

基于全生命周期理论的建筑电气工程低碳施工技术路径研究

翟建鹏

天津市特种设备工程建设监理有限责任公司 天津 300384

摘要：本文基于全生命周期理论，研究建筑电气工程低碳施工技术路径。先阐述全生命周期理论、电气工程施工作及低碳施工技术内涵，分析工程各阶段碳排放特征与协同逻辑。接着从施工准备、实施、验收及全生命周期协同管控四个阶段提出低碳技术路径，并给出技术、管理、人才三方面保障措施。旨在为建筑电气工程低碳化转型提供理论支撑与实践指导，助力“双碳”目标实现。

关键词：全生命周期理论；建筑电气工程；低碳施工技术

引言：在全球气候变暖、我国“双碳”目标背景下，建筑电气工程低碳化发展迫在眉睫。全生命周期理论为工程低碳转型提供了新视角，其强调从规划设计到报废拆解全流程管控。建筑电气工程涵盖多个专业模块，施工过程碳排放受多因素影响。深入探究基于全生命周期理论的低碳施工技术路径，有助于挖掘各阶段低碳潜力，实现工程全流程减排增效，推动建筑电气工程可持续发展。

1 建筑电气工程全生命周期理论与低碳施工基础

1.1 全生命周期理论核心内涵

建筑电气工程全生命周期理论以工程从规划设计到报废拆解的完整流程为研究边界，核心是将各阶段视为有机整体，打破传统分段管理的割裂格局。其核心内涵体现在系统性、动态性与协同性三大维度：系统性要求覆盖规划、设计、施工、运维、报废全阶段，统筹考量各环节的资源消耗与环境影响；动态性强调结合工程进度与外部条件变化，实时调整管控策略；协同性则聚焦各参与方、各专业间的联动，实现效益最大化与碳排放最小化^[1]。该理论摒弃了仅关注施工阶段的短期视角，通过全流程管控挖掘低碳潜力，为建筑电气工程低碳化转型提供理论框架，同时为技术选型、管理优化提供科学依据，契合“双碳”目标下工程建设的发展导向。

1.2 建筑电气工程施工核心内容

建筑电气工程施工核心内容围绕电气系统的安装、调试与整合展开，涵盖多个专业模块且衔接紧密，直接决定工程质量与运行效能。具体包括变配电系统施工，涉及变压器、配电柜的安装、接线与调试，确保电力传输稳定安全；线路敷设施工，分强电、弱电线路，根据建筑结构选择桥架、穿管等敷设方式，兼顾美观与使用

安全性；电气设备安装，含照明、空调、电梯等末端设备的固定与接线，保障设备正常启停与运行；防雷接地系统施工，通过接地体、引下线的安装构建防护体系，抵御雷电灾害。施工过程中的质量管控、安全管理与进度协调也属于核心内容，需严格遵循规范标准，协调与土建、装修等专业的施工衔接，规避交叉作业冲突，同时为后续运维阶段的低碳运行奠定坚实基础。

1.3 低碳施工技术核心内涵

低碳施工技术核心内涵是以降低碳排放为核心目标，结合建筑电气工程施工特点，通过技术创新、工艺优化与资源高效利用，实现施工过程的低能耗、低污染、低排放。其核心要义并非单纯减少能源消耗，而是构建“减排-增效-循环”的一体化技术体系：一方面依托新型环保材料、节能设备替代传统高碳要素，减少施工环节的直接碳排放；另一方面通过施工工艺优化，如模块化施工、预制装配技术，缩短工期并降低现场作业能耗。同时，低碳施工技术强调资源循环利用，对施工废弃物、余能进行回收处理，减少二次污染。该技术需兼顾低碳效益与工程质量、安全要求，在满足施工规范的前提下，实现环境效益、经济效益与社会效益的统一，是建筑电气工程落实低碳发展理念的关键载体。

2 建筑电气工程全生命周期碳排放特征分析

2.1 各阶段碳排放构成与占比

建筑电气工程全生命周期各阶段碳排放构成存在显著差异，且占比分布呈现“运维主导、施工次之”的特征。运维阶段碳排放占比最高，约占全生命周期总量的60%-70%，主要源于电气设备长期运行的电能消耗，以及设备维护、检修过程中产生的能源消耗与材料损耗。施工阶段碳排放占比约为20%-25%，属于第二大碳排放

来源,涵盖建材生产运输、现场施工设备能耗、临时用电消耗及施工废弃物处理等环节,其中建材生产与运输碳排放占施工阶段总量的60%以上。规划设计阶段碳排放占比不足5%,但该阶段的设计方案直接决定后续各阶段的碳排放潜力^[2]。报废拆解阶段碳排放占比约5%-10%,主要来自设备拆解能耗、废弃物填埋或焚烧过程中的排放,各阶段碳排放相互关联,需针对性制定管控策略。

