

那曲地区比如县地质灾害发育特征及成灾规律分析

刘大明, 官云彬, 唐华, 刘子畅

(四川省第十地质大队, 绵阳 621000)

摘要: 比如县处于青藏高原腹部, 新构造运动强烈, 地质环境脆弱, 地质灾害较发育。为了查明区内的地质灾害发育特征及成灾规律, 通过开展1:5万地质灾害风险性调查, 结果发现区内发育地质灾害124处, 其中泥石流52处, 滑坡51处, 崩塌21处, 具有点多面广、分布极不均匀的特点; 地质灾害的分布范围及发育程度与地形地貌、地质构造、岩土体类型、斜坡结构、水文地质条件、降雨、人类工程活动和地震等十分密切。通过调查研究, 有效地提高了比如县地质灾害研究程度, 为防灾减灾提供了技术支持。

关键词: 比如县; 地质灾害; 发育特征; 成灾规律

中图分类号: P694; P56; X4 **文献标识码:** A

DEVELOPMENT CHARACTERISTICS AND DISASTROUS RULE RESEARCH OF GEOLOGIC HAZARDS IN BIRU COUNTY, NAQU

LIU Da-ming, GUAN Yun-bin, TANG Hua, LIU Zi-chang

(The 10th Geological Brigade of Sichuan, Mianyang 621000, China)

Abstract: BiRu County is located in the abdomen of Qinghai-Tibet Plateau, where the neotectonic movement is strong, the geological environment is fragile, and the geologic hazards are relatively developed. In order to find out the development characteristics and disastrous rule of geologic hazards in the area, through the 1:50 000 geological disaster risk survey, it was found that there are 124 geological hazards in the area, including 52 debris flow, 51 landslides, and 21 collapses, with the characteristics of multiple areas and uneven distribution. The distribution range and development degree of geological hazards in the study area are closely related to landform, geological structure, type of rock and soil mass, slope structure, hydrogeological conditions, rainfall, human engineering activities and earthquakes. Through the investigation and study, the research degree of geological disaster has been effectively improved and technical support has been provided for disaster prevention and reduction.

Key words: Biru county; geologic hazards; development characteristics; disastrous rule

比如县素有“藏北江南”之称, 处于青藏高原腹部, 夹持在唐古拉山脉和念青唐古拉山脉之间, 属怒江流域上游, 区内地形复杂, 普遍切割较大, 新构造

运动强烈, 地震活动频繁, 伴随着人类工程活动的日益增强, 地质灾害频发。自21世纪以来, 区内先后开展了地质灾害调查区划^[1]、地质灾害详细调查^[2]

工作,不断地摸清地质灾害底数,及时为当地地质灾害防治工作提供了基础资料。但由于地质灾害形成机理普遍较复杂,难免会存在一些地质灾害未能在前期调查中有效识别,这也是我国其他县区普遍存在的问题^[3],加之2021年3月19日,比如县发生了6.1级地震,在一定程度上改变了区内的地质环境现状,不仅诱发了新的地质灾害,也增加了已有地质灾害的不稳定性^[4],因此,有必要进一步对区内的地质灾害发育情况深入摸排,查明其孕灾地质条件,加强地质灾害防治工作。本文依托近期开展的比如县1:5万地质灾害风险性调查评价项目,在详细查明比如县的地质灾害发育特征基础上,对其成灾规律深入分析,可以为区内防灾减灾工作起到很好的指导作用。

1 比如县地质环境条件

比如县属高原亚寒带半干旱季风型气候,平均气温低、太阳辐射强、日温差大,最大温差可达20℃,年平均气温4.5℃,最冷月平均气温-5.88℃,最热月平均气温13.59℃;雨季集中在5~9月,年平均降水量493.78mm,日最大降水量46.8mm。年蒸发量为1630.3mm。全县河流纵横交错,属怒江水系,怒江自西向东贯穿全县,全长140.67km,总落差为270m,平均纵比降1.92%,县内发育一级支流5条,分别为下秋曲、各曲、贡噶、索曲、布隆,整体上地表水及地下水发育。

