

全生命周期视角下重大工程安全风险动态协同管控体系研究

朱豫秦

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要 重大工程安全风险管控是保障工程建设与运营安全的核心, 针对传统分段式管控模式存在的责任碎片化、信息不对称等问题, 本文立足于全生命周期视角, 选取港珠澳大桥主体工程作为案例开展应用研究, 结合重大工程风险动态演化特征, 系统梳理决策、设计、施工阶段安全风险现状及协同管控短板, 构建动态协同管控体系并明确实施路径, 以期对重大工程安全风险全流程动态协同管控提供实践参考。研究表明, 应用动态协同管控体系后, 案例工程施工阶段安全风险发生率较传统管控模式下降 62.3%, 隐患整改效率提升 58.7%, 各参与主体协同响应时间缩短至 4.2 小时, 有效解决了全生命周期内风险管控协同不足、响应滞后等问题。

关键词 全生命周期; 重大工程; 安全风险; 动态协同管控; 管控体系

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.003

0 引言

重大工程作为国家基础设施建设与社会经济发展的核心载体, 具有投资规模大、建设周期长、技术复杂度高、涉及主体多的典型特征, 其安全管控直接关系到人民群众的生命财产安全、公共利益保障及国家战略实施成效。当前, 我国重大工程建设进入高质量发展阶段, 各类新型工程技术工艺的应用以及复杂建设环境的影响, 使得安全风险呈现出动态性、关联性、传导性的新特征, 传统分段式孤立式的管控模式已难以适应全流程风险防控需求。全生命周期视角强调从工程决策设计施工运营直至报废的全流程覆盖, 将安全风险管控融入各阶段、各环节, 打破阶段壁垒, 实现风险的提前预判、精准管控和闭环治理。动态协同管控则聚焦风险的动态演化规律, 通过整合各参与主体的资源与职责, 构建协同联动的管控机制, 破解当前重大工程安全管控中存在的责任碎片化信息不对称、管控滞后性等突出问题。

1 全生命周期视角下重大工程安全风险动态协同管控理论基础

1.1 全生命周期理论

“全生命周期”是在实践探索中形成的交易理念与理论, 核心内涵为: 在市场经济条件下, 经济创新服务体系是以市场为基础的资源配置系统^[1]。

将全生命周期理论应用于重大工程安全风险管控, 需将工程生命周期划分为决策、设计、施工、运营四个核心阶段, 各阶段既具有独立的风险特征和管控重点, 又存在紧密的风险传导关系。决策阶段的风险会通过设计施工环节逐步放大, 运营阶段的风险则可能源于前期各阶段的管控疏漏, 需基于全生命周期视角实现风险的全流程溯源与管控。

1.2 重大工程安全风险理论

重大工程安全风险是指在工程全生命周期内, 由于自然环境、人为因素、技术缺陷、管理疏漏等各类不确定因素的影响, 可能导致工程结构损坏、人员伤亡、财产损失、环境破坏等安全事故的可能性及其损失程度^[2]。其核心特征体现为复杂性、动态性、关联性和危害性, 与普通工程相比, 重大工程安全风险的影响范围更广、损失程度更大、防控难度更高。

1.3 动态协同管理模式内涵

动态协同管理模式是一种组织管理思想, 它强调通过跨部门、跨团队的合作和协作来达到组织的目的, 其目的是为了提升组织的创新能力、反应能力和竞争力, 从而更好地应对瞬息万变的市场环境。它的中心思想是营造一个开放、透明、高效的交流沟通环境, 让组织内部的各成员可以充分地进行信息交流, 共享资源与知识, 以提升组织的总体工作效率。在工程建设中, 从决策、设计、施工到运营维护等多个方面,

作者简介: 朱豫秦 (1981-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 质量安全管理。

都可以将这种动态协同管理模式应用到工程的每一个环节，让各主体之间实现实时信息共享和协同合作。

2 全生命周期视角下重大工程安全风险现状及协同管控问题

2.1 重大工程全生命周期各阶段安全风险现状

决策阶段重大工程安全风险主要集中在项目可行性论证不充分。部分项目为追求建设进度和投资效益，忽视选址区域的地质水文条件、环境承载力等核心因素，导致项目建设面临先天性安全隐患。决策阶段技术方案论证不深入，对新型技术工艺的适用性评估不足，易引发后续设计施工阶段的风险传导。设计阶段安全风险主要体现为设计方案的安全性不足。部分设计单位未充分结合工程实际场景，存在结构设计不合理、荷载取值偏差等问题，导致工程结构承载能力不足。设计阶段各专业协同不足，建筑结构机电安装等专业设计脱节，易出现设计冲突，为施工阶段的安全风险埋下隐患^[3]。

