

# 重庆市南川区公路地质灾害分布规律及影响因素

杨清铃, 王思长

重庆科技学院建筑工程学院, 重庆

收稿日期: 2023年9月28日; 录用日期: 2023年11月10日; 发布日期: 2023年11月20日

## 摘要

重庆市南川区地处渝、黔两省(直辖市)交汇点, 地形条件、地质环境较为复杂, 公路地质灾害频发, 研究公路地质灾害分布及影响因素对南川区公路的规划、建设与管养具有重要意义。依托第一次全国自然灾害综合风险普查开展公路承灾体调查, 南川区国道、省道、县道、乡道共有地质灾害点374处, 其中崩塌250处, 滑坡58处, 沉陷与塌陷66处, 一级风险点1处, 二级风险点19处。针对374处地质灾害点开展分析可知: 崩塌灾害主要发生在坡度70°以下, 滑坡灾害主要发生在坡度60°~80°之间; 沉陷塌陷灾害多受河流水系和降雨影响, 崩塌灾害在研究区内较为发育, 公路地质灾害主要受高程、坡度、降雨量、植被覆盖率等因素影响。

## 关键词

南川区, 公路地质灾害, 分布规律, 影响因素

# The Distribution Pattern and Influencing Factors of Highway Geological Disasters in Nanchuan District, Chongqing City

Qingling Yang, Sichang Wang

School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Sep. 28<sup>th</sup>, 2023; accepted: Nov. 10<sup>th</sup>, 2023; published: Nov. 20<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Nanchuan District, Chongqing City is located at the intersection of Chongqing and Guizhou provinces (municipalities directly under the central government), with complex terrain and geological environment. Highway geological disasters occur frequently, and studying the distribution and influencing factors of highway geological disasters is of great significance for the planning, construction, and management of highways in Nanchuan District. Based on the first national comprehensive risk survey of natural disasters, a survey of highway disaster-bearing areas was conducted. There are a total of 374 geological disaster points on national, provincial, county, and township roads in Nanchuan District, including 250 collapses, 58 landslides, 66 subsidence and collapse points, 1 first-level risk point, and 19 second-level risk points. Based on the analysis of 374 geological disaster points, it can be concluded that collapse disasters mainly occur at slopes below  $70^\circ$ , while landslide disasters mainly occur at slopes between  $60^\circ$  and  $80^\circ$ ; subsidence and collapse disasters are mostly influenced by river systems and rainfall. Collapse disasters are relatively developed in the study area, and highway geological disasters are mainly affected by factors such as elevation, slope, rainfall, and vegetation coverage.

## Keywords

Nanchuan District, Highway Geological Disasters, Distribution Pattern, Influencing Factors

Copyright © 2023 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

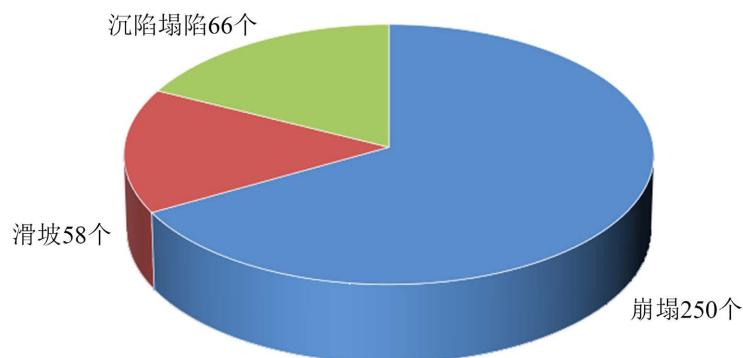
地质灾害是指在自然或者人为因素的作用下形成的,对人类生命财产造成的损失、对环境造成破坏的地质作用或地质现象[1]。我国区域广泛、地形复杂多样,区域性和多发性强,在现代建设开发等人类活动下,地质灾害越来越严重,且大型地质灾害对人民生命财产及社会公共安全构成严重威胁,所以加强公路地质灾害普查和防治工作势在必行。分析南川区地质灾害分布规律和影响因素,圈定地质灾害易发区和高风险区,进而为减灾防灾、灾害管理与决策等提供可靠的科学依据,最终成为避灾、防减灾的有效途径之一。

