

四川省内岷江流域洪涝风险评估 ——基于AHP-熵权法

张湖翔

成都理工大学数理学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年7月27日; 录用日期: 2025年8月17日; 发布日期: 2025年8月28日

摘 要

由于水系, 气象, 社会经济等各种因素的影响, 某些河流域会发生重大的洪涝灾害事件, 对沿河流域的人们造成严重损失。本文基于AHP-熵权法, 对四川省内岷江支流经过的7区4县, 以及3个县级市进行洪涝风险灾害评估。通过获取各个地区的洪涝因子权重指标, 分析绘制四川省岷江流域地区洪涝灾害的风险评估图, 并通过各个地区历史洪涝灾害情况检验研究方法的准确性。结果表明: 四川省内岷江流域中段的东坡区和青神县洪涝风险程度最高, 其次市中区, 新津区等地, 茂县和汶川县的洪涝风险程度则相对较低。

关键词

洪涝灾害, 风险评估, 层次分析法, 熵权法, 岷江流域

Flood Risk Assessment in the Minjiang River Basin within Sichuan Province —Based on AHP-Entropy Weight Method

Huxiang Zhang

School of Mathematics and Physics, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jul. 27th, 2025; accepted: Aug. 17th, 2025; published: Aug. 28th, 2025

Abstract

Due to the influence of various factors such as water systems, meteorology, social economy, etc., major flood disaster events may occur in some river basins, causing serious losses to people along the river basins. Based on the AHP-entropy weight method, this paper conducts flood risk and

disaster assessment for 7 districts, 4 counties and 3 county-level cities through which the tributaries of the Minjiang River pass in Sichuan Province. By obtaining the weight indicators of flood factors in various regions, the risk assessment map of flood disasters in the Minjiang River Basin of Sichuan Province was analyzed and drawn, and the accuracy of the research method was verified through the historical flood disaster situations in various regions. The results show that Dongpo District and Qingshen County in the middle section of the Minjiang River Basin in Sichuan Province have the highest degree of flood risk, followed by Shizhong District, Xinjin District and other places. The degree of flood risk in Maoxian County and Wenchuan County is relatively low.

Keywords

Flood Disaster, Risk Assessment, Analytic Hierarchy Process, Entropy Weight Method, The Minjiang River Basin

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人类活动对岷江流域洪涝灾害的影响亦不容忽视，岷江作为长江上游的重要支流，其流域覆盖四川省多个地区，历史上洪涝灾害频发，对当地经济、生态及居民生命财产安全构成严重威胁。1840~1949 年，岷江上游旱涝灾害年均发生 1.26 次，特大洪灾占比超 24%，且季节性连旱连涝现象显著[1]。

洪涝灾害作为全球最常见、影响最广泛的自然灾害之一，其评估研究已成为灾害科学领域的核心议题。在风险评估方法上，国内有吴汉美等提出一种基于 MS-AR 模型的长距离输水系统水文风险评估方法[2]，程建中等使用 MIKE + 软件构建地 - 管 - 河耦合模型，开展南宁市城区洪涝灾害模拟和淹没影响分析[3]，贾艳红通过 AHP-熵权法为各项洪涝因子赋权，并借助 GIS 技术分析并开展广西暴雨洪涝灾害风险评估[4]，苑希民提出一种基于 D-S 证据理论的改进 AHP-熵权法计算指标权重，求取洪涝灾害风险指数，运用自然断点分级法确定洪涝灾害风险等级，分析小清河流域洪涝灾害风险空间分布情况[5]。秦年秀等借助 Arcview 地理信息系统的空间分析和叠加功能，对长江中下游地区的洪水灾害危险性进行了初步评价[6]。黄进等[7]构建了适用于研究区风险评估的暴雨灾害指数(RDI)。国外有 Swati Sharma 等利用可解释人工智能(XAI)和 Extra Tree 分类器进行洪灾风险评估，实现了 93.61%的预测准确率，提高了决策过程的透明度[8]。M. V. Bilskie 等基于高分辨率生物地球物理模型框架，量化了海平面上升对墨西哥湾北部沿岸社区建筑损坏和人口流离失所的影响，为气候变化下的洪灾风险管理提供了科学依据[9]。Nuanchan Singkran 以泰国 2011 年洪灾为例，分析了当前洪灾风险管理的不足，并提出了从被动响应向主动管理转变的战略框架，强调了非结构性措施和多方参与的重要性[10]。Apollon Bournas 等引入了基于雷达降水和水文模型耦合的短期山洪预报预警技术格状的 Flash Flood Guidance (FFG)方法，并在希腊雅典地区进行了实施[11]。

