

流域水文水资源平衡分析与水资源配置研究

马煜东 何迎港

黄河水利委员会宁蒙水文水资源局 内蒙古 包头 014000

摘要：文章聚焦流域水文水资源平衡分析与水资源配置。阐述平衡分析基于物质守恒定律，通过量化收支项目构建平衡方程，还介绍了水文模型法、水量平衡法、遥感与GIS技术等分析方法。论述水资源配置需遵循可持续利用、公平与效率兼顾、生态优先原则，并介绍了多目标优化模型、模拟-优化模型、基于情景分析的配置方法等技术。研究旨在为流域水资源合理开发、高效利用与有效保护提供科学依据。

关键词：流域水文；水资源平衡分析；水资源配置

引言

流域作为自然地理单元，其水文水资源系统复杂且动态。流域水文水资源平衡分析是理解该系统的关键，能揭示水资源收支状况与动态变化规律。水资源配置则是在此基础上，对有限水资源进行合理分配与调度，以实现可持续利用和高效配置。随着经济社会发展与气候变化，流域水资源面临诸多挑战。深入剖析流域水文水资源平衡与配置，助力水资源可持续管理。

1 流域水文水资源平衡分析与水资源配置的基本概念

流域水文水资源平衡分析是深入理解该体系的关键手段，它基于物质守恒定律，聚焦于特定时空范围内流域水资源的收支状况。在这个过程中，水资源的收入来源多样，主要包括降水、地表径流流入以及地下径流流入等。降水是流域水资源的直接补给，地表径流流入和地下径流流入则反映了流域与周边区域的水量交换。而水资源的支出项涵盖蒸发、地表径流流出、地下径流流出以及人类用水消耗等。蒸发是水资源从液态转化为气态返回大气的重要途径，地表径流流出和地下径流流出体现了流域水资源的输出，人类用水消耗则与经济社会发展密切相关。通过对这些收支项目的量化分析，构建流域水文水资源平衡方程，能够清晰呈现流域水资源的转化与迁移过程，为准确把握流域水资源的动态变化规律提供基础数据支撑。水资源配置则是在流域水文水资源平衡分析的基础上，依据一定的原则和方法，对流域内有限的水资源进行合理分配与调度。流域水资源配置旨在平衡区域与部门用水需求，达成可持续与高效配置。综合考量生活、生产、生态多领域需求及资源承载能力，优化水资源用途分配，确保合理开发、高效利用与有效保护，推动水资源系统良性循环，实现长远可持续发展。

2 流域水文水资源平衡分析

2.1 基本原理

流域水文水资源平衡构建于物质守恒定律的核心框架之上，其本质在于揭示一定时空维度内，流域水资源收支体系的动态均衡机制。水资源收入体系由多重要素构成，大气降水作为最主要的补给源，通过降水强度、历时等要素影响水资源总量；地表径流流入与地下径流流入则受相邻流域水文过程驱动，构成区域间水资源交换的重要通道。支出维度中，蒸散发过程受控于气象条件与下垫面属性，是水资源消耗的关键路径；地表与地下径流流出维系着流域与外部水系的水量连通；人类用水消耗涵盖生活、生产等多领域取用水行为，直接改变水资源自然分配格局。通过系统化量化分析这些收支要素，可构建精准的流域水文水资源平衡方程。该方程能清晰呈现降水转化为径流、土壤水、大气水等不同形态的过程，还可揭示各环节间复杂的物质迁移规律。如降水经植被截留、土壤入渗、地表产流等过程发生再分配，部分转化为径流排出流域，部分以土壤水形式储存，剩余则通过蒸散发返回大气。这种量化解析为水资源系统的科学认知提供基础，支撑后续水资源管理决策的制定与优化。

2.2 分析方法

2.2.1 水文模型法

水文模型法作为流域水文水资源平衡分析的核心技术，通过构建数学模型实现对流域水文过程的数值模拟。当前应用广泛的模型类型主要包括分布式与集总式两种范式。分布式水文模型以流域下垫面空间异质性为建模基础，将流域离散为多个计算单元，每个单元可独立描述降水-径流转化、土壤水分运动等过程。这种精细的空间刻画能力使其能够准确捕捉地形起伏、土地利用差异等因素对水文过程的影响，尤其适用于地形地貌复杂、下垫面属性空间变异明显的流域系统。与之相对，集总式水文模型将流域视为单一整体，重点关注输入输入

出变量间的统计关系。该模型通过对流域整体水文响应特性的分析,建立降水、气温等外部驱动因素与径流等输出变量间的数学映射。因其计算流程简洁、参数需求较少,在水文资料有限、流域面积较小或数据获取困难的区域具备显著应用优势。两类模型各有侧重,为不同特征流域的水文水资源平衡研究提供了多样化技术选择^[1]。