多年来,有许多学者对地质灾害发育分布规律及影响因素进行了大量研究。随着 RS 和 GIS 技术日益成熟,在 2016 年,Regmi 等[2]利用遥感和调查数据,考虑地形、地质、土地利用、公路、降雨等因素,沿着阿尼格公路建立了崩塌灾害风险区划图。其更关注较大地理范围内分布的既有各级公路网沿线灾害的综合性评价研究,而国外学者多集中于对单一公路或在建公路的局部区域进行研究,对公路沿线灾害的识别更依赖于卫星遥感技术,实地调研相对较少。谢晓议等[3]以 GIS 为技术手段,采用信息量法选取 6 个典型评价因子作为评价指标,对铜梁区地质灾害敏感性进行了评价和可视化分析;李佳俊[4]的研究聚焦在山东省常见的公路地质灾害类型,通过使用 GIS 软件,对坡度、降雨量、植被覆盖率和岩土类型这四个自然环境因素的基本特征进行了分析。同时,利用 Getis-Ord  $G_i^*$ 统计工具,对山东省的滑坡(崩塌)、泥石流、地面塌陷和不稳定斜坡这四种常见公路地质灾害进行了热点分析处理,以揭示灾害的发生频率、发育程度和空间分布规律。此外,研究者还建立了公路地质灾害评价方法,采用影响因素叠加法,提出了“地质灾害强度指数”来评估公路地质灾害的发育程度。尽管以上研究仔细探讨了公路地质灾害与四种自然环境因素之间的关系,但实际上,公路地质灾害的发生也与其他因素(如高程、坡向、距离断层的距离等)密切相关。

## 2. 公路地质灾害发育类型及特征

依据中华人民共和国交通运输部发布《自然灾害综合风险公路承灾体普查技术指南》，结合南川区实际情况对地质灾害的主要类型进行了划分，主要有：崩塌、滑坡、沉陷塌陷三类。

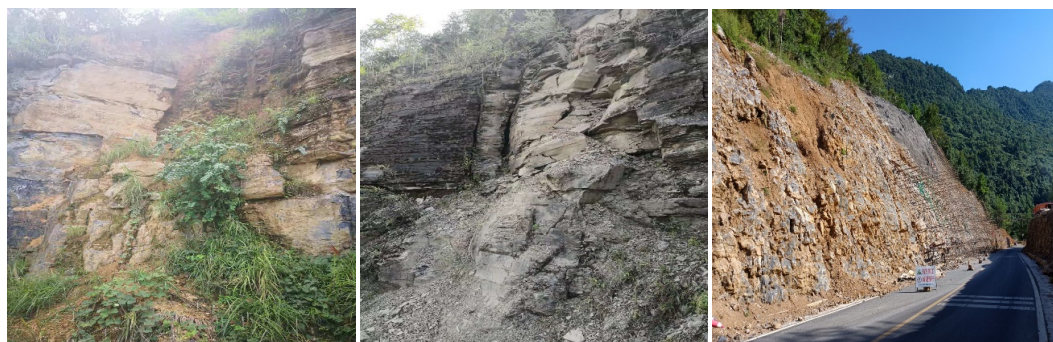
全区共调查地质灾害点共计 374 个(见图 1)。其中包括滑坡 58 个，占总数的 15%；崩塌 250 个，占总数的 67%；沉陷塌陷 64 个，占总数的 18%。



**Figure 1.** Pie map of the current development status of highway geological disasters in Nanchuan District

**图 1.** 南川区公路地质灾害发育现状饼图

实地调查 250 处崩塌(见图 2)，其中岩质 79 处，土质 11 处，土石混合 160 处，涉及 30 个乡镇。其中有 1 处一级风险点，13 处二级风险点，151 处三级风险点，85 处四级风险点。南川区内有 94%崩塌为中、小型规模，共有 236 处崩塌危岩体积在 1000 m<sup>3</sup> 以内，且坡面、防护措施发生局部变形破损。发生崩塌的坡型一般为直线型，据现场调研数据显示，一般的坡高在 6~15 m 处，共有 120 处崩塌灾害，坡度在大于 70°的崩塌占比 83%。崩塌最常见的模式是滑移式，坡体坡度较为陡直或接近垂直，岩体风化严重，裂隙较为发育，雨水容易入渗；当发生暴雨时，坡体会发生剪切运动后，坡体产生裂缝，发生滑移式崩塌破坏。土石混合边坡容易发生倾倒式崩塌，局部岩体或土体会与母体发生分离，多属于垂直节理分离。当土体和岩体与母体产生的裂缝越来越大，直到没有联系时，在这过程中，当中心偏离到一定程度时会发生斜坡体破坏，最终形成倾倒式崩塌。鼓胀崩塌在土质边坡中最为常见，坡体上部为垂直节理，其下部为水平结构平面，当下部土体或软岩受到破坏或者压迫时，发生鼓胀变形致使上部坡体滑落，发生崩塌。本次调查发生倾斜式崩塌灾害点较多。



