

# 基于 GIS 与 AHP 的旺苍县滑坡灾害危险性评价

邱利平<sup>1</sup>, 董廷旭<sup>1\*</sup>, 冉锦屏<sup>2</sup>

(1. 绵阳师范学院资源环境工程学院, 四川绵阳 621006; 2. 四川省地质矿产局 909 水文地质工程队, 四川绵阳 621000)

**摘要** 利用 2016 年旺苍县地质灾害详查数据, 结合旺苍基础地理数据和 DEM 数据, 选取坡度、地貌、地层岩性、多年平均降雨量、河流以及道路等因子, 通过 GIS 与 AHP 对旺苍县滑坡进行危险性分区与评价。结果表明: 旺苍县滑坡灾害高度危险性区分布在东部和南部, 占总面积的 19.5%; 中度危险区占总面积的 27.3%; 低度危险区占总面积的 32.4%; 安全区占总面积的 20.8%。旺苍县滑坡灾害的危险性分区可为当地防灾减灾工作提供决策参考。

**关键词** GIS; 层次分析法; 滑坡; 危险性评价

**中图分类号** S429 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)02-0051-04

## Risk Assessment of Landslide Hazard in Wangcang County Based on GIS and AHP

QIU Li-ping<sup>1</sup>, DONG Ting-xu<sup>1</sup>, RAN Jin-ping<sup>2</sup> (1. School of Resource and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621006; 2. 909 Hydrogeology and Engineering Team of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Mianyang, Sichuan 621000)

**Abstract** Using the data of geological disasters in Wangcang County in 2016, combined with Wangcang basic geographic data and DEM data, selecting slope, geomorphology, lithology, average rainfall, rivers, roads and other factors, risk zoning and evaluation of landslide in Wangcang County were conducted based on GIS and AHP. The results showed that the highest risk areas of landslides account for 1.3% of the total area; moderate risk areas account for 30.6% of the total area; low danger zone account for 39.1% of the total area; safe areas account for 29.0% of the total area. Zoning of risk areas of landslide can provide reference for decision-making in local disaster prevention and mitigation work.

**Key words** GIS; Analytic hierarchy process; Landslide; Risk assessment

根据 2016 年四川省旺苍县地质灾害调查, 旺苍县 337 处地质灾害隐患点, 滑坡共有 212 处, 占总地质灾害的 62.9%, 以小型滑坡为主, 共 198 处, 没有大型滑坡。旺苍县滑坡威胁到 879 户 5 419 人的生命安全, 多为分散农户, 潜在财产损失 27 069 万元。滑坡危险性评价是在滑坡易发性评价的基础上, 考虑降雨、地震、人类工程活动等诱发因素的作用下, 滑坡发生的空间位置、时间概率、强度及其影响范围的定性或定量评价<sup>[1]</sup>。

目前滑坡灾害危险性的研究方法很多<sup>[2-14]</sup>。李文盛等<sup>[2]</sup>采用层次分析法对湖北省巴东县新城区的黄土坡进行了滑坡危险性评价。毛伟等<sup>[3]</sup>采用层次分析法, 利用 GIS 技术对金沙江乌东德库区金坪子滑坡进行了单体滑坡危险性评价。刘丽娜等<sup>[4]</sup>采用层次分析法和 GIS 技术对芦山震区进行了滑坡危险性评价。邢秋菊等<sup>[5]</sup>利用逻辑回归模型和 GIS 技术对万州地区进行了滑坡危险性评价研究。许冲等<sup>[6]</sup>将逻辑回归模型用于玉树地震区的滑坡危险性评价中, 并进行了检验。

笔者以旺苍县为研究对象, 在科学性和系统性原则指导下, 根据文献资料、ARCGIS 自然间断点分级法分类、区域实际情况以及影响因子与历史滑坡灾害点的相关性来确定指标分级标准, 采用 AHP 确定因子权重, 借助于 ARCGIS 技术强大的空间数据分析处理能力, 完成旺苍县滑坡灾害危险性评价及其危险性分区制图, 以期对旺苍县滑坡灾害的防治、

