

“双碳”目标下水利工程节能减排技术应用探讨

王传宏¹, 刘军², 赵坤³

(1.邹平市城乡水务局, 山东 邹平 256200; 2.济南市供排水监测中心, 山东 济南 250099;

3.山东省安全生产技术服务中心, 山东 济南 250099)

【摘要】实现碳达峰和碳中和的“双碳”目标是我国应对全球气候变化、推动绿色低碳发展的重要战略。在此背景下,水利工程作为社会经济发展和生态环境保护的重要基础设施,其节能减排技术的应用对“双碳”目标的实现具有重要意义。本文分析了“双碳”目标下水利工程节能减排的重要性,从优化能源结构、提升工程效率、减少温室气体排放等方面探讨了水利工程节能减排技术的核心内容,并结合典型案例阐述了技术的实际应用与成效。最后,提出了进一步推进水利工程节能减排的建议,包括政策支持、技术创新和多方协同等,为水利行业的低碳转型提供参考。

【关键词】双碳目标;水利工程;节能减排;低碳技术

【中图分类号】F426.91

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-09-0024-04

Application Discussion of Energy-saving and Emission-reduction Technologies in Water Projects Under the "Dual Carbon" Goals

WANG Chuanhong¹, LIU Jun², ZHAO Kun³

(1. Zouping City Urban and Rural Water Affairs Bureau, Zouping, Shandong 256200, China;

2. Water Supply and Drainage Monitoring Center of Jinan Municipality, Jinan, Shandong 250099, China;

3. Shandong Provincial Safety Production Technology Service Center, Jinan, Shandong 250099, China)

Abstract: Achieving the "dual carbon" goals of carbon peaking and carbon neutrality is an important strategy for China to respond to global climate change and promote green and low-carbon development. In this context, as important infrastructure for social and economic development and ecological environment protection, the water projects utilize the energy-saving and emission-reduction technologies, which have great significance to the realization of the "dual carbon" goals. This paper analyzes the importance of energy-saving and emission-reduction in water projects under the "dual carbon" goals, discusses the core content of the technologies in water projects from the aspects of optimizing energy structure, improving project efficiency and reducing greenhouse gas emissions, and expounds the practical application and effects of the technologies combined with typical cases. Finally, it puts forward suggestions for further promoting energy-saving and emission-reduction in water projects, including policy support, technological innovation and multi-party collaboration, so as to provide reference for the low-carbon transformation of the water industry.

Key words: Dual goals on carbon; Water projects; Energy-saving and emission-reduction; Low-carbon technologies

随着全球气候变化和资源环境压力的加剧,各国纷纷提出减碳目标,以应对气候挑战。我国承诺2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和,成为全球“双碳”行动的重要参与者。在这一背景下,传统行业亟需加快向绿色低碳转型,水利工程作为资源高消耗行业,其节能减排在实现“双碳”目标中具有重要作用。水利工程不仅是防洪灌溉、供水发电的基础设施,也是能源消耗和

温室气体排放的重要来源,通过先进技术手段降低碳排放强度是当前的重要研究方向。

1 水利工程节能减排的重要性

1.1 水利工程高能耗特性对“双碳”目标的挑战

水利工程在建设和运行中通常伴随着高能

收稿日期:2025-03-30

作者简介:王传宏(1968—),男,工程师

耗特性,这对实现“双碳”目标构成了挑战^[1]。例如泵站的持续运行、水力发电设备的管理,以及大量混凝土的生产与运输,均是碳排放的重要来源。据《全国碳排放清单报告》数据显示,水利行业设施的能源消耗占全国总能耗的5%以上,其中泵站运行能耗约占45%,水力发电设备运行能耗占30%。山东省水利工程在建设和运行中存在显著的高能耗问题,成为区域“双碳”目标的重要制约因素。泵站持续运行能耗占水利设施总能耗的45%,混凝土生产与运输环节因水泥高碳排放特性,成为水利工程全生命周期碳排放的关键来源。