**Figure 2.** Investigation map of collapse site

**图 2.** 崩塌现场调研图

沉陷塌陷是指地表岩石和土壤在自然或人为因素的作用下，向下坍塌形成塌陷坑的一种地质现象。

不同的地形表现出不同的塌陷区形状, 南川区靠近河流的地方易发生沉陷塌陷灾害, 多数路段因地表的不均匀沉降加剧了地表的起伏变化(见图 3)。公路路基主要有填方路基、挖方路堑、半填半挖路基等三种形式, 其中, 填方路基又分为高填方路基和一般填方路基。当工程地质条件较差, 并且土层比较松软的情况下, 如果在填土前未经过更换土壤或不充分进行压实处理, 那么填土完成后, 原有的土壤很容易发生压缩或下沉, 挤压位移, 导致路基发生沉陷现象。沉陷塌陷多发生在雨季, 大量降雨将岩土体润湿、增加岩土体自身重量并降低强度, 同时使地下水位上升, 提升地下水压力。突然发生的沉陷塌陷会给公路交通干线附近造成严重破坏, 对公路构造物、过往车辆和行人造成了巨大的危害。同时, 还导致了路面平整度的明显降低, 对公路行车安全构成威胁, 并且大大降低了公路的可使用性能。本次调查共发现 66 个沉陷塌陷灾害点, 其中有 38 处灾害发生后导致公路半幅通行, 有 7 处灾害点直接中断公路。



Figure 3. Investigation map of subsidence and collapse site  
图 3. 沉陷塌陷现场调研图

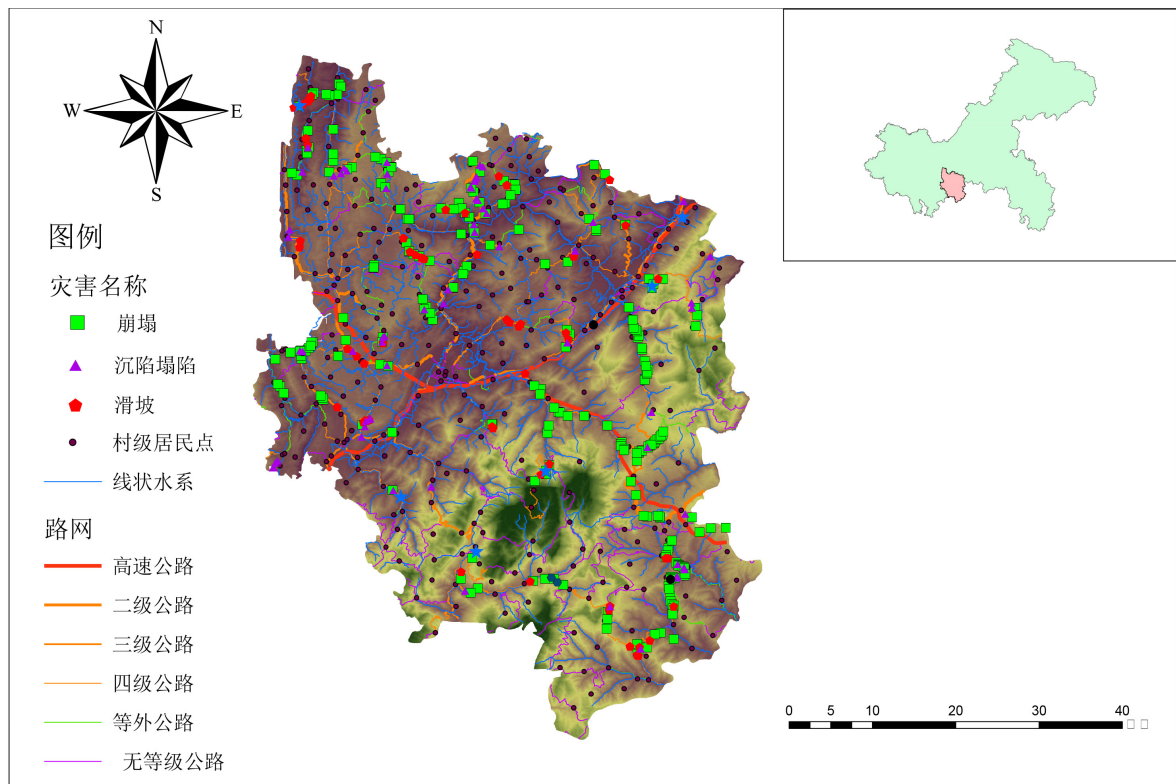


Figure 4. Distribution map of disaster points in Nanchuan District  
图 4. 南川区灾害点分布图

公路滑坡灾害指的是位于公路边坡上方的岩土体受到河流冲刷、雨水浸泡、地下水活动、地震及人工切坡等因素影响, 由于重力作用, 沿软弱面或软弱带整体或分散地沿坡向下滑动且危害到公路安全的现象[5]。研究区内本次共调查 58 处滑坡灾害(见图 4), 研究区以小型滑坡灾害为主, 中型滑坡 3 处, 占比 5%, 小型滑坡 55 处, 占比 95%。公路滑坡多从坡顶与坡中开始滑坡, 滑坡多为自然因素诱发, 大部分滑坡均处于不稳定状态。滑坡多发生坡度于  $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ , 占比 72%。滑坡平面形态一般为椭圆形, 运动形式为牵引式。滑坡后缘通常会显示出明显的滑动迹象, 包括明显的下降高度和岩土接触面之间的滑动面。滑坡灾害对公路建设的危险十分严重, 可能导致滑坡发生位置上方或下方公路出现路基不稳定、路面破损, 甚至造成交通半幅通行或者中断通行, 需要巨大的人力物力财力进行修复。

