

基于水文模型的流域水资源优化配置方案设计

何 凯

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：流域水资源系统复杂，具系统性、动态性与多目标性。水文模型可模拟预测水文现象。基于其开展流域水资源供需分析，包括构建校准模型、模拟计算水资源量、预测用水需求。构建优化配置模型要设定目标、确定约束条件、选用求解方法。最后，制定方案要遵循原则，分阶段实施并加强监测监督，通过科学评估指标与方法检验成效。

关键词：水文模型；流域水资源；优化配置；供需分析；方案设计

引言：在当今水资源日益紧张的形势下，合理配置流域水资源意义重大。流域水资源系统具有系统性、动态性与多目标性等特征，水文模型作为模拟预测水文现象的关键工具，为水资源分析提供支撑。基于水文模型开展流域水资源供需分析，能精准模拟水资源量、预测用水需求。在此基础上构建流域水资源优化配置模型，设定科学目标与约束条件，并选用合适求解方法。最后，遵循相关原则实施并评估配置方案，以实现流域水资源的高效、公平与可持续利用。

1 流域水资源系统与水文模型基础

1.1 流域水资源系统的特点

流域水资源系统作为一个高度复杂且精妙的体系，是由水文循环、水资源供需关系以及水利工程等诸多关键要素相互交织、共同作用而构建起来的。（1）该系统具备显著的系统性特征。流域内的地表水、地下水与降水等各类水文要素并非孤立存在，而是通过复杂的物理、化学和生物过程紧密相连、相互转化。例如，降水一部分形成地表径流汇入江河湖泊，另一部分则下渗成为地下水，二者又通过泉水等方式相互补给，共同构成一个有机统一的整体。（2）其动态性也十分突出。受气候波动、季节更替等因素影响，水资源的数量和质量处于持续变化之中。在雨季，水资源量相对充沛；而在旱季，则可能面临短缺。同时，水质也会因降水冲刷、人类活动等因素而改变。（3）流域水资源系统具有多目标性，需兼顾生活、生产和生态等多方面用水需求，不同目标间常存在冲突。而且，它还涉及自然、社会、经济等多个领域，各因素间关系盘根错节，进一步凸显了其复杂性^[1]。

1.2 水文模型的基本原理与分类

水文模型作为模拟和预测水文现象的关键工具，其构建深深扎根于水文循环所涉及的物理、化学和生物学

过程。它借助数学公式对复杂的水文机制进行抽象表达，再通过计算机程序实现模拟运算，从而为人们深入了解水文现象提供有力支撑。其基本原理在于，以流域的气象数据（如降水、气温等）以及下垫面条件（像土地利用类型、土壤性质等）作为输入信息，运用特定的算法模拟降水转化为径流、蒸发等关键水文过程。依据不同的分类标准，水文模型呈现出多样化的类型。从模拟的空间尺度来看，集总式模型把流域当作一个均质整体，忽略空间差异，在资料有限或研究小流域时较为适用；分布式模型则充分考量流域内的空间异质性，将流域细分为多个子单元分别模拟，能精准呈现水文过程的空间变化，适用于大流域和精细化模拟。从模拟的时间尺度划分，长期水文模型用于模拟多年尺度的水文过程，短期水文模型则聚焦于短时间内的水文变化。

2 基于水文模型的流域水资源供需分析

2.1 水文模型的构建与校准

水文模型的构建是进行水资源供需分析的基础，其过程主要包括以下步骤：首先，收集流域的基础数据，如数字高程模型（DEM）、土地利用类型、土壤类型、气象数据（降水、气温、风速、日照等）以及水文站的实测径流数据等；其次，根据流域的特点和研究目标，选择合适的水文模型类型，并进行模型的参数设置和结构搭建；最后，对模型进行校准和验证。模型校准是通过调整模型参数，使模型模拟的水文过程与实测数据尽可能吻合的过程。常用的校准指标包括纳什效率系数（NSE）、均方根误差（RMSE）等。在完成校准后，还需使用独立的实测数据对模型进行验证，以确保模型的稳定性和可靠性，只有通过验证的模型才能用于后续的水文模拟^[2]。

