

2008年汶川地震前的中国大陆地震滑坡研究

许冲

中国地震局地质研究所;中国地震局活动构造与火山重点实验室,北京 100029

摘要 总结了2008年汶川地震前的中国大陆地区地震滑坡研究情况,可主要分为地震滑坡特征与分布规律、评价与预测2个方面。对地震滑坡的特征与分布规律,介绍了总体特征研究结果,叙述了中国西南地区、西北地区等的地震滑坡研究,特别是一些重要震例。对地震滑坡评价与预测,按照专家知识驱动与地震滑坡真实数据驱动,将已有研究成果归纳为2类。从地震震级与滑坡的定量对比关系、单次地震事件的滑坡分布数据和地震滑坡评价模型3个方面分析研究中存在的问题。认为有必要对一些2008年汶川地震之前的地震事件开展补充性滑坡研究。

关键词 地震;滑坡;空间分布;中国大陆

中图分类号 P694

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.16.011

Overview of Earthquake-triggered Landslides Across China Mainland Before the 2008 Wenchuan M_w 7.9 Earthquake

XU Chong

Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano of China Earthquake Administration; Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract This paper reviews the studies of earthquake-triggered landslides across the China mainland before the 2008 Wenchuan M_w 7.9 earthquake. It focuses on two aspects: one concerns the characteristics and the spatial distribution of landslides, and the other the hazard assessment and the spatial prediction of these hazards. In the first aspect, there are several studies related to earthquake-triggered landslides in China mainland, with many results on earthquake-triggered landslides in Southwest China and Northwest China, including case studies of several large seismic events. Some related studies for other regions of China mainland are also discussed. In the second aspect, the studies may be divided into two categories of expert knowledge-based methods and data-driven methods. Shortcomings and limitations of these studies are analyzed, with comparisons of earthquake magnitudes and co-seismic landslides, preparation of landslide inventory maps based on individual earthquake events, and earthquake-triggered landslides evaluation modelling. It is suggested to carry out remedial studies about landslides triggered by major earthquake events before the 2008 Wenchuan earthquake. They can provide insight for landslide-hazard mitigations in the future and are of great significance for development of earthquake-triggered landslide research.

Keywords earthquake; landslides; spatial distribution; China mainland

地震滑坡和地表破裂是山区地震导致的两种最主要的地貌改变形式。地表破裂可以反映地下构造特征;地震滑坡与地表破裂往往关系密切,其分布面积广、密度大,往往造成显著的地貌改观,其造成的损失有时甚至远超过地震本身。受计算机、遥感、GIS等技术的限制及地震发生的不规律性,

虽然中国的地震滑坡研究在2008年汶川地震前有一些,但是系统全面的研究却几乎没有,且研究结果的可重复性较低,参考价值往往不如一些关于国外震例的结果。笔者曾对2008汶川地震滑坡的结果进行过较详细的总结^[1],表明汶川地震滑坡受到了前所未有的关注。尽管如此,汶川地震前的

收稿日期:2013-12-03;修回日期:2014-04-21

基金项目:国家自然科学基金项目(41202235);中国地震局地质研究所基本科研业务专项(IGCEA1215,IGCEA1302)

作者简介:许冲,副研究员,研究方向为地震滑坡与活动构造,电子信箱:xuchong@ies.ac.cn

引用格式:许冲.2008年汶川地震前的中国大陆地震滑坡研究[J].科技导报,2014,32(16):63-77.

滑坡研究对于更进一步认识汶川地震滑坡与以后的相关研究具有重要的帮助。当前关于汶川地震前的地震滑坡研究的总结与综述较笼统,如李树德等^[2]对中国的地震滑坡分布规律与成因进行了非常简单的介绍;宋立胜^[3]列举了从公元前780年岐山地震到1933年叠溪地震的地震滑坡资料,还包括一些其他方面等^[4-6]。此外,还有一些文献^[7,8]给出了较多的地震滑坡描述性质的内容。然而,这些研究均没有全面地呈现中国汶川地震前的地震滑坡研究情况。因此,本文尝试对中国2008年汶川地震前的研究成果进行综述,以期全面总结与论述在汶川地震前中国大陆的地震滑坡研究成果。地震滑坡的研究包括很多方面,如滑坡分析、调查与描述,滑坡影响因素分析,空间分布规律,评价与预测分析、稳定性数学计算与数值模拟等方面。但是大体上可以将这些地震滑坡研究分为区域研究与单体研究2方面。本文主要对地震滑坡的区域研究方向进行总结归纳。

1 地震滑坡特征与分布规律

1.1 总体特征

地震滑坡的分布规律研究对地震滑坡评价与预测,防灾减灾具有重要意义,汶川地震前有一些地震滑坡的分布特征与分布规律方面的成果报道。一些研究提到滑坡往往与构造和地震活动关系密切,如长江三峡库区的滑坡与构造的密切关系^[9]。中国从公元1500年至1949年9月30日,约450年间的134次具有地震滑坡记载的事件表明,中国历史地震时引起的崩塌滑坡等山坡失稳地质灾害主要集中分布在强震多发、地形复杂的地带,尤以南北地震带上最为集中^[10]。

关于堵江滑坡事件,柴贺军等^[11]总结了我国由于地震或降雨等因素导致的160多处滑坡堵江事件,结果表明这些滑坡堵江事件具有区域不均衡、流域集中分布性与局部多发性的特点。并将其分成青藏高原东南部、横断山区、川—鄂山区、秦岭大巴山区、西北高原和台湾山区6个滑坡堵江分布区。选取对滑坡堵江事件影响较大的地质地貌、地震烈度、河床水动力条件等方面的10个参评因素,进行了堵江的危险性评价^[12],后来严容^[13]将堵江滑坡样本补充为388个并进行了堵江滑坡环境效应研究。聂高众等^[14]对中国自1856年以来的141个地震堰塞湖进行总结归类。将其分为高危型堰塞湖、稳态型堰塞湖和即生即消型堰塞湖3类。这些地震滑坡堵江事件的总结与分析为更详细的历史地震滑坡堵江研究奠定了基础。

单次地震事件对应的地震滑坡的发育程度不但受地震震级的影响,还受震源深度、发震构造性质、地震区地质、地貌、地形条件等因素的影响。然而,地震震级越大,释放的能量越大,因此,在其他条件相同时,势必震级越高,地震触发滑坡的数量、规模、分布面积、密度等越大。基于这些认识,一些研究建立了简单的地震震级与滑坡分布面积或者滑坡的最大震中距的对应关系,或者建立了地震参数与地震滑坡的

简单二元对应关系。如辛鸿博等^[15]对中国过去近800年间125次历史地震造成的285例典型滑坡进行分析,提出了以场地烈度、震级、震中距为标准的地震崩塌初判准则。李忠生^[16]论述了地震滑坡的面积范围、密度及滑坡体积等方面与地震震级、地震烈度、震中距等参数之间的关系。王克鲁等^[17]对公元前1177年至公元1969年的2000多次5.0级以上的地震震害、包括滑坡灾害进行总结,研究了最大灾害距离与震级的关系。杨涛等^[18]建立了四川地区地震崩塌分布面积、震中距与地震震级的关系。才树华等^[19]根据陕、甘、宁、晋地区80个黄土地震滑坡的资料,建立了地震震级与地震滑坡最大致灾距的定量关系。姚清林^[20]将中国西北黄土地区按照震害进行了分区,其中六盘山西侧、会宁以东分区地震滑坡最为发育。并给出了最大震中距、滑坡分布最大面积与震级的简单对应关系。丁彦慧等^[21]以西部地区71例地震中引发的194例崩塌、滑坡为基础,进行相关分析,建立地震崩塌与地震参数间的关系,确定触发地震崩滑的最小震级、最小烈度和最大震中距。

1.2 西南地区地震滑坡

中国西南地区由于地形陡峻,地震多发,川滇地区的地震带常常有地震滑坡发生,西南川滇地区可以划分为11个地震带:松潘—茂汶、安宁河、鲜水河、马边—大关、小江、程海、中甸—大理、红河、普洱—思茅、腾冲—龙陵、耿马—勐海。这些地区发生的地震,尤其是大地震往往造成数量多、分布面积广、密度高、规模大的地震滑坡^[22]。

1.2.1 多个历史地震震例相关的地震滑坡特征综合分析

一些研究综合了西南地区一些地震事件触发滑坡。如周本刚等^[23]总结了我国云南、川西地区自1970年以来的11次 $M \geq 6.7$ 级强震触发滑坡的一些特征。按照运动方式将这些地震滑坡分为推移式、牵引式、溜滑式和崩塌式滑坡这4种类型。研究发现这些地震滑坡以小型浅层滑坡为主,多发生于第四系堆积层中;滑坡发育的主要坡度为 $30^\circ \sim 50^\circ$;产生新滑坡需要的最低烈度为VII度,而诱发老滑坡的最小烈度大概为VI度;这些地震滑坡的空间分布大体受地震断层控制,空间分布主要方向与地震断层走向大体一致。Chen等^[24]总结了我国西南地区震级 ≥ 7.0 的38次地震事件,这些地震事件最早为公元814年4月6日的四川西昌7级地震,最近为2008年汶川地震,对这些地震事件触发滑坡的信息进行搜集与整理,分别重点介绍了1973年炉霍地震、1974年昭通地震、1976年龙陵地震触发滑坡的情况,分析了滑坡影响区面积与震级的关系。乔建平^[25]搜集分析了川滇地区自公元前26年至1989年的 $M \geq 6.0$ 级147次地震的资料,其中至少114次地震触发了滑坡。这些滑坡灾害在空间分布上具有从北向南逐渐减弱的特征,在时间分布上,1870—1976年约百年的时间地为地震滑坡的高潮期。吴其伟^[26]对炉霍、昭通、松潘—平武、龙陵4个强震区近500个滑坡的考察资料分析表明,崩塌型滑坡多发生在自然斜坡坡度大于 50° ,整体性差的岩质边坡上;而滑动型滑坡多发生在坡度 $30^\circ \sim 50^\circ$ 的地下水富集的第

四系崩坡积体上,规模多为中小型。

1.2.2 1933-08-25 四川叠溪7.5级地震

1933年8月25日叠溪M7.5级地震使千年古城叠溪和邻近村寨被毁,触发了大量的滑坡并造成严重灾害,形成了10余座天然堆石坝和堰塞湖^[27]。许向宁等^[28]系统阐述了叠溪地震区斜坡变形破坏分区带的典型特征,归纳总结了高地震烈度区斜坡变形破坏的空间发育分布规律。据记载,地震后45 d,由于堰塞湖溃决造成严重的灾难,为一次典型的地震滑坡灾害链事件^[29]。严容^[13]对叠溪地震滑坡坝的溃决原因及溃决洪水开展了模拟计算。叠溪地震区在1933年地震事件前就发育着很多堰塞湖^[30],这可能与该地区强烈的古地震活动有关。王兰生等^[31]用¹⁴C测年得到滑坡的年龄约2万年,因此推测2万年前的地震事件触发了大量滑坡。此外,宋娟等^[32]以叠溪地震触发的岩质顺层滑坡和深覆盖层孔隙水压力激增型滑坡为例,应用水平加垂直双向振动模拟试验台开展了模拟试验。

