

诸暨市应店街镇崩滑流地质灾害形成条件分析及防治对策

董晓鑫^{1*}, 张洪铤¹, 张津源¹, 陆军寰²

¹桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

²诸暨市自然资源和规划局, 浙江 绍兴

收稿日期: 2025年4月18日; 录用日期: 2025年6月17日; 发布日期: 2025年6月27日

摘要

以浙江省诸暨市应店街镇为研究区域, 结合气候气象、地形地貌、岩土体类型和人类工程活动等指标体系, 并通过物探、钻探和GIS遥感等技术手段, 综合分析以往地质灾害致灾模式条件和成灾条件, 并提出相应的防治对策。研究结果表明: 1) 应店街镇地质灾害类型有崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷4种类型, 以崩滑流地质灾害为主, 规模均为小型, 崩滑流地质灾害主要发生在西部低山丘陵区, 东部地质灾害密度较小。2) 滑坡以土质、岩土质类型为主, 主要发育在丘陵区和平原残丘区土层、风化层较厚的斜坡地带, 发育的地形坡度多在35°以上的斜坡, 主要成灾模式是降雨型滑坡, 滑动形式以推移式为主; 崩塌主要为岩质崩塌和岩土质崩塌两类, 岩质崩塌致灾模式主要为倾倒式、岩土质崩塌致灾模式为滑移式; 地面塌陷致灾模式主要为地下采空区导致。3) 应店街镇地质灾害与区域构造关系不明显, 主要以小范围斜坡灾害为主; 人类工程活动是崩滑流地质灾害发生的重要因素, 主要表现在人工建房切坡; 长期持续降雨和短时间强降雨是崩滑流地质灾害发生的激化因素。4) 应店街镇崩滑流地质灾害主要发育于以较坚硬—软弱片状片麻岩、变粒岩为主的岩组(Bg)、以坚硬块状熔结凝灰岩为主的岩组(Hi)和以较坚硬—较软弱层状粉砂岩、泥岩为主的细碎屑岩岩组(Sf)分布区。

关键词

崩滑流, 地质灾害, 形成条件, 防治对策, 应店街镇

Analysis of the Formation Conditions and Prevention Countermeasures of Landslide, Slide and Current Geological Disasters in Yingdianjie Town, Zhuji City

Xiaoxin Dong^{1*}, Hongxi Zhang¹, Jinyuan Zhang¹, Jundou Lu²

*通讯作者。

文章引用: 董晓鑫, 张洪铤, 张津源, 陆军寰. 诸暨市应店街镇崩滑流地质灾害形成条件分析及防治对策[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(6): 918-929. DOI: 10.12677/ag.2025.156087

¹College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi²Natural Resources and Planning Bureau of Zhuji City, Shaoxing ZhejiangReceived: Apr. 18th, 2025; accepted: Jun. 17th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

Abstract

Taking Yingdianjie Town in Zhuji City, Zhejiang Province as the study area, and combining climate and meteorological conditions, topography, lithology, and human engineering activities as the index system, this research comprehensively analyzes the conditions and mechanisms of geological disaster formation in the region through geophysical exploration, drilling, and GIS remote sensing technologies. The findings indicate that: 1) The types of geological disasters in Yingdianjie Town include collapses, landslides, debris flows, and ground subsidence, with collapse and landslide disasters being predominant, all of which are small in scale. 2) Collapse and landslide disasters mainly occur in the western low mountain and hilly areas, while the eastern part of the town has a lower density of geological disasters. 3) Landslides primarily develop in hilly areas and residual hill plains where the soil layer and weathered layer are relatively thick on slopes. The main disaster mode is rainfall-induced landslides, with the sliding form being predominantly translational. Collapses are mainly of two types: rock collapses and rock-soil collapses, with rock collapses primarily occurring as toppling failures and rock-soil collapses as sliding failures. Debris flows are mainly slope-type, developing on slopes with generally thin soil layers and distinct boundaries with the underlying bedrock. They often occur on steep slopes with slight depressions and are triggered by short periods of intense rainfall, showing significant group occurrence and long strip features after the event. 4) The geological disasters in Yingdianjie Town are not significantly related to regional tectonic activities, mainly consisting of small-scale slope disasters. Human engineering activities are an important factor in the occurrence of collapse and landslide disasters, mainly manifested in slope cutting for building construction. Long-term continuous rainfall and short-term intense rainfall are the triggering factors for the occurrence of collapse and landslide disasters.

