

李蕾, 聂冠军. 广西地区地震次生地质灾害类型及分布特征[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 118–124. [LI Lei and NIE Guan-jun. Types and Distribution Characteristics of Secondary Geological Disasters in Guangxi[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(3): 118–124. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.03.023.]

广西地区地震次生地质灾害类型及分布特征^{*}

李 蕾, 聂冠军

(广西壮族自治区地震局, 广西 南宁 530022)

摘要: 广西地处东南沿海地震带西段和右江地震带, 地震次生地质灾害比较严重, 主要为崩塌, 其次为岩溶塌陷和地裂缝, 滑坡、泥石流和堰塞湖等灾害较为少见。广西地区特殊的地质地貌条件造就了其独具特色的地震次生地质灾害, 主要表现为: 灾害类型多样, 但单次地震造成的灾害类型相对单一; 灾害的地区差异性显著; 岩溶区地震具有“小震级、高烈度”的特点, 极易小震致灾、甚至小震大灾。

关键词: 广西地区; 地震次生地质灾害; 崩塌; 岩溶塌陷

中图分类号: P315; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)03-0118-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.03.023

地震次生地质灾害是指由地震活动引起的地质灾害, 主要包括崩塌、滑坡、泥石流、塌陷、地裂缝、砂土液化、堰塞湖等^[1-6]。之所以称为地震次生地质灾害, 主要有两方面的原因: ①导致这些地质灾害的直接诱因是地震, 而不是其它原因, 如暴雨引起的滑坡、崩塌或采空引起的塌陷、地裂缝等; ②这些地质灾害是地震灾害链的组成部分, 但相对于地震造成建筑物、工程设施的破坏以及由此引起的人员伤亡和财产损失等原生灾害而言, 这些地质灾害属于间接灾害^[5]。地震次生地质灾害的危害主要表现为: 危及人的生命安全, 造成不同程度的人员伤亡; 毁坏道路、房屋、水库、桥梁等工程设施, 造成不同程度的财产损失; 破坏耕地、阻塞河流等, 造成不同程度的环境破坏和资源损失。因此, 地震次生地质灾害是地震灾害研究不可或缺的重要内容^[3]。

广西地处东南沿海地震带西段和右江地震带, 是华南地震活动最活跃的地区之一, 全区14个地级市均发生过破坏性地震。公元1318年以来, 广西陆域共记载和记录了5级以上地震22次, 其中6级以上3次, 最大为1936年4月1日广西灵山6 $\frac{3}{4}$ 级地震, 此次地震也是迄今为止华南内陆最大的地震, 造成300多人伤亡。

广西地形地貌类型复杂多样, 既有强风化碎屑岩和花岗岩组成的中、低山及丘陵地貌, 又有西自隆林、东至桂林一带典型的热带岩溶地貌。全区地层出露齐全、岩体风化强烈、地质构造复杂、褶皱和断裂发育, 为地震次生地质灾害的形成提供了有利的条件。历史上, 广西强震活动曾造成比较严重的次生地质

灾害, 现今中、小地震次生地质灾害也极具区域特色。本文统计了广西陆域地震次生地质灾害的震例, 分析了灾害的类型和主要的分布特征, 希望能够为广西防灾减灾及地震次生地质灾害防治工作提供依据, 并为其它类似地区参考。

1 广西地震次生地质灾害类型

1.1 崩塌

崩塌是指较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离山体崩落、滚动, 堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象。岩土体在地震后崩落于坡脚, 规模巨大者称为山崩, 个别石块掉落称为滚石。崩塌是广西地区诱发程度最高、分布最广的地震次生地质灾害。有史料记载以来, 广西地区因地震造成次生地质灾害的震例共有46个, 其中崩塌38例, 占到总数的82.6% (表1)。地震崩塌的形成主要与地质构造、斜坡结构和岩土体类型有关。在活动断裂通过的地带, 斜坡岩土体发育大量的裂隙, 使斜坡变得支离破碎, 促进了岩土体的风化作用和地下水活动, 降低了斜坡的稳定性, 增加了地震崩塌的可能。此外, 崩塌与地形坡度、斜坡高度或相对高差密切相关。统计结果显示, 崩塌多发生在高度40 m以上、坡度30°~70°的斜坡地带^[5]。从岩土体类型及其物理力学性质来看, 广西地区地震崩塌主要发生在由碳酸盐岩构成的石山地区, 山体植被发育较差、岩石裸露、岩性坚硬、节理裂隙发育, 在地震动作用下极易发生

* 收稿日期: 2019-12-24 修回日期: 2020-03-26

基金项目: 广西科技攻关计划项目(1377002、12426001-1); 地震科技星火计划项目(XH19033Y)

第一作者简介: 李蕾(1971-), 女, 陕西商洛人, 高级工程师, 主要研究方向为地震地质、工程地震。

E-mail: 1941273117@qq.com

崩塌, 而且具有群发、多发的特点。广西地震崩塌主要分布在西部的石山地区, 居民大多生活在河谷或陡崖下较平坦的区域, 公路也是沿山坡劈山而建, 地震崩塌容易造成人员伤亡和财产损失。如: 2005年10月27日广西平果发生4.4级地震,

