

公路工程全生命周期安全协同管理研究

张晓慧

云和县交通运输发展中心 浙江丽水 323600

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19724

[摘要] 针对公路工程安全管理阶段割裂、协同不足及隐患传递等痛点, 深入探讨全生命周期安全协同管理新模式。阐释其理论内涵与运行机理, 剖析建设、运营养护现状及主体协同困境。重点研究可研风险识别、设计施工标准衔接、竣工运营移交等关键环节管控策略, 同时提出健全制度体系、优化组织职能、强化技术支撑三大保障措施。构建全员、全过程、全方位的协同格局, 推动安全管理由被动应对向源头预控转变, 提升公路本质安全水平, 为交通高质量发展提供实践路径。

[关键词] 公路工程; 全生命周期; 安全协同管理; 运营养护; 风险预控

我国公路发展已全面转入建养并重阶段, 但传统分段管理模式导致建设与运营环节严重割裂。设计缺陷常向后期传递, 参建主体协同缺失致使安全隐患累积。现有管理多聚焦事后处置缺乏源头预控, 难以适应复杂交通环境下的安全需求。同时标准衔接不畅与数字化应用不足, 进一步制约了风险防控效能。面对交通强国战略要求, 亟需打破行业壁垒, 构建全生命周期安全协同体系, 以系统性思维破解治理难题。

一、公路工程全生命周期安全协同管理基础理论

(一) 公路工程全生命周期安全管理内涵

公路工程全生命周期安全管理是指将安全理念贯穿项目决策、勘察设计、施工建设、运营维护直至报废拆除的全过程, 其核心在于打破传统分段管理壁垒, 构建源头预控、过程监管、持续改进的闭环体系。在内涵上它强调系统性思维, 要求建立跨阶段的信息共享与协同机制, 确保设计意图精准落地, 避免隐患向后期传递。通过数字化技术赋能实现风险动态识别与精准预警, 推动管理从事后处置向事前预防转变。同时明确各参建主体在全链条中的责任边界, 形成全员、全方位、全过程的安全治理格局。该模式旨在通过全要素整合, 提升工程本质安全水平, 最终实现公路基础设施长期服役下的安全、高效与可持续发展。

(二) 安全协同管理核心要素构成

安全协同管理的核心要素由组织、信息、机制与技术四维构成, 首先打破建设、设计、施工、监理及运营单位的壁垒, 明确全链条责任边界, 构建利益共享与风险共担的共同体。依托数字化平台打通数据孤岛, 实现风险隐患、设计变

更等关键信息的实时共享与动态更新, 确保决策依据的一致性。同时建立跨阶段的联合审批、风险会商及应急联动机制, 将安全管理从单点管控延伸至全过程闭环, 确保源头预控与过程监管无缝衔接^[1]。此外统一各阶段的安全评价标准与数据接口规范, 消除因标准差异导致的管理真空。三者相互支撑通过组织保障、信息流通、机制约束与技术赋能, 形成系统化治理合力, 从根本上提升工程全生命周期的本质安全水平。

(三) 全生命周期安全协同管理运行机理

全生命周期安全协同管理的运行以数字化平台为中枢, 汇聚勘察、设计、施工及运营各阶段数据, 打破信息孤岛形成全要素安全数字底座, 确保风险信息的实时透传与共享。同时依托跨部门协同机制, 触发多主体联合行动。当识别到潜在风险时系统自动启动预警, 联动设计优化、施工调整及运营预案, 实现从单点应对向链条共治转变。此外建立动态反馈, 将运营期的病害数据与维护经验反向追溯至设计与施工环节, 验证前期防控措施有效性, 驱动标准迭代与技术升级, 形成监测-预警-处置-优化的螺旋上升路径。最后通过绩效评估与责任追溯机制, 强化各参建方履职动力确保协同指令落地。通过数据流引导业务流, 以机制流保障责任流, 最终实现安全隐患的源头消除与全生命周期的本质安全。

二、公路工程全生命周期安全协同管理实施现状

(一) 公路工程建设阶段安全管理现状

当前我国公路工程建设阶段安全管理虽已构建起较为完善的法规标准体系, 但形势依然严峻复杂。一方面主体责任落实存在上热中温下冷现象, 部分企业安全投入不足, 违法

分包导致现场管理链条断裂，专职安全员权责不匹配，制度执行流于形式。另一方面施工现场风险管控难度大，随着工程向山区、深海等复杂环境延伸，高墩大跨、深埋长隧等高风险作业增多，而一线作业人员流动性大、技能素质参差不齐，违章作业与习惯性违规屡禁不止^[2]。此外监管手段相对滞后，传统人海战术难以全覆盖，数字化、智能化监测预警技术应用尚不普及，数据孤岛现象严重，导致风险识别不及时、隐患排查不彻底。应急管理体系亦存在短板，预案针对性不强，演练实战化程度低。在工期紧、任务重的压力下，抢进度忽视安全的现象时有发生。