通过使用 Getis-Ord  $G_i^*$  统计工具, 进行了对南川区公路地质灾害发育程度的热点分析, 并生成了一张灾害热点图。这张图通过将不同区域的热点用 0~6 的颜色级别表示, 展示了公路地质灾害的强度。具体而言, 颜色级别 0 表示公路地质灾害强度较低, 而颜色级别 6 表示公路地质灾害强度较高(见图 5)。根据这张图的结果, 我们发现南川区的公路地质灾害主要集中在东南部的低海拔山地区域。而北部的丘陵和低海拔山地区域, 相对而言, 地质灾害发生较少, 危险程度也相对较低。这说明了南川区不同地理区域的公路地质灾害分布情况存在明显的差异(见图 6)。

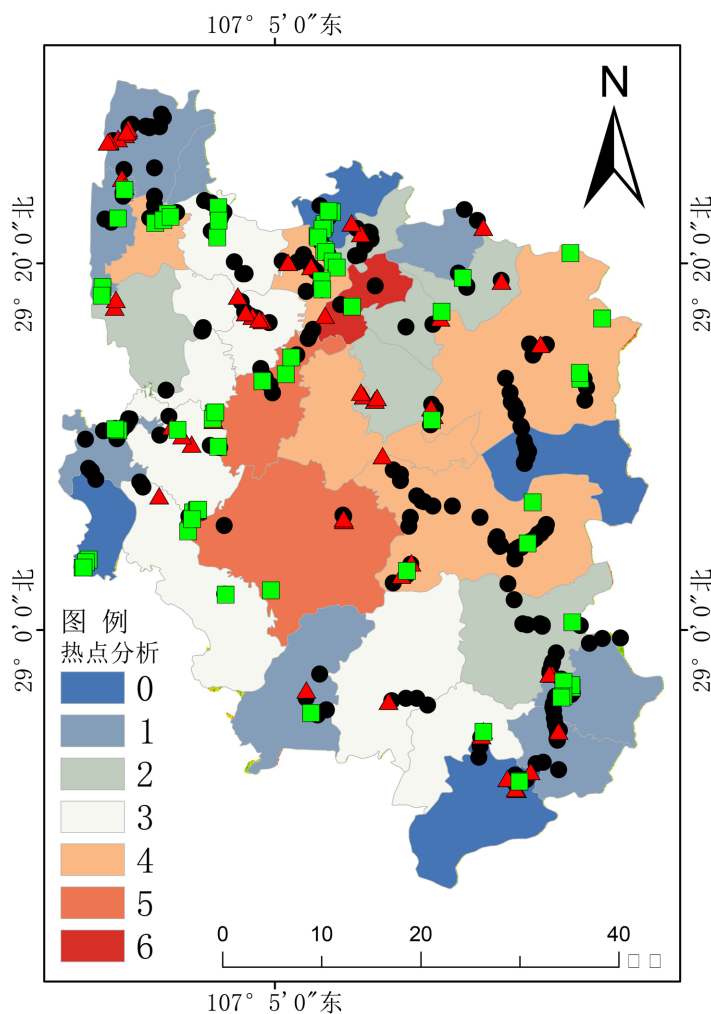


Figure 5. Getis Ord  $G_i^*$  hotspot analysis

图 5. Getis-Ord  $G_i^*$  热点分析

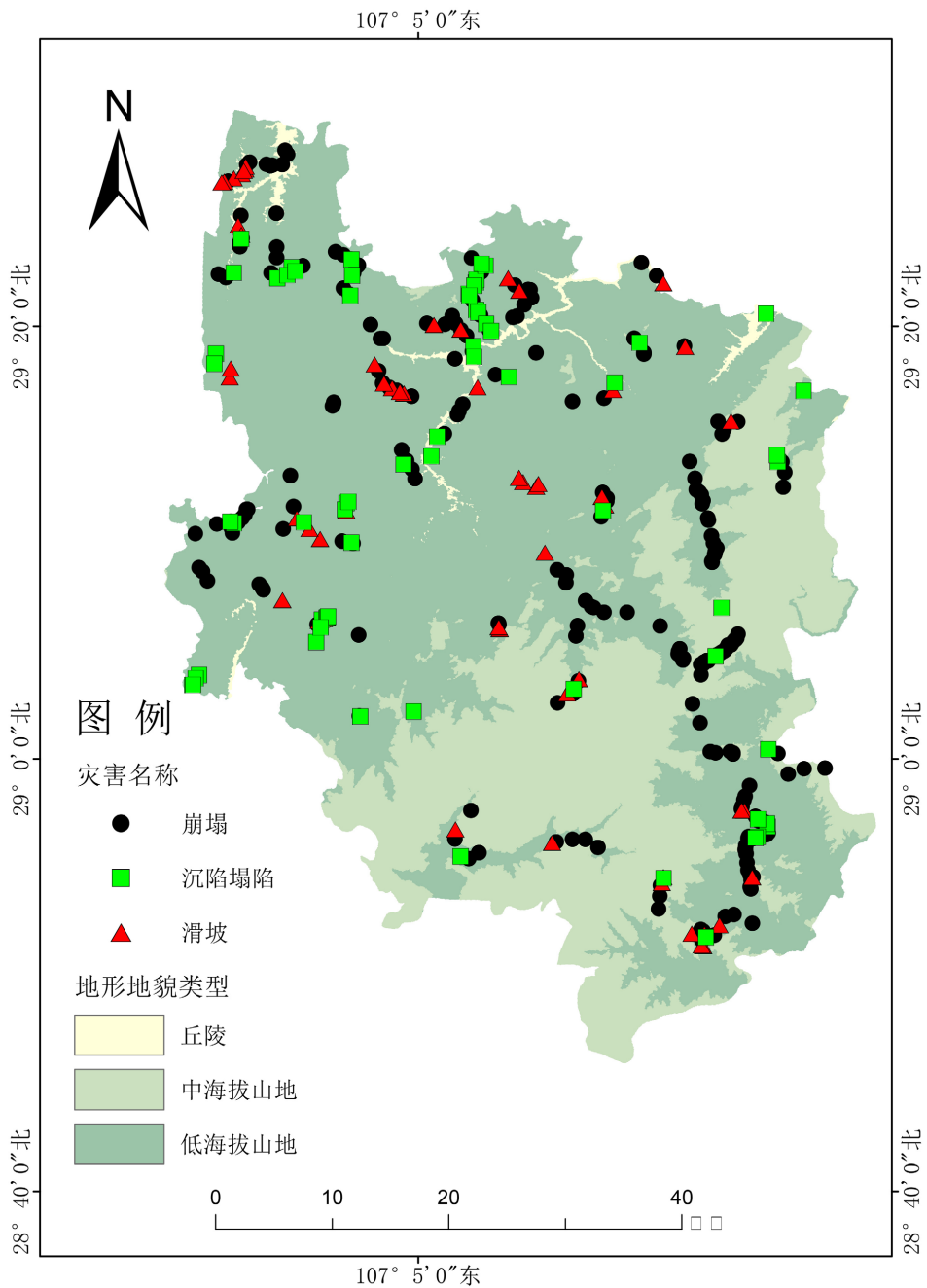


Figure 6. Relationship between landform and disaster points  
图 6. 地形地貌与灾害点关系

