地铁线路运营管理方式有较大的差异,主要体现在以下几个方面:

1) 控制中心调度人员从面向列车司机、再由司机面向乘客的行车调度方式转变为控制中心调度人员通过语音通信设备直接面向乘客。

2) 控制中心调度人员通过司机处理列车设备故障和列车控制职能转变为由控制中心调度直接处理。

3) 无人驾驶系统具有自动调整列车开行密度的功能,有别于传统的运营管理模式,传统的运营管理采用固定列车时刻表进行列车运行间隔的管理与控制。

因此,需要现场增加多职能保障团队,为非正常运营状态下的应急作业提供有力保障。主要包括:根据无人驾驶系统的运行特点,对无人驾驶系统的维护体系需要网络化、智能化;另外,为了保证无人驾驶系统投运初期的稳定运行,在列车运行过程中需要司机看护,以便在系统出现降级情况下及时人工干预。

3.3 对运营管理的要求

全自动无人驾驶系统是具有高科技含量的轨道交通系统,需要有高的管理水平与之相适应。因此,需要运营管理人员熟悉系统特性,能够沉着、灵活地应对突发事件,更要有较高的服务意识和责任感。

4 机场线无人驾驶系统的经验借鉴

机场线无人驾驶系统的顺利实施,主要依靠科学的工程建设管理模式,尤其对于建设周期短、技术复杂的项目更是需要严谨、科学的管理方式。

4.1 明确系统功能需求

在机场线无人驾驶系统的方案设计阶段,对功能需求进行仔细、严谨的讨论,明确每一项具体的功能需求。

在设计联络阶段,针对无人驾驶系统的各子系统专项方案进行逐一审查、讨论,确保各系统间的结合安全、可靠;同时确保机场线无人驾驶系统与外部系统间的接口正确,做到接口简单、安全可靠。

4.2 合理优化总体调试任务

由于项目工期短,可将现场大量实际测试工作,在工厂内部提前完成。

在现场测试发现的问题可以及时在工厂测试平台复测、分析,从而提高对问题的分析处理速度和系统综合联调的效率。

5 结语

实践证明,在世界范围内,全自动无人驾驶系统是一种具有高度可靠性、安全性的系统,可以实现列车的小编组、高密度运行,同时改善运营服务水平,也降低了生命周期的成本。在中国,无人驾驶技术刚刚起步,还需要进一步应用才能对它有更深、更广的认识,才能更进一步完善地铁系统运营维护的管理理念,从而更进一步推广无人驾驶技术。

深入研究无人驾驶系统对运营管理和维护管理的新需求,可以更好地促进无人驾驶系统标准的建设,对于运营管理标准和维护管理标准的制定具有积极的意义,对于进一步完善无人驾驶系统的功能、适应运营管理需求、真正发挥全自动无人驾驶系统的优势,也有着深刻的意义。

参考文献

[1] 赵红军. 浅析我国城市轨道交通现状及发展趋势[J]. 内江科技, 2011(8): 45-46.
[2] 顾岷. 我国城市轨道交通发展现状与展望[J]. 中国铁路, 2011(10): 53-56.
[3] 吴国兴. 以可靠性为中心的维修技术在地铁信号系统中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2007, 10(9): 41-44.
[4] 许耀亮. 基于通信的列车控制系统应用解析[J]. 铁道通信信号, 2011, 47(5): 1-4.
[5] 张兵兵. 国产 CBTC 系统的应用研究[J]. 铁道通信信号, 2011, 47(8): 49-50.

(编辑:曹雪明)

Research and Practice of Beijing Airport Link Driverless System

Sun Yanhuan¹ Chen Limin² Chen Junke¹

(1. Beijing Dongzhimen Airport Express Railway Co., Ltd., Beijing 100027;

2. ALSTOM Transport S. A. Beijing 100027)

Abstract: Beijing airport link is China's first driverless metro line. The structure and performance of the train control system, which is based on CBTC, is introduced with the focus putting on the technology implementation, practice, and how the system works.

Key words: urban rail transit; driverless; CBTC (Communications Based on Train Control); Beijing airport link.