

水文模型在流域水资源规划中的应用与实践

刘 畅 陈利霞

府谷水文水资源勘测局 陕西 榆林 719400

摘 要：本文探讨了水文模型在流域水资源规划中的应用与实践。首先介绍了水文模型的基本概念与分类，随后详细分析了水文模型在流域水资源规划中的应用，包括水量预测、水质管理、洪水预报及灾害预防等方面。通过具体案例，展示了水文模型在流域水资源规划中的实际应用效果，并总结了其在提高规划科学性、合理性和可行性方面的重要作用。

关键词：水文模型；流域水资源规划；水量预测；水质管理

引 言

随着全球人口增长和社会经济的发展，水资源短缺和水质恶化已成为制约区域可持续发展的重大问题。流域水资源规划作为水资源管理的重要组成部分，对于合理开发、利用和保护水资源具有至关重要的意义。水文模型作为研究水文循环和生态系统之间关系的重要工具，在流域水资源规划中的应用日益广泛。本文旨在探讨水文模型在流域水资源规划中的应用与实践，为水资源管理提供科学依据。

1 水文模型的分类与特点

1.1 水文模型的分类

水文模型，作为研究水文循环过程、预测水文现象的重要工具，其种类繁多，各具特色。按照模型结构的不同，可以将其划分为黑箱模型、概念性模型和物理模型三大类。黑箱模型，顾名思义，它并不深入探究水文过程的内在机理，而是侧重于通过输入输出数据之间的数学关系来模拟水文行为。这类模型如总径流线性响应模型(TLR)和人工神经网络(ANN)，它们利用大量的历史数据训练模型，从而建立起一种普适的数学逻辑关系，适用于数据较为充足的地区。概念性模型则是基于水体运动的物理原理和水利工程上的经验公式构建的。它们介于确定性模型和经验黑箱模型之间，既包含了一定的物理基础，又融入了工程实践经验。如萨克门托模型(SAC)、SCS模型、新安江模型、VIC模型和HBV模型等，这些模型通过较少的变量来代表复杂的水文过程，便于理解和应用。物理模型则更加侧重于从流体力学的角度出发，严格遵循物理定律来描述流域上的水文变化规律。如SHE模型、DBSIN模型和SWAT模型等，它们能够高度概括现实世界的物理过程，对水文现象的模拟更为精确，但相应地，对数据和计算资源的要求也更高。此外，水文模型还可以按照性质分为确定性模型和随机

性模型，以及按照空间考虑方式分为集总式模型和分布式模型。集总式模型不考虑流域内的空间差异性，将整个流域作为一个整体来研究；而分布式模型则充分考虑了空间差异性，能够更准确地反映流域内不同区域的水文特征。

1.2 水文模型的特点

不同类型的水文模型各有其独特之处。黑箱模型在数据区范围内表现出色，能够准确地模拟和预测水文现象，但一旦超出数据范围，其外延预报效果往往会大打折扣。概念性模型则结合了物理原理和经验公式，既具有一定的物理基础，又便于实际应用。它们通常包含较少的变量，每个变量都代表着一种特定的水文过程，使得模型更加直观易懂。物理模型则基于严格的物理基础，能够高度概括和模拟现实世界中的水文过程^[1]。这类模型在预测未来水文现象方面具有较大优势，但对数据和计算资源的要求也相对较高。分布式模型因其考虑了空间差异性，在流域水资源规划、洪水预报等方面具有独特优势。它们能够更准确地反映流域内不同区域的水文特征，为水资源管理和防洪减灾提供有力支持。

2 水文模型在流域水资源规划中的应用

2.1 水资源量评估与预测

水资源量是流域水资源规划的基础数据，准确评估与预测水资源量对于制定科学合理的水资源规划至关重要。水文模型通过模拟流域内的降雨、蒸散发、径流等水文过程，能够全面反映流域水资源的形成、转化和消耗规律。在新安江模型等概念性模型的应用中，可以输入流域内的气象数据，如降雨量、气温、湿度等，以及下垫面条件，如土壤类型、植被覆盖度等，来模拟流域内的水文过程。通过模型运算，可以得到流域出口断面的流量过程线，进而计算出流域内的水资源总量、径流量、蒸散发量等关键指标。这些指标不仅为水资源量评