Keywords

Landslide and Debris Flow, Geological Disaster, Formation Conditions, Prevention and Control Measures, Yingdianjie Town

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

地质灾害是指由地质因素或人为引起的、对人类生活和财产造成威胁的自然灾害。地质灾害包括地震、火山喷发、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降等多种形式[1]。地质灾害研究是指对地质灾害的形成条件、发生机理、预测预警、防治措施等进行科学研究的过程；地质灾害研究的目的是为了减轻地质灾害对人类生活和财产造成的影响，提高社会的安全性和可持续发展，研究区域崩滑流地质灾害形成机制对防灾减灾工作具有重要意义[2] [3]。

应店街镇处诸暨北西端，区域面积 117.9 km²，地理坐标为东经 120°1'26"~120°12'10"，北纬 29°44'9"~29°51'39"。截至 2022 年 12 月，浙江省诸暨市地质灾害风险普查成果报告[4]显示，应店街镇共

分布历史地质灾害及隐患除地面塌陷外 86 处, 灾害点密度达每平方公里 0.78 处, 其中有滑坡 11 处, 占灾害点总数的 11.49%; 崩塌 69 处, 占灾害点总数的 79.31%; 泥石流 6 处, 占灾害点总数的 6.90%, 灾害规模均为小型; 崩塌、滑坡、泥石流灾害占总数的 97.7%。应店街镇地处南方山区, 地质条件复杂, 地质灾害频发, 本文在 1/5 万地质灾害调查的基础上, 综合区域内各类基础地质资料, 以及遥感地图数据, 综合 3S 技术手段以及野外勘探, 对区域进行 1/2000 地质灾害调查, 研究区域内地质灾害形成条件分析, 并提出防治对策[5] [6]。

2. 应店街镇地质环境条件

2.1. 气候气象

应店街镇气候属典型中北亚热带季风过渡区丘陵山地气候, 雨水较多。受冷暖空气交替影响, 灾害性天气较多。年平均气温 17.1℃, 年平均日照 1996.6 小时, 无霜期 250 天, 极端最高气温为 42.4℃, 极端最低气温为-10.6℃。春季阴雨天较多, 春末夏初受太平洋副热带高压气流控制, 气旋活动频繁, 夏季天气晴热, 夏秋受局部对流气候和台风侵袭影响产生暴雨和强降雨; 秋冬季以晴天为主, 冷空气南下时形成寒流[7]。

根据浙江省气象局 2017~2022 年的气象资料[8]显示, 应店街镇年平均降雨量 1653 mm, 最大年降雨量为 2021 年的 2339.1 mm; 月均降雨量为 133.69 mm, 最大月均降雨量 298.74 mm。应店街镇内降雨充沛, 降雨量在时间和空间上分配不均匀, 每年 3~9 月降水量占全年的 77.8%, 其中 6 月最多, 10 月至次年 2 月占 22.2%。近 10 年来, 暴雨和强降雨主要发生在当年 6~8 月, 月暴雨天数一般 3~5 天, 最多 7 天。根据诸暨市气象局显示, 区内有记载以来, 最大降雨为 2021 年 6 月 11 日凌晨 1 点, 1 小时降雨 69.4 mm (紫阆雨量站)。近年来最大日降雨量 244.9 mm (紫阆雨量站), 为 2021 年 7 月 25 日期间测得。

2.2. 地形地貌

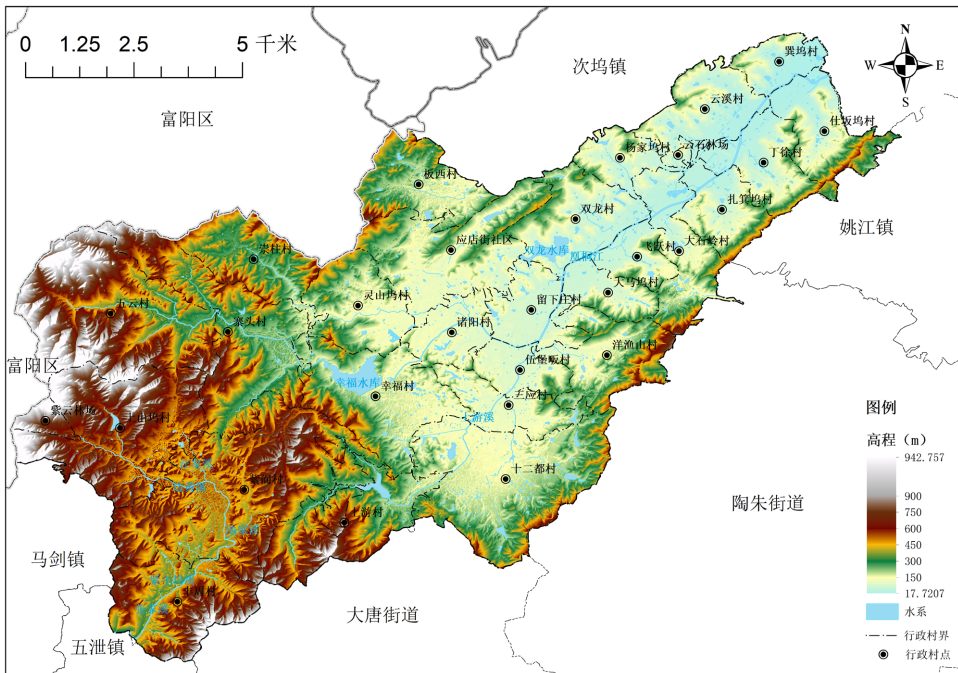


Figure 1. Terrain zoning map of Yingdianjie Town
图 1. 应店街镇地势分区图

应店街镇地势总体西高东低，全区最高海拔处位于五云村五云岭山顶，海拔标高为+939 m，全区最低点海拔处位于东侧冲积平原处为+18 m，高差达 921 m，山区地形切割相对较强烈，植被较发育，地形坡度 15°~45°为主，局部达 45°以上。西部属构造侵蚀剥蚀低山地貌，地形坡度 15°~45°，冲沟发育。东部为侵蚀剥蚀丘陵和冲积平原地貌，丘陵区自然坡度在 10°~30°，凰桐江两侧属于冲积平原区及山间谷地区，区内地势平坦，地形变化较小，坡度一般小于 10°，根据 GIS 手段进行空间分析得地势图如图 1 所示。

