

城市轨道交通信号专业系统调试要点分析

赵伟 李铁钢

北京城建智控科技股份有限公司 北京市 100000

摘 要：城市轨道交通信号专业系统调试是保障列车安全、高效运行的关键环节。调试要点包括前期设备检查验收及人员培训；核心调试环节涵盖静态调试、动态调试与系统联调，需确保轨道电路、信号机、道岔、列车自动控制系统等功能正常；同时要注重调试过程中的质量控制，如制定测试标准、记录分析数据和安全管理。通过精准把握这些要点，可有效提升信号系统稳定性，推动城市轨道交通高质量发展。

关键词：城市轨道交通；信号专业；系统调试

随着城市化进程加速，城市轨道交通已成为缓解交通压力、提升出行效率的核心方式。信号系统作为轨道交通行车指挥的“神经中枢”，直接关乎列车运行的安全性与准点率。而调试工作是确保信号系统功能完备、性能稳定的关键步骤。深入剖析城市轨道交通信号专业系统调试要点，不仅能为实际调试工作提供科学指导，也对推动轨道交通行业持续健康发展具有重要意义。

1. 城市轨道交通信号专业系统的特点

1.1 具备极高的安全性

信号系统作为保障列车安全运行的核心系统，任何信号失误都可能引发严重事故。该系统通过多重冗余设计与故障—安全原则构建安全防线，如关键设备联锁系统主机采用双机热备，当主设备故障时，备用设备能迅速无缝切换，避免信号中断；信号机的显示规则遵循故障—安全逻辑，在设备故障时自动导向安全状态，确保列车运行安全。

1.2 具备极高的高可靠性

系统需满足全天候不间断运行需求，采用高稳定性的硬件设备和成熟的软件算法。轨旁设备具备良好的抗干扰能力，能在复杂电磁环境下稳定工作；软件系统经过大量测试和优化，减少程序漏洞和运行故障，降低系统故障导致列车延误或停运的风险。

1.3 具有高度自动化与智能化

列车自动控制系统实现列车自动监控、自动防护和自动运行功能。ATS 系统可自动编制列车运行计划，实时监控列车位置和运行状态；ATP 系统对列车运行速度进行自动防护，防止列车超速和冒进信号；ATO 系统控制列车自动完

成启动、加速、巡航、制动等运行过程，提升列车运行效率和准点率。

1.4 具备强大的兼容性和扩展性

城市轨道交通网络新线路建设和既有线路升级改造频繁，信号系统需与不同厂商的设备、不同制式的系统兼容。同时，具备功能扩展和便于接入新设备，如支持新型列车通信技术的接入、满足自动驾驶等级提升的要求等，保障城市轨道交通系统持续稳定发展^[1]。

2. 城市轨道交通信号专业系统关键安装技术

2.1 室外设备

信号专业系统的室外设备安装直接影响信号传输的准确性与稳定性，需严格遵循技术规范与施工标准。首先是信号机的安装，要精准定位，确保安装位置与设计图纸一致，基础螺栓的埋设深度和垂直度需符合要求，以保证信号机稳固，避免因列车运行震动导致偏移。安装时还需注意信号机的显示方向 and 高度，通过专业测量仪器校准，保证信号显示清晰、可视距离达标。

轨道电路设备安装同样关键，钢轨引接线、接续线等连接部件的安装要牢固可靠，采用专用压接工具，确保电气连接良好，减少接触电阻。钢轨绝缘节的安装需保证绝缘性能，防止轨道电路短路或漏电，影响信号传输。计轴设备安装位置正确，线缆连接牢固。此外，应答器的安装需保证其与钢轨的相对位置精度，通过高精度测量设备定位，避免因安装偏差导致列车接收报文错误。室外设备安装完成后，还需对设备及金属基础进行接地处理，接地电阻需符合标准，增强设备抗干扰能力和安全性。

2.2 室内设备

室内设备作为城市轨道交通信号专业系统的控制核心,其安装质量对系统整体功能的实现至关重要。信号 ATC、ATS、LTE、DCS 等机柜安装严格按照机房布局规划,确保机柜排列整齐、间距合理。机柜固定要牢固,通过膨胀螺栓与地面可靠连接,防止因震动导致机柜移位或倾倒。

