

玉树7.1级地震地质灾害发展趋势分析^{*}

王佳运, 张茂省, 张成航, 高波, 冯卫

(国土资源部黄土地质灾害重点实验室/中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:在参与玉树7.1级地震震区地质灾害应急调查、汛期隐患排查的基础上, 收集、整理前人调查与研究的成果数据, 分析了震后玉树震区的地质灾害发育特征, 并进一步研究了震后玉树灾区地质灾害可能的持续时间、演化趋势以及高风险区的分布区域。结果表明, 震后玉树灾区地质灾害将持续10年左右, 并以周期震荡式的衰减下降, 最终恢复到震前水平; 震后地质灾害高风险区将分布在巴塘河谷、结古镇周边山区与郭央烟宋多附近。

关键词:玉树7.1级地震; 地质灾害; 发育特征; 持续时间; 发展趋势

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0061-06

0 引言

2010年4月14日07:49, 青海省玉树县发生7.1级地震, 震源深度14 km, 震中位于县城所在地结古镇西北约33 km。玉树地震导致2 698人遇难, 270人失踪, 造成许多房屋破坏, 并引发了大量的山体滑坡、崩塌、泥石流与山体裂缝等地质灾害及隐患, 同时, 地质环境容量有限, 地质灾害问题在灾区重建工作中将逐渐显现, 对灾区重建与地质灾害防治工作可能产生较大影响。强震不仅会触发大量的滑坡、崩塌及其相关地质灾害, 同时, 导致灾区范围内山体的松弛、震裂, 造成震后崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害现象将会呈现出显著增强的趋势。Nakamura研究了关东地区1896-1980年的地震滑坡及后续降雨滑坡的活动趋势和规律, 将震后的滑坡活动可分为产生阶段、不稳定阶段、恢复阶段和稳定阶段等4个阶段, 持续时间超过40年^[1-3]。林庆伟教授对集集7.6级地震后的滑坡活动性进行了较为深入的研究, 根据1996-2008年期间发生的台风强降雨事件与诱发的滑坡面积变化规律的分析, 概括出滑坡活动规律, 活动持续时间超过10年^[4-6]。一些学者对汶川震区地质灾害的分布与特征、形成机理等方面进行了大量的研究^[7-11], 在此基础上, 黄润秋^[12]对汶川地震地质灾害可能的持续时间、演化趋势

等方面进行了研究, 认为震后汶川地震灾区的地质灾害将持续20~25年, 呈震荡式的衰减下降, 并最终恢复到震前的水平。玉树7.1级地震造成震区地质环境条件发生显著改变, 引发的地质灾害与隐患数量明显增加, 其发展趋势应具有类似的时间效应与发展趋势。本文在殷跃平、张永双等人^[13-16]对玉树震区地质灾害的分布与发育特征等方面研究的基础上, 以玉树重灾区为研究区, 根据其震后地质灾害发育特征, 分析地质灾害可能的持续时间与演化趋势, 研究玉树灾区地质灾害的发展趋势, 为玉树灾区重建与地质灾害防治工作提供参考依据。

1 自然地理与地质概况

玉树县地处青海省玉树藏族自治州东部, 境内地形主要为高海拔、低起伏山地, 平均海拔高程4 548 m。境内主要水系包括通天河、扎曲、巴塘河等。区内交通主要为G214国道与玉树一治多、玉树一杂多等省级公路以及乡镇公路形成的交通体系。

玉树县属大陆性半干旱高山草原气候, 年平均降水量为486.9 mm, 降水多集中在5-9月份, 同时, 玉树县是暴雨强度较大地区, 暴雨发生时间以6-7月份最集中, 日降雨量超过25 mm, 且67%的大雨或暴雨集中在夜间发生; 气候具明显高

^{*} 收稿日期: 2013-02-19 修回日期: 2013-03-18

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120113008800)

作者简介: 王佳运(1978-), 男, 河南镇平人, 助理研究员, 从事地质灾害调查与研究. E-mail: wjy311_2000@sohu.com

表部多被风化坡积层覆盖, 山体沟道易形成泥石流灾害, 因此, 震前震区泥石流地质灾害突出。玉树县震前地质灾害数量为 56 处, 其中崩塌 8 处, 滑坡 3 处, 泥石流 40 条, 不稳定斜坡 5 处, 以泥石流为主要地质灾害类型。玉树地震造成震区地质环境条件发生显著改变, 山体开裂、松动, 形成大量山体地表裂缝, 地质灾害发育条件发生变化, 导致地质灾害类型随之发生变化, 尤以重灾区玉树县地质灾害类型变化最为显著。震后, 玉树县地质灾害数量增加到 311 处, 其中崩塌 95 处, 滑坡 39 处, 泥石流 115 条, 不稳定斜坡 62 处, 各种类型的地质灾害均有了明显增加, 震前泥石流为主要的地质灾害类型, 震后则除了泥石流外, 崩塌、不稳定斜坡也成为了主要的地质灾害(隐患)类型(图 3)。

