高速公路监控系统升级改造项目全过程管理研究

程子晨

陕西高速电子工程有限公司　陕西　西安　710000

摘　要：高速公路监控系统作为智能交通体系的核心组成部分，其升级改造工程具有技术集成度高、运营干扰控制严、安全风险点多等显著特征。本文立足全过程管理视角，系统探讨高速公路监控系统升级改造项目在启动、规划、执行、监控与收尾五个阶段的管理要点，提出涵盖需求分析、设计管理、施工组织、质量安全控制、系统调试及验收移交的全链条管理框架。研究表明，实施全过程精细化管理，能够有效平衡改造期间道路通行效率与施工安全的关系，显著提升项目交付质量与投资效益。本文旨在为同类机电系统改造项目提供方法论参考。

关键词：高速公路；监控系统；升级改造；全过程管理；项目管理

引言

截至 2025 年底，中国高速公路通车里程已突破 19 万公里，早期建成的监控系统普遍面临设备老化、技术落后、信息孤岛等问题。随着视频解析、边缘计算、车路协同等新技术的成熟应用，对既有监控系统实施升级改造成为提升路网运行效率的迫切需求。然而，高速公路监控系统改造并非新建项目，而是在“边通车、边施工”的复杂约束下进行的系统性工程，其管理难度远超常规机电安装项目。全过程管理理念强调对项目生命周期各阶段进行系统化、集成化管控，这一范式恰好契合监控系统改造项目对连续性、安全性、兼容性的特殊要求。

1 高速公路监控系统升级改造项目的特点与管理难点

1.1 技术迭代与兼容性约束

升级改造需解决新旧技术体系的衔接问题。原系统多采用模拟摄像机、同轴电缆及矩阵切换架构，升级后需过渡到高清 IP 摄像机、光纤以太网及平台集中管理。不同厂商的设备协议、数据接口及管理平台存在差异，改造方案必须保证新老设备互联互通，并为后续扩展预留接口。兼容性约束不仅增加了技术选型难度，也对接口测试提出更高要求，若管理不当可能导致新购设备无法被原平台识别，造成投资浪费和工期延误。

1.2 在线施工与交通干扰

高速公路全天候运行，除少数全封闭时段外，改造作业必须在通车条件下进行。路侧设备更换、光电缆敷设等常需占用硬路肩或临时封闭车道，施工组织不善易引发交通拥堵甚至事故，作业人员也面临车辆刮擦风险。因此，项目进度不能仅按工程量推算，必须与交通流量规律、天气条件及节假日管制政策紧密配合，形成动态调整机制。

1.3 系统割接与业务连续性

监控系统是路网运行监测与应急指挥的核心工具，中断会导致监控盲区、事件发现滞后等严重后果。升级必须采用平滑割接策略，确保改造过程中原有功能不丢失，新系统启用后无缝承接业务。项目管理需精细化设计每一步割接，包括临时替代方案、回退预案及灰度切换机制[1]。传统“先拆后建”不可行，必须坚持“先建后拆、逐步替代”，这对资金调度、物资堆放及施工顺序提出更高要求。

1.4 多专业协同与界面管理

升级改造涉及土建、机电、通信、供配电、网络及软件等多个专业。例如，摄像机立杆需土建配合，光缆熔接需通信专业，设备供电需供配电支持，平台开发需软件团队介入。各专业施工窗口、验收标准及责任边界不同，易出现接口遗漏或工期冲突。全过程管理需建立有效的界面协调机制，明确专业间的输入输出关系，并在关键节点组织联合验收，避免后期返工。

2 项目启动阶段管理

2.1 可行性论证与需求分析

改造项目必须基于充分的技术经济论证方可启动。管理团队应组织对现役监控系统的全面“体检”，涵盖设备完好率、通信链路冗余度、软件平台可扩展性、供电系统可靠性等维度。与此同时，需结合未来五至十年的交通流量预测与智慧高速发展规划，明确升级改造的功能目标。值得强调的是，需求分析必须区分“强制性需求”与“改善性需求”，前者如视频监控盲区补点、关键断面检测器修复，后者如全景拼接、事件自动检测等智能化提升。合理界定需求优先级，有助于控制项目规模与投资强度。

2.2 干系人识别与沟通机制

高速公路运营管理涉及路段公司、交警、路政、养

护单位等多个主体。监控系统改造期间，任何施工作业都可能对上述各方的业务运行产生影响。因此，启动阶段即应建立完整的干系人登记册，明确各方在项目中的角色定位、影响程度及参与方式。建议设立项目联合工作组，由业主单位牵头，定期召开协调会议，形成制度化的沟通渠道。特别是与交警部门的协调，应就施工期间的交通组织方案达成书面共识，避免因权责不清导致工期延误。