震级虽然不高, 但震中区崩塌滚石严重, 滚石砸中农户房屋, 致使1死3伤; 2019年11月25日广西靖西5.2级地震致使大面积崩塌滚石, 造成1死5伤、中越交界沿边公路交通瘫痪(图1)。

表1 广西地震次生地质灾害统计表

发展时间	震中位置			震级 Ms	震中 烈度	地震地质灾害描述	灾害类型	资料来源
	经度/°	纬度/°	地名					
1806-07-18	109.4	25.0	融安	4 $\frac{3}{4}$	VI	融县洞口村连震数十日, 地内有声如雷, 其地塌陷。	塌陷	[7]
1875-06-08	106.4	25.0	广西乐业与贵州罗甸交界	6 $\frac{1}{2}$	VIII	广西凌云五指山巨石崩落, 山下居民被埋, 部分城墙毁坏; 贵州罗甸山崩石, 长地裂缝; 贵州关岭大水沟山崩, 压死苗民; 贵州紫云山崩严重, 有巨大滚石; 贵州三都地陷数十丈, 周围数十里成池。VII~VIII度区房屋多被破坏, 有山崩、地裂缝、塌陷等次生地震地质灾害。	崩塌、地裂缝、塌陷	[7-10]
1890-08-29	110.3	21.9	陆川	6	VII	三瑾堡荒地震陷成潭, 直长2丈5尺, 横宽1丈3尺, 中涵清水, 深不见底。	塌陷	[7]
1910	105.2	24.5	西林	4 $\frac{3}{4}$	VI	山石滚落。	崩塌	[7]
1910-11	108.1	24.5	宜山	4	VI	很多山石滚落, 大者1~2 m ³ 。	崩塌	[7]
1920-09	107.1	23.5	田东	4	/	班山岭许多山石滚落, 大者如筐。	崩塌	[7]
1921-11-09	108.0	24.6	河池	4 $\frac{1}{2}$	V	大丈山石滚落, 一人被滚石砸断腿。	崩塌	[7]
1925-05	107.5	23.4	平果	4 $\frac{3}{4}$	VI	新安有山石滚落。	崩塌	[7]
1926-11-24	108.1	24.7	河池	4 $\frac{3}{4}$	VI	多处山石滚落。	崩塌	[7]
1930-06-16	107.5	23.5	平果	4 $\frac{3}{4}$	VI	多处山石滚落, 大者如汽车; 那良笔状山尖崩落。	崩塌	[7]
1935-08-11	109.1	24.3	柳州	4 $\frac{1}{2}$	V	百寿县安和乡山石稍有震落。	崩塌	[7]
1935-10-11	105.3	24.6	隆林	4	V	义罗垭口大水井山有山石滚路。	崩塌	[7]
1936-04-01	109.4	22.5	灵山	6 $\frac{3}{4}$	IX	山崩、塌方、泥石流、滑坡严重, 许多农田、坡地被大量坠落的泥石掩埋而不能耕种, 此类灾害主要分布在罗阳山顶北坡、罗阳山北麓和泗洲山山坡3个地带。地面塌陷主要分布在山麓河谷小平原的稻田中, 有30多处。地裂缝主要分布在两个地带: 一是罗阳山北麓一带, 长约6000 m, 宽500~1000 m, 呈NEE走向; 二是牛甘坪-泗洲-根竹水一带, 规模较小, 呈NNW走向。	崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、塌陷	[7-8]、[11-14]
1838-09-08	106.6	24.8	乐业	4 $\frac{1}{2}$	V	乐业县同乐镇山石滚落。	崩塌	[7]
1939-08-09	107.4	23.4	平果	4	VI	那吉、巴龙等地山石滚落。	崩塌	[7]
1943-夏	106.4	23.3	德保	4	/	德保县巴头乡有山石滚落, 大小如磨盘。	崩塌	[7]
1945-夏	106.4	23.4	德保	4	V	德保县巴头乡、马隘乡有山石滚落。	崩塌	[7]
1946-05	106.5	24.8	乐业	4	V	乐业县同乐镇一带有山石滚落。	崩塌	[7]
1947-05	108.3	23.7	马山	4	V	马山县合群乡三合一一带有山石滚落。	崩塌	[7]
1949-10	106.5	24.8	乐业	4 $\frac{3}{4}$	VI	甘田农鲁有山石滚落。	崩塌	[7]
1955-05	106.4	23.4	德保	4	V	德保县马隘乡山石滚落, 靖西县渠阳镇菠萝山有排球大小山石滚落。	崩塌	[7]
1958-06	106.4	23.4	德保	4	V	德保县道立岩洞山有山石滚落, 靖西县渠阳镇由利山有排球大小山石滚落。	崩塌	[7]
1958-09-25	109.5	22.6	灵山	5 $\frac{3}{4}$	VII	震中区石塘公社兆庄、洞心、尾村、牛口村等地多处地面塌陷, 深者10余m, 直径约2m, 苏村地陷成塘出泉, 局部地段形成沼泽; 六塔大岭山上地裂, 长300 m, 宽10~20 cm; 灵山中休山、浦北县马鞍山有巨石滚落, 灵山县城、佛子、平山圩、丰塘圩等地山上亦有小石滚落。	崩塌、地裂缝、塌陷	[7, 14]
1960-11-05	108.5	24.3	宜山	5	VI	宜山县北牙公社二坟、众联出现地裂缝, 都安县福龙公社永良震后地面塌陷。	地裂缝、塌陷	[7]