### 3. 公路地质灾害影响因素分析

使用 ArcGIS 软件, 利用研究区收集到的自然环境相关数据资料进行了分析处理。通过对研究区相关自然环境因素的基本特征进行研究, 分析了不同自然环境对研究区公路地质灾害的影响程度。在该研究中, 选择了高程、坡度、降雨量和植被覆盖率这五个自然环境因素作为研究区公路地质灾害影响因子的评价指数。通过对这些因素进行综合评价, 得出了研究区公路地质灾害存在的风险程度。这种分析方法以客观的方式评估研究区公路地质灾害的风险情况, 帮助了解不同自然环境因素在公路地质灾害发生中

的重要性。这将为相关决策和规划提供有价值的参考依据, 以减少公路地质灾害的风险。

基于 ArcGIS 软件, 利用收集的研究区自然环境相关数据资料进行分析处理, 通过研究区相关自然环境因素的基本特征, 分析不同自然环境下对研究区公路地质灾害影响程度, 选取高程、坡度、降雨量和植被覆盖率五种自然环境因素作为研究区公路地质灾害影响因素评价指数, 来评价研究区公路地质灾害存在的风险。

南川地处四川盆地和云贵高原过渡带, 地形地貌具有两者的特征, 以山地为主, 山脉一般由北向南倾斜。南川地形复杂多样, 地貌类型较为丰富, 中山占总面积的 50.71%, 低山占 48.07%, 丘陵只占 1.22%。最高点的金佛山风吹岭海拔 2238 米, 而最低点的骑龙乡鱼跳岩则仅海拔 340 米, 相对高差达到了 1898 米。在相对平缓的平原地带, 南川区发生崩塌和滑坡灾害较多; 在地势相对陡峭的山地地带, 南川区易发生崩塌灾害。山王坪镇海拔在 1200 米以上的地方发生崩塌灾害的可能性大。

