

电力工程项目的全生命周期管理与优化策略

郭晓宇 赵磊 杨洁

内蒙古电力(集团)有限责任公司锡林郭勒超高压供电分公司 内蒙古 锡林浩特 026000

摘要: 电力工程项目全生命周期管理涵盖规划、设计、施工、运营、退役各阶段, 需应对技术复杂、风险多样等挑战。通过构建跨阶段信息共享机制、应用数字孪生与大数据技术、采用多目标遗传算法实现成本-进度-质量协同优化, 强化全生命周期风险管理。同时, 针对数据孤岛、传统管理思维及数字化人才短缺问题, 提出政策引导、技术赋能与组织变革等优化对策。

关键词: 电力工程项目; 全生命周期管理; 优化策略

引言: 在能源转型与“双碳”目标推动下, 电力工程项目作为能源基础设施的核心, 其全生命周期管理效能直接影响能源供给质量与可持续发展水平。传统管理模式因阶段割裂、信息壁垒和技术滞后, 面临成本超支、效率低下及风险失控等困境。本文聚焦电力工程全周期管理, 通过整合全流程资源、应用数字化技术、构建协同优化机制, 探索成本、进度与质量的动态平衡策略, 为行业提供系统化解决方案。

1 电力工程项目的全生命周期管理理论基础

1.1 全生命周期管理理论

(1) 定义与阶段划分。全生命周期管理理论是对电力工程项目从启动到终结的全流程进行系统性规划、协调与控制的管理模式, 旨在实现项目效益最大化。其阶段划分为: 规划阶段, 聚焦项目可行性分析与目标设定, 明确建设规模、投资预算等核心要素; 设计阶段, 完成工程技术方案设计、图纸绘制及技术参数确定, 保障工程技术可行性; 施工阶段, 依据设计方案开展实体建设, 把控施工质量、进度与安全; 运营阶段, 对投运后的电力设施进行维护、检修与优化, 确保稳定供电; 退役阶段, 对老旧设施进行拆除、回收与环境修复, 降低资源浪费与环境影响。(2) 核心原则。集成性原则要求整合项目各阶段资源与信息, 打破部门壁垒, 实现设计、施工、运营等环节协同; 动态性原则强调根据项目实施中的内外部变化, 实时调整管理策略, 应对突发问题; 可持续性原则注重在项目全周期兼顾经济效益、社会效益与环境效益, 如采用节能技术、减少污染物排放。

1.2 电力工程特殊性分析

(1) 技术复杂性。电力工程涉及高压输电、智能电网、储能系统等复杂技术体系。高压输电需解决高电压下的绝缘、防雷等技术难题; 智能电网依赖大数据、物联网技术实现电网智能监控与调度; 储能系统则需突破

储能效率、成本控制等技术瓶颈, 技术集成难度远高于普通工程项目。(2) 风险多样性。安全风险突出, 高压设备运行、电力施工易引发触电、设备爆炸等安全事故; 政策风险显著, 电力行业受国家能源政策、环保政策影响大, 政策调整可能导致项目合规性变化; 市场风险不容忽视, 电价波动、电力供需变化会直接影响项目投资回报, 增加项目管理难度^[1]。

2 电力工程项目的全生命周期阶段划分与管理要点

2.1 规划阶段

(1) 需求分析与可行性研究。需求分析以负荷预测为核心, 结合区域经济发展、人口增长数据, 采用趋势外推法、回归分析法等, 精准预判未来电力供需缺口; 选址优化需综合考量资源禀赋(如水电选址依赖水资源分布、光伏选址注重光照条件)、交通便利性及周边环境敏感点, 规避生态保护区、地质灾害高发区, 保障项目落地可行性。(2) 多目标决策模型。构建涵盖经济性、环保性、社会效益的多维度决策体系: 经济性维度测算项目投资回报率、动态回收期; 环保性维度评估污染物排放量、生态影响程度; 社会效益维度分析项目对就业岗位的带动作用、对区域电力保障的贡献度, 通过层次分析法(AHP)确定各指标权重, 实现科学决策。

2.2 设计阶段

(1) 标准化设计库建设。整合过往同类项目的成熟设计方案, 建立包含设备选型、结构布局、工艺流程的标准化设计库, 明确设计参数与技术规范, 减少因设计方案差异导致的施工变更, 缩短设计周期, 降低返工成本, 同时保障设计质量的稳定性。(2) BIM+GIS技术集成。借助BIM技术构建工程三维模型, 开展管线、构件的三维碰撞检测, 提前发现设计冲突; 融合GIS技术叠加地理空间信息, 实现项目选址、线路走向的可视化呈现, 在设计交底环节直观展示工程细节, 提升施工方、监理

