

# Research on Environmental Monitoring and Ecological Compensation Mechanism during the Operation Period of Water Conservancy Projects

Xiaoxuan Han

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830002, China

## Abstract

The spatial and temporal distribution of water resources in Xinjiang is extremely uneven, and the strategic role of water conservancy projects in ensuring irrigation, water supply, and ecological water use is increasingly prominent. The operation process of the project causes multidimensional interference to the fragile ecosystem in the region, especially in terms of river interruption, lake shrinkage, and oasis degradation in arid areas. Building an efficient environmental monitoring system helps to dynamically grasp hydrological, water quality, and ecological response characteristics, providing data support for the scientific design of ecological compensation mechanisms. The article takes typical regions in Xinjiang as the background, systematically analyzes the ecological impact path of water conservancy projects during the operation period, and proposes a technical system and institutional logic for the coordinated construction of monitoring and compensation. By strengthening data-driven compensation factor identification, dynamic evaluation of indicators, and policy feedback mechanisms, the accuracy and adaptability of ecological governance can be improved, providing theoretical basis and practical path for ecological protection and green operation of engineering in Xinjiang Basin.

## Keywords

Xinjiang region; Operation of water conservancy projects; Ecological disturbance; Environmental monitoring; Compensation

## 水利工程运行期环境监测与生态补偿机制研究

韩筱璇

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 830002

## 摘要

新疆地区水资源时空分布极不均衡, 水利工程在保障灌溉、供水和生态用水中的战略作用日益凸显。工程运行过程对区域脆弱生态系统造成多维干扰, 特别在干旱区河流断流、湖泊萎缩和绿洲退化方面表现显著。构建高效的环境监测体系, 有助于动态掌握水文、水质和生态响应特征, 为生态补偿机制的科学设计提供数据支撑。文章以新疆典型区域为背景, 系统分析水利工程运行期的生态影响路径, 提出监测与补偿协同构建的技术体系与制度逻辑。通过强化数据驱动的补偿因子识别、指标动态评价与政策反馈机制, 提升生态治理的精准性与适应性, 为新疆流域生态保护与工程绿色运行提供理论依据与实践路径。

## 关键词

新疆地区; 水利工程运行; 生态干扰; 环境监测; 补偿机制

## 1 引言

新疆作为我国典型的干旱半干旱地区, 生态环境承载力薄弱, 自然水系依赖冰川融水和降水汇流形成, 区域生态稳定性高度依赖于水资源的合理调控。为缓解人水矛盾、推动社会经济发展, 近年来一系列大型水利工程相继建设并投入运行, 虽有效支撑了农业灌溉与城镇供水, 但也引发水系结构调整、水生态退化等一系列生态风险。工程运行过程中

的水文调节、水体交换与输配模式变化, 正在对下游湿地系统、生物栖息地及绿洲结构造成长周期影响, 亟需通过构建科学监测网络与合理补偿制度进行生态压力调控。结合新疆独特的地貌结构与水资源格局, 深入探讨监测数据在补偿机制中的转换路径, 对于实现区域生态保护与工程效益的双重目标具有重要现实意义。

## 2 水利工程运行期的生态环境影响特征

### 2.1 水文过程变化对生态系统结构的影响

新疆地处典型内陆干旱区, 天然水文过程主要依赖高山冰雪融水与少量降水, 具有高度季节性和区域性。在水利工程运行背景下, 人为调控水流节律显著改变河流流量、流

【作者简介】韩筱璇(1995-), 女, 中国陕西汉中, 硕士, 工程师, 从事水利水电方向的环境影响评价和环境保护研究。

速与径流过程的自然状态，造成下游生态系统的适水节律被打破。塔里木河、叶尔羌河等典型流域中，河岸植被退化、湿地萎缩与生态断面断流现象呈周期性复发，部分水生物种因繁殖期与水文条件错位导致栖息地逐步丧失。干旱区特有的绿洲生态系统对水源依赖度极高，河流水文过程失衡将直接诱发绿洲边缘植被退退、风蚀加剧和土地盐渍化等连锁反应，破坏生物多样性与生态系统稳定性，加速生态功能弱化趋势。

### 2.2 库区与下游水质演变的动态机制

新疆水利工程多分布于高差落差明显、干旱少雨的河谷盆地，其运行过程中水体滞蓄特性显著，导致库区内水体交换效率低，污染物沉积与温度分层现象尤为突出。受高温气候影响，库区水体在夏季易出现溶氧下降、藻类繁殖旺盛、水色加深等表征，形成局部富营养化趋势。由于水资源统一调度，下泄水体多呈低温、低氧状态，对下游鱼类生境和湿地生态功能构成不利影响。部分典型下游河段出现氮磷负荷升高、水体 pH 波动和自净能力弱化问题，生态系统承压日趋加剧。水质时空演变呈现出以水库为核心的源发性污染特征，通过调蓄调配过程在流域内逐步传导，放大了区域生态系统对工程运行扰动的敏感响应程度，形成水文调控与水质风险耦合增强的区域性生态风险格局。