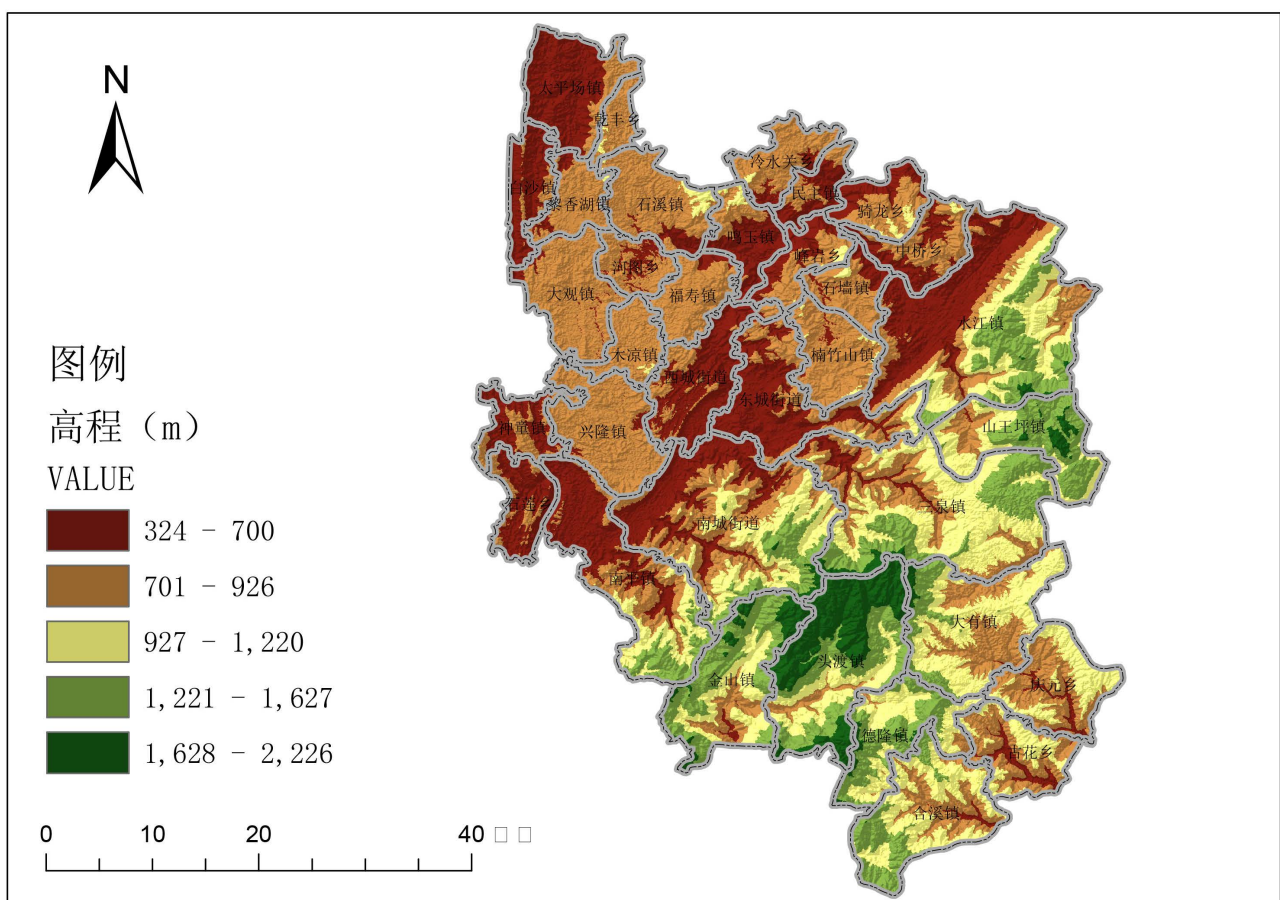


Figure 7. Elevation map of Nanchuan District

图 7. 南川区高程图

坡度是指地面或道路在垂直方向上的变化率。它用于描述地表或道路的倾斜程度。常见的坡度单位包括百分比、度数或分数。坡度通常用于工程规划、道路设计和土地利用等领域, 以确定地形特征和地表的可承受性, 对交通和建筑物的安全性和可用性起着重要作用。计算方式见公式(1):

$$\alpha = \tan \gamma \quad (1)$$

式中:  $\alpha$ ——坡度;  $\gamma$ ——坡角。

应用 ArcGIS 软件, 利用高程(DEM)作为基础数据(见图 7), 进行空间分析处理, 首先从地理信息数据网找到研究区数字高程模型(DEM), 利用坡向函数(aspect)进行计算, 制作栅格数据集, 用可得坡向空间分布图; 再利用坡度函数(slope), 制作高程对应坡度栅格数据集(见图 8)。