1.2.3 1955-04-14 康定7.5级地震

1955年4月14日,康定折多塘发生了7.5级地震,震中为30°N,101.8°E。刘岁海等^[33]标识了崩塌、滑坡30余处。限于当时的调查条件及相似震级地震触发的滑坡规模与数量,可以推断这次地震触发滑坡的实际数量远超过此数目。

1.2.4 1974-05-11 云南昭通7.1级地震

1974年5月11日的云南昭通M7.1级地震震中位于28.2°N,104°E。震中烈度为IX度,震区山高坡陡,地形陡峻。本次地震主震后,极震区地面遭到了严重破坏,沿木杆河峡谷两侧发育了大量的滑坡。崩塌的石块阻塞公路,毁坏农田,砸毁民房和桥梁。大型的崩塌、滑坡与区域构造的断裂、岩层的层面、节理面的发育和岩性致密、松散程度以及地形陡峻程度有着密切的关系^[34]。

1.2.5 1976-05-29 龙陵7.3级和7.4级地震

1976年5月29日,云南省龙陵、潞西一带发生7.3级和7.4级强烈地震群,7.3级地震发生在20:23,7.4级强震发生在22:00。这两组地震形成4个宏观震中,触发了大量的地震滑坡。地震滑坡严重地区龙陵县出现了大量的崩塌、滑坡、滚石与地裂缝^[35]。陈晓利等^[36]展示了一个较粗略的地震滑坡分布成果图,并基于此开展了后续的滑坡易发性评价。

1.2.6 1988-11-06 耿马—澜沧7.6和7.2级地震

1988年11月6日21:00,云南省澜沧县境内、耿马县与沧源县交界地区,相继发生了7.6级和7.2级强烈地震,两次地震的震中相距约80 km,发震时间间隔仅13 min。杨喆等^[37]利用航空遥感方法对这次地震触发滑坡进行调查,制作了地震区滑坡分布图,标定了392处滑坡的位置,其中最大方量达164万m³。在耿马—澜沧断裂带南端的大塘子断裂形成了长5 km,宽100 m的崩塌带,北段的小麻勒断裂与小黑江断裂也形成了2个崩塌带,堵塞了小黑江,形成多级堰塞湖^[22]。

1.2.7 1996-02-03 云南丽江7.0级地震

1996年2月3日,丽江发生7.0级地震。唐川等^[38]认为此

次7级地震在约12000 km²的区域内至少触发420处中小型崩塌型滑坡与30处大中型滑动型滑坡。这些滑坡分布在烈度VI度区内,主要集中在主震震中东南部,接近表层构造断裂带和余震活动范围内。崩塌多发生于大于60°斜坡中上部,滑坡发育于中缓斜坡(25°~45°)上。滑坡的最大震中距可达94 km^[21],本次地震滑坡空间分布与构造关系密切^[39]。

1.2.8 2001-10-27 云南永胜6.0级地震

2001年10月27日,云南永胜发生6.0级地震。由于地震区位于金沙江附近,地形陡峻且震区正值雨季,虽然震级不太高,但是在极震区也诱发较多的山体滑坡、崩塌、滚石等山地灾害,灾情比较严重^[40]。1515年云南永胜也曾发生了一次震级≥7.5级的地震,在极震区可以观察到很多滑坡的迹象^[41],此次地震疑似与1515年地震有关。另外,此次地震还形成了红石崖青石崖地震裂陷地貌^[22]。

1.2.9 其他震例

由于一些地震的发生时间较久远,对应的滑坡只有简单记载。如公元1500年与1833年的两次8级地震均位于宜良西部小江西支断裂的中段,形成约80 m高的滑坡陡崖^[22];1786年地震滑坡堵江与10 d后的洪水造成了重大的灾害^[42];1850年西昌地震触发的滑坡^[43]等。也有一些震例由于震级较低,或者将地震滑坡仅作为地震灾害的一个方面去调查,没有开展地震滑坡的详细专题研究,仅有一些较简单的介绍与描述,如1979年云南普洱6.8级地震触发了若干小型崩塌与滑坡^[44]。四川沐川—马边1994年12月30日5.5级地震触发的滑坡类型包括崩塌、滚石、滑坡和重力地裂缝^[45]。2001年2月14日的雅江5.0级地震(29.6°N,101.1°E)、23日的雅江6.0级地震(29.4°N,101.1°E),造成了一些滑坡^[46]以及老滑坡的复活^[47]。2001年5月24日四川盐源5.8级地震^[48]造成了一些小型崩塌。2007年6月3日宁洱6.4级地震触发了至少约131处地震滑坡^[49],滑坡分布在长13.5 km、东西宽4 km的范围内,总体走向330°^[50]。

1.2.10 史前地震滑坡

除了历史地震事件触发的滑坡之外,还有一些史前滑坡事件的研究成果,这些滑坡事件很可能与史前地震事件相关。如三峡水利枢纽的库区就发育着较多的古滑坡,其中很大可能是地震引起的^[51];在金沙江沿岸也发育着较多的古地震滑坡^[52],包括总方量约2.5亿m³的古滑坡以及对应的古堰塞湖^[53],程海断裂带金沙江段滑坡群^[54],大渡河古滑坡^[55]等。唐汉军等^[56]根据沿着鲜水河断裂带东南段发育的构造石林、成群的滑坡体现象推测这一地区曾发生过一次较强的古地震。研究表明,鲜水河断裂带古地震与古滑坡之间存在着对应关系,鲜水河断裂带区域的滑坡很有可能受地震的触发。然而,也有一些研究成果表明地震与滑坡的关系不大,如杨媛媛等^[57]分析了1949—2001年四川省的400起滑坡灾害数据与地震的关系,没有得到良好的相关性。也有研究人员分析了历史滑坡事件,认为不是地震而是降雨所触发^[58],这可能受统计样本与研究样本的限制。

1.3 西北地区地震滑坡

西北地区历史时期曾发生过多次大地震,并有相应的滑坡记载^[59,60],如1812年3月8日新疆尼勒克8级地震触发了多处滑坡、1718年甘肃通渭7.5级地震触发了至少300多处大滑坡、1920年海原8.5级地震触发了至少675处大滑坡、1927年古浪8.0级地震触发了90多处黄土滑坡。

1.3.1 多个历史地震震例相关地震滑坡特征综合分析

杨章^[61]对西北地区触发滑坡的古地震事件进行了统计,自1716年以来,新疆发生了19次 $M \geq 7.0$ 级的地震事件,其中11次触发了相当显著的地震滑坡现象。通过古地震滑坡定年研究了古地震复发间隔,建立了滑坡年龄与滑坡后壁坡角的关系。黄土滑坡是西北地区典型的滑坡,其触发因素包括地震、降雨、灌溉等^[62],一些地区黄土滑坡多沿着地震带发育^[63]。陈永明等^[64,65]对1654年天水南8.0级、1718年通渭7.5级、1920年海原8.5级和1927年古浪8.0级地震诱发的147个典型黄土地震滑坡进行研究,发现这些黄土地震滑坡具有规模大、数量多、滑速快、滑距远、危害性强和诱发滑坡的地震烈度较小等特点,且空间展布形态较为复杂,空间分布很不均匀,常表现为片状、带状和线状展布,在不同区域有不同的发育。王维升等^[66]的研究结果表明西北地区黄土滑坡具有分布范围广、数量多、密度大、规模大,滑坡速度快、滑动距离远、坡度小等特点。有记录的西吉县地震滑坡765处、堰塞湖41处,尚慧等^[67]对西吉529处地震滑坡分布规律开展了研究,这一地区的地震滑坡主要由1920年海原8.5级地震与1970年苏堡5.5级地震所触发。Lin等^[68]的研究表明了黄土地区的黄土滑坡的黄土工程地质条件对滑坡的演化起着重要的作用。

也有些研究展示了某些地区的历史地震滑坡情况,如甘肃地震滑坡^[69-71]、宁夏地震滑坡^[72]、山西历史地震引起的黄土滑坡^[73,74]、主要受控于渭河裂谷区断裂的滑坡^[75]、与整个中国的黄土地区的黄土滑坡情况^[76]等。王甯等^[77]通过分析典型河谷城市100余个黄土滑坡影响因素的数据,结合前人工作,对滑坡进行了针对性的分类,将河谷城市黄土地震滑坡分为黄土内滑坡、黄土—基岩接触面滑坡以及黄土—基岩滑坡。左发源等^[78]分析了黄土高原西部滑坡的滑移方向与构造应力场的关系,结果表明两者具有一定的相关性。

1.3.2 1654年天水地震与1718年通渭地震

艾南山等^[79,80]对1654年天水M8.0级地震与1718年通渭M7.5级地震产生的滑坡开展基于航片的解译,区分出这两次地震事件产生的滑坡,得到长度大于500 m的滑坡分别为59个(天水地震)与337个(通渭地震),利用这些滑坡测量出411个滑动方向,在70°~80°存在一个最大值,与区域构造应力场方向一致。此外,王念秦^[81]介绍1718年通渭7.5级地震触发的滑坡分布在3500 km²的区域内,滑坡面积约665 km²,约占总面积的20%。

1.3.3 1812-03-08新疆尼勒克8.0级地震

1812年3月8日新疆尼勒克8.0级地震产生长达65 km的地震断裂带,垂直位移可达10 m,右旋水平位移超过1.5 m

^[82]。地震触发了大量的滑坡,有的滑坡体后缘最宽可达2 km。尹光华等^[82]根据航片解译与野外调查核实,认为尼勒克地震滑坡分布广、数量多,主要集中在东西长大于100 km,南北宽约30 km的高烈度区之内,滑坡密度从震中向外规模逐渐变小、密度逐渐降低。这次地震触发滑坡中较大的滑坡(宽度大于0.5 km)有365个,较小的有2000个左右^[83]。认为地震滑坡的运动距离要比降雨滑坡远一些^[84]。尼勒克地震滑坡密集分布区的滑坡密度达到5/km²,位于寨口沟至卡因德萨依之间,该区域向外,滑坡密度逐渐减少^[85]。

