

西辽河流域径流衰减诊断与复苏对策

王凯军, 谢 淼

(水利部松辽水利委员会, 130021, 长春)

摘 要:西辽河流域是我国北方重要生态安全屏障和农牧交错区,也是东北粮食生产格局与科尔沁沙地生态治理交汇的关键区域。受气候变暖、农业开发扩张、地下水超采和河道生态水量不足等因素共同影响,流域长期面临干流断流、湖泊湿地萎缩、地下水水位下降、草场沙化和沙丘活化等问题。2020年以来,西辽河流域持续实施水资源统一调度和生态补水,断流27年的西辽河干流于2025年实现全线过流,河流复苏取得阶段性成效,但常态化生态复苏仍受水资源超载制约。本文基于历史径流、气象、土地利用及水资源开发利用资料,分析流域径流衰减过程、阶段性突变和空间差异,诊断气候变化和人类活动对径流衰减的综合影响。面向流域生态环境复苏目标,提出完善流域水资源配置格局、推进农业节水与地下水超采综合治理、强化河道生态主槽整治与湿地节点修复、健全生态补水长效机制和数字孪生监管体系等对策,为西辽河流域水资源可持续利用和绿色协调发展提供支撑。

关键词:西辽河流域;全线过流;水资源承载力;地下水超采;生态调度;生态修复

Diagnosis and recovery countermeasures of runoff attenuation in Xiliao River basin

WANG Kaijun, XIE Miao

(Songliao River Water Resources Commission of Ministry of Water Resources, Changchun 130021, China)

Abstract: The Xiliao River basin is an important ecological security barrier and farming-pastoral ecotone in northern China, and it is also a key area where the grain production patterns of Northeast China intersect with the ecological management of the Horqin Sandy Land. Affected by factors such as climate warming, agricultural development expansion, groundwater overexploitation, and insufficient river ecological water, the basin has long faced problems such as main stream flow cutoff, lake and wetland shrinkage, groundwater level decline, grassland desertification, and dune activation. Since 2020, the Xiliao River basin has continued to implement unified water resources scheduling and ecological water replenishment. The main stream of the Xiliao River, whose flow has been cutoff for 27 years, achieved full-line flow in 2025, and river recovery has achieved phased results. However, normalized ecological restoration is still restricted by water resources overloading. Based on historical runoff, meteorological, land use, and water resources development and utilization data, this paper analyzes the runoff attenuation process, stage mutations, and spatial differences in the basin, and diagnoses the comprehensive impact of climate change and human activities on runoff attenuation. Facing the goal of ecological and environmental recovery in the basin, this paper puts forward countermeasures, such as improving the water resources allocation pattern of the basin, promoting the comprehensive management of agricultural water saving and groundwater overexploitation, strengthening the ecological main channel regulation and wetland node restoration, and improving the long-term mechanism of ecological water replenishment and the digital twin supervision system, to provide support for the sustainable utilization of water resources and green coordinated development in the Xiliao River basin.

收稿日期:2026-07-13 修回日期:2026-09-04

作者简介:王凯军,水资源处处长,正高级工程师,主要从事水资源管理工作。E-mail:754853456@qq.com

Keywords: Xiliao River basin; full-line flow; water resources carrying capacity; groundwater overexploitation; ecological scheduling; ecological restoration

中图分类号: TV213.4+X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1123(2026)17-0053-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2026.17.009

西辽河干流在断流27年后于2025年历史性实现全线过流,是长期断流河流复苏治理的重要进展,也是母亲河复苏行动在北方缺水河流中的重要实践。西辽河全线过流解决了阶段性河道贯通问题,但常态化复苏仍面临水资源超载、地下水亏损、河道输水能力下降和生态需水保障不足等约束。本文围绕西辽河流域径流衰减诊断和复苏治理需求,从水量平衡、开发利用和生态修复协同角度,提出面向流域系统复苏的治理对策。

