

城市轨道交通FAO信号系统的关键技术与应用

江屿桥

北京城建设计发展集团股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：随着城市轨道交通的飞速发展，全自动运行（FAO）系统作为提升运营效率、降低人力成本和提高服务质量的重要手段，正逐渐成为行业发展的主流趋势。本文深入剖析了FAO信号系统的架构、关键技术以及实际应用中的优势与挑战，并结合具体案例阐述了其实施经验，为城市轨道交通信号系统集成商及相关技术人员提供了全面且深入的技术参考，旨在推动FAO技术在城市轨道交通领域的广泛应用与持续创新。

关键词：轨道交通；FAO信号系统；技术应用

1 引言

城市轨道交通在缓解城市交通拥堵、促进城市可持续发展方面发挥着至关重要的作用。近年来，随着城市化进程的加速和人口的不断增长，对城市轨道交通的运能、可靠性和服务水平提出了更高要求。全自动运行（FAO）系统应运而生，它通过先进的信号技术、通信技术和自动化控制技术，实现列车从唤醒、出库、正线运行、回库到休眠的全过程自动化，无需或仅需少量人工干预。FAO系统不仅提高了列车运行的安全性和准点率，还显著提升了运营效率，降低了运营成本，为城市轨道交通的发展带来了新的契机。

2 FAO 信号系统架构

2.1 中央控制层

中央控制层是FAO信号系统的核心大脑，主要由列车自动监控（ATS）系统和运营管理中心（OCC）组成。ATS系统负责生成和管理列车运行计划，实时监控列车的运行状态，对全线列车进行统一调度指挥。它通过与车站设备、车辆段设备以及列车之间的通信，获取列车位置、速度、运行方向等信息，并根据这些信息对列车运行进行优化调整。OCC则负责整个轨道交通系统的运营管理，包括人员调度、设备维护管理、应急处理等。在FAO系统中，OCC能够通过ATS系统对全自动运行列车进行远程监控和管理，实现运营决策的科学化和智能化。

2.2 车站及轨旁设备层

车站及轨旁设备层包括车站控制器（STC）、轨旁ATP设备、道岔转辙机、信号机等设备。STC作为车站的核心控制设备，负责与ATS系统和列车进行通信，实现对车站内列车运行的控制和管理。它根据ATS系统下达的运行计划，控制道岔的转换和信号机的显示，为列车提供安全的进路。轨旁ATP设备则负责监测列车的位置和速度，确保列车在运行过程中始终保持安全间隔，防止列车追尾

等事故的发生。道岔转辙机和信号机等设备是实现列车运行路径控制和信号指示的基础设备，它们在STC和轨旁ATP设备的控制下协同工作，保障列车的安全运行。

2.3 车载设备层

车载设备层主要包括车载ATP/ATO设备、车载通信设备、车辆控制单元（VCU）等。车载ATP/ATO设备是实现列车自动运行的关键设备，它根据轨旁ATP设备提供的信息和ATS系统下达的运行计划，自动控制列车的牵引、制动和车门开关等操作^[1]。车载通信设备负责列车与地面设备之间的通信，包括与ATS系统、STC以及其他列车之间的信息交互。VCU则负责对车辆的电气系统、制动系统等进行控制，确保车辆的正常运行。在FAO系统中，车载设备层的各设备之间紧密协作，实现列车的全自动运行。

3 FAO 信号系统关键技术

3.1 列车自动控制技术

（1）精确的速度控制

FAO系统采用先进的速度控制算法，能够根据列车的运行状态、线路条件以及运行计划，精确控制列车的速度。通过对列车牵引和制动系统的实时调节，使列车在运行过程中保持平稳的速度变化，避免出现急加速和急减速现象，提高乘客的乘坐舒适度。同时，精确的速度控制还有助于降低列车的能耗，提高能源利用效率。

（2）自动进路排列

根据ATS系统下达的运行计划，FAO系统能够自动排列列车的进路。车站控制器（STC）通过与轨旁设备的通信，实时获取道岔位置、信号机状态等信息，并根据进路排列规则，自动控制道岔的转换和信号机的开放，为列车提供安全、高效的运行路径。自动进路排列技术大大提高了列车运行的自动化程度，减少了人工操作的失误，提高了运营效率。

