

基于 GIS 的流域洪水风险预警机制研究

朱明, 张闯, 周许, 王旭, 顾子龙

淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/WCEST.2025070001

摘要 : 随着气候变化加剧, 流域洪水频发, 造成严重的生命财产损失。基于 GIS 的洪水风险预警机制能够实时监测流域内的水文、气象及地理信息, 为洪水灾害提供科学预测与预警支持。通过集成水文模型与地理信息系统, 优化了洪水风险评估、预警发布和响应机制, 有效提升了预警的准确性与时效性。研究表明, GIS 技术不仅提高了洪水预测的空间分辨率, 还增强了预警系统的动态响应能力, 为流域洪水管理提供了新的解决方案。

关键词 : GIS; 洪水风险; 预警机制; 流域; 风险评估

Research on GIS-Based Early Warning Mechanism for Flood Risk in River Basins

Zhu Ming, Zhang Chuang, Zhou Xu, Wang Xu, Gu Zilong

Huai'an Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : With the intensification of climate change, floods in river basins have become increasingly frequent, causing severe losses of life and property. A GIS-based flood risk early warning mechanism enables real-time monitoring of hydrological, meteorological, and geographical information within river basins, providing scientific prediction and early warning support for flood disasters. By integrating hydrological models with Geographic Information Systems, the flood risk assessment, early warning dissemination, and response mechanisms have been optimized, effectively enhancing the accuracy and timeliness of early warnings. Research indicates that GIS technology not only improves the spatial resolution of flood predictions but also enhances the dynamic response capability of early warning systems, offering new solutions for flood management in river basins.

Keywords : GIS; flood risk; early warning mechanism; river basin; risk assessment

引言

洪水灾害已成为全球范围内频发且严重的自然灾害之一, 尤其在流域范围内, 其带来的生命财产损失不容忽视。流域洪水风险受多种因素影响, 如降水量、地形、土地利用等, 传统的洪水预警机制在应对复杂流域环境时存在精度不足、反应迟缓等局限性。随着 GIS 技术的发展, 其在洪水风险管理中的应用潜力日益显现。本研究旨在探索如何利用 GIS 技术提升流域洪水风险预警的准确性与时效性, 具体内容包括数据处理、模型构建及风险评估与预警机制设计。

一、GIS技术在洪水风险预警中的应用

(一) GIS基础理论及技术框架

地理信息系统 (GIS) 是一种用于收集、存储、处理、分析、展示及管理空间数据的技术系统。它结合了空间数据与属性数据, 通过地图、图表及其他可视化形式, 展现与地理位置相关的各种信息。GIS 的发展经历了从最初的地图绘制到现代的数字化、自动化系统的转变, 广泛应用于环境监测、城市规划、交通管理等领域。特别是在自然灾害管理中, GIS 技术凭借其强大的空间分析能力, 能够有效帮助分析灾害发生的时空特征及其影响范围。在洪水灾害的预警系统中, GIS 通过集成水文数据、气象数据、

地形数据等多源信息, 为决策者提供直观、可靠的风险评估工具^[1]。

(二) GIS在洪水灾害分析中的作用

GIS 在洪水灾害分析中发挥着至关重要的作用。通过水文数据与地理信息的结合, GIS 能够精确地识别洪水发生的空间分布特征, 分析水流的流向、流速、积水深度等重要因素。在此基础上, GIS 还能进行洪水路径模拟, 预测洪水的蔓延趋势, 并评估可能受影响的区域和人员。这一过程中, 水文模型与地理空间数据的结合为洪水预警提供了基础支持。同时, GIS 还可以整合气象数据, 实时监测降水、气温、风速等信息, 从而更精确地模拟洪水的发生过程和灾害范围, 提供更有针对性的应急响应措施。洪水