根据区内地形高程、地貌成因、形态等特征，地貌类型划分为构造侵蚀剥蚀低山地貌、侵蚀剥蚀丘陵地貌、洪积平原和冲积平原及山间谷地四种基本地貌类型[9]，根据应店街镇遥感 DEM 数据分析，各地貌类型及分布特征如图 2、表 1 所示。

Table 1. Landform types and distribution characteristics of Yingdianjie Town
表 1. 应店街镇地貌类型及分布特征表

代号	地貌类型	地貌形态	代表岩性	分布地区	面积(km ²)	占比(%)
II ₂	构造侵蚀剥蚀低山地貌	块状低山	火山岩	应店街镇西部	45.48	38.6%
IV	侵蚀剥蚀丘陵地貌	山顶呈浑圆状丘陵	火山岩、沉积岩	应店街镇东部	55.12	46.7%
VI ₁	冲积平原及山间谷地	平坦谷地	砂土	应店街镇中部	15.47	13.1%
VI ₂	洪积平原	山前沟谷地带	洪积层	应店街镇中西部	1.87	1.6%

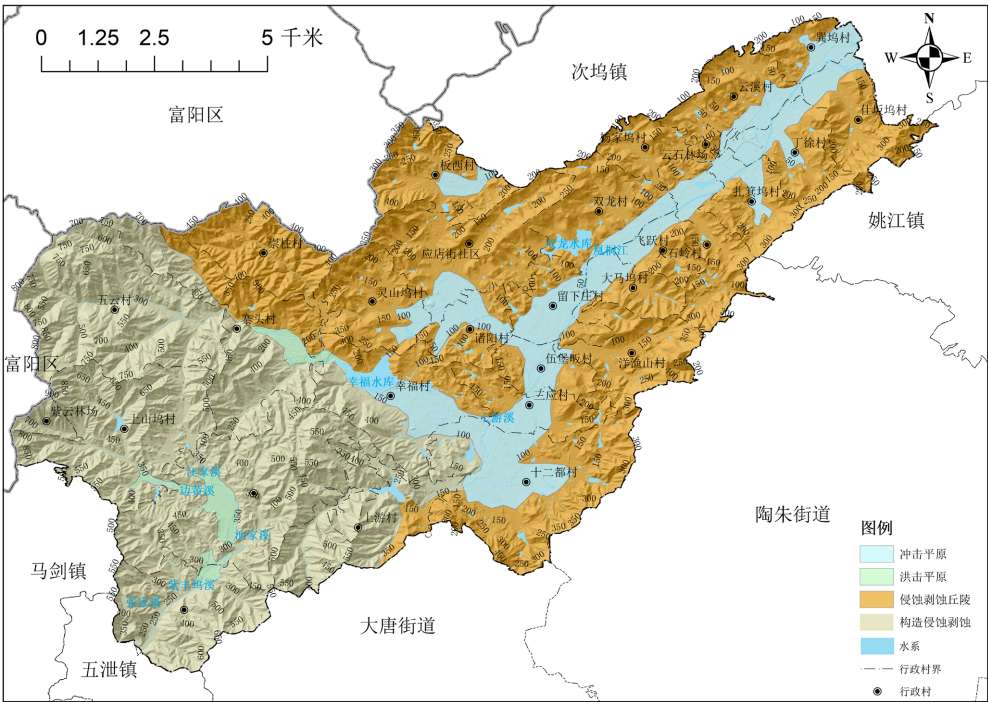


Figure 2. Geomorphic type zoning map of Yingdianjie Town
图 2. 应店街镇地貌类型分区图

2.3. 岩土体类型

应店街镇地层出露较全，诸暨幅 1/20 万区域地质调查报告[10]显示，研究区岩土体可划分为 7 大类，

共 7 个工程地质岩组划分如图 3 所示。

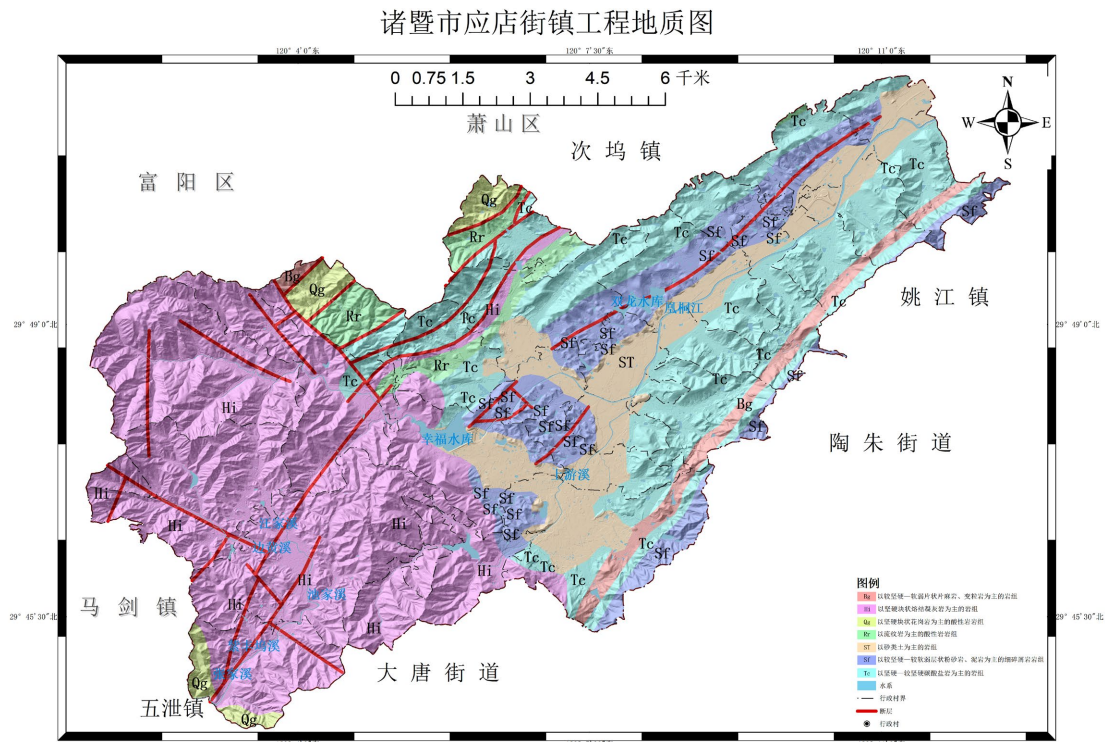


Figure 3. Distribution map of rock formations in Yingdianjie Town project
图 3. 应店街镇工程岩组分布图

2.4. 人类工程活动

应店街镇人类工程活动主要有公路建设、切坡建房、矿业开发、水利工程建设以及山区村镇及规划区建设等。根据 2021 年诸暨市切坡建房调查数据，应店街镇现有切坡建房 793 处，不稳定斜坡 1 处、欠稳定斜坡 39 处，切坡以 3~6 m 居多，局部高度>20 m。部分切坡建房形成的人工边坡不规范且未能及时进行有效防护，对地质环境条件改变较明显。

