

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.06-16

青海省滑坡崩塌泥石流灾害时空分布特征

魏正发¹, 曹小岩¹, 张俊才¹, 应忠敏², 严慧珺¹, 魏赛拉加¹

(1. 青海省地质环境监测总站, 青海 西宁 810008;

2. 青海省尖扎县气象局, 青海 尖扎 811200)

摘要:近年来,受全球气候变暖和城市扩张进程中的人类社会经济活动影响,青海省突发性、局地性地质灾害事件频发。为积极应对地质灾害严峻形势,保障人民生活生产安全、巩固防灾减灾成果、提出科学合理的应对措施。文章以1990—2019年青海省滑坡崩塌泥石流灾害为研究对象,通过数理统计,分析研究了30年间青海省滑坡崩塌泥石流灾害发育特征、时空分布规律及主要引发因素。结果表明:①灾害规模多为小型,灾害类型以滑坡为主。②时间上,多发生在5—10月;空间上,主要发生在地形复杂的青东地区西宁市和海东市。③降雨和开挖边坡是主要引发因素。④近年来,滑坡崩塌泥石流灾害增加趋势明显。研究结果对于今后一段时期青海省地质灾害防范工作具有指导和借鉴意义。

关键词:崩滑流;发育特征;分布规律;引发因素;防治建议;青海省

中图分类号: P642

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2021)06-0134-09

Temporal and spatial characteristics of landslide, rockfall and debris flow disasters in Qinghai Province during the period

WEI Zhengfa¹, CAO Xiaoyan¹, ZHANG Juncai¹, YING Zhongmin², YAN Huijun¹, WEI Sailajia¹

(1. *Qinghai Institute of Geo-Environmental Monitoring, Xining, Qinghai 810008, China;*

2. *Jianzha Meteorological Bureau of Qinghai Province, Jianzha, Qinghai 811200, China*)

Abstract: In recent years, under the influence of human social and economic activities in the process of global warming and urban expansion, the frequency of sudden and local geological disasters have increased significantly in Qinghai Province. In order to actively respond to the severe situation of geological disasters, guarantee the safety of people's lives and production, consolidate the results of disaster reduction and scientific and reasonable response measures are proposed. This paper takes the landslide and debris flow disasters in Qinghai Province from 1990 to 2019 as the research object. Through mathematical statistics, the development characteristics, temporal and spatial distribution patterns and main triggering factors of landslides and debris flows in Qinghai Province in the past 30 years are analyzed and studied. The results show that: ①The scale of disasters is mostly small, and the disaster types are mainly landslides. ②In terms of time, it mostly occurred from May to October; in terms of space, it mainly occurred in Xining City and Haidong City in the Qingdong region with complex terrain. ③Rainfall and excavation slopes are the main triggers. ④In recent years, the increase trend of landslide, rockfall and debris flow disasters is obvious. The results of the research will provide guidance and reference for the geological disaster prevention work in Qinghai Province for a period of time in the future.

Keywords: rockfall landslide and debris flow; developmental characteristics; distribution law; trigger factor; preventive advice; Qinghai Province

收稿日期: 2021-02-26; 修订日期: 2021-04-16

基金项目: 青海省应用基础研究项目(2019-ZJ-7053); 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室专项基金(2019-KZ-03)

第一作者: 魏正发(1993-), 男, 青海互助人, 本科, 工程师, 主要从事地灾调查与防治研究工作。E-mail: 1522497033@qq.com

0 引言

青海省位于中国西部、青藏高原东北部。是长江、黄河、澜沧江的发源地,被誉为“三江源”、“江河源头”、“中华水塔”。地势具有西南高、北东低与南北高、中部低和山地多、平原少的组合特征。其内有构成全球海拔最高、隆起时代最新、地壳厚度最大,作为青藏高原基础构架并保存较为完整的世界最高高原面和构造山系。区内地质环境条件复杂、生态脆弱、气候多样、地震频发。地貌以山地丘陵为主,占全省面积的72%。强烈的高原隆升和河流下蚀,导致区内地势高差悬殊、沟壑广布、谷坡陡峻,在山地、丘陵、台地与河谷平原的过渡带,地质灾害呈相对集中和条带状分布,具有范围广、数量多、群发突发、灾情严重、治理难度大等特点。

青海省是我国地质灾害高发、频发的主要省份之一,崩塌、滑坡、泥石流是最主要的地质灾害类型。近年来受极端天气和城市扩张、工程建设增加等因素影响,地质灾害频发;其中2017年是近十年来全省地质灾害造成人员伤亡最多的一年,共造成12人死亡,3人受伤;2018年是有记录以来发生次数最多、经济损失较为严重的年份,共发生地质灾害207起^[1],是1990—2019年多年平均值的6.6倍,因灾死亡人数4人,直接经济损失达5100余万元;2019年发生地质灾害92起^[2],发生起数仅次于2018年。严峻的地质灾害形势已然成为制约青海省城市建设和社会经济发展的重要因素,对人民群众生命财产安全及各类基础设施造成了极大的损害和威胁。

基于地质灾害的发育特征与分布规律研判地质灾害发展变化趋势,是多年来各级自然资源部门分析地质灾害趋势的重要组成部分^[3]。为此,文中在收集学习前人研究成果^[4-9]的基础上,通过整理研究1990年以来青海省历年滑坡崩塌泥石流灾害发生情况,总结分析其规律,摸清发育特征、引发因素、分布规律及发展趋势;对于今后青海省地质灾害防范工作具有指导和借鉴意义,

