

Application and Optimization of Hydrological Model in Water Resources Management

Xingge Guo Jinpeng Yao

Yellow River Conservancy Commission Midstream Hydrological and Water Resources Bureau, Jinzhong, Shanxi, 030600, China

Abstract

The effectiveness and sustainability of water resource management have a significant impact on global socio-economic development, and model construction, especially the construction of hydrological models for watersheds, is the core content and fundamental work of “digital watershed” construction. Faced with the multiple pressures of climate change, population growth and urbanization, how to accurately predict the supply and demand of water resources, scientifically plan and regulate the spatial and temporal distribution of water resources, and ensure the ecological security of water resources have become urgent problems in the field of water resources management. This paper discusses the application and optimization methods of hydrological model in water resources management, aiming to better meet the needs of water resources management, improve the performance and reliability of the model, and ensure that the model is more accurate and reliable in practical application.

Keywords

hydrological model; water resources management; apply; optimize

水文模型在水资源管理中的应用与优化

郭星阁 要锦鹏

黄河水利委员会中游水文水资源局, 中国·山西·晋中 030600

摘要

水资源管理的有效性和可持续性对全球社会经济发展具有重要影响, 模型建设尤其是流域水文模型的建设是“数字流域”建设的核心内容和基础工作。面对气候变化、人口增长和城市化的多重压力, 如何准确预测水资源供需、科学规划和调控水资源的时空分布, 以及保障水资源的生态安全等成为水资源管理领域亟须解决的问题。论文探讨了水文模型在水资源管理中的应用与优化方法, 旨在更好地满足水资源管理的需求, 提高模型的性能和可信度, 确保模型在实际应用中更加准确和可靠。

关键词

水文模型; 水资源管理; 应用; 优化

1 引言

20世纪以来, 随着人类活动和气候变化的影响, 流域内的水资源问题日趋严重。“数字流域”是中国近年来发展起来的一种新的技术手段, 它是一种新型的、可持续的、可扩展的、具有广阔的应用前景的。近年来, 流域水文模拟研究取得了长足的进步, 建立了一套能够反映水循环过程的计算机仿真模型, 包括气候与天气、暴雨系统、地表径流、河网汇流、港湾和河口潮流等。为应对全球变化及人类活动对流域水资源管理的迫切需要, 可以说, 水文模型是“数字流域”研究的一个重要方向。

2 常见的水资源管理水文模型

2.1 流域集总式模型

集总式水文模型的框架是基于对流域水文过程的深入理解而构建的。在科技发展的早期阶段, 受限于计算能力和观测数据的有限性, 人们广泛采用了集总式方法来模拟和描述水文过程。这种方法催生了一系列重要的集总式水文模型, 包括但不限于 USLE、HEC-1、新安江模型、WRAP、WEAP 模型以及日本的水箱模型等。

2.2 流域分布式模型

与传统的集中式水文模型相比, 分布式水文模型具有更强的模拟能力。该模型既能考虑不同地理要素在空间上的异质性, 又能较好地刻画流域水文水资源的时空动态变化, 尤其适合在下垫面改变的情况下进行估算。同时, 分布式模式具有更加广阔的仿真能力, 可以实现从单尺度水变到复

【作者简介】郭星阁(1995-), 男, 中国陕西府谷人, 本科, 助理工程师, 从事水文水资源勘测和分析。

杂水、水、生态等多个复杂问题的仿真，其综合能力远超传统的“黑箱”模式。近年来，基于流域分布式模拟的研究成果，如、AGNPS、ANSWERS、MATSALU、SWAT、STREAM、SWIM、TOPMODEL、GBHM2等。

2.3 流域水资源综合管理模型

流域水资源综合管理模型是一个集成化的工具，它将流域水环境视作一个统一的整体，并将多个经过验证且相互紧密关联的流域模型，如土壤侵蚀模型、地表水文模型（包括坡面流和河槽流的处理）、陆面模型（专注于蒸散发的模拟）以及地下水模型等，进行有效的整合与耦合。这种综合管理的方式旨在实现流域水资源开发的整体最优，确保在管理上全面考虑各种影响因素。在现有的工具中，WRM（Watershed Resource Management model）模型和 MIKE BASIN 等是常用的流域水资源综合管理模型。这些模型为流域水资源的规划、管理和决策提供了有力的支持。

3 当前水资源存在主要问题

3.1 水资源开发的影响

目前，对水资源的过度开采已经是一个迫切需要解决的问题，它所带来的影响是不可忽视的。这些土地的过量使用，造成了地下水和地表水的大幅度下降，有些地方的地下水持续下降，这一发展趋势不但制约了可用水资源的总量，而且也对环境质量造成不利的影响。此外，由于长期过量的用水使用，也给当地的生态系统带来了无法挽回的后果。水是维系生物多样性的物质基础，当水源不足或质量降低时，会给生物群落带来极大的压力，甚至会引起物种的灭绝，破坏生态平衡。同时，由于水资源的过度开发，导致了地表沉降、海水入侵、水体污染等一系列的环境问题。

