

新能源并网背景下电力工程全生命周期管理优化研究

闫宇砦

华电科工股份有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8665

[摘要] 随着“双碳”目标的提出和能源转型的加速推进，新能源大规模接入使得传统电力工程的全生命周期管理模式面临着与之匹配的挑战。基于这一背景，系统剖析新能源并网条件下的“计划性、协同性和闭环性”的核心难题，阐明其核心意义，并从规划决策、设计建设等5个维度提出针对性的优化措施，可为提高电力工程管理水平，保障电网安全，促进能源绿色转型提供理论和实践支持。

[关键词] 新能源并网；电力工程；全生命周期管理；优化

Research on Optimization of Full Life Cycle Management of Power Engineering under the Background of New Energy Grid Connection

Yan Yutong

Huadian Technology Co., Ltd.

[Abstract] With the proposal of the "dual carbon" target and the acceleration of energy transformation, the large-scale integration of new energy poses challenges to the full lifecycle management mode of traditional power engineering. Based on this background, the system analyzes the core challenges of "planning, coordination, and closed-loop" under the conditions of new energy grid connection, clarifies their core significance, and proposes targeted optimization measures from five dimensions including planning and decision-making, design and construction. This can provide theoretical and practical support for improving the level of power engineering management, ensuring grid safety, and promoting green energy transformation.

[Key words] New energy grid connection; Electric power engineering; Full lifecycle management; optimize

随着风电、光伏等新能源技术的不断成熟和产业化推广，新能源并网规模不断扩大，电网结构和运行特征发生深刻变化，对电力工程全过程管理的精准性和协同性提出了更高的要求。传统分区管理模式的弊端越来越明显，已成为新能源消纳、电力工业高质量发展的瓶颈^[1]。在这一背景下，开展新能源接入电力工程全生命周期管理优化研究，不仅是解决我国能源转型实践难题的迫切需求，而且对于完善电力工程管理理论体系，促进“双碳”目标的实现，具有重要的理论和现实意义。

一、新能源并网背景下电力工程管理中面临的困境

新能源接入电网后，电力工程管理面临多重核心难题。在规划决策层面，传统静态规划模式难以适应新能源出力波动和并网规模动态变化，缺少智能算法支撑的精确预报能力，源网荷储协同规划机制不完善，动态调整滞后于技术迭代和政策变

迁，易引发电网布局失衡等风险。在协同管理方面，由于各阶段数据标准不一，易出现信息孤岛，缺乏数字化协同平台，导致设计与运维衔接不畅，配套工程与主体工程不同步，智能运维技术应用不足，难以应对新能源接入带来的复杂运营风险^[2]。在全生命周期的闭环层面上，退役处置环节没有提前融入规划设计、绿色回收技术尚未成熟、市场化回收机制和环境监管体系不健全、资源利用效率低、环境风险突出等问题，制约了全生命周期效益的统筹提升。

二、新能源并网背景下优化电力工程全生命周期管理的核心意义

(一) 保障电网安全稳定运行，提升新能源消纳能力
新能源具有间歇性和波动性等特点，容易引起电网电压波动、频率漂移等安全隐患，从规划阶段源网荷储协同布局、运

营期智能风险防控等方面进行优化，可增强电网对新能源出力波动的适应性调节能力。这种基于全周期的新能源接入方案，可解决电网接入瓶颈问题，有效减少弃风弃光，提高新能源消纳效率，为能源转型下电网安全稳定运行提供核心保障^[3]。

(二) 降低全生命周期成本，提升电力工程经济性

通过预策划阶段的精准造价预测、设计与施工过程的技术与流程协同、运营期的智能高效管控和退役后的资源回收再利用，可实现对各个环节成本的精确管控和协同优化。它能有效降低因规划偏差而造成的重复建设费用，减少施工阶段的资源浪费和工期延误损失，提高运营效率，降低故障停机损失，利用退役资源回收再利用来补偿一部分资产的残值，显著降低电力工程全周期的总费用，提高投资回报率和长期运行经济性。

(三) 推动电力工程行业转型升级，助力“双碳”目标实现

新能源接入电网后，电网全周期管理优化问题迫切需要将数字化、智能化、低碳化等技术和理念引入电力工程领域，可促进行业由传统的粗放式管理向精细化和绿色化管理转变。通过在设计 and 建造阶段实现低碳建造，在运行过程中实施节能减排措施，在退役阶段实施循环经济理念，可以有效降低电力工程全周期的碳排放强度。同时，产业转型后形成的标准化管理体系和技术创新成果，可以辐射带动能源产业链协同减排，为实现“双碳”目标提供关键支撑。