为各级自然资源部门地质灾害趋势研判提供技术支持和参考依据。

1 突发性地质灾害概况

1990—2019年青海省共发生地质灾害948起。其中滑坡656起、崩塌172起、泥石流120起,造成181人死亡、123人受伤,直接经济损失达6.18亿元。参照《地质灾害防治条例》划分,灾情等级以小型为主,共发生875起,占比92.3%,造成58人死亡、49人受伤,直接经济损失约0.46亿元,灾情等级中型及以上73起,占比7.7%,造成123人死亡、74人受伤,直接经济损失约5.72亿元(表1)。2007年7月20日贵德县拉西瓦水电站发生崩塌,造成19人伤亡,直接经济损失3500万元,是青海省有记录以来造成伤亡人数最多的地质灾害事件(表2)。

2 发育特征

2.1 按类型划分

青海省地质灾害以滑坡为主,崩塌和泥石流相对较少;发生滑坡656起,占总数的69.2%,造成81人死亡、45人受伤,直接经济损失约1.27亿元;崩塌172起,占总数的18.14%,造成44人死亡、42人受伤,直接经济损失约0.87亿元;泥石流120起,占总数的12.66%,造成56人死亡、36人受伤,直接经济损失约4.04亿元。可见,虽然泥石流发生起数少,但是占比仅13%的泥石流却造成了约30%的人员伤亡和65%的经济损失,而占比近70%的滑坡仅造成了20.6%的经济损失(图1)。

2.2 按规模划分

就发生规模而言,小型、中型、大型及巨型崩塌、滑坡灾害均有发生,巨型泥石流尚未发生过。按灾种细分,90%的崩塌为小型,中型及以上仅占10%;73%的滑坡为小型,中型及以上占27%;65%的泥石流为小型,中型及以上占35%。可见省内滑坡崩塌泥石流灾害以小型为主,中型次之,大型较少,巨型基本不发育,占比

表1 青海省滑坡崩塌泥石流灾害灾情统计表(1990—2019)

Table 1 Statistical table of landslide, rockfall and debris flow disasters in Qinghai Province (1990—2019)

灾情等级	崩塌				滑坡				泥石流			
	数量/起	损失/万元	死亡/人	受伤/人	数量/起	损失/万元	死亡/人	受伤/人	数量/起	损失/万元	死亡/人	受伤/人
特大型	2	6328	11	16	3	3222.32	0	2	10	32278.19	28	22
大型	1	865.2	6	6	4	2600	7	2	6	4073.2	14	2
中型	5	1056	7	0	29	3995.7	41	15	13	2773	9	9
小型	164	472.423	20	20	620	2835.2172	33	26	91	1266.195	5	3
合计	172	8721.623	44	42	656	12653.237	81	45	120	40390.585	56	36

表 2 死亡 3 人及以上重大滑坡崩塌泥石流灾害事件

Table 2 Catastrophic landslide, rockfall and debris flow disasters events with more than 3 death

序号	地理位置	灾害类型	日期	体积/m ³	死亡人数	受伤人数	经济损失/万元	灾情等级
1	西宁市马坊、盐庄	泥石流	1994-07-05	201 000	9	1	2 250	特大
2	湟中县总寨乡王家山沟口	滑坡	1994-07-26	81 000	7	0	38	中
3	互助县五十乡	泥石流	1994-06-14	1 107 000	12	0	750	大
4	互助县沙塘川乡	崩塌	1994-07-17	310 600	6	6	865.2	大
5	贵德县黄河大桥至尕让乡大磨村	泥石流	1994-08-29	3 360	3	5	185	中
6	大通县城关镇李家毛	滑坡	1995-09-06	900	3	1	7	中
7	湟中县拉沙乡峡口村	滑坡	1995-06-02	1 800	3	1	2	中
8	门源县红山扁子路段	崩塌	1995-09-06	11 700	3	5	2 828	特大
9	湟源县寺寨乡	泥石流	1995-09-06	2 244 000	10	0	1850	特大
10	乐都县中坝乡洪三村	滑坡	1996-11-01	1 600	6	5	5	中
11	贵德县尕让乡阿什贡村	泥石流	1997-08-05	9 430	3	0	1 053.19	特大
12	湟源县巴燕乡下胡丹村	滑坡	1998-04-18	80	5	0	0.2	中
13	大通县青林乡柳林滩村	崩塌	1999-04-19	303	3	0	2	中
14	西宁市城北区土巷道	滑坡	1999-07-02	12 000	4	2	20	中
15	民和县巴州乡	泥石流	1999-08-05	900	4	0	40	中
16	大通县斜沟乡三村	滑坡	2000-04-26	567	4	1	1.4	中
17	大通县西山乡多兰村	滑坡	2000-06-29	270	3	0	0.2	中
18	西宁市城东区中庄村大山沟	崩塌	2004-11-17	480	4	0	3	中
19	贵德县拉西瓦水电站	崩塌	2007-07-20	800	8	11	3 500	特大
20	尖扎县尖扎滩乡幸福村	滑坡	2007-10-29	140.3	4	2	3	中
21	西宁市城东区总寨镇元堡子村	滑坡	2016-07-24	110	4	3	2.5	中
22	西宁市城东区王家庄绿化管护区	滑坡	2017-08-08	46 800	4	0	81	中
23	玛沁县拉加镇肉欠村	滑坡	2017-08-30	45 000	7	2	800	大

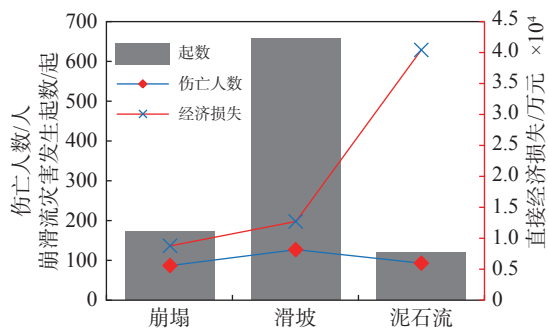


图 1 崩滑流发生起数与伤亡人数和经济损失对比图

Fig. 1 Comparison of the number of landslide, rockfall with debris flow disasters casualties economic losses