2.2 流域水资源量模拟与计算

借助经过严格校准与验证的水文模型，可对流域水

资源量展开精准模拟与科学计算。具体而言,先利用模型模拟流域的天然径流过程,涵盖地表径流、地下径流等关键环节,获取不同时间维度(如日、月、年)与空间尺度(如子流域、整个流域)下的径流量数据,为水资源量评估奠定基础。随后,紧密结合流域内水利工程的实际状况,诸如水库的库容、闸门的调控能力等,进一步计算可利用的水资源量。在此过程中,需全面考量生态基流保障、工程调蓄能力限制等多重因素,力求在充分满足生态用水需求、维护流域生态平衡的基础上,深度挖掘并高效发挥水资源的利用潜力,为流域水资源的合理配置与可持续利用提供有力支撑。

2.3 流域用水需求预测

流域用水需求预测作为水资源优化配置的关键前提,需对生活、生产与生态用水展开系统且精准的预估。在生活用水方面,需综合考量人口自然增长、城镇化进程加速以及居民生活品质改善等因素,可运用人均用水量法,依据人口规模与人均用水标准进行推算;或采用回归分析法,通过分析历史用水数据与相关影响因素间的关系建立模型来预测。生产用水预测涵盖农业、工业和服务业,农业用水要结合作物种植结构调整、灌溉技术革新及气候波动等;工业用水与产业结构升级、生产规模扩张和节水技术进步紧密相连;服务业用水则根据其业务发展规模和既定的用水定额估算。生态用水预测需紧密围绕流域生态系统保护目标,如维持河流生态流量、保障湿地生态水位等,确保生态系统功能正常发挥,维持其健康稳定状态。

3 流域水资源优化配置模型构建

3.1 优化目标设定

流域水资源优化配置是一项复杂且系统的工程,其核心目标在于达成水资源的高效、公平与可持续利用。为实现这一综合目标,通常需设定多个维度的子目标加以协同推进。(1)经济效益目标聚焦于通过科学合理的水资源配置策略,促使流域内农业、工业、服务业等各产业的经济效益总和实现最大化。在量化评估方面,可选用净产值、利润等直观且具代表性的指标,以精准衡量水资源配置对产业经济增长的贡献程度。(2)生态效益目标着重于保护流域生态环境,维护生态系统的稳定与平衡。鉴于水资源对生态系统的重要支撑作用,可采用生态缺水率、水质达标率等关键指标,直观反映水资源配置对生态环境的保护成效,确保流域生态用水需求得到满足。(3)公平性目标强调在不同区域、不同用水部门之间公平合理地分配水资源,避免出现水资源分配不均导致的区域发展失衡和部门矛盾。可采用基尼系

数、用水保证率差异等指标,客观评估水资源分配的公平程度,保障各区域和部门的基本用水权益。(4)值得注意的是,这些目标之间往往存在相互制约的关系,在优化配置过程中需进行全面协调和科学权衡,以寻求最优的配置方案。

3.2 约束条件确定

为确保水资源优化配置方案兼具可行性与合理性,必须科学设定一系列全面且严谨的约束条件。(1)水资源量约束是基础性条件,它明确规定各用水部门在特定时段内的总用水量,必须严格控制在流域可利用的水资源总量范围之内,以此保障水资源的供需平衡,避免过度开发利用导致水资源短缺。(2)工程约束紧密关联水利工程的实际运行能力,涵盖输水能力、调蓄能力等关键指标。在配置水资源时,要充分考虑水利工程的这些物理限制,确保水资源的调配操作能够在工程允许的参数范围内安全、稳定地进行,防止因超出工程能力而引发安全事故或降低工程效益。(3)用水需求约束旨在保障各用水部门的基本用水权益,要求其实际用水量不得低于最小必需用水量,从而满足生活、生产和生态等方面的基本需求,维护社会的正常运转和生态系统的稳定。(4)水质约束着重于保护水资源的质量,明确规定了排放水体的水质标准,严格防止水资源污染对水体功能造成损害,确保水资源能够持续保持良好的利用价值。此外,还需综合考虑政策法规、技术水平等方面的约束条件,以保证配置方案符合相关要求且具备技术可行性^[3]。

3.3 优化模型求解方法

流域水资源优化配置问题因其自身特性,呈现出多目标、多约束以及非线性复杂态势,这使得选择恰当的求解方法成为获取科学合理配置方案的关键。(1)在众多优化算法中,传统数学方法占据着重要地位,像线性规划、非线性规划、动态规划等。线性规划适用于目标函数和约束条件均为线性的情况,能高效处理一些结构相对简单的模型;非线性规划则可应对目标函数或约束条件中存在非线性关系的模型;动态规划对于多阶段决策问题具有独特的优势,能将复杂问题分解为多个相互关联的子问题进行求解。(2)智能优化算法凭借其强大的适应性和寻优能力,在处理复杂的水资源配置问题时表现出色,如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等。遗传算法模拟生物进化过程,通过选择、交叉和变异等操作寻找最优解;粒子群优化算法借鉴鸟群觅食行为,通过个体间的信息共享实现全局搜索;模拟退火算法则受金属退火过程的启发,避免陷入局部最