区内主要道路为 S43 杭州绕城高速西复线、G325 新海线、茅大线、十店线及乡村道路。经现场踏勘，区内高等级公路的设计施工较规范，切坡后对山体进行有效支护；县、乡(镇)以及村道等切坡后对路堑边坡(山体)缺少防护，存在崩塌的可能。

矿业活动主要位于东部石灰岩发育区，以开采石料矿为主，已基本关停。废弃矿山形成了大量的高陡人工边坡，除部分已得到恢复治理外，未治理部分仍存在地质灾害隐患。

应店街镇发育有荷塘组石煤层，早年石煤层经人工开采后，有一系列小型石煤矿。区内现保有多个水库、山塘，共 47 座，其中较大的水库为：幸福水库、双龙水库、上游水库和西湖水库。经现场踏勘，库岸自然斜坡的稳定性较好，坝体表面一般经浆砌块石或混凝土硬化，山塘水库总体稳定性较好；仅在局部切坡地段，由于支护措施不到位，存在崩塌的可能。

区内山区村镇基本位于山间谷地等地势较为平坦处，应店街镇东北侧扎箕坞村附近，现规划有 7025 亩诸暨科技城。诸暨科技城现状为几处废弃矿山，科技城规划范围划分为四大片区，分别为未来小镇、科创云谷、航天航空产业园、智能视觉产业园。科学城整体为山地产业园，以切坡改造地形为主，现状为多个废弃的石料矿山，地层以寒武系碳酸盐岩地层为主。

3. 应店街镇地质灾害发育特征

3.1. 滑坡

店街镇历史上发生滑坡 11 处，主要发育在覆盖层、风化层较厚的斜坡地带，发育的地形坡度多在 35° 以上的斜坡。滑坡体积 40~25,000 m³ 不等，均为小型滑坡。

从形态特征来看，滑坡隐患与已发生的滑坡相似，平面形态多呈半圆形或舌状，剖面形态则以直线型或阶梯状为主。这些滑坡隐患主要表现为浅层土质滑坡，滑体主要由松散的残坡积层碎石土和全风化土构成，厚度通常在 0.5 至 4 米之间，属于典型的浅层滑坡。滑坡的剪出口位置因斜坡的岩土体结构和所处区域的不同而有所差异。对于土质滑坡，剪出口多位于地下水位或渗水出露线附近；而在上土下岩的二元结构斜坡中，剪出口则通常出现在土体与基岩的交界处[11][12]。

区内滑坡的发生与持续降雨及短时强降雨关系密切，一方面降雨后雨水快速大量入渗坡体，坡体内部产生动水压力，表层岩土体处于饱和状态，重度增大，土体力学性质削弱，并短时形成静水压力，增大下滑推力；另一方面雨水入渗也对基覆界面与风化层界面有润滑作用，降低了层间抗剪强度，使得抗滑力减弱。综合两方面因素，诱发滑坡。