预测预警提供数据支持。

## 1 研究区域概况

旺苍县地处大巴山西脉米仓山山地与四川盆地接合地区, 地理坐标为 105°58'24" ~ 106°46'02" E, 31°58'45" ~ 32°42'24" N, 面积约 2 986 km<sup>2</sup>。县域内地势特点总体北部高陡, 南部低缓, 河谷深切, 地形起伏大, 最大相对高差为 1 816 m。旺苍县东北部为构造侵蚀溶蚀中山, 中部为构造侵蚀中山, 南部为构造剥蚀低山, 还有少量分布侵蚀堆积河谷平坝; 整个地形以山地为主, 占旺苍县总面积的 97.3%, 谷地及平坝仅占 2.7%。旺苍县地层属扬子地层区, 地层出露较齐全。岩性区域分布特征明显, 中部主要分布古生界至中生界三叠系的碳酸岩夹碎屑岩和二叠系的块状碳酸岩。北部地区主要分布元古界的变质岩, 岩性主要为变质砂岩和板岩。东北部地区集中分布着元古界晋宁期岩浆岩。南部地区分布中生界侏罗系和白垩系的碎屑岩, 岩性为砂岩、泥质粉砂岩、泥岩及砂岩和泥岩互层。新生界第四系集中分布于中部河谷平坝地带。旺苍县属亚热带湿润季风气候类型, 年平均气温 13.7 °C, 年降雨量 1 021.7 mm, 雨量充沛集中, 降雨量季节分配不均匀, 降雨主要集中在 7—9 月, 这 3 个月的降雨量占全年降雨量的 50% 以上。县境内沟谷发育, 水网密布, 沟谷较短小, 沟床坡降较大, 河流主要有东河、木门河和寨巴河。旺苍县滑坡点分布情况见图 1。

## 2 数据来源与研究方法

**2.1 数据来源** 数据源包括旺苍县的基础地理数据(行政边界、河流水系、道路交通数据等), 2016 年旺苍县地质灾害点详细调查、30 m × 30 m DEM 数据(地理空间数据云下载), 统计数据, 遥感解译和实地调查获取的滑坡地质灾害点数据, 降水量观测数据等。旺苍县境内无孕育地震的断裂, 地

**基金项目** 绵阳师范学院研究生创新实践项目(060/YXCXXM201704)。

**作者简介** 邱利平(1988—), 女, 四川宜宾人, 硕士研究生, 研究方向: 地防治与生态修复。\* 通讯作者, 教授, 硕士生导师, 从事 3S 技术集成应用、土地利用与区域生态安全、地防治与生态修复研究。

**收稿日期** 2017-11-18

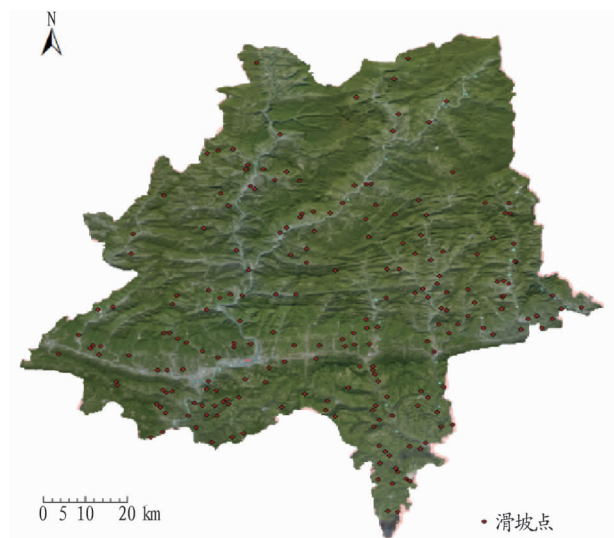


图1 旺苍县滑坡点分布

Fig. 1 Landslide distribution of Wangcang County

震活动弱,按《中国地震动参数区划图》分区,地震基本烈度为VI度,区域地壳较稳定,因此不考虑地震因子对滑坡灾害的影响。

**2.2 研究方法** 层次分析法(AHP)是由美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的多准则目标决策方法,是将定性和定量相结合、层次化、系统化的决策方法<sup>[15]</sup>。层次分析法的主要思想:分析问题包含的影响因素及因素间的关系,将影响因素分层,在每一层次下建立准则,对该层次下影响因素进行两两比较并建立判断矩阵,得出该层准则下的权重,由此计算各目标因素对总体目标的组合权重<sup>[16]</sup>。

层次分析法主要步骤:①建立评价指标体系;②构建判断矩阵;③计算最大特征值和特征向量;④一致性检验。

评估指标选取主要遵循科学系统性原则、突出重点原则和综合性原则。指标体系的选取主要根据文献查询和项目实际情况进行选取。各指标滑坡灾害危险性分级和不同级别赋值,根据相关文献资料、ARCGIS 自然间断点分级法分类及区域实际情况。