一、径流衰减背后的水资源承载力约束

西辽河流域天然水资源禀赋偏弱,多年平均年降水量为375 mm,年潜在蒸散发量接近1000 mm,降水主要集中于6—9月,非汛期补给能力不足,宽浅砂质河床又增加了输水和生态补水过程中的人渗损失。流域水资源可利用量约为45.8亿 m^3 ,开发利用率已达114%,水资源开发利用强度突破常规承载边界。对于半干旱农牧交错区而言,水资源超载首先挤压河道生态水量、地下水回补量和湿地维持水量,继而表现为枯水期基流衰减、河道断流、湖泊湿地萎缩和浅层地下水亏损。

西辽河流域水资源短缺与生态脆弱问题并非孤立存在,而是与粮食生产、井灌农业、工程调控和土地利用变化交织在一起。流域处于东北玉米带西缘、农牧

交错带和科尔沁沙地生态治理重点区域,农业用水需求与河道生态需水长期竞争。大规模耕地扩张和井灌发展持续抬高农业耗水强度,河道、湿地和地下水系统逐步成为承压环节。

西辽河流域径流衰减不是单纯的水文过程变化,而是水资源开发利用方式、农业生产格局、地下水系统状态和河湖生态功能共同失衡后的集中呈现。流域典型河流径流量下降、干流长期断流以及为应对上述问题而实施的生态调度和地下水超采治理等研究,共同指向流域水循环由自然主导向“自然-人工”强耦合系统转变。河道断流是外在结果,水资源调度是阶段性复流的重要手段,地下水水位下降是深层水文信号,地下水系统亏损则决定了常态化复苏的基础难度。

二、径流衰减过程及系统性退化表现

1956—2020年,西辽河流域郑家屯、海日苏、兴隆坡和梅林庙4个控制水文站年径流量均出现显著下降,突变年份集中于1999—2002年,2000年前后成为流域水文过程由相对稳定向严重亏缺转变的关键节点(见图1)。其中,老哈河的兴隆坡站径流线性下降速率达到1855.36万 m^3/a ,西辽河干流的郑家屯站为1744.73万 m^3/a ,西拉木伦河的海日苏站为1157.37万 m^3/a ,乌力吉木仁河的梅林庙站为163.10万 m^3/a 。

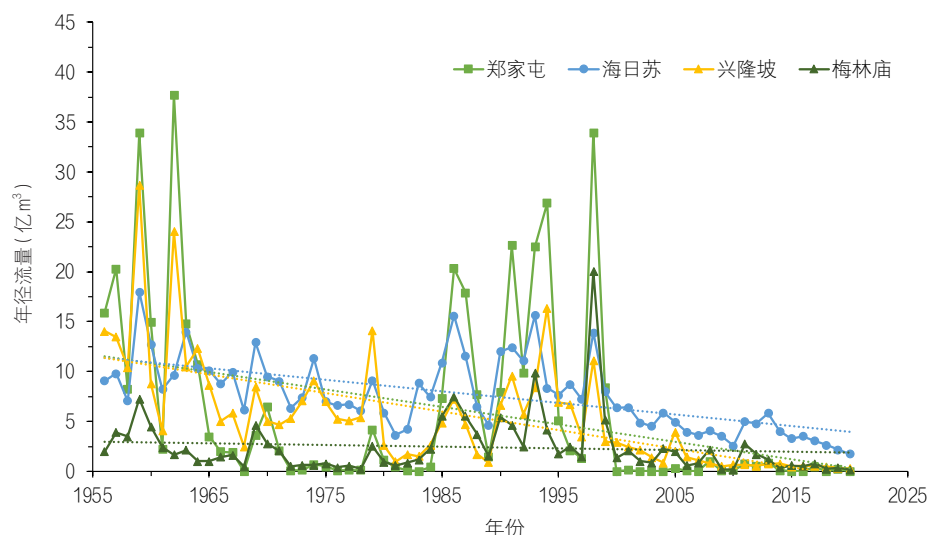


图1 西辽河流域主要水文站点年径流量变化趋势

对比显示,郑家屯站2000年后径流均值较2000年前下降97.4%,兴隆坡站下降85.0%,海日苏站和梅林庙站分别下降55.6%和65.7%(见表1)。径流衰减不是局部河段偶发变化,而是流域尺度水量过程发生阶段性转折后的系统响应。