依次为 75.7%、14.7%、7.5%、2.1%(表 3)。

2.3 按物质组成划分

青海省地层发育较全,从元古界至第四系均有广泛分布。从分布情况看,基岩主要出露在山地地区,第三系地层出露于丘陵地带,第四系地层广布于河谷盆地、山麓、台地及丘陵之上,依据岩性、岩石强度和结构类型及特殊工程地质性质,岩体可分为岩浆岩、变质岩、碳酸盐岩和碎屑岩建造,土体可分为卵砾类土、砂类

表 3 滑坡崩塌泥石流灾害按规模统计表(1990—2019)

Table 3 Statistical table of landslide, rockfall and debris flow disasters by scale (1990—2019)

灾种	小型	中型	大型	巨型	合计
崩塌	155	11	3	3	172
滑坡	485	97	57	17	656
泥石流	78	31	11	0	120
合计	718	139	71	20	948
占比/%	75.7	14.7	7.5	2.1	100

土、一般黏性土、软弱黏性土、黄土类土、盐渍土和冻土。

因岩土体类型对于泥石流的发生影响不明显,开展灾害体物质组成分析时仅针对崩塌、滑坡灾害。按岩土体类型划分,2003—2019 年间 672 起崩塌、滑坡灾害有 518 起发生于松散的土体中,占比 77.1%,154 起发生于岩体中,占比 22.9%。其中黄土类土地质灾害最为发育,约占 61%,碎屑岩和卵砾类土次之,占比分别为 19.3%、16.1%,变质岩、岩浆岩、碳酸盐岩基本不发育,这是由于岩石的坚硬程度代表着力学强度,由坚硬至较坚硬至软弱,岩体的稳定性逐渐降低,由坚硬岩体至松散的土体,岩土体力学强度骤降,可以发现除碎屑岩外

其他岩体基本不发育地质灾害,且灾害规模以小型为主。发生在黄土类土、碎屑岩和卵砾类土中的崩塌基本以小型为主,很少发生大规模崩塌;发生在黄土类土和卵砾类土中的滑坡以小型为主,而在碎屑岩中则以中型以上为主(表 4);这是由于黄土类土和卵砾类土结构杂乱、松散破碎,极易局部失稳解体发生崩塌、滑坡灾害,而发生于碎屑岩中的滑坡多追索岩体结构面,极易整体失稳形成滑坡,且上部大多披覆有松散土体,致使发生于碎屑岩中的滑坡规模较大。

3 分布规律

3.1 空间分布规律

(1)按行政区域

青海省下辖西宁市、海东市、海北州、黄南州、果洛州、海南州、海西州及玉树州 2 市 6 州。就滑坡崩塌泥石流灾害整体分布而言,主要分布于西宁市和海东市,占比分别为 37.4%、34.4%,两个市占全省地质灾害的近 72%,灾害密度分别达到 4.62 起/100 km² 和 2.47 起/100 km²,其次是海南州、黄南州和海北州,占比分别为 8.8%、8.5%、5%,海西州发生最少,仅发生 13 起,年均发生仅 0.4 起,灾害分布密度更是不及西宁市的千分之

表 4 岩土体类型与滑坡崩塌灾害发育 (2003—2019)

Table 4 Relationship between soil and rock type and landslide, rockfall and debris flow disasters development (2003—2019)

灾种	规模	岩体				土体		合计
		变质岩	岩浆岩	碳酸盐岩	碎屑岩	黄土类土	卵砾类土	
崩塌	小	5	5	1	39	61	5	116
	中	0	0	0	2	0	1	3
	大	0	0	0	0	0	1	1
	巨	0	0	0	0	0	0	0
滑坡	小	4	0	0	34	289	80	407
	中	3	0	3	35	34	13	88
	大	3	0	0	14	21	6	44
	巨	0	0	0	6	5	2	13
合计		15	5	4	130	410	108	672

注:表内为2003—2019年数据,期间崩滑675起,此处分析不考虑3起巨型冰崩,总计672起。

一。就不同灾种而言,各市(州)也有分布上的差异,除海西州多发生泥石流外,其它市(州)以滑坡为主;除滑坡外西宁市、海东市、海北州、果洛州多发生崩塌,泥石流相对较少,而黄南州、海南州、海西州及玉树州则多发生泥石流,崩塌相对较少,尤其以海南州和海西州最为明显(表 5)。

表 5 滑坡崩塌泥石流灾害的地域分布统计 (1990—2019)

Table 5 Geographical distribution statistic of landslide, rockfall and debris flow disasters (1990—2019)

市州行政区	面积/km ²	崩塌			滑坡			泥石流			合计			
		数量/起	死亡	损失/万元	数量/起	死亡	损失/万元	数量/起	死亡	损失/万元	数量/起	灾害密度/(起·100km ⁻²)	死亡	损失/万元
西宁市	7 665	86	26	142.522	240	51	3 053.17	28	23	19 338.08	354	4.618 4	100	22 533.77
海东市	13 200	47	7	1 386.607	244	14	4 652.972	35	19	5 336.585	326	2.469 7	40	11 376.16
海北州	34 700	8	3	3 244.45	34	0	604.16	5	0	37	47	0.135 4	3	3 885.61
黄南州	18 823	9	0	49.05	62	5	1 624.875	10	2	1 686.75	81	0.430 3	7	3 360.675
果洛州	76 312	4	0	10	13	7	1 320.1	2	1	150.3	19	0.024 9	8	1 480.4
海南州	46 000	13	8	3 568.494	43	0	292.91	27	10	9 656.87	83	0.180 4	18	13 518.27
海西州	325 785	2	0	0	4	2	1 000.6	7	0	205	13	0.004 0	2	1 205.6
玉树州	191 178	3	0	320.5	16	2	104.45	6	1	3 980	25	0.013 1	3	4 404.95
合计	713 663	172	44	8 721.623	656	81	12 653.24	120	56	40 390.59	948	0.132 8	181	61 765.45