1.3.4 1920-12-16宁夏海原8.5级地震

1920年12月16日宁夏海原大地震造成的人员伤亡多来自地震滑坡^[86]。这次地震触发的地震滑坡主要分布在2个区域:面积大、数量多的一个区域位于宁夏海原县的南部、西吉县的大部、静宁县的西北部和会宁县的东部,这一带的烈度都在IX度或IX度以上;另一个滑坡比较严重的地区在宁夏通渭县南部,这一带的地震烈度为VIII度到IX度^[87]。邹谨敞等^[88]结合野外调查与航片解译,对海原地震滑坡开展调查,发现海原地震滑坡具有3处集中区域,分别为海原以南XI至XII度地震极震区,会宁以东、西吉西南与静宁西北的广大地区,与通渭县境内。单鹏飞^[89]分析了海原地震滑坡的带状或团块状密集独特的分布特征。论述了地震滑坡不仅受地震烈度的影响,还受黄土特征、地质构造、地貌结构与区域新构造运动等的影响。卢育霞^[90]基于宁夏西吉县滥泥河流域在海原地震时形成大量黄土滑坡及堰塞湖,阐述了西吉县境地地震滑坡地貌的基本特征。Zhang等^[91]、Wang等^[92]对一些坡角小于15°,凸坡上且运动距离很长的海原地震滑坡开展研究。邓龙胜等^[93]共调查105个野外地点,得到本次地震触发的200余个滑坡。这些滑坡具有较显著的群发性现象,且易发生在坡高较低、坡度较缓、山梁单薄、地貌破碎的斜坡地带,具有方向性和运动液化的特点。Li等^[94]基于Google Earth平台与上面的地形与影像特征,对海原地震滑坡进行解译,得到805处滑坡。陈丙午^[95]的研究表明海原地震至少诱发675个大型黄土滑坡,造成了40多个堰塞湖。

1.3.5 1927-05-23古浪8.0级地震

1927年5月23日古浪发生8.0级地震。古浪地震滑坡类型多样,以中、小型浅层滑坡为主。滑坡后缘多接近山脊。滑坡发育地点多沿水系的中、上游或分支冲沟等^[95]。邹谨敞等^[96]开展了古浪滑坡的野外调查与航片解译,发现滑坡的空间分布与地震断裂带基本一致。作者分析古浪地震滑坡的滑动优势方向为近东西向,可能代表了古浪地区区域构造应力场的一组剪切面方向,并据(地震)滑坡的优势方向推断区域应力场的方向。陈永明等^[97]根据野外调查和航片解译结果,对1927年古浪8.0级大震产生的地震破裂带、滑坡和裂缝及其展布特征进行了描述,并对该次地震的破坏特征及其控制因素进行探讨。研究表明,地震滑坡除受地震断层和地震烈度影响外,受地形坡角和岩土类型等因素影响很大,主要发生在黄土丘陵地区。

1.3.6 1932-12-25 昌马7.5级地震

昌马断裂带穿越区域发育着较多的地震滑坡与冻融泥石流^[98]。1932年12月25日,该断裂带上曾发生过一次7.5级地震,沿该断裂带产生一系列地震滑坡现象。地震滑坡多发生在坡度较陡(30°~50°)与地形相对高差较大(100~300 m)的部位,这些地震滑坡的发生与晚更新世晚期以来的断裂活动有密切关系^[99]。康来迅等^[100]给出了部分滑坡水平滑距与垂直滑距的关系曲线。另外,根据¹⁴C年代学研究,除1932年地震事件之外,该断裂带上还有2期古滑坡事件^[101,102],对应于2次古地震事件。

1.3.7 1995-07-22 甘肃永登5.8级地震

1995年7月22日的甘肃永登5.8级地震虽然震级不大,但是也触发了一定数量的滑坡^[103]。调查得到地震触发了150多处滑坡^[60,104,105]。结果表明,黄土易损性与地震黄土滑坡有密切关系,易损性大的黄土,地震引发滑坡灾害严重。齐吉琳等^[106]研究了永登地震滑坡相关的黄土力学性质。

1.3.8 其他地震事件

一些较小的地震事件触发的滑坡研究也多有出现,但多是简单描述地震滑坡情况,并非地震滑坡专题研究。如138年金城—陇西6 $\frac{3}{4}$ 级地震^[107]、1125年兰州7级地震^[108-110]、1573年甘肃岷县地震^[111]、1837年甘肃岷县北地震^[112]、1996年11月19日新疆和田喀喇昆仑山口M7.1级地震^[113]等。还有一些地震事件虽然震级大,但是由于发震时间较久远,地震滑坡现象多数已经消失,因此仅有一些简单的相关地震滑坡研究,如1556年滑县大地震^[114]与1879年武都地震^[115]等。关于1556年滑县地震,有记录“渔关道奎,河逆流,清三日”,为地震滑

坡现象,贺明静^[116]认为潼关原北缘的滑坡对应着这一记载,该滑坡后壁高度440~470 m,高出当地黄河河面120~150 m。

1.3.9 史前地震滑坡

西北地区在史前也有很多的巨型滑坡发育,现今仍然有较多的史前滑坡发育痕迹,如新疆伊犁地区的黄土滑坡^[117],黄河上游龙羊峡刘家峡河段发育多期^[118]滑坡205个,巨型滑坡32个^[119],帕米尔高原东部塔合曼大型滑坡体^[120]等,这些滑坡与地震关系密切^[121-123]。

1.4 其他地区地震滑坡

受地震事件与地形起伏的影响,中国的地震滑坡主要集中在西北与西南地区。然而在其他地区也有一些地震滑坡的研究成果。夏浩明等^[124]研究了安徽霍山地区的基岩滑坡与地震的关系。张世民等^[125]应用地衣测量法研究得到舟山断裂附近的滑坡是由公元1038年定襄地震触发,且滑坡多在舟山断裂附近分布,距离断裂越远,滑坡越稀疏,这反映该地震与舟山断裂的密切关系,定襄地震的发震构造或为舟山断裂。方鸿琪等^[126]对平原地震滑坡的特征与机制开展研究。结果表明,由于缺乏重力作用,平原地震滑坡与山区滑坡有明显的不同。与地表震陷、地裂及砂土液化相似,平原地震滑坡这一与地震引起的大面积的液化层、大量地裂有关的地震中的显著灾害现象,造成了建筑物、道路、农田及水利设施的强烈破坏,如1976年唐山地震^[127],造成白河主坝地震滑坡^[128]。此外,已有研究还有1966年3月8日与22日2次邢台地震触发滑坡的简单介绍^[129]与1668年郟城大地震熊耳山大裂谷中发育崩塌的介绍^[130]等。图1展示了上述提到的中国大陆范围内触发滑坡的地震事件分布。

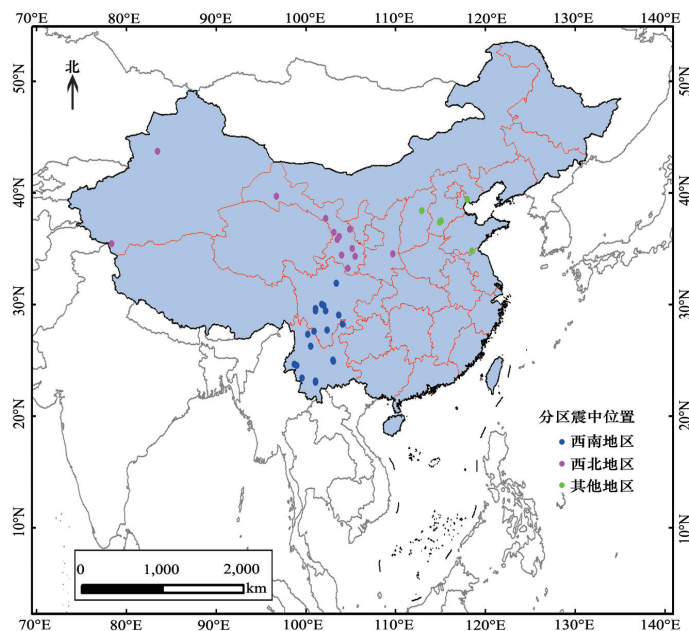


图1 2008年汶川地震前中国大陆重点地震滑坡对应的震中分布

Fig. 1 Earthquake distribution map related to major earthquake-triggered landslides in China mainland

2 地震滑坡评价与预测

地震滑坡评价与预测方法大致分为专家知识驱动与真实滑坡数据驱动两类。前者基于专家经验,给予滑坡各个影响因子赋予权重,最后综合分析得到滑坡的评价与预测结果;后者基于真实的滑坡分布数据,应用统计模型得到滑坡因子对地震滑坡的贡献度,进而基于这个贡献度得到滑坡的评价与预测结果。一般情况下,真实滑坡数据驱动的评价结果要优于专家知识驱动的评价结果。其前提是滑坡往往在相似的地震、地形、地质与地貌的条件下重复发生。

2.1 专家知识驱动

专家知识驱动方法中最基本的方法是权重直接赋值法,该方法是采用专家知识对地震滑坡影响因子的各个等级进行赋值,有的同时考虑对因子进行权重赋值。然后在GIS平台下应用因子叠加方法得到地震滑坡易发性或者危险性评价图。这种方法的优点是方便易操作,缺点是主观性过大。2008年汶川地震前这方面研究多有开展。如陈晓利等^[131]以龙陵地震区为例,对岩性、地震烈度、水系、断层、坡度的各个等级进行赋值,然后将这些因子图层叠加分析,得到地震滑坡危险性分布图。类似方法也被应用于整个云南省^[132]与一些边坡单元^[133,134]。

地震滑坡评价与预测的层次分析法与模糊方法都属于专家知识驱动方法,在因子赋值上进一步加入了数学算法,细化了专家分类知识。模糊方法是一种因子分级方法,也是一种因子权重赋值规则。根据专家经验建立了一组或者多组滑坡判识多因子规则。这2种方法在汶川地震前多有应用。王亚强等^[135]利用层次分析法完成了黄土高原地震滑坡进行区划研究,文章中因子间各个级别的赋值采用专家知识,考虑了3种地震动峰值加速度情况下的地震滑坡易发分布。陈晓利等^[136]利用层次分析法对地震滑坡各影响因素的权重进行确定,进而利用实质为多因子叠加的模糊数学方法对研究区域的地震滑坡危险性进行评定,将其应用于1976年5月29日的龙陵、潞西一带发生的7.3级与7.4级两次地震触发的32处规模较大的滑坡或滑坡群。类似的模糊方法还包括在古浪—海原地区^[137,138]、虎跳峡河段^[139]、上海地区^[140]。马毅等^[141]开展了基于模糊因素的岩质边坡地震稳定性多模型组合评价。冯学才等^[142]基于模糊方法的滑坡评价对兰州市皋兰一带滑坡进行分布规律分析与评价。

