

双碳目标下流域水资源可持续利用与水电绿色发展路径

王 勤

易县水利局 河北 保定 074200

摘 要：双碳建设推进过程中，流域水资源开发与水电产业发展面临生态保护与能源转型的双重约束，各类协同矛盾逐步凸显。本文围绕流域水资源与水电行业的内在发展机理，系统梳理资源开发、水电运营、生态养护与能源转型之间的冲突关系，总结制约绿色低碳发展的各类核心因素。从水资源统筹配置、水电运营升级、生态协同管护、发展支撑建设多个维度，搭建适配双碳理念的流域发展优化路径。研究内容可以为流域水资源长效利用与水电绿色低碳发展提供理论参考，助力区域生态与能源体系协调发展。

关键词：双碳目标；流域水资源；可持续利用；水电发展；绿色转型

引言：低碳绿色已经成为现阶段水资源开发与能源产业升级的主流发展方向，双碳理念为流域资源利用与水电行业转型提供全新发展导向。流域水资源是水电产业发展的基础资源载体，水电清洁能源开发模式也能反哺水资源生态治理与高效利用。资源开发、工程建设与生态养护之间的失衡问题不断显现，传统开发模式难以适配低碳转型的发展需求。深入剖析流域水资源与水电发展的内在运行规律，梳理现存发展矛盾与制约短板，探索科学可行的绿色发展路径，对推动流域生态永续与能源低碳发展具备重要现实意义。

1 双碳导向下流域水资源与水电发展机理

1.1 流域水资源可持续利用内在特征

流域水资源依托自然水文循环实现动态更新，是具备再生能力的自然资源，整体系统运行遵循稳定的水文演化规律。可持续利用模式核心在于规范各类开发行为，让资源取用节奏适配水系自然恢复节奏，维护流域水系结构完整与水文状态稳定。水资源开发活动需要统筹径流调控、水域生态养护、资源循环再生等多项内容，杜绝粗放开发模式破坏水系平衡。流域水系具备极强的整体性，上下游、干支流水文状态相互关联，单点开发活动都会对全域水文环境产生影响。可持续发展思路聚焦开发强度与生态承载能力的平衡，维系水资源系统自我修复、自我更新的原生能力，保障水资源开发利用可以长期稳定开展，满足区域发展的长效用水需求^[1]。

1.2 水电行业绿色发展的内在属性

水电产业依托自然水能完成机械能向电能的转化，能源生产过程无废气废渣产出，属于低碳清洁的能源发展形式。水电绿色发展突破传统能源产业粗放发展的局限，以低环境扰动、低能源损耗、生态协同发展为核心目标，优化能源生产的整体模式。水能资源的转化利用

不会产生碳排污染物，能源生产链条更加环保，能够适配绿色低碳的发展趋势。水电工程除能源产出功能外，可参与流域径流调节、枯水期生态补水与水系状态调控，对维持流域水文稳定具备积极作用。绿色发展理念引导水电开发摒弃粗放建设模式，兼顾能源产出价值与流域生态保护价值，通过科学开发方式实现能源发展与生态保护的协调推进。

1.3 双碳理念与水资源、水电发展的适配机理

双碳发展理念聚焦绿色转型、低碳减排与生态永续，为水资源开发利用与水电产业升级提供全新的发展范式。流域水资源可持续发展注重生态保护与资源循环再生，发展内核与双碳绿色转型方向高度统一。水电作为清洁能源载体，能够替换传统高碳能源产能结构，优化区域能源体系构成，降低区域碳排放总量，助力低碳发展落地。稳定的水资源循环系统可以维系良好的水能资源禀赋，为水电产业绿色开发提供稳定的资源支撑。水电低碳开发模式能够优化流域水资源调配体系，提升水资源利用效率，完善流域水文生态养护机制。两大发展体系相互赋能、相互制约，构建绿色低碳、循环永续的协同发展模式，支撑区域生态低碳体系稳步构建。

2 双碳背景下流域水资源与水电发展协同矛盾

2.1 水资源开发利用与生态保护的协调矛盾

流域水资源开发能够支撑区域生产生活运转，也能为水能产业发展提供基础条件，开发深度与广度会随社会发展持续提升。人为干预会改变河道天然径流的时空分配状态，打破水系长期形成的自然运行节律。径流调配行为改变原有水域格局，直接影响水生生物栖息环境与水域植被生长状态，破坏流域生态系统的稳定结构。双碳发展理念推动各行业提升资源利用水平，水资源开发力度需要持续加大，满足低碳产业体系建设需

求。生态保护工作侧重维护水系自然循环过程,约束各类人为开发行为,降低人类活动对流域生态系统的扰动程度。资源高效开发与生态长效维护的发展诉求存在分歧,形成常态化的内部矛盾,对流域水资源绿色低碳转型形成明显制约^[2]。