机柜设备配线安装需遵循布线规范,线缆要分类绑扎整齐,强弱电分开敷设,避免电磁干扰。电缆引入机柜时,要做好密封和防护措施,防止灰尘、水汽侵入。电源设备的安装,要保证电源模块连接正确,熔断器、断路器等保护装置安装到位,确保供电稳定、安全。同时,室内设备的防雷装置安装需将防雷器正确接入信号线路和电源线路,做好等电位连接,提高设备抵御雷击和过电压的能力。此外,设备安装完成必须进行设备间的接口调试,确保各设备间通信正常,信号传输准确无误,为信号系统的稳定运行奠定坚实基础^[2]。

3. 城市轨道交通信号系统调试要点

3.1 设备单机调试

设备单机调试是城市轨道交通信号系统调试的基础环节,旨在确保每一台设备在投入系统运行前都能正常工作。

信号机调试:检查信号机的外观和结构,确保外观良好、无破损,结构牢固,无松动或变形;依据联锁表进行功能试验,确保灯位显示正确;调整信号机的电气性能,保证灯端电压和灯丝电流在标准范围内。

计轴器调试:上电前检查,确保板卡设备型号及安装位置正确,室外磁头的水平及垂直距离符合要求,机柜输入电源电压满足要求。上电后测量主机电源、传感器电压是否在标准范围内。进行室内外一致性试验,模拟列车通过计轴点,测试计轴器的计数准确性,确保车轮经过时能正确检测并记录轴数。

应答器调试:应答器安装角度及高度须符合产品安装手册。要求范围内应无金属等影响应答器传输的障碍物。使用应答器测试仪读取应答器报文,检查报文内容是否与设计一致,包含线路限速、坡度、车站位置等信息。

道岔调试:对道岔单独操纵测试,检查道岔转换时间(一般 ≤ 30 秒)、转换过程平稳无卡阻,道岔密贴符合标准。测试道岔表示电路,确保道岔实际位置与控制台显示一致。

车载设备单机调试中,车载控制器需进行硬件自检,确保各模块正常运行,再通过模拟列车运行场景,测试其对

信号指令的处理能力和控制逻辑的准确性。应答器天线、车地通信天线等设备,要检查其安装牢固性和电气性能,通过信号发生器发送特定信号,检测天线的接收灵敏度和信号传输质量。对于室内设备,如电源屏、联锁机等,需对其内部板卡、电源模块等进行逐一检查和测试,确保设备供电稳定、功能正常,为后续系统调试筑牢根基。

3.2 系统调试

系统调试是将各单机设备组合成完整子系统后进行的综合性调试,重点检验子系统内各设备之间的协同工作能力。

3.2.1 计算机联锁系统(CI)

室内逻辑测试:通过仿真测试平台验证联锁表、进路逻辑(进路建立、锁闭、解锁条件)、敌对进路防护、信号机显示规则等是否符合设计要求。室外设备联动测试:进行进路办理测试,验证 CI 系统与道岔、信号机、轨道电路的联动关系是否正确。

3.2.2 列车自动监控系统(ATS)

ATS 子系统调试,需验证其对列车运行计划的编制、下发、调整功能,以及对列车运行状态的实时监控和数据采集功能。通过模拟不同的运营场景,测试 ATS 子系统对列车运行的调度指挥能力,确保系统能满足实际运营需求。数据通信与报警功能测试:验证 ATS 与 CI、ATP、ATO 等子系统的数据交互,确保信息传输稳定,无丢失或延迟。

3.2.3 列车自动防护系统(ATP)

车载设备功能测试:在模拟环境或试车线上,测试 ATP 车载设备的超速防护功能,当列车速度超过允许速度时,系统应依次发出声光报警、常用制动、紧急制动指令,制动距离符合设计标准。验证车载信号与地面信号的一致性,如地面信号机显示红灯时,车载设备应禁止列车越过。轨旁设备功能测试:对轨道电路进行分路测试,确认列车占用时能正确检测分路状态。测试应答器报文传输的正确性,确保列车通过时车载设备能准确接收线路信息。

3.2.4 列车自动运行系统(ATO)

ATO 子系统调试,要实现列车自动启动、加速、巡航、惰行、制动等全过程的自动化控制测试。在调试过程中,精确测量列车的运行速度、停车精度等指标,停车精度控制在定位停车点 $\pm 300\text{mm}$ 范围内,车门与屏蔽门联动误差 $\leq 100\text{mm}$;不断优化 ATO 系统的控制参数,确保列车运行平稳、准点。