(2)按地形地貌

依据不同的地貌类型,将青海省划分为四个地貌单元,分别为青东丘陵谷地、柴达木盆地、青北高原山区、青南高原山区^[10]。就滑坡崩塌泥石流灾害整体而言,集中分布在青东丘陵谷地,占比 82.8%,灾害分布密度 2.673 9 起/100 km²,其次依次为青南高原山区、青北高原山区、柴达木盆地,占比依次为 10.9%、5.2%、1.1%,柴达木盆地基本不发育。不同灾种在各地貌分区的分布也存在差异性,如青东丘陵谷地、青北高原山区、青

南高原山区以滑坡为主,而柴达木盆地则以泥石流为主,除滑坡外青东丘陵谷地以崩塌为主,泥石流相对较少,其它地貌分区崩塌和泥石流灾害发生相差不多(表 6)。

(3)按农牧业分区

以日月山为天然分界,东部湟水流域和黄河上游下段为黄土高原西段,为主要的农业区,其余地区为牧业区,青海省农业区主要分布在青东丘陵谷地区,牧业区主要分布在青北高原山区、青南高原山区和柴达木盆地区,农业区人口集中,地形破碎,主要开展开挖平整土

表 6 滑坡崩塌泥石流灾害按地形地貌分区统计 (1990—2019)

Table 6 Statistics of landslide, rockfall and debris flow disasters according to topography and physiognomy (1990—2019)

产业分区	地形地貌分区	面积/km ²	人口/人	人口密度人/km ²	崩塌	滑坡	泥石流	合计	灾害密度/(起·100 km ⁻²)	死亡人数	受伤人数	经济损失/万元
农业区	青东丘陵谷地	29 358	4 043 884	137.74	141	559	85	785	2.673 9	161	99	42 141.431 2
	柴达木盆地	299 785	380 570	1.27	2	1	7	10	0.003 3	2	0	205.6
牧业区	青北高原山区	60 700	318 824	5.25	8	37	5	50	0.082 4	3	5	4 885.61
	青南高原山区	323 820	1 146 979	3.54	21	59	23	103	0.031 8	15	19	14 532.804
合计		713 663	5 890 257	8.25	172	656	120	948	0.132 8	181	123	61 765.445 2

地、农业灌溉等活动,牧业区人口稀疏,地形较为平整,以自然放牧为主,相比较农业区对自然环境的影响较大,致使农业区较牧业区滑坡崩塌泥石流灾害严重,约 83% 的滑坡崩塌泥石流灾害发生在农业区(表 6)。

(4)按工程活动强度分区

青东丘陵谷地区占地面积 29 358 km²,分布着我省 16 个县(市、区),4 043 884 人^[1],仅全省 9% 的土地上分布着 36% 的县(市、区)和 69% 的人口,人口密度 137.74 人/km²(表 6),是其它区域的几十倍甚至百倍,省府西宁市也在其中,是连接祖国内陆和新疆、西藏等地区的重要枢纽。重要的地理位置和密集的人口分布,致使区内社会经济发展迅速,基础设施建设等工程活动强烈,滑坡崩塌泥石流灾害多发频发,灾害发生密度达到了其他区域的几十倍甚至几百倍,造成了严重的人员伤亡和巨大的经济损失,因灾伤亡人数占全省的 86%,经济损失占全省的 68%。

(5)按流域分区

青海省水系可分为外流水系和内陆水系,因黄河和

其一级支流湟水河不在青海省汇流,湟水河和其一级支流大通河在甘青交接处汇流,因此在分析滑坡崩塌泥石流灾害分布时将湟水河和大通河单独列出。可以发现省内滑坡崩塌泥石流灾害主要分布于湟水河流域,共发生 596 起,占比 63%,造成 138 人死亡、75 人受伤,直接经济损失约 2.95 亿元,其次为黄河流域,共发生 264 起,占比 36.5%,造成 35 人死亡、29 人受伤,直接经济损失约 2.28 亿元,其他流域分布相对较少。

就灾害类型及规模各流域相差不多但略有差异,如大通河流域崩滑流三种灾害发生数量基本相同;内陆水系除黑河流域外主要以泥石流为主;其它流域以滑坡为主,崩塌和泥石流均有发生,且发生数量近一致。中型及以上规模崩滑流灾害基本发生在湟水河和黄河流域,且在各自流域相同灾种中所占比重,黄河流域略高于湟水河流域,如中型及以上规模滑坡,在黄河流域发生 62 起,占黄河流域滑坡总数的 37%,在湟水流域发生 80 起,占湟水流域滑坡总数的 19%(表 7)。

表 7 滑坡崩塌泥石流灾害按水系流域统计表 (1990—2019)

Table 7 Statistical table of landslide, rockfall and debris flow disasters by drainage basin (1990—2019)