2.2 水电开发与流域水环境平衡的冲突关系

水电工程是水能资源清洁转化的核心设施,能够为区域低碳能源供给提供稳定支撑,适配绿色能源体系建设趋势。工程施工与后期蓄水会重塑流域局部地形与河道形态,打断河道自然连通性,干扰水体纵向与横向交换过程。库区蓄水状态下河道流速减缓,水体更新周期拉长,自净调节能力逐步衰减,水域内部物质迁移与转化节奏出现明显改变。水电日常调度优先服务能源供给需求,径流泄放节奏随用电负荷动态调整,脱离天然水文变化规律。双碳建设持续推进水电产业扩容升级,工程布局范围与调度频次持续增加。水环境稳态维持需要平稳的水文条件和自然水体状态,能源调度带来的动态水文扰动难以彻底消除,衍生出水环境平衡与水电开发的长期冲突。

2.3 能源结构转型与水资源开发模式的适配矛盾

能源结构转型聚焦能源体系低碳重构,依托水电这类清洁能源优化能源结构,弱化传统化石能源的占比权重,推动水能资源开发力度持续提升。过往水资源开发体系围绕基础民生需求搭建,重点落实供水、防洪、农业灌溉等基础功能,开发方式粗放,功能布局相对单一。传统开发思路未融入低碳转型发展思维,功能设计缺少对能源产出、低碳赋能等新型发展需求的考量,资源综合利用水平偏低。双碳背景下的发展模式,要求水资源系统兼顾生态修复、能源产出、低碳调控等多重功能。传统水资源调控架构、开发方式与运行逻辑难以适配能源低碳转型的全新要求,资源利用模式与新型能源发展体系存在明显脱节,构成制约行业转型的结构性适配矛盾^[3]。

3 双碳目标下流域水资源与水电绿色发展制约因素

3.1 水资源统筹配置体系存在短板

流域水资源配置工作多聚焦基础用水保障,整体规划思路偏向传统资源利用视角,未能深度结合低碳绿色发展需求。现有配置模式侧重满足生活、生产常规用水需求,对水能资源开发、生态补水、低碳赋能等新型需求考量不足。流域上下游、干支流水资源调配统筹力度不足,资源分配方式缺乏灵活性,难以适配水电产业动态化的运行需求。水资源调控方案固化单一,应对水文节律波动的适配能力较弱,无法兼顾资源高效利用与低碳发展的双重目

标。体系规划的片面性,让水资源潜能难以充分释放,成为制约流域绿色低碳发展的基础因素。

3.2 水电绿色开发运营模式存在局限

现阶段水电开发运营模式仍留存传统能源发展的固化思维,运行重心偏向电能产出效益,生态低碳调控理念融入不足。工程开发阶段侧重产能规模提升,对流域水文生态的长效影响考量不够全面,开发模式难以适配绿色转型标准。日常运营调度以用电供需关系为核心依据,径流调控方式较为固定,缺少贴合生态养护、低碳降耗的动态调度策略。老旧水电工程设备运维模式粗放,能耗管控精细度不足,资源转化效率存在明显提升空间。传统运营模式的局限性,限制了水电产业低碳升级的整体进度。

3.3 水生态保护与资源开发协同机制不足

水资源开发、水电建设与水生态保护工作多处于独立推进状态,相互之间缺少有效联动的协同机制。资源开发环节未充分衔接生态保护要求,开发强度与生态承载能力难以精准匹配,容易引发水域生态扰动。生态养护工作侧重事后修复治理,缺少前置性的防控布局,无法从源头规避开发活动带来的生态影响。水电运行过程的水文调控调整,未与流域生态修复、水域养护工作深度结合,生态效益与能源效益难以同步提升。协同机制的缺失造成发展与保护相互割裂,无法形成双向赋能的发展格局。

3.4 绿色低碳发展配套支撑体系不完善

流域水资源与水电绿色低碳发展缺少完备的配套支撑体系,软硬件建设均存在明显短板。技术层面缺少适配低碳转型的精细化调控、生态智能监测手段,传统技术模式难以支撑绿色发展提质升级。管理层面未搭建适配双碳目标的专项管控机制,绿色发展考核、运维标准、升级规划等内容不够细化。行业发展缺少系统化的转型指引,低碳改造、生态优化的落地路径较为模糊。支撑体系的不完善,让流域水资源与水电行业的绿色转型缺少坚实保障,大幅延缓整体低碳化发展进程。