三、新能源并网背景下电力工程全生命周期管理的具体优化措施

(一) 规划决策阶段：构建新能源适配型动态规划体系

以全生命周期理论和不确定管理理论为支撑，可突破传统静态规划的刚性约束，实现新能源出力波动、并网规模动态变化的精准匹配。基于能源系统优化理论和大数据分析逻辑，将新能源功率预测、源网荷储协同需求纳入规划核心维度，构建“预测-规划-评估-调整”闭环逻辑，可为电力项目全周期成本管控和安全运营奠定基础^[4]。

在具体实施中，可将气象部门的历史观测数据、电网负荷统计数据和新能源项目并网规划数据进行融合，利用 LSTM 神

经网络和随机森林算法进行新能源出力的高精度预测，预测精度达到 90%以上。在此基础上，构建考虑光、电、储、灵活负荷等多智能体参数的源网荷储一体化规划决策平台，利用多目标优化算法确定电网拓扑结构、电压水平匹配方案和储能容量。同时，建立规划方案动态评估机制，结合新能源并网规模和技术迭代情况，按季度回顾规划方案，引入蒙特卡洛模拟方法，对不确定因素进行分析，及时调整规划参数，实现规划方案与新能源发展态势的实时匹配；在规划阶段，完成全周期费用测算，确定各个阶段的成本控制节点和责任主体。

(二) 设计建设阶段：推进技术适配与协同建造

设计和建造阶段的技术适配与协同建设需以系统工程理论和协同管理理论为核心，围绕新能源高渗透率电力工程设计中的技术适配短板和构建环节的协同壁垒展开。通过将柔性输电、低碳施工等先进技术理念融入设计全过程，并建立多主体协同管理系统，使设计方案与新能源并网技术要求深度匹配，可实现施工过程中各个环节的过程衔接和信息共享，保证项目施工质量和效率，降低后期运营成本。

在具体实施中，需要在技术优化和协同管理两个层面上下功夫，在技术适配方面，通过柔性直流输电技术对新能源接入点进行优化，配置 SVG 静态无功发电机提高电压稳定性，通过模块化设计缩短工程建设周期。在协同施工方面，需构建一个包含设计、施工、设备采购、监理等多个主体的数字化协同平台，使其能够实现数字交付，能够实时同步施工进度，能够对质量问题进行实时追踪。在此基础上，建立新能源支撑工程与主体工程同步推进的机制，明确储能电站、无功补偿装置等配套设施的设计参数、施工节点和验收标准，确保其与主体工程同步设计，同步施工，并通过 BIM 技术对施工过程进行可视化，对关键工序进行全过程质量控制，同时贯彻低碳施工的要求，选择高强度低碳钢材、环保混凝土等绿色建材，施工能耗比传统模式降低 15%以上。为充分展示不同技术适配类型的核心技术参数，可参考表 1：

表 1 不同技术适配类型的核心技术参数

技术适配类型	核心技术参数	实施效果指标
柔性输电技术	换流阀额定电压 $\pm 500\text{kV}$ ，额定电流 3000A，响应时间 $\leq 20\text{ms}$	新能源接入点电压波动幅度 $\leq \pm 3\%$ ，谐波畸变率 $\leq 2\%$
模块化设计	模块标准化率 $\geq 90\%$ ，单模块安装时间 ≤ 8 小时	工程建设周期缩短 20%，设计变更率降低 18%
低碳建造技术	绿色材料使用率 $\geq 85\%$ ，施工扬尘控制 $\leq 0.5\text{mg}/\text{m}^3$	施工阶段碳排放降低 15%，建筑垃圾回收率 $\geq 60\%$

(三) 运维检修阶段: 推进智能化运维与风险精准防控

运维检修阶段, 数字孪生技术、风险管理理论是智能运维及风险精准防控的支撑, 凭借全生命周期数据集成和智能分析, 可实现设备状态实时感知、故障提前预警和风险精确管控。这一措施的实施可突破传统的被动式运维模式, 建立“数据驱动-智能诊断-精确处理”的主动维护系统, 提高运行效率和质量, 减少新能源接入带来的各种运营风险, 确保电网安全稳定运行。