续表 1

1971-09-06	107.80	23.90	都安	3.8	VI	VII度烈度区分布于茶油、安宁、和平一带，普遍有山石滚落现象，压坏庄稼4 hm ² ，砸塌房屋3间，砸死牛1头、猪1头。V度烈度区分布于春兴、弄茶、林茂、道德、怀道等地，有山石滚落现象，但较少。	崩塌	[7、15]
1977-10-19	107.48	23.40	平果	5.0	VI	V~VI度烈度区山石滚落严重，主要集中在龙来、那龙一带，砸坏房屋30多间，毁坏渠道5条、农田20 hm ² ，堵塞公路1条、土路4条，伤8人，滚石大者达112 m ³ ；IV度区内也有少量滚石。布见水库坝首两侧20 m处出现数条横向裂纹。	崩塌、地裂缝	[7、16]
1980-06-09	106.38	23.30	德保	3.7	V	山石滚落较重，最重2 t，砸坏不少庄稼。	崩塌	[7、17]
1980-08-25	108.51	24.67	宜山	2.0	VI	宜山县祥贝公社水泵站大坝遭受严重破坏，被迫停止抽水发电。大坝建于1964年，震后大坝破裂长27.5 m，约占总长的1/2，裂缝宽5~27 cm。高约3 m的大坝已开裂至坝底。靠近排洪道内侧坝面破裂后，在激流的不断冲击下，震后3~4 h开始塌陷，形成宽4 m的大坑。	地裂、塌陷	[7、18]
1883-06-22	108.02	24.68	河池	2.1	V	北崖商店后山石滚落，少数地方塌陷。	崩塌、塌陷	[7]
1983-12-05	106.85	24.90	天峨	4.6	V	山石滚落，大者重数吨，砸死黄牛1头。	崩塌	[7、19]
1987-04-14	110.50	24.87	阳朔	1.4	IV	震中区有山石滚落，震后一个两亩大的鱼塘中出现一个直径3.5 m、深2.2 m的塌陷坑。	崩塌、塌陷	[20]
1989-07-08	109.38	24.80	融安	2.9	VI	V~VI度烈度区的山峰和山腰均有山石滚落，最大一处位于石门水库坝址西侧约1000 m处，从半山腰崩塌的岩石形成一条白带。	崩塌	[21]
1992-12-13	107.9	23.67	大化	3.5	VI	地震烈度VI度区，如六也乡新烈屯、亚岭屯等地震时地面产生两组地裂缝，一组大致呈NW向，宽3~10 cm，深1.5~2 m，另一组呈NNE向，宽15 cm左右，深2 m多。V~VI度区山石滚落比较普遍。	崩塌、地裂缝	[22]
1993-02-10	107.88	23.63	大化	4.5	VI	崩塌滚石分布广，以贡川镇为中心150 km ² 的区域均有出现，造成房屋局部倒塌、水渠和公路路面破坏。地裂缝分布在红水河两岸的河流冲积扇和地势起伏大的残坡积层中，一类为边坡失稳造成的后缘开裂，另一类分布在基础采用半填土房屋的内外地面，此类地裂缝分布面最广，灾害损失大。	崩塌、地裂缝	[23]
1997-11-11	110.33	25.23	桂林	1.2	/	地震造成地面塌陷的受灾面积约10万 m ² ，陷坑多且相对集中。	塌陷	[24]
1998-04-16	107.92	25.13	环江	5.1	VI	极震区主要为岩溶发育的峰丛地貌区，地震及强余震引起了大范围的山石滚落现象。初步统计滚石由298处，分布于VI度区各地。滚石是毁坏房屋的唯一外因。同时滚石从高处下泻，沿路破坏果林竹林、农田耕地、公路和通讯、水利、电力、饮水等设施。	崩塌	[25]
2003-03-24	107.75	22.32	扶绥	3.7	V	旧芭蕉山山石滚落。	崩塌	[26]
2003-05-01	108.97	21.98	钦州	3.8	V	合浦县冲口红屋村口公路出现近东西向地裂缝，宽0.2~0.8 cm，深6~40 cm，断续延伸约300 m。	地裂缝	[27]
2005-10-27	107.50	23.58	平果	4.4	VI	震中区滚石严重，堵塞交通，滚石砸中一农户房屋，致使1死3伤。	崩塌	[14]
2007-07-17	107.11	25.04	天峨	4.0	VI	震中区发育一定数量的滑坡，部分滑坡体已处于一触即发状态，部分移民点地表出现裂缝。	地裂缝	[28]
2010-03-06	106.23	23.16	靖西	1.8	/	新甲乡庞凌村凌晚屯形成“堰塞湖”，120户被堰塞湖所淹，淹没耕地19 hm ² 。	堰塞湖	[29]
2010-07-01	106.86	24.38	凌云-凤山交界	2.5	VI	2010年6~8月，广西凌云、凤山交界发生显著震群活动，共记录3071次地震，最大为M _L 3.2(M _S 2.5)级。震群造成陇善村山体震裂，部分形成危岩，造成不少滑坡灾害隐患。	崩塌	[30]