2.3 项目管理组织架构设计

针对改造项目“技术与管理并重”的特点，宜采用矩阵式组织结构。项目经理应由具备机电工程与交通工程双重背景的人员担任，下设技术组、施工组、安全组、协调组和档案组。其中，安全组需配备专职安全管理人员，且该岗位应独立于施工组，以确保安全监督的客观性[2]。此外，建议引入全过程咨询单位，协助业主进行设计审查、变更管理与验收把关，弥补运营单位专业技术力量不足的短板。

3 项目规划阶段管理

3.1 分阶段施工组织设计

改造项目不宜采取“大干快上”的集中施工模式，而应采用分区域、分阶段的滚动推进策略。施工组织设计应明确划分施工段落，每个段落独立完成“拆除—安装—接线—调试—恢复”的闭环流程。对于隧道、特大桥梁等特殊路段，应单独编制专项施工方案。同时，需要制定详细的物料进场计划，预制件、立杆、机箱等可在场外完成组装调试的设备，应尽可能缩短现场作业时间。

3.2 交通组织与安全保障方案

“边通车、边施工”是改造项目最突出的管理难点。交通组织方案的核心是在保障施工人员与设备安全的前提下，最大限度减少对正常通行的干扰。通常采取的措施包括：利用夜间低流量时段进行封闭车道作业；在施工作业区前方设置逐级预警与渠化设施；采用移动式施工作业方式处理线性分布的光缆敷设任务。方案中还应明确突发事件应急预案，如遇交通事故或严重拥堵，应有快速恢复车道通行的措施。所有交通组织方案须经交警部门审批后方可实施。

3.3 质量计划与标准体系

质量管理的首要任务是建立适用于改造场景的技术标准体系。监控系统升级改造涉及新旧设备混用、不同协议对接等复杂工况，质量标准不能简单套用新建工程的要求。例如，对于利旧设备与新增设备的兼容性测试，应制定专门的测试用例与验收指标[3]。质量计划还应明确隐蔽工程验收节点，如基础浇筑、管道敷设、线缆接续等工序，必须在覆盖前由监理单位签字确认。

3.4 风险识别与应对策略

基于对同类项目的调研分析，监控系统升级改造的主要风险可归纳为四类：技术风险（新旧系统对接失败、软件版本不兼容）、安全风险（施工区交通事故、高处坠落）、进度风险（恶劣天气、外部协调不畅）、投资风险（工程量变更、材料价格上涨）。针对每类风险，应制定应对措施：技术风险方面，设置系统联调缓冲区，预留并行运行过渡期；安全风险方面，实施“班前安全交底”与“现场视频监控”双重保障；进度风险方面，制定关键路径法进度计划并设置时间储备；投资风险方面，推行工程量清单计价与变更分级审批制度。

4 项目执行与监控阶段管理

4.1 施工过程精细化管理

现场施工应严格遵循“先通后断”原则，即在对旧设备进行拆除之前，必须确保新设备或临时替代设备已具备运行条件，避免监控盲区的出现。具体到各专业工程：基础施工应避开雨雪天气，混凝土浇筑后需做好养护与防尘覆盖；线缆敷设应同步完成标签标识，每条光纤或电缆均需记录起点、终点、长度及备用芯状态；设备安装应使用激光测距仪校准立柱垂直度与摄像机的俯仰角。管理人员需每日填写施工日志，记录作业内容、投入资源、存在问题及处理情况，形成可追溯的过程档案。

4.2 多层级质量检验体系

质量控制应建立班组自检、项目部复检、监理单位抽检的三级检验体系。自检是基础，每一道工序完成后，施工班组必须按照检验标准进行检查，合格后方可报验；复检由项目技术负责人组织，重点检查隐蔽工程和关键工序；抽检由监理单位按不低于 30% 的比例进行随机抽查。对于摄像机图像质量、车辆检测器精度等性能指标，应采用专用测试设备进行量化检测，避免“肉眼验收”的主观性。所有检验记录均需签字确认并存档，作为竣工资料的组成部分。

4.3 进度动态监控与纠偏

鉴于改造项目受外部环境影响较大，进度管理必须实行动态监控。项目管理人员应编制双代号网络计划图，明确各工序之间的逻辑关系与时间参数。每周召开进度例会，对比实际进度与计划进度的偏差，采用挣值分析法评估进度绩效与成本绩效[4]。当发现关键工作延误时，应及时采取组织措施（增加作业班组）、技术措施（优化施工工艺）或经济措施（实行赶工奖励）。需要注意的是，压缩工期必须经过安全评估，严禁以牺牲安全质量为代价盲目赶工。