总体而言，滑坡的变形程度较轻，主要表现为后缘和坡体裂缝，且裂缝延伸长度一般不超过 10 米。这些滑坡多发育在地质环境较为脆弱的碳酸盐岩地区，受岩性本身的工程力学性质影响显著，表现为岩石破碎、风化强烈、土层较厚，岩土体的工程地质条件较差。此外，坡脚处常存在切坡开挖等人类工程活动，加之强降雨等自然因素的影响，导致滑坡以推移式运动为主。滑坡的诱发因素既包括自然因素，也受到人为活动的共同影响。本次调查滑坡基本情况表如表 2 所示。

Table 2. Basic statistics of landslides that have occurred in Yingdianjie Town

表 2. 应店街镇已发生滑坡基本情况统计表

类别	地形条件				滑体组成		控滑结构面		
	缓坡 ($<15^{\circ}$)	中等坡 ($15^{\circ}\sim25^{\circ}$)	陡坡 ($25^{\circ}\sim35^{\circ}$)	急陡坡 ($35^{\circ}\sim45^{\circ}$)	土质	岩土 混合质	土层内 软弱面	填土底 界面	强、中风化 层交界面
数量(处)	1	2	7	1	2	9	3	0	8
占比(%)	9	18	64	9	18.2	81.8	27.3	0	72.7

3.2. 崩塌

应店街镇历史上共记录了 69 处崩塌事件，主要分布在坡度超过 45° 的高陡边坡，尤其是公路和民房附近。这些崩塌的规模普遍较小，属于小型崩塌。从物质组成来看，土质崩塌是主要类型。

土质崩塌通常发生在坡高不超过 6 米的斜坡上，多见于由密实碎石土或全风化基岩构成的人工边坡。这些边坡土体较厚且坡度陡峭，强降雨等自然因素导致土体饱和，重力增加或抗剪强度下降，进而引发崩塌。推移式是其主要运动形式，崩塌物质在坡脚形成松散的锥状堆积。尽管规模较小，但由于岩土体风化破碎，常对附近村庄构成威胁。

崩塌关键致灾因子一方面是人类工程活动：不论是岩质崩塌还是岩土质崩塌，发生区域基本都位于屋后及道路切坡和遗留老岩面边坡处，人工开挖边坡，坡度陡立，改变坡体原有应力状态，是造成崩塌的主要外在因素；第二方面是降雨：岩质崩塌中强降水沿陡崖或陡斜坡岩石节理裂隙下渗，使裂隙进一步发展，直至贯通。在强降水作用下，裂隙短时形成静水压力，对临空的岩体施加压力，从而使岩体分裂失稳产生崩塌地质灾害。岩土质崩塌中降水的入渗增加岩土体容重，降低岩土体力学强度，使岩土体沿着软弱面滑移，崩塌发生。

岩质崩塌则多发生于高陡岩质边坡的中上部，崩塌源通常呈块状或楔形，受岩石节理裂隙或断裂控制明显，尤其是顺坡结构和节理组合的外倾结构。结构面多呈张裂或含有泥质等软弱物质。滑移式是主要的运动形式，少数为倾倒式。崩塌过程表现为岩块突然脱离母岩，沿坡翻滚、跳跃或滑移，最终在坡脚形成倒石堆，堆积物包括巨石、块石和碎石等。由于崩塌速度快，常对建筑物或坡下的行人车辆造成较大破坏，危害性较高(见表 3)。

Table 3. Basic statistics of landslides in Yingdianjie Town
表 3. 应店街镇已发生崩塌基本情况统计表

类别	崩塌物质组成		崩塌形式		合计
	岩质	岩土质	滑移式	倾倒式	
数量(处)	13	56	59	10	69
占比	18.80%	81.20%	85.50%	14.50%	100

3.3. 泥石流

应店街镇历史发生泥石流 6 处，主要为坡面型泥石流，规模为 10~1000²，均为小型。

对于坡面泥石流，目前尚无明显的辨别特征，坡面型泥石流发育斜坡一般土层较薄，与下方基岩面界线较为明显，未发生前判断较为困难。多发生在地形略有凹陷的陡坡地带，且短时有极强降雨，群发性也较为明显，发生后呈长条状特征尤为突出。

4. 应店街镇地质灾害形成条件分析

4.1. 地形地貌与地质灾害的关系

地形地貌是崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害发生的主控因素，斜坡地形是崩滑流灾害形成的先决条件。应店街镇境内海拔高程在+18~+939 m，经统计，区内 62 处地质灾害点分布在侵蚀剥蚀丘陵地貌区，分布高程为 15~300 m，其中 100~300 m 的高程段分布数量最多；上述高程段也是应店街镇人类工程活动较强烈的区域。根据应店街镇 2 m 遥感 DEM 数据分析，各类型灾害点在不同高程区间的统计结果见表 4。

Table 4. Statistical table of geological hazard points in Yingdianjie Town by terrain, landform, and elevation distribution
表 4. 应店街镇地质灾害点按地形地貌、高程分布统计表