估提供了准确的数据支持,还能够揭示水资源量的时空分布特征,为水资源规划提供更为全面的信息^[2]。此外,水文模型还能够模拟不同气候情景下的水文过程,预测未来水资源量的变化趋势。例如,在全球气候变化的背景下,可以通过调整模型中的气候参数,来模拟未来不同气候情景下的水文过程,评估气候变化对水资源量的影响。这有助于制定适应气候变化的水资源规划策略,确保水资源的可持续利用。

2.2 水质模拟与管理

水质是流域水资源规划中的重要内容之一,它直接关系到人民的生产生活质量和生态环境的健康。水文模型通过模拟流域内污染物的迁移转化过程,能够评估水质状况及其变化趋势,为水质管理提供科学依据。SWAT等分布式水文模型在水质模拟方面具有显著优势。这些模型能够考虑流域内的空间差异性,将流域划分为多个子流域或网格单元,分别模拟每个单元内的水文过程和污染物迁移转化过程。通过输入流域内的污染源数据,如工业废水排放量、农业面源污染负荷等,以及水质监测数据,可以利用模型来模拟流域内不同土地利用类型对水质的影响,识别出关键污染源和污染途径。基于模型的模拟结果,可以制定针对性的水质管理措施。例如,对于工业污染源,可以加强废水处理设施的监管和运行维护,确保废水达标排放;对于农业面源污染,可以推广科学的施肥技术和农药使用方法,减少农药和化肥的流失量;对于生活污染源,可以加强城市污水处理设施的建设和管理,提高污水处理率和回用率。这些措施的实施将有助于改善流域内的水质状况,保障人民的生产生活质量和生态环境的健康。

2.3 洪水预报与风险管理

洪水是流域内常见的自然灾害之一,它给人民生命财产安全带来严重威胁。水文模型通过模拟流域内的降雨、径流等水文过程,能够预测洪水发生的时间、地点和规模,为洪水预报和风险管理提供科学依据。HEC-HMS等水文模型在洪水预报方面具有广泛应用。这些模型能够考虑流域内的地形、地貌、土壤类型、植被覆盖度等因素对洪水过程的影响,通过输入实时的降雨数据和气象预报数据,来模拟流域内的暴雨径流过程。通过模型运算,可以得到流域内不同地点的洪水过程线,进而预测洪水的峰值流量、出现时间、持续时间等关键指标。基于模型的洪水预报结果,可以制定有效的洪水风险管理措施。例如,在洪水发生前,可以根据预报结果提前疏散危险区域的居民和财产,减少洪水造成的损失;在洪水发生时,可以根据预报结果及时调整防洪调

度方案,确保防洪工程的安全运行;在洪水发生后,可以根据预报结果评估洪水的灾害程度和影响范围,为灾后重建和恢复提供科学依据。这些措施的实施将有助于降低洪水灾害的风险和损失。此外,水文模型还能够评估不同降雨情景下的洪水风险^[3]。通过调整模型中的降雨参数,可以模拟不同降雨强度和降雨历时下的洪水过程,评估流域内的洪水风险等级和分布特征。这有助于制定更为科学合理的防洪减灾措施,提高流域内的防洪能力。

2.4 水资源优化配置

水资源优化配置是流域水资源规划的核心任务之一,它旨在实现水资源在农业、工业、生活等不同用水部门之间的合理分配和高效利用。水文模型通过模拟不同水资源利用方案下的水文过程,能够评估各方案对水资源量、水质和生态环境的影响,为水资源优化配置提供科学依据。在多目标优化算法和水文模型相结合的方法中,可以将水资源优化配置问题转化为一个多目标优化问题,考虑水资源量、水质、生态环境等多个目标之间的权衡和协调。通过构建流域水资源优化配置模型,可以输入不同用水部门的用水需求数据、水资源可供量数据、水质标准数据等,来模拟不同水资源利用方案下的水文过程。通过模型运算,可以得到不同水资源利用方案下的目标函数值和约束条件满足情况,进而评估各方案的优劣性和可行性。基于模型的评估结果,可以选择最优的水资源利用方案,实现水资源在农业、工业、生活等不同用水部门之间的合理分配和高效利用。这有助于提高水资源的利用效率和效益,保障流域内的水资源可持续利用和生态环境的健康发展。

