

塔里木河流域水资源优化配置研究

刘佳琪

新疆维吾尔自治区塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心 新疆 巴音郭楞蒙古自治州 841000

摘要: 本文以中国最大内陆河塔里木河流域为研究对象,系统梳理其水资源禀赋特征、开发利用现状,深入分析流域内水资源供需失衡、生态用水被挤占、利用效率偏低等突出问题,剖析自然禀赋约束与人为开发不当的双重成因。构建兼顾经济、社会、生态效益的多目标水资源优化配置模型,通过不同情景模拟验证模型合理性,提出统一调度、农业节水、生态补水等优化路径及配套保障措施,为缓解流域用水矛盾、保障生态安全、推动区域经济社会与生态环境协同可持续发展提供理论支撑与实践参考。

关键词: 塔里木河流域; 水资源; 优化配置

引言: 塔里木河流域是南疆生态安全的重要屏障、国家能源基地与多民族聚居区,干旱少雨的气候特征决定了水资源是维系区域生存发展、生态平衡的核心命脉。当前,流域水资源时空分布极不均衡,供需矛盾日益突出,粗放式用水模式与生态环境恶化问题相互交织,严重制约区域高质量发展。在此背景下,开展塔里木河流域水资源优化配置研究,破解用水难题、筑牢生态屏障,对推动流域可持续发展、保障南疆稳定具有重要的现实意义与战略价值。

1 塔里木河流域水资源概况及利用现状

1.1 流域概况

(1) 自然地理与水系特征: 作为中国最大内陆河,流域总面积102万平方千米,三面环山、中心为塔克拉玛干沙漠,地势西高东低,由九源一干构成,干流全长1321千米,最终注入台特玛湖。(2) 气候与水文特征: 属温带干旱大陆性气候,干燥少雨、蒸发强烈,多年平均降水量仅116.8毫米;径流以高山冰川融水为主,夏季来水集中,上中下游水量依次递减。(3) 社会经济概况: 是南疆多民族聚居区,兼具能源基地与生态屏障功能,农业为主要产业,近年来人口与经济发展带动用水需求攀升。

1.2 流域水资源禀赋

(1) 水资源总量及构成: 总量429亿立方米,其中天然径流量398.3亿立方米,不重复地下水资源量30.7亿立方米,冰川融水、雨雪混合、地下水补给占比分别为40%、37%、23%。(2) 水资源时空分布特征: 时间上夏季水量占年总量60%~80%,年际变化稳定;空间上山地区多、平原少,河道径流呈耗散型,上下游分布不均。(3) 水资源质量现状: 整体良好,博斯腾湖水水质稳定保持III类,台特玛湖生态水位达标,局部存在水质性缺水隐患。

1.3 流域水资源开发利用现状

(1) 用水结构分析: 农业用水占比超90%,是主要耗水项,工业与生活用水占比低但需求增长较快。(2) 水利工程建设与运行现状: 已建成大石峡等重大水利枢纽及多座水库、渠系,实现“九源一干”统一调度,但部分工程仍有完善空间。(3) 水资源利用效率水平: 农田灌溉水有效利用系数逐步提升,但农业漫灌等粗放方式仍存在,整体效率有待提高^[1]。

1.4 水资源开发利用存在的基础问题

(1) 水资源供需失衡初现: 经济社会发展导致需水增加,水资源总量有限,供需缺口逐步扩大。(2) 利用方式较为粗放: 农业节水技术推广不足,输配水渗漏损失较大,水资源浪费现象存在。(3) 生态用水保障不足: 生态用水长期被挤占,下游植被退化、沙化问题突出,虽经生态输水改善,但整体亏水状况未根本改变。

2 塔里木河流域水资源配置存在的问题及成因分析

2.1 水资源配置核心问题

(1) 供需矛盾突出且持续加剧: 流域水资源总量有限,随着人口增长、农业扩张及工业发展,需水量逐年攀升,而水资源补给增长缓慢,供需缺口持续扩大,尤其枯水期缺水问题更为突出,制约区域经济社会可持续发展。(2) 生态用水被挤占,生态系统退化: 经济社会用水优先于生态用水,下游河道断流、湖泊萎缩现象时有发生,沿岸植被退化、土地沙化加剧,湿地生态功能衰退,流域生态屏障作用受到严重影响。(3) 水资源利用效率低下,浪费严重: 农业漫灌等粗放用水方式仍较普遍,输配水工程渗漏损失较大;工业用水重复利用率偏低,生活用水节水设施普及不足,水资源浪费现象较为突出。(4) 区域间、部门间配置不均衡: 上游地区用水过量,下游地区供水不足;农业用水占比过高,工业、生活及生态用水分配占比不合理,区域与部门间用水矛

