

高速铁路“四电”系统集成信号工程技术管理要点分析 探讨

李铁钢 赵伟

北京城建智控科技股份有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8327

[摘要] 本文围绕高速铁路“四电”系统集成信号工程，深入剖析技术管理要点，阐述实施准备阶段与实施阶段的管理内容，探讨实施及验收阶段的重难点技术问题，并针对性提出优化建议，旨在提升高速铁路信号工程技术管理水平，保障高铁安全高效运行。

[关键词] 高速铁路；“四电”系统集成；信号工程；技术管理

Analysis and Discussion on the Key Points of Integrated Signal Engineering Management for the "Four Electric" System of High speed Railway

Li Tiegang Zhao Wei

Beijing Urban Construction Intelligent Control Technology Co., Ltd

[Abstract] This article focuses on the integrated signal engineering of the "four electric" system in high-speed railways, deeply analyzes the key points of technical management, elaborates on the management content of the implementation preparation and implementation stages, explores the key and difficult technical issues in the implementation and acceptance stages, and proposes targeted optimization suggestions, aiming to improve the technical management level of high-speed railway signal engineering and ensure the safe and efficient operation of high-speed railways.

[Key words] high-speed railway; Integration of the "Four Electricity" system; Signal engineering; technical management

一、引言

1.1 研究背景

近年来，我国高速铁路发展迅猛，根据国家铁路局发布的《2024年铁道统计公报》显示，截至2024年底，全国铁路营业里程16.2万公里，其中高铁营业里程4.8万公里，高铁稳居世界第一。高铁的快速发展极大地缩短了城市间的时空距离，推动了区域经济协同发展。“四电”系统（通信、信号、电力、电力牵引供电）作为高速铁路的关键基础设施，是保障高铁安全、高效运行的核心。其中，信号系统作为高铁控制系统的“神经中枢”，负责列车运行的指挥与控制，对保障行车安全、提高运输效率起着决定性作用。随着高铁运行速度不断提升、运行密度的日益增大，对“四电”系统集成信号工程技术管理提出了更高要求。深入研究信号工程技术管理要点，解决技术管理中的重难点问题，对推动我国高速铁路高质量发展具有重要意义。

二、高速铁路“四电”系统集成信号工程概述

2.1 高速铁路信号系统基本构成

高速铁路信号系统主要由列车运行控制系统（CTCS）、计算机联锁系统（CBI）、调度集中系统（CTC）、信号集中监测系统（CSM）等构成。列车运行控制系统根据列车运行速度、线路条件等信息，生成列车行车许可，控制列车安全运行；计算机联锁系统通过计算机技术实现对道岔、信号机、轨道电路等信号设备的联锁控制，保证列车运行和调车作业的安全；调度集中系统实现对列车运行集中控制与调度指挥，提高运输组织效率；信号集中监测系统实时监测信号设备运行状态，为设备维护提供数据支持。

2.2 高速铁路信号工程特点

高速铁路信号工程具有技术复杂、精度要求高、集成度强等特点。涉及通信、计算机、自动控制等多学科技术融合，对设备的可靠性、稳定性要求极高。例如，信号设备的安装位置精度误差需控制在极小范围内，以确保信号传输准确性和及时性；同时，“四电”系统各子系统之间需要高度集成，实现

协同工作，这对系统的兼容性和接口匹配性提出了严格要求。此外，信号工程建设周期长，施工与既有线路运营相互干扰，也增加了工程实施的难度和复杂性。

三、信号工程技术管理要点

3.1 准备阶段技术管理要点

3.1.1 接口管理

接口管理是实施准备阶段的关键环节。在高铁“四电”系统集成信号工程中，信号系统与通信、电力、牵引供电等系统及站前土建工程间存在众多接口，技术管理人员需全面梳理各系统间接口关系，明确接口技术要求、责任界面和实施流程。特别对室外桥梁、路基等地段各接地端子逐点进行测试确认；对站前单位预留的过轨手孔、锯齿孔、电缆槽道以及房建室内预留的沟槽管线进行逐点核对。信号设备的供电接口需与电力系统协调，确保供电电压、频率等参数满足设备运行要求；信号系统与通信系统的数据传输接口需保证信息传输的准确性和实时性。接口管理应定期组织接口协调会议，及时解决问题，避免因接口不匹配导致工程延误和质量问题。

3.1.2 编制实施性施工组织方案

实施性施工组织方案是指导工程施工的重要文件。技术管理人员应根据建设工程特点、工期要求和现场实际，科学合理编制施工组织方案。方案需明确施工进度计划、施工工艺、资源配置等内容。进度计划要充分考虑到各工序之间的逻辑关系和时间衔接，合理安排施工顺序，确保工期；施工工艺需结合信号工程的技术要求，制定详细的施工工艺标准和操作流程，保证施工质量；资源配置要根据施工进度和项目实际，合理调配人、财、物等资源，提高施工效率。