## 3 水利工程环境监测体系的关键技术路径

### 3.1 多因子自动监测系统的构建要点

针对新疆流域空间跨度大、水文季节性强与生态承载能力脆弱等特征，环境监测系统需实现对典型生态单元的精准识别与全过程监测。可在重点库区、绿洲边界与干流交汇口部署多因子监测站点，通过自动化感知设备同步采集水质、水温、流量、溶解氧、藻类丰度与气象参数，形成涵盖“水—气—生”的一体化监测格局。系统平台应具备数据远程回传、模型联动诊断与异常趋势预警功能，结合边缘计算与低功耗技术提升系统运行效率与稳定性。根据流域分区特点配置传感器密度与数据采样频率，构建多尺度响应框架，覆盖不同生态敏感区域的关键生态过程。平台设计应注重模块化与互操作性，支持未来在绿洲保护区、水源涵养区等区域的功能拓展，保障数据支撑系统在长期运行中的技术可持续性。

### 3.2 遥感与地面监测数据的融合与解译

在新疆地区复杂地形条件与广阔监测范围下，遥感技术在提升区域环境监测效率方面展现出独特优势。高分遥感数据可用于提取水体轮廓、湿地动态、植被变化与地表温度等生态参数，结合无人机低空图像获取地表精细信息，实现对重点区域生态过程的时序分析。地面监测数据提供精准校准与现场实测依据，通过空间插值与尺度转换模型整合遥感成果，提升数据的时空一致性与解释强度。解译流程应以多源数据融合为核心，构建面向绿洲演替、水体演化与污染扩

散的主题分析单元，将量化指标与生态补偿模型相挂钩，增强监测数据在政策设计、标准制定与生态风险评估中的实用性，为水资源调控与生态补偿措施的精准实施提供坚实数据基础，图 1 为一种基于多源数据耦合的重要水功能区水质风险测评方法与流程。

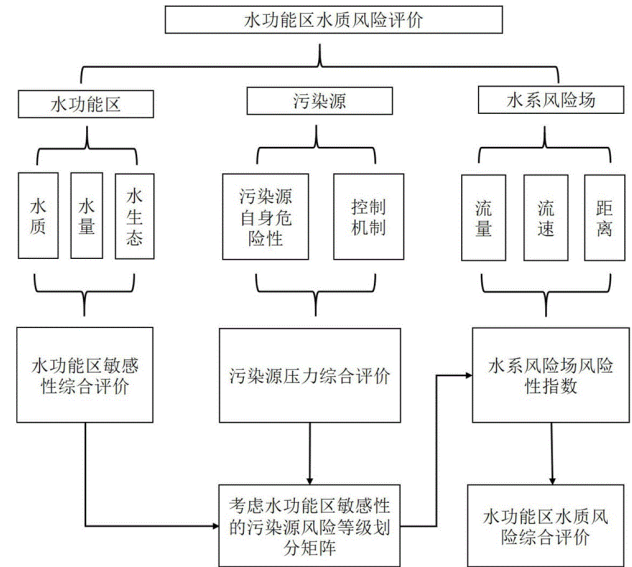


图 1 一种基于多源数据耦合的重要水功能区水质风险测评方法与流程

## 4 生态补偿机制的制度框架与评估模型分析

### 4.1 “谁受益谁补偿”原则下的责任界定

新疆水资源分布高度不均，受益区多集中在绿洲农业带与城镇区域，而生态退化则主要发生在源头保护区、湿地缓冲带及流域下游。水利工程带来的资源重新配置效益突出，但也伴随着流域水量截留、水质波动与生态结构扰动。在此背景下，生态补偿机制应以“谁受益谁补偿”为基本导向，科学界定水资源受益方与生态受损方之间的权责边界。受益主体不仅包括水利工程的建设单位和直接用水单位，还涵盖因水资源调控而获取经济收益的区域用户。责任划分应依据监测数据和生态影响评估报告，明确补偿义务主体的补偿额度与履责方式。通过建立覆盖流域上下游、跨行政边界的补偿协调机制，推动各级政府在水资源开发与生态保护中实现权责对等，提升制度执行的刚性和公平性。

### 4.2 基于生态价值量化的补偿标准设定方法

新疆典型流域生态系统服务功能集中体现在水源涵养、绿洲维持和湿地保育等方面，其服务价值高度依赖水量调配的稳定性与水质的持久性。构建符合区域特征的生态价值评估体系，是设定补偿标准的核心支撑。应依托生态系统服务核算框架，采用等价替代法、市场参考法与成本评估法等多元手段，对不同区域的水生态系统功能进行货币化估值。在标准设定中，需结合流域上下游间资源再分配带来的生态负荷变化，综合考虑受影响区域的生态承载力、人口密度与土

地利用强度,形成可操作性强、动态可调的补偿公式。为保障补偿制度公平合理,建议引入分级补偿机制与敏感区域加权因子,对重要生态功能区给予额外权重调整,提升制度对区域差异与生态敏感性的适应能力,实现资源利用与生态保护的协调。

