

电力施工全过程能耗管控与低碳建造路径优化研究

王小波

国网湖北省电力有限公司十堰供电公司 湖北 十堰 442700

摘要: 本文聚焦电力施工全过程能耗管控与低碳建造路径优化。剖析电力施工能耗特征,构建碳排放核算体系;针对土石方、混凝土等关键阶段提出能耗管控技术;然后探讨施工装备电动化、清洁能源替代等低碳关键技术与装备优化;最后从施工组织管理、数字化能效管控平台构建、绩效考核机制三方面,提出电力施工全过程低碳建造路径优化策略,助力电力施工低碳转型。

关键词: 电力施工;全过程管控;能耗监测;低碳建造;路径优化

引言:在全球倡导低碳发展的大背景下,电力行业作为能源消耗与碳排放的重要领域,其施工过程的低碳化转型迫在眉睫。电力施工涉及多个复杂环节,能耗高且碳排放量大,传统管控模式难以满足低碳要求。深入研究电力施工全过程能耗管控与低碳建造路径优化,对于降低施工能耗、减少碳排放、推动电力行业可持续发展具有重要的现实意义。

1 电力施工能耗特征与碳排放核算体系构建

电力施工能耗具阶段性、移动性与高波动特征,主要来自土石方等工序的柴油机械与临时用电消耗,以及建材生产运输的间接排放,构成“能源流—物质流”双驱动结构。其碳排放核算体系以GB/T 51366-2019等为标准,明确从施工准备到竣工的核算边界,划分四大核算模块。核算采用排放因子法,结合计量数据与LCA,建立“活动水平×排放因子”量化模型,覆盖多种数据来源^[1]。同时,体系需嵌入数据采集、动态核算等机制,借助智能电表等实现数据实时采集,保证核算结果可追溯等,为能耗管控与碳绩效评价提供依据。

2 电力施工关键阶段能耗管控技术研究

2.1 土石方与地基处理阶段能耗管控

山地施工时,土石方与地基处理阶段能耗以柴油挖掘机、装载机及运输车辆为主,占土建阶段总能耗60%以上,且对环境扰动极大,易产生水土流失与扬尘污染。管控核心在于“减量化开挖+高效化施工+资源化利用+智能化设备应用”的技术集成:采用螺旋钻成孔的掏挖式基础工艺,减少土方开挖量30%,流沙地质段应用沉井+泥浆护壁技术降低返工能耗;大力推广电动挖掘机替代传统柴油设备,此类电动挖掘机配备先进的智能控制系统,可根据挖掘力度、土壤硬度等参数自动调整功率输出,配套GPS定位与怠速停机系统,减少空载能耗35%以上。同时,研发适用于山地复杂地形的智能运输车

辆,具备自动避障、路径规划功能,可根据实时路况调整行驶速度和运输路线,提高运输效率,降低能耗。地基处理引入土壤固化剂技术,在提高承载力30%的同时降低水泥用量20%,表层土单独剥离堆放并用于后期植被恢复。通过BIM进行土方平衡优化,缩短运距并减少外运量40%,结合智能调度系统实现机械台班最优配置,构建低能耗、低扰动的施工模式。

2.2 混凝土工程阶段能耗管控

混凝土工程阶段能耗涵盖预拌、运输、浇筑与养护全流程,核心排放源于水泥生产、柴油罐车运输及养护用电。管控技术以“低碳材料替代+工艺优化+智能养护”为核心:优先选用再生骨料替代30%-50%天然骨料,搭配高强度水泥减少用量,降低建材生产阶段间接排放;采用预拌商品混凝土替代现场搅拌,减少扬尘与设备能耗,通过BIM优化浇筑路径,缩短罐车运输时间25%。大体积混凝土应用“热管+保温被”养护工艺,替代传统蒸汽养护,节水率达40%且降低养护用电;部署智能养护系统,该系统集成多种传感器,可实时监测混凝土内部的温度、湿度等参数,并根据预设的养护模型自动调节养护参数,减少能源浪费。同时推行定型钢模板周转使用(周转次数≥50次),降低模板损耗,实现混凝土工程能耗与排放的双重管控。

2.3 钢结构与杆塔组立阶段能耗管控

钢结构与杆塔组立阶段能耗集中于工厂加工、运输及现场吊装,核心为钢材切割焊接用电、柴油吊车能耗及运输排放。管控技术聚焦“预制化加工+高效吊装+低碳防腐”:推行工厂预制化生产,采用数控切割与逆变式二氧化碳保护焊机,节电率达30%,减少现场加工能耗与废料产生;选用Q460低合金高强度钢,在保证强度的同时减少钢材用量15%,降低原材料生产排放^[2]。现场吊装采用大型吊车集群协同作业,通过BIM模拟吊装路径,减

