

荒漠内陆河生态输水实施过程河湖湿地水土维系途径

陈龙

塔里木河流域水资源调度中心

DOI:10.32629/hwr.v10i6.7040

[摘要] 荒漠内陆河流域生态环境脆弱,其河湖湿地的生存与健康高度依赖于有限的水资源。生态输水作为一项主动的生态修复措施,对于遏制荒漠化、维系绿洲稳定至关重要。但在实施过程中,水资源的高效利用与水、土资源的可持续维系面临挑战。本文通过分析生态输水过程中的关键生态水文过程,探讨了在水资源跨时空配置、地表-地下水联动、水盐平衡调控及生态-社会协同等层面存在的核心矛盾。进而系统性地提出了优化输水时空格局、识别与保护生态阈值、促进地表地下水文耦合、实施动态水盐综合调控以及构建协同管理机制等水土维系途径。旨在为实现内陆河生态输水的精细化、系统化与可持续化提供理论参考与实践指引。

[关键词] 内陆河; 生态输水; 水土维系; 河湖湿地; 水文过程; 水盐平衡

中图分类号: P331 **文献标识码:** A

The Implementation Process of Ecological Water Transfer in Desert Inland Rivers and the Ways of Soil and Water Conservation in Rivers, Lakes and Wetlands

Long Chen

Tarim River Basin Water Resources Dispatch Center

[Abstract] The ecological environment of inland river basins in deserts is fragile, and the survival and health of their rivers, lakes, and wetlands are highly dependent on limited water resources. Ecological water supply, as an active ecological restoration measure, is crucial for curbing desertification and maintaining oasis stability. However, in the implementation process, the efficient utilization of water resources and the sustainable maintenance of water and soil resources face challenges. This article analyzes the key ecological hydrological processes in the process of ecological water transportation, and explores the core contradictions that exist in the cross temporal and spatial allocation of water resources, surface groundwater linkage, water salt balance regulation, and ecological social coordination. Furthermore, systematic approaches to soil and water conservation were proposed, including optimizing the spatiotemporal pattern of water transmission, identifying and protecting ecological thresholds, promoting the coupling of surface and groundwater hydrology, implementing dynamic water and salt comprehensive regulation, and constructing collaborative management mechanisms. Intended to provide theoretical reference and practical guidance for the refinement, systematization, and sustainability of ecological water transportation in inland rivers.

[Key words] inland river; Ecological water supply; Soil and water conservation; River and lake wetlands; Hydrological processes; Water salt balance

引言

在全球气候变化和人类活动不断加剧的情况下,荒漠内陆河流域水资源短缺、生态退化问题越来越突出。内陆河是荒漠生态系统的生命线,它所滋养的河湖湿地是维持区域生物多样性、抵御风沙侵袭、保证绿洲生存的根基。但是天然径流减少以及不合理开发利用造成下游河道断流、湖泊萎缩、湿地退化、土地荒漠化等一系列严重的生态危机。为了拯救濒危的生态系

统,生态输水工程应运而生,人工调节水资源,输送到生态需要的地方。其实施短期内可以恢复河道流水、抬高地下水位、拯救植被群落,目前实施这些措施的效果已经显现出来。但是这并不是简单的水来绿复,而是水文循环的重新塑造、水土盐分的迁移以及生态系统的变化。目前,怎样才能使有限的输水水量达到水土资源的长期稳定维持,防止生态效益的短期性和不可持续性,成了生态输水实践中的主要难题。因此,对生态输水过程中

水土维系途径进行深入研究,对提高生态输水效率、保证区域生态安全具有重大的理论和实践意义。

1 生态输水与水土维系的理论耦合关系

生态输水和水土维系存在一种理论上的耦合关系,两者一起成为内陆河流域生态修复的主要逻辑。水土维系不仅保持了土壤水分、土地形态的稳定,而且是动态的、系统的,其目的就是保证土壤、植被、地下水系统健康、可持续。在此框架之下,生态输水属于主动的干预手段,水土维系则是期望达成的稳态目标。从生态水文角度来讲,水是驱使荒漠生态系统各种过程发生的主要因素。生态输水通过人工补给的方式,重新激活了干旱区的水文循环,给土壤水分库的补充、地下水位的回升、植被生态用水的满足提供直接水源。但是输水的效应能否转化为长期的水土维系,取决于输水怎样介入并改善自然的水-土-盐-生耦合过程^[1]。理想的水土维系状态是土壤墒情在时间、空间上满足优势植被群落的需求,地下水位保持在适宜的生根层范围内并且水质可控,地表水和地下水之间形成良性互补的关系,土壤盐分处于植被可以承受的平衡区间内,最终支撑起一个结构稳定、功能完善的生态系统。生态输水工程设计与实施要以它为靶子,不能停留在“见水”上,而要致力于塑造和巩固这些深层次的生态水文联系。因此,认识输水水量、输水时间、输水路线和土壤水转化效率、植被耗水规律、盐分淋洗效果之间的定量联系,就是由“输水”向“维系”转变的理论基础^[2]。