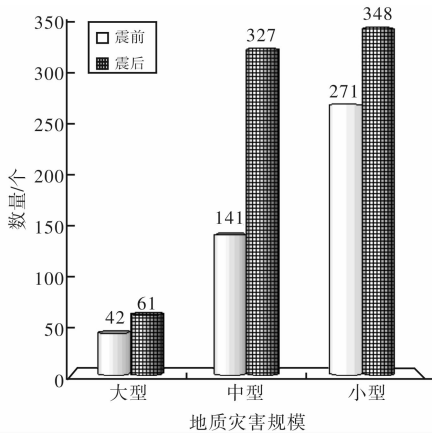


图3 玉树县震前震后地质灾害对比图

2.3 规模与危害程度显著增加

震前地质灾害规模以小型为主, 占地质灾害总数的 59.7%, 而震后地质灾害的规模明显增加(图 4), 大型、中型规模占地质灾害总数的 52.7%, 大中型规模地质灾害数量明显增加。在震后地质灾害规模增加的同时, 重大地质灾害隐患数量迅速增加, 重灾区玉树县地震引发危害程度为重大级与特大级的灾害隐患点达 59 处, 危害程

度也显著增加。玉树震区地震引发的地质灾害威胁人口 34 394 人, 资产 24.23 亿元^[18], 以震中区玉树县地质灾害危害程度增加尤为显著, 地震诱发地质灾害所产生的新增威胁人口 32 047 人, 资产 21.71 亿元, 是整个玉树州受灾最严重、危害程度增高最显著的地区(表 2)。

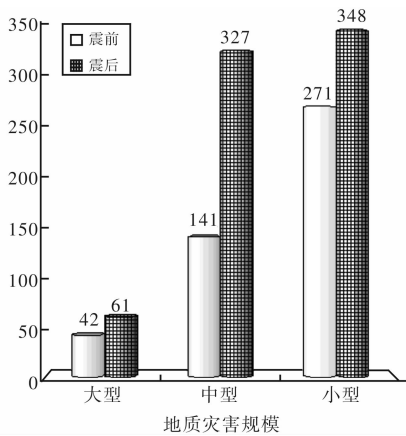


图4 震前震后地质灾害规模与数量

2.4 受主震断裂控制明显

玉树地震引发大量崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害及隐患, 主要沿玉树主震断裂 2 km 范围内集中分布^[13-15]。玉树震区地震引发的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害隐患 282 处, 重灾区玉树县发育 255 处, 占总数的 90.4%, 主要沿玉树主震断裂带两侧的巴曲两岸、结古镇北部山区以及扎曲南部山区集中分布; 宏观震中所在地结古镇地震诱发新增的 138 处地质灾害隐患点主要沿主震断裂 2 km 以内分布(图 5)。同时, 地质灾害的分布存在上下盘效应, 主要分布在断裂下盘(北盘)^[16], 地震诱发的 87 处崩塌中的 69 处、36 处滑坡中的 30 处、57 处不稳定斜坡中的 41 处分布在断裂北盘, 泥石流也多分布在断裂北盘的结古镇-扎曲河一线。数据表明, 地质灾害空间分布受主震断裂控制明显。

表 2 玉树震区各县地质灾害危害程度统计表								
县名	地震造成危害程度		震后累计危害程度		地震引发地质灾害危害程度等级			
	口/人	资产/亿元	人口/人	资产/亿元	较大级/处	一般级/处	特大级/处	重大级/处
玉树	32 047	21. 71	36 295	21. 89	29	30	109	87
杂多	1 796	2. 10	1 986	2. 28	10	0	3	2
治多	0	0	55	0. 08	0	0	0	0
曲麻莱	0	0	37	0. 35	0	0	0	0
囊谦	481	0. 265	1 505	0. 65	0	1	6	0
称多	70	0. 147	1 010	0. 48	0	0	5	0
合计	34 394	24. 23	40 888	25. 72	39	31	123	89