西辽河流域径流衰减与干流长期断流相互叠加。西辽河干流自1998年汛后持续断流,成为全国七大江河中长期断流的典型河流。2020年以来,在水利部统一领导下,西辽河实施生态水量调度,干流有水河段逐年延长;2025年断流27年的西辽河干流年内2次实现全线过流并维持47天;2026年春季,西辽河维持全线贯通时长达到66天,较2025年春季调度贯通时长延长39天。全线过流是西辽河复苏的重要节点,常态化复苏仍取决于地下水回升、河道主槽稳定、湿地补水恢复和流域取用水强度下降等因素。

地下水系统亏损加深了西辽河流域径流衰减的生态影响。流域地下水埋深由2.3 m增加至19.2 m,地下水超采区面积达到11 907 km²,河流与地下水之间的水力联系明显减弱。湖泊湿地萎缩、草场沙化、沙丘活化和固沙植被退化,成为水文退化向陆域生态系统传导后的集中表现。

三、径流衰减主控因素诊断

气候变化是西辽河流域径流衰减的重要背景。1956—2020年,流域降水量呈下降趋势,降水突变集中在1998—1999年,1999—2020年降水量较前期减少16.41%~25.60%;气温突变出现在1987年前后,1988—2020年气温较1956—1987年升高约1.45~1.56℃;潜在蒸散发突变出现在1993年前后,1994—2020年潜在蒸散发较1956—1993年增加12.5%~17.5%。降水减少削弱水分输入,气温升高和潜在蒸散发增加提高大气耗水能力,流域水循环进入更强的水分胁迫状态。

气候因素并不足以解释西辽河流域径流的剧烈衰减。基于水量平衡的径流归因结果显示,人类活动对西

辽河流域径流衰减的贡献率为59.3%~88.0%,气候变化贡献率为12.0%~40.7%。可以看出,西辽河流域径流衰减的主因已不是降水量减少的单一原因,气候暖干化削弱了天然产流基础,高强度人类活动、流域用水方式重构和下垫面条件改变,重塑了流域水量分配路径。

农业扩张是最核心的人类驱动。1980—2020年,西辽河流域耕地面积由1850万亩(1亩=1/15 hm²,下同)增加至4075万亩,机电井数量由3.4万眼增加至94.5万眼。耕地扩张提高了粮食产能,也提高了作物灌溉蒸散发耗水总量;机电井增加增强了地下水开采能力,也把地下水从流域调蓄水源转化为农业生产水源。半干旱区的耕地扩张导致水循环路径的重新分配,原本可能形成河道径流、地下水补给和湿地蓄水的水量,被灌溉农业系统截留,并最终作为作物蒸散发形式消耗。

地下水超采是农业扩张与河道断流之间的关键纽带。短期看,地下水开采保障了农业灌溉和粮食生产;长期看,地下水水位下降削弱了河流基流补给,降低了湿地水分维持能力,增加了生态补水入渗损失。西辽河流域径流衰减的深层逻辑正在于此:农业用水并非只消耗了当年水量,还透支了地下水系统多年积累的调蓄能力;河道断流并非只发生在少雨年份,而是地下水缓冲能力被削弱后的长期结果。

水库、引水工程和河道形态退化进一步改变了天然径流节律。西辽河流域现有水库206座、引水工程191座,工程体系在保障防洪、供水、灌溉和生态调度的同时,也改变了径流时空分配。上游水库拦蓄、沿程引水和灌区耗水减少了下游生态来水,长期断流后的主槽萎缩、河床淤积、砂质入渗和阻水障碍增加了生态补水损失。西辽河流域生态调度的难点集中在有限水量、冰情变化、宽浅砂质河槽、沿程入渗损失和多工程联合调度之间的动态匹配。

土地利用变化也在持续改变下垫面产汇流条件。根据武汉大学1985—2024年30 m空间分辨率全国土

表1 西辽河流域主要控制水文站2000年前后径流量年均值变化

站点	1956—1999年径流量年均值(万m ³)	2000—2020年径流量年均值(万m ³)	变化幅度(%)
郑家屯	86 771.0	2262.0	-97.4
海日苏	93 171.9	41 322.5	-55.6
兴隆坡	75 365.4	11 282.1	-85.0
梅林庙	30 821.0	10 570.3	-65.7