（二）公路工程运营养护阶段安全管理现状

公路工程运营养护阶段安全管理呈现风险复杂化、管理精细化、技术智能化并存的特征。随着路网规模扩大及服役年限增长，桥梁隧道等关键结构物进入病害高发期，地质灾害与极端天气叠加，使运营环境风险日益复杂。传统人工+机械巡检模式仍占主导，存在效率低、盲区多、数据离散等问题，难以满足全天候精准管控需求。尽管智慧高速建设推动无人机、AI 视频分析等技术应用，但全域感知网络尚未全覆盖，数据孤岛现象制约了预测性养护决策。此外养护作业区交通安全隐患突出，部分现场布控不规范、警示不足，加之司乘人员安全意识差异，涉路施工引发的二次事故风险居高不下。在管理体制方面部分单位重建轻养，安全投入不足，应急预案实战性不强，多部门联勤联动机制尚需深化。

（三）公路工程各参建主体安全协同现状

公路工程各参建主体安全协同虽已建立基本框架，但各自为战与信息孤岛现象依然突出。建设单位作为主导方，往往重进度考核轻安全统筹，对设计、施工、监理的协调力度不足，导致安全目标在传递中层层衰减。设计与施工脱节问题显著，设计阶段对施工安全风险评估不足，未充分考虑复杂工况下的作业难度，致使后期方案变更频繁，埋下安全隐患^[3]。施工单位与监理单位之间，协同多流于形式。监理单位受限于职权与资源，难以深度介入施工全过程风险管控，往往沦为事后纠偏；而施工单位为控成本，常隐瞒真实风险，双方缺乏基于数据的透明互信机制。此外参建各方信息化平台标准不一，数据接口不兼容，导致隐患排查、整改闭环等

关键信息无法实时共享，协同效率低下。多方联合演练频次低、实战性差，突发事件下指挥调度易出现混乱。

三、公路工程全生命周期安全协同管理关键环节

（一）工程可行性研究阶段安全风险识别

工程可行性研究阶段是安全风险源头管控的起点，该阶段需全面勘察沿线地质构造、水文气象及地震活动，精准识别滑坡、泥石流、软基等自然灾害对路线方案的制约。针对特大桥梁、特长隧道等关键节点，应提前评估技术实施难度与潜在施工隐患，避免因方案先天不足导致后期重大安全危机。同时须深入分析穿越生态红线、密集居民区或既有路网带来的征拆冲突、环保压力及交通干扰等社会环境风险。当前部分项目可研深度欠缺，往往重经济效益轻安全论证，风险识别依赖经验而缺乏数据支撑，导致隐患发现滞后。多专业协同机制不畅，地质、设计与环评介入不足，难以形成系统性风险清单。理想的可行性研究应将安全作为方案否决性指标，运用专家咨询与模拟推演，从规划源头规避颠覆性风险，为后续设计施工奠定坚实的安全基础。

（二）工程设计施工阶段安全标准衔接

当前设计规范侧重结构理论与静态验算，而施工规范聚焦现场作业与动态管控，两者在风险分级、防护参数及验收指标上常存在差异。实现有效衔接需建立设计交底-方案转化-动态反馈的全链条机制，设计单位应在图纸中明确关键工序的安全控制红线，将安全理念转化为可执行的施工参数^[4]。施工单位则须严格依据设计意图编制专项方案，严禁擅自降低标准。双方应统一风险辨识语言，确保设计阶段识别的重大风险在施工方案中得到针对性响应。同时利用数字化模拟手段进行虚拟建造预演，提前验证标准兼容性，发现冲突即时修正。只有打破专业壁垒，推动标准从纸面走向地面，才能构建全链条一致的安全防护体系，避免因标准脱节引发安全事故。

（三）工程竣工验收与运营阶段安全移交

工程竣工验收与运营阶段安全移交的核心在于实现从建设合规向运营可靠的平稳过渡，当前移交过程常存在资料碎片化、隐蔽工程信息缺失及运维人员培训不足等问题，导致运营初期风险辨识滞后。高质量的安全移交必须建立标准化

