

# Research on Dynamic Tracking and Comprehensive Evaluation Method of Environmental Impact in the Implementation Process of Hydropower Planning

Xiaoli Sun

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

The uneven spatial distribution of water resources and the vulnerability of ecosystems in Xinjiang make the environmental impact issues particularly complex during the implementation of hydropower planning. To improve the ecological environment control level of hydropower development, it is urgent to establish a systematic, scientific, and dynamic environmental impact tracking and evaluation method system. This article focuses on the key elements of ecological disturbance, hydrological variation, and land system response in the implementation process of typical regional hydropower planning in Xinjiang, analyzes their dynamic evolution mechanisms, constructs a multidimensional tracking technology path that integrates remote sensing, geographic information systems, and ecological monitoring indicators, proposes a comprehensive evaluation model based on weight allocation and ecological function degradation degree, and explores the construction plan of dynamic feedback and early warning mechanism. The research results can provide scientific support for the environmental management and optimization of hydropower planning in Xinjiang, and promote the coordinated development of regional hydropower development and ecological protection.

## Keywords

Xinjiang region; Hydroelectric planning; Dynamic tracking; Environmental impact; Comprehensive evaluation

# 水电规划实施过程中的环境影响动态跟踪与综合评价方法研究

孙晓丽

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

新疆地区水资源空间分布不均与生态系统脆弱性的叠加,使水电规划实施过程中环境影响问题尤为复杂。为提高水电开发的生态环境管控水平,亟需构建一套系统、科学、动态的环境影响跟踪与评价方法体系。本文聚焦新疆典型区域水电规划实施过程中的生态扰动、水文变异和土地系统响应等关键要素,分析其动态演化机制,构建融合遥感、地理信息系统与生态监测指标的多维跟踪技术路径,提出基于权重分配与生态功能退化程度相结合的综合评价模型,并探索动态反馈与预警机制建设方案。研究成果可为新疆地区水电规划的环境管理与优化提供科学支撑,促进区域水电开发与生态保护的协调发展。

## 关键词

新疆地区; 水电规划; 动态跟踪; 环境影响; 综合评价

## 1 引言

新疆地处我国西部干旱区,水资源以冰川雪融水为主,分布呈时空高度不均状态,水电规划成为推动区域经济发展与能源结构调整的重要途径。然而,在水电开发过程中,地表水系扰动、生态系统退化、土地利用格局变化等环境问题逐渐显现,传统静态评价方法已难以全面反映其长期性和动态性影响特征。环境影响的动态跟踪与综合评价不仅是确保

水电规划科学实施的重要保障,也是构建生态文明制度体系的关键环节。当前,新疆尚缺乏适应高原干旱区特征的监测指标体系与多尺度综合分析模型,动态数据采集与实时反馈能力有待增强。为此,亟需针对区域生态敏感性和工程叠加效应特点,系统研究动态跟踪方法及综合评价路径,以提升水电项目环境管控水平和生态风险应对能力。

## 2 水电规划实施对区域生态系统的干扰特征

### 2.1 高原与荒漠区生态脆弱性特征与响应机制

新疆地区具有典型的高原与荒漠生态特征,降水稀少、蒸发强烈、生物多样性结构单一,使得生态系统对外界干扰

【作者简介】孙晓丽(1983-),女,中国山东平度人,硕士,高级工程师,从事水利工程生态环境研究。

极为敏感。区域植被以荒漠灌木和草本为主，覆盖度低，生态恢复周期长，受扰动后极易出现植被退化与土壤风蚀交织的负面连锁反应。由于气候干旱和地形封闭性强，生态系统自我调节能力有限，当水文节律被改变或土地湿润度发生波动时，生物种群可能出现数量波动甚至局部消失。水电规划实施改变了原有水系的流动格局，对植被带、水源地、湿地等敏感区域产生间接胁迫。干扰若持续积累，将导致生态系统结构破坏与功能紊乱，表现为群落构成变化、水源涵养能力下降及生态服务功能减退。

## 2.2 典型水电工程对地表水环境的扰动模式

水电工程在新疆多位于高山峡谷地带，其开发模式通常涉及大规模筑坝、调水、引流和蓄水等水工结构调整，显著改变地表水的空间分布和时序过程。工程建设使原有河流自然流态被破坏，出现汛期拦蓄与枯期泄水的不均衡输移格局，流量过程失衡加剧下游水体生态压力。在坝址以上区域，由于水体滞留时间延长和水温层化效应增强，可能诱发富营养化趋势与底栖生物多样性减少。在下泄水区，由于水流急剧减少，水温波动幅度扩大，水生植物与鱼类生境萎缩，河道自净能力显著下降。引水式电站的长期运行可能导致部分河段断流，河床干涸与水源地萎缩现象交替出现，破坏区域水体系统的连通性和完整性<sup>[1]</sup>。