2.2 施工阶段碳排放关键影响因素

建筑电气工程施工阶段碳排放受多重因素影响,核心可归纳为材料、设备、工艺与管理四大维度。材料因素是首要影响因子,建材的碳排放系数、运输距离与用量直接决定碳排放量,高碳建材的大量使用及长距离运输会显著增加排放。设备因素体现在施工机械与临时用电设备的能耗效率,老旧设备、高能耗设备的广泛使用,以及设备空载运行、低效作业等情况,会造成能源浪费与碳排放增加。工艺因素方面,传统现场浇筑、分散作业工艺能耗高、工期长,碳排放强度远高于模块化、预制装配等新型工艺。管理因素则包括施工组织不合理、交叉作业冲突导致的工期延误,以及能源管控不到位、废弃物回收不及时等,间接加剧碳排放,各因素相互作用,需统筹管控以降低排放。

2.3 全生命周期低碳协同核心逻辑

建筑电气工程全生命周期低碳协同核心逻辑是打破各阶段、各参与方的壁垒,构建“目标一致、权责清晰、流程衔接、数据互通”的协同管控体系。其核心在于以全生命周期碳排放总量控制为目标,实现规划设计、施工、运维、报废各阶段的纵向协同,以及建设单位、施工单位、设计单位、运维单位等多方的横向协同。纵向协同要求前一阶段为后一阶段预留低碳空间,如设计阶段优化方案以降低施工与运维碳排放,施工阶段为运维提供低碳基础;横向协同则需明确各方权责,建立联动机制,实现技术共享、资源统筹与数据互通。同时依托数字化技术搭建协同平台,整合各阶段碳排放数据,进行实时监测、分析与优化,形成“规划-实施-反馈-调整”的闭环协同模式,最大化全生命周期低碳效益。

3 基于全生命周期的建筑电气工程低碳施工技术路径

3.1 施工准备阶段:低碳规划与设计协同技术

施工准备阶段的低碳规划与设计协同技术,核心是通过前期统筹优化,为全流程低碳施工奠定基础,实现设计方案与施工执行的精准衔接。一方面,开展低碳施工规划编制,结合工程特点梳理碳排放控制点,明确各环节低碳目标、技术选型与资源配置方案,同步制定碳

排放监测与考核标准。另一方面,强化设计与施工的协同对接,组建跨专业协同团队,针对设计方案开展低碳优化论证,优化线路敷设路径、设备布局,减少材料浪费与施工能耗;推动设计方案交底精细化,将低碳要求融入施工技术交底内容,明确预制构件的规格、环保材料的使用标准。另外,借助BIM技术构建数字化模型,模拟施工流程,预判交叉作业冲突与碳排放风险,提前优化施工组织方案,确保低碳规划落地可行,实现准备阶段与施工阶段的无缝衔接。

3.2 施工实施阶段:低碳工艺与技术应用

施工实施阶段是低碳技术落地的核心环节,需通过新型工艺与节能技术的集成应用,降低现场作业碳排放。在工艺优化方面,推广模块化施工与预制装配技术,将配电柜、桥架等构件提前预制,现场仅进行组装,减少现场焊接、切割等高能耗作业;优化线路敷设工艺,采用综合管线布置技术,减少桥架与管材用量,降低材料消耗与施工能耗^[3]。在技术应用方面,选用节能型施工机械与设备,替代传统高能耗设备,同时推广设备节能运行技术,减少空载能耗;应用绿色施工技术,如施工废水循环利用系统、建筑垃圾回收处理设备,实现资源循环利用。采用智能监测技术实时管控施工能耗与碳排放,针对变配电施工、设备安装等关键环节,优化施工流程,合理安排作业时间,规避高峰用电时段,进一步降低施工阶段碳排放强度。

3.3 施工验收阶段:低碳质量管控与运维衔接技术

施工验收阶段的低碳质量管控与运维衔接技术,核心是通过严格验收管控工程质量,同时搭建施工与运维的低碳衔接桥梁,保障后续低碳运维顺利开展。在低碳质量管控方面,建立专项验收标准,将碳排放指标、节能性能纳入验收范围,对电气设备的节能参数、线路敷设的合规性、防雷接地系统的可靠性进行全面检测,确保工程质量符合低碳运行要求;对施工过程中的低碳技术应用情况、资源循环利用效果进行核查,形成验收报告并留存归档。在运维衔接方面,梳理施工过程中的技术资料、设备参数、碳排放数据,建立完整的运维档案,为运维阶段的能耗管控提供依据;开展施工与运维单位的交接交底,明确设备维护要点、节能运行参数及碳排放监测要求,同步移交BIM数字化模型,实现施工数据与运维数据的无缝对接,为运维阶段的低碳优化提供支撑。