水系	流域	崩塌					滑坡					泥石流					合计	死亡人数	受伤人数	经济损失/万元
		小	中	大	巨	合计	小	中	大	巨	合计	小	中	大	巨	合计				
外流	长江	2	0	1	0	3	6	4	2	0	12	2	2	0	0	4	19	3	14	3 224.45
	澜沧江	1	0	0	0	1	4	3	0	0	7	2	0	0	0	2	10	0	0	1 201.5
	黄河	31	7	1	3	42	107	35	20	9	171	34	15	2	0	51	264	35	29	22 791.098 2
	湟水	114	2	1	0	117	348	43	29	8	428	32	11	8	0	51	596	138	75	29 477.187
	大通河	5	1	0	0	6	3	1	1	0	5	2	1	0	0	3	14	3	5	3 224.45
内陆	黑河	1	0	0	0	1	13	11	5	0	29	1	1	0	0	2	32	0	0	641.16
	其它	1	1	0	0	2	4	0	0	0	4	5	1	1	0	7	13	2	0	1 205.6
合计		155	11	3	3	172	485	97	57	17	656	78	31	11	0	120	948	181	123	61 765.445

3.2 时间分布规律

(1)年度变化规律

表 8 显示了 1990—2019 年青海省滑坡崩塌泥石流灾害发生数量及灾情的年度变化情况,可以看出,地质灾害发生数量、造成的死亡失踪人数、直接经济损失年

际变化很大。

按滑坡崩塌泥石流灾害发生起数,2018 年发生地质灾害 207 起,为历年最多,是多年平均值的 6.6 倍;其次是 2019 年、2007 年、1995 年、1994 年,分别为 92 起、54 起、51 起和 47 起;1990 年、1991 年、

表 8 滑坡崩塌泥石流灾害按年度统计表 (1990—2019)

Table 8 Annual statistical table of landslide, rockfall and debris flow disasters (1990—2019)

年度	崩塌	滑坡	泥石流	合计	死亡人数	受伤人数	经济损失/万元	年度	崩塌	滑坡	泥石流	合计	死亡人数	受伤人数	经济损失/万元
1990	2	4	0	6	2	0	32.025	2005	3	19	2	24	1	4	992
1991	2	4	0	6	0	0	9.94	2006	6	7	7	20	0	1	251.612 2
1992	0	2	2	4	2	0	6.975	2007	9	42	3	54	16	16	3 786.055
1993	1	8	1	10	0	0	63.65	2008	6	13	4	23	2	0	253.6
1994	9	19	19	47	37	12	4 635.42	2009	3	22	0	25	1	1	714.3
1995	21	18	12	51	36	15	7 261.915	2010	4	25	8	37	2	2	1 236.5
1996	5	15	3	23	8	8	284.73	2011	6	12	1	19	1	5	77.89
1997	0	7	6	13	9	6	22 671.24	2012	10	18	2	30	3	2	55.08
1998	1	2	2	5	8	1	896.2	2013	10	21	6	37	0	16	668.13
1999	3	8	5	16	13	2	1 977.2	2014	5	27	0	32	0	0	42.1
2000	1	4	0	5	8	5	3.386	2015	6	22	7	35	2	1	746.2
2001	0	6	1	7	0	2	0.5	2016	7	31	7	45	6	7	2 510.06
2002	4	7	1	12	0	0	428.4	2017	6	22	2	30	12	3	888.5
2003	1	9	3	13	1	13	3 906.15	2018	25	172	10	207	4	0	5 117.74
2004	4	14	2	20	4	1	571.305	2019	12	76	4	92	3	0	1 676.642

1992 年、1998 年、2000 年、2001 年发生起数相对较少,灾害数量低于 10 起。按死亡、受伤人数,1994 年、1995 年因地质灾害死亡受伤的人数最多,分别为 1994 年死亡 37 人、受伤 12 人,1995 年死亡 36 人、受伤 15 人,其次是 2007 年、2017 年,分别为 16 人、16 人和 12 人、3 人;1991 年、1993 年、2002 年、2014 年未造成人员伤亡。按经济损失,1997 年因滑坡崩塌泥石流灾害造成的直接经济损失最重,约为 2.27 亿,是多年平均经济损失(2 059 万)的约 11 倍,其次依次为 1995 年、2018 年、1994 年,直接经济损失分别为 7 261.915 万元、5 117.74 万元和 4 635.42 万元;2001 年、1992 年、1991 年的直接经济损失较小,不超过 10 万元。

从年度滑坡崩塌泥石流灾害发生数量可以看出,以 2004 年为节点,2004 年之前除 1994 年、1995 年特殊年份,其它年份年度发灾起数相对较少,不超过 20 起,甚至大多年份只发生几起,2004 年后发灾起数均大于 20 起。从 1994 年、1995 年、2007 年、2018 年、2019 年等发灾数量较多的年份可以看出,大约每隔 10 年青海便会出现滑坡崩塌泥石流灾害多发年份,时间持续 1~3 年,并会造成了大量的人员伤亡和经济损失(表 8)。

(2) 季节性变化规律

滑坡崩塌泥石流灾害的季节差异性在青海省表现较为明显,主要表现在冻融期和汛期。据 1996—2019 年有明确引发因素的崩滑流灾害数据,14 起冻融滑坡均发生于 3—5 月的冻土消融期;470 起由降雨引发的崩滑流灾害中有 402 起发生于汛期 6—9 月,占总数的 86%,68 起发生于非汛期,其中 99% 的泥石流发生于汛期。由图 2 可知,1996—2019 年由降雨引发的崩滑流灾害多发于汛期,且汛期发灾占比明显大于非汛期

(2009 年除外),24 年中有 22 年汛期发灾占比达 75% 以上;此外,从整体变化趋势而言,汛期发灾占比有微弱减小的趋势,表明发灾时间有汛期向全年发展的倾向(图 2)。