本文将以内四川省内岷江流域地区为研究区域，利用主观评价的层次分析 AHP 法与客观的熵权法结合的方法，计算四川省内岷江流域地区的洪涝灾害指标权重，绘制四川省内岷江流域地区洪涝风险分布图，最后利用历史洪涝数据，对研究结果进行检验。

2. 研究区域概况

岷江发源于岷山南麓，干流流经阿坝州、成都平原、乐山、眉山等地，最终在乐山汇入大渡河后注

入长江(如图 1)。其上游为高山峡谷,中下游为冲积平原,拥有岷江小三峡等特色地貌;上游气候干旱,中下游属亚热带季风气候,但受生态破坏影响,径流量呈下降趋势。整体年均降水超 900 毫米,但空间分布不均,上游受高原气候影响,年均仅 400~700 毫米,而中下游都江堰至乐山段受亚热带季风气候影响,年降水超 1000 毫米,时间上集中于 5~10 月汛期,占全年 70%~80%,6~9 月暴雨频发。

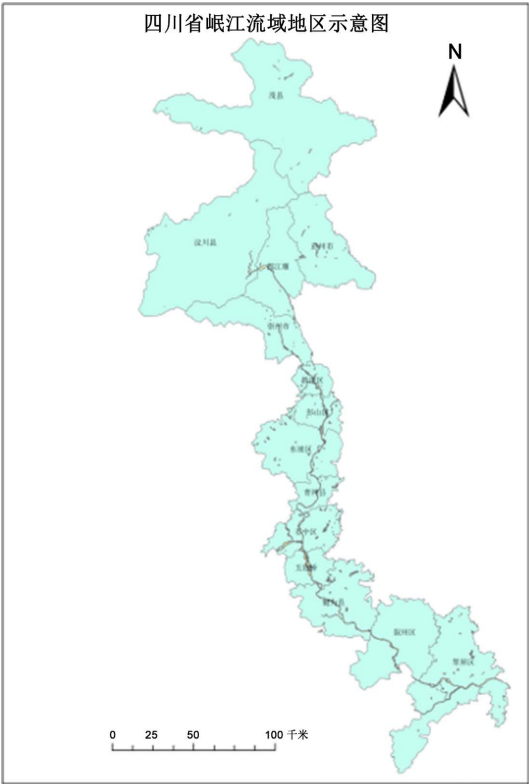


Figure 1. Schematic diagram of the Minjiang river basin in Sichuan province
图 1. 四川省内岷江流域示意图

3. 数据来源

本文所用到的数据分为四类：① 气象水文数据：中国长、短时暴雨雨量特征数据集(1961~2015 年)；中国年降水量数据集(1948~2016 年)。② 社会经济资料：乐山市 2023 年统计年鉴等数据，选用以区县为单位的行政土地面积、年末总人口、国民生产总值(GDP)。③ 基础地理信息数据：全国 1:25 万公众版地形数据(2021)，全球 30 米不透水层表面动态数据集(GISD30)。④ 遥感数据：ASTER GDEM 90M 分辨率数字高程数据，SRTMSLOPE 90M 分辨率坡度数据。

4. 评估模型

建立四川省岷江流域地区洪涝风险系数模型通过以下步骤实现：① 根据自然灾害风险评估方法理论 [12]，考虑致涝因子危险性(H)，孕涝因子敏感性(S)，承涝因子脆弱性(V)，选取 11 个指标构建评估指标体系；② 对各个洪涝因子进行标准化归一处理，结合 AHP-熵权混合评估法确定每个洪涝因子的权重；③ 计算得出四川省岷江流域地区的致涝因子、孕涝因子、承涝因子，并确定其空间分布；④ 最终计算出洪涝风险系数，并绘制四川省内岷江流域地区的洪涝风险分布图。

致涝因子:

$$H(x) = \sum_{j=1}^i [w_i \times H_{ij}(x)] \quad (1)$$

孕涝因子:

$$S(x) = \sum_{j=1}^i [w_i \times S_{ij}(x)] \quad (2)$$

承涝因子:

$$V(x) = \sum_{j=1}^i [w_i \times V_{ij}(x)] \quad (3)$$

洪涝风险系数:

$$D(x) = w_H \times H(x) + w_S \times S(x) + w_V \times V(x) \quad (4)$$

上述式中:

$H(x)$ 为致涝因子危险性, $S(x)$ 为孕涝因子敏感度, $V(x)$ 为承涝因子脆弱性, w_H, w_S, w_V 各因子在评估中的占比权重, $D(x)$ 为洪涝风险系数。

5. 研究方法

5.1. 技术路线

本文选择的致涝因子为年降雨量、总暴雨雨量占总降雨雨量的比例和短历时暴雨雨量占总暴雨雨量的比例, 孕涝因子水系密度、平均高程、平均坡度、不透水层、河网密度和植被覆盖度, 承涝因子选用人口密度、地均 GDP 和道路密度。研究技术路线如图 2 所示。