	冲积平原、洪积平原		侵蚀剥蚀丘陵			构造侵蚀剥蚀低山				合计
	<50	50~100	<50	50~100	100~300	<50	50~100	100~300	300~500 >500	
滑坡	0	0	0	4	5	0	0	0	2 0	11
崩塌	1	1	3	19	26	0	0	12	6 1	69
泥石流	0	0	1	0	2	0	0	0	3 0	6
合计	1	1	4	23	33	0	0	12	11 1	86

区域的宏观地貌特征影响着地质灾害的分布特征，而局部的微地貌特征又控制和影响着灾害体的变形破坏模式。现根据调查结果统计，从斜坡的地貌单元、坡度、坡形三个方面论述地形地貌与地质灾害形成的相互关系。

根据 GIS 软件统计分析，发生地质灾害的自然地形坡度多在 35°以上(见表 5)。其中，45°以上的坡度发生比例最高。随着坡度的增加，坡面附近应力卸荷带范围随之扩大，坡脚附近随着坡度增加应力集中

愈加明显，坡顶拉应力的范围也愈大，易产生变形破坏[13]。

Table 5. Distribution of geological hazards in Yingdianjie Town by slope
表 5. 应店街镇已发生地质灾害点按坡度分布统计表

灾种	0°~15°	15°~25°	25°~35°	35°~45°	>45°	合计
崩塌	0	1	5	16	47	69
滑坡	1	1	1	2	6	11
泥石流	-	-	-	2	4	6
合计	1	2	6	20	57	86
占比(%)	1.2	2.4	7	23.2	66.2	100

对历史地灾点所在边坡的坡向以 45°进行划分(见表 6)，可以看出滑坡方向主要为东和南向，崩塌方向主要为北东和南西向。其中分布灾害最多的坡向为偏南方向，有 48 处。坡向对地质灾害点分布的影响主要体现在阳面日照时间长，昼夜温差较大，水土流失严重，岩土体风化更强烈等。

Table 6. Distribution of geological hazards in Yingdianjie Town by slope direction
表 6. 应店街镇已发生地质灾害点按坡向分布统计表

方位	坡向(°)	*滑坡	崩塌	泥石流	合计	占比(%)
北	337.5~22.5	1	5	-	7	8.0
北东	22.5~67.5	-	15	-	15	17.2
东	67.5~112.5	1	8	1	10	11.5
南东	112.5~157.5	3	11	1	15	17.2
南	157.5~202.5	4	9	2	15	17.2
南西	202.5~247.5	2	15	1	18	21.9
西	247.5~292.5	-	3	-	3	3.5
北西	292.5~337.5	-	2	1	3	3.5
合计		11	69	6	86	100

Table 7. Statistical table of geological hazard slope types
表 7. 地质灾害坡型统计表

灾种	凸型坡	凹型坡	直线坡	合计
崩塌	50	2	17	69
滑坡	9	1	1	11
泥石流	3	-	3	6
合计	62	3	21	86
占比(%)	72.7	3.5	23.8	100

根据历史地灾点的坡面形态，将坡形划分为凸型坡、凹型坡、直线(折形)坡三个类型[14][15]。对 86

处历史地质灾害及隐患的坡形用 GIS 手段进行划分(见表 7),可以看出凸型坡更易产生地质灾害,共计 62 处,占比 72.7%,凹型坡 3 处,直线(折形)坡 21 处。凸型坡在阳角处由于应力集中形成裂隙,容易失稳。

4.2. 降雨与地质灾害的关系

长期持续降雨和短时强降雨往往是诱发地质灾害的直接因素[16]。应店街镇东部为丘陵山区,西部为低山地貌,根据诸暨市气象局统计年均降雨量统计年报(2017~2022)为 1653 mm,降雨主要集中于每年 6~9 月梅雨、台汛期,在经历了梅雨季节的持续降雨,区内岩土体含水量较高的情况下,短时强降雨往往会打破岩土体的临界稳定状态,演化成失稳成灾。

根据前述地质灾害发育特征中对应店街镇地质灾害发生与降雨事件的对比分析,区内有时间记录的 88 处地质灾害点中,有 60 处发生于 6~9 月梅台汛期,占比 68%,可见地质灾害的发生大多与梅台汛期的强降雨天气有关。而发生于 6~9 月梅台汛期的 60 处已发生地质灾害点中,有 39 处发生在 6 月份梅汛期间,占比 65%,由此可见应店街镇地质灾害的发生与梅汛期的强降雨天气更密切,容易诱发地质灾害。

根据梳理 86 处地质灾害点的发生时间,表现出一定的群发特征,其中在 2016 年 5 月 29 日的强降雨作用下发生了 7 处地质灾害点;2021 年 6 月 10 日的强降雨作用下发生了 19 处地质灾害点;2021 年 7 月 24 日的台风烟花强降雨作用下发生了 8 处地质灾害点,其余灾害发生时间相对较为分散。

