

水文模型在水资源评价中的应用及其适用性探讨

李欣昕

广西桂禹工程咨询有限公司, 中国·广西 南宁 530023

摘 要: 水资源评价是水资源管理和合理开发利用的重要基础, 而水文模型作为模拟水文过程的关键工具, 在水资源评价中发挥着重要作用。论文综述了当前主要的水文模型类型, 包括概念性模型、分布式模型和数据驱动模型, 并探讨了其在水资源评价中的应用。基于不同水文模型的理论基础和适用条件, 分析了其对水循环要素模拟的能力及其在流域水资源评估中的适用性。研究表明, 概念性模型因其结构简单、计算效率高, 适用于数据有限的区域, 而分布式模型则可精细模拟空间异质性强的流域, 但对数据需求较高。数据驱动模型借助人工智能技术, 可在一定程度上弥补传统模型的不足, 提高模拟精度。进一步分析发现, 不同水文模型在应用过程中需结合区域水文特征、数据可获取性和研究目标进行选择, 以确保水资源评价的科学性和准确性。本研究可为水资源管理提供理论支撑, 并为水文模型的合理选择和优化应用提供参考。

关键词: 水文模型; 水资源评价; 概念性模型; 分布式模型; 数据驱动模型

Application and Applicability of Hydrological Models in Water Resources Evaluation

Xinxin Li

Guangxi Guiyu Engineering Consulting Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530023, China

Abstract: Water resource assessment is an important foundation for water resource management and rational development and utilization, and hydrological models, as a key tool for simulating hydrological processes, play an important role in water resource assessment. This paper summarizes the current main types of hydrological models, including conceptual models, distributed models, and data-driven models, and explores their applications in water resource assessment. Based on the theoretical basis and applicable conditions of different hydrological models, the ability of simulating water cycle elements and their applicability in watershed water resource assessment were analyzed. Research has shown that conceptual models are suitable for areas with limited data due to their simple structure and high computational efficiency, while distributed models can finely simulate watersheds with strong spatial heterogeneity, but require high data requirements. The data-driven model, with the help of artificial intelligence technology, can to some extent compensate for the shortcomings of traditional models and improve simulation accuracy. Further analysis reveals that different hydrological models need to be selected based on regional hydrological characteristics, data availability, and research objectives in order to ensure the scientific and accurate evaluation of water resources. This study can provide theoretical support for water resource management and provide reference for the rational selection and optimization application of hydrological models.

Keywords: hydrological model; water resource assessment; conceptual model; distributed model; data-driven model

0 前言

水资源评价是水资源管理和合理开发的核心基础, 在全球水资源短缺和环境变化的背景下尤为重要。随着水资源开发利用加剧, 科学、准确的水资源评价方法成为确保可持续利用的关键。水文模型作为模拟水文过程的有效工具, 在流域管理、洪水预警和水质预测中发挥重要作用。不同类型的水文模型因理论基础、适用条件和模拟精度不同, 其应用效果差异较大。目前的研究主要集中在概念性模型、分布式模型和数据驱动模型。概念性模型结构简洁, 适用于数据匮乏地区; 分布式模型适合水文特征复杂流域, 但对数据依赖较大; 数据驱动模型利用人工智能技术提高模型准确性和鲁棒性, 逐渐受到关注。如何根据区域水文特征、数据可获得

性和研究目标选择合适的水文模型, 仍是水资源评价中的挑战。论文综述了水文模型的特点与应用, 为水资源管理提供理论支持, 并探讨了优化模型选择的策略。

1 水文模型概述

1.1 水文模型的定义与分类

水文模型是研究水文循环过程的数值工具, 广泛应用于水文过程模拟和水资源管理^[1]。根据其结构和功能, 水文模型可分为三大类别: 概念性模型、分布式模型和数据驱动模型^[2]。概念性模型基于对水文循环过程的整体理解, 以简单的数学表达式描述流域的水文过程, 常用于数据不足或复杂度较低的场合。分布式模型通过将流域划分为具有不同水

文特征的单元,从而精细模拟每个单元的水文过程,适用于需要考虑空间异质性和细节分析的区域。数据驱动模型利用现代数据处理和人工智能技术,从历史数据中提取特征并构建数学模型,用于模拟和预测水文过程,对大数据环境有较好的适应能力。不同类型的水文模型在水资源评价中有着各自的适应性和局限性,需要根据具体的研究需求和条件进行选择和应用。