3 实践案例分析:MIKESHE模型在华北土石山区小流域水文响应及水资源规划中的应用研究

3.1 案例背景

华北土石山区,作为我国重要的生态屏障和水源涵养区,其水文循环过程的复杂性和不确定性对流域水资源管理提出了严峻挑战。为了更精准地掌握该区域的水文响应规律,为水资源规划提供科学依据,研究人员选择了北京市密云县的土门试验流域和帽石沟小流域作为研究区域,采用MIKESHE分布式水文模型进行深入模拟和分析。

3.2 案例应用

3.2.1 研究区域概况与数据收集:

土门试验流域和帽石沟小流域均位于华北土石山区,具有典型的山地丘陵地貌,土壤类型多样,植被覆盖度较高。研究人员收集了2004年和2005年两场典型降

雨的时间序列数据,包括降雨量、降雨强度等。同时,还收集了地形图、土壤类型图、植被覆盖图等空间分布数据,以及流域内的水文站观测数据,如水位、流量等。

3.2.2 模型构建与参数率定:

根据研究区域的地形、土壤、植被等特征,研究人员构建了MIKESHE分布式水文模型。模型包括了降水、蒸散发、地表径流、土壤水流动、地下水流动等多个水文过程模块。使用2004年7月21日的降雨径流模拟数据进入模型参数率定。通过调整模型参数,使得模拟结果与实测数据相吻合,确保模型的准确性和可靠性。率定过程中,特别关注了土壤饱和导水率、土壤蓄水容量、地下水补给速率等关键参数。

3.2.3 模拟与分析:

将率定后的模型参数应用于其余场降雨径流模拟,分析了不同降雨条件下流域的径流响应过程。模拟结果显示,流域的径流峰值与降雨量、降雨强度密切相关,且受到地形、土壤和植被等因素的影响。对全年雨季的径流进行了模拟,分析了雨季径流的时空分布规律。模拟结果显示,雨季径流主要集中在流域的中下游地区,且随着降雨量的增加,径流量也相应增加。基于模型的模拟结果,评估了流域内的水资源可利用量。通过计算流域的径流总量、蒸散发量等指标,得出了流域的水资源供需平衡状况。

3.2.4 决策支持与应用:

根据模拟结果,研究人员提出了针对性的水资源管理策略。在干旱季节,加强水资源调度,确保居民生活用水和工农业生产用水需求;在雨季,加强防洪排涝工作,减少洪涝灾害的发生。针对流域内的水土流失问题,提出了水土保持措施。通过植树造林、坡耕地改造等方式,提高流域的植被覆盖度,减少水土流失。基于模型的模拟结果和水资源管理策略,为流域的水资源规

划提供了科学依据。建议加强流域内的水资源监测和管理工作,确保水资源的可持续利用。

3.3 案例效果

通过MIKESHE模型的模拟和分析,研究人员更准确地了解了流域内的水文循环过程和水资源状况。这为制定更加科学合理的水资源规划提供了有力支持,使得规划更加符合流域的实际情况和需求。研究成果为流域水资源管理提供了科学依据和技术支持。通过加强水资源调度、节水和防洪排涝等措施,有效提高了流域水资源的利用效率,促进了流域水资源的可持续利用和保护。MIKESHE模型的模拟结果为流域管理决策提供了准确的信息支持。管理人员可以根据模拟结果制定更加精准的决策方案,提高决策的科学性和有效性。该案例的成功应用为其他类似区域的水文研究和水资源规划提供了有益的参考和借鉴。其他研究人员可以借鉴该案例的方法和经验,开展类似区域的水文研究和水资源规划工作。

结语

水文模型在流域水资源规划中的应用具有广泛的前景和重要意义。通过科学分析和预测流域内的水文过程,水文模型为流域水资源的合理开发利用、水质管理、洪水预报及灾害预防等方面提供了有力支持。未来,随着计算机技术和遥感技术的不断发展,水文模型将更加精准和高效,为流域水资源规划提供更加可靠的科学依据。

参考文献

- [1]王鲁北,李本厚,潘毅.水文模型在水资源管理中的应用与优化[J].水上安全,2024,(02):46-48.
- [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(03):104-105+197.
- [3]秦欢欢.分布式水文模型在华北平原水资源管理中的应用[J].人民长江,2019,50(11):99-106.