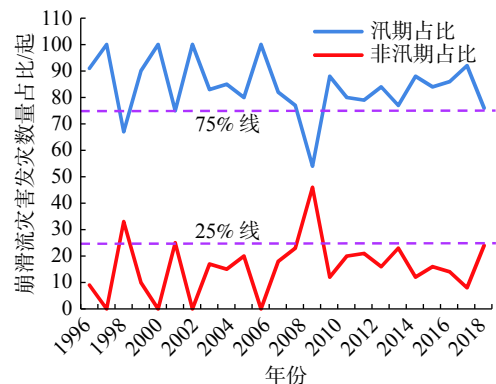


图 2 各年汛期与非汛期滑坡崩塌泥石流灾害数量占比图 (1990—2019)

Fig. 2 Map of landslide, rockfall and debris flow disasters in flood season and non-flood season in each year (1990—2019)

(3) 月变化规律

以月为单位对滑坡崩塌泥石流灾害进行了统计分析,从发灾数量看,主要发生在 5—10 月,灾害数量占总数的 89%;而且集中发生在 7—9 月,灾害数量占总数的 59%(表 9),其中以 8 月份最多,共发生 249 起,年均 8.3 起,占总数的 26.3%,其次依次为 7 月、9 月、6 月、5 月,分别为 166 起、145 起、96 起,1 月、2 月和 12 月份最不发育(图 3)。

4 引发因素

滑坡崩塌泥石流灾害的发生往往是多种因素综合

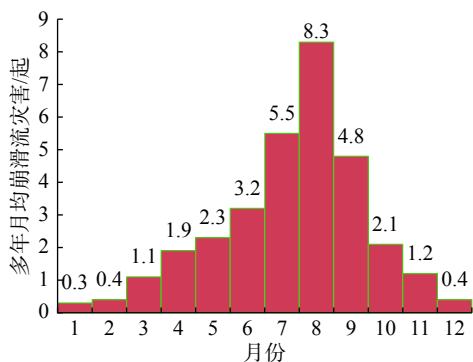


图 3 多月均滑坡崩塌泥石流灾害直方图 (1990—2019)

Fig. 3 Monthly average histogram of landslide, rockfall and debris flow disasters over many years (1990—2019)

表 9 多月平均滑坡崩塌泥石流灾害统计表 (1990—2019)

Table 9 Statistical table of average annual landslide, rockfall and debris flow disasters (1990—2019)

月份	崩塌	滑坡	泥石流	合计
1月	8	2	0	10
2月	5	8	0	13
3月	10	24	0	34
4月	13	43	0	56
5月	19	49	2	70
6月	19	55	22	96
7月	28	102	36	166
8月	34	169	46	249
9月	15	116	14	145
10月	11	52	0	63
11月	8	27	0	35
12月	2	9	0	11

作用的结果,但究其成因仍有一种主要引发因素,通过对往年滑坡崩塌泥石流灾害主要引发因素统计分析,主要有工程活动和自然因素两大类,其中工程活动包括边坡开挖、采矿采石、灌溉渗漏、排水排污、水库蓄水、虚方填土,自然因素主要有地震、降雨、坡脚浸润、自然风化、冻融等。由工程活动引发 253 起,占 1996—2019 年总数的 31%,以开挖边坡为主;由自然因素引发 571 起,占 1996—2019 年总数的 69%,以降雨为主(表 10)。下面就以开挖边坡和降雨为例,开展深入研究探讨。

(1)开挖边坡

通过统计往年灾害数据发现,由开挖边坡引发的滑坡崩塌泥石流灾害由 1996—2019 年呈逐渐增加趋势,表明开挖边坡对灾害的影响日益显著,尤其近年来影响更加明显(图 4)。

(2)降雨

降雨是引发滑坡崩塌泥石流灾害的最主要因素,通过分析 1996—2019 年由降雨引发 470 起,发现年度降

表 10 滑坡崩塌泥石流灾害按引发因素统计表 (1996—2019)

Table 10 Statistical table of landslide, rockfall and debris flow disasters by induced factors (1990—2019)

引发因素		崩塌	滑坡	泥石流	合计
工程活动	挖坡	47	146	0	193
	采矿	1	3	0	4
	灌溉	1	41	0	42
	排水	0	6	0	6
	蓄水	2	3	0	5
	填方	0	3	0	3
	合计	51	202	0	253
自然因素	地震	0	2	0	2
	降雨	44	340	86	470
	浸润	1	20	0	21
	风化	41	23	0	64
	冻融	0	14	0	14
	合计	86	399	86	571

注: 上表数据为 1996—2019 年数据, 1996 年之前无相关数据。

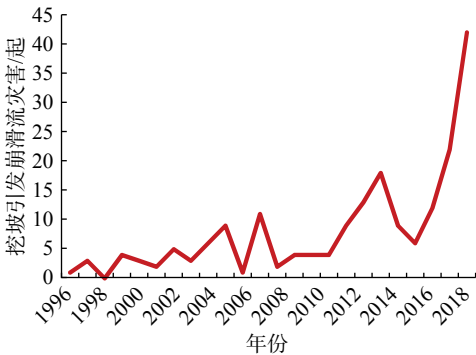


图 4 因开挖斜坡引发滑坡崩塌泥石流灾害数量图 (1996—2019)

Fig. 4 Number of landslide, rockfall and debris flow disasters caused by slope excavation (1996—2019)