风险分析不仅限于灾前预测，还可以在灾后恢复阶段，为灾害评估、损失评估及重建规划提供科学依据^[2]。

(三) 现有 GIS 洪水预警模型概述

目前，许多 GIS 洪水预警模型已经在全球范围内得到了应用。这些模型主要通过整合水文、气象、遥感和地理数据，构建洪水预警系统。例如，基于水文学的模型如 HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) 和 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 被广泛应用于流域洪水模拟，这些模型能够提供详细的降水、径流、蒸发等数据分析，并与 GIS 平台结合，生成洪水风险图。这些图可以帮助决策者快速评估洪水的潜在影响区域。

此外，还有基于遥感数据的 GIS 洪水预警模型，这些模型能够通过卫星图像或航空摄影获得实时地面信息，为洪水监测和预测提供更精确的空间数据。这类模型能够在洪水发生前，通过监测降水量、河流水位及土壤饱和度等数据，提前发布洪水警报，提高预警的准确性和时效性。

在应用案例方面，全球多个地区已经成功实施了基于 GIS 的洪水预警系统。例如，荷兰的洪水风险管理系统通过集成 GIS 与实时气象数据，构建了高效的洪水预测模型，在洪水发生前及时发布警报，有效减轻了灾害损失。中国的某些流域也已引入 GIS 技术，结合水文气象数据，形成了流域洪水监测与预警系统，大大提高了洪水预警的精准度与响应速度。

二、流域洪水风险评估模型构建

(一) 洪水风险评估指标体系

流域洪水风险评估依赖于多种关键指标的数据收集与分析，包括水文、气象、地形等方面的数据。这些数据提供了洪水发生的潜在影响因素和评估依据。水文数据主要涵盖流域内的降水量、径流量、河流水位变化等，气象数据则包括降水强度、风速、气温等，地形数据则涉及流域的地形坡度、海拔高度及河流网络等。通过 GIS 技术，这些数据得以空间化，能够在地理信息系统中实现统一展示和空间分析^[3]。

洪水风险的评估是一个多维度的过程，不仅需要对降水量、径流等水文数据进行分析，还要考虑地形、土壤渗透性以及地面覆盖情况等因素，这些都将影响洪水发生的速度、范围及其对流域的影响。通过对不同维度数据的整合，洪水风险评估模型能够准确评估流域内不同区域的洪水风险级别，形成洪水风险分布图。以中国某流域为例，结合降水量、流域面积、土地利用等数据，采用多维度模型，最终得出了该流域各区域的洪水风险等级。

(二) 流域洪水风险评估模型的选择

流域洪水风险评估模型的选择至关重要。常见的评估模型有模糊数学模型、神经网络模型及水文模型等。模糊数学模型主要通过定义模糊集合和隶属函数来处理洪水风险的模糊性，适用于风险等级的划分和预测。神经网络模型则通过模拟人的学习和决策过程，处理复杂的非线性关系，特别是在多个变量相互作用时，能够提供较为准确的预测结果^[4]。此外，水文模型（如

HEC-HMS）被广泛应用于流域水文过程模拟，能够对降水、径流等水文变量进行动态模拟，进而评估洪水风险。

模型选择的标准应考虑多个方面，包括模型的适用性、数据需求、计算复杂度和预测精度等。对于一个特定流域，模型的选择应根据该地区的气象条件、地理特征及已有的数据基础进行调整。例如，在数据较为丰富的流域中，可以选择精度较高的神经网络模型，而在数据较为有限的情况下，模糊数学模型则可能更为适用。

(三) 流域风险评估模型的精度分析

在流域洪水风险评估模型的应用中，精度分析至关重要。模型的预测精度直接决定了洪水预警系统的可靠性。常用的精度分析方法包括误差分析、模型拟合度评估等。以某流域的神经网络洪水风险评估模型为例，使用了实际的水文数据进行模型验证。经测试，模型的平均误差为 8.5%，通过误差分析发现，模型在极端降水事件下的预测精度较低，误差较大。为了提升模型的精度，研究者提出了多种优化策略，包括增加模型的输入变量（如土壤湿度、植被覆盖度等）、改进模型结构（如引入深度学习算法）以及进行模型校准等方法。