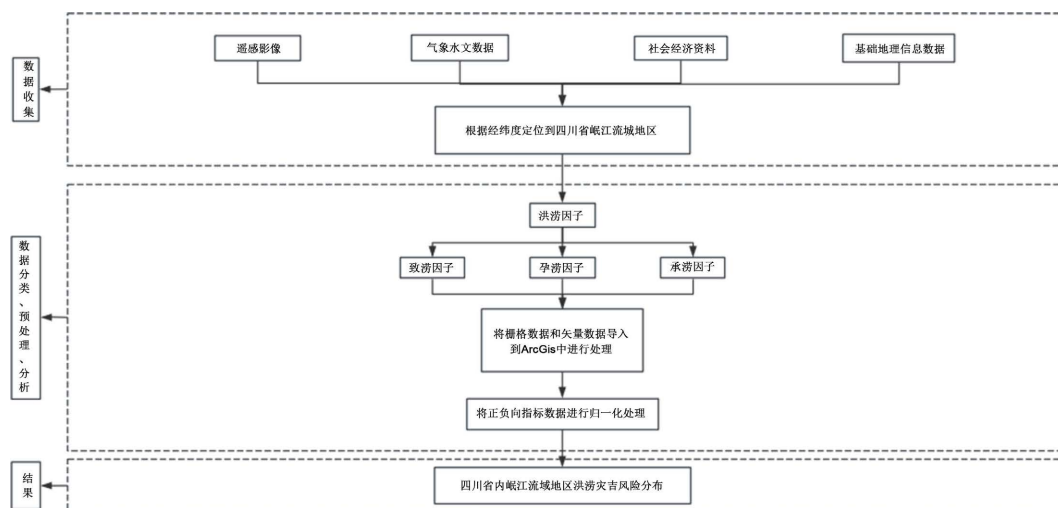


Figure 2. Technical route for flood disaster risk assessment in the Minjiang river basin within Sichuan province
图 2. 四川省内岷江流域洪涝灾害风险评估技术路线

5.2. 洪涝动态风险性指标数据处理

5.2.1. 致涝因子

评价指标致涝因子危险性, 本文使用年降雨量, 总暴雨占比以及短时暴雨占比这三个指标来评估。

选择四川省内岷江流域地区周围 153 个降雨观测点的数据, 又根据中国气象局对暴雨的定义(日降雨量 $\geq 50 \text{ mm}$), 选择了四川省内岷江流域地区周围 21 个气象台站的长、短历时暴雨占比作为基础的数据集[13], 利用克里金插值法[14], 计算得到四川省内岷江流域地区致涝因子选择的三个指标的特征数据均值。

5.2.2. 孕涝因子

评价指标孕涝因子敏感性, 由于研究区域的地理环境差异, 对于洪涝灾害的形成有不同程度的影响, 本文使用地面平均高程, 平均坡度, 水系密度, 植被覆盖度, 不透水层 这五个指标来评估。从地理环境上看, 如果平均高程越低, 平均坡度越平缓, 那么流入地面的积水越不容易排走, 容易发生内涝[15][16], 植被覆盖率越高、不透水层越低的地区, 吸水能力则是越高, 可以降低洪涝灾害的危险[17], 地区的降水一般最终通过河网排出, 河网越密集的区域, 越容易发生洪涝灾害[16]。

5.2.3. 承涝因子

评价承涝因子脆弱性, 需要考虑社会经济因素等影响。本文使用人口密度, 地均 GDP, 路网密度这三个指标来评估[18]。一般来说, 人口越多、经济越发达的地段, 洪涝灾害造成的损失就越大[19]。

5.2.4. 数据标准化

本文参考了自然灾害风险评估方法理论[12], 选择了 11 个数据指标来评估。它们具有不同的含义和量纲, 而且每个洪涝因子之间不具有可比性。为了统一数据指标对洪涝风险评估的影响, 需要对数据指标进行标准化处理。

正负向指标数据的处理方式不同, 根据选择的指标, 对其进行划分, 结果如表 1 所示。

Table 1. Index system and hierarchical model for flood disaster risk assessment
表 1. 洪涝灾害风险评估指标体系和层次模型

目标层	准则层	指标层	指标属性
成都市洪涝风险	致涝因子	年总降雨	正向
		总暴雨雨量占总降雨雨量的比例	正向
		短历时暴雨雨量占总暴雨雨量的比例	正向
	孕涝因子	水系密度	正向
		平均高程	负向
		平均坡度	负向
		植被覆盖率	负向
		不透水层	正向
	承涝因子	pop2021densty	正向
		gdp2021densty	正向
		道路密度	正向

正向指标:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min[X_j]}{\max[X_j] - \min[X_j]} \tag{5}$$

