系统治理、经验决策与过程韧性：工程风险管理的三维度分析

刘沛林，孙 涛，刘振宇

（航天工程大学，北京 101416）

摘 要 当前工程规模不断扩大、外部环境复杂多变，工程项目的核心矛盾是要用有限资源完成既定目标，整个实施过程又存在各类不确定因素的影响。传统的风险管理常被视为独立的流程环节，本文构建了一个整合性的理论分析框架，提出工程风险管理通过系统治理、经验决策与过程韧性三个维度，将不确定性转化为可管理、可优化的已知参数。系统治理提供了顶层架构，经验决策构成了认知内核，过程韧性则确保了动态存续能力。该框架可加深对工程风险管理本质的理解，也为应对复杂工程项目实践提供了理论参考。

关键词 工程风险管理；系统治理；经验决策；过程韧性；不确定性

中图分类号：TU712 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.042

0 引言

工程是人类为满足特定需求，以系统性方式将科学原理、数学方法与创造性思维相结合，通过统筹时间、人力、物力等资源要素，推动自然资源转化为各类结构、机器、产品与系统的工作过程，最终提升人们生产生活的安全保障水平[1]。无论是建造一座桥梁、开发一套软件，其基础目标均为在限定的时间与预算内，交付满足特定功能与质量要求的成果。而在成果落地的全流程中，始终面临技术、环境、组织及社会等多维度不确定性的影响，这类不确定性正是工程管理过程中需要直面的核心风险；工程管理的核心动作之一，就是针对性应对这些不确定性带来的各类影响，即实施系统性风险管理。通过时间、逻辑和知识三个维度的梳理，可以明确项目风险管理在项目全生命周期的各个阶段，都需要科学方法的支撑与运用[2]。为适配当前工程项目风险管理的发展需求，更好地应对技术复杂度高、干系人众多、外部环境多变的工程项目，本文从“系统治理”“经验决策”“过程韧性”三个维度，构建工程项目全寿命周期风险管理框架。

1 第一维度：系统治理——风险管理的结构性框架

由于项目风险的来源、形成过程、破坏机制、影响范围以及破坏力错综复杂，单一举措都有相应的局限性，难以应对复杂项目风险。为解决上述问题，需要从系统治理的角度，建立起全面、主动、系统的项目风险管理框架。

1.1 全要素集成管理：工期、成本与质量的耦合博弈

工程管理的核心目标是确保项目按时、按预算、按质量完成，因此在工程项目风险管理过程中要同时关注工期、成本以及质量这三者及其之间的关系。在工程项目管理过程中，风险的影响往往是复合的，能够同时扰动多个目标，产生耦合效应，带来难以应对的后果。例如：在某项目中，一项关键技术的试验失败，不仅会导致工期延误，还会引发额外的人工与设备成本，若为了追赶进度而压缩测试环节，则可能埋下质量隐患，如表1所示。

工期、成本与质量的耦合博弈是工程项目风险管理的核心命题，其本质是在不确定性环境中寻求多目标冲突的帕累托最优均衡。近年来，随着智能化算法与风险驱动理论的深度融合，该领域取得显著突破：一方面，以非支配排序遗传算法（NSGA-II）为代表的多目标进化算法被广泛用于求解时间—成本—质量权衡（TCQT）问题，能够在资源约束与进度风险双重条件下生成高质量帕累托解集，实证研究表明优化后的调度方案可使工期、成本与质量均能够有效改善[3]。

1.2 全过程跟踪管理：从被动应对到主动干预

被动应对型风险管理，其本质是“反应式”的，通常表现为：风险预警缺位，风险处置以被动应急处置为主。这种模式的致命缺陷在于管理者往往在损失

作者简介：刘沛林（1991-），男，硕士研究生，研究方向：工程项目风险管理。

表 1 典型项目风险的多目标耦合影响示例

风险事件	对工期的影响	对成本的影响	对质量 / 范围的影响
关键功能开发延迟	关键路径延误，总工期延长	现场作业停滞损失、可能的赶工费	可能因赶工而降低人机交互的便捷性
系统数据流转发生变化	返工导致工期滞后	设计变更费、已开发部分代码重做费	功能或标准提升 / 降低，范围变更
系统在线开发网络故障	线上开发停止，工期顺延	开发时间延长、搭建离线环境设备费	在离线环境开发的程序移植后版本不一致，带来软件适配性降低