2.2.2 水量平衡法

(1) 流域水文水资源平衡分析的核心方法——水量平衡法,以流域水量守恒原理为基石,通过集成实测与估算的多源水量数据,构建水量平衡方程实施量化分析。该方法的有效运用,高度依赖降水、蒸发、径流等核心水文要素的精确获取,需综合采用水文站长期监测数据、遥感反演成果及GIS空间分析技术。水文站观测数据为关键断面流量计算提供基础,遥感技术则实现蒸散量与土地利用信息的大面积快速获取,GIS平台进一步整合多元数据,实现流域空间属性与水文过程的深度耦合。(2) 依托上述数据基础建立的水量平衡方程,能直接计算流域水资源的收支状况。该方法凭借原理清晰、物理意义明确的特性,可快速评估流域水资源的总体平衡状态。(3) 通过对比不同时段的水量平衡计算结果,可对流域水资源演变趋势进行动态监测,为流域水资源的科学管理与可持续利用提供量化支撑,在水资源规划、供需分析等领域具有重要的应用价值。

2.2.3 遥感与地理信息系统技术应用

遥感(RS)技术凭借其宏观、动态、实时的观测优势,为流域水文水资源平衡分析提供丰富的基础数据。通过多光谱、热红外等遥感传感器,可获取植被覆盖度、土地利用类型、水体范围、地表温度等关键参数,这些信息直接影响蒸散发计算、产汇流模拟等水文过程。遥感技术能够突破地形与交通限制,实现数据匮乏区域的有效监测,填补传统观测手段的空白。地理信息系统(GIS)则以强大的空间分析与数据管理能力,实现多源异构数据的集成与处理。GIS平台可对遥感影像进行几何校正、信息提取,结合数字高程模型(DEM)、土壤属性数据等,构建流域空间数据库。通过空间插值、叠加分析等功能,GIS能够量化表达流域下垫面属性的空间分布特征,为水文模型参数率定与验证提供支撑。RS与GIS的有机结合,提升了流域水文过程的动态监测能力,更通过数据驱动与模型模拟的协同,显著提高水文水资源平衡分析的精度与效率,为复杂流域系统研究提供创新技术路径^[2]。

3 流域水资源配置

3.1 配置原则

3.1.1 可持续利用原则

(1) 流域水资源配置的核心在于保障资源可持续利用,其关键在于精准评估水资源承载能力,合理确定开发利用规模。水资源作为有限且动态循环的自然资源,过度开发会造成资源储备锐减,引发生态系统退化、地质灾害等一系列负面效应。(2) 为规避此类风险,需构建系统化评估机制,依据流域水资源的自然更新规律与再生潜力,科学设定开发利用上限。以地下水管理为例,应综合考量含水层补给速度与储量,利用水文地质模型实时监测地下水位动态变化。同时建立动态预警体系,当水位接近警戒线时,及时启动限采措施,结合人工回灌技术补充地下水源,确保水资源开发与生态保护达到动态平衡。(3) 通过严格控制水资源开发强度,维持水资源系统长期稳定的供需平衡,实现资源在不同时间尺度上的合理分配,从而确保水资源系统的持续稳定运行与可持续发展。

3.1.2 公平与效率兼顾原则

水资源配置的公平性与效率性需协同考量,以实现资源的合理分配与高效利用。公平性要求在配置过程中,全面权衡流域内不同区域、不同用水部门的实际需求。需针对各区域的自然条件、经济发展水平及人口分布差异,建立差异化的用水分配机制,保障各区域基本生活用水需求,避免因水资源分配不均导致区域发展失衡。效率性则强调通过优化水资源配置方案,减少水资源在使用过程中的损耗与浪费。借助先进的节水技术、科学的用水管理措施,提升水资源利用效率,降低单位产值的水资源消耗。在实际配置实践中,需构建公平与效率的平衡机制,运用多目标决策分析方法,综合评估不同配置方案对公平性与效率性的影响,寻求两者的最优平衡点,实现水资源在区域、部门间的公平分配与高效流转,提升水资源整体利用效益。

3.1.3 生态优先原则

(1) 流域水资源配置需将生态用水需求作为核心考量,因其对维持流域生态系统稳定及功能完整性具有决定性意义。流域生态系统的稳定运行,与河流基流、湖泊湿地水量等生态需水量的稳定供给密切相关,这些水量直接影响生物多样性保护、水质净化及生态景观维系等重要生态功能。(2) 科学界定生态需水量是水资源合理配置的基础,可运用Tennant法、河道内流量增加法等专业计算方法,精准确定不同生态功能区的需水规模。在此基础上构建以生态需水为刚性约束的配置体系,明确生态基流、湿地补水等关键指标,划定水资源利用的生态阈值。(3) 在保障生态用水刚性需求后,统筹协调