盾日益凸显。

2.2 自然因素成因

(1) 气候变暖导致水资源补给不稳定：全球气候变暖使高山冰川消融速度加快，短期虽增加径流量，但长期将导致冰川储量减少，补给能力下降，同时极端天气增多，进一步加剧水资源补给的不确定性。(2) 水资源时空分布不均的先天制约：流域降水稀少且集中在山区，平原地区干旱少雨，径流主要依赖冰川融水，夏季来水集中、冬春季匮乏，空间上山区多、平原少，上下游分布失衡，先天制约水资源合理配置^[2]。(3) 流域生态系统脆弱，自我修复能力弱：流域地处于干旱半干旱地区，植被覆盖率低，土壤贫瘠，生态系统结构简单，一旦受到水资源短缺影响，植被退化、沙化等问题难以快速恢复，形成恶性循环。

2.3 人为因素成因

(1) 产业结构不合理，高耗水产业占比偏高：流域经济以农业为主，棉花等高耗水作物种植面积较大，工业中高耗水项目占比偏高，产业结构与水资源禀赋不相匹配，加剧用水压力。(2) 水资源管理体制不健全，多头管理突出：流域水资源管理涉及多个部门、多个区域，权责划分不清晰，缺乏统一高效的调度管理机制，存在各自为政、无序用水现象，影响配置效率。(3) 节水技术推广滞后，节水意识薄弱：农业节水灌溉技术普及范围有限，工业节水改造投入不足，公众节水意识不强，节水宣传力度不够，导致节水措施落实不到位，水资源利用效率难以提升。(4) 水权制度不完善，市场化配置缺失：水权界定不清晰、流转机制不健全，缺乏有效的水资源市场化配置手段，水资源价格形成机制不合理，难以通过市场杠杆引导节水和优化配置。

3 塔里木河流域水资源优化配置模型构建

3.1 优化配置的目标与原则

(1) 优化配置目标：核心是实现流域水资源供需平衡，兼顾经济社会发展与生态保护，提高水资源利用效率，减少浪费，保障生态用水足额供给，缓解区域、部门间用水矛盾，推动流域经济社会与生态环境可持续发展。(2) 优化配置原则：遵循可持续发展原则，统筹经济、社会、生态三方需求；坚持公平性原则，合理分配区域、部门间水资源；秉持高效性原则，推广节水技术，提升利用效率；恪守系统性原则，结合流域自然与社会特征，实现水资源整体优化。

3.2 优化配置模型的构建基础

(1) 模型边界与计算单元划分：以塔里木河流域九源一干为整体边界，结合行政区域、水系分布，将流域

划分为山区、平原绿洲、下游生态区等计算单元，明确各单元用水类型与水量交换关系，确保模拟精准性。(2) 数据来源与处理：数据来源于流域水文站观测资料、水利工程统计数据、社会经济统计年报及生态监测数据，对缺失数据采用插值法补充，对异常数据进行筛选校正，统一数据格式与口径，为模型构建提供可靠支撑^[3]。(3) 约束条件确定：主要包括水资源总量约束，确保用水不超过流域可利用水资源量；供需平衡约束，匹配各单元、各部门用水需求与供给量；生态用水约束，保障核心生态区域最低需水量；工程运行约束，结合水利工程调度能力设定供水上限。

3.3 水资源优化配置模型构建

(1) 目标函数构建：以流域水资源利用效率最大化、生态环境改善程度最大化、经济社会效益最优为多目标，构建非线性目标函数，量化各目标权重，兼顾各方需求，实现综合效益最优。(2) 模型求解方法选择：结合模型非线性、多约束的特点，选择遗传算法进行求解，该方法适配多目标优化问题，收敛速度快，能有效找到全局最优解，满足流域水资源优化配置的需求。(3) 模型验证与校准：采用流域历史水文、用水数据对模型进行验证，对比模拟值与实际值的偏差，调整模型参数，确保偏差控制在合理范围，提升模型的可靠性与适用性。

3.4 不同情景下的优化配置模拟

(1) 基准情景模拟：以当前水资源开发利用模式为基准，不改变现有节水措施与用水结构，模拟未来一定时期内流域水资源供需状况，作为后续情景对比的参照。(2) 节水情景模拟：假设推广高效节水技术、优化种植结构、普及节水设施，设定不同节水率，模拟该情景下水资源分配情况，分析节水措施对供需平衡的改善效果。(3) 生态优先情景模拟：优先保障生态用水足额供给，调整用水结构，压缩高耗水产业用水，模拟该情景下生态恢复效果与经济社会用水保障程度，为生态保护导向的配置方案提供依据。

