

汶川地震触发武都区 and 文县地质灾害发育特征研究

钟秀梅^{1, 2, 3}, 陈文凯¹, 侯景瑞^{1, 2, 3}, 袁中夏^{1, 2, 3}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地震黄土工程开放实验室, 甘肃 兰州 730000;

3. 甘肃省岩土防灾工程研究中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 汶川地震在甘肃省触发了大量的崩塌、滑坡等地质灾害, 武都区和文县的地质灾害尤为发育, 占甘肃省灾害总量的 75%, 因此, 通过灾后对地震地质灾害的现场调查和遥感解译, 共获得该区地质灾害点 993 处。在此基础上, 利用 GIS 技术对地震地质灾害的分布与河流水系、烈度、高程等因素的关系进行统计分析。研究得出: ①地震地质灾害在区域上具有沿河流水系成线状分布的特点; ②地震地质灾害密度随烈度的增加而增大; ③大部分地震地质灾害分布在高程 1000~2000 m 的中高山地貌区; ④地形坡度是地震地质灾害发育的控制性因素之一, 绝大部分灾害集中在坡度 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 的范围内; ⑤坡向对地震地质灾害的发育也有影响, 正南坡向和东南坡向的地质灾害较为发育。

关键词: 汶川地震; 地震地质灾害; 发育特征; GIS 分析

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2011)S1-0349-05

作者简介: 钟秀梅(1981-), 女, 四川内江人, 硕士研究生, 主要从事地震岩土灾害方面的研究。E-mail: xzmzhong26@163.com。

Distribution rules of geo-hazards induced by Wenchuan Earthquake

ZHONG Xiu-mei^{1, 2, 3}, CHEN Wen-kai¹, HOU Jing-rui^{1, 2, 3}, YUAN Zhong-xia^{1, 2, 3}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China; 2. Open Laboratory of Loess Earthquake

Engineering, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China; 3. Geotechnical Disaster Prevention Engineering Technology

Research Center of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Wenchuan Earthquake causes a large number of geo-hazards in Wudu District and Wenxian County of Gansu Province. After a field investigation and the interpretation of remote-sensing images taken after the earthquake, 993 earthquake-induced geo-hazards are obtained. Then, the distribution of these geo-hazards is investigated statistically using GIS techniques to determine how the occurrence of geo-hazards correlates with distance from the rivers, slopes, elevations and aspects. The main results of this research can be summarized as follows: (1) the geo-hazards triggered by earthquake show the feature of zonal distribution along the rivers; (2) the geo-hazards density increases with the increase of earth intensity; (3) the earthquake-induced geo-hazards have corresponding relationship with the elevation, and for most hazards occur below the elevation of 1000 to 2000 m; (4) the slope steepness is a main factor which controls the development of earthquake-induced geo-hazards and a vast majority of geo-hazards are distributed within the range of 10° to 40° ; (5) aspect influences on the geo-hazards triggered by the Earthquake, and more hazards occur in aspect of due south and southeast.

Key words: Wenchuan Earthquake; earthquake-induced geo-hazard; distribution rule; GIS analysis

0 引言

地震次生地质灾害是指由地震活动引起的地质灾害, 其破坏作用主要表现: 危害人的生命健康, 造成不同程度的人口伤亡; 毁坏房屋、道路等工程设施, 造成不同程度的财产损失; 破坏耕地等, 导致不同程度的资源损失和环境破坏。地震次生地质灾害增强了地质灾害的破坏效应, 加剧了地震的损失程度^[1], 而且给灾区抗震救灾、临时安置、恢复重建等工作造成了严重的威胁, 尽快搞清楚地震触发地质灾害的空间

分布规律及与烈度、高程、坡度等的关系, 对灾区恢复重建合理选址和减少未来地震带来的损失有重要意义^[2-3]。

2008 年 5 月 12 日四川省汶川县发生里氏 $M_s 8.0$ 级特大地震, 破坏力大, 波及范围广。甘肃省全境强烈有感, 受灾程度仅次于四川省, 与四川相邻的甘肃

基金项目: 甘肃省地震局青年地震科学基金项目 (2010250)