续表1

2013-02-20	107.41	23.84	田东-平果-巴马交界	4.5	VI	田东县朔良镇六羊-义合道路 K3-K7 路段有 11 处边坡崩塌, 累计土方量约 260 m ³ ; 塑良镇那朔新村山坡上发现有新鲜土块、岩块掉落。	崩塌	[31]
2016-07-31	111.56	24.08	苍梧	5.4	VII	11 处山体崩塌, 导致房屋破坏和部分道路受损, 影响交通运行。	崩塌	[32]
2017-08-15	106.16	23.19	靖西	4.0	V	靖西市龙临镇龙显村和龙门村、安德镇三龙村、禄峒镇远猛村等地发现了多处小规模滚石灾害现象, 其中禄峒镇远孟村大龙屯、安德乡三龙村凌习屯滚落的石块体积相对较大。	崩塌	[33]
2019-11-25	106.55	22.89	靖西	5.2	VII	震区多为喀斯特峰丛-峰林地貌, 地形相对高差较大, 地震引发多处崩塌滚石, 造成 1 死 5 伤, 中越交界沿边公路交通瘫痪。震中附近中信大锰大新锰矿分公司大锰矿区回填土路面地裂缝严重。	崩塌、地裂缝	[34]

注: 地震时间记载明确的用(YYYY-MM-DD)表示发震时间, 只有地震发生的年份用(YYYY)表示发震时间, 只有地震发生的年份和季节记载的用(YYYY-季节简称)表示发震时间, 只有地震发生的年份和月份记载的用(YYYY-MM)表示发震时间, 没有震中烈度记载的“/”表示。



图 1 广西地震次生崩塌地质灾害典型震例

(a)2005年10月27日广西平果4.4级地震崩塌滚石砸中农户房屋, 致使1死3伤; (b)2019年11月25日广西靖西5.2级地震崩塌滚石, 堵塞沿边公路。

1.2 塌陷

地震塌陷属于强震动作用下地面变形灾害的一种, 与软土震陷、不均匀沉降和砂土液化等地面变形灾害不同, 其更多受特殊的地质条件或人为因素所限制, 在溶洞、矿坑、人工填土等分布区才可能出现, 灾害影响区也仅局限于塌陷区范围内^[2,35-36]。有史料记载以来, 广西地区地震塌陷致灾记述比较完整的震例共有 10 个, 发生的比例仅次于崩塌, 主要是岩溶塌陷类型, 空间上集中分布在桂林、柳州、河池、百色等岩溶地貌发育的地区(表1)。广西地震塌陷主要受岩溶发育程度和地震动两方面因素的控制: 一方面, 地震塌陷主要发生在覆盖型岩溶和裸露型岩溶分布区, 岩溶越发育、洞隙开启性越好, 塌陷就越严重。另一方面, 震级越大、地震烈度越高, 岩溶塌陷致灾面积也就越大; 相反, 低震级地震造成的塌陷灾害仅局限于震中局部范围。如: 1958年9月25日广西灵山5 $\frac{3}{4}$ 级地震造成石塘公社兆庄、洞心、尾村、牛口村等地多处、较大面积发生地面塌陷; 1997年11月11日桂林市雁山区1.2级地震塌陷受灾面积达10万m², 仅局限于震中桂林市雁山区柘木镇柘木村附近, 影响范围小、灾害程度重, 柘木村大部分房屋受到不同程度的破坏, 其中4户房屋倒塌, 两户属危房, 28户严重开裂或下沉, 其余为轻度开裂。广西是全国岩溶塌陷地震最活跃、受灾最严重的地区之一, 如1911年7月13日环江岜焚村塌陷地震导致“全村淹没, 仅

余3子”^[7]。表1仅对发震时间、震中位置、震级、地震烈度、灾害描述等要素记述相对完整的震例进行了统计, 漏掉的塌陷震例肯定不少。龙安明等对1980-2015年期间广西发生的地震塌陷事件进行了统计, 共有30例^[24], 但仍不完整, 一些典型的震例未被统计在内, 如: 2012年9月21日, 桂林市象山区发生地震塌陷, 导致一栋居民楼坍塌, 40户居民紧急疏散, 直接经济损失超过400万元; 2013年11月1日, 桂林市七星区葛家村发生一起地震塌陷事件, 导致1户居民房屋严重损坏。

