

Exploration of Environmental Sensitive Area Protection Technologies in Water Resource Allocation 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. Under the combined effects of arid climate and complex terrain, water resource allocation projects have become an important support for regional water supply security. However, large-scale deployment projects can easily cause disturbance to fragile ecosystems during the process of crossing ecologically sensitive areas, leading to changes in hydrological patterns, habitat fragmentation, and a decline in biodiversity. To achieve the synergy and unity of water resource utilization benefits and ecological protection goals, it is necessary to establish a systematic environmental sensitive area protection technology system. This article combines the characteristics of typical regions in Xinjiang and explores the control path of ecological impact in water resource allocation projects from the aspects of sensitive area identification, engineering design control, operation scheduling management, and ecological restoration compensation. Key technical measures with regional adaptability are proposed to provide theoretical support and practical guidance for promoting green development and ecological security construction of water conservancy projects in Xinjiang.

Keywords

Water resource allocation; Environmentally sensitive areas; Ecological protection; Engineering interference; ecological compensation

水资源调配工程中的环境敏感区保护技术探析

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度不均，干旱气候与复杂地形共同作用下，水资源调配工程成为区域供水安全保障的重要支撑。然而，大规模调配工程在穿越生态敏感区过程中，易对脆弱生态系统造成扰动，引发水文格局改变、生境破碎与生物多样性下降等问题。为实现水资源利用效益与生态保护目标的协同统一，必须构建系统化的环境敏感区保护技术体系。本文结合新疆典型区域特点，从敏感区识别、工程设计控制、运行调度管理及生态修复补偿等方面出发，探讨水资源调配工程中生态影响的控制路径，提出具有区域适应性的关键技术措施，为推进新疆水利工程绿色发展与生态安全构建提供理论支撑与实践指导。

关键词

水资源调配；环境敏感区；生态保护；工程干扰；生态补偿

1 引言

新疆地处我国西北干旱区，水资源总体短缺且分布极不均衡，山地冰雪融水是平原区赖以生存的重要水源。随着经济发展与人口增长，区域间水资源矛盾日益突出，调水工程建设规模不断扩大，对缓解水资源分布不均、保障农业与城市用水发挥了关键作用。与此同时，调配工程频繁穿越绿洲边缘、荒漠湿地、生态廊道等环境敏感区，易引发生态系统结构失衡、水文过程紊乱及生态服务功能下降等问题。在

新疆这一特殊自然地理与生态格局下，迫切需要系统研究水资源调配工程中的环境敏感区保护技术，从规划设计到运行调控全面嵌入生态保护机制，确保区域生态安全底线不被突破，实现资源开发与生态安全的统筹兼顾。

2 水资源调配工程对环境敏感区的影响特征

2.1 调配工程建设对生态系统的干扰机制

新疆地域辽阔，生态类型复杂，水资源调配工程常跨越冰川融水发源地、绿洲边缘、荒漠带及河流下游生态脆弱区等典型地段，生态系统对外界扰动响应强烈。调配工程在选线及施工过程中易打破天然生态格局，引发地表植被破碎、水体系统扰动、土壤结构松散等问题。大量施工行为如渠道开挖、隧道贯通与施工道路铺设，直接破坏原生植被与地形结构，造成栖息地支离破碎，影响物种扩散路径与栖息

【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。

网络连续性。工程沿线的水源涵养区、湿地缓冲带与野生动物迁徙带遭遇强烈干扰，生态系统的空间稳定性与结构完整性受到冲击，极易形成“破窗效应”，诱发局部生态退化加剧与区域生态服务功能下降。

2.2 环境敏感区水文格局变化的响应模式

新疆大多数区域依赖高山冰雪融水与间歇性降水补给，水文过程具有显著的时空不均性。调配工程通过跨流域引水、干渠输水及调蓄工程建设，打乱了原有水文节律和地表水—地下水耦合关系，尤其在河西走廊、塔里木盆地等区域表现尤为明显。引水调度常造成下游来水频次减少、湖泊湿地补给断续，艾比湖、乌伦古湖等重要湿地水面明显缩减，生态容量持续下降。输水路径穿越区如准噶尔盆地中部，地下水水位受控区域扩大，导致绿洲农业区次生盐渍化风险加剧。蓄水调节设施反复蓄放水改变局部河道水动力结构，水体扰动增强，水温升高、水体富营养化等问题逐步显现。水文格局的长期异化打乱了生态系统的生境依附关系，干扰了鱼类繁育、水禽栖息与植物季节萌发生理周期等生态过程。