比如县地貌类型可大致分为构造剥蚀丘陵区、高原残丘平原区、构造剥蚀低高山、构造剥蚀中高山区,整个地势西北高、东南低。区内地层岩性多样,前石炭系、三叠系、侏罗系、白垩系、新近系、第四系均有出露,岩性包含片岩、片麻岩、板岩、碳酸盐岩、砂岩、砾岩等多种。比如县构造位置上处于班公湖-怒江结合带东段,乌兰乌拉湖-北澜沧江结合带、龙木错-双湖-查吾拉结合带从西北穿过,断层、褶皱发育,以近东西向、北北西、北西向为主,断裂性质多为走滑和逆冲断裂,褶皱构造多样,形态十分复杂。

2 地质灾害发育特征

通过1:5万地质灾害风险调查,查明比如县境内发育的地质灾害总计124处(图1),其中泥石流52处,滑坡51处,崩塌21处,以泥石流和滑坡为主,总体上看,点多面广,具有普遍性但又不均匀的特征。

2.1 滑坡发育特征

滑坡主要发育在怒江主河谷流域、怒江一级或

二级支流的河谷地区以及G558国道沿线。全县共发育滑坡51处,占全县地质灾害的41.94%,县境内除恰则乡外其他9个乡镇均有分布,其中白嘎乡分布最多,为16处,茶曲乡次之,有12处(图2)。

规模上看,以中小型滑坡为主,发育的51处滑坡中,小型滑坡39处,占滑坡总数的76.5%;中型滑坡8处,占滑坡总数的15.7%;大型滑坡4处,占滑坡总数的7.8%;无特大型、巨型滑坡。发育密度方面,全区滑坡平均密度为0.44个/100km²,以茶曲乡及比如镇最发育密集,分别为2个/100km²和1.2个/100km²,其他乡镇每100km²滑坡灾点数量均未超过1个。

区内滑坡以土质滑坡为主,有45处,占滑坡总数的88.2%,滑体物质以粉质粘土、块碎石土、碎石土为主;岩质滑坡仅6处,占总量的11.8%,其滑体岩性为粉砂岩、砂质板岩、石英砂岩等。按运移方式,比如县内发育的滑坡大多是斜坡前缘缓、后缘相对较陡,以牵引式滑坡为主,有32处,占总量的62.7%;推移式滑坡17处,占滑坡总数的33.3%;复合式滑坡只有2处,占总量的4%。整体上看,区内滑坡的诱发因素主要有降雨、融雪、地震、人类工程活动开挖坡脚或堆积加载、建筑物加载、水库蓄水。

2.2 崩塌发育特征

崩塌主要分布在比如镇、茶曲乡、良曲乡、香曲乡、白嘎乡和扎拉乡(图2),多沿G558国道沿线发育,其中比如镇发育的崩塌灾害数量最多,有6处,占崩塌总数的28.6%,其次为良曲乡发育4处,占崩塌总数的19%。

崩塌规模以小型为主,有13处,占总数的61.9%;中型崩塌次之,为7处,占总数的33.3%;大型崩塌1处,无特大型和巨型滑坡。物质组成上,岩质崩塌有20处,占总量的95.3%,主要发育于砂岩、板岩、灰岩、安山岩、花岗岩等软硬岩相间地层和受断裂带影响的地区;土质崩塌仅有1处,以粉质粘土夹碎石、块碎石土、碎石土为主。破坏方式上,区内发育的崩塌主要是滑移式崩塌,共12处,占总量的57.1%;倾倒式崩塌次之,有6处,占总量的28.6%;坠落式崩塌最少,仅为3处,占总量的14.3%。

2.3 泥石流发育特征

泥石流发育52处,平均密度为0.45处/100km²,其沟口多位于怒江一级或二级支流沿岸,其中良曲乡泥石流分布最多,为14处(图2),占比如县泥石流总数的26.9%,其次为茶曲乡和比如镇,分