3.2 农业灌溉

从江河、湖泊、水库及地下水中获得的新鲜水源，是农田耕作与农业生产的主要水源，这样的水源不但可以为那些不适宜直接耕作的农田提供养分，而且还能保证农作物的生长。但是，在一些区域，单纯依靠地表水已不能满足农业用水的需要，必须同时进行地表水与地下水的联合开发。虽然这类水的使用是农业生产的关键，但是数据表明，世界上70%的淡水都用在了农业上。最后，如此大规模地使用水资源也是有成本的。灌区渠道设计不合理，运行效率低下，管理不善，造成了一系列的环境问题。部分灌区在输水过程中损失了60%以上的水量，造成了极大的水资源和环境污染。另外，一些地方的排水设备很差，或者根本没有，这就使得当地的环境问题更加严重^[1]。

3.3 水土流失和土地退化

水土流失与土地退化是全球性的问题，对生态环境造成了深刻的影响。由于表层养分的损失，不但使其生长环境变差，还会引起下游泥沙的沉积与污染。尤其是在某些快速发展的地区，如过度放牧、毁林等行为，更是加速了这一进

程。这种不合理的使用，造成了原来富饶的土壤变得贫瘠，生态环境变得越来越差。而在干旱区，这一问题就更加严重了，人们通常把它叫做荒漠化。这里本来就是干旱缺水的地方，在人为的干扰下，这里的土壤越来越贫瘠，生态环境也越来越脆弱。

3.4 洪涝干旱

洪涝干旱问题是全球范围内普遍存在的自然灾害问题，其产生的原因主要包括气候变化、地貌特征、土地利用方式以及人类活动等。虽然各国的防洪抗旱设施得到了加强，例如修建水库、堤坝、排水系统等，但这些措施并不能完全消除洪涝干旱灾害造成的影响。实际上，许多国家的洪涝灾害损失仍然呈现上升趋势^[2]。

4 水文模型在水资源管理中的应用

4.1 水资源量预测与规划

水资源量预测与规划是水文模型在资源管理中的一个重要应用，其目的是实现对流域水资源可利用性的准确估算，为制定合理的水资源规划与管理提供科学依据。其中，水文模型起着不可替代的作用。该方法以历史资料和气象资料为基础，可以对流域内河流径流量、地下水、库水储量等进行预测。这类资料对政策制定者是非常重要的，因为他们可以为合理配置水资源、保证各行业和社会都能获得充足的水资源。

4.2 洪水预测与管理

洪水预测与管理在防洪工作中占据着举足轻重的地位，其核心工具便是水文模型，水文模型不仅能帮助预测洪水事件，还能在监测和管理过程中提供关键信息。

一方面，通过对降雨、水流、地形等关键要素的实时监测，可以快速、精确地识别出可能存在的洪涝灾害，并提出相应的预警，这类早期预警对政府和各应急部门都具有极其重要的意义，可为其争取到宝贵的反应时间，以便及时撤离受灾群众，加强防洪设施建设，调整库区泄水方案，将洪灾给人民的生命财产损失降到最低。

另一方面，以水文模型为基础，优化模式参数，以最大限度地逼近实测值，增强模式的自适应能力和精度。参数优化是提高水文模型精度，使之更好地适应复杂多变的水文过程，实现对洪水等重要水文要素的准确预报。参数优化的过程包括：第一，识别要调节的参数和目标函数，其中的参数是在模型中可变的数值，而目标函数是对模型与真实数据的贴近度进行量化，通常采用一个误差函数来表达。第二，选择合适的算法，常用的算法有梯度法，遗传算法，微粒群算法等。第三，启动寻优算法，通过设定的目标函数及约束条件，将参数值调节到期望或近似收敛。第四，利用所获得的参数，对模式进行再演，并与实测资料进行对比，评价模式的有效性。

在进行防洪调度时，水文模型能够对洪水的预报结果

进行分析,得到预报水位、洪峰流量、洪水影响范围等多个参数,为决策者提供了直观的洪水态势描述。在此基础上,决策者能够快速制定和调整应急预案,保证应急预案的有效性和针对性^[3]。

4.3 水质模拟与改善

水文模型是评价水体质量的关键,模型能够对污染物在大气中的传输、分布等过程进行建模,从而为相关部门提供重要的评价依据。其中,水文模式可以对污染物的扩散与浓度进行模拟,有助于确定可能的污染源及关键区域,可用于制定有目标的污染防治策略,并保证污染物在排放限值内。同时,该模型还可以模拟出不同形态的污染物在水中的溶解、沉降、生物降解等过程,加深对污染物去除机理的认识,并为污水处理工艺的优化提供理论基础。另外,水文模型对评价治理及改进措施的有效性也有很大的参考价值。