1.3 地裂缝

地震地裂缝是强震动作用下岩土体突然破裂和位移形成的地面破坏, 其发育规模不仅受震级大小、震源深度和震中距离的制约, 还与基岩地质条件、松散土层发育状况等密切相关。总体而言, 广西属于中强地震构造区, 陆域范围发生的3次6级以上强震中, 1975年广西乐业与贵州罗甸交界6 $\frac{1}{2}$ 级和1936年广西灵山6 $\frac{3}{4}$ 级地震均造成了较大规模的地裂缝灾害(表1)。据文献记述^[11-13], 广西灵山6 $\frac{3}{4}$ 级地震地裂缝主要分布在两个地带: 一是罗阳山北麓一带, 长约6 000 m, 宽500~1 000 m, 呈NEE走向; 二是牛甘坪-泗洲-根竹水一带, 规模较小, 呈NNW走向。灵山地震的发震机制是NNE向罗阳山北麓断裂和NNW向泗洲山断裂的共轭破裂, 相应形成了罗阳山北麓(NNE向)和泗洲山(NNW向)两个极震区, 两个地裂缝带分布与发震断裂带紧邻或大体平行, 表明地裂缝的产生主要与发震断裂错动有关。除了与强震发震断裂错断相伴生的地裂缝外, 广西中、小地震产生的地裂缝多与地震动造成的边坡失稳、地基失效和塌陷坑边缘张裂有关, 如: 1993年2月10日广西大化4.5级地震产生地裂缝主要分布在红水河两岸的河流冲积扇和地势起伏大的残坡积层中, 一类为边坡失稳造成的后缘开裂, 另一类为半填土地基失效造成, 主要集中在房屋的内外地面, 分布较广、灾害损失较大; 2019年11月

25日广西靖西县发生5.2级地震，震中附近的中信大猛矿区路面产生了显著的地裂缝，地面开裂严重(图2)，主要是此次地震的震源深度很浅，在强地震动作用下矿坑回填土路面地基失效造成的。



图2 广西靖西5.2级地震造成地裂缝
(左图为震中附近中信大猛矿区回填土路面产生的地裂缝照片；
右图为同一地点的局部放大照片)

1.4 堰塞湖

地震引起山体滑坡、泥石流堵塞地表河谷或河床，流水汇集水位抬升而形成的湖泊叫堰塞湖。因堰塞湖坝址是由山石泥土杂乱堆砌而成，在湖水的长时间浸泡下容易出现大坝决口，引发洪灾。堰塞湖与溃决灾害在我国早有记载^[37]，2008年四川汶川8.0级特大地震形成的唐家山堰塞湖则是近些年来的典型实例^[38]。与地表河流堰塞成湖不同的是，广西地区地震堰塞湖主要与地震造成地下河堵塞有关。2010年3月6日广西百色市靖西县禄峒乡发生1.8级地震，此次地震没有造成人员伤亡和直接财产损失，但造成震中附近(庞凌水库源头至凌晚屯之间)地下河顶部崩塌堵塞通道，导致地下河水无法外排，下流群众无水用和灌溉，而上游天窗水位迅速上涨，涌出地表，造成地势较低的新甲乡庞凌村凌晚屯形成堰塞湖，库容约200万m³。全屯357户不同程度受灾，其中120户被堰塞湖所淹，淹没耕地19 hm²。靖西县投资1 071万元修建导流明渠排水，投资955.8万元异地建设灾民新村，安排灾民415人(图3)。



图3 新甲乡庞凌村凌晚屯地震堰塞湖
(左图为地震堰塞湖淹没当地居民房屋；右图为修建地表导流明渠排水)

1.5 滑坡和泥石流

地震滑坡与地震崩塌类似，都属于地震动作用下斜坡失稳类次生地质灾害；泥石流属于地震间接诱发地质灾害的一种，是地震崩塌、滑坡的产物在山区适当地形地貌和降雨条件形成的地质灾害。近年来，广西滑坡、泥石流地质灾害频发，基本发生在山地、丘陵地貌区，且大都与持续的

降雨、特别是暴雨或大暴雨相关^[39]。但有史料记载以来，广西地区因地震造成滑坡、泥石流次生地质灾害的震例仅有1例，即1936年4月1日广西灵山6 $\frac{3}{4}$ 级地震(表1)。之所以出现这种情况，

主要与两方面的因素有关：一是地震滑坡、泥石流的发生需要较强地震动和较长地震波持时的触发，而广西地区历史强震不多；二是降雨是必要的动力条件，广西地区至今少见强震后接连遭遇强降雨的情况。

2 广西地震次生地质灾害分布特征

2.1 灾害类型多样，但单次震害类型相对单一

广西地震次生地质灾害类型多样，主要为地震作用下斜坡失稳造成的山崩、滚石，其次为地震动作用下地基失效、岩溶坍塌或发震断裂错动引发的塌陷和地裂缝，而滑坡、泥石流和堰塞湖等地震次生地质灾害相对较少。广西地区46个地震次生地质灾害震例中(表1)，单次地震仅造成一种类型灾害的震例有35个，占总数的76.1%；造成两种灾害的震例8个，占17.4%；造成三种及以上灾害的震例3个，占6.5%。仅就单次地震造成一种类型灾害的震例进行统计，其中：崩塌29例，塌陷3例，地裂缝2例，堰塞湖1例。由此可见，广西地区单次地震活动造成的次生地质灾害类型相对单一，相比而言，地震崩塌和塌陷占有绝对的优势(图4)。

