

地铁信号系统自动控制功能探析

王曦

南京地铁运营有限责任公司

DOI: 10.12238/ems.v6i10.9361

[摘要] 随着城市轨道交通的快速发展，地铁信号系统的自动控制功能成为保障列车安全高效运行的关键技术之一。本文重点分析了基于通信的列车控制（CBTC）系统的自动控制功能，探讨了自动控制子系统、自动防护子系统以及自动驾驶子系统的具体应用和技术优势。通过深入分析现代地铁信号系统的自动控制功能，本文旨在为地铁运营安全提供技术支持和解决方案。

[关键词] 地铁信号系统；自动控制；自动防护

Analysis of Automatic Control Function of Subway Signal System

Wang Xi

Nanjing Metro Operation Co., Ltd

[Abstract] With the rapid development of urban rail transit, the automatic control function of subway signal system has become one of the key technologies to ensure the safe and efficient operation of trains. This article focuses on analyzing the automatic control function of the Communication Based Train Control (CBTC) system, and explores the specific applications and technical advantages of the automatic control subsystem, automatic protection subsystem, and automatic driving subsystem. Through in-depth analysis of the automatic control function of modern subway signal systems, this article aims to provide technical support and solutions for subway operation safety.

[Keywords] subway signal system; Auto-Control; Automatic protection

一、地铁信号系统自动控制功能概述

1. CBTC 系统概念及构成

通信基础列车控制系统（CBTC）是一种先进的铁路交通管理系统，旨在通过无线通信技术实现列车的精确控制。该系统主要由三个核心部分组成：车载控制单元、地面设备以及中央控制室。车载控制单元安装在每列列车上，负责接收和发送信息，确保列车按照正确的速度和距离运行。地面设备包括沿线设置的信号发射器和接收器，这些设备持续监测

列车的位置并与列车通信，以确保列车运行的安全和流畅。

中央控制室则负责监控整个系统的运行状态，调度列车，并处理突发事件，确保地铁系统的高效与安全运营。

2. 地铁信号系统的自动控制要求与标准

地铁信号系统的自动控制要求极为严格，目的是确保列车运行的安全性和时效性。首先，系统必须能够实时准确地控制列车的速度和运行路径，防止列车相撞或偏离轨道。此外，自动控制系统需具备高度的可靠性和响应速度，能够在

任何天气条件和紧急情况下稳定运作。从标准角度看, 地铁信号系统需要符合国际电气和电子工程师协会 (IEEE) 和国际公共交通协会 (UITP) 制定的一系列标准。这些标准涵盖了从系统设计、安装、测试到维护的各个方面, 确保了自动控制系统的高效性、可靠性以及安全性。此外, 为了适应不同国家和地区的运营需求, 地铁信号系统的自动控制还应遵循当地的法律法规和技术规范, 以满足具体的运营环境和安全要求。

二、地铁信号自动控制系统基本功能

1. 列车自动监控系统 (ATS)

列车自动监控系统 (ATS) 是一个分布式多服务器系统, 位于整个信号系统的顶层, 是列车自动控制系统的一个子系统, 在 SICAS、ATP 和 ATO 系统支持下, 具有自动监控列车运营的功能。中央 ATS 系统能为控制监管及优化列车运行提供非安全功能。通过使用网络化计算机和自动化功能, 从联锁的自动监控, 到自动列车追踪, 再到自动进路设置及列车自动调整, 系统能提供高效列车运行的指令信息。中央 ATS 为分配列车车次号并为操作员提供所有必要的列车信息。具备信号设备管理和自动进路设置功能, 提供时刻表管理和列车自动调整功能, 并能显示和存储所有系统报警和事件。ATS 系统是信号系统中智能化和自动化程度最高的, 是整个地铁运营效率的关键。

2. 自动防护子系统 (ATP)

自动防护 ATP 系统主要负责确保列车在运行过程中的安全。它具有短运行间隔、高自动化、高度灵活性和可扩展性。该系统分为用轨旁单元和车载单元, 基于移动闭塞分隔列车原理, 即通过车-地间周期传递列车位置信息和地-车间传递移动授权来实现。轨旁子系统根据联锁状态和列车位置计算移动授权; 车载子系统在指定的移动授权内监督列车运行。

ATP 能连续地检测防护范围内所有列车位置、方向等信息, 并根据线路、前方列车位置、ATS 提供的信息等条件进行必要的列车安全间隔计算后, 把线路状况、允许速度、停车点位置等相关信息发送给每列车, 确保列车的安全行车距离。当在列车停稳时, 如果车载控制器处于零速状态, 该系统会防止列车发生任何未经授权的移动, 如有必要, 会启

动紧急制动系统, 以防止列车意外移动或发生溜车现象。

3. 联锁系统 (SICAS)

联锁系统分为安全层、控制层和监督逻辑层。安全层负责运行进路的排列、防护以及解锁。敌对进路的排列将受阻止。控制层和监督逻辑层对室外设备电路按照故障导向安全的信号原理设计。它们指示设备的实际状态 (如: 信号机显示, 道岔的位置信息等) 以及所有轨旁信号设备的故障。安全层通过操作和指示界面与 ATS 相连, 达到控制和监督逻辑层。

具备对道岔、信号机、轨道区段和其他室外设备进行监督和控制。向 ATP 提供信号机状态、列车进路的设置情况、保护区段的建立、轨道区段临时限速以及区间列车运行方向等条件, 在对正常进路防护的同时, 配合 ATP/ATO 系统, 满足高密度自动驾驶的安全要求。车站联锁设备与 ATS 系统结合, 实现车站和中央的两级控制。完成与转换线、车辆段以及其它轨道交通线路的特殊接口功能, 完成必要的逻辑判断以对其接口对象进行正确控制和监督。并且具有自诊断及较完整的信息提供功能。