2 内陆河生态输水过程中的关键矛盾与挑战

生态输水实际操作中存在许多矛盾和问题,影响到水土保持目的的实现。首先出现的是由于水的稀缺性以及生态的需求量大,所引起的矛盾。荒漠内陆河水量极为匮乏,需要恢复的河岸林、湖泊、湿地等生态单元空间分布广、历史欠账多,怎样把有限的水量进行最优的时空配置,平衡各个生态目标之间的用水竞争,是科学难题。其次地表水和地下水转化和协同矛盾比较明显。生态输水初期多为地表漫溢和河道行洪,但是对深层土壤水的补充以及地下水水位的有效抬升存在着滞后性、低效性的弊端。在某些地质条件下,地表水快速下渗不能被植物充分利用,或者地下水回补范围和地表植被分布不匹配,造成水虽然到来了但是土没有润、地没有绿的现象。第三是水盐平衡的矛盾突出。荒漠区土壤本底含盐量高,蒸发大。生态输水在浸润土壤的时候,也会把深层的盐分带到地表或者浅层根系区域。如果输水水量不够或者没有有效的排水出路,很容易造成次生盐渍化,出现“救了植被,毁了土地”的局面。第四,生态响应和水资源管理的不确定性。不同的植被群落、土壤类型对于补水的水量、频率、持续时间的反应阈值是不一样的,生态系统恢复具有非线性以及滞后性。目前输水管理大多以水文指标(到达某断面)为依据,缺少精细化的生态需水阈值指导,造成部分输水为无效水或者低效水,不能达到水土资源精准维系的目的^[3]。

3 河湖湿地水土维系的系统路径

3.1 优化输水时空格局与生态调度模式

实现水土保持的有效途径就是改善生态输水的时空分布和调度方式,由粗放式的“漫灌”变为精准化的“滴灌”。从生态优先的角度出发,在空间布局上要不同的区域实行不同的分配方式。利用生态调查和遥感监测,找出生态关键区、生态脆弱区、生态战略区,濒危物种栖息地、防沙前沿的胡杨林、维系绿洲存亡的终端湖等。对有限的水资源进行重点保护,保证核心区域生态用水的优先性,形成以点、线、面相结合的方式开展生态供水网络。优先保证河道主槽的连续水流来维持河流廊道的基本连通功能,同时修建生态闸、引水渠等工程,有计划地向两岸重点退化林草地或者沼泽湿地进行侧渗补给^[4]。时间格局上要遵照自然水文节律和植被物候期。模拟天然洪水过程的“脉冲式输水”比均一缓和的输水更有效。春季脉冲有利于种子萌发和幼苗建立,夏秋季脉冲可以满足植物生长盛期的需水和淋洗土壤盐分。所以生态调度要引入脉冲的概念,设计不同的规模、频率、时长的补水事件,不能简单地用常流水。调度方案要具有动态适应性,根据中短期水文预报、土壤墒情监测以及植被生理指标的反馈信息,随时对输水路线、流量和时长作出调整,保证水用在“刀刃”上,最大限度地发挥出单位水量的生态效益,给土壤水分补给和植被恢复创造最好的水文条件。

3.2 识别与精准响应多尺度生态需水阈值

水土的长期维系不能忽视生态系统自身的需要规律,关键在于找出并依照多尺度的生态需水阈值来实行精细化输水。生态需水阈值属于一个多维概念体系。从种群角度看,就是指那些能够生存和繁衍的关键植物物种(胡杨、柽柳等)的生存和繁衍所需要的最适、适宜和饱和的生态水位(地下水位或者土壤水势)。当水位低于生态下限时,植物会枯萎死亡;保持在适宜范围内时,群落可以健康更新;长时间超过饱和水位就会造成盐渍化或者植被类型逆向演替。从生态系统角度来讲,阈值就是维持河湖湿地基本结构和功能所必需的最小水面面积、河道连通长度、必要的淹没频率和持续时间。湖泊湿地鸟类栖息功能的维持要保证一定的开敞水面和泥滩周期性出露。从景观尺度来说,阈值关系对绿洲和荒漠之间生态过渡带是否稳定起作用,河岸植被走廊的宽度和连续性又怎样,都是沙漠入侵的屏障。生态输水要开展长期的定位观测和模型模拟,定量地给出这些重要的阈值。在此基础上,以生态阈值水位、关键断面最小生态流量、最小生态水面面积等为控制指标来建立生态调度规则。输水管理目标应该由原来的“水到某地”变为“将水位或者土壤水控制在某阈值区间内”,从而实现从经验性输水到科学性、预见性输水的转变,保证每一次输水都精准地“解渴”并巩固生态系统稳定的水土基础。

3.3 促进地表水与地下水协同补给与转化

荒漠内陆河流域水土维系的动力学基础就是良性地表水和地下水的转化过程。孤立地表输水或者单一依靠地下水补给都无法达到可持续的水土维系目的,需要设计出促进两者协同的途径。首先要考虑地表输水工程设计时对地下水的有效补给。在河道或者引水渠沿线选择土壤质地较好、包气带结构有利于