GIS 空间叠加法根据 ARCGIS 将所有影响因素进行空间表达和量化赋值,得到各因子的栅格图层;再利用栅格计算器将所有影响因素乘以层次分析法计算得到的相应权重,再将乘积相加,划分得到滑坡地质灾害危险性分区。

### 3 数据处理

**3.1 坡度因子提取** 30 m×30 m DEM 数据经过掩膜提取、镶嵌得到旺苍县 DEM 影像数据。利用 ARCGIS 中的“Spatial Analyst”工具中的“Surface Analysis”(表面分析)可以直接提取到旺苍县坡度。根据指标因子的赋值将旺苍县坡度进行重分类,结果得到旺苍县坡度重分类图(图2)。

**3.2 地层岩性因子提取** 地层岩性是影响滑坡发育的基础因素,为滑坡产生提供物质基础。将旺苍县地层岩性图扫描,并在 ARCGIS 中进行配准矢量化,根据指标因子的赋值将旺苍县岩性进行重分类,结果得到旺苍县岩性分级赋值(图3)。

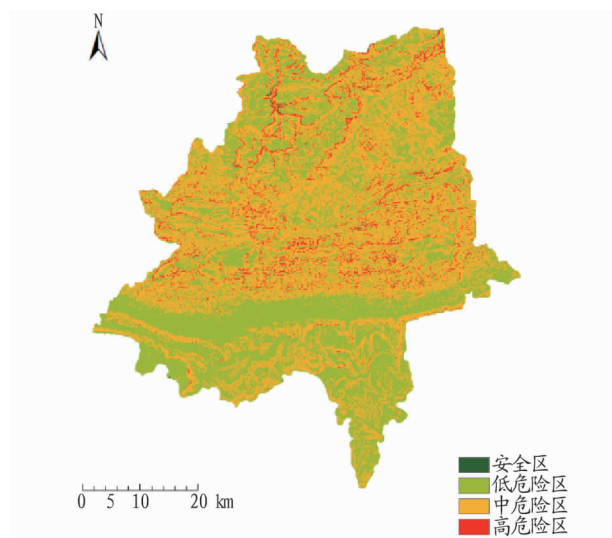


图2 旺苍县坡度重分类

Fig. 2 Slope reclassification of Wangcang County

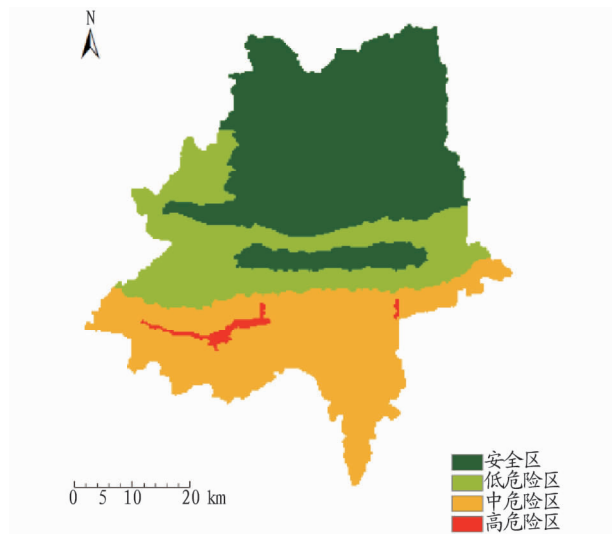


图3 旺苍县岩性分级赋值

Fig. 3 Lithologic grade assignment of Wangcang County

**3.3 地貌因子提取** 斜坡是滑坡发生的条件,不同坡形和斜坡结构影响滑坡的发育。将旺苍县地貌图扫描,在 ARCGIS 中进行配准并且矢量化,根据指标因子的赋值将旺苍县地貌进行重分类,结果得到旺苍县地貌分级赋值(图4)。

**3.4 河流因子提取** 利用旺苍县 DEM 影像数据,根据 ARCGIS 中的“Spatial Analyst”工具中的“Hydrology”(水文分析)。提取河网时,汇流累积量阈值为 3 000 时得到比较理想河网,删除一些伪沟谷,可以提取到旺苍县河网。将旺苍县河流进行缓冲区分析,根据指标因子的赋值,将旺苍县河流缓冲区进行重分类,得到旺苍县河流分级赋值(图5)。