地利用分类数据,草原、农田、森林和裸地为西辽河流域主要土地利用类型,2024年草原占47.9%,农田占37.3%,森林占9.4%;水域占比由1985年的0.56%降至2024年的0.21%,水域净减少459.54 km²。西辽河流域土地利用结构变化特征见图2。林地增加有利于防风固沙和生态修复,水域萎缩削弱流域调蓄和湿地维持功能,建设用地扩张提高局地不透水面积比例。半干旱区生态修复必须服从水资源承载力约束,以水定绿、适水修复,才是西辽河流域生态治理的基本方向。

四、从阶段性补水转向系统性复苏的治理思路

西辽河复苏不能停留在单次生态补水和阶段性全线过流层面,应围绕水资源承载力约束、农业节水压采、生态水量精准调度、河道湿地修复和数字化监管,构建“控水、节水、调水、补源、复绿、监管”协同推进的系统治理格局。治理重点不在于单纯增加补水量,而在于降低流域耗水强度、恢复地下水调蓄能力、提高有限水量生态效益,推动西辽河由阶段性复流向常态化复苏转变。

1. 以水资源承载力约束发展规模

西辽河流域可利用水资源量有限,开发利用率已达114%,水资源开发强度突破常规承载边界。后续治理应把水资源承载力作为流域发展和生态修复的刚性约束,围绕可利用水资源量、地下水水位控制目标和河道生态流量需求,明确用水总量上限、地下水开采红线和重要断面生态水量底线。粮食生产、灌溉面积、产业布局、城镇发展和生态建设均应纳入水资源承载力约束框架,推动流域发展方式由“以取水支撑发展”

转向“以节水约束增长、以生态限定开发”。

地下水超采区、断流敏感区和重要湿地补给区应实行差异化管理。地下水严重超采区严格控制新增取水 and 新增机电井,压减不合理井灌面积;断流敏感河段强化生态水量保障和沿程取水监管;重要湿地补给区统筹河道补水、旁侧水库蓄水和地下水回补。水资源配置目标应从保障生产用水为主,转向生活、生产、生态和地下水恢复多目标协调。

2. 把农业节水作为第一生态水源

农业扩张和井灌发展是西辽河流域径流衰减的重要人类驱动因素。未来应把农业节水作为生态复苏的基础水源,而不是一般性配套措施。灌区应推进续建配套与现代化改造,减少输配水损失,推广管道输水、喷滴灌、水肥一体化、墒情监测和智能灌溉,提高农业用水效率。地下水超采区应优化种植结构,压减高耗水作物种植面积和低效灌溉面积,推动作物布局与水资源条件相匹配。

农业节水的关键在于“节水量转化”。节水成效不能只体现为灌溉水有效利用系数提高,还要体现为地下水开采量下降、控制断面下泄水量增加、生态补水保障能力增强。应建立水权分配、取水计量、用水定额、超定额累进加价和节水奖励机制,防止节水后新增灌溉面积或新增产业重新消耗节约水量,避免形成“效率提高—面积扩大—总耗水不降”的反弹。

3. 以地下水压采支撑基流恢复

地下水恢复是西辽河从阶段性过流走向常态化复苏的根基。河道生态调度只有推进水头实现地下水回升才能保障枯水期基流。当前地下水埋深大、超采区面积广,地下水压采必须从辅助措施提升为核心任务。