丁彦慧等^[143]提出了一种从粗略到较具体的地震崩滑预测方法,首先建立地震崩滑最大震中距与地震震级间关系的初判准则,然后综合考虑岩性、结构类型、地形、气象、地震等因素对地震崩滑的共同作用,并对不同因素的主次作用进行区分和量化,建立再判准则。并且对1996年丽江地震滑坡进行检验。王余庆等^[144]将天然边坡看作是部分信息已知、部分信息未知的灰色系统,用灰色理论中的灰色聚类方法预测其地震的稳定性。通过将预测结果与边坡的实际震害作对比,讨论了灰色聚类法的有效性和局限性。还有丁彦慧与王余庆^[145]、丁彦慧等^[146]提到的综合指标法,这些方法的实质都是

专家知识驱动的方法。

此外,还有一些较简单的滑坡危险性分析方法,考虑的因素较少,也归为专家知识驱动方法一类。如鲍叶静等^[147]在考虑到地震发生随机性的基础上,提出了地震诱发滑坡初步预测的概率分析方法,并详细推导了评价地震滑坡危险性的概率函数。这是一个粗糙的地震滑坡的初级预测成果。徐桂弘^[148]地震诱发滑坡的危险性分析与预测。刘凤民等^[149]开展了整个中国的地震次生地质灾害危险性评价。鲍叶静与高孟潭^[150]、鲍叶静^[151]开展了地震诱发崩塌滑坡危险区初步预测,考虑了地震滑坡震中距,是一个初步的非常小比例尺大区域尺度的预测。

一些较不常见的滑坡评价与预测方法基于专家知识概率分析或者数学理论,也是在基于专家知识驱动思想下建立的。如王赞军^[152]将滑坡体视为一个完整体系的结构物(或震动对象),将滑坡场点视为一个工程场点,利用比较成熟的地震危险性概率分析方法计算滑坡体未来若干年内可能遭遇的不同超越概率水平下的地震峰值加速度,进而获得地震滑坡危险性的信息。文畅平等^[153]基于属性数学理论开展了岩土边坡地震稳定性评价。高科等^[154]基于突变级数法的边坡地震稳定性综合评价的实质也是专家知识驱动。

2.2 真实数据驱动

由于汶川地震前缺乏较全面详实的地震滑坡编录数据,因此开展真实数据驱动的滑坡评价与预测的研究较少。这方面的研究所使用的滑坡分布数据也往往并非全面的地震滑坡编录成果,与真实的地震滑坡情况也有一定的差距。真实滑坡数据驱动的滑坡评价与预测包括多种模型,如概率模型、逻辑回归模型^[155]、神经网络模型等。陈晓利等^[156]利用径向基概率神经网络自学习的特性,通过对样本训练、检测,得到一个稳定可靠的模式识别网络,并将其应用于云南省龙陵、潞西两次强震地震区的潜在地震滑坡危险性区划,结果表明精度达到89.9%以上。此外,还包括1973年炉霍7.9级地震、1974年昭通7.1级地震、1996年丽江地震7.0级的应用^[157]。高艳平等^[158]以滑坡对象为评价单元,研究了神经网络在预测边坡地震稳定性中的应用,学习样本选用了中国大陆7次地震已滑动的21个斜坡,及1996年丽江地震中稳定的8个斜坡。17个在1996年丽江地震时实际已发生崩滑的斜坡,用以上经学习后的神经网络用于边坡稳定性判别系统,结果表明判别符合率为100%。类似的方法还应用于岷江上游流域的滑坡^[159]。此外,王兰民等^[160]通过对国内外黄土地震灾害现场考察资料的分析、室内土动力学试验研究和典型震害实例的反演分析计算,根据地震滑坡与地震参数的关系来研究了黄土地震灾害区划指标与方法。这也算一种基于真实地震滑坡数据驱动的滑坡评价与预测方法。

3 其他研究

地震滑坡特征与分布规律、评价与预测是2008汶川地震前地震滑坡研究的主要内容之一,关于单体地震滑坡分析、

稳定性计算与评价是地震滑坡的另一个主要方向。限于篇幅,这方面的内容将在其他文章中详细总结与介绍。除了这些方面,还有少量的一些地震滑坡的其他研究内容。如高振寰^[161]根据对1976年5月29日龙陵7.3级与7.4级地震,1976年7月28日唐山7.8级地震灾害的研究,发现了盆地中的震害分布除受土层厚度影响外,还与盆地中土层之下的基岩界面坡度有关,坡度越陡,震害越重。王兰民等^[162]根据黄土的动应力与积累残余应变关系曲线研究了黄土滑坡的黄土地震动作用下的强度。陈国顺^[163]将山西地震带中与强震活动有关的两种滑坡分类为振荡式滑坡和触发式滑坡。虽然两种滑坡都可分为变形、解体、滑动、毁灭等4个阶段,但其动力不同。振荡式滑坡的滑动面倾角小,故滑力来源于地震力;触发式滑坡的滑动面倾角大,滑力来自滑体的重力作用。石玉成等^[164]研究了黄土场地土层结构对地震地面运动参数的影响。张振中等^[165]研究了黄土随机振动强度参数。陈文化^[166]基于几次地震实例分析了地震滑坡中的液化流滑形式的一些原因。冯先岳^[167]论述了包括地震滑坡在内的地震地貌及其成因机制。黄小琴^[168]简单探讨了地震滑坡的信息管理系统。

4 结论

总结了2008年汶川地震前中国的区域地震滑坡研究情况,主要从地震滑坡特征与分布规律、地震滑坡评价与预测两个方面开展论述。这些研究所取得的成果为后续的地震滑坡研究提供了很好的素材与方法借鉴。然而,一些存在的问题也不容忽视,主要包括如下几个方面:

1) 一些研究建立了地震震级与滑坡的定量对比关系,但是缺乏与国外地震事件的对比,且考虑地震因素均是基于震级,缺乏活动构造、区域地形、地质、地貌方面的信息。当然,这一方面的研究在国外与当前也是缺乏的。有必要在地震震级与地震滑坡松散关系的基础上,考虑更多的因素,进一步限定地震滑坡信息导出信息,以使结果参考价值与可用性更高。

2) 缺乏全面详细的基于单次地震事件的滑坡分布数据。受限于当时的遥感与GIS技术,尽管有些震区覆盖有航片,但是缺乏GIS技术,因此没有一个详细完整的滑坡编录图。一些重要的地震事件虽然有涉及滑坡编录,但是程度不深入,距离一个详细完整的滑坡编录数据甚远。尽管对滑坡的分布区域的研究都是相对准确的,但是对于滑坡的数量与面积是没有太多有价值的信息。而这一重要信息恰是后续地震滑坡空间分布分析与评价的基础。这一限制在国外受到的重视与解决的时间较早。在国内,自汶川地震发生以后,开始有很大的改观,笔者建立的2008年汶川地震滑坡空间分布数据包含了大量的地震滑坡记录^[169,170],并且应用于后续的地震滑坡相关研究^[171-173]。此外还有后来的2010年玉树地震^[174-176]、2010海地地震^[177]、2013年芦山地震^[178,179]、2013年岷

县漳县地震^[180]等均有相关的地震滑坡分布数据产出。

3) 地震滑坡评价模型并不完善。汶川地震前的地震滑坡评价与预测研究多是基于专家知识驱动,基于数据驱动的研究成果较少,且滑坡数据质量较差,模型预测能力有限。这一情况在汶川地震滑坡中^[181,182]与后来的地震滑坡研究中^[183,184]已经有了显著的改观。

建议对一些2008年的地震事件开展一些补救性研究,以对将来该地震区的地震滑坡防震减灾提供参考,并产出重要的地震滑坡基础数据,推动地震滑坡学科的进一步发展。

参考文献(References)

- [1] 许冲,戴福初,徐锡伟. 汶川地震滑坡灾害研究综述[J]. 地质论评, 2010, 56(6): 860-874.
Xu Chong, Dai Fuchu, Xu Xiwei. Wenchuan earthquake induced landslides: An overview[J]. Geological Review, 2010, 56(6): 860-874
- [2] 李树德,任秀生,岳升阳,等. 地震滑坡研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 24-25.
Li Shude, Ren Xiusheng, Yue Shengyang, et al. Study of earthquake-landslide[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2001, 8(2): 24-25.
- [3] 宋立胜. 历史地震与滑坡灾害[J]. 山西地震, 1994(2): 55-57.
Song Lisheng. Historical earthquake and landslide disaster[J]. Earthquake Research in Shanxi, 1994(2): 55-57.
- [4] 李为乐,伍霖,吕宝雄. 地震滑坡研究回顾与展望[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 103-108.
Li Weile, Wu Ji, Lü Baoxiong. Research on landslide triggered by earthquake: Review and prospect[J]. Journal of Catastrophology, 2011, 26(3): 103-108.
- [5] 李宏杰,戴福初,许冲. 地震滑坡研究现状综述[C]//2011年地球科学与国际学术会议, 2011, 158-165.
Li Hongjie, Dai Fuchu, Xu Chong. A review of the research on earthquake-induced landslides[C]//2011 AASRI Conference on Applied Information Technology (AASRI-AIT 2011). 2011, 158-165.
- [6] 程谦恭,张倬元,黄润秋. 高速远程崩滑动力学的研究现状及发展趋势[J]. 山地学报, 2007, 25(1): 72-84.
Cheng Qiangong, Zhang Zhuoyuan, Huang Runqiu. Study on dynamics of rock avalanches: State of the art report[J]. Journal of Mountain Science, 2007, 25(1): 72-84.
- [7] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元前23世纪-公元1911年)[M]. 北京:地震出版社, 1995.
Disaster Prevention Department of National Seismological Bureau. Catalog of strong historical earthquake of China (23 century B.C.-1911 A.D.)[M]. Beijing: Seismological Press, 1995.
- [8] 中国地震局震害防御司. 中国近代地震目录(公元1912—1990年 $M \geq 4.7$)[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1999.
Disaster Prevention Department of China Earthquake Administration. Catalog of modern earthquake of China (1912 A.D.-1990 A.D.)[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1999.
- [9] 邓清禄,王学平. 长江三峡库区滑坡与构造活动的关系[J]. 工程地质学报, 2000, 8(2): 136-141.
Deng Qinglu, Wang Xueping. Relationship between neotectonism and landslides in reservoir area of Three-Gorges project on Yangtze River [J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(2): 136-141.
- [10] 孙崇绍,蔡红卫. 我国历史地震时滑坡崩塌的发育及分布特征[J]. 自