**3.5 道路影响因子提取** 人类工程活动影响滑坡的种类很多,该研究主要选择道路。道路修建,开挖坡脚,形成高陡边坡,有利于滑坡发育。将旺苍县道路图层进行缓冲区分析,根据指标因子的赋值将旺苍县道路缓冲区进行重分类,结果得到旺苍县道路分级赋值(图6)。

**3.6 降水因子提取** 旺苍县滑坡分布范围广,但暴发时间

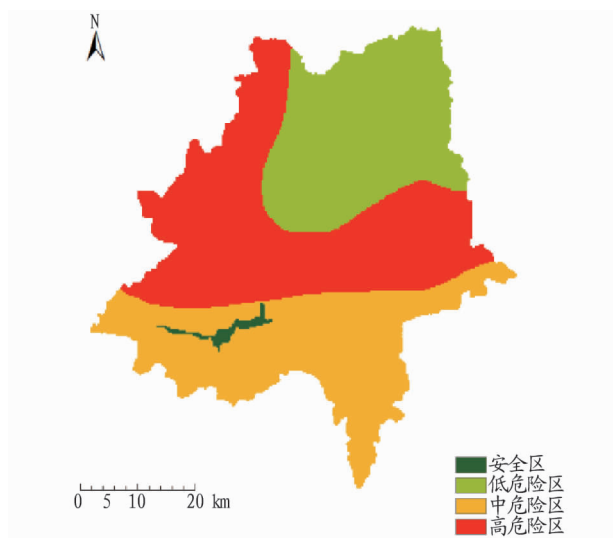


图 4 旺苍县地貌分级赋值

Fig. 4 Geomorphologic classification assignment of Wangcang County

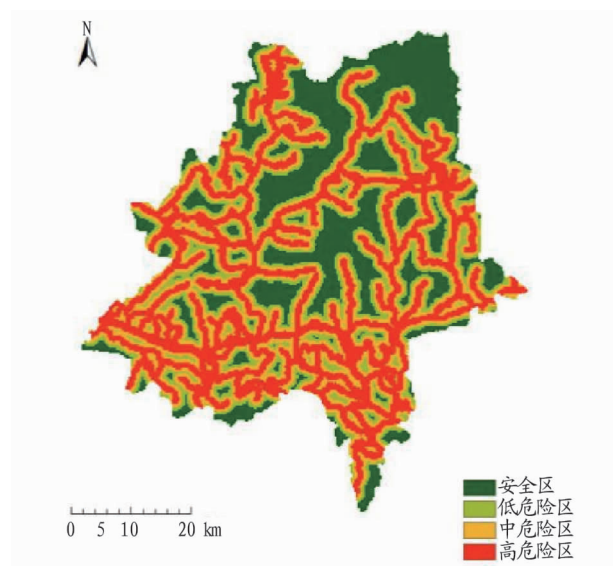


图 6 旺苍县道路分级赋值

Fig. 6 Road classification assignment of Wangcang County

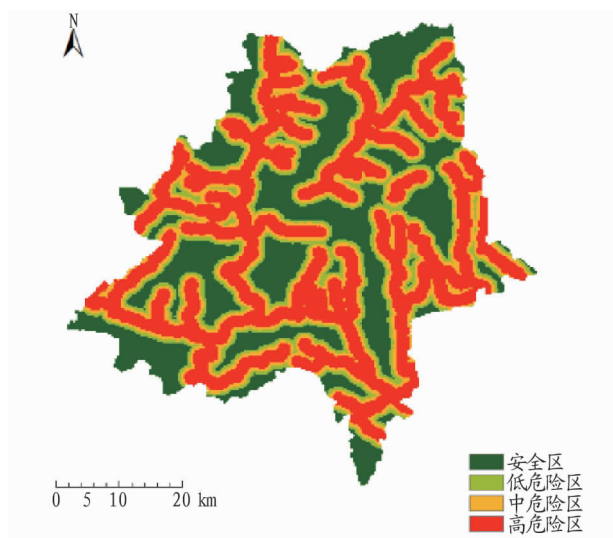


图 5 旺苍县河流分级赋值

Fig. 5 River classification assignment of Wangcang County

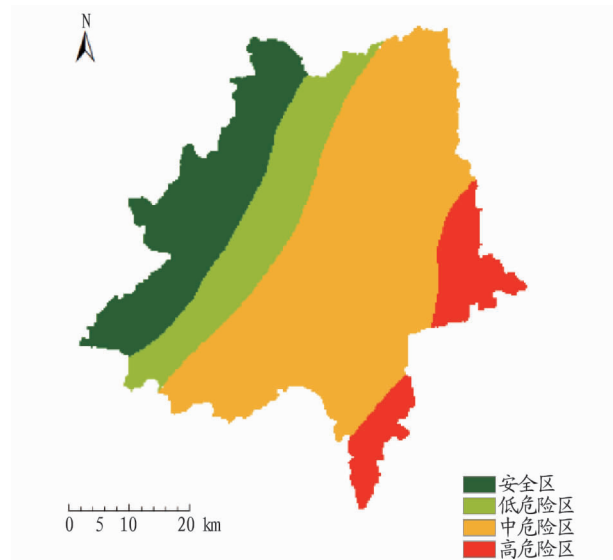


图 7 旺苍县多年平均降水量分级赋值

Fig. 7 Annual average raining Classification of Wangcang County

集中,主要发生在 5—9 月雨季,暴雨和持续降雨都是诱发滑坡的重要条件,旺苍滑坡是典型的降雨诱发型滑坡。年均降水量分布根据区域内气象站点观测资料,通过 ARCGIS 样条函数插值法获取。根据指标因子的赋值将旺苍县多年平均降水量进行重分类,得到旺苍县多年平均降水量分级赋值(图 7)。

用 Excel 数值分析得到判断矩阵最大特征根  $\lambda_{max}$  为 6.000;一致性指标 CI 为 0;RI 为平均一致性指标,值为 1.24;计算随机一致性比率 CR 为 0,则各因子权重是具有可接受一致性。

利用 ARCGIS 10.1 栅格数据处理,根据旺苍县 DEM 影像数据,处理得到坡度图,将旺苍多年平均降雨量图、地层岩性图、地貌图、道路缓冲区和河流缓冲区图栅格化。将旺苍多年平均降雨量栅格图、坡度栅格图、地层岩性栅格图、河流栅格图、道路栅格图、地貌栅格图根据层次分析法计算的权重,利用