4 双碳目标下流域水资源可持续与水电绿色发展优化路径

4.1 构建科学化的流域水资源统筹利用模式

立足双碳发展需求优化流域水资源利用模式,需要打破传统单一化的用水调配思维,建立兼顾民生保障、生态养护与低碳赋能的综合利用体系。结合流域水文时空变化规律,梳理上下游、干支流水资源分布差异,优化全域水资源调配格局。细化不同水文时段的用水调配方案,针对丰水期、枯水期的资源禀赋差异制定差异

化利用策略,提升水资源整体利用效率。弱化固化粗放的调配模式,增强水资源调度的灵活性与适应性,适配水电产业动态化的生产运行需求。统筹常规生产生活用水、生态补水与水能资源开发用水,平衡资源开发强度与流域生态承载能力,维系自然水文循环的稳定状态^[4]。科学化的统筹模式能够充分释放流域水资源禀赋优势,为水电绿色低碳转型提供稳定的资源基础,推动水资源利用与低碳发展深度融合。

4.2 打造低碳化的水电开发运营发展体系

水电行业绿色转型需要转变传统重产能、轻生态的开发运营理念,搭建低碳、高效、生态友好的现代化运行体系。水电工程前期开发规划融入绿色低碳发展思维,综合考量工程建设对流域水文、水域环境、生态群落的长期影响,优化工程布局与开发规模。摒弃单一依托用电负荷的调度方式,结合流域生态养护需求优化径流泄放节奏,推行生态化、精细化的水电调度模式。针对存量老旧水电设备开展升级改造,优化水能转化结构,降低设备运行能耗,提升清洁能源产出效率。建立常态化的设备运维管护机制,及时排查并整改能耗损耗问题,保障水电系统长期高效低碳运行。全新的运营体系可有效降低水电开发运行对流域环境的负面影响,强化水电产业在低碳能源体系中的支撑作用。

4.3 建立水生态与水电开发协同保护机制

破解水资源开发与生态保护相互割裂的发展难题,需要搭建联动紧密、双向适配的协同保护机制,实现水电开发与水生态养护协同推进。将生态保护要求贯穿水电规划、工程建设、日常调度全流程,把流域生态承载能力作为水电开发的重要约束条件。推行前置化生态防控模式,在各类开发活动开展前完成生态风险研判,提前制定生态防护与修复方案,从源头削减人为开发带来的环境扰动。依托水电工程的径流调控优势,针对性开展流域生态补水、水域水质养护工作,修复局部受损的水域生态环境。打通生态管护与水电运行的信息互通渠道,根据水域生态状态动态调整水电运行方案,让能源开发服务于流域生态稳态维护,形成开发护生态、生态促发展的良性循环格局。

4.4 完善适配双碳理念的绿色发展支撑体系

流域水资源与水电绿色低碳转型需要完备的软硬件支撑体系作为保障,补齐现阶段行业发展的各类短板。技术层面引入现代化智能监测、精细化水资源调控、低碳运维管控等先进技术,搭建数字化流域管控体系,精准掌握水文状态、生态变化与水电运行工况,为绿色发展提供技术支撑。管理层面细化适配双碳目标的行业运维标准、考核规范与转型准则,明确水资源开发、水电运营的绿色发展要求,规范各类作业行为。结合流域发展实际梳理低碳转型落地路径,针对性解决资源利用低效、生态养护不足、能源转型缓慢等问题^[5]。持续优化行业发展保障条件,夯实绿色低碳发展基础,全方位提升流域水资源利用质量与水电产业绿色发展水平,助力区域双碳建设稳步推进。

结束语

流域水资源可持续利用与水电绿色发展是多层次、多维度的协同发展过程,发展体系内部存在多重制衡关系。结合双碳发展的整体要求,梳理水资源与水电行业的发展机理,剖析资源开发与生态保护、能源转型之间的各类矛盾,明确体系配置、运营模式、协同机制与支撑条件存在的短板。通过优化水资源统筹格局、升级水电运营体系、搭建生态协同机制、完善绿色发展保障,能够有效化解各类发展矛盾,提升流域资源利用质量,推动水电行业绿色低碳化水平持续提升。

参考文献

- [1]王成军,苏胜男,张炳林.渭河流域水资源可持续利用评价及影响因素分析[J].水利规划与设计,2025(6):39-44,57.
- [2]邱俊霞.黄河流域水资源可持续利用的研究综述[J].水上安全,2023(7):94-97.
- [3]张狄.基于水资源生态足迹的东江流域水资源可持续利用分析[J].水利水电快报,2025,46(9):19-25.
- [4]邢援越."两山"理念引领下小水电绿色转型发展的实施路径研究[J].水利发展研究,2025,25(8):20-26.
- [5]徐国印,陈琛,刘定湘,等.推动小水电绿色转型发展的四条路径[J].水利发展研究,2022,22(8):20-23.