1.2 水文模型的发展历程

水文模型的发展历程经历了从简单经验公式到复杂数学模型的演变。早期的水文模型以经验统计方法为基础,利用简单公式描述水文过程,为解决水资源基础问题提供初步支持。随着水文学科理论的不完善,概念性水文模型开始出现,注重表现水循环要素之间的关系,适用于数据有限的区域。分布式水文模型在随后发展起来,通过将研究区域划分为多个单元,增强了对空间异质性的模拟能力,并逐步整合地形、气象和土地利用等多种数据,模拟精度得到显著提升。近年来,人工智能和大数据技术的广泛应用催生了数据驱动水文模型,其基于数据挖掘技术和算法优化,能够处理复杂水文现象并提高预测精度^[3]。这一发展路径体现了水文模型对科学技术进步的响应,为流域水资源评价奠定了技术基础。

1.3 水文模型在水资源评价中的重要性

水文模型在水资源评价中起着关键作用。它们能够模拟和预测水文循环中的各个要素,如降水、径流、蒸散等,从而为水资源的合理配置提供科学依据。通过分析水文过程,评估不同开发利用方案的影响,可以帮助优化水资源管理策略。水文模型在应对气候变化和人口增长等带来的水资源挑战方面,具有不可替代的重要性,支持决策者制定更具前瞻性的水资源管理规划。

2 主要水文模型类型及特点

2.1 概念性水文模型

概念性水文模型是通过简化和概括水文过程的主要机制,将复杂的水文系统表示为一系列数学描述的模型类型。其特点在于以流域为基本单元,通过黑箱或灰箱方式对水文过程进行模拟,不关注其空间分布的精细结构,而是注重输入输出之间的关系。该模型通常利用经验公式或参数化方法描述降雨、产汇流、蒸散发等关键水文过程,对具体物理机制的依赖较少。

概念性模型在实际应用中表现出结构简单、计算效率高和适用性广的优势,尤其在数据不足或参数获取困难的区域具有明显优越性。由于假设条件较为理想化,其物理机制的表达能力较弱,可能对非线性强烈的水文过程和空间异质性产生一定偏差。概念性水文模型适用于数据有限但要求快速评估或者多个方案对比分析的场景,在水资源评价中的应用仍占据重要地位。

2.2 分布式水文模型

分布式水文模型是一类可以模拟流域内水文过程空间分布特征的模型。这类模型通过将流域划分为多个单元,对每个单元进行独立计算,能够反映出降雨、地质和土地利用等因素在空间上的异质性。分布式模型依赖详尽的空间数据和参数化技术,以提高模拟的精度和可信度。在复杂流域环境中,分布式模型提供了对水文事件更为细致的模拟能力,尤其适合于高异质性区域。这类模型对高质量数据的依赖和计算资源的需求较高,实际应用中需要权衡数据可用性与计算复杂性。在水资源评价中,分布式模型通过其细致的空间结构,能够对流域水资源的调配、管理和风险评估提供有力支持。

2.3 数据驱动水文模型

数据驱动水文模型是基于统计学和人工智能技术建立的数学模型,不依赖物理过程的描述,而是通过大规模历史观测数据挖掘水文系统中的关系特征。这类模型以机器学习算法为核心,如神经网络、支持向量机和随机森林,能够捕捉复杂非线性关系,适用于缺乏传统水文数据支撑的地区。优势在于对数据精度和稳定性的高敏感性,以及较快的计算效率,能显著提高水文过程模拟的精度。该模型依赖高质量的训练数据,其性能易受样本偏差和数据缺失的影响,需在具体应用中慎重选择合适的算法和参数设置。

3 水文模型在水资源评价中的应用

3.1 水文模型对水循环要素的模拟能力

水循环过程的模拟能力是水文模型在水资源评价中的核心功能之一。水文模型通过数学公式和算法刻画降水、蒸发、入渗、产流、汇流等水循环核心要素,以反映流域水分运动的动态变化。概念性模型侧重于对水循环各环节关键环节的简化模拟,适用于数据不足或需快速评估的场景,但其在空间异质性描述方面能力有限。分布式模型则基于流域内高分辨率的地理信息和水文数据,对水循环过程进行精细化表征,能够全面反映空间上的非均匀性,对复杂环境下的水资源评估具有较高适用性。数据驱动模型通过人工智能算法,从大量历史数据中提取水循环过程中的隐含规律,对非线性水文关系的表达具有较强的灵活性,但其模拟性能依赖于高质量数据集的支持^[4]。总体来看,水文模型对水循环要素的模拟能力在不同情境中具有差异,合理选择适宜的模型能有效提升水循环机制解析的科学性和水资源评价的精度。

3.2 水文模型在流域水资源评估中的应用

水文模型在流域水资源评估中具有广泛应用,通过对地表径流、地下水补给、蒸发蒸腾等关键水文过程的模拟,为区域水资源量的空间分布与时序特征分析提供了重要支持。概念性模型以简单的参数化形式对水流机制进行近似模拟,适用于数据缺乏且物理过程较简单的区域。分布式模型可以从空间异质性角度精细刻画降水、土壤湿度及地下水的