## 3 环境影响动态跟踪的指标体系构建

### 3.1 水文、水质与生态要素的动态监测指标遴选

针对新疆干旱区典型水文过程与生态结构的特殊性，动态监测指标体系应涵盖反映水体数量、质量及生态健康状态的核心变量。在水文方面，宜选取年径流总量、月均流量、流量变异系数与水位波动频率作为量化基础。在水质方面，应结合开发影响重点关注水温、溶解氧、悬浮物、营养盐浓度和电导率等反映水体理化状态变化的要素。在生态方面，应设置反映生物完整性的指标，如鱼类密度、底栖动物多样性、水生植被覆盖率与湿地面积动态等。所有指标需兼顾可监测性、敏感性与代表性，并具备长期连续记录能力，能够真实反映水电规划实施引起的生态扰动过程，支撑后续综合评价与风险识别工作。

### 3.2 遥感与地面调查数据融合的动态追踪技术路径

为提升大尺度水电规划区环境变化监测效率，遥感技术与地面调查的融合已成为关键路径。遥感影像可实现对土地覆盖变化、水域面积变动、植被指数演化及湿地缩放趋势的快速提取，具有广域覆盖与周期性监测优势。地面调查可提供高精度水文数据、生物样本和生态过程参数，弥补遥感数据的细节与定量不足。通过构建遥感—地面数据联动模型，可实现数据时空统一处理、监测指标校正与多源信息互补。在具体应用中，应建立多时间尺度数据获取机制，采用MODIS、Landsat、Sentinel等不同分辨率数据进行交叉分析，结合无人机低空影像与传感器实时监测，构建多层次、多维

度的动态追踪体系，全面掌握水电实施对生态系统的实际扰动状态。

## 4 水电规划实施环境响应的综合评价模型

### 4.1 基于系统权重的多因子环境影响综合评价方法

水电规划对区域生态系统的影响具有多维度、多层次特点，需要构建综合反映水文、水质、土地和生态变化的多因子评价框架。通过引入系统分析方法和层次权重理论，将各类环境因子的作用程度与敏感响应程度进行量化分级。权重分配可结合专家打分法与熵值法，兼顾主观经验与客观数据，建立指标间的逻辑依赖关系。评价方法采用加权叠加模型，将水文变异度、生物完整性指数、土地利用冲击系数等核心因子进行归一化处理与组合计算，形成综合指数结果。该模型可适配不同尺度的水电规划区域，反映规划实施对环境的总体压力水平，并支持横向比较与纵向追踪，为动态监测提供可视化评价成果<sup>[2]</sup>。

在实际应用中，基于系统权重的多因子环境影响综合评价方法强调指标体系的科学构建与模型参数的精准设定。首先需明确评价目标，划分影响维度，如水文调节、水质演变、生态栖息地变化和土地结构调整等，构建具有代表性与可操作性的二级指标体系。在权重赋值阶段，通过专家问卷法搜集领域知识形成判断矩阵，同时引入熵值法对指标数据离散度进行测量，两者结合可提高权重分配的合理性与稳定性。在数学模型设计上，采用模糊综合评价与层次分析法融合策略，解决多因子间的模糊性与权重传导难题。模型运算过程中，各因子数据需进行标准化与无量纲化处理，以避免数值尺度不一致对评价结果的干扰。最终输出的环境影响综合指数不仅可描述总体环境承压水平，还可针对关键因子形成敏感性诊断图谱。该方法具备良好的可扩展性和区域适应性，适用于不同规划阶段与不同水电工程类型的环境影响分析，能为生态补偿设计、规划方案比选及管理决策提供有力支撑。

### 4.2 耦合生态功能退化与工程效益的复合模型设计

水电开发在提升能源供应能力的同时，也可能造成生态系统服务功能下降。构建耦合生态退化与工程效益的复合模型，有助于实现水资源利用与生态保护的协调评价。模型结构由生态功能子系统与工程效益子系统组成，分别建立生态服务价值函数和能量转化效益函数。在生态方面，以湿地缩减、生物多样性丧失、水土流失程度等为输入变量，估算退化趋势与修复成本。在工程方面，通过发电能力、水资源调节能力与经济收益等指标，测算实际效益输出。模型运行采用多目标规划方法，设置权衡参数，实现生态约束下的效益最优化输出。通过模拟不同运行场景下生态与工程的互动响应，指导水电调度方案优化和生态补偿路径设计<sup>[3]</sup>。