雨量和降雨引发的滑坡崩塌泥石流灾害均呈上升趋势。同时发现当年度降雨量增多时当年灾害也基本呈现增加趋势,反之亦然,甚至当年度灾害发生数量样本较多时这种趋势表现的更加明显,如 2007 年、2016 年、2018 年、2019 年;且在 2015 年后尤为明显,近乎出现同增同减的变化(图 5)。通过多月均降雨量与月降雨引发灾害对比,降雨对于滑坡崩塌泥石流灾害的影响显得更加突出,降雨和灾害均集中在 6—9 月份,而降雨少的月份,灾害也发生的较少(图 6)。

降雨对滑坡崩塌泥石流灾害的影响尤其在 2018 年表现更为明显,降雨引发崩滑流灾害 171 起,占全年总数的 82.6%。当年全省出现多次大面积强降雨天气过程。如 7 月 18 日 17—18 时循化县查汗都斯乡、街子镇、积石镇及清水乡 1 h 最大降雨量达 41.9 mm^[12], 7 月

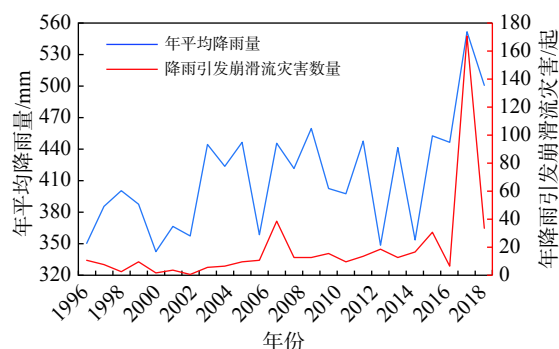


图5 年均降雨量与降雨引发崩滑泥石流灾害关系图(1996—2019)

Fig. 5 The relationship between annual rainfall and landslide, rockfall and debris flow disasters caused by rainfall from (1996—2019)

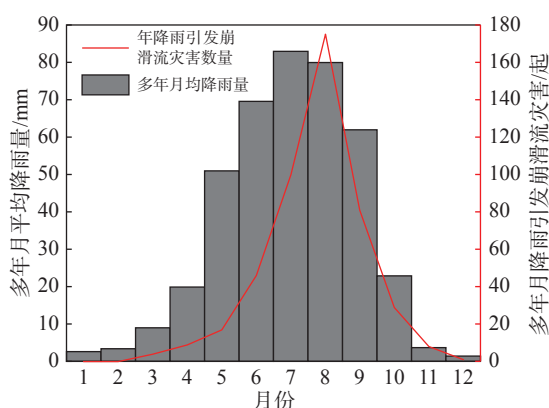


图6 月均降雨量与降雨引发崩滑泥石流灾害关系图(1996—2019)

Fig. 6 The relationship between the average monthly rainfall over many years and the rockfall, landslide and debris flow disasters caused by monthly rainfall from (1996—2019)

18日16—19时尖扎县昂拉乡为36.9 mm,最大小时雨强27.8 mm^[13];8月2日起海东市大面积遭遇强降雨影响,部分县降雨量甚至达到60年以来的极值,8月2—3日24 h降雨量乐都区峰堆乡98.4 mm、瞿坛镇50.2 mm、中坝133.4 mm、亲仁86.7 mm等^[14],8月2—3日的民和县峡门镇24h降雨量达到90.4 mm^[15],8月3—4日民和县峡门镇12h降雨量达到90 mm^[16],8月8—9日湟中区甘河滩镇1h降水量达43.8 mm^[17],8月8日尖扎县措周乡1h降水34.6 mm,导致民和县、乐都区、西宁市、湟中区、尖扎县、循化县、化隆县、同德县出现灾害群发现象,年内灾害发生起数激增,达到多年平均值的近7倍。

5 结论及建议

5.1 结论

(1)1990—2019年青海省共发生滑坡崩塌泥石流灾害948起,灾情等级以小型为主,共造成181人死亡、

123人受伤,经济损失达6.18亿元。

(2)发灾类型以滑坡为主,崩塌、泥石流较少,发灾规模多为小型,往往具有小灾大难的特点,且基本发生于松散破碎的土体中。

(3)以1990—2019年数据做分析得出:滑坡崩塌泥石流灾害多发生于5—10月,7—9月为重灾期;主要发生在人口密集、工程活动强烈、地形复杂的青东地区,多分布于湟水流域流经的西宁市和海东市境内。

(4)发灾时间仍集中于汛期,但汛期发灾占比有减小的倾向,表明有汛期向全年发展的趋势。

(5)从近5年趋势看,灾害发生数量、人员伤亡和直接经济损失增加趋势明显。

(6)降雨和开挖边坡是引发滑坡崩塌泥石流灾害的主要因素;近年来二者影响日益显著,引发的灾害呈明显增加趋势。

5.2 建议

(1)以往地质灾害防治工程多倾向于特大型灾害,今后应加强险情大的中小型灾害应急防治。

(2)今后一段时间滑坡崩塌泥石流灾害仍是青海省主要的地质灾害发灾类型,青东地区仍是重点防范区域,汛期仍是重点防范时期。

(3)鉴于发灾时间向全年发展的趋势,各级地质灾害主管部门在做好汛期防范的同时,应加强非汛期防范工作。

(4)降雨是引发滑坡崩塌泥石流灾害的最主要因素,应加强地质灾害与降雨的相关性研究,提升气象预报预警能力。

(5)开挖边坡亦是引发滑坡崩塌泥石流灾害的主要因素,各级地质灾害主管部门在加强管理的同时,应有针对性的开展宣传培训,限制和约束边坡开挖等人类工程活动。

(6)群测群防是地质灾害防灾减灾工作的基础,应加强群测群防体系建设,提升群测群防队伍专业素质和组织管理。

参考文献 (References):