4.3. 地层岩性以及岩土体与地质灾害的关系

地层岩性、岩土体工程地质条件是影响斜坡变形的主要内在因素。地层岩性是崩滑流灾害形成的物质基础,地质灾害活动与岩土体类型、性质、结构具有特别密切关系。软弱地层在构造作用以及其它外力作用下,都容易形成土状或泥状的软弱夹层,成为潜在的滑动面或滑动带,具备产生滑动的基本条件,同时,在软弱地层中,由于抗风化能力弱,易形成大量的松散物质。相反,硬质岩类,岩体抗风化能力强,不易形成潜在滑移面和松散物质[17]。

统计已发生的滑坡、崩塌在不同工程地质岩组的分布(表 8),灾害点主要分布在以坚硬块状熔结凝灰岩为主的岩组(Hi)(滑坡 2 处、崩塌 26 处、泥石流 3 处)和以坚硬-较坚硬碳酸盐岩为主的岩组(Tc)(滑坡 8 处、崩塌 15 处、地面塌陷 2 处、泥石流 2 处)。

Table 8. Statistical table of distribution of geological hazard points within engineering geological rock formations
表 8. 地质灾害点在工程地质岩组内分布统计表

序号	岩组名称	代号	滑坡	崩塌	泥石流	合计	占比(%)	面积(km ²)	密度 (处 km ²)
1	以较坚硬-软弱片状片麻岩、变粒岩为主的岩组	Bg	1	2	1	4	4.6	5.90	0.68
2	以坚硬块状熔结凝灰岩为主的岩组	Hi	2	26	3	31	35.2	48.59	0.64
3	以坚硬块状花岗岩为主的酸性岩岩组	Qg	-	5	-	5	5.7	2.78	1.80
4	以较坚硬-较软弱层状粉砂岩、泥岩为主的细碎屑岩岩组	Sf	-	14	-	14	15.9	15.92	0.88
5	以砂类土为主的岩组	St	-	7	-	7	7.9	14.98	0.47
6	以坚硬-较坚硬碳酸盐岩为主的岩组	Tc	8	15	2	25	30.7	30.67	0.85
合计			11	69	6	86	100	117.92	

以坚硬块状熔结凝灰岩为主的岩组(Hi)和以坚硬-较坚硬碳酸盐岩为主的岩组(Tc)是应店街镇覆盖面积最广的工程岩组,发育了绝大多数地质灾害的工程岩组。以坚硬块状花岗岩为主的酸性岩岩组地灾点发生密度最高。这主要是因为该工程岩组节理裂隙发育,受风化严重,岩性较为破碎,结构面较为软弱,在切坡等人类活动及降雨影响下易沿基覆接触界面、软弱夹层发生滑动或崩塌。

4.4. 地质构造与地质灾害的关系

地质构造对地质灾害的形成发育有着重要的影响作用。一方面区域地质构造控制地形地貌的形成发育,不仅使地区在空间上表现出丘陵、平原、残丘的地貌差异,同时也使斜坡呈现陡缓相间的地形差异,从而间接影响了斜坡稳定性;二是断裂构造使其周围临近的岩土体结构破坏严重,构造带附近的岩土体较破碎,岩体力学性质较差,同时结构面的发育给岩体风化带来了促进因素,这些部位往往有较厚的全风化层,岩体的力学、结构强度远低于其他部位,使其更容易发生破坏。

4.5. 人类工程活动与地质灾害的关系

应店街镇总体地貌特征以侵蚀剥蚀丘陵、低山、平原为主,区内人类工程活动较为强烈,主要表现为:切坡建房修路、遗留宕面边坡和采矿活动等。对区内 86 处已发生地质灾害点进行自然条件人类活动因素分析发现,区内 81 处地质灾害点的形成受人类工程活动影响明显,占比 94.1%,结果表明,地质灾害的形成受人类工程活动影响明显,大多发生于屋后及道路边坡和遗留宕面边坡,切坡作用破坏了斜坡的应力状态,改变了斜坡原有的应力平衡,采矿遗留地下采空区,根据本次调查显示,易诱发地质灾害,地质灾害点受人类工程活动影响如表 9。

Table 9. Classification and Statistics of geological hazards affected by human engineering activities in Yingdian Street Town
表 9. 应店街镇地质灾害点受人类工程活动影响分类统计表

灾害点种类	分类数量(处)	受人类工程活动影响数量(处)	占比(%)
滑坡	11	11	100
崩塌	69	66	95.6
泥石流	6	2	33
合计	86	81	94.1

5. 主要防治对策建议

对研究区域分重点风险防范区和一般防范区,做出针对性的防治建议。一般防范区是没有发生过地质灾害以及不易发生地质灾害的地区,以监测为主;地质灾害隐患点及重点风险防范区应做好以下监管和防范措施:

- 1) 继续加强群测群防体系建设,各地质灾害隐患点及风险防范区明确责任单位和责任人,安排专人进行监测,群测群防员对地质灾害隐患点和风险防范区开展日常巡查,非汛期每月 1 次,汛期每月 2 次,降雨期间加密巡查,对巡查中发现的问题,及时上报乡镇政府和自然资源所。
- 2) 加强地质灾害风险预报预警,及时发布区域地质灾害风险预警,预警信息发布后,按照分级负责、属地管理的原则,及时采取响应措施[18][19]。
- 3) 加大地质灾害治理力度,按照“以人为本”和“预防为主、避让与治理相结合”的原则,结合地质灾害隐患点及风险防范区实际情况和防治要求采取相应的工程治理措施进行治理。
- 4) 群专结合,加强专业监测,对风险性大,治理难度较大且具备专业监测条件的风险防范区开展专业监测。