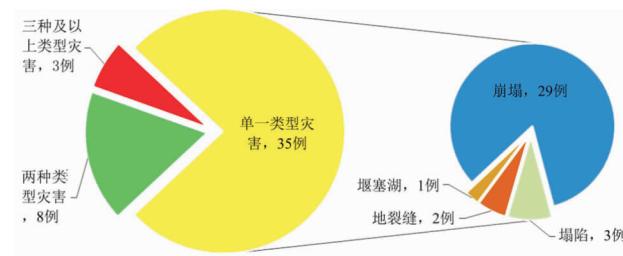
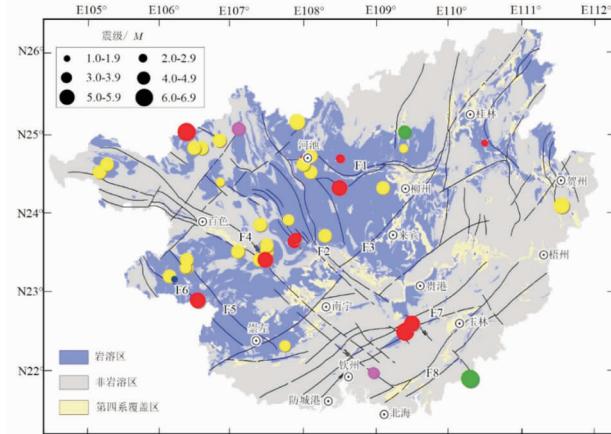


图4 广西地区地震次生地质灾害类型

2.2 灾害的地区差异性显著

广西地震次生地质灾害的地区差异性显著。以桂林至南宁一线为界，桂西北热带岩溶地貌区灾害发生的频次明显高于桂东南以强风化碎屑岩和花岗岩为主的低山丘陵地貌区(图5)。从不同类型灾害发生的主体地区来看：地震崩塌灾害主要分布在桂西北河池市、百色市及桂中部分市县，该地区热带岩溶发育，峰丛地貌呈簇状连续分布、基岩裸露、相对高差大、坡度陡峻，地层岩性主要为泥盆系-石炭系灰岩和白云岩，受河池-宜州、巴马-博白、百色-合浦、靖西-崇左、那坡等区域性断裂带的影响，岩体切割严重、节理裂隙发育，山体陡崖上部危岩体数量多、分布广，在地震动作用下极易发生崩塌，加之该地区“弄场(山间平地)”遍布，大部分居民栖身于窄小“弄场”，房屋靠山而建，地震崩塌突发性强，致灾率高；地震塌陷灾害主要分布在桂北、桂东北及桂东南部分地区，该区地势相对开阔平坦，孤峰、

峰林地貌断续分布, 受桂林-南宁、防城-灵山、合浦-北流等区域性断裂带的控制, 平原地段岩溶发育程度以强烈-较强为主, 覆盖层厚度较薄, 地下水位一般在基岩面附近波动, 属地震岩溶塌陷高易发区。



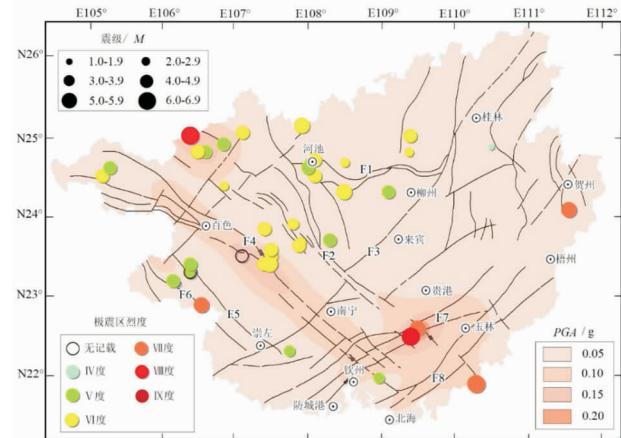
(实心圆的大小表示震级的大小; 实心圆的颜色表示地震次生地质灾害的类型, 黄色为单一崩塌灾害, 墨绿色为单一塌陷灾害, 橙色为单一地裂缝灾害, 深蓝色为单一堰塞湖灾害, 红色为2种及以上类型的灾害; 黑色细实线表示断裂: F1 河池-宜州断裂, F2 巴马-博白断裂, F3 桂林-南宁断裂, F4 百色-合浦断裂, F5 靖西-崇左断裂, F6 那坡断裂, F7 防城-灵山断裂, F8 合浦-北流断裂)

