

全球碳中和目标推动的水利工程绿色转型

杨介泉

青岛西海岸公用事业集团水务有限公司，山东青岛，266400；

摘要：随着全球气候危机的加剧，气候变化对人类生活和生态系统的威胁日益显著。水利工程作为基础设施的重要组成部分，承担着防洪减灾、供水保障、生态修复等重要职能。然而，传统水利工程在建设和运营中往往对生态环境产生影响，如高能耗、碳排放、生态破坏等。伴随全球各国承诺实现碳中和目标的行动，水利工程领域也迎来了绿色转型的历史性机遇。绿色水利工程不仅在材料、施工工艺和运营管理等方面降低了碳足迹，也在生态恢复和资源循环利用方面做出了显著贡献。本文将深入分析全球碳中和目标对水利工程的影响，探讨水利工程绿色转型的策略，介绍绿色水利工程的典型案例，并讨论其面临的挑战及未来发展方向。通过对绿色水利工程的探讨，希望为水利工程行业的可持续发展和全球碳中和目标的实现提供有益参考。

关键词：碳中和；水利工程；绿色转型

DOI：10.69979/3041-0673.25.09.023

1 全球碳中和目标概述

1.1 碳中和的背景与意义

碳中和是指通过减少温室气体排放和碳捕集、碳封存等手段，使二氧化碳的排放量和吸收量达到平衡，实现净零排放^[1]。各国政府逐步意识到碳中和对全球气候治理和可持续发展的必要性。2020年，中国、日本、韩国等多国相继承诺在本世纪中叶实现碳中和，进一步推动了全球碳减排的趋势^[2]。

1.2 各国碳中和目标的具体措施

在应对气候变化的框架内，各国纷纷出台政策，支持可再生能源、低碳建筑、绿色基础设施建设等措施。例如，欧盟的《欧洲绿色协议》提出将减排目标提升至2050年前实现净零碳排放^[3]。美国也提出了绿色新政，涉及建筑、交通、能源等多个行业的低碳转型^[4]。水利工程作为基础设施建设的一个重要组成部分，也逐渐被纳入到各国的绿色发展框架中。

2 碳中和目标对水利工程的影响

2.1 材料碳足迹控制

水利工程的建筑材料，如钢材和混凝土，在生产过程中产生大量的二氧化碳。据统计，水泥生产过程约占全球碳排放的8%，而水利工程建设中大量使用的混凝土和钢材是碳排放的主要来源^[5]。因此，在水利工程领域，减少高碳材料的使用，并逐步推广使用生态混凝土、低

碳钢材和复合材料，是实现碳减排的主要措施之一。此外，推广再生建筑材料不仅可以减少材料生产过程中的碳排放，还能节约大量的资源。

2.2 施工过程中的碳排放管理

水利工程施工阶段的碳排放主要来自重型机械的能源消耗和建筑废弃物的处理。通过引入节能设备、优化施工管理和采用可再生能源等措施，可以在施工阶段显著减少碳排放。例如，许多先进的施工管理系统通过实时监测能源消耗情况，对机械设备的使用进行智能化管理，确保设备在高效状态下运行。太阳能和风能设备的使用，也帮助减少了施工阶段的碳足迹。

2.3 运营和维护阶段的碳排放控制

水利工程的运营阶段主要涉及水资源调度、灌溉管理和水利发电等。通过采用更高效的水泵系统、智能化水资源调度系统和清洁能源，可以显著减少运行过程中产生的碳排放。例如，智能灌溉系统通过精确计算作物需水量，减少了不必要的水资源浪费，从而减少了泵站的能源消耗。

2.4 水利工程的生态效益与碳汇功能

水利工程不仅在防洪和灌溉方面发挥着重要作用，其周边的生态环境也能为碳中和目标贡献力量。流域生态恢复、湿地建设、植被覆盖等手段可以提高区域的碳汇能力，从而为实现碳中和目标提供支持。科学合理的流域管理措施，例如植被恢复和生态涵养林建设，有助

于实现碳汇的增加，促进区域生态系统的碳平衡。

3 绿色水利工程转型的策略

3.1 材料绿色化和低碳化

新型低碳材料：近年来，低碳材料逐渐被应用于水利工程建设。例如，使用高性能混凝土和低碳钢材代替传统材料，可减少碳排放。此外，再生混凝土和轻质复合材料的使用既符合低碳发展要求，又提高了建筑材料的强度和耐久性。

3.2 绿色施工技术

装配式建筑和模块化施工：装配式建筑和模块化施工已被广泛应用于水利工程，减少了现场作业量，有效降低了施工能耗。例如，水坝的模块化施工可以预制大型构件，在现场进行拼装，既缩短了工期，又减少了废料的产生。

3.3 智能管理与监测技术

建筑信息模型（BIM）和数字孪生（Digital Twin）技术：BIM 和数字孪生技术通过对整个施工周期的模拟和监控，帮助管理者优化资源利用、预测碳排放、精细化控制进度，显著减少了不必要的能源和材料消耗。

3.4 生态恢复与自然化设计

河流自然化改造：在传统的水利工程中，常采用硬质工程措施，但这往往对自然生态系统产生破坏。近年来，许多水利工程在设计中引入了“自然化”理念，例如河道整治不再单纯依靠混凝土结构，而是采用堤岸缓坡、植被覆盖等方式，增强河流的自净能力和生态功能。