收稿日期: 2011-04-27

东南部地区震害十分严重,尤其是陇南的武都区和文县,属于中高山地貌区,地形复杂^[4],地质环境原本就比较脆弱,在强烈地震作用下触发了大量的次生地质灾害。地震发生以后,不同的研究者从地质灾害的角度,对该区地震触发地质灾害进行了大量的现场考察及相关的研究工作^[5-6]。据相关统计,武都区和文县发育的地质灾害占甘肃省地质灾害总量的75%左右。但是,此次地震在这两个地区究竟触发了多少地质灾害?它们在该区的发育分布有什么主要特征?这个问题已为人们所关注,同时,由于条件的限制,也难以给出一个相对准确的估计和全局的分析。但是由于该区处于山地,坡陡,沟深,多峡谷,实地调查有一定的困难,运用遥感手段对该区进行地质灾害的解译调查,能在较短时间内获取地质灾害的信息。在此基础上,结合GIS技术,对汶川地震在武都区和文县触发的地质灾害的分布规律,及其与地震烈度、河流水系、高程、地形坡度、坡向等的关系进行统计分析,形成了对汶川地震在武都区和文县触发地质灾害发育分布规律的初步认识。

1 研究区概况

研究区属西秦岭侵蚀-剥蚀构造山地,大部分地段分布层状变质岩、碳酸盐等相对坚硬的岩组,地貌以高山峡谷为主,地形陡峭,相对高差为500~3500 m,河谷堆积地貌不发育,1~2级阶地宽度一般小于1000 m。

本区为青藏高原东缘西秦岭强烈隆升带,处于南北构造带和昆仑-秦岭构造带等多组深大断裂交汇复合部位,为南北两侧的龙门山和六盘山晚新生代挤压隆起构造区之间的过渡地带。新构造运动极其强烈,发育有多组规模大、活动性强的活动断裂构造,历史上曾发生过1879年7月武都-文县南里氏8.0级、1881年7月武都里氏6.5级、1999年武都-文县4.4级、2003年武都-文县里氏5.0级等破坏性地震。

研究区跨黄河、长江两大流域,分布有长江二级支流白龙江,以及白龙江支流岷江等河流。受地形和大气环流等因素的影响,研究区降雨量为400~1000 mm。空间分布上,由南向北有递减趋势。垂直方向上,总的趋势是随高度的上升降雨量增加。白龙江流域年降雨东南多于西北,迎风坡多于背风坡,高山多于河谷,阴面多于阳面,林区多于光山,偏南气流畅通区多于高山层层阻隔区。降雨量在年内分布上主要集中在6月—9月,大约占全年降雨量的60%~70%。

2 地震地质灾害遥感调查

2.1 数据预处理

根据地震次生地质灾害特点,选用TM、ETM影像、Aster影像、SPOT5影像作为遥感数据源,影像空间分辨率为2.5, 15, 30 m,其中SPOT5影像只有震后一景影像,Aster影像有地震前后影像,TM/ETM影像均为震前影像。其中TM影像为2006年5月19日拍摄的,ETM影像为2001年5月12日拍摄的,Aster影像为2008年6月1日和2006年3月8号的拍摄,SPOT5影像为2008年5月16日拍摄的,有少量薄云,图像整体质量较好。辅助数据为Aster-DEM数据。

在已有的行政区划图、栅格DEM数据的基础上,使用ENVI4.6对收集到的SPOT影像进行正射校正,对Aster、TM、ETM、经过正射校正后的SPOT影像分别进行几何精校正,然后进行图像拼接、剪裁、增强等处理。校正前的影像图四周边界比较方正,有些失真,校正过程除了添加地理坐标进行几何校正以外,还通过一些测量高程控制点和DEM消除地形起伏引起的图像变形,再进行色彩平衡处理后,影像图就可在ArcGIS软件中进行次生地质灾害解译了。

2.2 地震次生地质灾害体特征信息提取

基于遥感技术的次生地质灾害的解译分析过程中一般采用历史比较法、直判法和综合辨认法对地震中形成的崩塌、滑坡灾害进行识别。历史比较法就是采用地震前后两期遥感影像,通过对同一地区对比来判断是否有次生地质灾害。直判法是根据图像中的地物标志直接判断震害。本文根据次生地质灾害在震后遥感影像上的形状、色调、纹理等空间结构信息,结合地震前后影像的对比分析,了解次生地质灾害特征,采用人机交互方法获得研究区的次生地质灾害分布信息。