- [1] 吕文斌,曹小岩,魏正发,等.青海省地质灾害防治工作年度报告(2018年)[R].西宁:青海省地质环境监测总站,2018. [LYU Wenbin, CAO Xiaoyan, WEI Zhengfa, et al. Annual report on prevention and control of geological hazards in Qinghai Province (2018) [R]. Xining: Qinghai Institute of Geo-Environmental Monitoring, 2018. (in Chinese)]
- [2] 魏正发,曹小岩,张俊才,等.青海省地质灾害防治工作年度报告(2019年)[R].西宁:青海省地质环境监测总站,

2020. [WEI Zhengfa, CAO Xiaoyan, ZHANG Juncai, et al. Annual report on prevention and control of geological hazards in Qinghai Province (2019) [R]. Xining:Qinghai Institute of Geo-Environmental Monitoring, 2020. (in Chinese)]
- [3] 关凤峻, 沈伟志, 张志防. 全国地质灾害防治分析研究与趋势预测 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(1): 1-2. [GUAN Fengjun, SHEN Weizhi, ZHANG Zhifang. The research and trend prediction of the national geological hazard prevention and control [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(1): 1-2. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 宁奎斌, 李永红, 何倩, 等. 2000—2016年陕西省地质灾害时空分布规律及变化趋势 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(1): 93-101. [NING Kuibin, LI Yonghong, HE Qian, et al. The spatial and temporal distribution and trend of geological disaster in Shaanxi Province from 2000 to 2016 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(1): 93-101. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 魏赛拉加, 严慧珩, 张俊才, 等. 青海省地质灾害防治资金投入与成效分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(5): 112-116. [WEI Sailajia, YAN Huijun, ZHANG Juncai, et al. Analysis of funding used for geological disaster prevention in Qinghai Province and its effects [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(5): 112-116. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 曹先康, 温智, 陈海兰. 四川巴中市红层地区滑坡发育特征与防范措施 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(6): 20-24. [CAO Xiankang, WEN Zhi, CHEN Hailan. Landslide development characteristics and preventive measures in the area with red beds in Bazhong City, Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(6): 20-24. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 房浩, 李媛, 杨旭东, 等. 2010—2015年全国地质灾害发育分布特征分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(5): 1-6. [FANG Hao, LI Yuan, YANG Xudong, et al. Distribution characters of geo-hazards in China during the period of 2010—2015 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(5): 1-6. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 刘传正. 地质灾害防治研究的认识论与方法论 [J]. 工程地质学报, 2015, 23(5): 809-820. [LIU Chuazheng. Epistemology and methodology on geo-hazard research [J]. Journal of Engineering Geology, 2015, 23(5): 809-820. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 刘云, 康卉君. 江西崩塌滑坡泥石流灾害空间时间分布特征分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(4): 107-112. [LIU Yun, KANG Huijun. Spatial-temporal distribution of landslide, rockfall and debris flow hazards in Jiangxi Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(4): 107-112. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 张俐, 颜元东, 朱慧俭, 等. 青海省县(市)地质灾害调查与区划综合研究报告[R]. 西宁: 青海省地质环境监测总站, 2010. [ZHANG Li, YAN Yuandong, ZHU Huijian, et al. Comprehensive research report on investigation and regionalization of county (city) geological hazards in Qinghai Province[R]. Xining:Qinghai Institute of Geo-Environmental Monitoring, 2010. (in Chinese)]
- [11] 青海省统计局. 青海统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020. [Qinghai Provincial Bureau of Statistics. Beijing: Qinghai statistical yearbook 2020 [M]. Beijing:China Statistics Publishing House, 2020. (in Chinese)]
- [12] 青海省核工业地质局. 循化县7·18泥石流灾害调查报告[R]. 2018. [Qinghai Provincial Bureau of Nuclear Industry Geology. 7·18 Investigation report on debris flow in Xunhua Salar Autonomous County [R]. 2018. (in Chinese)]
- [13] 青海省地质环境监测总站. 尖扎县昂拉乡拉毛村山洪灾害调查报告[R]. 2018. [Qinghai Institute of Geo-Environmental Monitoring. Investigation report on mountain flood disaster in Lamao Village, Angla Town, Jianzha County [R]. 2018. (in Chinese)]
- [14] 郭岐山, 龙成林, 吴英波, 等. 2018年8月上旬海东市乐都区地质灾害应急调查报告[R]. 西宁: 青海省核工业地质局, 2018. [GUO Qishan, LONG Chenglin, WU Yingbo, et al. Geological disaster emergency investigation report of Ledu district, Haidong City in early August 2018 [R]. Xining: Qinghai Provincial Bureau of Nuclear Industry Geology, 2018. (in Chinese)]
- [15] 青海省环境地质勘查局. 民和县峡门镇孙家庄村泥石流险情专报[R]. 2018. [Qinghai Environmental Geological Prospecting Bureau. Mud-rock flow risk special report of Sunjiazhuang Village, Xiamen Town, Minhe County [R]. 2018. (in Chinese)]
- [16] 青海省环境地质勘查局. 民和县峡门镇孙家庄村湾子脑社不稳定斜坡险情专报[R]. 2018. [Qinghai Environmental Geological Prospecting Bureau. Danger report of unstable slope in Wanzinao, Sunjiazhuang Village, Xiamen Town, Minhe County [R]. 2018. (in Chinese)]
- [17] 青海省水文地质工程地质环境地质调查院. 湟中县甘河滩镇东湾村滑坡险情专报[R]. 2018. [Qinghai Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Environmental Geology. Landslide risk report of Dongwan Village, Ganhetan Town, Huangzhong County [R]. 2018. (in Chinese)]