已经发生时才获知信息，此时任何干预都只能算作“减损”，而非“防损”。

主动干预型风险管理，则是“预见式”的。它遵循“全过程控制”的理念，将管理行为嵌入业务的每一个环节。其核心逻辑在于：通过持续的风险追踪，识别风险因子演变的早期信号，在风险尚未造成严重影响时，便启动干预程序，将风险控制于无形。

2 第二维度：经验决策——风险管理的认知内核

前面为解决风险管理的复杂性问题，从系统治理的维度简述了如何开展风险管理。而风险管理的关键内核是人的认知。在风险管理的过程中，始终要有人在管理回路中，再精细的系统治理框架，其最终的决策仍然依靠人的经验知识来进行。经验决策，是风险管理者在无数项目积累出的经验、直觉等隐性知识，用于应对各类充满不确定性的风险情境。

2.1 经验性知识的核心地位

工程管理面对的是每一次都独一无二的具体项目，必须在有限信息、有限时间下做出判断。经验性知识正是应对这种情境的认知工具，它不仅是科学知识的补充，更是连接理论与实践的桥梁，是工程管理者的必备能力。各类经验决策方法工具（风险核对单、历史案例库、德尔菲法等），其本质都是对经验的系统化提取与归纳总结，将人的经验知识应用到各类不同的工程项目中。

2.2 辅助开展经验决策的工具

为了减少人的主观偏差，在多年的发展中，工程项目风险管理产生了很多将人的经验知识量化的工具，为经验提供了结构化的表达框架、概率化的运算工具和可视化的决策界面。本文简要介绍以下常用的辅助决策工具：

1. 蒙特卡洛模拟。使用蒙特卡洛模拟法时，会先从每个不确定因素里随机抽取样本，再完成一次完整的项目运算，该过程会重复若干次，覆盖各类不确定性组合，得到不同组合对应的各类结果，再对这些结果数据做统计处理，总结出项目的变化规律[4]。该方法广泛应用于工程建设项目、金融风险控制、供应链管理等多个领域，尤其适用于那些包含大量不确定性和随机性的工程项目。

2. 贝叶斯网络。贝叶斯网络以贝叶斯原理与定向无环图等为方法基础，由代表变量结点及连接这些结点有向边构成，结点表示随机变量、有向边表示结点间的关系，用条件概率进行表达关系强度，没有父结点的用先验概率进行信息表达，对包含不确定信息的内容开展统计推断和分析，完成有向无环图的量化分析工作，适用场景覆盖医疗诊断、风险评估、自然语言处理等[5]。

3. 敏感性分析。敏感性分析是一种定量风险分析技术，核心是把项目结果的变动与定量风险分析模型输入项的变动建立对应关系，可明确对项目结果产生最大潜在影响的单个项目风险或是其他不确定性来源[6]。通过设定参数变化范围、观察结果波动情况并对各因素影响程度进行排序，有助于识别关键风险因素和敏感环节；结合情景分析与模拟方法，还能直观展示不确定性对项目目标的影响，为风险应对优先级排序和决策优化提供依据。

4. 人工智能分析方法。基于生成式人工智能技术，凭借其较强的数据分析与处理能力为项目风险管理提出新的思考方向与解决路径[7]。传统模式下项目管理人员受限于自身知识储备，很难快速做出最优的风险应对方案。通过生成式人工智能可辅助梳理历史风险案例，提取关键风险因素，生成风险清单与初步应对方案，为管理人员提供参考。将风险管理经验与人工智能相结合，能够更好地进行风险管理，进一步提升风险管理的科学性和可操作性。

3 第三维度：过程韧性——风险管理的动态存续能力

过程韧性是指当工程项目建设中遇到突发风险影响时，具备动态适应的能力，使得项目主要进程不会中断，进度和质量不会受到影响。在项目进行过程中，

部分小概率事件引发的风险往往难以识别，当此类风险发生后，会对项目整体产生严重后果。为应对此类事件，需要增强项目的过程韧性，提升其动态适应能力和维持稳定运行能力。

3.1 建立动态适应风险管理方法

增强过程韧性就要将风险管理从传统的评价、识别、应对模式，转变为动态的监测、感知、响应、学习的自适应循环模式。为建立具备自适应循环的风险管理，需要做到以下三个方面：