在遥感影像上,新近发生的崩塌、滑坡与地表覆盖较为稠密的植被景观形成了比较强烈的反差,亮度值均较高,呈白色色调。通过对研究区遥感影像处理,解译出研究区地质灾害类型主要是滑坡和崩塌,其结果如图1所示。据统计,研究区共解译到次生地质灾害993条。根据现场调查和结果分析,在研究区域内,汶川地震引发的次生地质灾害类型以崩塌和滑坡为主,其中崩塌又远远多于滑坡。

3 地震地质灾害的区域性分布

3.1 沿河流水系线状分布

研究区内,汶川地震触发地质灾害在区域分布上的一个显著特征是沿河流水系呈线状分布,在卫星遥感解译图像上表现的十分直观(图1)。实地调查的结果亦表明,绝大部分的地震地质灾害都是沿白龙江和

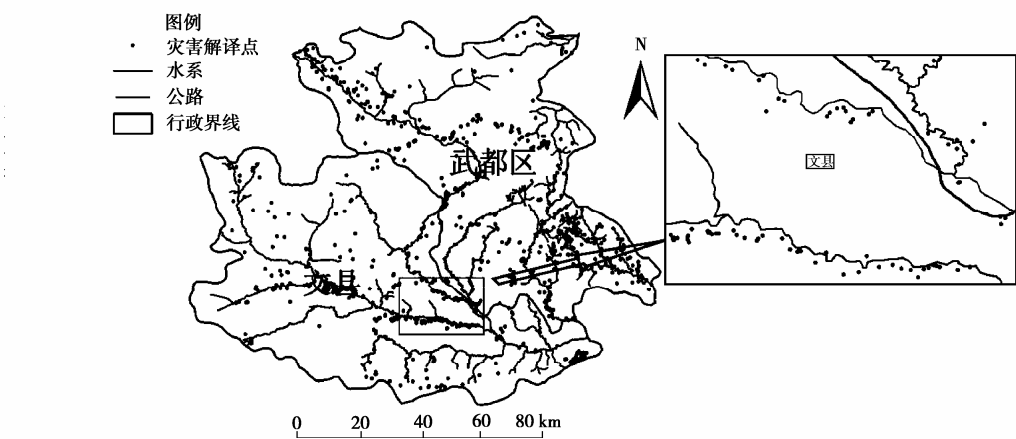


图 1 研究区次生地质灾害分布图

Fig. 1 Distribution of geo-hazards in study area

白水江等深切河谷及其支流的两岸发生的, 说明地质灾害的发育受水系的控制。

研究区地质地质灾害沿水系分布的另一个显著特征是河流水系两岸不对称分布, 尤其是文县境内的白水江和白龙江, 白龙江、白水江左岸(南岸)发育的次生地质灾害远较右岸(北岸)为多, 这在遥感影像图上表现的很明显, 如图 1 是解译出来白龙江在文县某段地质灾害发育的情况, 截取的这一段是比较突出的南北岸灾害分布不均匀的情况。据不完全统计, 研究区内白龙江、白水江全段南岸的次生地质灾害数量是北岸的 3~4 倍。

研究区内主要有白龙江、白水江横穿而过, 从解译结果看, 地质灾害沿河流分布的规律比较明显, 但是, 水系的影响范围到底有多远呢? 本文利用 ArcGIS 的空间分析能力, 在水系周围设置一定半径的缓冲区, 从 100 m 作为起始点, 统计落在该区域的次生灾害面积。如图 2 所示, 在水系周围 500 m, 次生灾害的面积平稳上升, 600~800 m 的起伏度不大, 基本趋于平滑, 说明水系的影响范围最远大概在 500 m 左右, 大于此距离, 水系的影响作用就不太显著了。