ARCGIS 栅格计算叠加得到旺苍县滑坡危险性综合分区图,将旺苍县滑坡危险性综合分区图根据 ARCGIS 自然间断点分级法进行重分类,最终得到旺苍县滑坡危险性分区图。

#### 4 评价结果与分析

**4.1 指标权重确定** 根据层次分析法确定各因子权重,坡度、地貌、岩性、多年平均降雨量、河流及道路因子的权重依次为 0.226、0.097、0.194、0.290、0.032、0.161(表 1),并通过一致性检验。

**4.2 危险性分区** 按照旺苍县滑坡灾害危险性影响因子的权重,对旺苍县滑坡灾害各因子进行叠加分析。根据 ARCGIS 自然间断点分级法对旺苍县滑坡灾害进行危险性分区,分为高度危险区、中度危险区、低度危险区和安全区 4 个等级(表 2、3),结果见图 8。从图 8 可见,旺苍县滑坡灾危险性大致由西北向东南递增。



表1 滑坡灾害危险性评价指标和因子权重

Table 1 Landslide hazard assessment index and factor weight

序号 No.	因子 Factor	权重 Weight
1	多年平均降雨量	0.290
2	坡度	0.226
3	岩性	0.194
4	道路	0.161
5	地貌	0.097
6	河流	0.032

**4.3 对比分析** 根据图8进行面积统计,得到旺苍县滑坡灾害高度危险性区主要分布于东部的大德乡、金溪镇、五权镇部分地区和南部的九龙乡、木门镇部分地区,占旺苍县总面积的19.5%,该地区道路网密集,修建道路开挖坡脚,形成陡峭边坡;河网密度大,河流冲刷侵蚀,都为滑坡发育提供临

表2 形成条件指标分级与赋值

Table 2 Classification and valuation of formation condition index

分级 Classification	级别 Level	地形坡度 Terrain gradient/°	地层岩性 Stratigraphic lithology	地貌 Landforms	河流(与河流距离) Rivers distance to river//km
1	安全	>60	坚硬	河谷平坝	>1.5
2	低度危险	0~20	半坚硬	构造侵蚀溶蚀中山	1.0~1.5
3	中度危险	20~40	半软弱	构造侵蚀低山	0.5~1.0
4	高度危险	40~60	软弱	构造侵蚀中山	0~0.5