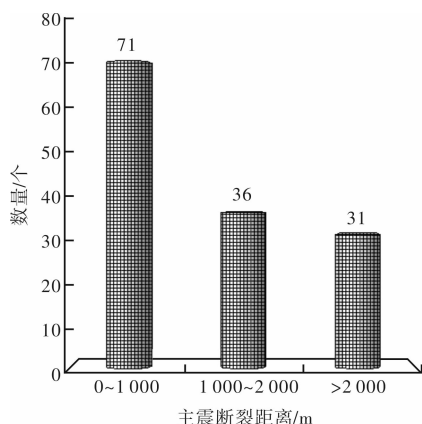


图5 地质灾害隐患与主震断裂距离关系

2.5 山体地表裂缝灾害隐患突出

玉树地震造成山体开裂,主震断裂穿越的巴塘河谷、城区结古镇以及西部的郭央烟宋多等区域的山体表部形成大量的斜坡地表裂缝,山体突出部位和坡型变化的部位最为明显,巴塘河谷区与城区结古镇尤为发育。巴塘河谷区山体地表裂缝密度达0.3~0.8条/m,长100~500 m,拉裂最大宽度达0.78 m,分布高度最低位置高出现代河水位70 m以上;城区结古镇周边山体裂缝密度0.1~0.4条/m,长30~150 m,最大宽度小于0.5 m,分布高度高于坡底40 m^[16]。地表裂缝形成的“裂而不滑、松而不垮”的变形体遍布山体,同时破坏了斜坡岩土体结构的完整性,雨水极易集中下渗,导致斜坡稳定性降低,变形体发生失稳破坏。在玉树震区汛期地质灾害再排查工作中,已发现大量地震地表裂缝扩张加剧,下错、扩张现象明显,最大垂直下错距离达60 cm,甚至出现蠕滑现象,地表裂缝所形成的地质灾害隐患突出,且大部分位于村庄、重要基础设施分布区或城区,危害严重,并由于其规模较大、隐蔽性强、破坏模式的不确定性,难于防范。

3 震后地质灾害持续时间与演化趋势分析

3.1 震后地质灾害持续时间分析

震前震区以泥石流为主要地质灾害类型,震后尽管崩塌、滑坡、不稳定斜坡数量有了显著增加,与泥石流成为了主要的地质灾害类型,但大部分是地震地表裂缝形成的崩塌隐患,震区以山地沟谷地形为主,降雨集中且多暴雨、大雨,地质灾害的最终主要表现为不同规模的泥石流。因此,根据泥石流的固体物源物质量来分析玉树震区地质灾害的可能持续时间。

根据玉树地震应急排查与玉树震区汛期地质灾害隐患排查数据,重灾区玉树县地质灾害及隐患点共计311处,崩塌、滑坡与不稳定斜坡196处,其中崩塌(隐患)95处,平均体积为2万m³,滑坡(隐患)39处,平均体积21万m³,不稳定斜坡62处,基本上为地表裂缝发育所造成的,潜在失稳体平均体积11万m³。由于排查的地质灾害或隐患点均为具有威胁对象的崩塌、滑坡、不稳定斜坡与泥石流点,因此,不具有威胁对象的崩塌、滑坡等地质现象点并未统计,包括泥石流沟中地震引发的崩塌、滑坡等现象点。为了计算震区泥石流固体物源物质的总量,泥石流沟内不具有威胁对象的崩塌、滑坡等现象点应该纳入到统计中。泥石流(隐患)115处,根据震区汛期地质灾害隐患排查数据,泥石流沟内堆积崩塌、滑坡等固体物源物质平均体积18万m³。据此,可以估算出重灾区玉树县崩塌、滑坡、不稳定斜坡所形成的固体松散物质总体积约为3 761万m³。根据震区以往泥石流灾害发育特征与实地调查情况,60%的固体物源物质被冲出沟口形成地质灾害,同时,以上均为具有威胁对象的地质灾害或隐患点,因此,可能形成灾害的泥石流固体物源物质总量约为2 256.6万m³。根据统计,近10年来玉树县发生11次以上泥石流地质灾害,频次达到约1.1次/a,且有不断增长趋势,历次泥石流一次最大冲出物体积184.7万m³。因此,可以估算出玉树县每年冲出的松散堆积物按历史最大冲出量计算,约为203万m³左右。据此,可以估算出玉树重灾区震后地质灾害活动持续时间约为11年。

3.2 震后地质灾害演化趋势分析

玉树7.1级地震产生大量的地质灾害及隐患,同时,玉树震区重建工作已经全面展开,而玉树县城地质环境容量有限,山体坡脚的严重开挖、削坡以及向山谷沟口洪积扇寻找居住环境的现状,已经说明地质环境容量已经不能满足居住环境条件的需要,随着经济的发展,这种矛盾会更加突出,人类为了拓展生存空间势必向生存环境适宜性较差的斜坡进军并加快开发,开挖、削坡等人类工程活动更加强烈,会进一步加剧地质灾害的发生。在震后地质灾害10余年的持续活动时间里,地质灾害的演化趋势值得关注。

1923年日本关东7.9级大地震震后地质灾害演化趋势具有较长持续时间的活跃期和恢复期,之后快速衰减恢复到震前水平。1999年我国台湾集集7.6级地震震后地质灾害呈现具有多个峰值的