生产与生活用水分配,并通过实施生态补水工程、推进湿地修复项目等措施,系统性改善流域生态环境。通过稳定河流廊道生态系统、修复退化湿地等具体实践,维持生态系统结构与功能的完整性,实现水资源高效利用与生态环境保护的协同发展,推动流域可持续发展目标的达成^[3]。

3.2 配置技术与方法

3.2.1 多目标优化模型

多目标优化模型聚焦于流域水资源配置的多元目标,通过构建数学模型架构,探索满足经济效益、社会效益与生态效益最大化的水资源配置方案。在复杂的水资源系统中,不同目标间常存在相互制约与冲突关系,如经济发展用水需求与生态环境保护需求的矛盾。多目标优化模型运用先进的算法,如遗传算法、粒子群算法等,模拟自然进化过程中的选择、交叉与变异机制,在庞大的解空间中进行高效搜索,获取全局最优解或Pareto最优解集。这些算法通过不断迭代优化,权衡不同目标间的利弊得失,生成多样化的配置方案。决策者可根据实际需求,结合各方案在不同目标上的表现,综合评估并选择最适宜的水资源配置方案。该模型为水资源配置决策提供了科学、系统的分析工具,有助于实现水资源的综合效益最大化。

3.2.2 模拟-优化模型

(1)整合水文模拟模型与优化算法的模拟-优化模型,构建起系统化的水资源配置分析体系。该模型依托流域地形地貌、土壤属性及气象条件等基础数据,借助水文模拟模型对水资源系统的降水、径流、蒸散等过程开展精细化模拟,还原不同水资源配置情景下系统的运行实况,获取系统响应数据。(2)基于模拟所得数据,运用优化算法进行深度剖析,设定优化目标与约束条件,筛选契合实际需求的最优水资源配置方案。(3)此模拟-优化模型充分考量流域水资源系统的复杂特性与不确定性,可精准呈现水资源在各环节的转化迁移规律,显著提升水资源配置方案的科学性与可行性。与单一模型相比,模拟与优化的有机融合,为水资源配置决策提供更为全面、精确的依据,强化配置方案对复杂水资源

系统的适配能力。

3.2.3 基于情景分析的配置方法

基于情景分析的配置方法以应对未来不确定性为核心,通过设定多元未来发展情景,系统分析流域水资源的供需变化态势。情景设定涵盖人口增长、经济发展模式转变、气候变化等关键驱动因素,构建不同情景下的水资源供需模型。通过模拟各情景下的水资源供给量与需求量,评估潜在的水资源短缺风险与盈余状况,进而制定针对性的水资源配置策略。该方法能够有效捕捉未来可能出现的复杂变化,增强水资源配置方案的灵活性与适应性。在气候变化情景下,分析降水模式改变对水资源供给的影响,提前规划调水、蓄水等工程措施;在经济快速发展情景下,预测产业用水需求增长趋势,优化产业布局与用水结构。基于情景分析的配置方法为流域水资源的长期规划与动态管理提供有力支撑,助力提升水资源系统应对未来不确定性的能力^[4]。

结束语

流域水文水资源平衡分析与水资源配置研究对流域水资源管理至关重要。通过平衡分析,可清晰掌握流域水资源收支与动态变化;遵循相应原则,运用多种配置技术与方法,能实现水资源的合理分配与高效利用。未来,应优化分析方法与配置技术,充分考虑气候变化等不确定性因素,加强多学科交叉融合,提升流域水资源管理的科学性与精准性,保障流域水资源系统的健康稳定,为经济社会的可持续发展提供坚实的水资源保障。

参考文献

- [1]唐晓宇,刘铁,黄粤,潘晓辉,凌瑜楠,彭佳宾,张鹏,尚喻.开都河流域水-能源-生态综合收益下的水资源优化配置[J].南水北调与水利科技(中英文),2025,23(1):90-98.
- [2]周蕾.基于二元视角的艾丁湖水资源配置与保护研究[J].云南水力发电,2025,41(4):21-26.
- [3]赖苹,曹国华.基于直觉模糊联盟合作博弈的我国主要流域水资源优化配置研究[J].中国环境管理,2024,16(4):71-79+90.
- [4]苏植生.中山南区水资源供需平衡分析和优化配置论证研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(3):106-110.