3.1.3 编写物资设备技术规格书

物资设备技术规格书是采购信号设备的重要依据。技术管理人员要根据信号工程设计要求和相关技术标准等，详细编写物资设备技术规格书。规格书应明确设备技术参数、性能指标、功能要求、质量标准以及验收方式等内容。例如，对信号机，要规定其显示方式、发光强度、使用寿命等性能指标。通过严格审核物资设备技术规格书，确保采购信号设备满足工程需求，从源头上保证工程质量。

3.1.4 编写施工工艺技术标准

施工工艺技术标准是保证信号工程施工质量的关键。技术管理人员需结合工程实际、现行国家铁路局发布的《高速铁路信号工程细部设计和工艺质量标准》、《高速铁路信号工程施工技术指南》等规范，编写详细的施工工艺技术标准并组织进行技术交底。标准应涵盖光电缆敷设、室内外设备安装、设备调试等各个施工环节，明确各环节施工方法、质量要求和检验标准。例如，信号机安装工艺标准，要规定信号机安装位置、高度、角度等要求，安装后的检验方法和合格标准。通过严格执行工艺技术标准，确保施工质量。

3.2 实施阶段技术管理要点

3.2.1 设备位置定、复测

信号设备位置的准确性直接影响信号系统的功能发挥。技术人员需严格按照设计图纸进行信号设备位置定测和复测。定测时，要采用高精度测量仪器和先进的测量方法，确保设备位置准确；设备基础施工完成设备安装前进行定测复核，对存在偏差进行纠正。特别是区间信号点位置、应答器位置、站内信号机、道岔位置等有关行车数据的定、复测，必须精确，为设计编制准确有效的列控数据提供依据。例如，轨道电路设备的安装位置，需精确测量轨道长度、坡度等参数，保证轨道电路的工作性能；应答器安装位置，严格控制其与轨道的相对位置和高度，确保列车准确接收应答器信息。

3.2.2 首件工程定标、技术交底

首件工程定标是保证信号工程施工质量的重要手段。高速铁路信号工程全线设备安装需标准统一、工艺美观、质量达标，必须选取代表性站点开展首件定标，制定统一的施工标准和工艺规范，为后续施工提供样板。首件工程实施后及时组织作业人员到定标站点进行观摩、学习；同时开展实操培训考核，确保作业人员切实掌握施工技能，提高操作水平，保证施工质量。

3.2.3 光、电缆工程实施

光、电缆是信号系统传输信息的重要载体。光、电缆工程实施需严格控制施工质量。敷设前，利用BIM技术规划布线，避免交叉，同时对其规格、型号、性能等进行检查，确保符合设计要求。敷设过程中，要注意光、电缆的弯曲半径、埋深等参数，避免光、电缆受损；区间应答器电缆、信号机电缆、轨道发送及接收电缆分别进行布防；站内光、电缆敷设按距离信号楼由近及远，依次从线路侧向线路外侧排列，线缆较多时宜分层布放。敷设完成后，进行光、电缆测试，包括光纤的衰减测试、电缆的绝缘电阻等，确保传输性能良好。此外，还需做好光、电缆的防护工作，防止受到机械损伤、腐蚀等。

3.2.4 室外设备安装

室外设备安装是信号工程的重要组成部分。按照施工工艺技术标准进行室外设备的安装，包括轨旁箱盒、信号机、道岔转辙机、轨道电路等设备安装。箱盒安装符合铁路建筑限界要求，安装高度应符合电缆弯曲半径的要求和排水要求，安装应平齐垂直、稳固美观；信号机保证信号显示方向、灯位顺序正确、安装牢固；道岔转辙机安装要确保转辙机与道岔连接正确，动作灵活；轨道电路安装要保证轨道电路的极性正确，道床电阻符合要求。同时，要做好室外设备的防雷、防水、防腐蚀等防护措施，提高设备的使用寿命和可靠性。

3.2.5 室内设备安装

室内设备安装主要包括计算机联锁、调度集中、集中监测等设备的安装。技术人员需严格按照设备安装说明书和施工图纸进行设备安装和布线。设备安装要注意机柜（架）间距、机

柜(架)与墙之间布局合理、设备平齐牢固;布线整齐、规范,标识清晰,便于维护和检修。例如:电缆柜、综合柜、防雷分线柜宜设置在靠近电缆入口位置;移频柜、接口柜应设置在靠近计算机室位置。机柜(架)间走线槽安装应横平竖直,不应形成闭环。同时,要做好设备的接地,做好防雷措施,确保设备安全运行。