- 然灾害学报, 1997, 6(1): 25-30.
- Sun Chongshao, Cai Hongwei. Developing and distributing characteristics of collapses and landslides during strong historic earthquake in China[J]. Journal of Natural Disasters, 1997, 6(1): 25-30.
- [11] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 中国滑坡堵江事件目录[J]. 地质灾害与环境, 1995, 6(4): 1-9.
- Chai Hejun, Liu Hanchao, Zhang Zhuoyuan. The catalog of Chinese Landslide dam events[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1995, 6(4): 1-9.
- [12] 柴贺军, 黄润秋, 刘汉超. 滑坡堵江危险度的分析与评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(4): 1-7.
- Chai Hejun, Huang Runqiu, Liu Hanchao. Analysis and evaluation on landslide for its risk degree of damming a river[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1997, 8(4): 1-7.
- [13] 严容. 岷江上游崩滑堵江次生灾害及环境效应研究[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- Yan Rong. Secondary disaster and environmental effect of landslided and collapsed dams in the upper reaches of Minjiang River[D]. Chengdu: Sichuan University, 2006.
- [14] 聂高众, 高建国, 邓砚. 地震诱发的堰塞湖初步研究[J]. 第四纪研究, 2004, 24(3): 293-301.
- Nie Gaozhong, Gao Jianguo, Deng Yan. Preliminary study on earthquake-induced dammed lake[J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(3): 293-301.
- [15] 辛鸿博, 王余庆. 岩土边坡地震崩滑及其初判准则[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5): 591-594.
- Xin Hongbo, Wang Yuqing. Earthquake-induced landslide and avalanche[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(5): 591-594.
- [16] 李忠生. 国内外地震滑坡灾害研究综述[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 64-70.
- Li Zhongsheng. The state of the art of the research on seismic landslide hazard at home and abroad[J]. Journal of Catastrophology, 2003, 18(4): 64-70.
- [17] 王克鲁, 宋惠珍, 刘慧敏. 中国地震震害特征及其意义[J]. 地震地质, 1983, 5(1): 59-69.
- Wang Kelu, Song Huizhen, Liu Huimin. The earthquake disaster for the earthquakes in China and its implications[J]. Seismology and Geology, 1983, 5(1): 59-69.
- [18] 杨涛, 邓荣贵, 刘小丽. 四川地区地震崩塌滑坡的基本特征及危险性分区[J]. 山地学报, 2002, 20(4): 456-460.
- Yang Tao, Deng Ronggui, Liu Xiaoli. The distributing and subarea character of the seismic landslides in Sichuan[J]. Journal of Mountain science, 2002, 20(4): 456-460.
- [19] 才树华, 王兰民, 袁中夏. 陕甘宁晋地区黄土地震滑坡致灾距的初步研究[J]. 西北地震学报, 1998, 20(4): 75-82.
- Cai Shuhua, Wang Lanmin, Yuan Zhongxia. A Preliminary study on the seismic landslide distance in the Shanxi-Gansu-Ningxia-Shaanxi loess region[J]. Northwestern Seismological Journal, 1998, 20(4): 75-82.
- [20] 姚清林. 中国西北黄土地区地震崩滑的分布与宏观影响因素[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(1): 41-47.
- Yao Qinglin. Distribution characteristics and macroscopic influencing factors of seismic loess landslides in northwest China[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2007, 30(1): 41-47.
- [21] 丁彦慧, 王余庆, 孙进忠. 地震崩滑与地震参数的关系及其在边坡震害预测中的应用[J]. 地球物理学报, 1999, 42(S1): 101-107.
- Ding Yanhui, Wang Yuqing, Sun Jinzhong. Correlation between landslides and seislides and seismic parameters and its application in predicting slope earthquake disaster[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1999, 42(S1): 101-107.
- [22] 张受生. 川滇的地震与山地灾害[C]//1992年中国地球物理学学会第八届学术年会论文集, 1992: 327.
- Zhang Shousheng. Earthquakes and mountain hazards in Sichuan and Yunnan Provinces[C]//Proceedings of the 8th Annual Conference of Chinese Geophysical Society in 1992, 1992: 327.
- [23] 周本刚, 张裕明. 中国西南地区地震滑坡的基本特征[J]. 西北地震学报, 1994, 16(1): 95-103.
- Zhou Bengang, Zhang Yuming. Some characteristics of earthquake-induced landslide in southwestern China[J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(1): 95-103.
- [24] Chen X L, Zhou Q, Ran H L, et al. Earthquake-triggered landslides in southwest China[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2012, 12(2): 351-363.
- [25] 乔建平, 蒲晓虹. 川滇地震滑坡分布规律探讨[J]. 地震研究, 1992, 15(4): 411-417.
- Qiao Jianping, Pu Xiaohong. A preliminary study on the distributive regulation of seismic landslide in Sichuan and Yunnan[J]. Journal of Seismological Research, 1992, 15(4): 411-417.
- [26] 吴其伟. 地震对山区自然斜坡稳定性的影响[J]. 山地学报, 1983, 1(1): 27-34.
- Wu Qiwei. The influence of earthquake on the natural slope stability in mountainous regions[J]. Mountain Research, 1983, 1(1): 27-34.
- [27] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 一九三三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, 1995, 6(1): 7-17.
- Chai Hejun, Liu Hanchao, Zhang Zhuoyuan. Landslide dams induced by Diexi earthquake in 1933 and its environmental effect[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1995, 6(1): 7-17.
- [28] 许向宁, 王兰生. 岷江上游叠溪地震区斜坡变形破坏分区特征及其成因机制分析[J]. 工程地质学报, 2005, 13(1): 68-75.
- Xu Xiangning, Wang Lansheng. On the mechanism of slope deformation-failures and their distribution characteristics in a high earthquake-intensity area[J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(1): 68-75.
- [29] 陈丙午. 地震滑坡灾害的特点与减灾对策[C]//中国地震学会第四次学术大会论文摘要集, 1992: 95.
- Chen Bingwu. Characteristics and mitigation countermeasures of earthquake-triggered landslide hazards[C]//The 4th Academic Conference Abstract of Chinese Seismological Society, 1992: 95.
- [30] 王兰生, 杨立铮, 王小群, 等. 岷江叠溪古堰塞湖的发现[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2005, 32(1): 1-11.
- Wang Lansheng, Yang Lizheng, Wang Xiaoqun, et al. Discovery of huge ancient dammed lake on upstream of Minjiang River in Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2005, 32(1): 1-11.
- [31] 王兰生, 王小群, 许向宁, 等. 岷江上游近两万年发生了什么事件? [J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 189-196.
- Wang Lansheng, Wang Xiaoqun, Xu Xiangning, et al. What happened on the upstream of Minjiang River in Sichuan Province 20000 years ago?[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(4): 189-196.
- [32] 宋娟, 贺海斌. 叠溪地震滑坡振动台试验研究[J]. 建筑科学, 2009, 25(5): 36-40.

- Song Juan, He Haibin. Study on vibration table test of Dixi earthquake landslide [J]. Building Science, 2009, 25(5): 36-40.
- [33] 刘岁海, 刘爱平. 四川省康定县地质灾害特征及其形成机理研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 226-229.
- Liu Suihai, Liu Aiping. Study on characteristics and formation mechanism of geological hazard in Kangding county of Sichuan province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(2): 226-229.
- [34] 朱海之, 王克鲁, 赵其强. 从昭通地震破坏实例看山区地震地面破坏特点[J]. 地质科学, 1975, (3): 230-242, 297.
- Zhu Haizhi, Wang Kelu, Zhao Qiqiang. A discussion on the seismic ground failure in mountain region as from the Zhao Tong earthquake damage[J]. Science Geological Sinica, 1975, (3): 230-242, 297.
- [35] 王克鲁, 高振寰, 徐嘉谟, 等. 龙陵地震震害与地质[J]. 地质科学, 1978(3): 275-282.
- Wang Kelu, Gao Zhenhuan, Xu Jiamo, et al. The Geology of earthquake disaster caused by Longling earthquake[J]. Scientia Geological Sinica, 1978(3): 275-282.
- [36] 陈晓利, 冉洪流, 祁生文. 1976年龙陵地震诱发滑坡的影响因子敏感性分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(1): 104-110.
- Chen Xiaoli, Ran Hongliu, Qi Shengwen. Triggering factors susceptibility of earthquake-induced Landslides in 1976 Longling earthquake[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2009, 45(1): 104-110.
- [37] 杨喆, 程家喻. 澜沧—耿马地震灾情的航空遥感调查[J]. 国土资源遥感, 1993(1): 17-22.
- Yang Zhe, Cheng Jiayu. Survey of earthquake disasters by airborne remote sensing in Lancang and Gengma area[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1993(1): 17-22.
- [38] 唐川, 黄楚兴, 万晔. 云南省丽江大地震及其诱发的崩塌滑坡灾害特征[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 76-84.
- Tang Chuan, Huang Chuxing, Wan Ye. Rockfalls and slumps in Yunnan[J]. Journal of Natural Disasters, 1997, 6(3): 76-84.
- [39] 张西娟, 曾庆利, 马寅生. 玉龙—哈巴雪山断块差异隆升的基本特征及其地质灾害效应[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1075-1082.
- Zhang Xijuan, Zeng Qingli, Man Yinsheng. Basic characteristics of the differential uplift of the Yulong-Haba block and its geological hazard effects[J]. Geology in China, 2006, 33(5): 1075-1082.
- [40] 王锡财, 崔建文, 施伟华, 等. 永胜6.0级地震灾害调查及分析[J]. 中国地震, 2002, 18(2): 214-220.
- Wang Xicai, Cui Jianwen, Shi Weihua, et al. Damage and analysis of Yongsheng M 6.0 earthquake[J]. Earthquake Research in China, 2002, 18(2): 214-220.
- [41] 魏顺民, 向宏发, 张靖, 等. 1515年云南永胜地震形变带和震级讨论[J]. 地震研究, 1988, 11(2): 153-162.
- Guo Shunmin, Xiang Hongfa, Zhang Jing, et al. Discussion on the deformation band and magnitude of the 1515 Yongsheng earthquake in Yunnan province[J]. Journal of Seismological Research, 1988, 11(2): 153-162.
- [42] Dai F C, Lee C F, Deng J H, et al. The 1786 earthquake-triggered landslide dam and subsequent dam-break flood on the Dadu River, southwestern China[J]. Geomorphology, 2005, 65(3): 205-221.
- [43] 俞维贤, 宋方敏, 闻学泽, 等. 1850年西昌地震地表破裂带的考察研究[J]. 地震研究, 2001, 24(4): 346-350.
- Yu Weixian, Song Fangmin, Wen Xueze, et al. Study of the surface rupture zone of Xichang earthquake in 1850[J]. Journal of Seismological Research, 2001, 24(4): 346-350.
- [44] 朱成男, 周瑞琦. 1979年云南普洱6.8级地震地表破坏的基本分析[J]. 西北地震学报, 1980, 2(2): 64-71, 97.
- Zhu Chengnan, Zhou Ruiqi. Basic analyses of earth surface damages triggered by the 1979 Ning'er M 6.8 earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 1980, 2(2): 64-71, 97.
- [45] 乔建平, 蒲晓虹. 四川沐川—马边(1994-12-30)5.5级地震山地灾害类型研究[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(3): 92-98.
- Qiao Jianping, Pu Xiaohong. Study on types of mountain disaster induced by Muchuan and Mabian earthquake (M=5.5) on 1994-12-30 in Sichuan[J]. Journal of Natural Disaster, 1995, 4(3): 92-98.
- [46] 郑万模, 巴仁基, 刘宇杰, 等. 四川康定城市地震地质及地质灾害风险评价[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(3): 75-78.
- Zheng Wanmo, Ba Renji, Liu Yujie, et al. Risk evaluation of urban seismogeology and geological hazards in Kangding, western Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2012, 32(3): 75-78.
- [47] 宋光齐. 雅江、康定地震次生地质灾害的预防[J]. 四川地质学报, 2002, 22(1): 35-38.
- Song Guangqi. Control on secondary geological hazards derived from earthquakes in Yajiang-Kangding region[J]. Acta Geological Sichuan, 2002, 22(1): 35-38.
- [48] 何玉林, 王云基, 杜国光, 等. 2001年5月24日四川盐源5.8级地震灾害及损失评估[J]. 四川地震, 2002(2): 23-27.
- He Yulin, Wang Yunji, Du Guoguang, et al. General description of the M5.8 earthquake occurring in Yanyuan of Sichuan Province on 24 May 2001[J]. Earthquake Research in Sichuan, 2002(2): 23-27.
- [49] 张红兵, 崔建文, 张能, 等. 云南普洱地震引发地质灾害效应初步分析[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(5): 46-49.
- Zhang Hongbing, Cui Jianwen, Zhang Neng, et al. Preliminary analysis on Ning'er earthquake effect of triggering geological hazards, Yunnan province[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(5): 46-49.
- [50] 杨晓平, 陈立春, 马文涛, 等. 2007年6月3日宁洱6.4级地震地表变形的构造分析和解释[J]. 地震学报, 2008, 30(2): 165-175.
- Yang Xiaoping, Chen Lichun, Ma Wentao, et al. Structural analysis and interpretation of the surface deformation associated with the Ning'er, Yunnan Province, China M_s 6.4 earthquake of June 3, 2007 [J]. Acta Seismological Sinica, 2008, 30(2): 165-175.
- [51] 陈洪凯, 唐红梅. 三峡库区大型滑坡发育机理[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2009, 26(4): 43-47.
- Chen Hongkai, Tang Hongmei. Developing mechanism of giant landslides in the area of Three Gorges reservoir[J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition, 2009, 26(4): 43-47.
- [52] Duan L Z, Ming Q Z, Zhang H C, et al. Research progress of landslide dam events of Jinsha River and its geomorphologic and environmental effects[J]. Advances in Geosciences, 2013, 3: 8-17.
- [53] 李乾坤, 徐则民, 张家明. 永胜金沙江寨子村古滑坡和古堰塞湖的发现[J]. 山地学报, 2011, 29(6): 729-737.
- Li Qiankun, Xu Zemin, Zhang Jiaming. The ancient landslide and dammed lake found in the Jinsha River near Zhaizicun, Yongsheng, Yunnan, China[J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(6): 729-737.
- [54] 杜泽, 王品, 官琦. 程海断裂带金沙江段滑坡群的发现[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(33): 8815-8821, 8825.
- Du Ze, Wang Pin, Guan Qi. The discovery of landslide group along Jinshajiang segment of Chenghai fault[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(33): 8815-8821, 8825.

