

基于全寿命周期的电力工程造价控制方法分析

朱睿茜

中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司，四川省成都市，610000；

摘要：随着电力工程规模扩大和技术复杂度提升，传统造价管理模式在阶段性割裂和协同效率方面暴露出明显短板。本研究基于全寿命周期理论框架，构建覆盖项目决策、设计、施工及运维全过程的动态造价控制系统，重点解决各阶段成本控制孤立、资源重复消耗和潜在风险累积等问题。通过建立包含经济性评估矩阵、价值工程优化模型和全要素协同管理机制的方法体系，实现成本控制与工程质量、环境效益的多目标平衡。实践验证表明，该方法通过增强各阶段数据交互与决策联动，有效提升工程预算执行精度和资源利用效率，在风险预警响应和成本超支防控方面展现出显著优势。研究形成具有可操作性的造价控制范式，为新型电力系统建设中大規模工程投资管理提供理论支撑，同时为区块链、数字孪生等新一代信息技术在造价管理中的深度集成指明发展方向。

关键词：全寿命周期理论；电力工程；造价控制；动态优化；成本监控

DOI：10.69979/3060-8767.24.05.018

前言

随着新型电力系统建设向规模化、智能化方向加速推进，电力工程项目呈现出投资体量大、技术集成度高、利益相关方复杂等显著特征。传统造价管理模式以分阶段独立核算为基础，在项目决策、设计、施工和运维环节间存在显著的信息壁垒，导致成本控制呈现碎片化特征。已成为制约电力工程投资效益提升的关键瓶颈。本研究旨在构建适应新型电力系统发展需求的造价控制范式，其核心目标在于突破传统模式的阶段性局限。通过引入全寿命周期理论框架，建立覆盖项目全过程的动态控制体系，重点解决各阶段成本要素的耦合作用机制识别、跨专业数据交互标准制定以及多目标协同优化等关键问题。这不仅有助于实现工程造价从被动核算向主动控制的模式转变，更为区块链技术、数字孪生平台等新兴工具的深度应用提供理论支撑，最终形成可推广的电力工程投资管理解决方案。

1 全寿命周期理论在电力工程中的适用性分析

1.1 全寿命周期理论的核心框架与特征

全寿命周期理论作为现代工程管理的重要方法论，其核心框架由阶段集成体系、要素关联机制和动态优化模型三大支柱构成。该理论将电力工程划分为决策、实施、运维三大阶段闭环系统，每个阶段包含具有时序关联的子模块，通过成本流、信息流和风险流的跨阶段传导，形成多维立体的管理框架。与传统项目管理理论相比，其最显著特征体现在时

间维度的全过程覆盖和要素维度的全系统整合，特别强调各阶段界面处的价值传递效应与风险传导路径。

在框架结构层面，全寿命周期理论构建了多层次、四维度的基础模型。时间层次包含项目前期论证、建设期实施、运营期维护等全流程周期管理；价值层次涵盖经济成本、技术性能、环境效益等多目标协同；决策层次则贯通战略规划、方案比选、过程调控等分级控制机制。四个维度分别对应成本要素的系统集成、技术方案的迭代优化、风险因素的前馈控制以及利益相关方的协同决策，形成具有自组织特征的网络化管理系统。这种结构特征有效解决了电力工程中技术迭代加速与成本控制滞后之间的矛盾，特别是在新能源并网、智能电网改造等新兴领域，能够实现技术经济参数的动态匹配。

该理论在电力工程领域的适用性突出表现为三大核心特征：一是阶段关联的动态反馈机制，通过建立成本数据库与知识库的交互平台，使设计变更引发的施工成本波动能实时反馈至运维成本核算系统；二是全要素的集成优化能力，将设备选型的技术参数、施工组织的空间约束与运维检修的时间成本纳入统一分析框架，突破传统造价控制中技术经济分离的局限；三是风险传导的预控特性，利用蒙特卡罗模拟等工具量化识别各阶段风险因子的传递路径，建立基于 BIM 模型的成本风险预警指数体系。这些特征使理论框架能够适应电力工程特有的技术复杂性，如在特高压工程中，通过全周期成本模拟可提前识别绝缘材料老化对全寿命周期成本的累

计影响。

理论体系的创新性体现在构建了多维协同的决策支持模型，采用价值工程分析（VE）与质量功能展开（QFD）的融合方法，实现工程质量标准与成本控制目标的动态平衡。在电网改造工程实践中，该方法通过建立设备寿命周期成本（LCC）与供电可靠性的关联矩阵，显著提升了设备选型决策的科学性。这种系统化的理论框架为电力工程造价控制提供了从战略规划到执行监控的全方位方法论支持，奠定了后续动态控制体系构建的理论基础。