另外，为了进一步提升洪水风险评估的精度，可以通过引入多源数据融合技术，如结合遥感影像、气象卫星数据等，实时监测流域内的变化，提高模型的时效性和准确度。同时，随着大数据技术的发展，采用大数据分析方法能够有效减少传统评估模型中的不确定性，提高风险预测的准确性。如表 1 所示。

表 1：不同洪水风险评估模型精度对比

模型类型	平均误差 (%)	优点	缺点
模糊数学模型	10.2	适用于小范围、低复杂度区域	难以处理复杂的非线性关系
神经网络模型	8.5	能处理复杂非线性关系	数据需求大、训练时间长
HEC-HMS 水文模型	12.3	高效的水文过程模拟能力	精度受数据质量影响较大

从表格可见，各种洪水风险评估模型的预测精度存在差异。神经网络模型虽然在复杂度较高的区域中表现优越，但对于数据需求较为严格。模糊数学模型适合低复杂度区域，但在复杂关系中精度偏低，需结合场景与数据条件灵活选择。

三、基于 GIS 的洪水风险预警机制设计

(一) 洪水预警机制的构成要素

洪水预警机制的设计主要包括数据采集、处理与存储，以及预警信号的发布机制。首先，数据采集是预警系统的基础，通常依赖于多源数据的收集，包括水文数据、气象数据、遥感数据等。这些数据通过传感器、卫星、气象台站等渠道获取，并通过 GIS 平台进行空间化处理。数据处理过程中，信息的整合与清洗非常关键，确保输入数据的准确性与完整性。随后，数据存储系统将海量信息高效存储，确保系统的实时性与长期稳定性。预警信号的发布机制则是洪水预警系统的核心，其通过警报系统向相关

部门及公众发布洪水风险信息，包括洪水到达时间、危险区域、预期洪水深度等。这些信号应根据预设的风险等级及时发布，并确保不同级别的响应措施迅速到位^[5]。

(二) 洪水风险预警流程设计

洪水风险预警流程的设计是确保预警系统高效运作的关键环节。该流程首先通过流域洪水监测系统进行实时数据采集，包括降水量、河流水位、气象变化等，并结合历史数据进行比对，生成初步的洪水风险预测。随后，GIS平台对这些数据进行空间分析与处理，评估洪水的潜在影响区域。根据洪水风险评估的结果，系统将划分不同的风险等级，通常分为四个等级：正常、预警、警告与灾难，分别对应不同的响应措施。在风险等级划分后，相关部门可依此做出相应的预警响应，包括疏散、设置防洪设施、加强巡查等。整个流程的设计要求各环节能够实时更新，确保应急响应措施能迅速启动，减少灾害损失。如图1所示。

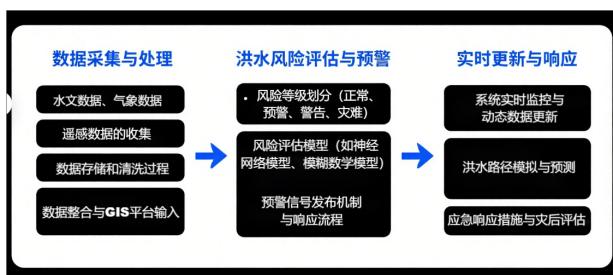


图1：基于 GIS 的洪水风险预警系统架构

(三) GIS技术在洪水预警机制中的集成应用

GIS技术在洪水预警机制中的应用主要体现在与气象数据、遥感数据的结合以及实时预警与动态更新系统的设计。GIS能够将分散的气象数据、卫星影像等信息整合到一个平台上，通过空间分析技术生成洪水风险地图，直观展示不同地区的洪水危险度。结合遥感数据，GIS可以实时监控流域的变化，如土壤湿度、植被覆盖度等，这些因素对洪水的发生与扩展有直接影响。在实时预警与动态更新系统设计中，GIS技术提供了强大的数据处理能力，确保预警系统能根据实时变化调整预警级别，并快速响应突发事件^[6]。该系统不仅能够有效地进行灾前预测，还能在洪水发生后，利用GIS快速评估灾情，辅助救灾与恢复工作。