3.2.6 设备单机调试、系统调试

设备单机调试是对单个信号设备进行功能测试和性能检查,包括:道岔转辙机开向定反位试验、信号机显示灯光核对、轨道电路占用和出清试验、电码化发送器输出电压及入口电流等测试,确保设备单独能够正常工作。系统调试是对整个信号系统进行联合调试,检验各系统的功能和性能是否满足设计要求以及各子系统之间的协调工作情况。严格按照系统调试方案和相关标准进行操作,详细记录调试数据和问题,调试中发现的问题,要及时分析原因并进行处理,确保信号系统整体能安全、稳定运行。

四、信号工程技术管理重难点问题

4.1 实施阶段重难点问题

实施阶段,列控基础数据准确性是技术管理重点和难点之一。列控基础数据包括线路坡度、曲线半径、限速信息等,列控数据是列控中心 TCC、无线闭塞中心 RBC、临时限速服务器 TSRS 等子系统各软件编制的基础条件,直接关系到列车运行控制系统的功能实现和列车运行安全。由于高速铁路线路复杂,数据采集和处理难度大,容易出现数据误差或错误。一旦列控基础数据不准确,可能导致列车超速运行、冒进信号等安全事故。

电力、通信专业对信号系统调试试验制约极大,直接影响调试质量和整体进度。信号系统调试前,电力应提前 40 天~60 天完成正式送电,保证电压稳定;通信应提前 20 天提供信号各子系统所需的传输通道,试验前 30 天提供安全数据网光纤物理通道,保证信号系统整体调试试验顺利。

信号过渡工程也是实施阶段的难点问题。过渡工程涉及既有线路运营和新工程施工协调,将既有信号系统过渡到新信号系统,技术要求高,操作复杂,容易出现设备故障或影响既有线路正常运营的情况。同时面临着信号系统兼容性、接口匹配等技术难题,需要解决不同信号系统之间的信息交互和协同控制问题。尤其既有信号过渡软件换装只能在夜间维修天窗内进行,由于天窗时间短,试验内容多,必须对信号试验内容进行分解,采取多点换装试验方案进行。

4.2 验收阶段重难点问题

验收阶段存在的重难点问题主要体现在验收不严格和动态验收发现 A/B 类问题对信号系统运行的影响。部分验收人员专业水平不足或责任心不强,验收过程中对信号设备和系统的检查不细致,未能及时发现潜在问题。例如,在功能测试中,

对一些边缘情况的测试不全面。动态验收发现的 A/B 类问题,特别是 A 类问题可能致使信号系统功能失效或危及行车安全,必须及时解决,避免对开通运营造成安全隐患。

五、信号工程技术管理优化建议

5.1 实施阶段改进方案

为解决实施阶段的技术管理问题,应建立完善的技术管理体系。明确技术管理各部门和人员的职责,建立健全技术管理制度和 workflow,加强监督和考核。施工图纸会审阶段,组织设计、施工、监理单位等相关人员对施工图纸进行详细会审,避免图纸错误导致施工错误。对站前接口方面,由于综合接地系统多属于隐蔽工程,后续发现问题整改难度很大,前期应会同建设、监理仔细检查、验收,发现问题盯控落实整改到位。设计变更管理方面,严格按照设计变更程序进行操作,对变更的原因、内容、影响等进行全面评估,确保设计变更合理性和可行性。系统试验方面,认真检查测试列控数据以及各子系统间接口关系的正确性,提前搭建仿真试验平台,对系统进行全面仿真试验,以便提前发现并解决存在问题。

5.2 验收阶段提升策略

验收应制定详细的验收标准和验收流程,明确验收内容和检验方法,使验收工作有章可循。同时加强验收人员的专业培训,提高技术水平和业务能力,确保验收工作质量。动态验收加强对 A/B 类问题的管理,建立问题台账,明确问题整改责任人和整改期限,对问题的整改情况跟踪、复查,确保问题彻底解决。

六、结论

综上所述,本文基于高速铁路信号工程技术管理面广、管理内容多、技术复杂等实际,系统阐述了信号工程技术管理工作要点,包括准备阶段、实施阶段管理要点,技术管理过程中实施及验收阶段的重难点问题以及技术管理优化建议策略,对高速铁路信号工程技术管理人员具有重要现实指导意义。未来,随着高速铁路技术的不断发展,持续深化信号工程技术管理研究,完善管理体系和方法,将为我国高速铁路的高质量发展提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]王长进.高速铁路信号系统集成技术[M].北京:中国铁道出版社,2018.
- [2]李华.铁路工程施工组织设计与管理[M].上海:同济大学出版社,2019.
- [3]中华人民共和国铁路行业标准.TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].北京:中国铁道出版社,2014.
- [4]张晓东.铁路信号工程施工质量控制要点分析[J].铁道建筑技术,2020(05):112-115.
- [5]刘建军.铁路信号系统验收标准与方法研究[J].中国铁路,2021(08):92-97.