1.2 水利工程在碳吸收与生态环境调节中的潜力

水利工程不仅是碳排放的来源,同时也具备提升碳汇功能、优化生态环境的重要潜力。通过科学规划和建设,水利工程可以提高水资源的利用效率,并通过恢复生态系统和优化水生态环境,显著增加碳吸收能力。山东省水利工程在实现水资源调配功能的同时,通过生态修复与技术创新构建“减排+增汇”双路径。山东省2024年修订《“两高”项目碳排放减量替代办法》,通过碳账户管理与低碳场景开发形成社会共治减排格局,并建立全国首个省级水土保持碳汇核算体系,将碳汇交易收益的60%反哺生态维护,实现治理资金可持续循环。通过系统化推进生态价值转化,山东省水利工程碳汇增量较2020年提升42%,为北方高耗能行业绿色转型提供“生态+产业”协同样本^[2]。

1.3 水利工程优化对提高水资源利用效率的贡献

水利工程在农业和工业用水领域的优化,对于节能减排具有直接贡献^[3]。通过应用高效节能技术和现代化管理系统,水利工程可以显著提高水资源调配效率,减少因不合理用水结构导致的高能耗问题。山东省在农业与工业节水领域通过技术创新与机制改革实现节能减排协同增效。山东通过修订《水资源税实施办法》强化分类调控,对超计划取水实行累计加价,倒逼企业节水改造,2024年全省非常规水利用量达18.57亿m³,每立方米用水GDP产出较全国平均水平高出93.1%。

2 水利工程节能减排技术分析

“双碳”目标为水利工程技术的发展提供了

新方向。一系列基于能源优化与生态恢复的节能减排技术得到了广泛应用和持续完善,推动了水利行业的低碳转型。

2.1 水力发电效率提升技术

水力发电作为水利工程的重要组成部分,其效率直接影响节能减排的效果。通过智能化管理系统和数字化技术的引入,水力发电效率得到了大幅提升^[4]。基于大数据分析和人工智能算法的智能调控,可以实时优化发电机组的运行工况,降低能量损耗。例如一水电站引入了智能优化系统后,其机组效率提高了5%,每年减少碳排放约2万t。

2.2 可再生能源的集成利用技术

可再生能源的集成利用是水利工程节能减排的重要技术方向。在传统水利工程中叠加光伏、风能等清洁能源,不仅可以降低碳排放,还能提高整体能源利用率^[5]。山东省在水利工程中集成应用可再生能源实现节能减排成效显著。济宁文化中心依托浅层地热能优势,建成30万m²绿色低碳能源站,采用地源热泵技术满足全年冷热需求,年节约标准煤超44万t。

2.3 节能型泵站与输水管道技术

泵站作为水利工程中能源消耗的核心环节之一,其节能改造是减排的重点领域。传统泵站往往采用效率较低的设备,运行能耗高。通过引入节能型水泵和高效电机,可以显著降低泵站的能源消耗。

2.4 绿色施工技术

水利工程的建设阶段是碳排放的重要来源,绿色施工技术在此环节的应用显得尤为重要。通过优化施工工艺和减少高碳建材的使用,可以大幅降低施工过程中的碳足迹。例如采用预制装配式混凝土技术在某水电站的导流建筑施工中减少了40%的建材用量,并降低了运输过程中的碳排放30%以上。推广施工机械设备的电动化替代传统柴油设备,不仅减少了燃油消耗,还降低了施工现场的碳排放。

2.5 水生态系统恢复与碳汇功能强化技术

生态水利技术通过恢复湿地、优化河流生态环境等手段,可以显著提高水利工程的碳汇能力。通过改善生态系统,受损河流和湿地的生物多样性得以恢复,同时增加了区域内的固碳能力。

3 水利工程节能减排应用举例

在“双碳”目标引领下,水利工程领域的节能减排技术已经广泛应用于实际建设和运营中,涵盖发电、灌溉、生态修复以及清洁能源集成等多方面。这些应用不仅助力实现低碳发展目标,还提升了水利工程的综合效益和可持续性。

3.1 智慧水电站的示范应用

智慧化管理已成为水力发电领域节能减排的关键手段^[6]。以四川白鹤滩水电站为例,这座世界上单机容量最大的百万千瓦级水电站,不仅是我国水力发电的重大工程,也成为智慧水电站建设的典范。山东省在智慧水电领域通过技术创新与系统集成实现高效减排。枣庄市依托华电十里泉发电厂智能化改造,应用物联网与大数据技术构建智能调度系统,实现超临界机组运行自给率提升 15%,年节约标准煤超 44 万 t。