3 环境敏感区识别与分级保护基础

3.1 环境敏感区的界定标准与空间识别方法

新疆地形地貌多样，涵盖冰川雪山、绿洲农田、荒漠草原等生态单元，在水资源调配工程布局过程中，需明确不同类型环境敏感区的识别边界与空间特征。环境敏感区通常包括生态保护红线区域、重要水源涵养区、生物多样性热点区、湿地与典型荒漠过渡带等，均具有生态服务功能突出、自然恢复力较弱、对人类活动反应强烈的共性。空间识别可依托遥感解译与GIS技术进行多源数据叠加，整合NDVI动态、DEM地形数据、水系分布与物种栖息地分布图层，建立新疆区划下的敏感因子评判模型。结合国家生态保护红线数据与自治区生态空间分布成果，构建“自然保护区—水源保护带—生态交汇区”三级识别体系，实现对调配路径可能穿越区域的空间精确标定，为调水工程前期选址避让与风险控制提供区域图谱依据。

3.2 风险分级与生态脆弱性评估体系构建

为科学引导水资源调配工程生态保护决策，需构建新疆生态背景下的环境敏感区风险分级体系，综合反映生态系统对调水工程扰动的暴露程度、敏感性及恢复潜力。风险分级标准应考虑水文依赖度、生态功能强度、现状破碎度及工程干预强度等多个维度，将环境敏感区划分为核心保护区、缓冲管理区与一般管控区三类。引入“暴露度—脆弱性—适应能力”模型，结合植被指数NDVI、物种多样性分布、地下水埋深、土地利用类型与坡度等指标参数，建立新疆特有的生态风险综合评价方法。高风险区域如塔里木河下游、巴里坤草原保护区等应实施刚性生态控制与施工避让，中度区域配置调控型生态防护设施，低敏区则结合生态补偿与过程监测实施精细化管理，保障调配工程在生态承载范围内

运行。

3.3 典型敏感要素的动态监测关键指标体系

新疆自然环境变化剧烈，生态系统脆弱且恢复周期长，必须建立多维度、系统化、动态化的环境敏感要素监测体系，服务调水工程全过程生态风险预判与响应。监测对象应覆盖水文、水质、生物、土壤和气候等五大类因子，优先关注地表径流变化、地下水水位波动、湿地水体交换频率、绿洲边缘NDVI变化、候鸟数量动态、物种栖息分布迁移趋势等关键生态指标。结合遥感监测与地面数据采集，依托无人机航测、自动水文站、红外相机及无线传感系统等设备，建立覆盖重点敏感区的生态监测网络。针对典型生态通道、水源涵养地、受扰湿地、野生动物栖息带等区域进行高频次监测，形成时间序列对比数据，动态分析工程建设对生态系统的潜在累积影响，支持精准化预警与即时生态响应策略落地实施。

4 工程设计阶段的生态安全控制技术

4.1 避让敏感区的调配线路优化策略

新疆水资源调配工程常需穿越山区、绿洲、荒漠等生态敏感区域，合理避让高风险生态单元成为工程前期设计的重点任务。基于区域生态分布格局与地貌结构差异，需利用多源空间数据构建调配路径优化模型，结合地形坡度、生态敏感等级、水文分布及施工难度等因子进行路径模拟与评估。引入遥感解译与地理信息分析技术，对沿线分布的自然保护区、重要湿地、植被核心带、迁徙廊道等进行识别、叠加与权重赋值，制定多目标路径优化方案。特别是在天山北坡、塔里木河下游等生态系统高度集聚区域，应通过设计回避高敏地段、抬高结构走向或地下暗埋方式，最大限度减少对原始生态格局的割裂，实现空间避让与工程可行性的协调统一，提升调配线路的生态适应能力与环境兼容性。

4.2 生态通道与连通结构的功能集成方式

新疆生态系统具有显著的带状分布和点状生境特征，生物通道的连通性对生态安全具有决定性意义。工程设计中应将生态通道视为基础功能系统与结构性设施一体化的重要组成部分，在调水线路与生态廊道交汇区优先设置动物通道、植被过渡带与水文连通渠。针对野生动物频繁活动的区域，可设计涵洞式、天桥式生态通道，结合斜坡式缓坡铺设、植被引导带与低照度灯控措施，保障不同生物在季节更替期自由迁徙。对于跨越绿洲湿地或荒漠湖泊系统的管道工程，应设置地下水连通涵管或溢流调节渠，保持地表水体季节性联通关系。设计方案应融入生态微地形调整与植被恢复机制，使通道与周边环境有机融合，降低物种对通行结构的排斥率。在构建“点-线-面”协同连通网络的基础上，提升生态结构完整性、景观连贯性与物种迁移流通能力。

4.3 施工扰动最小化的工程设计原则

新疆生态系统对外界扰动极为敏感，设计阶段需贯穿低干预、低破坏、可恢复的工程理念，实现调配建设活动对