## 5 环境监测成果在生态补偿决策中的应用策略

### 5.1 监测数据解译分析,支撑生态补偿因子识别

新疆生态系统对水资源变化反应高度敏感,补偿决策的基础在于精准识别干扰路径与损益因子。通过在典型库区、绿洲边缘与湿地保护区布设多源自动化监测设备,采集流量、水质、气象、生物群落变化等数据,可系统呈现水利工程运行过程中的生态影响链条。数据解译需结合时空序列分析与生态响应模型,区分自然波动与工程干预引发的变化特征,识别与水文调控关联度高的关键生态指标。对监测数据进行结构化归类与因果分析,构建逻辑清晰、参数量化的因子识别清单,支撑生态补偿目标设定、责任界定与标准拟定的全过程。通过动态模型校验与多场景对比,提升识别结果的科学性与政策适应性,为新疆水生态补偿制度构建提供定量依据。

### 5.2 动态指标评价体系,引导补偿尺度与类型匹配

新疆流域生态环境变化具有显著的时空分异性,补偿措施的科学适配需依托动态指标体系的建立与更新。指标设置应涵盖水量调度变化、水质指标浮动、生物群落结构演替和湿地面积波动等关键生态响应变量,通过分权重构建综合生态影响评价指数。结合区域分级管控体系,可将评价结果与具体补偿尺度直接挂钩,实现从定性判断到定量输出的转化。补偿类型匹配应与生态功能受损程度相对应,干预较轻区域可优先采用生态服务替代或绿色激励模式,严重退化区则宜实施生态修复与水量还原补偿。动态评价机制应具备实时反馈与敏感预警能力,在水文条件剧烈波动或工程调度调整时期,及时启动补偿政策调整程序,保障生态补偿实施的连续性与应变能力,提升制度的韧性与精准度。

### 5.3 监测成果共享机制,增强多方补偿协同效应

新疆地广人稀,生态系统类型复杂,生态补偿牵涉水利、生态、财政、林草等多部门协同治理,建立高效的数据共享平台是实现补偿联动的关键支撑。应以统一的数据接口标准和可追溯数据结构为基础,构建省级—地州级—流域级的分层共享网络,推动监测成果在各职能单位间透明流通。数据产品应具有可视化特性,借助图层叠加、指标趋势图与空间热区分析等方式提升使用效率。成果共享平台还需嵌入权限分级管理与数据安全审计模块,保障敏感生态信息的合规使用。通过共享机制推动信息互认与补偿协同,构建覆盖生态

风险识别、责任划分、标准调整与绩效评估全过程的数据支撑系统,强化补偿政策的系统响应力,提升生态治理的整体协调效益。

## 5.4 监测成果反馈机制构建,推动生态补偿政策动态优化

新疆流域补偿制度执行周期长、调控变量多,必须建立高效的监测成果反馈机制以支持政策的动态迭代。反馈机制应形成数据采集、指标运算、偏差识别与政策修订的闭环流程,实现对补偿效果与生态恢复状态的持续追踪。应定期开展生态补偿绩效评估,将生态恢复程度、资金使用效率与目标达成率等量化结果作为政策评估指标,及时发现补偿程度偏低或范围设定失准的问题。反馈信息应通过专题报告、政策简报等形式推送至管理决策层,辅助其进行策略调整与制度修编。结合区域发展趋势和水资源调控任务变化,建立具有情景模拟能力的预测模型,强化补偿政策的前瞻性与弹性配置能力。通过构建集成化、数据驱动型的反馈机制,持续推动新疆生态补偿政策在实际运行中实现精准化、动态化与智能化。

## 6 结语

新疆干旱区水利工程运行所引发的生态环境影响具有显著的区域敏感性与累积性,表现为绿洲系统边界波动、水文节律紊乱和生态服务功能弱化等持续性生态风险。在这种背景下,构建契合新疆实际的环境监测体系与生态补偿机制,不仅是推动工程绿色运行的重要保障,更是实现区域生态安全格局重塑的关键支撑。环境监测需聚焦水资源调控影响下的生态动态特征,通过数据集成、模型解译与平台化共享,支撑全过程补偿决策精准化实施。生态补偿制度应立足流域上下游关系,统筹受益与受损区域间的生态责任分配,强化跨区域、跨部门的协同联动。通过建立基于监测成果的反馈机制和动态调整体系,可推动新疆水利工程运行与生态保护形成良性互动路径,提升生态治理体系与治理能力现代化水平,为干旱区水资源可持续利用与生态系统长期稳定奠定坚实基础。

## 参考文献

- [1] 马莹.基于模糊FMEA的南水北调中线交叉建筑物运行期风险管理研究[D].导师:汪伦焰;李慧敏.华北水利水电大学,2021.
- [2] 陈攀,李剑平.组合调水工程和气候变化对汉江水环境生态的影响研究[M].中国水利水电出版社:202003.
- [3] 周扬.长江流域水利水电工程管理体制研究[D].导师:牟小俐.重庆大学,2008.
- [4] 宋德崇,杨锋,孙绪波.水利工程运行期的环境管理[J].黑龙江水利科技,2008,(04):130.