4.4 变更管理流程

改造项目在实施过程中变更是常态。变更可能源于

设计缺陷、现场条件变化、运营单位新增需求或新技术涌现。变更管理应建立规范的申请、审核、批准流程：任何变更必须由提出方填写变更申请单，说明变更内容、理由及对工期和费用的影响；技术组负责审查变更的技术可行性；估算变更费用后，按权限逐级报批。紧急变更可先行口头批准后补手续，但事后必须在 24 小时内完成书面确认。所有变更文件应编号归档，作为结算与审计的依据。

5 项目收尾阶段管理

5.1 系统联调与试运行

单体设备安装完成后，必须进行全系统联调。联调工作应按照“设备级—子系统级—系统级”的层次逐步推进。首先完成前端摄像机、可变情报板、车辆检测器等设备的单体调试；其次进行视频传输子系统、数据通信子系统、控制子系统的内部联调；最后进行全系统联合调试，检验各子系统之间的数据交互与控制指令响应是否正常。联调合格后，进入不少于三个月的试运行期。试运行期间，新系统与旧系统应并行运转，以新系统数据为主控依据，同时保留旧系统作为后备。试运行记录应详细记载系统故障、处理措施及恢复时间，作为系统稳定性的评价依据。

5.2 验收交付管理

验收工作分为初步验收和竣工验收两个阶段。初步验收由监理单位组织，重点检查工程实体质量、设备功能实现程度以及竣工资料的完整性。初步验收合格后，业主单位应组建竣工验收委员会，邀请行业专家、设计单位、施工单位、监理单位共同参与。竣工验收的依据包括：项目合同、设计文件、变更指令、相关技术标准以及试运行报告。验收结论应明确工程质量等级（合格或优良），并对遗留问题提出处理意见。所有验收文件经各方签字确认后，项目正式交付运营单位使用。

5.3 竣工资料归档

全过程管理的成果最终体现为系统完整、真实准确的竣工资料。归档资料应包括但不限于：项目立项文件、合同文件、设计图纸及变更单、设备开箱记录、隐蔽工程验收记录、调试报告、试运行日志、培训记录、验收报告以及竣工图。需要特别强调的是，竣工图必须反映工程实际状态，所有设计变更均应在竣工图上标注清楚。纸质档案与电子档案应同步建立，电子档案采用 PDF 或 OFD 等长期保存格式，并做异地备份。

5.4 项目后评价

后评价是全过程管理的闭环环节，但实践中往往被忽视。监控系统升级改造的后评价应在项目交付六个月后进行，此时系统已平稳运行一段时间，各项数据较为充分。评价内容应包括：技术目标达成度（如视频在线率、事件检测准确率）、投资效益（实际投资与概算对比）、进度执行情况（实际工期与计划工期对比）、用户满意度以及经验教训总结。后评价报告应报送项目决策层，为后续同类项目提供管理改进依据。

6 结语

高速公路监控系统升级改造是一项复杂的管理工程，其特殊性在于必须在不中断交通的前提下完成技术迭代。本文基于全过程管理理论，构建了覆盖启动、规划、执行、监控、收尾五个阶段的管理框架。研究表明，成功实施此类项目的关键在于：启动阶段充分论证与精准识别需求；规划阶段制定兼容施工与通行的组织方案；执行阶段坚持“先通后断”原则与多层级质量控制；监控阶段实施动态进度与变更管理；收尾阶段严格联调测试与档案管理。当前，智慧高速公路建设已进入深化发展阶段，监控系统正从“看得见”向“看得清、判得准、控得精”演进。未来改造项目将面临更多技术集成挑战，如车路协同设备的融入、云边协同架构的部署等。全过程管理理念需与时俱进，在数字化交付、BIM 技术应用等方面持续拓展，以适应更高要求的项目管理实践。

参考文献

[1] 王建强, 李振华. 高速公路机电系统升级改造工程管理研究 [J]. 公路交通科技,2021,38(5):112-118.

[2] 张立军, 陈晓峰. 基于全过程管理的高速公路改扩建项目风险控制 [J]. 中国公路学报,2022,35(3):89-96.

[3] 刘伟, 孙丽丽. 智慧高速背景下监控系统升级改造的关键技术与管理策略 [J]. 交通信息与安全,2023,41(2):45-52.

[4] 赵志强, 吴晓东. 项目全过程管理在交通基础设施改造中的应用 [J]. 公路工程,2024,49(1):134-140.