负向指标:

$$X_{ij} = \frac{\max[X_j] - x_{ij}}{\max[X_j] - \min[X_j]} \tag{6}$$

上述式中， x_{ij} 为第 i 个区域的第 j 个洪涝因子的数值， $\max[X_j]$ 为第 j 个洪涝因子中的最大值， $\min[X_j]$ 为第 j 个洪涝因子中的最小值， X_{ij} 为第 i 个区域的第 j 个洪涝因子归一化后的标准值。

5.3. 确定指标权重

5.3.1. 层次分析法

层次分析法是 A L Saaty 于 20 世纪 70 年代提出来的一种权重分析方法[20]。其主要特征是按照人思考、决策的方式将复杂的决策过程层次化、定量化[21]。

本文基于收集到的 11 个指标数据，通过历史数据的研究与分析[1] [4] [16] [21] [22]，两两比较相同指标层的洪涝因子，构建出各洪涝因子的判断矩阵[23]，计算出这 11 个洪涝因子的指标权重(如表 2)。

指标权重计算完成后，需要对其进行一致性检验，若是检验不通过，则需要重新构建关于洪涝因子的判断矩阵[24]。

Table 2. Weights of the analytic hierarchy process
表 2. 层次分析法权重

指标层		子指标层		AHP 层次分析法
指标	权重	指标	权重	权重 W_{li}
致涝因子	0.5	年降雨量	0.637	0.254
		总暴雨占比	0.2583	0.191
		短期暴雨占比	0.1047	0.1684
		水系密度	0.4158	0.0934
		平均高程	0.2011	0.0647
孕涝因子	0.3	平均坡度	0.1198	0.0244
		植被覆盖率	0.0452	0.0163
		不透水层	0.2181	0.0312
		人口密度	0.6	0.1091
承涝因子	0.2	GDP 密度	0.3	0.0358
		道路密度	0.1	0.01187

5.3.2. 熵权法

客观评价方法用熵权法对各指标进行客观赋权[25] [26]。在信息论中，熵权法是一种用评价指标值所构成的判断矩阵，来确定各个指标系权重的定权方法，其权重的结果有较强的客观性。其过程如下：

1) 由 M 个洪涝因子，和其对应的 N 个区域，构建评价指标矩阵：

$$R = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & \cdots & x_{MN} \end{pmatrix} \tag{7}$$

2) 计算第 j 个洪涝因子，在第 i 个区域的指标比重。

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \tag{8}$$

3) 计算第 j 个洪涝因子的熵值。

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \tag{9}$$

其中， $k=1/\ln m$ ， m 为评价区域的数量。

确定指标数据的熵指后，计算权重：

$$W_j = \frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^n 1-H_j} \tag{10}$$

上述式中： W_j 表示第 j 项指标的权重，且 $0 \leq W_j \leq 1$ 。

经过计算，各个数据指标的权重如表 3 所示：

Table 3. Entropy weight method weights
表 3. 熵权法权重

指标层	子指标层	信息熵值	熵权法权重
致涝因子	年总降雨	0.941	0.06368
	总暴雨占比总降雨	0.949	0.05505
	短时暴雨占总暴雨	0.967	0.03556
孕涝因子	水系密度	0.83	0.18241
	平均高程	0.942	0.06257
	平均坡度	0.943	0.06158
	植被覆盖度	0.922	0.0834
	不透水层	0.834	0.17761
承涝因子	人口密度	0.928	0.07707
	gdp 密度	0.88	0.12842
	路网密度	0.932	0.07265

5.3.3. 综合 AHP 和熵权法

综合层次分析法和熵权法的原理，是根据不同洪涝指标在两种定权方法间的差异度，得到层次分析法和熵权法的分配系数 α 和 β [16]。其中，计算差异度可以选择使用距离函数。

构造公式如下：

$$W_i = \alpha W_{1i} + \beta W_{2i}, \alpha + \beta = 1, i = 1, \dots, n \tag{11}$$

$$\begin{cases} D(\alpha, \beta)^2 = D(W_{1i}, W_{2i})^2 \\ D(W_{1i}, W_{2i})^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_{1i} - W_{2i})^2}{2} \right]^{1/2} \end{cases} \tag{12}$$

最后，将分配系数带入组合权重，得到下表 4。

Table 4. Grouping method weights
表 4. 组合法权重

指标层		子指标层	AHP 层次分析法	熵权法	组合法
指标	权重	指标	权重 W_{1i}	权重 W_{2i}	权重
致涝因子	0.5	年降雨量	0.2540	0.06368	0.1919
		总暴雨占比	0.1910	0.05505	0.1466
		短期暴雨占比	0.1684	0.03556	0.1250
孕涝因子	0.3	水系密度	0.0934	0.18241	0.1224
		平均高程	0.0647	0.06257	0.0640
		平均坡度	0.0244	0.06158	0.0366
		植被覆盖率	0.0163	0.0834	0.0382
		不透水层	0.0312	0.17761	0.0789
承涝因子	0.2	人口密度	0.1091	0.07707	0.0986
		GDP 密度	0.0358	0.12842	0.0660
		道路密度	0.0119	0.07265	0.0317