动态变化,在大尺度流域水资源总量评估以及特定区域应对洪旱问题中优势明显。数据驱动模型利用机器学习等方法,通过大量历史数据挖掘水文关系,适合快速分析数据充足地区的水资源时空变化^[5]。不同模型的应用需综合考虑区域水文特征与评估目标,以提升结果的科学性与准确性,从而为流域管理决策提供有力支持。

3.3 水文模型的适用性探讨

不同水文模型的适用性受区域水文特征、数据获取程度和研究目标的多重影响。概念性模型适用于数据缺乏区域,分布式模型适用于空间异质性强的流域,数据驱动模型则在数据丰富与复杂条件下表现突出。模型选择应注重匹配性,以确保水资源评价结果的科学可靠与实用性。

4 水文模型的选择与优化应用

4.1 水文模型选择的影响因素

水文模型的选择受多种因素影响,研究区域的水文特征决定了适用模型的类型。对于水文过程复杂、空间异质性强的流域,分布式模型因其能够精细模拟空间变化而具优势。数据可获取性是选择模型的重要考量。概念性模型在数据有限环境下表现出色,而分布式模型对高分辨率数据需求较高,在数据丰富的条件下应用较为适宜。研究目标也直接影响模型选择;需评估水资源或水质变化时,所选模型须具备相应的模拟能力。计算资源与时间限制往往限制复杂模型的使用,概念型数据驱动模型因计算效率高成为优选。对模型使用者的技术水平要求也不容忽视,分布式模型常需要更高技术水平支持。综合考虑这些因素将有助于识别最适合的水文模型,以实现水资源评价的科学性与准确性。

4.2 水文模型优化的方向与方法

水文模型的优化旨在提高模型的模拟精度和适应性,从而更有效地支持水资源评价。优化方向包括模型结构的改进、输入数据质量的提升和参数校准方法的创新。在模型结构方面,可以通过引入更精细的空间分辨率和增加物理过程的表示,增强对复杂水文过程的模拟能力。提高输入数据质量则需要加强对遥感技术和地理信息系统的应用,以获取更准确和全面的水文数据。参数校准方法可通过采用自适应算法和机器学习技术,提高参数寻优效率和模型性能。多模型集成方法也被认为是重要的优化途径,通过综合不同模型的优势,可以实现对水文现象的更全面和精确的描述。以上优化方法的实施,应根据特定流域的水文特征和研究目标来进

行,以确保取得最佳效果。

4.3 水文模型在水资源管理中的实践意义

水文模型在水资源管理中的实践意义主要体现在提升水资源管理决策的科学性和有效性。通过精确模拟水文过程,水文模型可以为水资源规划、配置和风险管理提供数据支持与预测分析,帮助决策者在面临复杂水文条件和多目标需求时进行理性选择。借助模型优化应用,可以提高水库调度和水质管理效率,促进区域水资源的可持续利用和生态系统保护,确保水资源在时间和空间尺度上的合理配置。

5 结语

本研究综述了水文模型在水资源评估中的应用及适用性,重点分析了概念性模型、分布式模型和数据驱动模型的特点。概念性模型在数据有限地区具有较高计算效率,适用于初步评估;分布式模型精细模拟流域空间异质性,适用于数据丰富、需要高精度的地区;数据驱动模型结合人工智能技术,克服传统模型的局限性,提升精度,尤其在数据复杂或不完整时潜力较大。然而,模型应用仍存在局限性,主要受区域水文特征和数据可得性限制,且对极端气候模拟的精度有待提高。未来研究应关注模型优化、参数不确定性分析,并结合现代数据挖掘技术,推动数据驱动模型的应用,提升水资源评估的精度与效率,进一步探讨模型的跨区域适用性、长时间尺度模拟能力及模型间互补性,以促进水资源的可持续管理。

参考文献:

- [1] 王甫.分布式水文模型在华北平原水资源管理中的应用[J].装备维修技术,2021(10):199.
- [2] 耿延博.基于水文模型的水资源评价研究[J].黑龙江水利科技,2022,50(3):104-105.
- [3] 张雅楠.水文模型在水资源调度中的应用与优化研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2023(11):5-8.
- [4] 马琰,肖卓.分布式水文模拟模型在流域水资源管理中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(7):2.
- [5] 马杰.SWAT模型在水资源评价中应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2020(1).

作者简介:李欣昕(1992-),女,壮族,中国广西凌云人,本科,从事水利水电工程水文规划设计研究。