3.2 通信技术

(1) 车地双向通信

可靠的车地双向通信是FAO系统实现全自动运行的基础。通过车地通信系统,列车能够实时向地面设备发送自身的运行状态信息,如位置、速度、故障信息等,同时接收地面设备下达的运行指令和控制信息。目前,常用的车地通信技术包括无线通信(如LTE-M)和有线通信(如漏缆通信)。LTE-M技术具有覆盖范围广、通信容量大、可靠性高的特点,能够满足FAO系统对车地通信的高要求。

(2) 列车之间的通信(车车通信)

在一些先进的FAO系统中,还采用了车车通信技术。通过车车通信,列车之间可以直接交换运行状态信息,实现更精确的运行间隔控制和协同运行。例如,在列车追踪运行时,后车可以实时获取前车的位置和速度信息,根据这些信息自动调整自身的运行速度和间隔,提高线路的利用率和列车运行的安全性。

3.3 故障诊断与冗余技术

(1) 实时故障诊断

FAO系统配备了先进的故障诊断系统,能够对列车和设备的运行状态进行实时监测和分析。通过对各种传感器数据的采集和处理,故障诊断系统可以及时发现设备故障和潜在的安全隐患,并准确判断故障类型和位置。一旦检测到故障,系统会立即发出报警信息,并采取相应的故障处理措施,如自动切换到备用设备、调整列车运行计划等,确保系统的正常运行。

(2) 冗余设计

为了提高系统的可靠性和可用性,FAO信号系统在关键设备和通信链路中采用了冗余设计。例如,在中央控制层的ATS系统中,通常设置主备服务器,当主服务器出现故障时,备用服务器能够立即接管工作,保证系统的不间断运行。在轨旁设备和车载设备中,也采用了冗余配置,如冗余的ATP模块、通信模块等,以确保在单个设备故障的情况下,系统仍能维持正常运行^[2]。

4 FAO 信号系统的应用优势

4.1 提高运营效率

(1) 缩短列车运行间隔

FAO系统通过精确的速度控制和自动进路排列技术,能够实现更短的列车运行间隔。相比传统的有人驾驶列车,FAO列车可以在更短的时间内完成加减速和进路切换操作,从而提高线路的通过能力,增加列车的发车频率,满足日益增长的客流需求。

(2) 优化运营调度

ATS系统能够根据实时客流数据和列车运行状态,对列车运行计划进行动态优化调整。例如,在高峰时段增加列车的开行数量,在低谷时段减少列车的运行数量,合理分配运能,提高运营效率。同时,FAO系统还可以实现列车的灵活编组,根据客流需求自动调整列车的编组数量,进一步提高运营效率。

4.2 降低运营成本

(1) 减少人力成本

FAO系统实现了列车的全自动运行,无需配备司机和乘务人员,大大减少了人力资源的投入。此外,由于系统能够自动完成列车的日常维护和故障诊断工作,也减少了维护人员的数量,降低了人力成本。

(2) 降低能耗

通过精确的速度控制和优化的运行策略,FAO列车能够实现节能运行,降低能耗。例如,在列车运行过程中,系统可以根据线路坡度、列车载重等因素,自动调整列车的牵引和制动策略,避免不必要的能源浪费,降低运营成本。

4.3 提升服务质量

(1) 提高列车准点率

FAO系统通过先进的列车自动控制技术和精确的运行计划管理,能够有效提高列车的准点率。列车按照预设的运行计划和精确的速度控制运行,减少了因人为因素导致的晚点现象,为乘客提供更加准时、可靠的出行服务。

(2) 改善乘客体验

由于列车运行更加平稳,减少了急加速和急减速现象,提高了乘客的乘坐舒适度。同时,FAO系统还可以实现自动开关车门、自动广播等功能,为乘客提供更加便捷、人性化的服务,提升乘客的出行体验。