6. 结果分析与风险评估

根据表 4 的结果,得到了组合法的权重,通过权重,计算四川省内岷江流域地区的洪涝因子,在 ArcGis 平台下,绘制评价指标,以及对应的子指标分布图,从而分析出四川省内岷江流域各个地区的洪涝灾害,与各个洪涝因子之间的关联与影响。

6.1. 致灾因子评价分析

致灾因子是灾害发生的直接诱因,一般是由降雨量,暴雨等因素引起。本文考虑使用了年总降雨、暴雨占比、短时暴雨占比这三个因素。

四川省内岷江流域中游地区,如东坡区、青神县、市中区、五通桥区年总降雨量较大,其次是下游的犍为县、叙州区、翠屏区,上游地区如茂县、汶川县等年总降雨量则相对较少。总暴雨占比分布与年总降雨分布大概一致,短时暴雨占比则是从北到南呈现低-中-低-高的情况。结合上述因子分析致涝因子,如图 3 所示,致涝危险性从北到南呈现出低-高-中的情况,其中东坡区,青神县,市中区的致涝危险性较高。

6.2. 孕涝因子评价分析

孕涝因子是指构成灾害发生背景或条件的环境因素,涵盖自然和人文要素,为致灾因子的产生提供潜在条件。本文考虑使用了不透水层、平均高程、平均坡度、水系密度、植被覆盖率这五个因素作为考察指标。

对于研究地区,在平均高程和平均坡度上,从北到南,地势逐渐变得平缓,岷江上游地区的茂县,汶川县等地势较高,而到眉山等地区地势较低。从不透水层的占比来看,四川省内岷江流域中游地区的不透水层占比较高,可能有较多建筑,陆地一类的不透水物体,而上下游的不透水层占比较低,除此之外,水系密度也呈现出北方地区较低,南方地区较高的情况。分析植被覆盖率,可以看出茂县、汶川县等上游地区的植被覆盖程度高,而新津区、彭山区、东坡区等地植被覆盖率较低,总体呈现出四川省内岷江流域北部地区植被较多的情况。

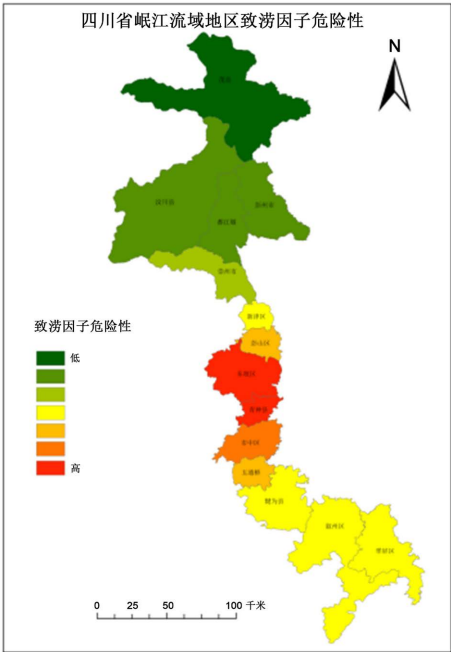


Figure 3. Risk analysis results of waterlogging factors in the Minjiang river basin area within Sichuan province
图 3. 四川省内岷江流域地区致涝因子危险性分析结果

分析图 4 孕涝因子敏感性，可以发现四川省内岷江流域地区从北至南呈现出低 - 高 - 中的分布情况，也就是上游地区的孕涝因子敏感性较低，中游地区较高，下游地区则是处于中等水平。

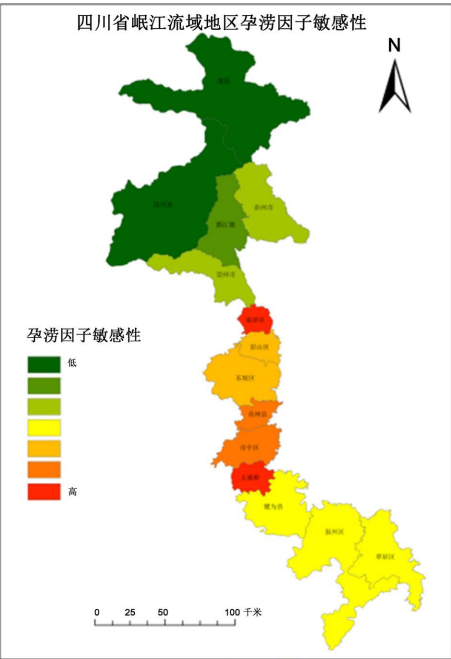


Figure 4. Sensitivity analysis results of waterlogging factors in the Minjiang river basin area within Sichuan province
图 4. 四川省内岷江流域地区孕涝因子敏感性分析结果