根据相关文献和研究区坡度空间分布图对研究区坡度进行基本特征分析研究。南川区以包茂高速为分界线, 北面地势较为平缓、南面地势起伏较大, 兼有四川盆地和云贵高原的特点。地层发育大体是东南部高山深谷切割成强烈, 海拔 1400 米以上, 为深切中山地貌; 西北属盆冻平行岭谷, 为海拔 500~1100 米的浅切低山地貌[6]。坡度对公路建设和汽车行驶都有一定的影响, 随着坡度的增大, 建设公路时会增大勘测、设计、施工的困难, 导致公路投资建设运营成本增加。同时, 开挖后还会影响边坡稳定性, 导致边坡变形和失稳, 可能引发滑坡和崩塌灾害。

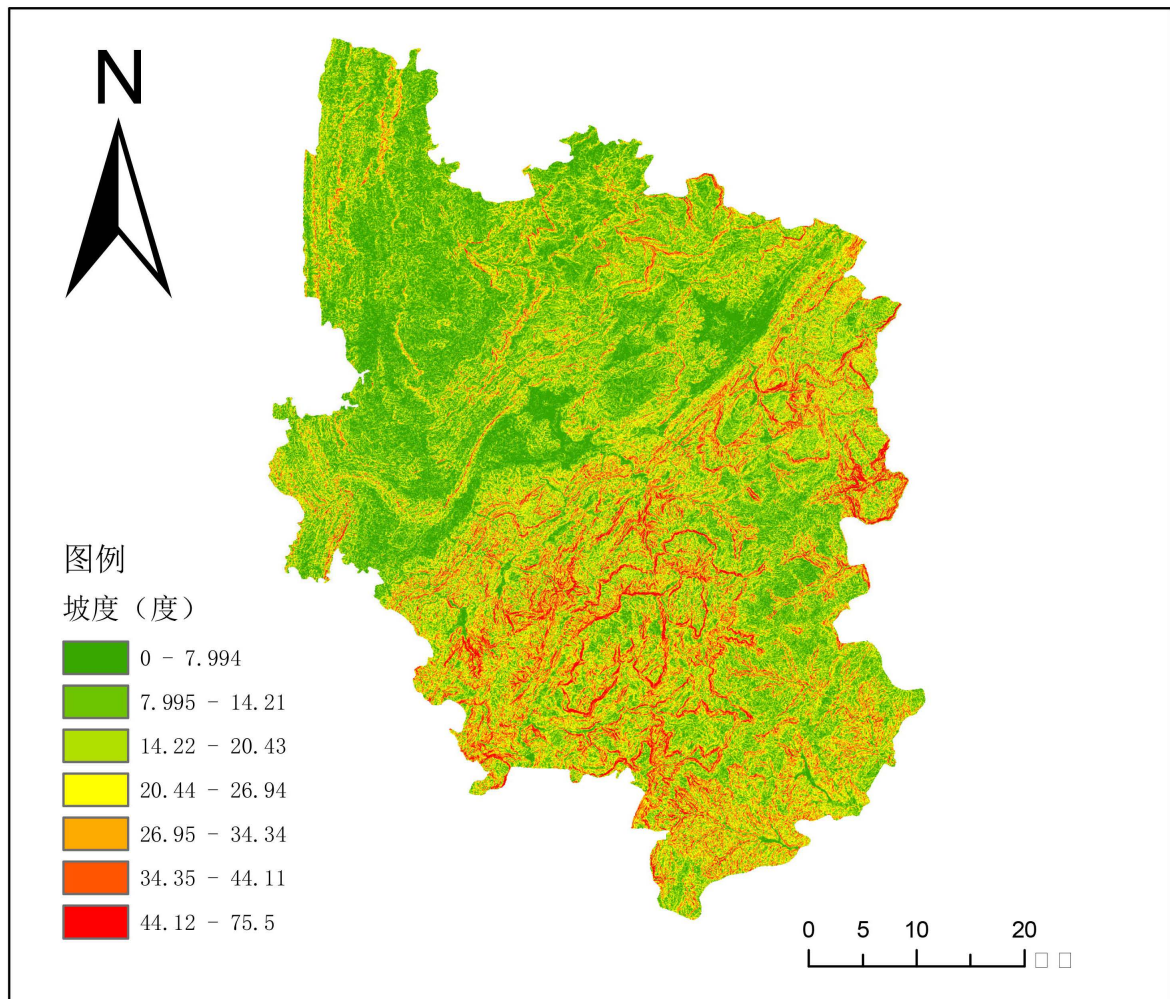


Figure 8. Spatial distribution of slope

图 8. 坡度空间分布图

降雨量分析一般采用空间统计法、多元回归法以及空间插值法等。降雨量受到坡度、坡向、高程等因素的影响, 具有不确定性。利用 ArcGIS 的空间插值法能够很好的解决不确定性问题。运用 ArcGIS 与地统计法相结合, 进行 Kriging 空间插值计算。滑坡与崩塌受降雨影响表现较为明显, 研究区内 3、6、7、9 月降雨量大, 当降雨量增多时, 滑坡与崩塌灾害发生的次数也呈增加趋势, 其灾害发生次数多。南川