5 FAO 信号系统实施挑战

5.1 技术复杂性与系统集成难度

FAO信号系统涉及多个子系统和复杂的技术,如列车自动控制技术、通信技术、故障诊断技术等,各子系统之间需要高度协同工作。在系统集成过程中,需要确保不同厂家的设备和系统能够无缝对接,实现互联互通。这对系统集成商的技术能力和项目管理能力提出了很高的要求。同时,由于FAO系统的技术复杂性,在系统调试和测试过程中也需要投入大量的时间和精力,以确保系统的稳定性和可靠性。

5.2 网络安全风险

随着FAO系统的广泛应用,网络安全风险日益凸显。由于FAO系统高度依赖通信技术和信息技术,一旦

网络安全防线被突破,黑客可能会篡改列车运行数据、干扰列车控制系统,导致列车运行故障甚至安全事故。因此,需要加强网络安全防护,采用先进的加密技术、身份认证技术和防火墙技术等,保障系统的网络安全。同时,还需要建立完善的网络安全管理制度,加强对系统操作人员和维护人员的网络安全培训,提高网络安全意识。

5.3 运营管理与人员培训

FAO系统的应用改变了传统的运营管理模式,对运营管理人员的专业素质和业务能力提出了更高要求。运营管理人员需要熟悉FAO系统的工作原理、操作方法和维护技术,能够熟练运用系统进行列车调度和运营管理。因此,需要加强对运营管理人员的培训,制定完善的培训计划和培训内容,提高其业务水平和应急处理能力。此外,还需要建立适应FAO系统的运营管理制度和流程,确保系统的安全、高效运行。

6 FAO 信号系统应用案例分析

以某城市新建的轨道交通线路为例,该线路采用了FAO信号系统。在项目实施过程中,系统集成商充分考虑了FAO系统的技术特点和实施挑战,采取了一系列有效的措施。

在技术方面,选用了先进的列车自动控制设备和通信设备,确保系统的性能和可靠性。通过对列车自动控制算法的优化,实现了精确的速度控制和自动进路排列,列车运行间隔缩短至2分钟以内,大大提高了线路的运输能力。在通信方面,采用了LTE-M车地通信系统,保证了车地通信的稳定可靠,实现了列车与地面设备之间的实时数据交互。

在系统集成方面,制定了详细的系统集成方案,加强了对各子系统设备厂家的协调和管理。通过严格的系统测试和联调,确保了各子系统之间的无缝对接和协

同工作。在网络安全方面,构建了全方位的网络安全防护体系,采用了加密技术、防火墙技术和入侵检测技术等,有效保障了系统的网络安全^[3]。

在运营管理方面,对运营管理人员进行了全面的培训,使其熟悉FAO系统的操作和维护技术。同时,建立了完善的运营管理制度和应急预案,提高了运营管理的效率和应急处理能力。该线路投入运营后,取得了良好的效果。列车准点率达到了99%以上,运营成本降低了20%左右,乘客满意度显著提高。

7 结论

FAO信号系统作为城市轨道交通领域的先进技术,具有提高运营效率、降低运营成本、提升服务质量等显著优势。然而,在应用过程中也面临着技术复杂性、网络安全风险和运营管理等方面的挑战。通过不断加强技术创新、完善系统集成、强化网络安全防护和提升运营管理水平,FAO信号系统将在城市轨道交通领域得到更广泛的应用和发展,为城市轨道交通的可持续发展提供有力支撑。城市轨道交通信号系统集成商应密切关注FAO技术的发展趋势,不断提升自身的技术实力和项目实施能力,为推动FAO技术在城市轨道交通中的应用做出更大贡献。

参考文献

- [1]余继.城市轨道交通信号系统架构研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(10):131-135+143.
- [2]李迎春,李叶,刘锦峰.地铁FAO信号系统关键场景分析与测试设计[J].铁道通信信号,2021,57(12):6.DOI:10.13879/j.issn.1000-7458.2021-12.21041.
- [3]魏明瑞.FAO信号系统与外部接口测试方案[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(8):4.DOI:10.3969/j.issn.1673-4440.2022.08.020.