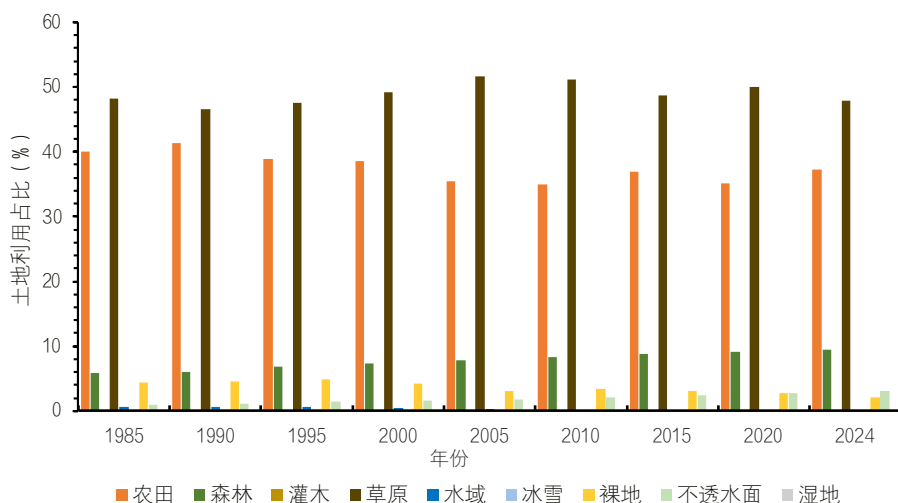


图2 西辽河流域1985—2024年土地利用结构变化特征

超采区应实行分区分类治理。严重超采区继续严格控制新增机电井,封停非法井、无证井和低效高耗井;一般超采区实行年度开采量控制和地下水水位考核;具备替代水源条件的灌区推进地表水、再生水、雨洪资源化水量替代地下水。地下水水位应成为西辽河复苏成效评价的核心指标,不能只用过流长度和补水量评价治理效果。

生态补水和雨洪资源化调度也要服务地下水回补,春季调度重在水头贯通,汛期调度重在洪水资源化和旁侧水库蓄滞,秋冬调度重在增加槽蓄和土壤水补给。不同季节侧重不同修复功能,才能把单次补水变成连续水循环修复。

4. 推进水库群联合调度和洪水资源化利用

西辽河水量有限,精准调水是提升生态效益的关键。调度不能简单追求更大下泄流量,也不能只追求水头到达下游某一断面。合理调度应根据河道主槽稳定、控制断面流量、沿程入渗损失、湿地补水需求和防洪安全等因素共同确定流量过程。

春季调度应抓住冻土未完全开化、农业灌溉尚未全面启动、河道损失相对较小的窗口期,通过水库群联合下泄维持水头连续推进。融冰期和开河期需根据冰情、气温和控制断面流量动态调整水库组合泄流,避免水量过小导致水头衰减,也避免水量过大造成漫滩扩散和洪峰叠加。朱钦博等提出的 $20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $50 \sim 60 \text{ m}^3/\text{s}$ 和海日苏断面 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右等调度阈值,为春季生态调度提供了关键技术依据。

汛期调度应从防洪单目标转向防洪安全约束下的洪水资源化利用。西辽河流域降水集中,洪水历时短,若只快速下泄,生态收益有限;若在安全边界内通过水库、枢纽、旁侧平原水库和湿地节点进行联合调蓄,可将短历时洪水转化为河道复流、湿地补水和地下水回补水量。吴博等提出“控洪、用洪、塑洪”协同模式,并认为控制下泄流量约 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 有利于维持生态主槽稳定。这一思路应成为西辽河汛期生态调度的重要方向。

5. 修复河道主槽和湿地节点,提高有限水量生态效益

长期断流后的西辽河河道已经不是稳定输水通道。主槽萎缩、砂质河床入渗、局部淤积、阻水障碍和河道内不合理利用,都会削弱生态补水效率。水量调度必须与河道整治同步推进,否则调来的水容易在上中游消耗,难以形成持续生态效益。

河道治理不宜简单硬化,而要围绕生态主槽稳定开展。重点清理阻水片林、围堤、砂坑、涉河障碍和不

合理种植区域,恢复连续主槽,提高水头推进效率,减少漫滩无效扩散。对宽浅砂质河段,应通过适宜流量塑造主槽,依靠稳定水动力过程逐步恢复河床边界。河道整治的目标不是把河流改造成渠化水道,而是恢复“可输水、可补给、可栖息、可调度”的生态河槽。

湿地节点修复应与河道复流同步设计。孟家段、莫力庙等平原水库和湿地具备蓄水、入渗、调节局地气候和支撑生物多样性的综合功能。通过生态补水、洪水资源化入库和湿地滞蓄,可以延长水量停留时间,扩大生态受益范围,促进浅层地下水回升。西辽河复苏不能只看干流一条线,必须重建河道与旁侧湿地、水库、滩地和地下水之间的横向联系。