图5 广西地区地震次生地质灾害分布图

2.3 小震致灾, 甚至小震大灾

在最新颁布的《中国地震动参数区划图(GB18306-2015)》中^[40], 广西全区均处于地震基本烈度VI度(PGA为0.05 g)及以上的区域, 百色田林至玉林博白一带和乐业县附近为VII度(PGA为0.10 g)及以上, 烈度最高的区域位于钦州灵山至玉林兴业一带, 达到VIII度(PGA为0.20 g)。从广西致灾地震发生的实况来看, 除1875年广西乐业与贵州罗甸交界6 1/2级、1936年广西灵山6 3/4级两次历史强震和近几年发生的广西苍梧5.4级、北海5.2级、靖西5.2级3次中等地震的烈度超越了区划图基本烈度外, 其余致灾地震的实际烈度均在区划图的预测范围之内(图6)。张业成等根据历史地震文献资料统计分析认为^[5], 地震次生地质灾害与地震强度及地震烈度的关系为: 震级<5级、地震烈度<VI度, 次生地质灾害很少发生, 即使发生其数量和规模也很小; 震级5~6级、地震烈度VI~VII度, 地震次生地质灾害普遍发生, 且数量较多、规模较大; 震级>6级、地震烈度>VII度, 地震次生地质灾害严重, 不但数量多, 而且规模大。由表1和图6可以看出, 广西地区5级及以上中强地震的烈度和次生地质灾害的规模与张业成等的统计结果大体一致, 但3级左右小震即可造成较大规模次生地质灾害的事实显然与其统计结果存在较大的差异。如: 1980年8月25日河池宜山发生2.0级地震, 致使宜山县祥贝公社水泵站大坝破裂长27.5 m、裂缝宽5~27 cm, 高约3 m的大坝开裂至坝底, 水泵站被迫停止运行; 2010年6月28日, 广凌云至凤山交界发生一起罕见的暴雨触发震群活动, 一个多月记录到3 000多次地

震, 震级最大仅3.2级, 但震群造成山体震裂, 部分形成危岩, 紧急转移安置群众3 500余人, 直接经济损失1 500多万元。之所以会出现这种独特的现象, 主要与广西地区特殊的地质地貌条件有关。广西热带岩溶地貌发育, 岩溶出露面积约占全区总面积的42%, 地下溶洞管道系统对地震波的具有放大作用, 加之岩溶区地震震源深度普遍偏浅, 因此具有小震级、高烈度的特点, 极易小震致灾、甚至小震大灾。



(底图为《中国地震动峰值加速度区划图(GB 18306-2015)》; 实心圆的大小表示震级的大小; 实心圆的颜色表示地震极震区烈度; 黑色细实线表示断裂, 其标注同图5)

图6 广西地区致灾地震极震区烈度与GB 18306-2015地震动峰值加速度对比图

3 结论与建议

(1) 广西地处东南沿海地震带西段和右江地震带, 中强地震相对活跃, 地质构造复杂, 热带岩溶地貌发育, 岩体节理裂隙密集、风化强烈, 在地震作用下容易引发地质灾害。广西地区地震次生地质灾害主要为崩塌, 其次为岩溶塌陷和地裂缝, 而滑坡、泥石流和堰塞湖等灾害较为少见。

(2) 广西地区既是中强地震构造区, 又是典型的热带岩溶地貌发育区, 特殊的地质地貌条件造就了独具特色的地震次生地质灾害, 主要表现为: 地震次生地质灾害类型多样, 但单次地震造成的次生地质灾害类型相对单一; 灾害的地区差异性显著, 桂西北热带岩溶地貌区灾害发生的频次明显高于桂东南以强风化碎屑岩和花岗岩为主的低山丘陵地貌区; 岩溶区地震具有“小震级、高烈度”的特点, 极易小震致灾、甚至小震大灾。

(3) 随着广西经济社会快速发展, 城市化进程加快, 一旦发生破坏性地震, 其地震次生地质灾害的危险性和可能造成的损失也越来越大, 应组织必要的研究力量, 抓紧开展桂西北等重点区域地震次生灾害防治研究, 制定必要的地方法规和技术标准, 以有效减轻未来可能发生的地震次生地质灾害的损失。