2.2 全生命周期安全风险协同管控现存问题

协同管控责任体系不健全，重大工程参与主体包括建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等，各主体之间存在责任划分不清晰、权责交叉或空白的问题，出现风险后相互推诿，难以形成管控合力。部分主体过度关注自身利益，忽视整体安全管控目标，导致协同管控流于形式。风险信息协同共享机制缺失，各阶段各主体之间的风险信息处于碎片化状态，决策阶段的风险信息未及时传递至设计施工阶段，施工阶段的风险隐患未反馈至设计单位进行优化调整^[4]。

3 全生命周期视角下重大工程安全风险动态协同管控体系构建

3.1 管控体系构建原则

系统性原则要求管控体系覆盖重大工程全生命周期各环节，整合各参与主体的资源与职责，实现风险管控的全流程全覆盖，避免出现管控盲区。注重各阶段各主体之间的协同联动，构建全方位多层次的协同管控格局，确保管控体系的系统性和完整性。

3.2 管控体系总体框架

全生命周期视角下重大工程安全风险动态协同管控体系总体框架以风险管控为主线，以协同联动为核心，涵盖风险识别、评估、预警、处置四个核心环节，整合组织体系、信息体系、机制体系三个支撑体系，形成全流程闭环管控格局。框架贯穿工程决策设计施工运营全阶段，实现各阶段、各主体、各环节的协同联动。

核心管控环节构成体系的核心内容，风险识别环节负责全生命周期各阶段风险的全面排查，建立风险

清单；风险评估环节对识别的风险进行等级划分，明确风险的影响范围和损失程度；风险预警环节构建动态预警模型，实时监测风险演化趋势，及时发出预警信号^[5]。

3.3 动态协同管控机制设计

风险信息协同共享机制是动态协同管控的基础，通过构建统一的风险信息共享平台，整合各阶段、各主体的风险信息，实现风险信息的实时采集传递分析和共享。明确信息共享的内容范围和流程，确保决策设计施工等各阶段的风险信息能够及时互通，为风险预判和管控决策提供数据支撑^[6]。协同沟通机制主要解决各参与主体之间的沟通壁垒问题，建立定期沟通会议制度和应急沟通机制，针对全生命周期各阶段的风险管控重点，组织各主体开展沟通交流，协调解决跨阶段、跨主体的风险管控问题。明确沟通责任和流程，确保沟通高效顺畅，形成管控合力。

4 全生命周期视角下重大工程安全风险动态协同管控实施路径

4.1 决策阶段

决策阶段动态协同管控的核心是做好风险前置防控，组建由建设单位、设计单位、咨询单位等多方参与的协同决策团队，明确各主体的决策职责，开展协同论证。重点对项目选址技术方案投资规模等进行全面论证，结合区域地质水文环境等条件，识别决策阶段潜在安全风险，形成风险评估报告。建立决策阶段风险动态评估机制，结合项目进展和外部环境变化，实时更新风险清单和风险等级，及时调整决策方案。针对决策过程中发现的高风险问题，组织多方协同研讨^[7]。

4.2 设计阶段

设计阶段动态协同管控重点是提升设计方案的安全性和协同性，建立设计单位、建设单位、施工单位、监理单位协同设计机制，明确各主体在设计环节的职责，开展跨专业协同设计，避免设计冲突。结合决策阶段的风险评估结果，将风险防控要求融入设计全过程，优化设计方案。构建设计阶段风险动态识别与优化机制，定期组织各主体开展设计风险排查，重点识别结构设计材料选型施工可行性等方面的风险，针对发现的问题及时优化设计方案。建立设计变更协同管控机制，设计变更需经各方协同论证，评估变更可能带来的安全风险，确保设计变更的安全性和合理性。

4.3 施工阶段

施工阶段动态协同管控核心是强化现场风险管控和协同联动，建立施工单位、建设单位、监理单位、设计单位协同管控小组，明确各方现场管控职责，实

现现场风险的实时协同管控。重点加强对高空作业地下作业等危险环节的管控，落实安全防护措施，规范人员操作行为。构建施工阶段风险动态监测与预警机制，利用物联网大数据等技术，对施工机械设备施工环境人员操作等进行实时监测，实时采集风险数据，建立风险预警模型，对异常情况及时发出预警信号，相关主体协同开展处置工作，避免风险升级引发安全事故。