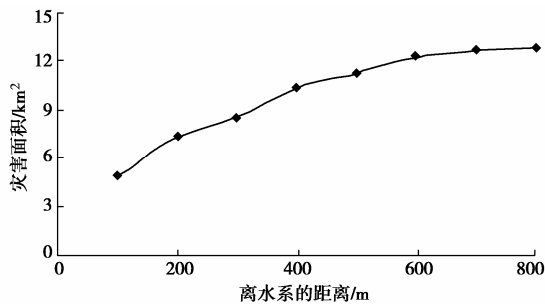


图 2 灾害面积随离水系距离的变化

Fig. 2 The distance from rivers versus accumulative area of Geo-hazards

3.2 与地震烈度的对应关系

地震烈度简称烈度, 即地震发生时, 在波及范围内一定地点地面振动的激烈强度, 简单地说就是地震影响与破坏的程度。地震滑坡和崩塌的活动与地震震级、地震烈度具有明显的相关关系。根据近年多次强震调查统计, 滑坡多发生在Ⅶ度及以上地区。仅在特殊情况下, Ⅵ度区发生滑坡和崩塌。在烈度Ⅷ度以上区域, 如果地质条件不良, 崩塌、滑坡就会很密集。

研究区涉及 3 个地震烈度: Ⅶ~Ⅸ度, 不同地震烈度区内次生地质灾害的分布情况如图 3 所示, Ⅸ度区、Ⅷ度区内地质灾害较为密集, Ⅶ度区内地质灾害点大部分集中在国道 212 沿线。导致这个结果的原因除了地震的原因以外, 这一地区原本就是中国滑坡、泥石流灾害区之一, Ⅶ度区内国道 212 又主要沿白龙江展布, 河谷一侧本来就存在临空面, 有利于崩塌、滑坡的发生, 再就是由于修建公路, 人工削坡致使边坡卸载, 其稳定性相对较差。

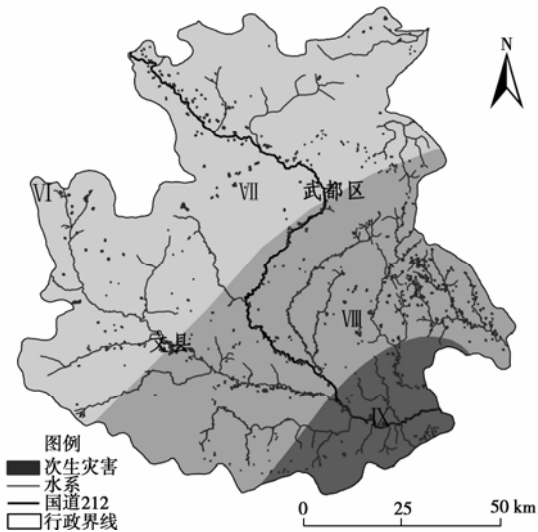


图 3 不同烈度区地质灾害分布图

Fig. 3 Distribution of geo-hazards in different earth intensity areas

根据黄润秋^[2]等的研究结果,烈度Ⅶ度以下的地区,滑坡、崩塌的现象就比较少了,像甘肃省的康县、徽县、成县等地区的次生地质灾害就少。利用 ArcGIS 软件统计了武都区、文县不同烈度区次生灾害的分布面积、分布个数以及面积比,如表 1 所示,从Ⅶ度区到Ⅸ度区,随着地震烈度的增大,灾害密度(每 100 km² 计算)也增加。由以上分析可得,在研究区内,次生地质灾害主要还是分布在Ⅷ度、Ⅸ度这样的高烈度区。

表 1 不同地震烈度区地质灾害分布统计表

Table 1 distribution of geo-hazards in different earth intensity areas

烈度	烈度区面积/km ²	灾害个数/处	灾害密度(个/100 km ²)	灾害面积/km ²	与烈度区面积百分比/%
Ⅸ	935.56	208	22.2	6.61	0.71
Ⅷ	3849.77	483	12.5	25.97	0.67
Ⅶ	4892.53	302	6.2	14.33	0.29