6. 坚持以水定绿,推动生态修复从增绿转向适水

西辽河流域生态修复不适合无限度增绿。半干旱区生态建设的核心不是把所有区域都变绿,而是在水资源可承载范围内恢复稳定、低耗水、抗旱性强的生态系统。武汉大学1985—2024年30 m空间分辨率全国土地利用分类数据显示,西辽河流域1985—2024年林地增加、水域减少,生态修复和水资源衰减并存。这要求西辽河流域生态治理从“覆盖度导向”转向“水分适配导向”。

地下水埋深较浅、河道补水条件较好的区域,可恢复河岸带湿地、灌草复合植被和局部乔木群落;地下水埋深较大、降水不足、沙化敏感区域,应以恢复耐旱草本、灌木和乡土植物为主,控制高耗水人工林;草场退化区应通过封育、轮牧、补播和沙障固沙等措施恢复稳定植被,不宜片面追求高密度造林。

以水定绿的核心,是让生态建设服务水循环恢复,而不是形成新的水分竞争。西辽河流域需要的是能够稳定固沙、涵养水分、削弱风蚀作用、维持河岸带生态功能的适水植被体系,而不是超出水资源条件的高耗水绿化工程。

7. 建设数字孪生西辽河,提高调度决策精度

西辽河复苏越来越依赖精细化调度。水库下泄多少水量、何时下泄、水库调度顺序如何确定、控制断面维持多大流量、沿程损失多少水量、湿地节点何时补水,这些问题都需要进行实时监测、模型预演和动态修正。当前,西辽河流域管理仍存在水文信息感知能力不足、工程精细化调控能力不够等问题,需加快推进数字孪生西辽河建设。

数字孪生西辽河应整合水文、气象、地下水、取用水、遥感、无人机、河道地形、水库闸坝和生态监测数据,形

成预报、预警、预演、预案能力。春季调度重点模拟水头推进和融冰期风险,汛期调度重点模拟洪水资源化和防洪安全边界,枯水期重点评估地下水回升状况、河道有水历时和湿地生态效益。没有数字化感知和水动力模拟支撑,精准调水容易停留在经验层面;有了数字孪生平台,西辽河复苏才能从“经验调度”走向“全过程主动管理”。

五、结论与建议

西辽河流域径流衰减具有明显的阶段性、累积性和系统性特征,已由单一水文过程变化演变为地表水、地下水和河湖湿地生态功能共同退化的流域问题。2000年前后径流过程发生显著转折,干流长期断流、地下水持续亏损和湿地草场退化相互叠加,显示流域水循环已由相对稳定状态转入高强度开发利用下的亏缺状态。西辽河复苏应更加关注河道有水过程能否稳定维持、地下水水位能否止降回升、湿地节点能否恢复补水、流域用水强度能否回到承载范围内。

西辽河流域径流衰减的主导矛盾,集中在有限水资源条件与高强度开发利用之间。气候暖干化削弱了天然产流基础,农业扩张、井灌发展和地下水超采改变了流域水量分配格局,工程调控和下垫面变化进一步影响了河道来水过程。后续治理应从“补水通河”转向“水资源系统修复”,把河道复流、地下水恢复、湿地修复、农业节水 and 沙地生态屏障建设纳入同一治理框架。

基于相关分析,建议将水资源承载力作为西辽河流域复苏治理的刚性边界,统筹推进农业节水、地下水压采、水库群联合调度、河道主槽整治、湿地节点修复和适水生态建设。农业节水要转化为生态水量和地下水回补量,地下水超采治理要从控制开采转向压采与回补并重,生态调度要从追求水头推进转向保障流量、历时、水位和生态效应,河道湿地修复要从单点补水转向河道-湿地-地下水协同恢复。

西辽河治理应以常态化复苏为目标,以数字孪生和全过程监管为支撑,建立“控水、节水、调水、补源、复绿、监管”协同推进机制。通过压减超载开发、提高有限水量生态效益、恢复地下水调蓄能力和增强河湖生态韧性,推动西辽河从阶段性复流走向常态有水,从工程补水走向流域水资源可持续利用和绿色协调发展。

参考文献:

- [1] 李国英.建构河流伦理的中国实践[J].中国水利, 2024(21):扉页.
- [2] 王晓红,张建永,史晓新.母亲河复苏行动总体思路

与对策[J].中国水利, 2022(20):48-51.