- [55] 吉锋, 石豫川, 刘汉超, 等. 大渡河新华古滑坡体成因机制及稳定性研究[J]. 水文地质工程地质, 2005(4): 24-27.
Ji Feng, Shi Yuchuan, Liu Hanchao, et al. Study on formation mechanism and stability of ancient Xinhua landslide in Daduhe River [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(4): 24-27.
- [56] 唐汉军, 史兰斌, 胥怀济, 等. 鲜水河断裂带东南段一次强烈古地震的发现[J]. 地震研究, 1995, 18(1): 86-89.
Tang Hanjun, Shi Lanbin, Xu Huaiji, et al. The evidences for a strong palaeoearthquake along the southeastern segment of the Xianshuihe fault zone[J]. Journal of Seismological Research, 1995, 18(1): 86-89.
- [57] 杨媛媛, 黄宏伟. 四川省滑坡灾害记录分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(S2): 5366-5370.
Yang Yuanyuan, Huang Hongwei. Landslide hazard probability analysis for Sichuan Province using landslide inventory[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(S2): 5366-5370.
- [58] 李玉文. 大庸崩塌灾害考[J]. 灾害学, 1989(1): 79-80.
Li Yuwen. Textual research of the Dayong slump disaster[J]. Journal of Catastrophology, 1989(1): 79-80.
- [59] 张汝翼. 黄土高原山崩初探[J]. 人民黄河, 1990(2): 68-72.
Zhang Ruyi. Landslip in loess plateau[J]. Yellow River, 1990(2): 68-72.
- [60] 张茂省, 李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540.
Zhang Maosheng, Li Tonglu. Triggering factors and forming mechanism of loess landslide[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 530-540.
- [61] 杨章. 新疆古地震滑坡的初步研究[J]. 地震学刊, 1988(3): 1-6, 77-78.
Yang Zhang. Preliminary study landslip of paleoearthquake in Xinjiang [J]. Journal of Seismology, 1988(3): 1-6, 77-78.
- [62] Li T L, Wang C Y, Li P. Loess deposit and loess landslides on the Chinese Loess Plateau [C]//Progress of Geo-Disaster Mitigation Technology in Asia. 2013, Springer, 235-261.
- [63] Zhou J X, Zhu C Y, Zheng J M, et al. Landslide disaster in the loess area of China[J]. Journal of Forestry Research, 2002, 13(2): 157-161.
- [64] 陈永明, 石玉成. 中国西北黄土地区地震滑坡基本特征[J]. 地震研究, 2006, 29(3): 276-280, 318.
Chen Yongming, Shi Yucheng. Basic characteristics of seismic landslides in loess area of northwest China[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(3): 276-280, 318.
- [65] 陈永明, 石玉成, 刘红玫, 等. 黄土地区地震滑坡的分布特征及其影响因素分析[J]. 中国地震, 2005, 21(2): 235-243.
Chen Yongming, Shi Yucheng, Liu Hongmei, et al. Distribution characteristics and influencing factors analysis of seismic loess landslides[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(2): 235-243.
- [66] 王维升, 万鑫. 浅议黄土滑坡的分布规律及形成条件[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 82-86.
Wang Weisheng, Wan Xin. Distribution regularity and forming condition of loess landslide[J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(2): 82-86.
- [67] 尚慧, 倪万魁, 刘海松. 宁夏回族自治区西吉县地震诱发黄土滑坡发育特征与分布规律[J]. 水土保持通报, 2012, 32(5): 28-31.
Shang Hui, Ni Wankui, Liu Haisong. Development characteristics and distribution of earthquake-induced loess landslides in Xiji County of Ningxia Hui autonomous region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(5): 28-31.
- [68] Lin Z G, Xu Z J, Zhang M S. Loess in China and landslides in loess slopes[C]//Proceedings of the Tenth International Symposium on Landslides and Engineered Slopes. Balkema, Christchurch, 2008: 129-144.
- [69] 宋利萍, 沈克金. 甘肃中东部地震滑坡灾害的机制与预防[J]. 高原地震, 2007, 19(3): 50-53.
Song Liping, Shen Kejin. The mechanisms and characteristics of earthquake landslips in middle-eastern area in Gansu Province[J]. Plateau Earthquake Research, 2007, 19(3): 50-53.
- [70] 张俊玲, 宋莉萍, 钟心, 等. 甘肃地震造成人员伤亡的要素分析[J]. 高原地震, 2006, 18(4): 62-68.
Zhang Junling, Song Liping, Zhong Xin, et al. Characteristics of casualties caused by earthquakes in Gansu Province[J]. Earthquake Research in Plateau, 2006, 18(4): 62-68.
- [71] 王江红, 杨太保, 郭小花. 甘肃省历史地震滑坡及其产生的条件[EB/OL]. 中国科技论文在线, 2010.
Wang Jianghong, Yang Taibao, Guo Xiaohua. Historical earthquake landslides in Gansu Province and factors of them[EB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>, 2010.
- [72] 白铭学. 宁夏黄土地区震害与居住环境的关系[J]. 国际地震动态, 1983(7): 5-7.
Bai Mingxue. Relationship of earthquake damages in Ningxia loess area and the living environment[J]. Recent Developments in World Seismology, 1983(7): 5-7.
- [73] 兰青龙, 郭星全, 孟雁英. 山西历史地震引起的黄土灾害的分布特征[J]. 山西地震, 2003(4): 14-19.
Lan Qinglong, Guo Xingqin, Meng Yanying. Distribution characteristics of loess disasters in Shanxi, caused by historical earthquakes[J]. Earthquake Research in Shanxi, 2003(4): 14-19.
- [74] 肖振敏, 江娃利. 山西断陷带历史强震及全新世古地震地表破裂特征[C]//地壳构造与地壳应力文集, 1998: 1-12.
Xiao Zhenmin, Jiang Wali. Characteristics of surface rupture belts formed by historical and Paleo- earthquakes along the Shanxi Fault depression zone[C]//Crustal Tectonics and Crustal Stress, 1998: 1-12.
- [75] 王景明. 渭河裂谷区活断层对地质灾害的制约[J]. 水土保持学报, 1988, 2(3): 29-36.
Wang Jingming. Control of the geological calamities in rift valley of Weihe River from active fault[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 2(3): 29-36.
- [76] 徐张建, 林在贯, 张茂省. 中国黄土与黄土滑坡[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(7): 1297-1312.
Xu Zhangjian, Lin Zaiguan, Zhang Maosheng. Loess in China and loess landslides[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(7): 1297-1312.
- [77] 王鼎, 王兰民. 河谷地区黄土地震滑坡特征与影响因素分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(S1): 434-438.
Wang Nai, Wang Lanmin. Characteristics and influencing factors of seismic loess slopes in valley areas[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(S1): 434-438.
- [78] 左发源, 曾思伟, 艾南山. 黄土高原西部滑坡研究[J]. 干旱区资源与环境, 1988, 2(1): 57-63.
Zuo Fayuan, Zeng Siwei, Ai Nanshan. On the landslides of west Loess Plateau[J]. Journal of Arid Land Resource and Environment, 1988, 2(1): 57-63.
- [79] 艾南山, 刘百麓, 周俊喜. 历史地震滑坡与新构造应力场关系新知