少吊车闲置时间40%，优先选用电动或混合动力吊车，此类吊车配备能量回收系统，在制动过程中可将部分能量回收再利用，替代传统柴油设备。杆塔防腐采用热浸锌+氟碳涂层工艺，延长使用寿命至30年，减少后期维护能耗；优化运输方案，控制运输半径在50km以内，采用可拆解式包装，降低运输能耗与碳排放。

2.4 架线施工阶段能耗管控

架线施工阶段能耗以张力机、牵引机等柴油设备为主，且易对生态环境造成干扰，是输电线路工程低碳管控的关键环节。管控技术围绕“设备电动化+工艺绿色化+路径优化”展开：研发应用纯电动张力机，以磷酸铁锂电池为动力，通过张力轮转动实现能量自给，每小时节约柴油5升，实现零排放作业；采用无人机展放导引绳，替代传统人工放线，减少林木砍伐与地形破坏，跨越生态保护区时设置可降解防坠落保护网。推行低张力放线技术，将放线张力控制在设计张力的60% - 80%，减少导线磨损与设备能耗；通过“无人机+AI建模”优化线路路径，AI建模可综合考虑地形、地貌、生态敏感区等多种因素，快速生成最优路径方案，避让生态敏感区，缩短施工里程。建立设备能耗实时监测体系，该体系利用物联网技术，将张力机、牵引机等设备与监测平台连接，实时采集设备运行数据，并进行精细化分析，对张力机、牵引机等设备进行精细化管控，实现架线施工全流程节能降碳。

2.5 施工临时设施能耗管控

施工临时设施能耗涵盖办公、生活及施工辅助用电，以传统柴油发电机供电为主，存在能效低、排放高的问题。管控技术核心为“能源结构转型+智能管控+循环利用”：构建“光伏+储能”智能微电网系统，在办公区、生活区屋顶部署光伏发电设备，配套储能电池，满足现场30%以上用电需求，替代柴油发电机；安装智能电表与LED节能灯具，智能电表可实时监测用电情况，并通过数据分析为用户提供节能建议，LED节能灯具具有高效节能、长寿命等优点，实现“人走灯灭”自动控制，办公设备采用节能模式，降低待机能耗。临时建筑采用模块化预制舱与可重复使用的铝合金模板，周转次数 ≥ 50 次，现场安装周期缩短60%，减少材料损耗与施工能耗；施工废水经三级沉淀+膜过滤处理后回用，用于混凝土养护与车辆冲洗，节水率达40%。建立临时设施能耗考核机制，将能耗指标纳入班组绩效考核，实现临时设施能耗的精细化管理。

3 低碳建造关键技术与装备优化

3.1 施工装备电动化替代技术

施工装备电动化替代是电力施工低碳转型的核心路径，针对柴油挖掘机、装载机、吊车、张力机等核心高耗电设备，构建“整机电动化+智能管控+快充配套”的技术体系。研发适配电力施工的电动工程机械，采用高容量磷酸铁锂电池，电动挖掘机续航可达8小时/次，电动装载机实现快充1小时续航6小时，相比传统柴油设备节能30% - 40%、噪声降低15 - 20dB。同时，为电动工程机械配备智能诊断系统，可实时监测设备运行状态，提前预警故障，提高设备可靠性和使用寿命。纯电动张力机集成能量回收系统，通过张力轮转动实现电池自给，彻底解决架线施工柴油排放问题^[3]。配套建设智能充电设施，在施工现场部署直流快充桩与慢充桩，结合5G边缘计算实现充电需求智能调度。

3.2 清洁能源替代技术

清洁能源替代技术助力电力施工现场能源结构转型，打造“光伏+储能+绿电”多元清洁供能体系，摆脱对传统柴油发电机和化石能源的依赖。在办公区、生活区屋顶及临时围挡装分布式光伏发电系统，配锂电池储能，用智能微电网管理平台高效消纳光伏电力。偏远项目增设小型风力发电设备，构建复合能源系统。优先采购绿电证书，覆盖超30%外购电力，实现用电零碳排；利用生活污水沼气配置发电机组，实现生物质能源利用。建立清洁能源供应智能监测与优化系统，该系统利用大数据和人工智能技术，实时分析能源供需情况，结合施工进度动态调整供能方案，确保清洁能源替代率持续提升，从能源源头降低施工碳排放。