方对设计方案的理解度，减少沟通偏差。

2.3 施工阶段

(1) 进度-成本-质量动态控制。引入挣值分析 (EVM) 方法，通过对比计划工作量预算费用 (BCWS)、已完工作量预算费用 (BCWP)、已完工作量实际费用 (ACWP)，实时监控进度偏差 (SV)、成本偏差 (CV)，及时调整资源配置；同时建立质量巡检机制，对关键工序实行旁站监督，确保进度、成本、质量协同管控。(2) 智慧工地应用。部署物联网监测设备，实时采集施工机械运行参数、混凝土养护温湿度等数据，实现施工过程精准管控；运用无人机对输电线路、大型构筑物进行巡检，覆盖人工难以到达区域，提升巡检效率与安全性，及时发现施工隐患^[2]。

2.4 运营阶段

(1) 状态评估与预测性维护。依托故障预测与健康管理 (PHM) 系统，通过传感器采集设备运行数据，结合AI算法分析设备健康状态，预测潜在故障风险，提前制定维护计划，避免突发停机导致的供电中断，延长设备使用寿命。(2) 能效管理与碳足迹追踪。搭建能效监测平台，实时监测变电站、输电线路的能耗数据，识别高耗能环节并优化；建立碳足迹追踪体系，统计项目全周期碳排放，结合国家“双碳”目标，制定减排措施，推动电力工程绿色运营。

2.5 退役阶段

(1) 设备回收与再利用。严格遵循环保处置规范，对退役变压器、电缆等设备进行分类拆解，提取可回收金属材料，对含油、有害部件进行无害化处理，避免环境污染；筛选性能达标设备进行翻新改造，用于低负荷场景，提升资源利用率。(2) 资产剩余价值评估。结合设备使用年限、技术先进性、维护记录等因素，采用重置成本法、市场法评估资产剩余价值，为设备转让、报废决策提供依据，最大化回收项目残值，降低资产闲置损失。

3 电力工程项目的全生命周期优化策略

3.1 管理流程优化

(1) 跨阶段信息共享机制。搭建统一数据平台，整合规划、设计、施工、运营各阶段数据，打破“信息孤岛”。平台兼容负荷预测数据、BIM模型信息、设备运行参数等多类型数据，实现数据实时同步与共享。例如，施工阶段可直接调用设计阶段的BIM模型进行施工模拟，运营阶段能回溯施工阶段的质量检测数据，提升各阶段衔接效率，减少因信息不对称导致的决策延误。(2) 并行工程模式。推动设计与施工环节协同优化，在设计阶段邀请施工方参与方案研讨，提前暴露施工可行性问

题。如在变电站设计中，施工方提前介入提出设备安装空间优化建议，避免设计完成后因施工难度大而变更方案；同时，设计方同步提供施工所需的技术参数与图纸，缩短施工准备周期，实现设计与施工并行推进，整体缩短项目周期。

3.2 技术手段升级

(1) 数字孪生技术。构建电力工程项目数字孪生体，在虚拟环境中对项目进行全流程模拟。在施工前开展虚拟调试，模拟设备安装与系统运行，提前发现设备兼容性问题；运营阶段通过数字孪生体实时映射实体设备运行状态，进行运行模拟与故障推演，预测设备潜在故障，如模拟输电线路在极端天气下的运行情况，制定针对性防护措施，提升项目运行可靠性^[3]。(2) 大数据分析。依托大数据技术构建历史项目成本库，整合过往同类项目的投资、施工、运维成本数据，形成成本基准数据库，为新项目成本估算提供精准参考；同时，通过分析设备运行数据、政策变动数据、市场价格数据等，建立风险预警模型，如当原材料价格波动超过阈值时，系统自动发出成本风险预警，助力提前调整采购策略。

3.3 成本-进度-质量协同优化

(1) 多目标遗传算法 (NSGA-II) 应用。采用NSGA-II算法对项目成本、进度、质量目标进行多维度优化，该算法能在满足质量约束的前提下，生成成本与进度的最优Pareto解集。通过算法迭代计算，平衡三者关系，例如在保证工程质量达标时，找到成本最低且工期最短的实施方案，避免单一追求某一目标而牺牲其他目标。

(2) 案例：某风电项目优化实践。某风电项目运用多目标优化思路，在设计阶段通过调整风机布局、优化塔筒高度，结合NSGA-II算法测算最优方案，同时采用新型轻量化叶片材料降低设备成本。最终项目平准化度电成本 (LCOE) 降低15%，在保障发电效率与设备质量的基础上，显著提升了项目经济效益。