- [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1984, 20(1): 174-176.
Ai Nanshan, Liu Baichi, Zhou Junxi. The new cognitions of relationships between historical earthquake-triggered landslides and newly tectonic stress field[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Science Edition, 1984, 20(1): 174-176.
- [80] 艾南山, 左发源. 甘肃东乡地区滑坡滑移方向统计分析[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1985, 21(3): 133.
Ai Nanshan, Zuo Fayuan. The statistics analysis of slip direction of landslides in Gansu Dongxiang area[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Science Edition, 1985, 21(3): 133.
- [81] 王念秦. 黄土滑坡发育规律及其防治措施研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2004.
Wang Nianqin. Study on the growing laws and controlling measures for loess landslide[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2004.
- [82] 尹光华, 李军, 张勇, 等. 尼勒克地震滑坡的统计分析及初步研究[J]. 内陆地震, 2001, 15(1): 56-63.
Yin Guanghua, Li Jun, Zhang Yong, et al. Statistical analysis and research of landslides caused by Nileke earthquake[J]. Inland Earthquake, 2001, 15(1): 56-63.
- [83] 杨章, 陈祥玉, 尹光华, 等. 1812年3月8日新疆尼勒克8级大震[J]. 西北地震学报, 1985, 7(1): 59-65.
Yang Zhang, Chen Xiangyu, Yin Guanghua, et al. The Nileke great earthquake ($M=8.0$, March 8, 1812, Xinjiang) [J]. Northwestern Seismological Journal, 1985, 7(1): 59-65.
- [84] 尹光华, 蒋靖祥, 裴宏达. 1812年尼勒克地震断层及最大位移[J]. 内陆地震, 2006, 20(4): 296-304.
Yin Huanghua, Jiang Jingxiang, Pei Hongda. The fault and the maximal displacement of Nileke earthquake in 1812[J]. Inland Earthquake, 2006, 20(4): 296-304.
- [85] 冯先岳. 新疆尼勒克地震断层带[J]. 内陆地震, 1990, 4(3): 273-277.
Feng Xianyue. The Nilka earthquake fault zone in Xinjiang[J]. Inland Earthquake, 1990, 4(3): 273-277.
- [86] 李原. 地震洪水的次生灾害: 滑坡和崩塌[J]. 环境, 1994(12): 30.
Li Yuan. Secondary disasters of earthquakes and floods: Landslides and avalanches[J]. Environment, 1994(12): 30.
- [87] 陈晓利, 叶洪. 利用GIS进行地震滑坡分析[J]. 山西地震, 2003(2): 17-19.
Chen Xiaoli, Ye Hong. Application of GIS for earthquake landslide research[J]. Earthquake Research in Shanxi, 2003(2): 17-19.
- [88] 邹谨敞, 邵顺妹. 海原地震滑坡及其分布特征探讨[J]. 内陆地震, 1996, 10(1): 1-6.
Zhou Jinchang, Shao Shunmei. Characteristics of Haiyuan earthquake landslide and its distribution[J]. Inland Earthquake, 1996, 10(1): 1-6.
- [89] 单鹏飞. 宁夏西吉地区滑坡灾害地貌的成因分析[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 535-542.
Shai Pengfei. Original analysis of the slide hazard-induced landforms in the Xiji region of Ningxia[J]. Journal of Geographical Sciences, 1996, 51(6): 535-542.
- [90] 卢育霞. 宁夏西吉县境地地震滑坡的地貌特征及其减灾开发对策探讨[J]. 西北地震学报, 2007, 29(1): 79-83.
Lu Yuxia. Landform characteristics of seismic landslides in Xiji County, Ningxia Province, and discussion on the countermeasures of landslide exploration and disaster mitigation[J]. Northwestern Seismological Journal, 2007, 29(1): 79-83.
- [91] Zhang D, Wang G. Study of the 1920 Haiyuan earthquake-induced landslides in loess (China)[J]. Engineering Geology, 2007, 94(1): 76-88.
- [92] Wang G H, Zhang D X, Furuya G, et al. On the mechanism for a long-travel loess landslide triggered by the 1920 Haiyuan Earthquake in China[C]//Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides. Tokyo: Universal Academy Press, Inc, 2006: 3-12.
- [93] 邓龙胜, 范文. 宁夏海原8.5级地震诱发黄土滑坡的变形破坏特征及发育机理[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 30-37.
Deng Longsheng, Fan Wen. Deformation breakage characteristics and development mechanism of loess landslide triggered by Haiyuan $M8.5$ earthquake in Ningxia[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(3): 30-37.
- [94] Li W L, Huan, R Q, Pei X J, et al. Historical co-seismic landslide inventory with google earth: A case study of 1920 Haiyuan Earthquake, China[C]//Global View of Engineering Geology and the Environment. Boca Raton: CRC Press, 2013: 179-184.
- [95] 邹谨敞, 邵顺妹. 古浪大震的黄土滑坡灾害[C]//中国地震学会第四次学术大会论文摘要集, 1992: 100.
Zhou Jinchang, Shao Shunmei. The loess landslide disaster triggered by the Gulang strong earthquake[C]//The Fourth Proceedings of the Academic Conference Abstracts of Chinese Seismological Society, 1992: 100.
- [96] 邹谨敞, 邵顺妹, 蒋荣发. 古浪地震滑坡的分布规律和构造意义[J]. 中国地震, 1994, 10(2): 168-174.
Zhou Jinchang, Shao Shunmei, Jiang Rongfa. Distribution and tectonic implications on the Gulang seismic landslide[J]. Earthquake Research in China, 1994, 10(2): 168-174.
- [97] 陈永明, 刘洪春, 曾文浩, 等. 古浪大震的地质灾害及破坏特征[J]. 西北地震学报, 1999, 21(3): 315-320.
Chen Yongming, Liu Hongchun, Zeng Wenhao, et al. Geological disasters and destroying characteristics of the 1927 Gulang $M8$ earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 1999, 21(3): 315-320.
- [98] 康来迅, 王建荣. 昌马断裂带触冻泥石流的基本特征[J]. 东北地震研究, 1996, 12(4): 34-39.
Kang Laixun, Wang Jianrong. Basic characteristics of thawing debris flows along Changma fault belt[J]. Seismological Research of Northeast China, 1996, 12(4): 34-39.
- [99] 康来迅, 邹谨敞, 蒋荣发. 昌马断裂带地震滑坡的基本特征[J]. 华南地震, 1995, 15(1): 49-54.
Kang Laixun, Zhou Jinchang, Jiang Rongfa. Main characteristics of seismic landslides along the Changma fault zone[J]. South China Journal of Seismology, 1995, 15(1): 49-54.
- [100] 康来迅, 王建荣. 昌马断裂带地震滑坡的展布特征[J]. 山地研究, 1995, 13(1): 35-41.
Kang Laixun, Wang Jianrong. A study on distribution characteristics of seismic landslides along the Changma fault belt[J]. Mountain Research, 1995, 13(1): 35-41.
- [101] 康来迅. 昌马断裂带滑坡之研究[J]. 内陆地震, 1988, 2(4): 376-381.
Kang Laixun. Study on the characteristics of landslide of Changma fault zone[J]. Inland Earthquake, 1988, 2(4): 376-381.
- [102] 康来迅, 王建荣. 昌马断裂带地震滑坡的期次与年代[J]. 地震学报, 1995, 17(3): 396-399.
Kang Laixun, Wang Jianrong. The stages and dating of seismic landslides along the Changma fault zone[J]. Seismologica Sinica, 1995, 17(3): 396-399.
- [103] 冯学才. 永登5.8级地震的震害与环境工程地质[J]. 甘肃科学学报,