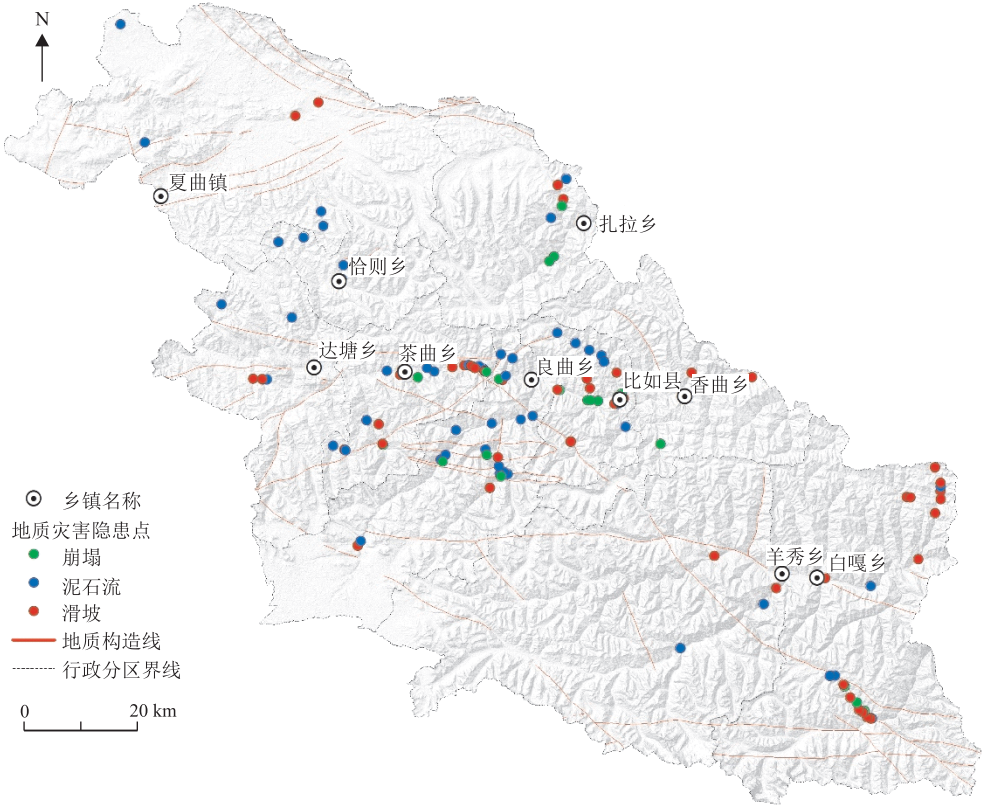


图 1 比如县地质灾害分布图

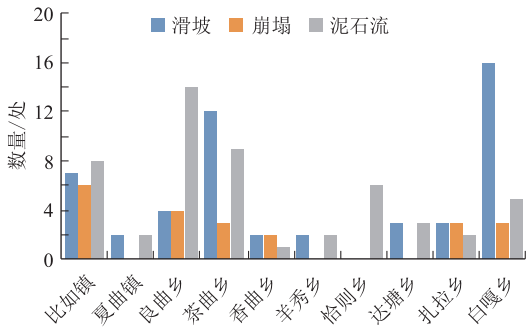


图 2 比如县各乡镇滑坡灾害分布统计图

别为 9 处(占 17.3%)和 8 处(占 15.4%)。

规模上,比如县泥石流以小型为主,共计 44 处,中型泥石流 8 处,主要分布在良曲乡和茶曲乡,无大型及以上泥石流。全区的泥石流均属于暴雨型泥石流,大部分为沟谷型泥石流(50 处),极少为坡面型泥石流(2 处)。物质组成上看,比如县境内以泥石流为主(44 处),水石流次之(7 处),泥流较少(1 处)。

比如县 52 条泥石流沟中,处于发育期的泥石流沟有 34 条,所占比例最高,达到 65.4%,处于旺盛期的泥石流沟有 12 条,达到 23.1%,而处于衰败期的泥石流有 6 条,占 11.5%,没有处于停歇期的泥石流沟。由此可见,泥石流的危险性较大。

