

集成 GIS 和水文模拟技术在流域管理中的应用研究

吴培旭 李红 卢伟

青海省水文水资源测报中心

DOI:10.12238/hwr.v8i9.5697

[摘要] 随着环境管理技术的发展,集成地理信息系统(GIS)和水文模拟技术在流域管理中的应用成为研究的热点。本研究通过整合GIS和水文模拟技术,对流域地形、水文特征及污染分布进行了精确分析和模拟。研究表明,该技术能有效识别污染源,计算污染负荷,并对降雨径流进行准确预测,为洪水预警和资源管理提供了可靠的决策支持。

[关键词] GIS; 水文模拟; 流域管理

中图分类号: TV212.4 **文献标识码:** A

Research on the Application of Integrated GIS and Hydrological Simulation Technology in River Basin Management

Peixu Wu Hong Li Wei Lu

Qinghai Provincial Hydrological and Water Resources Monitoring and Reporting Center

[Abstract] With the development of environmental management technologies, the application of integrated Geographic Information Systems (GIS) and hydrological simulation technologies in watershed management has become a research hotspot. This study conducted precise analyses and simulations of watershed topography, hydrological characteristics, and pollution distribution by integrating GIS and hydrological simulation technologies. The results demonstrate that this technology can effectively identify pollution sources, calculate pollution loads, and accurately predict rainfall runoff, providing reliable decision support for flood warnings and resource management.

[Key words] GIS; Hydrological Simulation; Watershed Management

流域管理对维护水资源安全和生态平衡具有重要意义。随着技术的进步,GIS和水文模拟技术被广泛应用于环境监测和管理,这两种技术的结合为流域管理提供了新的视角和方法。GIS的空间分析功能与水文模拟的动态预测能力相结合,能够对流域的水文行为和污染模式进行更为精确的分析。此外,面对日益严峻的环境挑战,如洪水和污染事件,集成技术的应用不仅增强了对这些问题的响应能力,也促进了资源的可持续管理。尽管如此,这一领域的技术集成和应用仍面临许多挑战,需要针对不同流域的特定条件进行深入研究和优化。

1 GIS和水文模拟技术的基础概念与发展现状

1.1 GIS的基本功能和应用领域

地理信息系统(GIS)是一种强大的分析工具,它集数据采集、存储、处理、分析和展示于一体,用于地理数据的空间和非空间查询以及管理。GIS的核心功能包括地图制作、空间数据管理、空间分析。利用GIS,研究者可以对空间数据进行详细的可视化,例如通过地图展示地形、土壤类型、水体分布和植被覆盖等信息。现阶段,GIS已被广泛应用于多个领域,如城市规划、灾

害管理、交通流分析、资源管理和环境监测等^[1]。

1.2 水文模拟的基本理论和方法

水文模拟技术基于水文学的基本理论,主要用于分析和预测水文循环中的各个组成部分,如降水、蒸发、地表径流和地下水流。这些模型通常基于物理过程的数学描述,可以是确定性的也可以是统计性的。例如,径流模型常用的是基于水量平衡的方程:

$$Q = P - E - I - T$$

其中: Q 表示径流量, P 是降水量, E 是蒸发量, I 是入渗量, T 而是土壤中的蒸腾量。通过这些模型,水文学家可以模拟和预测降水事件对流域水位的影响,分析洪水发生的可能性及其潜在影响。水文模拟在流域管理、灾害预警、水资源规划和环境保护中发挥着至关重要的作用。

2 集成GIS和水文模拟技术在流域管理中的应用

2.1 流域地形与水文特征分析

在流域管理中,地形分析和水文数据处理是GIS和水文模拟技术结合应用的关键环节,这两者共同为流域的水资源管理和环境保护提供决策支持。

2.1.1 地形分析

利用GIS进行地形分析主要包括地形高程、坡度、坡向及流域边界的确定。GIS软件能够通过数字高程模型(DEM)来分析地形的高低起伏和坡度变化,这对于理解流域的径流特性和潜在洪水风险至关重要。地形分析的典型步骤包括使用DEM生成流向图和流积图,这些图可以帮助确定水流的主要流向和集水区域。例如,流向可以通过以下公式计算:

$$D_i = \arg \max_{j \in \text{neighbors}} (z_i - z_j)$$

其中, D_i 是给定栅格单元 i 的流向, z_i 和 z_j 分别是单元 i 及其相邻单元 j 的高程。通过这种方式, GIS帮助确定水流的潜在路径,为后续的水文模拟提供基础数据^[2]。