优。(3) 实际应用中,需依据模型的具体特点和求解需求,灵活选择单一算法或多种算法组合的方式,从而得出最优的水资源配置方案。

4 流域水资源优化配置方案的实施与评估

4.1 方案制定原则

流域水资源优化配置方案的制定是一项复杂且关键的系统工程,需严格遵循一系列科学合理的原则。系统性原则要求把流域水资源系统当作一个有机整体,全面考量降水、地表水、地下水、水利工程设施以及各用水部门等要素间的相互作用与内在联系,避免片面决策导致的系统失衡。可持续性原则强调水资源的开发利用必须严格控制在其承载能力范围内,保障水资源在当代与后代之间的公平分配,实现水资源的永续利用,维护流域生态系统的稳定与健康。经济性原则旨在满足各类用水需求的基础上,通过优化配置降低供水成本,提高水资源利用的经济效益,推动流域经济的可持续发展。公平性原则确保水资源在不同区域、不同用水部门间得到合理分配,平衡各方利益,避免因水资源分配不均引发社会矛盾。适应性原则则赋予方案一定的弹性,使其能够灵活应对气候变化、社会经济发展等不确定因素带来的挑战。

4.2 方案实施路径

流域水资源优化配置方案的落地实施需遵循科学合理的步骤,分阶段有序推进。(1) 开展广泛深入的宣传与培训工作至关重要。通过多种渠道向相关部门及社会公众阐释方案内涵与重要意义,提升各方对方案的认知度与认同感,激发参与热情与配合积极性,为方案实施营造良好社会氛围。(2) 着重完善水利工程设施建设与改造。依据方案需求,对现有水利设施进行升级,提高水资源调配的精准度与利用效率,增强流域水资源的保障能力。同时,建立健全水资源管理体制和机制,强化水资源的统一管理与调度,打破部门分割与区域壁垒,确保方案执行的一致性与协调性。此外,大力推广节水技术与措施,从源头减少水资源浪费,提升用水效率。(3) 加强监测与监督力度。实时掌握水资源配置动态与用水状况,依据监测结果及时调整优化方案,保障方案

始终贴合实际需求,实现水资源优化配置目标^[4]。

4.3 方案评估指标与方法

为精准检验水资源优化配置方案的实施成效,构建科学完备的评估指标体系与评估方法必不可少。评估指标需全面覆盖多个关键维度,涵盖水资源利用效率、经济效益、生态环境质量以及社会公平性等方面。具体而言,水资源利用效率可借助万元GDP用水量、灌溉水有效利用系数等量化指标来衡量;经济效益则通过产业增加值、投资回报率等指标进行评估,以反映方案对经济发展的推动作用;生态环境质量可依据水质等级、生态系统完整性等指标来反映方案对生态的保护效果;社会公平性可通过不同区域用水保证率、用水定额差异等指标加以体现,确保水资源分配的公平合理。在评估方法上,可选用综合指数法、层次分析法、模糊评价法等,从不同角度对方案实施效果进行全面、客观的综合评价,并依据评价结果及时对方案进行调整和完善,保障方案的科学性与有效性。

结束语

流域水资源优化配置是一项涉及多学科、多目标的复杂系统工程。从流域水资源系统特点剖析,到水文模型构建与应用,再到优化配置模型设定、方案实施与评估,各环节紧密相连、环环相扣。通过科学设定目标、合理确定约束、精准求解模型,并遵循系统性、可持续性等原则推进方案实施,运用多元指标与方法评估成效,可实现水资源高效、公平、可持续利用,为流域经济社会可持续发展和生态环境保护提供坚实保障。

参考文献

- [1] 赵宏. 流域水资源优化配置研究[J]. 水利科技与经济, 2020, 26(4): 57-61.
- [2] 刘淳安,邢星. 基于混合进化算法的渭河流域(宝鸡段)水资源优化配置研究[J]. 冶金丛刊, 2020(21): 245-247.
- [3] 党婉宁. 陕西省渭河流域水生态空间管控指标体系初步研究[J]. 陕西水利, 2021(08): 41-43.
- [4] 于利超,王传平. 水文模型在洪水预警与管理中的应用与改进[J]. 东北水利水电, 2024, 42(03): 47-49.