3.4 全生命周期协同管控技术

全生命周期协同管控技术以数字化、智能化技术为支撑,构建覆盖建筑电气工程全流程的碳排放管控体

系,实现各阶段、各参与方的高效协同。核心是搭建全生命周期数字化协同平台,整合规划设计、施工、运维、报废各阶段的碳排放数据、技术资料、设备参数等信息,实现数据实时共享与动态更新。依托BIM、大数据、物联网等技术,对全生命周期碳排放进行实时监测、模拟分析与预警,针对碳排放超标环节及时调整管控策略;通过数字孪生技术构建工程虚拟模型,同步映射实体工程全流程状态,实现碳排放的精准管控。建立协同管控机制,明确各参与方的权责与协同流程,通过平台实现跨阶段、跨专业的沟通对接,统筹协调材料采购、设备运维、废弃物处理等环节,形成“数据驱动、协同高效、闭环管控”的全生命周期低碳管理模式。

4 低碳施工技术落地保障措施

4.1 技术保障

低碳施工技术的顺利落地,需构建完善的技术保障体系,为技术选型、应用与创新提供支撑。一方面,建立低碳技术评估与推广机制,结合建筑电气工程特点,筛选适配性强、减排效果显著的成熟技术,如预制装配、节能设备应用等,纳入技术推广目录,同时设立技术试点项目,总结应用经验并逐步推广。另一方面,强化技术研发与创新投入,鼓励企业与科研院校合作,针对电气工程低碳施工中的关键技术难题开展攻关,研发新型环保材料、高效节能设备与智能化管控技术,提升低碳技术的核心竞争力。另外,建立技术交底与培训体系,确保施工人员熟练掌握低碳技术的操作要点与规范要求;配备专业技术团队,负责施工过程中技术指导、问题排查与优化调整,同时建立技术档案,留存技术应用数据,为后续技术迭代与优化提供依据。

4.2 管理保障

管理保障是低碳施工技术落地的关键支撑,需通过制度完善、流程优化与责任落实,构建全方位的管理体系。首先,建立健全低碳施工管理制度,明确各阶段碳排放管控目标、考核标准与奖惩机制,将低碳指标纳入项目绩效考核体系,倒逼各参与方落实责任。其次,优化施工组织管理流程,结合全生命周期理论,统筹规划施工进度、资源配置与碳排放管控,避免因流程混乱导致的能源浪费与排放增加;建立跨专业、跨单位的协同管理机制,明确各方沟通对接流程,化解施工冲突^[4]。同

时,加强现场管理,规范施工机械运行、材料堆放与废弃物处理等环节,落实节能降耗措施;依托数字化平台实现管理流程信息化,实时监控碳排放与能耗数据,提升管理效率与精准度,确保低碳施工技术落地见效。

4.3 人才保障

人才保障为建筑电气工程低碳施工提供核心人力支撑,需构建“培养-引进-储备”一体化的人才体系,提升从业人员的低碳专业素养。一方面,开展针对性人才培养,针对施工人员、技术人员、管理人员分别设置培训内容,施工人员侧重低碳技术操作技能培训,技术人员聚焦技术研发与应用指导能力提升,管理人员强化全生命周期低碳管控理念与方法培训,确保各岗位人员具备相应能力。另一方面,加大高端人才引进力度,吸引具备电气工程、低碳技术、数字化管理等复合背景的专业人才,充实核心团队,引领技术创新与管理优化。建立人才储备与激励机制,搭建人才发展平台,鼓励从业人员参与技术研发与创新实践,对表现突出的个人与团队给予表彰奖励,形成重视低碳人才、培育低碳人才的良好氛围,为低碳施工技术长期落地提供人力保障。

结束语

本文围绕全生命周期理论,系统探讨了建筑电气工程低碳施工技术路径。通过分析各阶段碳排放特征,从施工准备到全生命周期协同管控提出针对性技术措施,并给出保障措施。建筑电气工程低碳施工是长期且复杂的系统工程,未来需持续创新低碳技术,完善管理体系,加强人才培养,不断优化技术路径,以更好地适应低碳发展需求,实现建筑电气工程绿色、可持续发展。

参考文献

- [1]王梓冰,潘文卓,欧晓星,等.面向全生命周期管理的建筑碳排放核算平台的开发研究[J].土木工程与绿色建筑,2025,1(03):144-149.
- [2]刘玲.低碳视角下建筑工程全生命周期碳排放-造价均衡优化研究[J].重庆建筑,2025,24(04):36-40.
- [3]胡长明,付晨曦,杨新宇,等.超低能耗居住建筑全生命周期碳排放量与经济效益研究[J].中国市政工程,2024,(06):106-110+165.
- [4]林明超,李晓娟,卢家婧.绿色建筑碳排放核算方法及减排路径研究[J].上海节能,2023(8):1111-1124.