- [3] 林岚.西辽河生态复苏进展与对策[J].中国水利, 2024(21):49-53.
- [4] 马飞华,田云,陈若曦,等.内蒙古自治区西辽河流域水资源开发利用分析[J].内蒙古水利, 2024(12):69-70.
- [5] 王亚东,马圣琦,李立,等.关于内蒙古西辽河流域“量水而行”的几点思考[J].内蒙古水利, 2023(1):6-9.
- [6] 水利部松辽水利委员会.西辽河:量水而行 碧波再现[J].中国水利, 2022(7):前插14-17.
- [7] 张宇,吴计生,刘洪超,等.西辽河流域典型河流径流变化趋势及突变分析[J].中国水土保持, 2023(8):43-47.
- [8] 乔志刚,马圣琦,杨栋.内蒙古西辽河流域河流断流严重程度分级研究[J].内蒙古水利, 2025(11):7-8.
- [9] 贾玲.内蒙古西辽河流域河流断流(干涸)情况调查分析[J].内蒙古水利, 2024(7):52-54.
- [10] 林岚.西辽河生态水量调度总体思路及措施效果[J].中国水利, 2025(23):44-49.
- [11] 严聆嘉,何鑫,陆垂裕,等.西辽河平原区地下水埋深变化趋势与超采分析[J].水文, 2021, 41(6):96-102.
- [12] 王志春,陈素华,李超.近57年西辽河流域气候变化特征分析[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41(1):42-48.
- [13] 王宣宣,刘欢,胡鹏,等.基于水量平衡原理和Budyko假设的强人类活动干扰下西辽河流域径流衰减归因分析[J].水资源保护, 2024, 40(6):165-172.
- [14] 郭晓东,刘强,李文鹏,等.西辽河平原地下水失衡及其与土地利用的互馈关系[J].水文地质工程地质, 2024, 51(4):77-87.
- [15] 于叶翔,章光新,孙敬轩,等.西辽河流域地下水储量变化特征及其驱动因素[J].南水北调与水利科技(中英文), 2025, 23(4):975-986.
- [16] 唐世南,丁跃元,于丽丽,等.内蒙古西辽河流域量水而行以水定需治理思路[J].水利规划与设计, 2019(11):28-31.
- [17] 朱钦博,潘英华,王海玲.融冰期西辽河主要控制断面流量变化规律及水库优化调度策略[J].中国水利, 2025(21):41-46.
- [18] 陈慧敏,赵宇,付晓,等.西辽河上游生境质量时空演变特征与影响机制[J].生态学报, 2023, 43(3):948-961.

- [19] 孟凡傲, 吴计生, 邵文彬, 等. 1980—2020年西辽河重要支流土地利用变化对比分析[J]. 中国水土保持, 2024(10): 71-74.
- [20] 王红瑞, 王建华, 左其亭, 等. 水资源刚性约束制度建设的实现路径[J]. 人民长江, 2023, 54(5): 1-8.
- [21] 朱党生, 张建永, 王晓红, 等. 关于河湖生态环境复苏的思考和对策研究[J]. 中国水利, 2022(7): 32-35.
- [22] 李原园, 李云玲, 邢西刚, 等. 《节约用水条例》立法思路与制度设计[J]. 水利发展研究, 2025, 25(2): 55-60.
- [23] 赵紫薇, 杨哲, 张全旺, 等. 考虑预报不确定性的梯级水库群联合优化调度[J]. 水利水电科技进展, 2025, 45(4): 67-75.
- [24] 王道席, 张婕, 杜得彦. 黑河生态水量调度实践[J]. 人民黄河, 2016, 38(10): 96-99.
- [25] 段瞳, 王天宇, 马彪. 雅砻江流域水量统一调度方式研究[J]. 水利规划与设计, 2025(7): 7-13.
- [26] 汪洪泽, 周炫, 陈思. 基于气温与融雪径流相关分析的西辽河春季生态流量调度起调条件研究[J]. 东北水利水电, 2025, 43(5): 18-21+71.
- [27] 关雪, 谢艾楠, 谢森. 2022年汛期西辽河干流脉冲式生态调度探析[J]. 东北水利水电, 2023, 41(7): 25-27.
- [28] 吴博, 李光华, 尹雄锐, 等. 西辽河流域生态调度实践与洪水资源化利用效应研究[J]. 中国水利, 2026(6): 30-35.
- [29] 陈根, 余三敏, 那钦. 西辽河岸线保护和利用的实践与思考[J]. 内蒙古水利, 2025(9): 48-49+64.
- [30] 王冠军, 刘卓, 戴向前, 等. 河湖长制背景下复苏河湖生态环境路径探析[J]. 中国水利, 2024(10): 42-46.
- [31] 惠仲德. 陕西省河湖生态环境复苏工作实践与思考[J]. 中国水利, 2024(1): 34-37.
- [32] 陈敏建, 张秋霞, 汪勇, 等. 西辽河平原地下水补给植被的临界埋深[J]. 水科学进展, 2019, 30(1): 24-33.
- [33] 金思凡, 党磊, 廖晓玉, 等. 数字孪生西辽河构建与河道水流演进模型应用[J]. 中国水利, 2025(23): 50-57.
- [34] 李云玲, 宋秋波, 刘为锋, 等. 国家水网调度指挥体系构建思路与路径探讨[J]. 中国水利, 2025(11): 1-7.

