

# 铁路通信信号施工进度与效率提升策略

宋长峰

中铁武汉电气化局集团有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要:** 铁路通信信号系统作为保障列车运行安全、提升运输效率的核心基础设施,其施工任务日益繁重且技术复杂度不断提升。然而,在实际工程实施过程中,通信信号施工常面临工期紧张、接口协调困难、技术标准更新快、人力资源短缺等多重挑战,导致施工进度滞后、成本超支、质量波动等问题频发。本文在深入分析当前铁路通信信号施工特点与主要制约因素的基础上,从项目管理、技术创新、资源配置、协同机制及数字化转型等多个维度,系统性地提出提升施工进度与效率的综合策略。研究表明,通过构建精细化进度管理体系、推广模块化预制与智能安装技术、强化多专业协同与BIM应用、优化人力资源配置以及推动全过程数字化管理,可显著提升通信信号施工的整体效能,为铁路工程建设高质量发展提供有力支撑。

**关键词:** 铁路通信信号;施工进度;施工效率;项目管理;BIM技术

## 引言

铁路通信信号系统是铁路运输的“神经中枢”与“安全卫士”,承担着列车运行控制、调度指挥、信息传输、安全保障等关键功能。随着中国高铁运营里程突破4.5万公里,以及“交通强国”“数字中国”等国家战略的深入实施,新建高速铁路、城际铁路以及既有电气化、智能化改造项目对通信信号系统的建设提出了更高要求。一方面,系统集成度更高、技术迭代更快(如CTCS-3级列控系统、GSM-R向5G-R演进);另一方面,施工窗口期短、交叉作业多、安全风险高,使得施工组织难度剧增。在此背景下,如何科学统筹、高效推进通信信号施工,确保工程按期优质交付,已成为铁路建设领域亟待解决的关键课题。施工进度的延误不仅直接影响线路开通时间,造成巨大的经济损失,更可能因赶工而埋下安全隐患。因此,系统研究影响通信信号施工进度与效率的关键因素,并提出具有可操作性的提升策略,具有重要的理论价值与现实意义。

## 1 铁路通信信号施工的特点与主要制约因素

### 1.1 施工特点

铁路通信信号施工具有以下鲜明特点:(1)高度系统性与集成性:通信信号系统由多个子系统(如联锁、列控、CTC/TDCS、GSM-R/5G-R、电源、传输、数据网等)构成,各子系统间逻辑严密、接口众多,需高度协同才能实现整体功能。(2)强依赖土建与轨道工程:信号设备(如应答器、轨道电路、信号机)的安装必须以线下工程(路基、桥梁、隧道)和轨道铺设完成为前提,施工进度受上游工序制约严重。(3)严格的天窗点限制:在既有有线或临近既有有线施工,作业必须在铁路部门批准的

“天窗点”(通常为夜间数小时)内进行,有效作业时间极为有限。(4)高安全与高可靠性要求:任何施工差错都可能直接威胁行车安全,因此对施工工艺、材料质量、测试验证等环节要求极为严苛。(5)技术标准密集且更新快:需遵循大量国家、行业及企业技术标准(如TB、Q/CR系列),且随着技术发展,标准更新频繁,对施工人员知识储备提出持续挑战。

### 1.2 主要制约因素分析

基于上述特点,当前制约铁路通信信号施工进度与效率的主要因素可归纳为以下几方面:

#### 1.2.1 前期策划与设计深度不足

部分项目的设计图纸细节不够完善,存在错漏碰缺现象,导致现场频繁发生设计变更,进而引发返工,不仅浪费资源,也打乱原有施工节奏。不同专业之间的接口界面划分不清,责任边界模糊,使得在施工过程中协调成本高昂,推诿扯皮时有发生<sup>[1]</sup>。施工组织设计若缺乏针对通信信号专业特性的精细化考量,对关键线路识别不准、资源需求预估偏差、风险预案准备不足,将直接导致计划执行困难。

#### 1.2.2 施工过程管理粗放

传统的进度计划工具难以动态反映复杂的工序逻辑与资源约束,一旦出现偏差,调整往往滞后,无法有效指导现场。多专业、多队伍交叉作业时,缺乏高效的沟通平台和冲突快速解决机制,容易造成窝工、等待等无效劳动。在工期压力下,部分项目甚至出现简化工艺流程、降低验收标准等行为,虽短期看似加快了进度,却为后期调试和运营埋下质量与安全隐患。

#### 1.2.3 技术与工艺相对传统

大量线缆敷设、端子配线、设备支架安装等工作仍高度依赖人工在现场完成,效率低下且易受天气、场地等环境因素干扰,错误率较高。工厂化、预制化的程度普遍偏低,未能充分利用现代制造优势在受控环境中完成高精度组件的批量生产,从而减少现场作业量。尽管BIM、物联网等数字化工具已在部分项目试点应用,但整体上尚未形成系统化、深度化的赋能模式。