4 绿色水利工程的典型案例分析

4.1 中国的“长江经济带”绿色水利工程

背景：长江流域作为中国的重要经济带，水利工程的建设一直是该区域的重要任务。近年来为了响应碳中和目标，中国在长江经济带推动了大规模的水利工程绿色转型^[6]。

措施：长江经济带在水利工程建设中引入了低碳建材、生态恢复、智能管理等措施。例如，通过高效减水剂、再生混凝土等技术的应用，减少了传统水泥的使用比例；在沿河植被恢复方面，形成了水土保持林，提高了碳汇能力^[7]。

成效：这些措施不仅提高了流域的防洪能力，还显著改善了流域的生态环境，为长江流域的可持续发展奠定了基础。

4.2 荷兰的“Room for the River”项目

背景：荷兰位于低洼地带，常受洪水威胁。为了更好地管理河流，荷兰政府启动了“Room for the River”项目，以绿色理念为指导，采取柔性手段保护河流生态。

措施：该项目通过疏浚河道、增加河岸植被覆盖和建设缓坡堤岸等措施，让河流在洪水季节有更大的缓冲空间。此外，河岸的生态恢复工程增强了河流的自然排水功能^[8]。

成效：这一项目在防洪的同时极大地恢复了当地的自然生态，提高了湿地的碳吸收能力，并为其他国家的生态化水利工程提供了成功的示范。

4.3 美国加州的“绿色水坝改造”项目

背景：美国加州近年来面临严重的水资源短缺问题，为应对这一挑战，加州政府开始在州内实施“绿色水坝改造”项目^[9]。

措施：该项目采用太阳能供电系统替代传统电网，降低了水坝运行过程中的碳排放。同时，改造项目中使用了大量的低碳材料，并引入了智能灌溉系统，以提高水资源利用效率。

成效：改造后的水坝不仅碳排放降低了近 40%，还通过智能化管理提高了灌溉用水的利用效率，为加州农业提供了更加稳定的水资源供应。

5 绿色水利工程的挑战

5.1 成本压力和资金需求

绿色材料的成本普遍高于传统材料，且绿色施工技术和智能化管理系统的引入需要额外投资，增加了水利工程的初期建设成本。如何平衡绿色转型的投入和产出，并通过政策激励来推动低碳材料和绿色技术的应用，是全球水利工程面临的主要经济挑战。

5.2 技术推广的区域差异

在发展中国家，水利工程的绿色转型面临较大的技术和经济阻力。由于区域经济发展不平衡，部分国家和地区在绿色材料、智能化管理、生态设计等方面的技术储备不足，导致绿色水利工程的推广进程较为缓慢。

5.3 生态与功能的平衡难题

水利工程的主要功能是防洪、供水、灌溉等，而绿色转型过程中强调的生态恢复和环境保护，可能会在某些情况下影响工程的实用性。例如，在生态保护措施中减弱水坝的结构性防洪功能，会引发水利设施的安全性问题。因此，如何在生态保护和工程效能之间取得平衡，仍然是一个关键挑战。

6 未来展望

随着全球碳中和目标的推进，水利工程绿色转型将朝着更高效、更智能、更生态的方向发展。未来，低碳材料的成本有望进一步降低，并逐步标准化，成为常规建筑材料。同时，随着人工智能、物联网、大数据等技术的不断应用，水利工程的管理将更加高效，实时监控系统将为绿色转型提供有力支持。此外，未来的水利工程将更加注重生态设计，通过流域整体管理、湿地修复和植被保护来提升碳汇能力，实现水利工程和自然生态的共存。

7 结论

全球碳中和目标的实现需要各行各业的共同努力。水利工程的绿色转型通过低碳材料的选择、智能化管理、生态设计等手段，显著减少了工程建设和运营过程中的碳排放，为全球碳减排和可持续发展目标做出了积极贡献。尽管在技术、成本和生态平衡方面面临挑战，但随着绿色技术的发展和推广，水利工程在实现绿色转型方面将取得更大进展。未来，绿色水利工程将成为实现碳中和目标的重要支撑，为全球应对气候变化、促进生态保护提供有效解决方案。

参考文献

- [1] European Commission. (2019). The European Green Deal. Brussels: European Union.
- [2] Ministry of Ecology and Environment, China. (2021). Guidelines for Green Hydraulic Engineering. Beijing: MEP.
- [3] Van Staveren, (2020). Nature-Based Solutions for Flood Risk Management. Amsterdam: Elsevier.
- [4] World Bank. (2022). State of Climate Action 2022: Systems Transformation. Washington, DC: World Bank Group.
- [5] U. S. EPA. (2021). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
- [6] 长江水利委员会. (2023). 长江经济带水利发展规划. 武汉:长江出版社.
- [7] Wang, (2023). Case Study on Green Transformation of Hydraulic Engineering in the Yangtze River Basin. Sustainability, 15(8), 6789.
- [8] Deltares. (2021). Ecological Restoration in River Engineering. Delft: Deltares.
- [9] California Energy Commission. (2022). Green Dam Retrofit Guidelines. Sacramento: CEC. Region s. Renewable Energy, 205, 117923.

作者简介：杨介泉（1990年-），男，汉，青岛市黄岛区，青岛西海岸公用事业集团水务有限公司，职工，中级工程师，工程技术，水利工程。