6.3. 承涝因子评价分析

承涝因子是指承受涝灾影响或风险的要素。一般而言，对于人口密度，地均 GDP，路网密度越大的地区，发生洪涝灾害时，所承受的损失会更大。

四川省内岷江流域地区在人口密度，地均 GDP，以及路网密度上，均呈现出上游地，中游高，下游中等的分布，这或许也和地区经济发展的情况有关。崇州市，新津区，彭山区等地可能存在经济较快发展的情况。

综合分析上述指标，得到承涝因子脆弱性的结果，图 5 可以看出，茂县、汶川县等地区承涝脆弱性较低，崇州市、新津区、彭山区、市中区、五通桥区等地区承涝脆弱性较高。

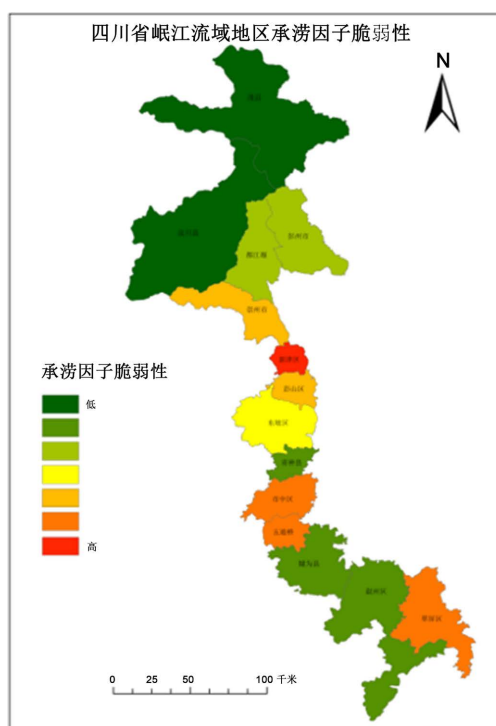


Figure 5. Analysis results of the vulnerability of waterlogging factors in the Minjiang River Basin area within Sichuan Province

图 5. 四川省内岷江流域地区承涝因子脆弱性分析结果

6.4. 四川省内岷江流域洪涝综合风险评估

综合致涝因子，孕涝因子，承涝因子，计算得到洪涝风险系数，并绘制出四川省内岷江流域地区的洪涝风险分布图，即下图 6。

整体来看，四川省内岷江流域地区的洪涝风险程度，从北部到南部，呈现出低 - 高 - 中的趋势。茂县、汶川县、彭州市等地区的洪涝风险相对较低，新津区、彭山区、东坡区、青神县等地洪涝风险相对较高，下游地区的犍为县、叙州区、翠屏区这三个地区的洪涝风险程度相对中游地区较低，相对上游地区较高。

从选择的洪涝因子指标来看，洪涝风险较低的地区，年总降雨、暴雨占比较低，平均坡度、平均高程则相对较高，植被覆盖率也比其他地区高。水系密度的分布也和洪涝风险的分布有很大的关系。而洪涝风险较高的地区，人口密度、地均 GDP、路网密度往往也相对较高。

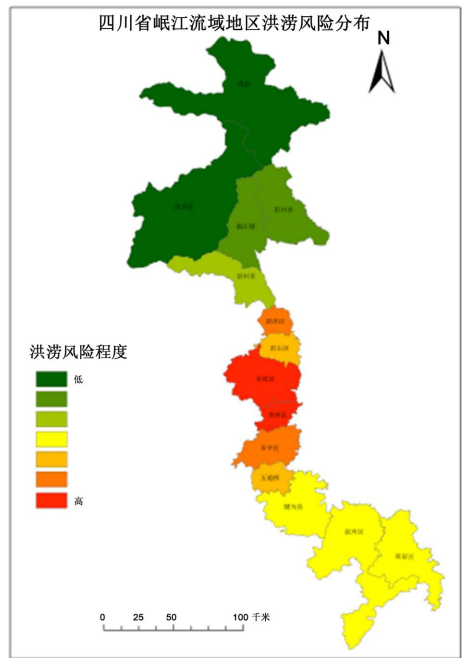


Figure 6. Distribution of flood risks in the Minjiang river basin area within Sichuan province
图 6. 四川省内岷江流域地区洪涝风险分布