也成为了主要的地质灾害类型,地质灾害规模震前以小型为主,震后以大中型为主,重大地质灾害隐患数量迅速增加,危害程度显著增加。

(2)震后玉树震区地质灾害加剧活动持续时间估计在 10 年左右,并可能以 4~5 年(暴雨年周期)为周期呈逐渐衰减趋势,并最终恢复到震前水平。

(3)震后玉树震区地质灾害高风险区主要分布在巴塘河谷区、结古镇北山与南部山区以及郭央烟宋多段,崩塌、滑坡、泥石流集中爆发的危险性高,且潜在危害程度高,形成地质灾害的风险性高,应加强以上区段汛期地质灾害的排查、监测与防治。

参考文献:

- [1] Nakamura H, Tsuchiya S, Inoue K, et al. Sabo against Earthquakes [C]//Kokon Shoin. Tokyo, Japan, 2000: 190–220.
- [2] Inoue K. The Kan to Earthquake(1923) and sediment disasters [J]. The Earth Monthly, 2001, 23: 147–154.
- [3] Koi T, Hotta N, Ishigaki N, et al. Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: the Tanzawa region, Japan [J]. Geomorphology, 2008, 101: 692–702.
- [4] 林冠慧, 张长义. 巨大灾害后的脆弱性: 台湾集集地震后中部地区土地利用与覆盖变迁 [J]. 地球科学进展, 2006, 21(2): 201–210.
- [5] Lin C W, Liu S H, Chang W S, et al. The impact of the Chi-Chi earthquake on the subsequent rain fall induced landslides in the epicentral area of central Taiwan [C]// Proceeding of international conference in commemoration of 10th anniversary of the Chi-Chi earthquake. NTUH, 2009: 336–338.
- [6] Lin C W, Liu S H, Lee S Y, et al. Impacts on the Chi-Chi

earthquake on subsequent rain-induced landslides in central Taiwan [J]. Engineering Geology, 2006, 86 (2/3): 87–101.

- [7] 殷跃平, 潘桂棠, 刘宇平, 等. 汶川地震地质与滑坡灾害概论 [M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [8] Huang R Q, Li W L. Development and Distribution of geohazards Triggered by 5#12 Wenchuan Earthquake in China [J]. Science in China (Series E) -Technological Sciences, 2009, 52(4): 810–819.
- [9] 甘建军, 孙海燕, 黄润秋, 等. 汶川县映秀镇红椿沟特大型泥石流形成机制及堵江机理研究 [J]. 灾害学, 2012, 27(1): 5–9.
- [10] 黄润秋, 唐川, 李勇, 等. 汶川地震地质灾害研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [11] 苏生瑞, 李松, 郝莉莉, 等. 汶川地震中小鱼洞大桥的变形破坏特征与机理 [J]. 灾害学, 2011, 26(4): 19–23.
- [12] 黄润秋. 汶川地震地质灾害后效应分析 [J]. 工程地质学报, 2011, 19(2): 145–151.
- [13] 殷跃平, 张永双, 马寅生, 等. 青海玉树 Ms7. 1 级地震地质灾害主要特征 [J]. 工程地质学报, 2010, 18(3): 289–296.
- [14] 张永双, 马寅生, 胡道功, 等. 玉树地震地表破裂调查与灾后重建避让选址研究 [J]. 地质学报, 2010, 84(5): 593–605.
- [15] 许冲, 徐锡伟, 戴福初, 等. 2010 年 4 月 14 日玉树地震滑坡空间分布与控制变量分析 [J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 505–510.
- [16] 郭小花, 李小林, 赵振, 等. 青海 4·14 玉树地震地质作用对地质环境影响分析 [J]. 工程地质学报, 2011, 19(5): 685–696.
- [17] 都昌庭, 李文巧, 卢宁, 等. 2006 年青海玉树地震类型和发展构造分析 [J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 271–274.
- [18] 赵家绪, 李玉军, 张力征, 等. 青海玉树“4·14”地震灾区地质灾害应急排查报告 [R]. 西宁: 青海省国土资源厅, 2010.

Development Tendency of Geo-hazards Induced by the Yushu Ms7.1 Earthquake

Wang Jiayun, Zhang Maosheng, Zhang Chenghang, Gao Bo and Feng Wei
(Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MLR/Xi'an Center of Geological Survey,
China Geology Survey, Xian 710054, China)

Abstract: Based on field investigation, collection and statistics of data pre-and post-earthquake, the development characteristics of geo-hazards post-earthquake are analyzed. And then, duration, development tendency and high risk distribution areas of the geo-hazards post-earthquake are analyzed. It proved that the active duration of the geo-hazards post-earthquake will be 10a, which decline periodically and wavyly to the active level of geo-hazards pre-earthquake; the high risk areas are located in valley of Batang river, the northern and southern mountains around the Jiegu town and the area near the Guoyangyansongduo village.

Key words: Yushu Ms7.1 earthquake; geo-hazard; development characteristic; duration; development tendency