3 成灾规律分析

3.1 地形地貌与地质灾害

地质灾害的发生与地形地貌的关系十分密切,地形地貌是地质灾害形成的主控因素之一^[5],具体包含高程、坡度、坡向、相对高差等。

高程是影响地质灾害发生及分布的重要影响因素^[6,7]。比如县地处那曲地区东部、唐古拉山和念青唐古拉山之间,以低山丘陵为主,间有高山峡谷谷坡。据统计,比如县地质灾害主要分布于高程 4 000~4 400 m 的范围内(表 1),4 400~4 800 m 范围次之(表 1、图 3)。这也与该高程段人类工程活动频繁有关,同时是怒江河谷地貌演化的应力最大释放区,

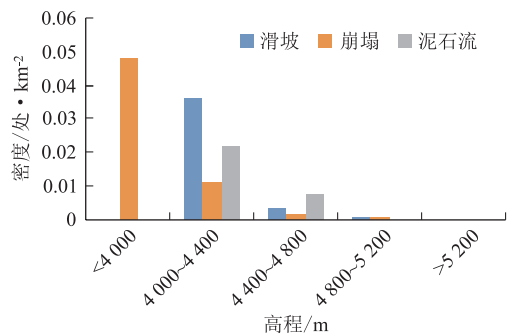


图 3 比如县地质灾害高程统计图

表1 不同高程范围地质灾害分布统计表

高程范围/m	面积/km ²	滑坡		崩塌		泥石流	
		数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²
<4 000	1 051.61	0	0	3	0.048 2	0	0
4 000~4 400	989.41	36	0.036 4	11	0.011 1	22	0.022 2
4 400~4 800	3 945.09	14	0.003 5	6	0.001 5	30	0.007 6
4 800~5 200	4 751.31	1	0.000 2	1	0.000 2	0	0
>5 200	1 940.23	0	0	0	0	0	0

岩体更为破碎,应力更为集中,所以更容易发生地质灾害。

坡度直接决定斜坡的应力分布,也是影响坡体稳定性的重要因素^[8],斜坡岩土体重力沿着坡面的分量越大,即下滑力越大,当斜坡坡度超过岩土体的天然休止角后,便会产生崩塌、滑坡地质灾害。同

时,坡度的大小会对泥石流的运动速度、径流以及堆积作用有较大的影响,也会决定泥石流的发生与发展。比如县地质灾害主要发育在坡度 30°~45°范围,坡度 15°~30°范围及坡度 45°~60°范围次之(表2,图4)。由此可见,区内的中陡边坡为地质灾害发育的优势地势。

表2 地质灾害发育坡度统计表

坡度范围/°	面积/km ²	滑坡		崩塌		泥石流	
		数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²
0~15	2 767.84	9	0.003	0	0.000	12	0.004
15~30	4 319.95	15	0.003	6	0.001	23	0.005
30~45	3 783.17	24	0.006	12	0.003	15	0.004
45~60	780.67	3	0.004	3	0.004	2	0.003
60~90	18.60	0	0	0	0.000	0	0