4 地震地质灾害分布与其他主要影响因素的关系

4.1 与高程的关系

通过对研究区内崩塌和滑坡发育的高程统计,如图 4 所示,研究区内地质灾害主要分布在 1000~2000 m 之间,该区的地质灾害数量占总数的 72%左右,较为集中。黄润秋^[2]等解译的在该高程范围内的次生灾害数量占总数量的 55%左右,整个地震灾区的统计结果是在 650~2000 m 高程范围内地质灾害比较集中,说明在研究区内高程对次生灾害的控制作用更强,即地震作用更容易在武都区和文县这样的中高山地貌区触发崩塌和滑坡等地质灾害。

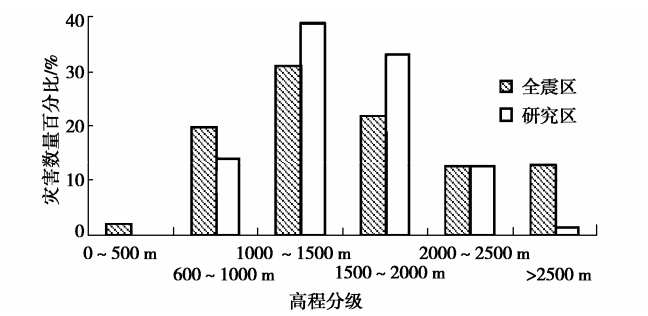


图 4 次生灾害点与高程的统计关系对比

Fig. 4 Cartogram of distribution of geo-hazards at different altitudes

4.2 与坡度的关系

地平面任一点的坡度是指该点的切平面与水平地面的夹角。坡度表示了地表面在该点的倾斜程度。坡度

是影响滑坡、崩塌发生的一个重要因素,在其它条件相同的情况下,坡度越大的斜坡越容易发生滑坡、崩塌灾害。

对某一地区而言,一般存在着一个容易发生地震滑坡、崩塌的坡度范围。如 1974 年昭通地震诱发的滑坡多发生在 35°~45° 的斜坡上,1973 年炉霍地震诱发的滑坡多处于 30°~50° 的斜坡上。研究区内汶川地震触发崩塌、滑坡的地形坡度集中为 10°~40°,这一坡度范围崩塌、滑坡的数量占总滑坡数的 73%左右(图 5)。黄润秋^[2]等的研究结果是地形坡度集中在 20°~40° 的崩塌、滑坡数量占总数的 71%以上(图 5),本区地形坡度在 10°~20° 的这一范围内崩塌、滑坡的面积占总面积的 17%,说明研究区内更易于发生次生灾害,即地震一旦来临,在 10°~20° 这样的缓坡就容易触发崩塌和滑坡灾害。

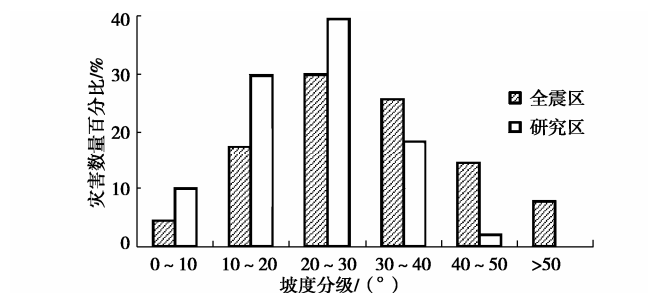


图 5 灾害点分布与坡度的统计关系对比

Fig. 5 Cartogram of distribution of geo-hazards with different slopes

4.3 与坡向的关系

坡向定义为坡面法线在水平面上的投影的方向,坡度为斜面的倾角的正切值,坡向的范围是假设 0°~360°,在 ArcGIS 软件中,坡向平均分为正北、东北、正东、东南等 8 个方向,每个方向 45°,如正东坡向包括 237.5°~360° 和 0°~22.5°,东北坡向是 22.5°~67.5°,以此类推。

坡向对地震地质灾害的分布也有影响。根据统计(图 6),发育在正南坡向(157.5°~202.5°)的次生灾害数量最多,占总数的 20%;其次是东南、正东、东北坡向,正西坡向(247.5°~292.5°)的次生灾害数量最少,占总数的 6%。这可能是因为山体的方位对日照时间和太阳辐射强度有影响。辐射射入南坡最多,其次为东南坡和西南坡。因此向光坡(南坡)和背光坡(北坡)之间温度或植被的差异常常是很大的。南坡或西南坡最暖和,而北坡或东北坡最寒冷。坡向对降水的影响也很明显。由于一山之隔,降水量可相差几倍。综上分析,在地震作用下,正南坡向、东南坡向坡较其它坡向的斜坡更容易发生崩塌、滑坡灾害。