下渗的地段,设计地下水回补区(利用古河道、砂质河床),通过延长地表水滞留时间、增加入渗面积(修建渗水坝、扩大漫溢区)等方式,主动把部分地表水转化成地下水储蓄。相当于在地下建造了一个“生态水库”,它在输水间歇的时候缓慢释放水分,稳定供给沿岸的植被,抵御干旱。其次就是科学利用和调控地下水。利用地下水监测网络对地下水流场和水位进行观测。生态输水之后,由于抬升的地下水水体,通过毛细作用向上补给土壤水和植被。对于地下水埋深过浅,易造成盐渍化的地方,应控制地表水的过量入渗,或者采用适度的地下水开采(生态排水)来改善埋深。最终目的是形成一个地表水快速补给、地下水慢速调蓄、土壤水持续供给的联动体系。模型工具在这里非常重要,需要建立耦合地表水、地下水和土壤水运动的分布式水文模型,模拟不同的输水方案下水转化效率和补给范围,为协同方案的制定提供定量支持,使宝贵的水资源在地表、地下、土壤、植物系统中高效循环和停留。

3.4 实施动态监测与主动的水盐综合调控

在强烈蒸散发作用的荒漠区,水盐共存且互相制约,水土维系要同时应对水和盐两种挑战,采取动态、主动的水盐综合调控措施。调控的第一要义就是“以水压盐、以水调盐”。生态输水时要设计出能淋洗根层盐分的“洗盐脉冲”。这就需要输水水量、强度在某一时间段内达到把土壤盐分淋洗到作物根系主要活动层以下的深度。对已经发生盐渍化或者盐碱化风险较高的地区,可以规划专门的、具有排水出路的“生态洗盐区”,集中水量冲洗,防止盐分在绿洲内堆积。其次要创建起覆盖全面、立体的水盐监测预警网络。利用遥感反演大面积土壤表墒、盐分分布,配合地面固定、移动监测点,获取不同深度土壤的水分、盐分、地下水水位、矿化度等数据。根据监测数据建立水盐动态模型,预测各种输水情况下盐分运移的趋势,从而达到次生盐渍化风险预警的目的。调控的第三层是生物和工程措施相结合。选择耐盐碱的本地植物(盐角草、盐爪爪等)进行种植,依靠其生物排水、吸盐的作用来改善盐碱土。

3.5 构建多目标协同的生态系统适应性管理机制

水土维系不单是技术问题,也是管理问题,必须建立生态、水文、社会经济三者并重的综合协调管理体系,具有很强的适应性。传统的流域管理存在着“条块分割”的问题,水利部门负责输水、林业草原部门关注植被、环保部门监督水质等,这样的分

割管理不能应对水土维系这个系统性的工程。因此必须创建起跨部门、跨区域的流域生态输水统一管理协调机构,统筹水源调度、工程运行、生态监测和效益评价。该机制的主要内容就是建立并执行适应性管理机制。这就意味着把每一次的生态输水看成一次科学实验,把管理循环纳入到规划、实施、监测、评价、调整的完整环节中来。

4 结语

荒漠内陆河生态输水属于一项复杂的系统性生态修复工程,它所取得的最终效果就是河湖湿地水土资源的长久、稳定和健康发展。通过对生态输水和水土维系的理论耦合关系进行梳理,分析了实践中存在的主要矛盾,从系统路径的角度提出了五个方面的关键途径,即优化输水格局以达到水资源精准的空间配置和时间节律匹配的目的,识别并响应多尺度生态需水阈值来保证生态系统的基本需求,促进地表与地下水的协同转化以建立稳定的地下水库和土壤水供给体系,开展动态的水盐综合调控以消除干旱区主要的生态风险,创建多目标协同的适应性管理机制来整合科技和社会的力量。这些路径互相联系、层层推进,最终要达到一个目的,即用科学、精细、系统的方式对有限的生态输水资源进行调控,使之深入到区域水循环和生态过程之中,进而为干旱的荒漠地区提供稳固的河湖湿地生存基础,达成人与自然的和谐共生以及生态安全的可持续发展。

参考文献

- [1]陈攀,吴疆,黄蒙.输水隧洞进水口生态围堰设计方案研究[J].云南水力发电,2026,42(4):155-158.
- [2]束龙仓,位书静,澈丽木格,等.西辽河平原生态输水的地下水响应及不确定性量化[J].吉林大学学报(地球科学版),2026,56(2):647-660.
- [3]胡铁民,王增丽,王海基.石羊河流域民勤盆地生态补水25年来地下水变化分析[J].水资源开发与管理,2026,12(1):39-45.
- [4]杨全斌,吴建东.青土湖生态输水工程方案比选及河道治理设计[J].云南水力发电,2026,42(1):122-125.

作者简介:

陈龙(1986—),男,汉族,甘肃定西人,大学本科,高级工程师,研究方向水资源调度管理、生态输水、工程运行管理等。