表3 诱发条件指标分级与赋值

Table 3 Classification and assignment of induced conditional index

分级 Classification	级别 Level	年均降水量分布 Annual precipitation distribution//mm	道路(与道路距离) Road distance to road//km
1	安全	<950	>1.5
2	低度危险	950~1 050	1.0~1.5
3	中度危险	1 050~1 150	0.5~1.0
4	高度危险	>1 150	0~0.5

空面;主要分布在构造侵蚀低山和构造侵蚀中山;岩性为软弱的砂岩、泥岩互层,降雨量为旺苍最大的区域,是滑坡发育良好地区。中度危险区主要分布在南部和东北部少部分地区,占旺苍县总面积的27.3%,该地区道路网与河网密度也很大,也为滑坡发育提供很好的高陡坡面条件;岩性以砂岩、泥岩和页岩为主;该地区降雨量多。低度危险区主要分布在东北部、中部和西部等地区,占旺苍县总面积的32.4%。安全区主要分布在西部地区尤其是西北部和东北部少部分地区,占旺苍县总面积的20.8%,该地区道路网与河网密度都很小,西部降水量为旺苍县最少地区,该地区岩性碳酸岩和灰岩等岩石为主,主要地貌类型为构造侵蚀溶蚀中山,坡度多在60°以上,有利于崩塌发育,滑坡发育反而较少。

表3 诱发条件指标分级与赋值

发育,滑坡发育少。旺苍县滑坡灾害高危险区主要在降雨量1 150 mm以上的地区,旺苍县滑坡多为降雨诱发。由于旺苍县道路与河流有很大相关性,因此旺苍县滑坡危险区分区有沿河流和沿道路延伸的特点。

(2)旺苍县滑坡灾害高度危险性区主要分布于东部和南部地区,占旺苍县总面积的19.5%;中度危险区主要分布在南部和东北部少部分地区,占旺苍县总面积的27.3%;低度危险区主要分布在东北部、中部和西部等地区,占旺苍县总面积的32.4%;安全区主要分布在西部地区以及东北部的少部分地区,占旺苍县总面积的20.8%。

(3)针对旺苍县滑坡体积规模小、数量多、分布范围广等特点,笔者提出了几点滑坡灾害防治措施:①群测群防,旺苍县建立了以村组为单位的完善的群测群防系统,时时监测滑坡变形情况。②搬迁避让,当滑坡威胁农户较少,农户搬迁安置费用远小于工程治理费用时,建议搬迁避让。旺苍县已建立20个居民安置点,拟建31个居民安置点,能够容纳搬迁的居民入住。③工程治理,旺苍县滑坡多为小型滑坡,体积规模小,主要采用工程治理措施,即抗滑桩+挡土墙+截排水沟+裂缝夯填等、排水沟等。

#### 参考文献

- [1] 吴树仁,石菊松,张春山,等.地质灾害风险性评估技术指南初论[J].地质通报,2009,28(8):995-1005.
- [2] 李文盛,何义恒.层次分析法在黄土坡滑坡危险性评价中的应用[J].长江大学学报(自然科学版理工卷),2008,5(3):91-94,388.
- [3] 毛伟,如黑艳.基于GIS与AHP的金坪子滑坡危险性评价研究[J].地球与环境,2011,39(3):399-404.
- [4] 刘丽娜,许冲,徐锡伟,等.GIS支持下基于AHP方法的2013年芦山地震区滑坡危险性评价[J].灾害学,2014,29(4):183-191.

(下转第59页)