3.3 低碳建材与循环利用技术

低碳建材与循环利用技术围绕电力施工“物质流”减排，构建“低碳选材—高效利用—回收再生”的全流程管控体系。在建材采购阶段，选用再生骨料混凝土、高强度钢材、可降解临时围挡等低碳建材，再生骨料替代30% - 50%天然骨料，高强度钢材减少用量10% - 15%，降低原材料生产阶段碳排放。施工过程中，通过BIM优化建材下料方案，减少钢材、混凝土切割损耗，定型钢模板、铝合金模板等周转材料重复利用率 $\geq 90\%$ 。建筑垃圾经破碎筛分后，用于路基填料与场地平整，回收率达85%以上；废弃电缆铜芯回收率超90%，绝缘材料经处理后作为再生塑料原料。杆塔基础采用可拆卸式钢结构，实现设备搬迁后地基材料回收再利用。

4 电力施工全过程低碳建造路径优化

4.1 施工组织与管理路径优化

此优化以“低碳策划—协同实施—闭环改进”为核心，重构电力施工管理体系。施工策划时，编制《绿色

施工专项方案》，用LCA方法优化方案，明确各阶段能耗与碳排放目标，并将低碳指标分解给各参与方。成立绿色施工专项管理小组，由项目经理任第一责任人，各部门分工负责节能技术落地等工作。施工实施阶段，推行“周检查一月考核一季评估”机制，优化流程，减少工序交叉与设备闲置，控制材料运输半径在50km内以降低碳排放。建立跨部门协同机制，借助统一平台共享信息^[4]。验收阶段，编制绿色施工总结报告，提炼低碳技术经验并纳入企业标准，通过PDCA循环持续优化，构建全周期低碳管理模式。

4.2 数字化能效管控平台构建

数字化能效管控平台依托“云一边一端”三级架构，融合BIM、物联网、大数据技术，构建电力施工全过程能耗与碳排放智能管控体系。终端层部署智能电表、机械物联网终端、环境监测设备等200余台，实时采集机械台班、电力消耗、建材损耗等数据，精度符合GB 17167规定；边缘层设置5G边缘计算节点，实现数据实时处理与本地预警，响应时间 < 20ms；云端部署在电力调度数据中心，构建数字孪生模型，实现施工场景可视化呈现。平台核心功能包括能耗监测、碳排放核算、智能预警、方案优化，通过大数据分析和机器学习算法，对历史数据和实时数据进行深度挖掘，更准确地识别高能耗工序和潜在的节能点，当碳排放超目标值10%时自动触发预警，推送整改建议。结合BIM进行4D进度模拟，优化施工资源调度，减少设备闲置时间40%。平台实现能耗与碳排放数据的可追溯、可分析、可优化，为施工全过程低碳管控提供数字化决策支撑。

4.3 基于碳足迹的绩效考核机制

该机制以全生命周期碳足迹核算为基，构建“量化

指标—分层考核—奖惩联动”闭环体系，推动低碳建造责任落实。建立“碳排放强度—节能率—资源回收率”三维考核指标，将碳排放强度 $\leq 0.5tCO_2/m^2$ 、节能率 $\geq 10\%$ 、废弃物回收率 $\geq 80\%$ 作为核心指标，并结合施工阶段特点细化土石方等工序专项指标。考核分企业、项目部、班组三级，通过月度核算、季度评估、竣工总评，结合第三方评估确保公平。考核结果与工程款、奖金、晋升挂钩，绿色施工指标在承包商考核中权重不低于20%，对突出者奖励，未达标者追责。同时，考核数据纳入企业碳资产台账，为碳交易等提供依据，形成长效机制，推动电力施工低碳转型。

结束语

电力施工全过程能耗管控与低碳建造路径优化是一项系统且长期的工作。通过构建科学的核算体系、研发针对性的管控技术、优化关键技术与装备，以及完善施工组织管理、搭建数字化平台、建立绩效考核机制等举措，能有效降低电力施工能耗与碳排放。未来，需持续探索创新，不断完善相关体系与技术，推动电力施工向更低碳、更高效的方向发展，为实现“双碳”目标贡献力量。

参考文献

- [1]田瑞端.基于自编码器的电力能耗异常监测研究[J].自动化应用,2025,66(2):102-104,108.
- [2]宋扶霖.电力工程施工项目中照明能耗的量化分析与节能措施[J].中国照明电器,2025(6):138-140.
- [3]杨文清,陈怀新,王召,等.基于自注意力的电力数据能耗预测算法Dual-channelLSTM[J].信息技术,2024(4):106-114.
- [4]黄东海,亢中苗,吴赞红.电力物联网中时延能耗均衡的MEC资源调度策略[J].太赫兹科学与电子信息学报,2024,22(9):944-951.