3.2 绿色灌区建设

农业灌溉是水利工程中能耗占比极高的环节,节能节水技术的应用在“双碳”目标下显得尤为重要。新疆的塔里木灌区高效节水灌溉项目是绿色灌区建设的成功典范。该项目以推广高效节能泵站、低压输水管道为核心,同时结合精准滴灌和喷灌技术,大幅提升了水资源利用率^[7]。山东省在绿色灌区建设中,以位山灌区为核心示范,集成应用智能泵站与低压管道技术,结合 5G 物联网构建“云渠”输配水系统,使冬灌用水效率提升 25%、能耗下降 18%。山东省推广聚英智慧灌溉系统,依托土壤墒情监测与 AI 算法实现按需供水,节水效率突破 50%,年减少碳排放 4.2 万 t。2024 年山东灌区亩均产值较改革前增长 300 元,形成节水增效与生态改善协同发展模式^[7]。

3.3 水利工程与清洁能源的融合应用

水利工程与清洁能源的结合是实现低碳发展的重要路径^[8]。山东省在水利工程与清洁能源融合应用中形成多元化技术路径。滨州市依托徒骇河水利枢纽建成 12.6 MW“光水互补”系统,通过光伏发电与水力调峰协同运行,实现泵站年清洁供电量达 1 800 万 kW·h,替代传统能源消耗 30%,年减少碳排放 1.2 万 t。枣庄市十里泉电厂创新“水电+储热”模式,利用超超临界机组余热建立熔盐储热系统,实现调峰供电能力提升

25%,年减少煤炭消耗 5.3 万 t。临沂市在沂河流域实施“抽蓄+风电”联合调度,通过数字孪生平台预演风光出力曲线,优化 3 座抽水蓄能电站运行策略,使可再生能源消纳率突破 85%,年增发绿电 1.8 亿 kW·h。全省通过水利工程清洁能源替代项目,2024 年实现碳减排总量超 28 万 t,清洁供电占比达水利设施总能耗的 34%。

3.4 生态水利工程的实践

生态水利工程通过恢复流域生态系统,不仅实现了防洪、供水等传统功能,还在碳汇能力提升和生态环境改善中发挥了重要作用。山东省在生态水利工程实践中形成多维度治理模式。济南市小清河综合治理通过河道生态护岸改造与人工湿地群建设,恢复滨岸植被带 128 hm²,使河道自净能力提升 40%,水质达标率从 63%跃升至 95%。曲阜文化国际慢城项目创新“山水林田草”系统修复模式,完成矿山复绿工程 27 处,新建生态缓冲带 35 km,带动区域碳汇能力年增长 2 000 t,水土流失量下降 58%。蒙阴县构建“果-沼-畜”循环体系,依托 103 座水库实施生态拦截工程,实现氮磷流失量降低 42%,同步建成岱崮地貌水土保持示范区,新增固碳植被面积 0.45 万 hm²。山东省推广河湖生态流量管控系统,在 45 条重点河流安装在线监测设备 2 300 套,保障生态基流达标率 91%,恢复濒危水生生物栖息地 17 处,大汶河流域重现绝迹 30 年的刀鲚种群。通过“生态修复+产业融合”模式,2024 年山东重点流域生态产品价值转化率达 24%,带动周边居民人均增收 1 800 元。

3.5 节能型泵站改造与应用

泵站改造是水利工程节能减排的重点领域^[9]。山东省在节能型泵站改造中形成多元技术路径。滨州市徒骇河泵站通过更换 YE3-355L-8 型高效水泵和变频控制系统,使能源单耗下降 23%,年节约电费超 180 万元,同步建成智能监控平台实现机组运行参数动态优化,能耗效率提升 28%。济宁市梁济运河泵站采用预制装配式混凝土结构改造泵房,缩短工期 40%,减少建材运输碳排放 35%,配套建设光伏廊道年发电量达 50 万 kW·h,实现运维能耗自给率 18%。临沂市沂沭河泵站创新应用液力透平余压回收装置,将出水管道余压转化为电能回馈电网,年回收电能