4 塔里木河流域水资源优化配置实施路径与保障措施

4.1 优化配置实施路径

(1) 强化流域水资源统一调度与管理：建立九源一干一体化调度机制，明确各区域、各部门用水配额，统筹协调上下游、左右岸用水需求，严格执行水量调度计划，加强调度监督考核，杜绝无序用水、超量用水，实现水资源统筹兼顾、合理调配，提升调度的科学性与高效性。(2) 推进农业节水与产业结构调整：聚焦农业高耗水短板，大力推广滴灌、喷灌等高效节水灌溉技术，减少漫灌等粗放用水方式；优化种植结构，压缩棉花等高

耗水作物种植面积,因地制宜发展节水型农业、特色林果业;推动工业转型升级,淘汰高耗水、低效益项目,推广工业水循环利用技术,降低工业单位产值耗水量,实现产业发展与水资源禀赋相适应。(3)完善生态补水机制,保障生态用水:明确流域生态用水底线,将生态用水纳入水资源统一配置,建立常态化生态输水机制,重点保障下游台特玛湖、沿岸湿地等核心生态区域的生态需水量;根据流域水文情势,动态调整生态输水量与输水时段,改善下游生态环境,促进植被恢复、遏制土地沙化,维护流域生态平衡^[4]。(4)健全水权制度,推进市场化配置:清晰界定区域、部门及用户的水权,建立水权登记、确权、流转机制,鼓励水权跨区域、跨部门交易;完善水资源价格形成机制,合理制定水价,实行阶梯水价、超额累进加价制度,发挥市场杠杆作用,引导用户主动节水,优化水资源配置效率。

4.2 工程保障措施

(1)完善水利工程体系,提升调蓄能力:加快推进大石峡、阿塔塔什等重大水利枢纽后续建设,扩建、新建中小型水库,提升流域水资源调蓄能力,缓解枯水期供水压力;疏通干流及主要支流河道,改善输水条件,保障河道畅通,提高水资源输送效率。(2)推进灌区现代化改造,降低输水损失:对现有灌区进行节水改造,更新老化输配水管道、渠系,采用防渗技术,减少输水过程中的渗漏损失;推进灌区信息化建设,实现灌溉用水精准调控,提升灌区用水效率,推动灌区从传统灌溉向现代化灌溉转型。(3)加强水资源监测体系建设:构建覆盖流域九源一干的水资源监测网络,完善水文站、水位站、水质监测站布局,运用物联网、大数据等技术,实现水资源量、水质、用水情况的实时监测、动态预警;建立监测数据共享平台,为水资源调度、优化配置提供数据支撑。

4.3 非工程保障措施

(1)健全水资源管理体制与法规政策:完善流域水资源管理法律法规,明确管理权责,打破多头管理格局,建立统一、高效的流域水资源管理机构;出台水资源优化配置相关配套政策,强化政策执行力度,规范用水行

为,保障优化配置措施落地见效。(2)加大节水技术研发与推广力度:加大科研投入,联合科研院校开展节水技术攻关,研发适配塔里木河流域特点的高效节水技术与设备;建立节水技术推广体系,通过技术培训、示范引领等方式,推动节水技术在农业、工业、生活等领域广泛应用,提升整体节水水平。(3)强化宣传教育,提升全民节水意识:通过媒体宣传、社区宣讲、校园教育等多种形式,普及水资源短缺现状、节水知识与相关政策,增强全民节水紧迫感与责任感;培育节水文化,引导公众养成节水习惯,形成“人人节水、爱水、护水”的良好社会氛围。(4)建立生态补偿机制与利益协调机制:设立流域生态补偿专项资金,对生态保护区、节水成效显著地区给予补偿,调动各方参与生态保护与节水的积极性;建立区域、部门间利益协调机制,妥善解决水资源配置过程中的利益矛盾,凝聚优化配置工作合力。

结束语

综上所述,塔里木河流域水资源优化配置是一项长期复杂的系统性工程,核心在于统筹协调经济发展、社会需求与生态保护三者关系,破解水资源供需失衡、配置不合理等核心痛点。本文构建的优化模型与提出的实施路径,为流域水资源科学调配、高效利用提供了可行解决方案。未来需持续完善水利工程体系、健全协同管理机制、推广先进节水技术,强化多主体协同发力,推动水资源利用与生态保护良性循环,助力流域实现高质量可持续发展。

参考文献

- [1]洪良鹏.基于工程格局优化的塔里木河流域水资源优化配置[J].人民珠江,2024,45(06):20-29.
- [2]王磊,赵敏.塔里木河流域水资源利用现状与管理对策分析[J].西北水资源,2020,41(2):78-85.
- [3]朱文静.塔里木河下游多目标水资源配置方案研究[J].地下水,2022,44(02):213-215.
- [4]丁强强.塔里木河水资源优化配置方案研究[J].能源与节能,2021,(06):70-72.