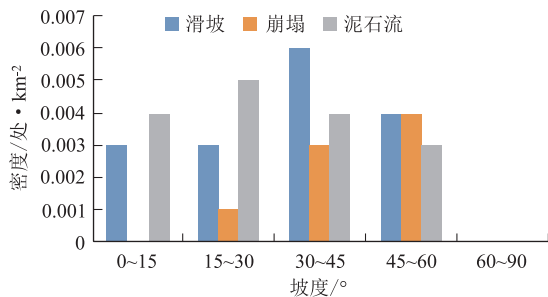


图4 比如县地质灾害与坡度统计图

坡向与土壤水分和水文过程有关联,同时还影响着阳光照射、降雨饱和度和干燥风,这些因素都会直接或者间接地造成地质灾害的发生。由表3及图

5可以看出,比如县内坡向南发育的地质灾害最多,共27处,其次为南西、东南、北东,而坡向北的最少,仅有4处。总体上看,阳坡发生灾害的数量高于阴坡发生灾害的数量。

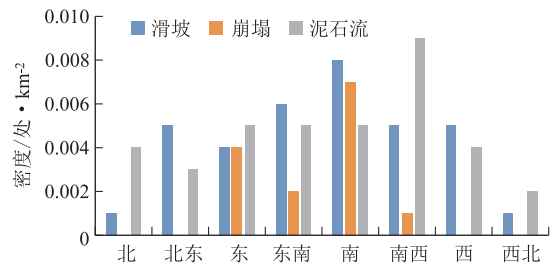


图5 比如县地质灾害与坡向统计图

表3 比如县地质灾害与坡向关系统计表

坡向	面积/km ²	滑坡		崩塌		泥石流	
		数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²
北	763.57	1	0.001	0	0	3	0.004
北东	1 596.8	8	0.005	0	0	5	0.003
东	1 538.28	6	0.004	6	0.004	7	0.005
东南	1 339.59	8	0.006	3	0.002	7	0.005
南	1 336.75	11	0.008	9	0.007	7	0.005
南西	1 497.38	8	0.005	2	0.001	13	0.009
西	1 512.31	7	0.005	0	0	6	0.004
西北	2 085.55	2	0.001	1	0	4	0.002

相对高差体现了流域内地形条件变化特征,对泥石流控制明显,调查统计表明(表4,图6),县境内高差区间在500~1 000 m范围内泥石流最发育,为

23处;100~500 m范围发育的泥石流次之,为13处;其余相对高差段发育泥石流很少。由此可见,区内500~1 000 m高差的流域为泥石流形成的优

表 4 流域内相对高差与泥石流发育的关系统计表

高差区间/m	0~50	50~100	100~500	500~1 000	≥1 000
泥石流/处	0	8	13	23	8
百分比/%	0	15.38	25.00	44.23	15.38

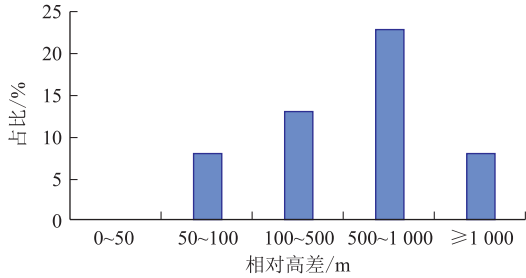


图 6 比如县泥石流与相对高差统计图

表 5 地质灾害分布与地质构造密度关系统计表

地质构造密度/%	面积/km ²	滑坡		崩塌		泥石流	
		数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²
0~3	5 099.79	20	0.004	11	0.002	17	0.003
3~13	3 671.16	6	0.002	0	0.000	11	0.003
13~21	1 912.45	9	0.005	2	0.001	9	0.005
21~27	674.27	2	0.003	1	0.001	2	0.003
27~33	363.55	4	0.011	2	0.006	2	0.006
33~53	375.50	9	0.024	4	0.011	10	0.027
53 以上	19.31	1	0.052	1	0.052	1	0.052

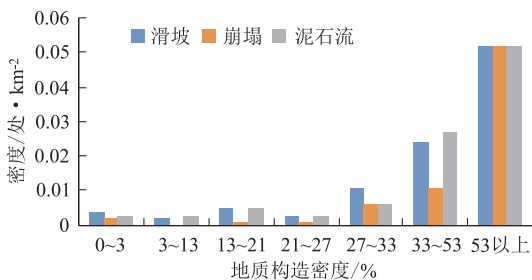


图 7 比如县地质灾害与地质构造密度统计图

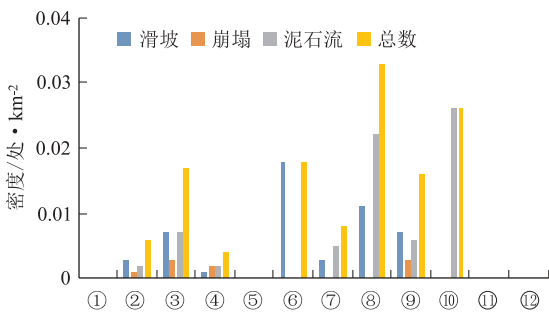


图 8 比如县地质灾害与岩土体工程地质条件统计图(图中序号见表 6)