责任编辑 田灵燕

(上接第27页)乡供水数字化平台迭代、水厂数智化改造、数字孪生“四预”场景落地、智慧运维体系构建,走出适配平原、山区、海岛差异化需求的农村规模化供水数智化建设路径。面向共同富裕示范区建设新要求,浙江将持续锚定农村供水数字化管理走在全国前列目标,坚持系统观念、实战导向,不断升级“浙水好喝”城乡供水数字化平台,深化数字孪生场景应用,实现农村规模化供水“全域感知、智能研判、精准调控、高效服务”,以数智赋能守护农村饮水安全,为建设共同富裕示范区筑牢水安全保障。

参考文献:

- [1] 水利部. 关于大力推进智慧水利建设的指导意见 [A]. 2021.
- [2] 水利部. 智慧水利建设顶层设计: 水信息 [2021] 323号 [A]. 2021.
- [3] 蔡阳. 以数字孪生流域建设为核心 构建具有“四预”功能智慧水利体系[J]. 中国水利, 2022(20): 2-6+60.
- [4] 陈明忠. 农村供水高质量发展的路径思考[J]. 中国水利, 2024(15): 3-6.
- [5] 胡孟, 李连香, 徐玮彤. 数字孪生农村供水工程建设思考[J]. 中国水利, 2026(2): 11-18.
- [6] 浙江省人民政府. 浙江省农村供水保障办法: 浙江省人民政府令第400号 [A]. 2024.
- [7] 李斌, 孙毅, 吕育锋, 等. 基于数字孪生的农村供水智能决策协同支持平台构建[J]. 中国水利, 2023(11): 28-31.
- [8] 赵翠, 孙付增, 刘少博, 等. 基于数字孪生技术的农村供水管理系统框架设计[J]. 人民长江, 2022, 53(4): 226-230.
- [9] 章春水, 叶开良, 李强, 等. 农村供水工程: 智慧水站试点建设与推广[J]. 中国水利, 2020(18): 81-82.
- [10] 倪莉, 王丽珍, 蒋雨彤, 等. 加快健全水利新质生产力技术标准体系工作分析思考[J]. 中国水利, 2025(14): 13-17.
- [11] 丁敏冲, 艾珊珊, 孙聪. 山区县域农村供水统管的实践探索与优化路径: 以浙江省丽水市为例[J]. 浙江水利科技, 2025, 53(6): 23-27.
- [12] 李连香, 苏庆亮, 闻童, 等. 县域农村饮水安全标准化建设探讨[J]. 中国水利, 2025(3): 37-42+30.
- [13] 夏润亮, 李涛, 余伟, 等. 流域数字孪生理论及其在黄河防汛中的实践[J]. 中国水利, 2021(20): 11-13.
- [14] 胡孟, 闻童, 姚彬, 等. 农村供水标准化发展思考[J]. 中国农村水利水电, 2025(12): 118-122.

责任编辑 杨文杰