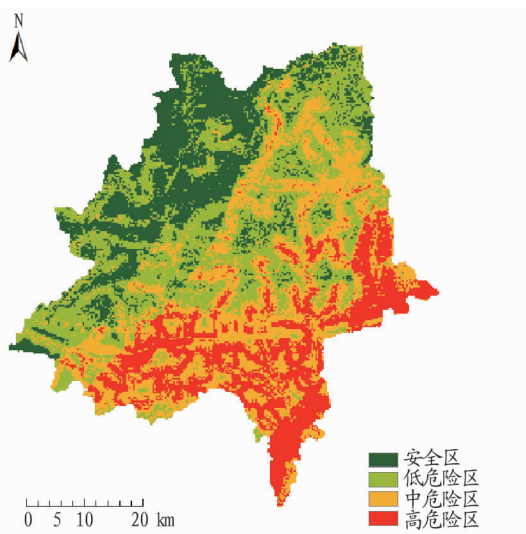


图8 旺苍县危险性分区

Fig. 8 Dangerous zoning of Wangcang County

## 5 结论与建议

(1)滑坡发育需要适宜的地貌和地形坡度,旺苍县北部是构造侵蚀溶蚀中山,坡度多在60°以上,该地条件适宜崩塌

主成分<sup>[25]</sup>,是导致海域富营养化的重要原因之一<sup>[26-28]</sup>。

平阳西湾处于处于飞云江与鳌江之间,据 2014—2016 年温州市海洋环境质量公报和平阳县海洋环境公报,平阳县用海工程施工对周围海域水质环境影响不明显,但对生态环境产生了一定影响,主要表现为底栖生物和潮间带生物群落有所改变;甌江、飞云江、鳌江的污染物排海监测数据见表 7。由表 7 可知,3 年来由 3 条江河携带入海的 COD、氨氮、总磷逐年减少,这与平阳西湾海域 DIN、DIP、E 值 3 年的变化趋势一致,说明影响平阳西湾海域的富营养化主要是入海径流携带的污染物。

表 7 2014—2016 年入海 COD、氮、磷污染物总量

Table 7 The quality of COD, N, P pollution flowed into the sea during 2014—2016

年份 Year	COD	氨氮 Ammonia nitrogen	总磷 Total phosphorus
2014	1 169 773	27 793	53 895
2015	1 102 359	10 471	19 848
2016	917 024	6 504	18 140

### 3 结论

(1) 2014—2016 年平阳西湾海域表层海水水质全年的 DIN、DIP 浓度为劣于四类海水水质标准, DIP 和 DIN 浓度逐年下降,夏季的 DIN 浓度最低。

(2) 2014—2016 年平阳西湾海区表层水质全年的 E 均值 >9,为重度富营养化,富营养化程度表现为逐年下降。2014 年全年 A 值 >4,为严重污染;2015 年夏季和秋季 2 < A < 3,属轻度污染,春季和冬季 A 值 >4,为严重污染;2016 年夏季 2 < A < 3,属轻度污染,其余 3 季 A 值 >4,为严重污染。靠近飞云江入海口的 B<sub>1</sub> 站位 A 值 >4,连续 3 年最高,为严重污染。

(3) 平阳西湾海区表层水质潜在性富营养化评价 2014 年春季是磷中度限制潜在性营养,夏季是氮限制潜在性富营养,秋冬季是 III 级富营养,全年潜在性富营养化评价为 III 级富营养;2015 年春季是磷中度限制潜在性营养,秋季是氮中度限制潜在性富营养,夏冬潜在性富营养化评价是 III 级富营养,全年是潜在性富营养化评价为 III 级富营养;2016 年全年潜在性富营养化评价为 III 级富营养。