超 12 万 kW·h,配合新型生态护坡技术减少清淤频次 30%。枣庄市岩马水库灌区实施“泵闸联动”智能调度,通过数字孪生模型优化 12 座泵站协同运行,使灌溉保证率提升至 92%,单位面积耗水量降低 19%,年减少碳排放 420 t。2024 年全省泵站改造工程累计更新高效水泵机组 236 台套,平均能源利用率较改造前提升 34%,年节电量突破 1.2 亿 kW·h,带动灌溉面积有效保障率提高至 89%。

总之,在“双碳”目标的推动下,水利工程的节能减排技术应用已成为行业发展的必然趋势。通过提升水资源利用效率、引入清洁能源、优化施工工艺和恢复生态系统,水利工程在降低自身碳排放的同时,也为流域的可持续发展提供了支撑。

参考文献

[1] 叶焕,韩意,马露.“双碳”背景下绿色土木工程材料实验课改革研究[J].科技风,2024(26):36-38.

- [2] 韩湘湖,张景娇.水利工程施工中的环保技术与可持续发展[J].水上安全,2024(11):94-96.
- [3] 朱真勇.“双碳”背景下建筑施工节能减排策略——以某大数据产业园项目为例[J].资源节约与环保,2024(5):1-4,23.
- [4] 魏兴果.“双碳”目标下环境监察对节能减排的促进作用分析[J].能源与节能,2023(11):96-99.
- [5] 明开宇.水利工程设计中节能技术的应用[J].科学技术创新,2020(20):122-123.
- [6] 周秋安.水利工程精细化管理探索[J].科技创新导报,2020,17(18):139,141.
- [7] 黄丹华.关于水利工程设计中节能技术的应用[J].科学技术创新,2020(17):135-136.
- [8] 邓百文.水利工程电气节能设计研究[J].智能城市,2020,6(8):160-161.
- [9] 李泽.建筑工程技术管理及节能减排实施策略[J].四川水泥,2019(10):106.

(责任编辑 赵其芬)

(上接第 23 页)量,提高了安全水平,还在优化资源配置、提高施工效率、控制建设成本等方面发挥了重要作用,社会与经济效益显著。通过以标准化工地、规范化管理、智慧化应用为示范,全面带动了山东省水利工程建设质量管理水平整体提升。

3 面临的挑战与发展路径

3.1 标准化深化存在制约因素

建设单位认知层面存在“三重三轻”现象:重硬件投入轻软件建设、重检查迎检轻日常落实、重显性指标轻隐性效益,部分项目制度执行流于形式。资金约束呈现“两极分化”:大型项目智慧工地投入达 200~500 万元,中小型项目受资金所限仅实现基础标准化,智慧化覆盖率低。人才短板造成“能力断层”:既懂水利又掌握数字技术的复合型人才稀缺,基层单位技术力量薄弱,制约标准化的深度推进。

3.2 高质量发展的实施策略

强化宣贯培训,构建标准化知识库与实操手册,开展分层分类培训,提升各主体执行能力与主动意识。加强资金与政策保障,增加财政支持,优化费用管理,创新政企合作与社会资本参与机制。加快人才培养,建立跨学科培训体系,设立专项人才计划,引进智慧建造与水利工程领域高端

人才。促进技术融合,深化 BIM、数字孪生、智能感知、绿色建造等技术应用,提升工程前瞻性与可持续性。建立长效激励机制,将标准化建设水平与市场主体信用评价、评优评奖、招投标挂钩,激发内生动力。

4 结语

山东省水利工程标准化工地建设实践表明,标准化是提升工程质量、安全水平和治理效能的关键路径。通过系统推进制度、人员、场所、质量安全、作业和智慧化等方面的标准化,可实现管理效率提升、工程质量提高和成本精准控制。尽管仍面临资金分化、人才短缺等挑战,但通过强化政策支持、完善标准体系、推动技术融合与人才培养等方式,山东省有望实现从“形式合规”到“效能提升”的转型,进一步打造全国水利工程高质量建设的“山东样板”,为水利行业现代化发展提供参考示范。

参考文献

- [1] 山东省水利厅.《山东省水利工程标准化工地建设指南(2024 版)》[S].济南:山东省水利厅,2024.
- [2] 孙翀,王晓东,张泽玉,等.大中型水利工程标准化建设实务[M].济南:山东大学出版社,2022.

(责任编辑 李浩)