3.3 岩土体工程地质条件与地质灾害

地层岩性地质灾害发育的物质基础条件,不同的岩石性质及其组合关系,直接制约地质灾害发育

势区。

3.2 地质构造与地质灾害

比如县境内构造比较复杂,一方面在多期次构造活动的破坏下,岩石完整性降低,加之强烈的风化作用使得岩体强度降低,极其容易形成滑坡、崩塌等现象;另一方面,断层在一定程度上控制了地形地貌形态及河流走向,从而控制了地质灾害的形成及发展^[9]。从图 1 可以看出,区内地质灾害多数地方呈带状顺断层展布,经调查统计(表 5,图 7),地质灾害的分布密度与地质构造密度呈正相关,地质构造密度 53% 以上区域地质灾害密度最大,为 0.052 处/km²。可见,区内的地质灾害与地质构造关系十分密切。

类型与规模,对斜坡的变形破坏起着重要的作用。比如县内可划分 12 个工程地质岩组(表 6),地质灾害在碳酸岩坚硬岩夹变质软岩工程地质岩组中最发育,密度为 0.033 处/km²,次为碎屑岩坚硬夹软岩工程地质岩组、淤泥与泥沼堆积松散岩类工程地质岩组、碎屑岩软硬相间工程地质岩组,密度分别为 0.026 处/km²、0.018 处/km²、0.017 处/km²(表 6,图 8)。这与区内大面积出露碳酸盐岩、砂岩、板岩有关,一方面软岩易风化,地表形成了较厚的松散堆积物,另一方面,软弱夹层、基覆界面构成了良好的滑动面,因此容易诱发地质灾害的形成。

3.4 斜坡结构与地质灾害

斜坡结构是斜坡变形破坏的物质基础,它的性质和结构对崩塌、滑坡的活动具有决定性作用。比如县内有松散土质斜坡和岩质斜坡两类,据统计,区内滑坡地质灾害基本全发育于土质斜坡,岩性为残坡堆积层;崩塌地质灾害主要发育于岩质斜坡,在反向斜坡中最多,有 9 处,占崩塌总数的 42.86%,斜向斜坡和块状结构斜坡中次之,有 7 处,占崩塌总数的 33.33%,且基本位于高陡斜坡上。

3.5 水文地质条件与地质灾害

区内水系发达,河流纵横交错,其侵蚀作用是诱

表6 地质灾害分布与工程地质岩组统计表

岩土体工程地质岩组	面积/km ²	滑坡		崩塌		泥石流		总数	
		数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²
①坚硬闪长岩、花岗岩与岩脉工程地质岩组	193.24	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0
②变质岩坚硬岩夹软岩工程地质岩组	3 627.43	11	0.003	5	0.001	7	0.002	23	0.006
③碎屑岩软硬相间工程地质岩组	2 939.03	20	0.007	8	0.003	22	0.007	50	0.017
④碎块砂砾、粘土堆积松散岩类工程地质岩组	1 600.91	1	0.001	3	0.002	3	0.002	7	0.004
⑤块石堆积松散岩类工程地质岩组	255.38	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
⑥淤泥与泥沼堆积松散岩类工程地质岩组	56.74	1	0.018	0	0.000	0	0.000	1	0.018
⑦变质岩软岩夹硬岩工程地质岩组	871.08	3	0.003	0	0.000	4	0.005	7	0.008
⑧碳酸岩坚硬岩夹变质软岩工程地质岩组	90.78	1	0.011	0	0.000	2	0.022	3	0.033
⑨坚硬碳酸岩工程地质岩组	1 894.70	14	0.007	5	0.003	12	0.006	31	0.016
⑩碎屑岩坚硬夹软岩工程地质岩组	77.66	0	0.000	0	0.000	2	0.026	2	0.026
⑪坚硬碎屑岩、碳酸岩与火山岩工程地质岩组	30.38	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
⑫变质岩坚硬岩工程地质岩组	51.10	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000