(4) 从空间上看,平阳西湾海区表层海水 DIN、DIP、E、A

的平面分布是由入海口向远海逐渐递减的趋势。

(5) 影响平阳西湾海域的富营养化主要是入海径流携带的污染物。

### 参考文献

- [1] 单慧洁,张钊,汪一航,等.温州鳌江近海建设工程环境影响潮汐潮流数值模拟[J].海洋通报,2014,33(3):250-258.
- [2] 宋伟华,许恒福,金矛,等.飞云江口海域环境质量现状分析与评价[J].科技创新导报,2014(29):131-134.
- [3] 刘述扬,孙淑艳,王真良,等.飞云江与鳌江口海域夏、秋季环境因子与浮游生物分布变化[J].生态与农村环境学报,2014,30(4):430-437.
- [4] 董开兴,徐兆礼.飞云江口附近海域浮游动物群落特征[J].生态学杂志,2015,34(3):744-752.
- [5] 邢星亮,郑晓庆,童雪亮.飞云江中上游水体污染治理机制初探[J].水利发展研究,2011,11(8):71-74.
- [6] 赵鑫,卢成标,周华民.外海围涂工程对临江水动力的影响初析:以鳌江为例[J].浙江水利科技,2015(6):1-4.
- [7] 刘亚林,姚伟民,张树刚,等.2008 年夏季飞云江口浮游植物分布特征及与环境因子的相关性[J].海洋环境科学,2009,28(S11):31-34.
- [8] 国家海洋局.海洋监测规范:GB 17378—2007[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.海洋调查规范:GB/T 12763—2007[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 国家环境保护局.海水水质标准:GB 3097—1997[S].北京:中国标准出版社,1997.
- [11] 钱健,贾怡然,丰卫华,等.椒江口海域营养盐及富营养状况的时空变化[J].海洋环境科学,2016,35(5):743-749.
- [12] 黄亚楠,吴孟孟.富营养化指数法在中国近岸海域的应用[J].海洋环境科学,2016,35(2):316-320.
- [13] 曹维,蔡燕红,张海波,等.东海区典型断面营养盐潜在性富营养化评价[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2014,33(3):251-256.
- [14] 蒋国昌,王玉衡,董恒霖,等.浙江沿海富营养化程度的初步探讨[J].海洋通报,1987,6(4):40-48.
- [15] 陈利红,张荣保,叶茂森,等.椒江口海域环境质量现状监测与评价[J].科技创新导报,2014(26):109-114.
- [16] 过锋,陈聚法,张艳,等.黄岛区南部海域营养水平和有机污染状况分析与评价[J].渔业科学进展,2015,36(4):44-50.
- [17] 温州海洋与渔业局.2014 年温州市海洋环境监测公报[R].2015.
- [18] 温州海洋与渔业局.2015 年温州市海洋环境监测公报[R].2016.
- [19] 温州海洋与渔业局.2016 年温州市海洋环境监测公报[R].2017.
- [20] 平阳县海洋与渔业局.2014 年平阳县海洋环境公报[R].2015.
- [21] 平阳县海洋与渔业局.2015 年平阳县海洋环境公报[R].2016.
- [22] 平阳县海洋与渔业局.2016 年平阳县海洋环境公报[R].2017.
- [23] 王云龙.近岸海域海水富营养化的成因与影响[J].山东环境,2000(6):33-34.
- [24] 唐静亮,胡颖璇,毛宏跃,等.浙江省近岸海域富营养及赤潮发生特征初步探讨[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2004,23(2):99-102,106.
- [25] 李俊龙,郑丙辉,张铃松,等.中国主要河口海湾富营养化特征及差异分析[J].中国环境科学,2016,36(2):506-516.
- [26] 高生泉,卢勇,曾江宁,等.乐清湾水环境特征及富营养化成因分析[J].海洋通报,2005,24(6):25-32.
- [27] 尹艳娥,沈新强,蒋玫,等.长江口及邻近海域富营养化程度评价及其时空分布特征[C]//2014 年中国水产学会学术年会论文摘要集.长沙:中国水产学会,2014.
- [28] 李磊,夏培艳,唐峰华,等.舟山附近海域富营养化的时空分布及其与环境因子的关系[J].生态学杂志,2011,30(4):771-777.
- [11] 许冲,徐锡伟,于贵华.基于证据权方法的玉树地震滑坡危险性评价[J].地震地质,2013,35(1):151-164.
- [12] 范强,巨能攀,向喜琼,等.证据权法在区域滑坡危险性评价中的应用:以贵州省为例[J].工程地质学报,2014,22(3):474-481.
- [13] 贾韶辉.基于 RS 与 GIS 技术宣汉县天台山乡滑坡灾害危险性评价[D].北京:中国地质大学,2006.
- [14] 王超.基于 RS&GIS 的宁强县滑坡危险性评价[D].西安:西北大学,2012.
- [15] 马来坤,马宏伟.基于 AHP 的大学生从众行为影响因素研究[J].中国制造业信息化,2010,39(9):81-84.
- [16] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等.汶川地震震后泥石流活动特征与防治对策[J].四川大学学报(工程科学版),2010,42(5):10-19.

(上接第 54 页)

- [5] 邢秋菊,赵纯勇,高克昌,等.基于 GIS 的滑坡危险性逻辑回归评价研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(3):49-51.
- [6] 许冲,徐锡伟.逻辑回归模型在玉树地震滑坡危险性评价中的应用与检验[J].工程地质学报,2012,20(3):326-333.
- [7] 光磊.基于 GIS 的信息量法在滑坡危险性评价中的应用[J].地质与资源,2005,14(3):231-233.
- [8] 罗真富,蒲达成,谢洪斌,等.基于 GIS 和信息量法的泥石流流域滑坡危险性评价[J].中国安全科学学报,2011,21(11):144-150.
- [9] 张重,沈晓华,邹乐君,等.滑坡危险性评价模型中的量化方式研究:以永嘉县为例[J].国土资源遥感,2010,22(3):16-20.
- [10] 赵甜.基于人工神经网络的滑坡危险性评价方法研究[J].城市建筑,2013(20):306-307.