4. 自动驾驶子系统 (ATO)

自动驾驶子系统 (ATO) 是地铁信号系统中关键的一环, 它负责实现列车的自动驾驶功能, 包括启动、加速、减速及停车。该系统依据预设的行驶区间和速度参数曲线, 自动控制列车的整个运行过程, 确保列车操作的精确性和安全性。ATO 系统在自动防护子系统 (ATP) 的保护下, 能够实现列车的精准到站并自动进行停车控制。这一功能允许列车在无需司机干预的情况下, 自动完成停靠过程, 极大提高了运行效率和安全性。

ATO 系统还包括列车的实时监控功能。当 ATO 在运行时, 它会实时收集列车的运行数据, 通过网络系统反馈给 ATS 系统显示在监控中心, 使行车调度人员能够实时了解列车的驾驶模式、运行速度、设备状态、位置信息等进行有效管理。这一全面的实时监控不仅提升了地铁运营的可靠性, 也增强了对突发事件的应对能力, 确保列车及乘客的安全。通过这些高级功能, ATO 系统为现代地铁系统提供了高效和自动化的运营解决方案。

三、安全防护措施

1. 防止干扰与入侵

在CBTC系统中如何防止无线受扰是确保列车安全和快捷的重要措施。随着技术的发展,地铁系统越来越多地采用无线通信技术,这使得信号干扰问题尤为突出。特别是在2.4G频段,由于其广泛的应用,包括通信和公共Wi-Fi服务等,信号系统面临着严重的干扰风险。这种干扰会直接导致列车降级、丢失定位严重影响行车效率。

为了解决这一问题,目前常用的是Ainink接口系统,从逻辑上被分为轨旁和车载Airlink接口设备。此系统为轨旁和列车单元之间的传输提供数据安全保障。数据安全基于IPSec标准,为列车控制信息提供256位循环冗余加密、专用数据通道格式和密钥协商。这将有效防止任何对传输数据的非授权访问或操作。

Airlink中央轨旁设备主要由中央轨旁单元、防火墙、网络管理服务器、交换机组成。服务器通过交换机、防火墙向LTE网络发送数据包。对于轨旁安全控制系统数据,无线系统与轨旁通信网络采用冗余连接、包含2个独立的IP网络(轨旁通信A、B网)。连接仅通过中央轨旁单元实现,以保证将对轨旁通信A、B网的影响降到最低。轨旁无线系统通信通过冗余的LTE网络来实现以避免单点故障(物理和安全方面)。

防火墙服务用于连接本地到中央系统路由器,为保证关键的通讯数据安全和不被其他系统入侵。为了实现每个中央轨旁单元间同时保持和LTE A、B网的连接,在中央LTE系统需要同时提供到LTE A、B网接入端口。防火墙01、02和LTE A、B网需要同时保持连接。同时为了实现防火墙01、02的完全冗余模式,中央轨旁单元和防火墙之间实现交叉连接。通过这些技术方案和措施,CBTC系统能够有效防止非法入侵,保障地铁信号系统的安全、稳定、高效运行。

2. 加强日常的实时监督

在地铁信号系统的运营中,实施强化的实时监控是至关重要的,它确保了整个系统的稳定运行和安全性。地铁信号系统依赖于精确的数据和连续的监督来预防和响应可能的系

统故障或突发事件。因此,信号维护监测系统是地铁信号系统的重要组成子系统,是保证行车安全、加强信号设备管理、监测信号设备状态、发现信号设备隐患、分析信号设备故障原因、辅助故障处理、指导现场维修、反映设备运行质量、提高运营维护水平和维护效率的重要行车设备。信号维护监测系统可以实现对联锁系统、ATP系统、ATS系统、DCS设备、基础信号设备、电缆等信号设备的状态和实时报警的监测。

系统采用C/S架构(即客户机服务器模式),服务器为中心服务器上运行的监测应用服务器软件,客户端为控制中心、维修中心工作站上运行的中心操作终端软件或设备集中站运行的站机操作软件。应用服务器接收多个客户端的请求,并提供服务响应,同时接收接口服务器的数据,转发给中心操作终端或站机操作终端,应用服务器还为中心操作终端和站机操作终端之间提供数据转发服务。中心接口服务器接收联锁、车载、ATS等系统数据,转发给应用服务器处理。站机接口机接收子监测系统的的功能,同时转发给应用服务器处理。信号维护监测子系统设备采用通信传输通道独立组网,系统的运行和故障不会影响被监测设备的正常工作。

通过这些措施,实时监控不仅提高了地铁系统的运营效率,也大大增强了对紧急情况的应对能力,确保了乘客和列车的安全。

四、结语

本文深入探讨了地铁信号系统的自动控制功能,特别是CBTC系统的四大子系统:自动控制、自动防护、联锁系统和列车自动驾驶,并分析了系统的安全防护措施。通过对这些系统的功能和运作机制的详细阐述,我们发现,实时监控、干扰防护和非法入侵防护对于维护系统稳定运行和保障乘客安全至关重要。我们认为,持续优化这些系统的设计和功

[参考文献]

[1] 袁政. 关于地铁信号系统自动控制功能分析[J]. 教育现代化, 2017, 4(42): 212-213.

[2] 吴涛. 地铁信号系统通信控制的技术研究[J]. 技术与市场, 2018, 25(05): 145-146.