发地质灾害的重要因素之一。从统计情况来看(表7,图9),水系对崩滑地质灾害的分布和发育程度控制尤为密切,主要表现在与水系越近,地质灾害密度越大,在距离水系1 000 m范围内滑坡的密度为0.014处/km²,崩塌的密度为0.001处/km²,随着距离的增大,密度有减小趋势。分析其原因,河流主要从两方面影响河流岸坡岩土体的稳定性,一方面,河流的下切和侧蚀地质作用,往往在斜坡前缘形成

陡坎地形,形成临空面,斜坡岩土体在卸荷作用的影响下,产生卸荷裂缝,随着时间推移,卸荷裂缝逐渐变宽加深,当斜坡的下滑力超过其抗剪强度时,斜坡地质灾害便会产生;另一方面,河流附近一定距离内的岸坡岩土体水文特征会受到河流的影响,河流会增大一定范围斜坡岩土体的含水率,抬高地下水位线,造成斜坡饱和区范围变大,斜坡稳定性降低。

表7 地质灾害点与主要水系距离统计表

离河流距离/m	面积/km ²	滑坡		崩塌		泥石流	
		数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²	数量/处	密度/处·km ⁻²
≤1 000	1 591.89	23	0.014	18	0.001	34	0.002
1 000~2 000	1 475.64	13	0.009	1	0.001	3	0.002
2 000~4 000	2 568.41	5	0.002	0	0	4	0.002
>4 000	6 480.09	10	0.002	2	0	11	0.002

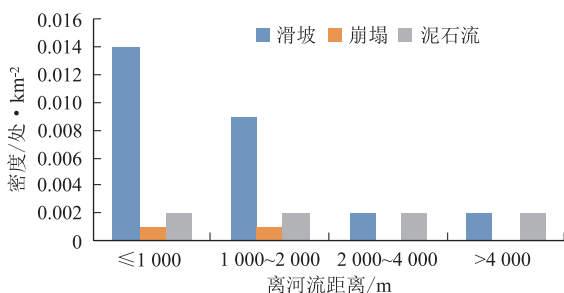


图9 比如县地质灾害与离河流距离统计图

3.6 降雨与地质灾害

降雨对滑坡、崩塌的致灾作用主要表现在两方面,一是增加斜坡体自重,增大下滑推力,加剧斜坡

的不稳定性,二是可以浸润斜坡的软弱结构面,减弱其抗剪强度^[10,11]。降雨与泥石流的关系也十分密切,主要是暴雨时容易在短时间内形成洪流,为泥石流的形成提供水动力条件^[6]。据现场调查,查明的所有地质灾害发生时间及变形加剧时间主要集中在每年的5~9月份,同县内强降雨时间一致,表明地质灾害的发生与降雨关系密切。因此,降雨是地质灾害发生的主要诱发因素。

3.7 人类工程活动与地质灾害

比如县地广人稀,人类工程活动主要集中在怒江以及其一级支流等河流河谷沿岸及冲沟沟口堆积扇区宽缓地带,人口相对密集,人类工程活动强度

大,对地质灾害的影响大,可以说在很多灾害的发育和形成过程中人类活动起到了重要作用。比如县的人类工程活动主要表现为放牧、农田耕作、城镇和乡村房屋建设、交通、水电建设以及矿产品的开采,这些都在一定程度上破坏了原始的自然平衡,是区内地质灾害的诱发因素之一。