在具体实施中, 需要依托数字化平台的建设和技术手段进行升级。首先, 建立一个电力工程全周期的数据共享平台, 将设备出厂数据、施工验收数据、运行监控数据和运营记录等多维数据进行集成, 并利用边缘计算技术对数据进行实时采集和局部处理。在此基础上, 以数字孪生技术为基础, 构建工程实体虚拟映射模型, 可视化监控设备运行状态; 采用人工智能智能诊断算法, 实时分析设备振动、温度和绝缘状态等关键参数, 达到 95% 以上的预警精度。同时, 构建多维度风险评估体系, 针对新能源接入可能引发的电压波动、谐波污染、孤岛效应等风险, 制定针对性的防控措施, 配备动态无功补偿设备、谐波治理设备等防控设施, 健全应急运维机制, 组建专业的应急运维队伍, 配备应急发电车、便携式检测设备等应急物资, 明确各类故障处置流程和时限, 保证突发故障快速响应和处置, 并定期开展运维人员专业培训, 提升新能源技术与智能化运维设备的操作能力。

(四) 退役处置阶段: 构建闭环式绿色处置体系

基于循环经济和风险管理理论的闭环绿色处置系统, 突出退役处置环节与前期规划、设计、施工等环节的无缝衔接, 进而构建“规划预设-设计适配-建设预留-退役回收”全生命周期的闭环逻辑。这一措施的核心目标是在电力工程全生命周期内, 实现对退役装备的回收和无害化处理, 减少对环境的影响, 提高电力工程全生命周期的环境效益和经济效益。

在具体实施中, 需要从前期规划、技术应用和机制完善等多个方面来推进。规划阶段要确定退役处置方案和资源回收的目的, 在设计阶段要预留设备的拆解和回收通道, 建设阶段要选择易于拆解和回收的材料和设备。在退役处置阶段, 利用绿色拆解技术, 对核心设备(如光伏组件、风电叶片、变压器等)进行分类拆解; 通过热解-机械分离技术, 对贵金属(如 Si、Ag 等)进行回收, 回收利用率可达 80% 以上; 风电叶片采用化学解聚技术回收纤维材料。建立退役装备回收交易平台, 对退役装备的回收主体、收费标准和交易流程进行界定, 建立以市场为导向的退役装备回收机制。在此基础上, 建立退役处置环

境影响评价体系, 实时监测拆解过程中的废气、废水和固体废物的排放量, 保证其排放指标达到国家标准, 实现拆解残渣无害化后的规范化处置, 形成“绿色”的处置模式。

(五) 跨阶段协同管理: 构建全生命周期一体化管理机制

在协同管理理论和全生命周期理论的支持下, 全生命周期集成管理机制的核心是突破各个阶段的管理壁垒, 构建一个统一的管理平台, 完善责任体系, 在各个阶段都能实时共享信息, 实现过程的无缝衔接和责任的精确追溯。这一措施旨在整合各方资源, 形成管理合力, 保证新能源并网相关技术要求和和管理目标在整个生命周期各个阶段有效落地, 提高电力工程全生命周期管理的效率和质量。

在具体实施中, 需要以平台建设和机制创新为基础, 建立一个涵盖整个生命周期各个阶段的一体化协同管理平台, 将规划决策、设计、施工、运营管理、退役处置等系统进行集成, 让数据跨阶段实时共享和业务流程在线协同。完善跨阶段责任协同机制, 明确建设、设计、施工、运营等各方主体在生命周期内的责任边界和协同职责, 构建跨阶段的绩效评价体系, 将协同效率、工程质量和成本控制等指标纳入评价体系。同时, 推行全生命周期标准化, 建立管理、技术和验收的各个阶段, 规范管理程序和技术要求; 加强政策和保障制度的支持, 争取与新能源并网有关的补贴和税收优惠政策, 鼓励企业推行一体化管理, 强化行业监管, 构建信用评估体系, 对违规行为进行联合惩戒, 保证一体化管理机制的有效运行。

结束语

新能源接入电力项目全生命周期优化, 是保障电网安全稳定运行, 提高能源利用率, 实现电力产业绿色转型升级的重要途径, 对实现“双碳”目标意义重大。未来, 数字孪生、人工智能等前沿技术和管理模式的深度融合将进一步深化, 健全全生命周期管理标准化体系和政策保障机制。同时, 还应开展多学科协作研究, 以应对新能源技术迭代带来的新挑战, 不断优化管理方案, 为能源转型提供更加可靠的支持。

[参考文献]

- [1]曾子彧.大规模新能源接入背景下电力工程建设规划与电网稳定性研究[J].张江科技评论, 2025, (09): 71-73.
- [2]何启成.新形势下电力工程设计中的电力系统规划设计研究[J].光源与照明, 2024, (12): 207-209.
- [3]饶晨.新能源电力工程施工技术研究与应用[J].城市建设理论研究(电子版), 2023, (30): 106-108.
- [4]卫雅婧, 刘树成, 李立军, 等.新能源电力工程管理现状及对策[J].电站系统工程, 2023, 39(01): 75-76.