2.1.2 水文数据处理与分析

水文数据处理涉及降雨量、流量、蒸发量等水文周期组成部分的收集和分析。集成水文模拟技术利用这些数据来预测水文事件的影响,如洪水和旱情。在GIS环境中,水文模型通常采用空间插值方法来估计那些无监测站覆盖的区域的水文数据。例如,降雨数据的空间分布可以通过克里金法(Kriging)进行插值:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i)$$

其中, $Z(s_0)$ 是插值点的降雨量, $Z(s_i)$ 是已知点的降雨量, λ_i 是权重系数,由半方差函数来确定。这种技术在GIS中实现后,可以更精确地描述降雨分布,为流域的洪水预警和水资源管理提供更为准确的数据支持。

2.2 污染源识别与污染负荷计算

在环境管理的实践中,正确识别污染源并计算其负荷是流域管理中的关键步骤。通过集成GIS和水文模拟技术,可以有效地进行这些任务。

2.2.1 污染源数据库构建

构建污染源数据库需要收集关于工业排放、农业活动、居民区排污口等信息。GIS在这一过程中发挥着至关重要的作用,因为它可以地理定位所有潜在的污染源,并对其进行分类和标记。例如,可以通过遥感数据识别未经许可的排放活动,结合地面监测数据进行验证。这些数据被输入到GIS系统中,构建起详尽的污染源数据库,其中包括污染源的类型、位置、排放强度等信息。构建该数据库的过程可能涉及到复杂的数据集成技术,如数据融合和空间分析,以确保信息的准确性和实用性^[3]。

2.2.2 污染物扩散模拟

一旦污染源被确定和定量化,就可以使用水文模拟模型来模拟污染物在水环境中的扩散过程。扩散模拟通常基于物理基础的输运模型,如对流-扩散方程:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

其中, C 表示污染物的浓度, t 是时间, x 是空间坐标, u 是水流速度, D 是扩散系数。GIS提供的空间数据用于定义模型中的水流速度和其他参数,如河流的宽度和深度。利用GIS的空间分析工具,可以将模型结果(污染物浓度分布图)可视化,以便更好地理解污染物如何在流域内扩散。

这些模拟结果帮助管理者理解在不同条件下污染物可能的影响范围,为采取相应的污染控制措施提供科学依据。例如,如果模拟显示某一重金属在河流特定段的浓度持续超标,那么可以针对性地进行污染源整治或设置更严格的排放限制。

2.3 降雨径流模拟与洪水预测

2.3.1 降雨数据的GIS集成

在进行降雨径流模拟前,首先需要集成降雨数据。GIS在这一过程中扮演了整合和空间分析的角色。降雨数据通常来源于地面观测站、雷达估计或卫星测量,这些数据被输入到GIS中进行空间分析。利用GIS的空间插值技术,如反距离加权(IDW)或克里金法,可以生成连续的降雨分布图。

2.3.2 水文模型的应用与优化

得到空间化的降雨数据后,下一步是应用水文模型进行径流模拟。水文模型,如单位流图模型或SWAT(土壤和水评估工具)模型,可以用来预测不同降雨条件下的径流响应。单位流图模型是一种常用的简化水文模型,其基本思想是将降雨事件转化为径流量,公式如下:

$$Q(t) = \int_0^t p(t') \cdot u(t-t') dt'$$

其中, $Q(t)$ 是流域出口处的径流量, $P(t')$ 是降雨强度, $u(t-t')$ 是单位流图。在GIS环境中,该模型可以结合地形和土地利用数据来调整,以反映地形对流速和流向的影响^[4]。

3 案例研究——某流域的GIS与水文模拟集成应用

3.1 案例选择与数据收集

本案例研究选取了中国南部的珠江流域作为研究对象,这一流域因其复杂的水文特性和频繁发生的水相关灾害而被选中。珠江流域涵盖广东、广西、云南等多个省份,地形多变,包括山区、平原及广阔的三角洲区域,这些特点使该流域管理呈现复杂且富有挑战性的特点。

研究收集了以下几类数据:

地形数据:通过地理信息系统中的数字高程模型(DEM)获取,

用于分析流域的地形高度、坡度和流向。

气象数据: 包括来自地面站和卫星的降雨量、温度和湿度等, 这些数据通过中国气象局和国际气象数据中心获取。

水文数据: 从水文监测站收集的河流水位、流速和流量数据, 这些数据对于建立准确的水文模型至关重要。

土地利用数据: 通过遥感图像分析获得, 包括城市建设和农业用地和自然植被分布情况。

这些数据的收集和整合为珠江流域的水文模拟和管理决策提供了基础。

3.2 GIS与水文模型的集成实施步骤

GIS与水文模型的集成实施步骤开始于数据的整合和预处理, 包括对收集到的数据进行清洗、格式化和空间参考统一。GIS工具被用来创建一个综合的空间数据库, 该数据库包含流域的所有相关地理和水文信息。

接下来的步骤是建立水文模型, 研究选择使用SWAT(土壤和水评估工具)模型来模拟流域的水文过程。该模型能够模拟降雨、地表径流、土壤水分、蒸散发和植被交互作用等多种水文过程^[5]。

3.3 结果分析与讨论

3.3.1 模拟结果的验证

在珠江流域的案例研究中, 水文模型的应用主要旨在预测不同气候和土地利用情况下的水文响应。使用SWAT模型进行的模拟覆盖了过去十年的数据, 包括降雨量、径流量、蒸发量等关键水文周期参数。模拟的结果需要通过与实际监测数据进行对比来验证其准确性。

为了验证模型的有效性, 研究选择了珠江流域内几个关键水文站点的实测数据作为参考。这些数据是2023年的数据, 包括但不限于流量、水位和降雨量。模型输出的月均径流量与实际观测数据进行了比较, 以评估模型在不同季节下的表现。具体如表1所示:

表1 模拟结果与实际数据的对比

月份	模拟径流量 (m ³ /s)	观测径流量 (m ³ /s)	误差
1月	450	460	-2.2%
2月	520	530	-1.9%
3月	600	615	-2.4%
4月	670	660	+1.5%
5月	820	800	+2.5%
6月	900	920	-2.2%

对比结果显示, 模型的预测结果与实际数据之间的误差普遍在±3%之内, 这表明模型能够较为准确地模拟珠江流域的水文情况。尽管如此, 部分月份如5月和6月的误差略高, 提示可能

需要进一步调整模型。

3.3.2 模型的优化与调整

根据验证过程中发现的误差, 可以进行以下几个方面的模型优化与调整:

参数调整: 对于那些误差较大的月份, 我们对模型中的某些关键参数进行了微调, 例如土壤水分容量和地表覆盖变化的响应参数。

数据更新: 对于输入模型的土地利用和土壤类型数据进行了更新, 尤其是那些近年来发生了显著变化的区域, 确保这些变化被准确地反映在模型中。

模型结构改进: 引入了更复杂的水文过程处理方法, 如更细粒度的时间步长处理和多水源贡献分析, 以提高模型对极端气候事件的预测能力。

增加监测点: 在关键的流域位置增设了更多的水文监测设施, 以获取更多的实地数据支持模型的校准和验证。

这些优化措施被实施后, 模型的预测精度有了进一步的提高, 为珠江流域的水资源管理提供了更可靠的决策支持。通过不断的调整和优化, 水文模型能够更准确地反映流域的实际水文情况, 对于应对气候变化和人类活动带来的挑战至关重要。

4 结语

集成GIS和水文模拟技术不仅增强了预测水文事件的准确性, 也为环境保护提供了有效的工具, 确保水资源的可持续利用。未来, 随着技术的进一步发展和数据收集的持续改进, 这一集成方法将展现出更大的潜力, 帮助我们更好地应对由气候变化引起的水资源管理挑战。

[参考文献]

- [1]王治林. 水文集成预报模拟研究[D]. 中国矿业大学, 2021.
- [2]赖正清. 平原河网区分布式水文建模与水文模拟研究[D]. 南京师范大学, 2017.
- [3]王延强. 基于卫星高度计的南中国海潮汐提取、同化数值模拟及GIS集成[D]. 国家海洋环境预报中心, 2014.
- [4]聂乔. 基于Flex的武夷山生态水文监测模拟GIS开发[D]. 福州大学, 2013.
- [5]张弘刚, 王虹, 徐东晶. 水文和水资源领域GIS应用综述[J]. 吉林地质, 2013, 32(01): 129-132.

作者简介:

吴培旭(1994--), 男, 汉族, 青海海东人, 本科, 研究方向: 水利技术。