#### 1.2.4 人力资源结构性矛盾

具备通信、信号、软件等复合技能的高素质技术工人供不应求,而现有施工队伍流动性大,影响了技术传承和施工连续性。针对新技术、新标准的系统性培训体系尚不健全,员工能力提升速度难以匹配工程实际需求。

#### 1.2.5 供应链与物流管理挑战

关键核心设备如联锁机柜、无线闭塞中心(RBC)等生产周期长,若供应商管理不善或受外部不可抗力影响,极易造成设备到货延期,导致现场停工待料。现场材料仓储混乱、二次搬运频繁,不仅增加了成本,也降低了作业效率。

### 2 提升铁路通信信号施工进度与效率的综合策略

针对上述制约因素,本文提出以下五大核心策略,以系统性地提升施工效能。

#### 2.1 构建精细化、动态化的进度管理体系

要从根本上提升施工效率,必须摒弃粗放式的进度管理模式,转向以数据驱动、动态反馈为核心的精细化管理体系。这一转变首先体现在对工作内容的深度解构上,即将整个通信信号工程科学地分解为一系列边界清晰、可执行、可测量、可分配的最小工作包,例如“某车站组合柜安装与单体测试”或“某区间GSM-R基站线缆敷设”,并为每个工作包明确其前置条件、所需资源、标准工期及具体责任人。在此基础上,引入关键链法(Critical Chain Method, CCM)进行计划编制尤为必要。该方法不仅关注任务间的逻辑顺序,更充分考虑了现实中的资源约束,能够识别出真正决定项目总工期的关键链路。通过在关键链末端设置“项目缓冲”,并在其他非关键链汇入点设置“汇入缓冲”,可以有效吸收施工过程中的不确定性。管理者通过持续监控这些缓冲区的消耗速率,能够比传统方法更早、更准确地预警潜在的进度风险<sup>[2]</sup>。同时,挣值管理(Earned Value Management, EVM)的引入,将项目的范围、进度与成本三大目标整合于一个统一的绩效测量基准之中。通过定期计算计划价值(PV)、挣值(EV)和实际成本(AC),并分析进度偏差(SV)与成本偏差(CV),项目团队可以对当前绩效进行量化评估,并对未来趋势做出科学预测,从而

为动态调整资源和策略提供坚实的数据支持。为了确保计划的可执行性,还应建立滚动式计划机制,遵循“远粗近细”的原则,制定长期、中期和短期三级计划。其中,短期计划(如周计划、日计划)必须细化到每个作业面的具体任务、人员安排和物料需求,并根据每日现场实际情况进行动态更新,确保计划始终贴近现实。

#### 2.2 推广模块化、预制化与智能化施工技术

未来铁路通信信号施工的发展方向必然是工厂化、装配化和智能化。这一理念应从设计源头开始贯彻,即在方案设计阶段就充分考虑将复杂的系统分解为若干标准化、功能明确的模块单元,如室内组合柜、电源分配模块或特定功能的接口箱。这些模块可以在专业化预制加工中心内完成全部的机械组装、电气配线、标签打印乃至单体功能测试,形成“即插即用”的成品单元。当运抵施工现场后,只需进行简单的吊装、固定和系统级联调,即可大幅缩短现场作业时间,同时显著提升安装质量和一致性。为此,大型施工企业应积极投资建设或联合设备厂商共建通信信号专业预制基地,引入数控信号打印机、自动剥线压接机、智能配线测试仪等先进设备,实现线缆加工、成端、配线等工序的自动化与标准化。在此基础上,进一步探索智能化工具的应用场景。例如,开发基于增强现实(AR)技术的辅助安装系统,让现场工人通过佩戴AR眼镜,直观地看到虚拟叠加在现实环境中的设备精确安装位置、线缆走向及接线端子信息,从而极大降低因看图错误导致的返工。此外,在长大隧道、高架桥梁等特殊区段,可研究使用轨道式机器人执行巡检或重复性安装任务,既能解放人力,又能保障在恶劣环境下的作业安全与效率。