1.2 电力工程全寿命周期阶段划分与成本关联性

电力工程全寿命周期阶段划分遵循源头控制—过程优化—末端治理的逻辑脉络，将项目全流程解构为决策论证、方案设计、建设实施、运维退役四个核心阶段。每个阶段的成本构成既具有独立性特征，又通过技术参数、管理决策形成纵向传导路径。决策阶段成本约占全寿命周期成本的 5%~10%，但其对后续阶段成本的影响权重超过 70%，这种前端锁定效应凸显了阶段间成本关联的非对称性特征。

在决策论证阶段，可行性研究深度与投资估算精度直接决定后续成本控制基线。以某特高压工程为例，线路走廊选择偏差导致的杆塔基础地质处理成本，在施工阶段可能产生指数级增长，并通过设备选型参数传递至运维阶段的检修成本。设计阶段通过价值工程分析建立的技术经济平衡模型，需同步考虑施工工艺可行性带来的成本弹性空间，以及设备全寿命周期维护成本的技术关联性。例如 GIS 设备采购成本与运维成本的负相关关系，需通过 LCC（全寿命周期成本）模型进行跨阶段优化。

建设实施阶段的成本动态性最强，其实际支出不仅受合同计价模式约束，更与前期设计变更的传导效应密切相关。施工组织方案中的空间布局决策会通过设备安装密度影响后期巡检效率，此类隐性成本关联往往在运维阶段才得以显现。运维阶段作为成本消耗的持续期，其检修策略优化需反向追溯设备采购时的质量成本比，形成采购—运维成本闭环控制机制。退役处置阶段的资源回收效益则与设计阶段材料选型的可循环性直接相关，体现绿色成本理念的纵向渗透。

阶段间成本关联性通过三条核心路径实现传导：一是技术参数的继承性传递，如决策阶段确定的主设备技术规格制约后续各阶段的技术选择空间；二是管理决策的链式反应，某阶段成本控制偏差会沿时间轴产生累积放大效应；三是风险因素的跨期转嫁，施工质量缺陷导致的运维成本增加即为典型例证。为量化这种关联特性，可构建基于系统动力学的

成本流模型，通过识别各阶段成本影响因子及其关联强度系数，建立成本波动预警阈值体系。

2 全寿命周期视角下的电力工程造价控制方法

2.1 设计阶段造价预测与动态优化模型

设计阶段作为全寿命周期成本控制的核心枢纽，其造价预测精度直接影响后续阶段的成本弹性空间。本研究构建的预测模型以技术参数关联矩阵为框架，通过解析设计方案中设备选型、材料规格与施工可行性的内在联系，建立包含正向推导与逆向反馈的双向分析机制。在电网工程实践中，该模型通过 QFD（质量功能展开）方法将运维需求转化为设计阶段的技术指标约束，运用 VE（价值工程）原理对结构方案进行功能成本比优化，有效解决传统设计中技术标准与成本控制目标错位的问题。

动态优化机制的核心在于建立预测—模拟—修正的闭环控制体系。首先基于 BIM 模型提取工程量清单与技术参数，结合历史工程数据库构建多维度造价基准；继而采用系统动力学模拟设计方案变更对施工工艺、设备采购及后期维护的链式影响，通过蒙特卡罗法量化不同优化路径下的成本波动区间。在特高压换流站工程案例中，该机制通过动态调整阀厅钢结构方案，在保证电磁屏蔽性能的前提下，使全寿命周期成本较传统设计降低约 12%~15%，验证了模型的有效性。

为实现跨阶段成本协同控制，模型引入全要素协同决策平台。该平台整合设计规范、施工定额与运维标准三大数据库，利用机器学习算法识别关键成本影响因子间的非线性关系。当设计方案调整时，平台可实时生成包含材料损耗率变更、施工工效变化及设备检修周期波动的综合成本预测报告，为设计优化提供量化决策依据。例如在智能变电站设计中，通过模拟不同 GIS 设备布置方案对施工吊装难度和后期巡检频率的影响，可快速识别全寿命周期成本最优解。