7. 模型评估

基于数据的限制，本文对比了 2022 年四川省的洪涝灾害数据。其结果表明，使用 AHP-熵权法得到的洪涝风险分布情况与历史数据基本一致，历史数据显示，位于岷江上游的阿坝州茂县与汶川县，成都市彭州市、都江堰市、崇州市、新津区洪涝风险程度较低，中游地区的眉山市彭山区、东坡区、青神县等地洪涝风险属于中等偏高水平，下游地区的乐山市翠屏区等地洪涝灾害风险则处于中等偏低的等级。

8. 结论

本文基于气象水文数据、基础地理数据、社会经济数据和遥感数据，使用了层次分析法和熵权法结合的方法，通过致涝因子、孕涝因子、承涝因子对应的 11 个指标数据，综合计算得到了四川省内岷江流域地区的洪涝风险分布情况。其从上游至下游，北部至南部，整体呈现出低风险 - 高风险 - 中风险的分布，这显示出四川省内岷江流域地区洪涝风险程度分布不均。其中中游地区的东坡区、青神县等地洪涝风险程度最高，上游地区茂县、汶川县等地洪涝风险程度最低。由于形成洪涝灾害的因素有很多，不同的地区，形成洪涝灾害的情况也有所不同。

以下分别选择洪涝风险程度高、中、低的典型代表区域：东坡区、犍为县、汶川县来对比 11 个指标数据。

由表 5 可以看出，对于洪涝灾害风险偏高的地区，年降雨量、人口密度、GDP 密度、水系密度等因子指标数值往往都比较高，而平均高程、不透水层、平均坡度等数值则是偏小。对于东坡区来说，其暴雨比例占比较大，而且地势较为平坦，植被覆盖率也不高，这是导致其洪涝风险程度高的主导原因。对犍为县而言，其年降雨量和东坡区接近，但是暴雨占比相对不高，而且植被覆盖率较东坡区更高，人口密度和 GDP 密度远小于东坡区，平均坡度却高于东坡区不少，所以综合而言，尽管其年降雨量高，但地势较为陡峭，且大面积地区有植被覆盖，故洪涝风险程度为中等。最后，对汶川县地区，由于其年降雨

量低，但地势较高，植被覆盖率广，人口密度也低，因此洪涝风险程度较低。

Table 5. Comparison of 11 indicators in typical areas with different levels of flood disaster risk
表 5. 洪涝灾害风险不同等级典型地区 11 个指标对比

行政区	东坡区	犍为县	汶川县
年总降雨(mm)	1125.984741	1124.692139	827.222351
短时暴雨占总暴雨(%)	0.929456	0.868144	0.885016
总暴雨占比总降雨(%)	0.357253	0.28148	0.20964
植被覆盖度(%)	0.709525	0.793178	0.821306
平均高程(m)	465.421143	430.525879	2957.166016
人口密度(万人/平方千米)	0.065276946	0.039370532	0.002212341
gdp 密度(万元/平方以下分别千米)	0.428344985	0.194327936	0.022416748
不透水层(%)	0.145215802	0.020197711	0.00473069
平均坡度	3.002795	7.480174	31.210119
水系密度(平方千米/平方千米)	0.067358679	0.056505827	0.003775294
路网密度(千米/平方千米)	1.02737981	0.879862465	0.459843129

对于洪涝灾害风险程度高的地区，建议可以加强防洪堤坝、排水系统建设，提高城市排水防涝能力，建设蓄滞洪区，调节洪水峰值。同时也应该制定完善的应急预案，定期进行疏散演练；加强气象预警系统，提高预警准确性和时效性。

对于洪涝风险程度中等的地区，可以定期检查和维护现有排水设施，修复破损和功能失效的部分，推进雨污分流改造，提高雨水排放能力。同时也要加强河流、湖泊的生态修复，提高自然调蓄能力；开展山洪灾害监测，优化预警阈值。

对于洪涝风险程度较低的地区，应该保持现有排水设施的良好状态，定期清理和维护，加强水土保持工作，减少水土流失。除此之外，也需要监测气象和水文情况，及时发布预警信息；开展防洪排涝知识宣传，提高公众自救能力。

9. 本文创新点与展望

本文选择了岷江河流，在四川省内流经区域进行洪涝灾害分析，以区县为颗粒度，对岷江支流经过的 7 区 4 县，以及 3 个县级市进行洪涝风险灾害评估。通过使用 AHP-熵权法，研究河流流域附近地区的洪涝灾害风险，并具体到区县。

在收集数据的过程中，由于最新的数据较难获取，所以使用的是往年历史数据，这或许会造成一定程度的影响。同时，在洪涝因子选取的指标上，本研究主要考虑了造成洪涝灾害的主要因素，一些对洪涝灾害的形成能产生一定影响，但总体来看并不算大的因素没有考虑，这些都可能会导致计算结果的精确度有误差，后续还可以进一步提高研究结果的精确度。