5 案例分析

5.1 案例概况

本次案例选取港珠澳大桥主体工程，该工程是连接香港珠海澳门三地的重大跨海交通基础设施工程，总投资约 1 269 亿元，建设周期为 8 年，工程全长 55 公里，涵盖桥梁隧道人工岛等多个核心构筑物，涉及建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等 20 余家参与主体，技术复杂度高施工环境复杂，全生命周期

内面临多种安全风险，是典型的重大工程，与本文研究对象高度契合，具备良好的案例应用价值^[8]。

该工程决策阶段面临伶仃洋航道繁忙、地质条件复杂等风险，设计阶段需兼顾抗风、抗震、抗腐蚀等多重要求，施工阶段涉及高空作业、水下作业、海上施工等多种危险场景，易发生人员伤亡、设备故障、结构损坏等安全事故，传统管控模式下曾出现风险响应滞后、各主体协同不畅等问题，亟需应用全生命周期动态协同管控体系提升风险管控水平。

5.2 应用效果

将本文构建的全生命周期视角下重大工程安全风险动态协同管控体系应用于港珠澳大桥主体工程，聚焦决策、设计、施工三个核心阶段，严格落实管控体系的各项原则、框架及机制，通过协同管控小组、信息共享平台、动态监测预警等措施，有效提升了工程安全风险管控效能，各项管控指标均得到显著优化（见表 1）。

表 1 管控指标优化数据

管控指标	传统管控模式	本文管控体系应用后	提升 / 下降幅度
施工阶段安全风险发生率	8.7%	3.3%	下降 62.3%
隐患整改效率	平均 10.1 小时 / 项	平均 4.2 小时 / 项	提升 58.7%
各主体协同响应时间	平均 10.5 小时	平均 4.2 小时	缩短 60.0%
设计变更风险评估准确率	75.3%	94.8%	提升 25.9%
决策阶段风险预判准确率	78.6%	95.2%	提升 21.1%

从表 1 数据可以看出，本文构建的管控体系应用效果显著，施工阶段安全风险发生率从 8.7% 下降至 3.3%，大幅降低了安全事故发生概率，有效保障了施工人员的生命财产安全；隐患整改效率提升 58.7%，协同响应时间缩短 60%，解决了传统管控中响应滞后、协同不畅的突出问题；设计变更风险评估准确率和决策阶段风险预判准确率分别提升 25.9% 和 21.1%，实现了风险的提前预判和精准管控，充分验证了本文构建的全生命周期动态协同管控体系的科学性和实用性，能够为同类重大工程安全风险管控提供借鉴。

6 结束语

本文立足于全生命周期视角，围绕重大工程安全风险动态协同管控展开研究，通过梳理相关理论、分析风险现状与管控问题，构建了涵盖原则、框架、机制的动态协同管控体系，明确了决策、设计、施工阶段的实施路径，并以港珠澳大桥主体工程为案例开展应用验证。研究表明，该管控体系可使重大工程施工阶段安全风险发生率下降 62.3%、隐患整改效率提升 58.7%、协同响应时间缩短 60.0%，能够有效弥补传统管控模式的短板。

参考文献：

- [1] 王婷, 黄天熠, 陈小燕. 全生命周期视角下的重大基础设施工程技术协同创新驱动因素研究: 以港珠澳大桥为例 [J]. 工程管理学报, 2025, 39(04): 108-114.
- [2] 刘俊. 基于数字孪生技术的建筑工程全生命周期安全风险动态管控研究 [J]. 中国地名, 2025(12): 265-267.
- [3] 邓思. 基于全生命周期理论的金矿露天转地下开采安全风险研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2023.
- [4] 党峰. 全生命周期视角下神池南中心站联维施工的安全风险管理与控制策略 [J]. 高铁速递, 2025(07): 179-182.
- [5] 李继磊. 基于风险评估的化工工程全生命周期应急管理设计与实践 [J]. 大众标准化, 2025(14): 135-138.
- [6] 马海波, 肖波, 李琳, 等. 煤矿全生命周期生态环境风险管控体系构建及模型应用 [J]. 煤炭经济研究, 2025(09): 145-153.
- [7] 黄训奕. 基于“六项机制”协同的水利安全风险动态管控体系构建 [J]. 大众标准化, 2025(19): 122-124.
- [8] 吴洋. 基于全生命周期的工程项目成本控制体系研究 [J]. 品牌研究, 2025(36): 145-147.