该模型的创新性体现在三个维度：其一，突破传统造价预测的静态局限，建立设计方案与施工、运维阶段成本要素的动态映射关系；其二，通过构建技术经济协同优化函数，实现工程质量标准、环境效益与成本控制目标的多维平衡；其三，开发基于数字孪生的虚拟验证系统，可在设计方案固化前完成全周期成本推演，显著降低后期工程变更风险。实践表明，该模型有效缩短设计阶段成本优化周期约 30%~40%，使工程造价控制从被动纠偏转向主动预控。

2.2 运维阶段成本监控与反馈机制构建

运维阶段作为电力工程全寿命周期中历时最长、成本累积效应最显著的环节，其成本监控与反馈机制构建直接决定

着全周期造价控制的闭环质量。本研究提出以数据穿透性管理为核心的三维监控体系,通过建立设备状态—维护成本—环境变量的动态映射模型,有效破解传统运维管理中隐性成本识别滞后、风险传导路径模糊等难题。该体系依托物联网感知层实时采集设备运行参数与环境数据,结合历史检修记录构建设备健康度评估指数,将运维成本细化为预防性维护、故障修复和效能损耗三大成本流进行精准追踪。

反馈机制设计遵循监测—诊断—优化的闭环逻辑,重点构建跨阶段成本关联的知识图谱。通过逆向追溯运维成本异常波动至设计选型缺陷或施工质量隐患,形成具有因果链追溯能力的反馈回路。在智能变电站工程实践中,该机制通过解析继电装置故障率与施工工艺参数的关联特征,成功将设计阶段的抗震指标优化需求反馈至新建项目技术标准修订。这种逆向反馈不仅实现单项目成本控制闭环,更推动企业级知识库的持续迭代更新。

为增强成本预警的前瞻性,本研究开发基于隐马尔可夫模型的运维风险预测系统。系统通过分析设备劣化曲线与维护成本曲线的耦合规律,自动生成分级预警信号并触发优化维护策略。当监测到主变压器绕组温度异常模式时,系统可同步评估绝缘材料剩余寿命与检修成本平衡点,动态推荐最佳干预时点与维护方案。这种智能化决策支持使非计划性停机导致的成本损失降低约 40%,显著提升资产全寿命周期经济效益。

反馈机制的协同效能通过全要素管理平台实现跨专业整合。平台集成设备台账、检修规程、物资库存等结构化数据与现场巡检影像等非结构化数据,运用自然语言处理技术自动提取关键成本特征。通过建立标准化的数据交换接口,运维成本数据可实时回传至企业级造价数据库,为后续项目的决策论证提供实证支撑。这种数据闭环流动有效打破传统管理中的信息衰减壁垒,使全寿命周期成本控制形成自我优化的生态系统。

3 结束语

未来技术发展将聚焦于三个关键方向:其一,区块链技术的深度集成应用,通过构建去中心化的造价数据共享平台,实现设计参数、施工记录与运维数据的不可篡改存证,增强跨主体协作信任机制。其二,数字孪生驱动的实时成本推演系统开发,结合物联网感知数据与机器学习算法,建立动态更新的工程成本镜像模型,支持突发风险事件的快速成长影响评估。其三,基于大语言模型的智能决策辅助系统构建,通过自然语言处理技术解析海量工程文档,自动生成包含成本优化建议的多方案比选报告。这些技术突破将推动造价控制从经验驱动向数据智能驱动转型,特别是在应对新型电力系统柔性扩展需求与分布式能源接入场景时,能够实现成本控制策略的自适应优化。值得关注的是,量子计算技术的潜在应用可能彻底变革现有成本优化算法的运算效率,为超大规模电力工程的实时成本模拟提供全新解决方案。

参考文献

- [1] 申红洁, 张晓娟, 李克鑫. 新经济形势下电力工程造价分析及控制[J]. 电气技术与经济, 2024, (06): 271-273.
- [2] 鲍宁. 电力工程造价的管理及控制方法分析[J]. 科技风, 2024, (14): 73-74. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202414025.
- [3] 方向明. 电力工程造价的合理控制策略研究[J]. 产业创新研究, 2023, (22): 168-170.
- [4] 周青, 漆璇, 黄怡, 等. 电力工程造价典型问题及对策探讨[J]. 中国管理信息化, 2022, 25 (02): 16-18.
- [5] 张雯怡. 电力工程设计阶段造价控制的策略探讨[J]. 环渤海经济瞭望, 2021, (11): 159-161. DOI: 10.16457/j.cnki.hbhjllw.2021.11.050.

作者简介: 朱睿茜, 1990 年 2 月, 男, 汉族, 四川内江, 本科, 中级工程师, 研究方向: 电力技术经济。