3.8 地震与地质灾害

比如县是青藏高原的组成部分,新构造运动比较强烈,地震频发,自2014年至今,县内就发生三级以上地震18次,最大的一次是2021年3月19日6.1级地震,震源在那曲市比如县夏曲卡镇。频发的地震不仅直接诱发了大量的崩塌、滑坡等地质灾害,也对区内原有地质灾害隐患点产生了重要影响,降低了其稳定性,加剧了地质灾害的破坏性和危险性。特别是由地震诱发的大量松散堆积物为震后滑坡、泥石流地质灾害提供了丰富物源^[4],加上地震导致的山体松动、地表形变等地震效应,在震后强降雨条件下,地质灾害发生频率、强度都有显著增加,具体表现在震后一段时间来,地质灾害频发,点多面广,且具有不确定性。如2021年9月新发生的比如镇切玛隆村公路滑坡、扎拉乡比扎公路昂秀村段崩塌以及以往的香曲乡恰日寺滑坡、香曲乡旺耐村滑坡等地质灾害的爆发,都是典型的地质灾害的震后效应。由此可见,区内的地震后效应也是区内地质灾害的重要影响因素,直接制约着区内地质灾害易发性评价和防灾减灾措施的制定。

4 结论

(1) 比如县地质灾害发育,主要有泥石流、崩塌、滑坡,总计124处,其中泥石流52处,滑坡51处,崩塌21处,分布上具有点多面广、普遍但又不均匀的特征。

(2) 比如县地质灾害的分布和发育程度与地形地貌、地质构造、岩土体类型、斜坡结构、水文地质条

件、降雨、人类工程活动和地震等因素密切相关,是多种因素共同作用的结果。地质灾害主要发育在4 000~4 800 m阳坡区,很多地方呈带状顺断层展布,坚硬岩夹软岩工程地质岩组是地质灾害发生的优势区域,人类工程活动集中区在很大程度上诱发了地质灾害,因此,这些地质灾害易发区是区内地灾防治的重点区域。降雨是区内地质灾害发生的重要诱发因素,5~9月是区内地质灾害监测与预警的关键时期。

参考文献

- [1] 李震,樊德军,杨兴明,等. 西藏自治区比如县地质灾害调查与区划报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质环境监测总站,2006.
- [2] 刘树圃,蒙明辉,杨阳,等. 西藏自治区那曲地区比如县地质灾害详细调查成果报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质环境监测总站,2016.
- [3] 刘腾,任蕊,匡野,等. 四川省北川县崩滑灾害孕灾地质条件分析[J]. 中国地质调查,2022,9(6):59-66.
- [4] 杨志华,郭长宝,姚鑫,等. 考虑地震后效应的青藏高原东缘地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报,2017,28(4):103-112.
- [5] 白永健,李明辉,王东辉,等. 金沙江中游巴塘县地质灾害发育特征及成灾规律分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2014,25(2):103-109.
- [6] 徐琳,唐华,肖进,等. 拉萨市堆龙德庆区地质灾害发育特征及孕灾背景研究[J]. 地质灾害与环境保护,2021,32(1):24-30.
- [7] 韩培锋,王镁河,姜兆华,等. 西藏吉隆县地质灾害及其影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2020,31(2):111-118.
- [8] 庄建琦,崔鹏,葛永刚,等. “5.12”汶川地震崩塌滑坡分布特征及影响因子评价——以都江堰至汶川公路沿线为例[J]. 地质科技情报,2009,28(2):16-22.
- [9] 马鹏天,扎西次珍,单增顿珠,等. 西藏巴青县地质灾害发育特征及孕灾规律浅析[J]. 西藏科技,2022,(9):14-19.
- [10] 黄润秋,李为乐. 汶川地震触发崩塌滑坡数量及其密度特征分析[J]. 地质灾害与环境保护,2009,20(3):1-7.
- [11] 姚玉增,任群智,李仁峰. 层次分析法在山地地质灾害危险性评价中的应用——以辽宁凌源地区为例[J]. 水文地质工程地质,2010,37(2):130-135.

作者简介: 刘大明(1989—),男,高级工程师,从事区域地质、地质灾害调查工作。E-mail:damingswust@163.com

通讯作者: 官云彬(1988—),男,高级工程师,从事区域地质、地质灾害调查工作。E-mail:815469749@qq.com