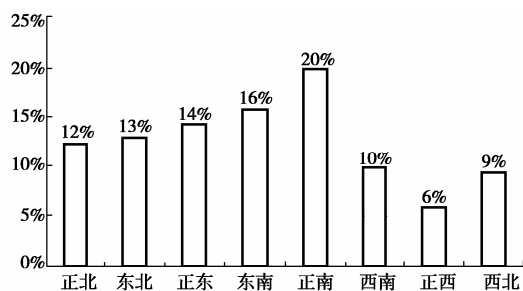


图 6 次生灾害点与坡向的统计关系

Fig. 6 Cartogram of distribution of geo-hazards with different aspects

5 结 论

(1) 通过遥感解译, 获得了研究区地质灾害点 993 个, 这些地震地质灾害在空间上沿河流水系呈线状分布, 且研究区河谷两岸的次生地质灾害呈现明显不对称分布的特点。白龙江、白水江左岸(南岸)发育的次生地质灾害远较右岸(北岸)为多。通过 GIS 空间分析, 河流水系对地质灾害的影响范围在 500 m 以内比较显著, 600 m 以上的影响作用就小了。

(2) 研究区域内, VII~IX 烈度区, 烈度越高, 次生地质灾害发育密度越高。

(3) 研究区内 1000~2000 m 高程范围内的次生灾害最为发育, 对比黄润秋等^[2]的研究结果, 地震作用更容易在武都区和文县这样的中高山地貌区触发地质灾害。

(4) 研究区域内次生灾害发育的地形坡度集中在 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 较之黄润秋等^[2] $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 的结论, 在研究区域内即使是缓坡 ($10^{\circ} \sim 20^{\circ}$), 发生次生灾害的几率比其它震区大。

(5) 研究区域内正南坡向和东南坡向发育的次生灾害所占比例最大, 说明在地震作用下, 南坡、东南坡较其它坡向的斜坡更容易发生崩塌、滑坡灾害西北坡向发育得最少。

参考文献:

- [1] 刘凤民, 张立海, 刘海清, 等. 中国次生地质灾害危险性评价[J]. 地质力学学报, 2006, 12(2): 127 - 131. (LIU Feng-min, ZHANG Li-hai, LIU Hai-qing, et al. Danger assessment of earthquake-induced geological disasters in China[J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12(2): 127 - 131. (in Chinese))
- [2] 黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2585 - 2592. (HUANG Run-qing, LI Wei-le. Research on development and distribution rules of Geohazards induced by Wenchuan Earthquake on 12th May, 2008, 27(12): 2585 - 2592. (in Chinese))
- [3] 黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19 - 28. (HUANG Run-qing, LI Wei-le. Fault effect analysis of geo-hazard triggered by Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 19 - 28. (in Chinese))
- [4] 邢爱国, 吴志坚, 陈龙珠, 等. 汶川地震在甘肃省的次生典型边坡灾害特征[J]. 西北地震学报, 2010, 32(1): 95 - 98. (XING Ai-guo, WU Zhi-jian, CHEN Long-zhu, et al. Characteristics of secondary typical slope disaster in gansu province induced by the Wenchuan Earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 2010, 32(1): 95 - 98. (in Chinese))
- [5] 赵 成. 汶川地震甘肃省重灾区次生地质灾害及防治[J]. 甘肃地质, 2009, 8(2): 53 - 57. (ZHAO Cheng. The prevention and treatment methods for seismic geology hazards in Gansu Calamity Region by Wenchuan Earthquake[J]. Gansu Geology, 2009, 8(2): 53 - 57. (in Chinese))
- [6] YUAN Z X, WANG L M. Review on geotechnical hazard caused by Wenchuan 8.0 earthquake[J]. Taylor & Francis Group, 2009: 319 - 322.

(本文责编 胡海霞)