区属于年平均降雨量恒大于 800 mm 的潮湿区, 在长时间干燥的环境下突然出现连续的降雨天气, 会使致灾体自身重量加大, 雨水湿润了土地后, 植被的根系便更加发达, 土壤松弛, 使土壤平衡性降低, 造成滑坡和崩塌的影响变大。降雨因素会与其他影响因素共同作用, 导致滑坡、崩塌、泥石流等公路地质灾害, 破坏公路路基路面基础设施及其他相关配套设施。

植被覆盖率采用 ENVI 软件对卫星遥感影响进行处理, 并使用处理过的数据在 ArcGIS 中计算得出植被覆盖率。考虑到图像获取受限、精度不准、获取信息误差的等因素, 需先在图像使用前对其进行处理。NDVI 计算公式如下:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (2)$$

式中: *NIR* 代表近红外波段的数值; *Red* 代表红光波段的数值。

接着利用 GIS 软件的栅格计算器进行植被覆盖率计算, 公式如下:

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

植被需要吸收大量水分来维持自身成长, 便可降低公路边坡岩土体含水量, 减少雨水对公路的冲刷作用, 植被根茎也可加固边坡岩土体, 从而提高边坡岩土体稳定性, 可减少泥石流灾害的发生。坡度大的地方, 植被覆盖茂盛; 坡度较缓的地方, 植被覆盖率低。总体来说, 南川区植被覆盖率较高, 山区的植被覆盖率比平原的植被覆盖率相对较高。

从时间分布规律来看, 人类工程活动是引发公路地质灾害的主要原因。社会突飞猛进的发展, 人民生活水平也相应不断提高, 建造住房、修通道路、矿业开采等人类活动工程大幅增加, 该类集中活动致使滑坡、崩塌等地质灾害频频发生。主要原因是人类不合理开采破坏了斜坡的稳定体系, 使原有的坡体受力发生了巨大变化。在雨季集中的季节, 公路地质灾害也频发, 除沉陷塌陷外, 滑坡、崩塌、泥石流等公路地质灾害, 多数发生在雨季。

#### 4. 结语

文章依托全国第一次地质灾害普查, 以南川区为例展开了调查, 通过现场勘测、年报收集、系统平台数据处理, 找出地质灾害点分布规律, 并针对南川区地质灾害点进行分析, 提取出易发风险、高风险点, 总结出影响规律。利用 GIS 通过地形地貌分析和热点分析发现, 地质灾害主要发生在低海拔山地地区、植被覆盖低的地区, 地质灾害发生受时间和环境影响, 在降雨时节, 崩塌和滑坡灾害易发, 在河流较多、水源丰富地带, 沉陷塌陷灾害易发。地质灾害的分布规律可为该区域做好提前防范措施, 为公路安全检测和重点区域防治提供有效数据支撑。

#### 基金项目

重庆科技学院本科教育教学改革研究项目(202388)。

#### 参考文献

- [1] 潘懋, 李铁锋, 主编. 灾害地质学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [2] Regmi, A.D., Cui, P., Dhital, M.R. and Zou, Q. (2016) Rock Fall Hazard and Risk Assessment along Araniko Highway, Central Nepal Himalaya. *Environmental Earth Sciences*, **75**, Article No. 1112. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5905-x>
- [3] 谢晓议, 曾燕, 彭赞, 等. 重庆铜梁地质灾害敏感性评价及可视化分析[J]. 土工基础, 2022, 36(4): 602-606. <http://tgjc.whrsm.ac.cn/CN/Y2022/V36/I4/602>

- [4] 李佳骏. 山东省公路地质灾害区划研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2021.  
<https://doi.org/10.26976/d.cnki.gchau.2021.000065>
- [5] 毛福仁. 滑坡成因及防治措施研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(20): 4404-4404.  
<https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/ChlQZXJpb2RpY2FsQ0hJTmV3UzIwMjMwODMxehNqemdjanN5c2oyMD E3MjA0Mjg3Ggh1b214ZXJ0Zg%3D%3D>
- [6] 重庆市南川区人民政府. 地理环境[EB/OL]. [http://www.cqnc.gov.cn/zjnc/dlhj/202007/t20200702\\_7633707.html](http://www.cqnc.gov.cn/zjnc/dlhj/202007/t20200702_7633707.html), 2023-03-27.