在之后的工作中，为了进一步提高评估洪涝灾害风险程度的准确性，将从以下方面进行：一方面是要尽可能选择最新的数据进行收集，通过这些数据来评估洪涝风险程度，另一方面是要研究探索其它会造成洪涝风险灾害的指标，并考虑是否能将其纳入洪涝风险的评价中。

参考文献

- [1] 侯雨乐. 1840-1949 年岷江上游旱涝灾害变化及驱动力分析[J]. 水电能源科学, 2022, 40(4): 19-229.
- [2] 吴汉美, 段国凡, 李春娥. 洪涝灾害后城镇景观长距离输水系统水文风险评估[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 43-46, 78.
- [3] 程建中, 黄永俊, 许冰清. 基于地-管-河耦合模型的南宁市城区洪涝灾害模拟及淹没影响研究[J]. 人民珠江, 2024, 45(11): 24-33.
- [4] 贾艳红, 白莹, 翟禄新. 基于 AHP-熵权法的广西暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(10): 13-17.
- [5] 苑希民, 高瑞梅, 田福昌, 等. 基于 D-S 证据理论改进 AHP-熵权的流域洪涝灾害评估研究[J]. 水资源与水工程学报, 2024, 35(1): 9-16.
- [6] 秦年秀, 姜彤. 基于 GIS 的长江中下游地区洪灾风险分区及评价[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(5): 1-7.
- [7] 黄进, 张方敏, 胡正华. 基于多指标综合降水指数的安徽省暴雨灾害的时空演变[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 111-116.
- [8] Sharma, S., Tomar, V., Arora, S. and Gupta, N. (2024) Flood Risk Assessment and Interpretation Using Explainable AI. 2024 *International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT)*, Gorakhpur, 23-24 November 2024, 41-45. <https://doi.org/10.1109/icicat62666.2024.10923370>
- [9] Bilskie, M.V., Angel, D.D., Yoskowitz, D. and Hagen, S.C. (2022) Future Flood Risk Exacerbated by the Dynamic Impacts of Sea Level Rise along the Northern Gulf of Mexico. *Earth's Future*, **10**, e2021EF002414. <https://doi.org/10.1029/2021ef002414>
- [10] Singkran, N. (2017) Flood Risk Management in Thailand: Shifting from a Passive to a Progressive Paradigm. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **25**, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.08.003>
- [11] Bournas, A. and Baltas, E. (2024) Flood Hazard Assessment Using Weather Radar Data in Athens, Greece. *Remote Sensing*, **17**, Article 72. <https://doi.org/10.3390/rs17010072>
- [12] 史培军, 刘新立. 区域水灾风险评估模型研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(2): 66-72.
- [13] 孔锋, 方建, 吕丽莉, 等. 中国短历时和长历时暴雨对总暴雨贡献的空间差异性研究(1961-2015) [J]. 干旱区地理, 2017, 40(2): 293-303.
- [14] 李俊晓, 李朝奎, 殷智慧. 基于 ArcGIS 的克里金插值方法及其应用[J]. 测绘通报, 2013(9): 87-90, 97.
- [15] 徐艺扬, 李昆, 谢玉静, 等. 基于 GIS 的城市内涝影响因素及多元回归模型研究: 以上海为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2018, 57(2): 182-198.
- [16] 程朋根, 黄毅. 基于 AHP-熵权法的南昌市洪涝风险评估[J]. 人民长江, 2021, 52(10): 18-25.
- [17] 要志鑫, 孟庆岩, 孙震辉, 等. 不透水面与地表径流时空相关性研究: 以杭州市主城区为例[J]. 遥感学报, 2020, 24(2): 182-198.
- [18] 李彦萍, 王涛, 王玺伟, 等. 层次分析法支持下的道路洪涝灾害风险评价——以武夷山地区为例[J]. 测绘通报, 2022(3): 166-170.
- [19] 葛怡, 史培军, 刘婧, 等. 中国水灾社会脆弱性评估方法的改进与应用——以长沙地区为例[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 54-58.
- [20] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
- [21] 谢捷, 刘玮, 徐月顺, 等. 基于 AHP-熵权法的西宁地区汛期暴雨灾害风险评估[J]. 自然灾害学报, 2022, 31(3): 60-74.
- [22] 周燕莲, 董铭, 刘维明, 等. 基于 GIS 的岷江流域洪灾动态风险性评价研究[J]. 人民长江, 2022, 53(5): 20-27.
- [23] 董君. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 科技资讯, 2015, 13(29): 218, 220.
- [24] 刘佳, 张蓉, 潘志宏. 基于改进层次分析法的社区灾害风险及易损性评价[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2017, 31(3): 399-404.
- [25] 李帅, 魏虹, 倪细炉, 等. 基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2700-2708.
- [26] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J]. 应用生态学报, 2006(10): 1923-1927.