1. 持续监控：建立具备实时信息采集、偏差识别的全流程监测机制，及时掌握项目动态、跟踪风险状态、评估控制效果，在扰动尚未发生或发生初期就能启动响应。

2. 快速响应：在面对突发风险并且已造成一定影响时，能够在最短时间内做出决策、调动资源、进行风险应对，控制事态恶化、维持项目正常进行。

3. 迭代更新：基于持续监控、快速响应环节的结果以及项目内外部环境变化情况建立起的迭代学习过程，全面收集项目进行过程中产生的各类数据以及经验教训，将其转化为风险识别清单以及应对策略库，增强项目管理人员风险管理能力。

持续监控、快速响应与迭代更新作为动态风险管理的重要环节，共同构成了过程韧性从感知到行动再到进化的自适应循环。其中，持续监控通过实时数据监测与分析，识别风险早期信号，为后续行动提供预警；快速响应在时间压力下激活预设机制与资源网络，实现扰动后的功能维持与快速复原；迭代更新则发挥学习与记忆功能，将监控发现与响应经验转化为风险登记册、应对策略库及组织流程的实质性升级。三者共同遵循“监测—感知—响应—学习”的动态风险管理逻辑：监控为响应争取提前量，响应为学习提供经验素材，学习进而优化监控的精准性与响应的有效性。

3.2 韧性构建的工程与管理策略

工程项目管理中韧性构建的策略体系，主要是将管理策略从常规的“抵抗风险”转变为“与不确定性共存”。韧性的构建需要融入项目的顶层设计环节之中，通过构建起以韧性为导向的项目总体设计框架来实现。在项目的顶层设计时要考虑以下四个方面：

1. 冗余设计：在项目建设的关键环节设置冗余资源或备选的替代路径，提升项目的风险应对能力。例如：在一些重要的用电设备的电路中加装UPS等备用电源，保证设备用电可靠性。冗余设计看似增加了前期投入，但实际上为项目在应对风险时提供了缓冲空间，在一定程度上能够降低风险发生后产生的额外成本。

2. 模块化设计：将复杂系统按照不同的功能分解为相对独立的功能模块，使单个模块故障不影响其他模块正常运行。例如：在复杂软件开发过程中，不同功能相对独立，在开发过程中不同模块能够同步进行，在运行测试中出现问题便于定位故障。

3. 可重构性设计：这类设计让系统可依照任务需要或环境变动，快速、低成本调整自身结构、功能或资源配置。在工程实践中，可重构性意味着项目不是固定不变的，而是可以通过重新排列组合来适应新场景。

4. 抗逆性设计：系统在遭遇远超设计基准的极端冲击或意外荷载时，仍能保持结构完整、不发生灾难性崩溃的能力，这种设计针对极端但低频的“黑天鹅”事件。

建立动态适应风险管理方法和以韧性为导向的系统设计，能够有效建立起项目管理的过程韧性，在项目进行过程中能够较好地应对处置难以遇见的风险事件。

4 结束语

工程项目风险管理绝非一项孤立、静态的技术性任务。面对工程项目内在的确定性要求与外在的不确定性环境之间的矛盾，本文提出的系统治理、经验决策与过程韧性三维度分析框架，阐释了这一框架的构成与运行逻辑。系统治理确立了整合全要素、全过程、全员参与的顶层架构；经验决策承认并规范化了有限理性下依赖隐性知识与渐进学习的认知过程；过程韧性则强调构建动态适应与恢复能力。三者相辅相成，共同将各类不确定性事件转化为可以通过专业手段进行预测、评估、权衡和控制的常规管理对象，从而最终保障工程价值的确定性实现。

参考文献：

[1] 胡绳荪 . 工程导论 [M]. 北京 : 机械工业出版社 ,2022.
[2] 汪雨晨 .A 公司加弹机新产品项目安全风险管理有效性影响分析 [D]. 镇江 : 江苏科技大学 ,2025.
[3] 周君 , 唐艳娟 , 田雍 . 风险驱动视角下兼顾进度风险与资源双重约束的工程项目多目标权衡优化 [J]. 可持续性 ,2025,17(05):1926.
[4] 沈建明 . 项目风险管理 (第 3 版)[M]. 北京 : 机械工业出版社 ,2018.
[5] 李竞男 . 基于故障树和贝叶斯网络集成的弃土场项目风险管理 [D]. 武汉 : 武汉工程大学 ,2025.
[6] 美国项目管理协会 (PMI). 项目管理知识体系指南 (PMBOK 指南)(第 6 版). 美国 : 项目管理协会 ,2017.
[7] 程平 , 陈锐 , 牛志华 . 基于 ChatGPT 的企业智能风险管理研究 [J]. 中国管理会计 ,2023(03):30-38.