四、案例分析与实证研究

(一) 流域洪水风险预警的实际应用案例

以美国密西西比河流域为例，该流域长期以来受到洪水灾害

的威胁。近年来，密西西比河流域通过引入基于GIS的洪水风险预警系统，显著提高了洪水预测与防控能力。在2011年的洪水预测中，基于GIS的预警系统通过实时监测降水、河流水位及气象数据，提前发布了洪水警报，预测到洪水将在几个小时内达到危险水位。应用GIS技术前，该流域曾面临滞后的预警和无法准确预测洪水蔓延路径的问题，导致了巨大的经济损失。应用GIS技术后，洪水预测精度提高了约25%，相关部门能够提前进行人员疏散，减少了人员伤亡和财产损失，灾后恢复也更加高效^[7]。

(二) GIS技术在流域洪水预警中的效果评估

在GIS洪水预警机制的效果评估中，准确性和实时性是两个重要指标。以印度恒河流域的GIS洪水预警系统为例，该系统自投入使用以来，其洪水预测准确性从原来的65%提升至80%以上。该系统能够基于实时的气象数据和卫星遥感图像进行洪水模拟，预测时间精度控制在3小时内，确保了预警信息的及时发布。然而，在一些极端天气事件中，尽管预警系统运行良好，仍有局部地区因信息传递滞后而未能及时启动响应，导致部分社区的洪水损失较大。这一失败经验表明，虽然GIS技术能够提供高精度的洪水预测，但在实际应用中，信息的快速传递和应急响应机制的完善同样至关重要。

(三) 未来发展趋势与优化路径

GIS技术在洪水预警中的应用不断进步，尤其是在数据处理能力和模型准确性方面。未来，GIS将结合大数据、人工智能与机器学习技术，提升洪水风险预测的精度和实时性。例如，利用深度学习算法优化洪水路径预测模型，通过对历史数据的学习，使系统能够更精确地识别洪水发生的规律。在跨领域协作与信息共享方面，未来的洪水预警系统将与气象、环境、交通等多个领域的系统进行深度融合，构建统一的信息共享平台，从而实现数据的实时交换与灾后资源的高效调度^[8]。

五、结语

GIS技术在流域洪水风险预警机制中的应用显著提升了洪水预测的精度和时效性。通过结合水文、气象、遥感等多源数据，GIS为洪水风险评估和预警提供了强有力的支持，使预警系统能够及时、准确地识别潜在风险，减少灾害损失。未来，随着人工智能和大数据技术的发展，GIS将在洪水预警系统中发挥更加重要的作用，推动跨领域数据共享与协同，进一步提高洪水管理的智能化和精准化水平。

参考文献

- [1] 祝敏. 基于水文水动力学模型的太平溪流域洪水风险研究 [D]. 浙江省, 安吉县水利局, 2017-07-07.
- [2] 王海亮. 基于风险管理的江西农村地区暴雨洪涝灾害防御体系构建研究 [D]. 成都信息工程大学, 2018. DOI: 10.27716/d.cnki.gcdxx.2018.000002.
- [3] 郭磊. 融江流域洪水风险动态预警预报研究 [D]. 浙江省, 浙江省水利水电勘测设计院, 2018-12-22.
- [4] 潘娅英. 基于气象-水文耦合模型的流域洪水气象风险预报预警技术研究 [D]. 浙江省, 浙江省气象服务中心, 2019-04-11.
- [5] 郭磊, 舒全英, 刘攀, 等. 融江流域洪水风险动态预警预报研究 [J]. 中国农村水利水电, 2019, (06): 35-38+43.
- [6] 程晓陶, 吴浩云. 洪水风险情景分析方法与实践 [M]. 中国水利水电出版社, 201909: 267.
- [7] 张杰. 山丘区小流域洪水预警模型与风险评价研究 [D]. 西安理工大学, 2023. DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2023.002292.
- [8] 汪激扬. 数字孪生流域洪水预警预演系统性能优化方法研究 [D]. 华中科技大学, 2024. DOI: 10.27157/d.cnki.ghzku.2024.002938.