4.4 应对气候变化

模型是当前全球水资源管理与气候变化研究的重要手段,是认识和评价全球气候变化背景下水资源效应的重要手段,具有较强的仿真功能,可对降雨、蒸发、径流等复杂水文过程进行准确模拟。水文模型成果将有助于深入理解气候变化对流域水资源空间分布与迁移的作用机制,同时也可作为区域水资源可持续利用研究提供科学依据。在此基础上,通过仿真分析,为政策制定者提供更加主动、更有针对性的应对策略。

5 水文模型的优化策略

5.1 参数校准

水文模型中的参数设定对模拟结果有很大的影响。其中,参数定标是一个非常重要的步骤,其目的就是通过比较模拟结果和实际测量结果来确定最佳的参数值。该方法有以下四种方法:①反复实验:对各参数值进行多次实验,并对其进行修正,使其与实测资料最为吻合。②高级优化技术:采用遗传算法和模拟退火等多种数学优化手段,在保证模型预报精度的前提下,尽可能减少模型预报值和实际观测值的偏差。

在此基础上,开展基于多尺度、多尺度耦合的水文模型标定研究,旨在实现对流域多尺度水文过程的准确刻画,提升模型预报的准确性与可靠性,提升预报的可靠性。所以,在定标过程中,必须慎重地选择合适的参数,采用什么样的校正方法,怎样使用这些参数。

5.2 实时性和适用性

实时性和适用性是水文模型优化研究的两个关键问题。实时性是指模式能够在获得了最近一次的观测资料之后,对预报结果进行及时的更新,是对环境变化做出快速反应、及时决策的关键。而适用性是指模式对不同地区、不同气象条件的适应性表现,以保证模式的精度与可靠性。

5.2.1 加强实时数据集成

将水文模型与先进的实时监测系统紧密结合,确保模

型能够实时接收并处理最新的气象、水文、水质数据以及河流流量和水位信息。这样一来,模型就能够迅速捕捉环境变化,并及时更新预测结果,为决策者提供实时、准确的决策支持。

5.2.2 推动在线模型运行

该方法以联机服务形式部署水文模型,使其能够在任何时间内访问并运行。在此基础上,决策者可根据实际需求,对不同类型的复杂局面进行仿真与分析。该方法能在线执行,既能提高系统的使用效率,又能极大地缩短系统的决策时间。

5.2.3 增强模型的跨区域适用性

在模式设计中,能够充分利用地域、气候等方面的差异,对模式进行参数标定,并对模式结构进行柔性调整,以保证模式对各种环境的适应性。这样,不论在什么区域、什么天气状况下,该方法都可以得到较为精确、可靠的预报结果。

5.3 不确定性分析

在水文模型中,不确定性是一个非常关键但经常被低估的因素。造成这一问题的根本原因是由于观测资料精度不高、模式参数估计误差大、模式结构不合理等。不确定性分析是评价模型预报结果可信度的关键,也是帮助决策者更好地理解模型存在的缺陷与风险。

①参数敏感性分析:这一方法旨在评估模型中不同参数变动对输出结果的影响程度,从而识别出哪些参数对模型表现具有显著影响。

②蒙特卡罗模拟:通过模拟多种不同的输入数据和参数组合,可以获得模型输出的广泛可能性范围,进一步揭示模型的不确定性。

③贝叶斯统计方法:该方法能够根据实际观测资料对模型参数进行后验概率估计,使其能够更加充分地考虑到参数估计的不确定性。通过上述不确定因素的分析,可以使决策者对模型的可信性有一个更为清楚的认识,并能对各种情况、情景下的模型进行更精确的评价,进而做出更加科学合理的决策。

6 结语

在探讨水文模型于水资源管理中的核心效能与优化途径时,聚焦于模型性能的提升。具体来说,通过精确的参数校准、实时响应性的增强以及模型适用性的拓宽,能够显著优化水文模型的表现。同时,不确定性分析的应用为模型预测提供了更为全面和稳健的基础,使其能更好地满足水资源管理的多样化需求。对于决策者而言,这些改进后的水文模型成为应对水文变化与挑战的有力工具。

参考文献

- [1] 李晓雁.基于SWAT模型的香溪河流域农业水资源规划研究[D].北京:华北电力大学,2013.
- [2] 许杰玉.优化模拟模型在流域管理中的应用研究[D].北京:华北电力大学,2013.
- [3] R.S.V.提加瓦拉普,陶浩,毛红梅,等.水资源管理模型中的气候变化不确定性模拟[J].水利水电快报,2012,33(2):13-15.