5) 严格控制地质灾害隐患点、风险防范区及周边影响区域工程建设活动,从源头上预防地质灾害的发生。

6) 加强宣传教育,提高广大干部群众防灾、救灾和互救能力。

6. 结论

1) 应店街镇地质灾害类型有崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷 4 种类型,以崩滑流地质灾害为主,规模均为小型。

2) 滑坡以土质、岩土质类型为主,主要发育在丘陵区和平原残丘区土层、风化层较厚的斜坡地带,发育的地形坡度多在 35°以上的斜坡,主要成灾模式是降雨型滑坡,滑动形式以推移式为主;崩塌主要为岩质崩塌和岩土质崩塌两类,岩质崩塌致灾模式主要为倾倒式、岩土质崩塌致灾模式为滑移式;地面塌陷致灾模式主要为地下采空区导致。

3) 崩滑流地质灾害主要发生在西部低山丘陵区,东部地质灾害密度较小。应店街镇地质灾害与区域构造关系不明显,主要以小范围斜坡灾害为主。

4) 应店街镇崩滑流地质灾害主要发育于以较坚硬-软弱片状片麻岩、变粒岩为主的岩组(Bg)、以坚硬块状熔结凝灰岩为主的岩组(Hi)和以较坚硬-较软弱层状粉砂岩、泥岩为主的细碎屑岩岩组(Sf)分布区。

5) 人类工程活动是崩滑流地质灾害发生的重要因素,主要表现在人工建房切坡。

6) 长期持续降雨和短时间强降雨是崩滑流地质灾害发生的激化因素。

7) 论文研究后期应当对研究区域进行易发性评价和危险性评价,以及确定引发地质灾害的降雨阈值。

参考文献

- [1] 张国华,何学文,齐良.江西省吉安县崩滑流地质灾害形成条件分析及防治对策[J].地质灾害与环境保护,2021,32(4): 19-25+33.
- [2] 李娟,孔焱东.凉山州宁南县鲁堵沟泥石流灾害成因及防治对策研究[J].科技创新导报,2017,14(11): 152-153.
- [3] 涂品.高位崩滑碎屑流成因及分类研究[D]:[硕士学位论文].重庆:重庆交通大学,2019.
- [4] 浙江省诸暨市地质灾害风险普查成果报告[R].浙江省地矿勘察院,2021.
- [5] 张紫昭,张天栋,于喜坤,等.新疆崩滑流地质灾害孕灾环境分区及其形成机制[J].工程地质学报,2023,31(4): 1129-1144.
- [6] 马奇锋,秦广阔.“六化”模式防地灾成效显著保平安——诸暨市地质灾害防治工作的探索和做法[J].浙江国土资源,2017(3): 41-42.
- [7] 王云.诸暨市重大气象灾害应急响应保障机制的探索与实践[J].安徽农学通报,2018,24(6): 141-142+145.
- [8] 近五年应店街、紫阆雨量站时降雨量[R].诸暨市气象局,2023.
- [9] 李炳元,潘保田,程维明,等.中国地貌区划新论[J].地理学报,2013,68(3): 291-306.
- [10] 诸暨幅 1/20 万区域地质调查报告[R].浙江省区域地质调查大队,1975.
- [11] 兰凤锐.浅谈地质灾害风险调查评价方法及成果[J].华北自然资源,2022(1): 44-46.
- [12] 吴祖成,田飞,李茂军.滑坡灾害特征及其治理技术研究——以驻马店市乐山林场为例[J].能源与环保,2023,45(7): 105-111.
- [13] 熊德清,崔笑烽.喜马拉雅山脉地震带主要地质灾害与地形地貌关系——以西藏日喀则地区为例[J].地质通报,2021,40(11): 1967-1980.
- [14] 杨凯钧,唐伟,胡宝俊,等.我国典型丘陵区地质灾害发育规律与形成条件分析——以麻阳为例[J].北京测绘,2023,37(3): 402-408.
- [15] 曾凡龙.广东省陆河县地质灾害发育分布特征分析[J].地下水,2019,41(3): 109-111.
- [16] 陈冲,王洪永.大气降水对崩滑流地质灾害的影响[J].江西煤炭科技,2023(3): 115-117+124.

-
- [17] 王明乔. 崩塌地质灾害治理工程勘查及施工设计研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(24): 200-202.
- [18] 何元才, 沈万里, 杜欢欢. 浙江省诸暨市地质灾害与临界降雨量关系探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2016, 27(3): 70-74.
- [19] 朱人思, 沈万里. 临界降雨量确定与地质灾害预警——以诸暨市地质灾害预警为例[C]//浙江省地质学会. 地质工作助推生态文明建设——浙江省地质学会 2018 年学术年会论文集. 绍兴: 浙江省有色金属地质勘查局, 2018: 10.