该复合模型的核心在于实现生态系统功能变化与工程效益产出的系统联动，通过统一参数设置与动态模拟手段，

构建完整的响应反馈机制。在生态子系统中,引入生态系统服务价值评估理论,对水源涵养、栖息地维持、污染物净化等核心服务功能进行定量表达,利用函数关系将各类生态要素的退化程度转化为货币化的生态价值损失。同时,结合生态恢复技术路径与单位修复成本数据,建立生态恢复函数,实现退化成本的区间估算。在工程子系统方面,基于项目建设周期内的年均发电量、调蓄能力、供水保障率等实际运营数据,构建效益收益函数,并引入社会折现率参数,模拟效益在不同时期的价值变化趋势。模型在运行时采用多目标粒子群算法或演化博弈策略,搜索生态约束下效益最大与生态代价最小的最优调度组合。在不同情景设定下,模型可输出生态退化曲线与效益演化图谱,为不同利益主体提供直观判断依据。该模型的提出不仅增强了水电项目环境管理的科学性,也为生态红线控制和绿色能源政策制定提供了决策支持基础。

## 5 提升动态评价科学性的技术保障措施

### 5.1 地理信息系统与监测平台一体化建设路径

水电规划区域环境变化呈现多维度、跨尺度特性,需要构建基于地理信息系统的动态监测与分析平台,提升信息管理与评估能力。一体化平台应整合遥感影像、地面监测数据、生态调查成果与规划数据,建立多源数据协同采集、处理与展示体系。系统架构采用模块化设计,涵盖数据入库、空间分析、趋势识别、可视化呈现与报告生成功能。通过搭建 WEB-GIS 架构,实现实时在线查询与动态监控,提高管理部门数据获取与研判效率。平台可接入流域气象站、水文站、水质传感器等在线设备,实现监测数据自动上传与预警信息实时推送。该技术路径显著提升动态评价的科学性、时效性与精准性,为水电环境管理提供技术支撑与决策依据。

### 5.2 水资源模拟模型与生态系统响应模型的集成应用

单一环境变量难以准确反映水电工程对生态系统的系统

性影响,需要将水资源模拟与生态响应过程进行模型集成。集成平台包括水量调度模型、水质输移模型与生态系统功能模拟模块,可根据实际工程运行参数动态调整输入条件。模型以水库调蓄规则、河段流量分布与生态敏感区分布为基础,模拟水文情势变化下的生态系统响应过程,包括湿地缩放、栖息地变异和生物群落演替。模型结果通过场景模拟方式呈现不同规划方案对生态系统的影响强度与空间格局演变趋势,便于制定最小生态流量保障、调蓄节律控制与生态补偿强度等管控策略。该集成方法增强了对环境演变机制的系统认知能力,是推动评价决策科学化的重要手段<sup>[4]</sup>。

## 6 结语

新疆地区水电规划实施所引发的生态环境变化具有明显的区域性、动态性与系统性特征,传统静态评价方式已无法满足实际管理需求。通过构建多因子综合评价模型、建立动态追踪指标体系以及开展典型区域实证分析,可有效揭示水电工程对生态系统的阶段性扰动与长期效应。进一步融合遥感技术、地理信息系统与生态模拟模型,有助于实现对水环境变化的精准感知与科学预警。推动动态监测平台建设,与预警反馈机制完善,将为水电开发与生态保护协调提供坚实支撑,助力新疆实现绿色能源发展与生态安全并重的战略目标。

### 参考文献

- [1] 高洁,岳蕾,朱方亮.从河流水电规划历程看《河流水电规划编制规范》修订[J].中国标准化,2023,(19):150-154.
- [2] 何志辉.水利水电规划环境影响评价不确定性分析及应对措施探究[J].环境与发展,2020,32(12):7+9.
- [3] 周武,谢向前.西藏地区中小流域水电规划环境影响评价分析要点——以洛扎雄曲水电规划为例[J].资源节约与环保,2017,(08):60-61.
- [4] 栾丽,杨玖贤,李雪,陈享莉,彭金涛.河流水电规划生态环境影响评价指标体系构建[J].水力发电,2014,40(12):1-3+15.