#### 2.3 强化全生命周期协同与BIM技术深度融合

必须打破专业壁垒,构建贯穿项目全生命周期的高效协同机制,而BIM技术正是实现这一目标的核心载体。项目应在启动初期就构建一个包含通信信号、电力、接触网、房建等所有站后专业在内的全专业BIM模型。利用BIM强大的可视化与碰撞检测功能,各参与方可以在虚拟空间中提前发现并解决管线交叉、设备空间冲突等成百上千个潜在问题,将绝大多数设计变更消化在图纸阶段,避免带到现场造成返工<sup>[3]</sup>。更进一步,可借鉴集成项目交付(IPD)的理念,鼓励业主、设计、施工、监理及主要供应商等核心参与方在项目早期就组建联合团队,共享目标、共担风险。通过定期的BIM协调会议和联合办公,实现信息的实时共享与问题的快速决策。BIM的价值不应止步于设计阶段,而应向施工阶段深度延伸。将BIM模型与详细的进度计划关联,形成4D-BIM,可以对整个施工

过程进行可视化模拟与动态管控；再融入成本信息，则构成5D-BIM，实现更全面的资源优化。现场管理人员可通过移动终端随时调取模型中的设备参数、安装工艺说明、检验标准等信息，为精准施工提供及时指导。最终，项目竣工时应同步交付一个包含所有设备资产信息、维护手册、测试报告的“数字孪生”模型，为未来的运营维护提供精准、高效的数据基础，真正实现建设与运维的无缝衔接。

#### 2.4 优化人力资源配置与能力建设

为解决通信信号施工领域人才困境，需从稳定核心队伍、提升外包人员素质、完善激励考核机制三方面优化人力资源配置与能力建设：聚焦通信信号系统集成、设备调试等关键领域，培育从业经验丰富的技术骨干建立核心人才库，搭建“技术专家+管理干部”双轨晋升体系，同时建立核心技术档案库并设立导师岗，推动经验传承与青年人才培养；针对外包劳务人员构建分层分类培训体系，完善岗前和在岗培训，编制配备高清图片与关键标注的精细化《标准化作业指导书》及开发整合视频教程、虚拟仿真模块的数字化培训平台进行交底培训，推行“双导师制”并设立师徒结对奖励，快速提升其技能水平与质量意识；构建科学的KPI考核体系，个人层面聚焦施工效率、一次验收合格率、安全生产等指标，班组层面围绕项目交付率、成本控制等维度，实行定期考核并实时公示结果，将考核结果与个人及班组薪酬直接挂钩，辅以多元化激励措施，充分激发一线员工内生动力。

#### 2.5 推动全过程数字化与智慧工地建设

应致力于打造一个覆盖项目全过程的“智慧工地”。其核心是构建一个项目级的数据中心，将来自BIM平台、进度管理系统、物资管理系统、安全质量巡检APP等各个业务系统的数据进行整合，形成统一的数据湖。管理者通过数据驾驶舱，可以一目了然地掌握项目的全局态势。在此基础上，广泛应用物联网（IoT）技术，为关键设备、大

宗材料乃至人员安全帽配备RFID或蓝牙信标，实现对“人、机、料、法、环”等要素的实时定位与状态监控<sup>[4]</sup>。例如，通过追踪电缆盘的位置和剩余长度，可以精准调度物料，避免现场找料难等料久的窘境。全面推广移动化办公，为现场管理人员配备专用的加固型移动终端，通过定制化APP实现工作任务的在线派发、接收与反馈，质量问题的拍照上传、整改通知与闭环验证，以及电子化的验工计价流程，彻底告别纸质表单，大幅提升管理流转效率。展望未来，随着大数据和人工智能技术的成熟，还可基于历史项目数据库，利用机器学习算法对新项目的资源需求、潜在风险点和合理工期进行预测性分析，为项目前期策划提供智能化的决策辅助，真正实现从“经验驱动”向“数据+智能驱动”的跨越。

### 3 结语

铁路通信信号施工的进度与效率提升是一项复杂的系统工程，绝非单一措施所能奏效。本文通过深入剖析当前面临的挑战，提出了一套涵盖精细化管理、技术创新、协同优化、人才建设和数字化转型的“五位一体”综合策略体系。未来，随着5G、人工智能、数字孪生等技术的进一步成熟，铁路通信信号施工将朝着更智能、更高效、更安全的方向演进。施工单位必须主动拥抱变革，将先进的管理理念与前沿技术深度融合，不断优化施工组织模式，方能在激烈的市场竞争中立于不败之地，并为中国铁路事业的高质量发展贡献坚实力量。

### 参考文献

- [1]冯友迎.铁路信号工程建设施工中的进度控制与质量控制探究[J].中国新通信,2021,23(2):109-110.
- [2]毛晓怡.铁路通信施工工程的进度管理措施[J].中国科技投资,2020(13):197-198.
- [3]谭卫星.铁路信号工程建设施工中的进度与质量控制研究[J].工程与建设,2025,39(3):733-735.
- [4]倪志刚.铁路信号工程建设施工中的进度控制与质量控制[J].运输经理世界,2024(28):163-165.