清单制度,严格核查安全设施三同时落实情况,确保消防、应急疏散及结构监测系统功能完好且数据准确。同时构建完整的数字化安全档案,将施工期的隐蔽工程记录、材料检测报告及整改闭环资料无损移交给运营方,消除信息孤岛。实施伴随式移交培训,由建设方指导运营团队掌握关键设备操作与应急处置流程,开展联合应急演练。最后明确质保期内的安全责任边界,建立缺陷快速响应机制。只有将建设期的安全成果转化为运营期的管控能力,才能防止因移交不清导致的安全管理真空,确保持续安全运行。

四、公路工程全生命周期安全协同管理保障措施

(一) 健全全生命周期安全管理制度体系

健全全生命周期安全管理制度体系,需打破传统分段管理模式,构建覆盖策划、设计、施工、运维及拆除的闭环机制。制定统一的安全管理纲领,明确各阶段责任主体与衔接标准,消除制度盲区。在设计阶段建立本质安全审查制度,强制要求将安全风险防控纳入方案比选,从源头降低风险。施工阶段推行动态风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制,确保制度落地执行。进入运营期重点完善设施设备维护保养规程与应急响应预案,实现由被动整改向主动预防转变。同时建立全链条信息共享平台,打通各阶段数据壁垒,确保安全档案连续完整。此外实施全过程安全绩效考核,将安全指标纳入项目评价核心体系。通过制度集成创新,形成权责清晰、流程规范的管理网络,从根本上提升工程整体安全韧性。

(二) 优化安全协同管理组织机构职能

优化安全协同管理组织机构职能关键在于打破部门壁垒,设立跨阶段安全协调委员会,由建设、设计、施工及运营单位核心负责人组成,统筹解决全生命周期重大安全议题,避免职能割裂。重新界定各部门接口职责,明确设计向施工交底、施工向运营移交的具体责任人与工作流程,消除管理真空地带^[5]。强化安全管理部门的独立性与权威性,使其能从项目策划初期介入,全程监督标准执行。同时建立联合办公与定期会商机制,促进信息实时共享,确保风险预警在各参建方向快速传递。推行安全专员派驻制,让专业人员深入一线协调交叉作业矛盾。此外,将协同效能纳入组织绩效考核。通过职能重构形成全员参与、全过程控制的协同网络,提升整体

安全治理效率,确保工程各阶段无缝衔接与安全受控。

(三) 强化全生命周期安全技术支撑能力

强化全生命周期安全技术支撑能力,需聚焦核心工艺革新与智能监测应用。在设计源头推行本质安全化技术,通过优化工艺流程与材料选型,从物理层面消除固有危险源,降低系统风险基数。构建全域感知物联网体系,部署高精度传感器与自动化巡检设备,实时采集结构应力、环境指标及设备运行数据,实现风险动态识别与即时预警。在施工阶段大力推广机械化换人、自动化减人技术,利用智能装备替代高危环节人工操作,切断事故链条。运营期建立基于大数据的风险演化分析,深度挖掘历史隐患规律,指导预防性维护与精准抢修。同时完善应急技术储备,研发快速抢险装备与高效处置方案,提升突发事件应对效能。通过关键技术研发与集成应用,推动安全管理由经验驱动向数据驱动转型。

五、结束语

综上所述,通过重构安全协同管理组织职能与强化全生命周期技术支撑,构建“管理+技术”双轮驱动的安全治理新范式。研究表明打破部门壁垒的矩阵式架构能有效消除管理真空,而本质安全设计与智能监测技术的深度融合,则实现了风险从被动应对向主动防控的根本转变。未来随着数字化技术的迭代升级,安全管理体系将更具韧性与自适应能力。坚持制度创新与技术赋能并重,完善动态调控机制,筑牢全生命周期安全防线。

[参考文献]

- [1]叶文娟.基于全生命周期的农村道路建设工程管理模式研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(20):124-126.
- [2]数字孪生驱动交通基础设施全生命周期高质量发展[J].中国勘察设计,2025,(09):40-44.
- [3]周乐业.国省干道全生命周期的绿色养护协同管理模式研究[J].中国水运,2024,24(22):23-25.
- [4]师哲博.基于BIM技术的公路工程项目全生命周期管理[J].中国勘察设计,2024,(10):88-90.
- [5]彭来,甘政锋.基于BIM思维的“四好农村路”全生命周期管理体系构建研究[J].西部交通科技,2022,(08):194-196.