3.3 静态调试

静态调试是在列车未上线运行的情况下,对信号系统的各项功能和性能进行全面检查和测试。在轨道电路静态调试中,利用专用测试仪器向轨道电路发送不同频率和强度的信号,测量轨道电路的传输特性,如信号衰耗、阻抗等参数,确保轨道电路工作在正常状态。同时,检查轨道电路与信号机、道岔之间的联锁关系,通过模拟轨道电路分路、断轨等故障情况,验证信号显示和道岔动作是否符合联锁要求。

信号机静态调试除了检查显示功能外,还要测试其与其他设备的接口关系,确保信号机的显示状态能准确反映轨道电路和道岔的状态。道岔静态调试需检查道岔的机械动作性能,如转换时间、转换力是否符合标准,同时验证道岔表示电路的正确性,确保道岔位置能准确反映到室内控制系统。此外,对应答器报文的正确性进行检查,通过专用设备读取应答器存储的报文信息,核对报文内容与设计要求是否一致,保证列车能获取准确的线路数据和行车指令^[3]。

3.4 动态调试

动态调试是在列车上线运行的实际场景下,对信号系统进行全面的功能性和性能测试。需测试跨系统功能联动,如ATS发布运行计划后,CI自动排列进路,ATP生成防护曲线,ATO按计划自动驾驶。

在ATP功能动态调试中,模拟列车在不同速度、不同线路条件下的运行情况,测试ATP系统的超速防护功能。通过逐渐提高列车速度,验证ATP系统能否及时准确地触发常用制动或紧急制动,确保列车运行安全。同时,测试ATP系统对车门与屏蔽门/安全门联锁功能的控制,保证在列车未停稳或车门未关闭到位时,屏蔽门/安全门无法打开,避免安全事故发生。

ATO功能动态调试需在实际线路上测试列车的自动运行性能,包括自动启动的平稳性、加速和减速过程的舒适性、巡航速度的准确性以及停车精度等指标。通过多次往返运行测试,不断优化ATO系统的控制参数,使列车运行更加高效、节能、舒适。在动态调试过程中,还需测试车地通信系统的稳定性,确保列车与地面控制系统之间的信息传输实时、准确,为列车的安全运行和高效调度提供保障。

3.5 系统综合联调

系统综合联调是将信号系统与其他相关系统,如车辆系统、综合监控系统、通信系统等进行联合调试,确保各系统之间能够协同工作,实现整个城市轨道交通系统的高效运行。

在信号系统与车辆系统联调中,重点验证车辆接口信号的交互准确性,如车辆的牵引、制动指令能否被信号系统正确接收和处理,信号系统发送的车门控制信号能否准确控制车辆车门的开关,车载PIS/PA显示播放是否正确。通过模拟各种运行场景,测试车辆与信号系统之间的配合是否默契,确保列车运行安全、可靠。

信号系统与站台门系统联调需要实现进站预告显示、车门与站台门的联动及故障隔离是否正确。

信号系统与综合监控系统联调需实现信息共享和交互功能的测试,确保信号系统的列车运行状态、设备故障等信息能准确传输到综合监控系统,同时综合监控系统的控制指令能正确下发到信号系统。

在与通信系统联调时,测试信号系统与站台PIS/PA信息传输是否正确主要功能有站台广播预到站、到站广播是否正确。PIS显示列车数量及预到站时间是否正确。

结语

精准把握城市轨道交通信号专业系统调试要点,从前期准备、核心调试、数据验证优化到质量把控的全流程管理,是保障信号设备安全稳定运行的基石。随着轨道交通智能化、网络化发展,调试工作将面临更多技术挑战。未来需持续探索新技术应用,优化调试流程与方法,加强多系统协同调试,为城市轨道交通高效、安全运行筑牢技术防线。

参考文献:

- [1] 李进,王津航,杨志杰.城市轨道交通信号电源系统改造研究[J].现代城市轨道交通,2025,(04):65-70.
- [2] 张锐,司鑫悦,王成志.城市轨道交通信号系统测试序列自动生成方法研究[J].都市快轨交通,2025,38(02):140-146.
- [3] 吴国兴.云计算在城市轨道交通信号系统中的创新应用[J].数字技术与应用,2025,43(03):205-207.
- [4] 郎宁.基于云边协同的城市轨道交通信号相位配时控制方法[J].数字通信世界,2025,(02):109-111+152.