3.4 风险管理强化

(1) 全生命周期风险图谱构建。系统梳理项目各阶段风险点，构建涵盖政策、市场、技术、安全等维度的全生命周期风险图谱。通过风险关联性分析，识别关键风险路径，如“政策调整→项目合规性变更→施工延期→成本超支”的风险传导路径，明确各风险节点的影响程度与应对优先级，为风险管理提供清晰指引。(2) 弹性缓冲策略。预留资源应对潜在风险，尤其是政策变动风险。在项目预算中设置一定比例的政策风险缓冲资金，用于应对因环保政策、电价政策调整而产生的额外成本；在进度计划中预留弹性工期，如在新能源项目建

设中,考虑到电网接入政策可能变动,提前预留2-3个月工期缓冲,确保项目在政策调整时仍能有序推进^[4]。

4 电力工程项目的全生命周期管理实施障碍与对策建议

4.1 现实困境

(1) 数据孤岛问题。电力工程项目各参与方(设计单位、施工企业、运营公司)使用的软件系统与数据格式存在显著差异:设计方常用AutoCAD、Revit生成图纸与模型数据,施工方依赖Project、Primavera管理进度数据,运营方则通过SCADA系统采集设备运行数据,数据标准不统一导致跨阶段数据无法直接互通。例如,施工方需手动转换设计方的BIM模型数据才能用于施工模拟,不仅耗时耗力,还易出现数据偏差,严重制约全生命周期数据协同效率。(2) 传统管理思维惯性。行业长期存在“重建设、轻运营”的管理倾向:项目决策阶段过度关注施工进度与建设成本,将运营阶段的维护、能效管理视为后续附属工作,缺乏全周期统筹规划。部分项目在设计阶段未充分考虑运营期的设备检修便利性,导致投运后维护成本激增;还有项目在建设完成后,未建立与运营方的长效数据衔接机制,使得运营阶段无法有效利用前期项目数据优化管理,造成全生命周期价值流失。(3) 数字化人才短缺。全生命周期管理需兼具电力专业知识、数字化技术能力的复合型人才,当前行业内此类人才供给严重不足。以BIM工程师为例,多数从业者仅掌握模型搭建基础技能,缺乏将BIM技术与电力工程施工流程、运营维护需求深度结合的能力;同时,熟悉数字孪生、大数据分析的技术人员,往往对电力系统运行逻辑了解有限,难以开发贴合电力工程实际需求的数字化管理工具,人才短板成为数字化转型的关键瓶颈。

4.2 优化对策

(1) 政策引导。由行业主管部门牵头,构建覆盖项目规划、设计、施工、运营、退役全阶段的考核指标体系:在经济性指标中加入全周期成本(LCC)、平准化度电成本(LCOE)考核,替代传统单一的建设成本考核;在管理指标中增设数据共享率、运营期设备可靠性等指标,强制要求项目各阶段数据留存与互通。通过将

考核结果与项目审批、企业信用评级挂钩,倒逼项目参与方转变管理理念,重视全生命周期协同。(2) 技术赋能。针对中小企业数字化技术能力薄弱的问题,推广电力工程专用低代码平台。平台内置负荷预测、进度管理、设备维护等标准化模块,用户无需复杂编程,通过拖拽组件即可搭建贴合项目需求的管理系统;同时,平台预设多格式数据接口,可自动兼容设计、施工、运营阶段的主流数据格式,实现数据“一键导入、自动转换”,大幅降低数字化应用门槛,助力中小项目参与方快速融入全生命周期管理体系。(3) 组织变革。推动项目建设单位牵头,联合设计、施工、运营、监理等参与方成立跨部门全生命周期管理(LCM)推进办公室:明确办公室职责为制定项目全周期管理细则、协调跨阶段争议、监督数据共享落实;办公室成员由各参与方核心人员组成,定期召开协同会议,实时解决项目实施中的数据衔接、流程优化问题。例如,在设计阶段组织施工方、运营方共同参与方案评审,提前规避后期管理隐患,从组织架构层面打破部门壁垒,保障全生命周期管理落地。

结束语

电力工程项目全生命周期管理与优化是提升能源基建效能、推动行业可持续发展的关键路径。通过跨阶段信息整合、数字技术深度赋能及多目标协同优化,可有效破解传统管理痛点。未来,需持续强化政策引导、培育复合型人才、完善协同机制,以实现电力工程全周期成本、效率与环保的多维平衡,为新型电力系统建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 孟红豆.电力工程资产全寿命周期管理实施措施研究[J].活力,2025,(13):118-120.
- [2] 吕卫乾.电力工程项目的全生命周期管理与优化策略[J].大众标准化,2025,(06):82-84.
- [3] 刘峰,曹倩.全生命周期管理下电网建设工程造价管理研究[J].电气技术与经济,2024,(19):284-286.
- [4] 吴崇光.关于电力工程自动化施工管理的技术关键[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(09):91-92.