致谢 感谢广西壮族自治区地震局应急救援处蒙陆斌高级工程师提供了宝贵的地震现场调查资料。

参考文献：

- [1] 蒋溥, 于克涛, 戴丽思. 中国地震地质灾害及其宏观成因环境[J]. 地质灾害与防治, 1991, 2(1): 16–24.
- [2] 蒋溥, 戴丽思. 工程地震学概论[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [3] 刘凤民, 张立海, 刘海青, 等. 中国地震次生地质灾害危险性评价[J]. 地质力学学报, 2006, 12(2): 127–131.
- [4] 林树枝, 蔡志灵. 地震次生地质灾害的分析及防治对策[J]. 福建建筑, 2009, 32(6): 6–8, 11.
- [5] 张业成, 张立海, 赵晓青. 中国地震次生地质灾害分布特征与形成条件[J]. 2012, 34(4): 805–809.
- [6] 钱海涛, 张力方, 修立伟, 等. 中国地震地质灾害的主要类型与分布特征[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(1): 119–124.
- [7] 莫敬业, 游象照, 蓝建才, 等. 广西通志·地震志[M]. 广西人民出版社, 1990.
- [8] 魏柏林, 冯绚敏, 陈定国, 等. 东南沿海地震活动特征[M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [9] 罗远模, 张晓东, 徐祥, 等. 1875年6月8日贵州罗甸地震再考证[J]. 贵州地质, 2009, 26(4): 299–305.
- [10] 中国地震局监测预报司预报管理处. 中国强地震目录(公元前23世纪—公元1999年)[R]. 北京: 中国地震局监测预报司预报管理处, 1999.
- [11] 陳國達. 兩廣地質調查所特刊第十七號: 廣東靈山地震誌[M]. 兩廣地質調查所, 1939, 17: 1–100.
- [12] 任镇寰. 1936年广西灵山 $6\frac{3}{4}$ 级地震极震区主要震害类型及其成因[C]//中国地震学会第6次学术大会论文摘要集. 北京: 中国地震学会, 1996.
- [13] 任镇寰, 杨廉法, 邓业权. 1936年广西灵山 $6\frac{3}{4}$ 级地震极震区震害和地震影响场的研究[J]. 中国地震, 1996, 12(1): 83–92.
- [14] 广西壮族自治区地震局. 广西简明地震信息手册[M]. 北京: 接力出版社, 2015.
- [15] 广西壮族自治区地震队. 1971年9月6日都安县六也3.8级地震宏观调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1972.
- [16] 广西壮族自治区地震办公室. 1977年10月19日广西平果5.0级地震震例报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1986.
- [17] 广西壮族自治区地震办公室地震调查组. 1980年6月9日德保3.7级地震调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1980.
- [18] 宜山县科委, 河池地震台, 河池地区地震办公室. 1980年8月25日宜山祥贝2.0级地震调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1980.
- [19] 广西壮族自治区地震办公室地震调查组. 1983年12月5日天峨4.6级地震调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1980.
- [20] 李耀寰. 广西桂林市郊发生陷落地震[J]. 地球, 1983, (3): 7.
- [21] 广西壮族自治区地震办公室地震调查组. 1989年7–8月融安大良地震调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1989.
- [22] 广西壮族自治区地震办公室. 1992年12月13日大化ML4.0级地震调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1992.
- [23] 广西壮族自治区地震办公室. 1993年2月10日大化4.5级地震调查总结报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1993.
- [24] 龙安明, 吴教兵, 阎春恒, 等. 广西陷落地震研究及其防灾减灾对策[J]. 华南地震, 2015, 35(4): 1–9.
- [25] 广西壮族自治区地震局. 1998年4月16日广西环江县5.1级地震震灾评估报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 1998.
- [26] 广西壮族自治区地震局. 2003年3月24日扶绥县M_L4.2地震调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2003.
- [27] 广西壮族自治区地震局. 2003年5月1日广西钦州市那彭镇M_L4.3级地震现场工作和科学考察报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2003.
- [28] 广西壮族自治区地震局. 2007年7月17日天峨M_L4.6级地震灾害损失评估报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2007.
- [29] 周斌. 桂西地区暴雨触发特殊震群活动特征及成因机制研究[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2016.
- [30] 史水平. 广西凌云与凤山交界特殊震群研究报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2015.
- [31] 广西壮族自治区地震局. 2013年2月20日田东县–平果县–巴马县交界4.5级地震科学考察报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2013.
- [32] 周军学, 聂高众, 谭劲先, 等. 2016年7月31广西苍梧5.4级地震灾害特征分析[J]. 地震地质, 2017, 39(4): 780–792.
- [33] 广西壮族自治区地震局现场工作队. 2017年8月15日广西靖西4.0级地震现场工作报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2017.
- [34] 广西壮族自治区地震局现场工作队. 2019年11月25日广西靖西5.2级地震现场工作报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地震局, 2019.
- [35] 刘玉海, 陈志新, 倪万魁. 地震工程地质学[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [36] 王思敬, 黄鼎成. 中国工程地质世纪成就[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [37] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 1933年叠溪地震滑坡堵江事件及其环境效应[J]. 地质灾害与环境保护, 1995, 6(1): 7–17.
- [38] 李守定, 李晓, 张军, 等. 唐家山滑坡成因机制与堰塞坝整体稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S1): 2908–2915.
- [39] 王冬杰, 何启仕. 广西近年来强降雨引发地质灾害的特征分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8595–8596.
- [40] 中国地震动参数区划图: GB 18306–2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

Types and Distribution Characteristics of Secondary Geological Disasters in Guangxi

LI Lei and NIE Guanjun

(Earthquake Bureau of the Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract: Guangxi is located in the west section of southeast coastal seismic belt and Youjiang seismic belt. The secondary geological disasters are relatively serious, mainly collapse, followed by karst collapse and ground fissures, while landslides, debris flows and barrier lakes are relatively rare. The special geological and geomorphic conditions in Guangxi region have created its unique secondary geological disasters caused by earthquakes, which are mainly manifested as follows: the types of disasters are various, but the types of disasters caused by a single earthquake are relatively single; the regional differences of disasters are significant; the earthquakes in karst region have the characteristics of “small magnitude and high intensity”, which are easy to cause disasters, even large disasters.

Key words: Guangxi area; earthquake secondary geological disaster; collapse; karst collapse