- 1996, 8(2): 60-63.
- Feng Xuecai. The hazard character and environmental engineering geology of Yongdeng earthquake ($M_{5.6}$, July, 22, 1995)[J]. Journal of Gansu Sciences, 1996, 8(2): 60-63.
- [104] 王峻. 黄土易损性与地震黄土滑坡关系探讨[J]. 甘肃科学学报, 2008, 20(2): 36-40.
- Wang Jun. Discussion on loess vulnerability and seismic loess landslides[J]. Journal of Gansu Sciences, 2008, 20(2): 36-40.
- [105] 赵桐, 张有龙, 李麒麟, 等. 兰州-民和盆地构造研究及与新构造运动相关灾害问题讨论[J]. 西北地质, 2000, 33(1): 1-7.
- Zhao Tong, Zhang Youlong, Li Qilin, et al. Discuss on the structure research of Lanzhou Minhe basin and disasters associated with the new tectonic movement[J]. Northwestern Geology, 2000, 33(1): 1-7.
- [106] 齐吉琳, 赵武国, 张振中, 等. 甘肃永登5.8级地震黄土震害特征及机理分析[J]. 西北地震学报, 1998, 20(1): 70-75.
- Qi Jilin, Zhao Wuguo, Zhang Zhenzhong, et al. Analysis on characteristics and mechanism of the seismic damage in loess in Yongdeng $M_{5.8}$ earthquake region, Gansu Province[J]. Northwestern Seismological Journal, 1998, 20(1): 70-75.
- [107] 袁道阳, 雷中生, 刘小凤, 等. 138年金城-陇西 $6\frac{3}{4}$ 级地震的史料考证与发震构造背景探讨[J]. 地震地质, 2004, 26(1): 52-60.
- Yuan Daoyang, Lei Zhongsheng, Liu Xiaofeng, et al. Textual research on the historical data of the 138 AD Jincheng-Longxi $M_{6\frac{3}{4}}$ earthquake and discussion on its seismogenic structural background [J]. Seismology and Geology, 2004, 26(1): 52-60.
- [108] 雷中生, 包向农, 张颖. 1125年兰州7级地震震中位置初探[J]. 西北地震学报, 2000, 22(2): 191-193.
- Lei Zhongsheng, Bao Xiangnong, Zhang Ying. A preliminary study on epicentral location of the Lanzhou M_{7} earthquake in 1125[J]. Northwestern Seismological Journal, 2000, 22(2): 191-193.
- [109] 袁道阳, 雷中生, 刘百麓, 等. 兰州1125年7级地震考证与发震构造分析[J]. 中国地震, 2002, 18(1): 67-75.
- Yuan Daoyang, Lei Zhongsheng, Liu Baichu, et al. Textual research on the 1125 Lanzhou $M_{7.0}$ earthquake and the causative structure [J]. Earthquake Research in China, 2002, 18(1): 67-75.
- [110] 宋方敏, 袁道阳, 陈桂华, 等. 1125年兰州7级地震地表破裂类型及其分布特征[J]. 地震地质, 2007, 29(4): 834-844.
- Song Fangmin, Yuan Daoyang, Chen Guihua, et al. Pattern and combination features of the surface ruptures of the 1125 A.D. Lanzhou M_{7} earthquake[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(4): 834-844.
- [111] 郑文俊, 雷中生, 袁道阳, 等. 1573年甘肃岷县地震史料考证与发震构造探讨[J]. 中国地震, 2007, 23(1): 75-83.
- Zheng Wenjun, Lei Zhongsheng, Yuan Daoyang, et al. Textual Research on the historical data of the 1573 A.D. minxian earthquake in Gansu Province and discussion on its seismogenic structure[J]. Earthquake Research in China, 2007, 23(1): 75-83.
- [112] 郑文俊, 雷中生, 袁道阳, 等. 1837年甘肃岷县北6级地震考证与发震构造分析[J]. 地震, 2007, 27(1): 120-130.
- Zheng Wenjun, Lei Zhongsheng, Yuan Daoyang, et al. Structural research on the 1837 northern minxian M_{6} earthquake in Gansu Province and its causative structure[J]. Earthquake, 2007, 27(1): 120-130.
- [113] 罗福忠, 曲延军, 王坚. 1996年11月19日新疆和田喀喇昆仑山口7.1级地震[J]. 内陆地震, 2003, 17(1): 33-38.
- Luo Fuzhong, Qu Yanjun, Wang Jian. Study on the $M=7.1$ earthquake at the mouth of Kalakunlun MT. in Hetian Xinjiang on Nov. 19, 1996[J]. Inland Earthquake, 2003, 17(1): 33-38.
- [114] 王景明. 1556年陕西华县大地震的地面破裂[J]. 地震学报, 1980, 2(4): 430-437.
- Wang Jingming. Ground ruptures during the large earthquake of 1556, Huaxian County, Shaanxi[J]. Seismologica Sinica, 1980, 2(4): 430-437.
- [115] 侯康明, 雷中生, 万夫岭, 等. 1879年武都南8级大地震及其同震破裂研究[J]. 中国地震, 2005, 21(3): 295-310.
- Hou Kangming, Lei Zhongsheng, Wan Fuling, et al. Research on the 1879 southern Wudu $M_{8.0}$ earthquake and its coseismic ruptures[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(3): 295-310.
- [116] 贺明静. 潼关原北缘的老滑坡[J]. 灾害学, 1987, (1): 89.
- He Mingjing. The old landslides of at the northern margin of Tongguan[J]. Journal of Catastrophology, 1987, (1): 89.
- [117] 安海堂, 刘平. 新疆伊犁地区黄土滑坡成因及影响因素分析[J]. 地质灾害与环境, 2010, 21(3): 22-25.
- An Haitang, Liu Ping. Genesis and influencing factors of loess landslides in Yili region in Xinjiang[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2010, 21(3): 22-25.
- [118] 殷志强, 程国明, 李小林, 等. 中更新世早中期以来黄河上游与三峡库区滑坡形成机理与气候变化关系研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(1): 37-45.
- Yin Zhiqiang, Cheng Guoming, Li Xiaolin, et al. Relationships between landslides forming mechanisms and climate changes since early mid-Pleistocene in the upper reaches of yellow river and the three gorges reservoir area[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(1): 37-45.
- [119] 李小林, 郭小花, 李万花. 黄河上游龙羊峡-刘家峡河段巨型滑坡形成机理分析[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 516-530.
- Li Xiaolin, Guo Xiaohua, Li Wanhua. The genetic mechanism analysis of large landslides along the section from Longyang Gorge to Liujia Gorge of the upper Yellow River[J]. Journal of engineering geology, 2011, 19(4): 516-530.
- [120] 袁兆德, 陈杰, 李文巧, 等. 帕米尔高原东部塔合曼大型滑坡体的 ^{10}Be 测年[J]. 第四纪研究, 2012, 32(3): 409-416.
- Yuan Zhaode, Chen Jie, Li Wenqiao, et al. ^{10}Be Dating of taheman large scale landslide in eastern Pamir and paleoseismic implications [J]. Quaternary Sciences, 2012, 32(3): 409-416.
- [121] 殷志强, 程国明, 胡贵寿, 等. 晚更新世以来黄河上游巨型滑坡特征及形成机理初步研究[J]. 工程地质学报, 2010, 18(1): 41-52.
- Yin Zhiqiang, Cheng Guoming, Hu Guishou, et al. Preliminary study on characteristic and mechanism of super-large landslides in upper Yellow River since late-Pleistocene[J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(1): 41-52.
- [122] 张春山. 黄河上游地区地质灾害形成条件与风险评估研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2003.
- Zhang Chunshan. Study on forming condition and risk evaluation of geological hazards in the upper reaches of the Yellow River[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2003.
- [123] 张春山, 张业成, 马寅生, 等. 黄河上游地区地质灾害分布规律与区划[J]. 地球学报, 2003, 24(2): 155-160.
- Zhang Chunshan, Zhang Yecheng, Ma Yinsheng, et al. Distribution regularity and regionalization of geological hazards in the upper Yellow River valley[J]. Geoscintia Sinica, 2003, 24(2): 155-160.

- [124] 夏浩明, 奚树枫. 霍山地区基岩滑坡与地震[J]. 地震地质, 1989, 11(3): 65-72.
Xia Haoming, Xi Shufeng. Earthquakes and bedrock slides in the Huoshan region[J]. Seismology and Geology, 1989, 11(3): 65-72.
- [125] 张世民, 杨景春, 苏宗正. 公元 1038 年定襄地震的地质、地貌遗迹的研究[J]. 华北地震科学, 1989, 7(3): 22-30.
Zhang Shimin, Yang Jingchun, Su Zongzheng. The research of geologic and geomorphic vestiges for the Dingxiang earthquake in 1038 A.D.[J]. North China Earthquake Sciences, 1989, 7(3): 22-30.
- [126] 方鸿琪, 杨闽中. 平原地震滑坡的特征与机制[J]. 工程勘察, 1987(4): 1-7.
Fang Hongqi, Yang Minzhong. The characteristics and mechanism of plain earthquake landslide[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 1987(4): 1-7.
- [127] 王景明. 唐山地震的地面破坏效应[J]. 地震研究, 1987, 10(4): 451-458.
Wang Jingming. Ground failure effects of Tangshan earthquake[J]. Journal of Earthquake Research, 1987, 10(4): 451-458.
- [128] 密云水库抗震防汛指挥部设计处, 清华设计组. 白河主坝地震滑坡的震害分析及抗震加固[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1979(2): 18-34.
Tsiughua Design Section of Design Department of Earthquake Resistant and Flood Control Command of Miyun Reservoir. An analysis of the damage of slope sliding by earthquake of the Paiho Main Dam and its earthquake resistant strengthening[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology Edition, 1979(2): 18-34.
- [129] 刘迅. 邢台地震地表变形现象初步分析[J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1981(1): 48-65.
Liu Xun. Land deformations in the Xingtai earthquake, 1966[J]. Journal of Geomechanics, 1981(1): 48-65.
- [130] 刁守中. 1668 年郟城 8.1/2 级特大地震的山体崩裂遗迹——熊耳山双龙大裂谷[C]//中国地震学会第 11 次学术大会论文摘要集, 2006: 45.
Diao Shouzhong. The huge mountain crack sites of M 8.1/2 Tancheng earthquake in 1668: The Shuanglong Rift Valley of Xiong'er Mountain [C]//Proceedings of the 11th Academic Conference Abstracts of Chinese Seismological Society, 2006: 45.
- [131] 陈晓利, 叶洪, 程菊红. GIS 技术在区域地震滑坡危险性预测中的应用——以龙陵地震滑坡为例[J]. 工程地质学报, 2006, 14(3): 333-338.
Chen Xiaoli, Ye Hong, Cheng Juhong. Use of GIS in regional risk assessment of earthquake induced landslides: A case study of earthquake induced landslides in Longling in 1976[J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(3): 333-338.
- [132] 唐川, 朱静, 张翔瑞. GIS 支持下的地震诱发滑坡危险区预测研究[J]. 地震研究, 2001, 24(1): 73-81.
Tang Chuan, Zhu Jing, Zhang Xiangrui. GIS based earthquake triggered landslide hazard prediction[J]. Journal of Seismological Research, 2001, 24(1): 73-81.
- [133] 孙进忠, 陈祥, 王余庆. 岩土边坡地震崩滑的三级评判预测[J]. 地震研究, 2004, 27(3): 256-264.
Sun Jinzhong, Chen Xiang, Wang Yuqing. The estimation and prediction of the slide and collapse of soil and rock slope triggered by earthquakes with three steps[J]. Journal of Seismological Research, 2004, 27(3): 256-264.
- [134] 王余庆, 辛鸿博, 高艳平, 等. 预测岩土边坡地震崩滑的综合指标法研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 311-314.
Wang Yuqing, Xin Hongbo, Gao Yanping, et al. Study on comprehensive index method for predicting earthquake-induced landslides[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(3): 311-314.
- [135] 王亚强, 王兰民, 张小曳. GIS 支持下的黄土高原地震滑坡区划研究[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 170-176.
Wang Yaqiang, Wang Lanmin, Zhang Xiaoye. GIS based seismic landslide zonation of the Loess Plateau[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(2): 170-176.
- [136] 陈晓利, 祁生文, 叶洪. 基于 GIS 的地震滑坡危险性的模糊综合评价研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2008, 44(3): 434-438.
Chen Xiaoli, Qi Shengwen, Ye Hong. Fuzzy Comprehensive Study on Seismic Landslide Hazard Based on GIS[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2008, 44(3): 434-438.
- [137] 邵顺妹, 邹敏. 古浪—海原地区滑坡分布规律的模糊综合评判[J]. 地震学刊, 1994(1): 1-6, 78.
Shao Shunmei, Zou Min. Fuzzy Comprehensive assessment for distribution law of landslides in Gulang-Haiyuan area[J]. Journal of Seismology, 1994, (1): 1-6, 78.
- [138] 邹谨敏, 邵顺妹, 屈健鹏, 等. 北祁连东段及其邻区地震滑坡的基本特征和危险区预测[J]. 高原地震, 1996, 8(2): 50-60.
Zou Jinchang, Shao Shunmei, Qu Jianpeng, et al. Basic features of seismic landslides and prediction of landslide risk[J]. Earthquake Research in Plateau, 1996, 8(2): 50-60.
- [139] 谭儒蛟, 胡瑞林, 刘衡秋, 等. FCJ-GIS 动力区划模型及其在斜坡灾害危险性评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2552-2558.
Tan Rujiao, Hu Ruilin, Liu Hengqiu, et al. FCJ-GIS Geodynamic zonation model and its application to risk evaluation of slope hazards [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(12): 2552-2558.
- [140] 徐金明, 段光贤. 上海市地震滑坡的预测研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1990, 1(1): 67-72, 42.
Xu Jiming, Duan Guangxian. A study on predicting landslide caused by earthquake in Shanghai[J]. Journal of Geological Hazard and Control, 1990, 1(1): 67-72, 42.
- [141] 马毅, 王希良, 刘振, 等. 基于模糊因素的岩质边坡地震稳定性多模型组合评价[J]. 岩土力学, 2011, 32(S1): 624-629.
Ma Yi, Wang Xiliang, Liu Zhen, et al. Multiple model combination evaluation of seismic stability of rock slopes based on fuzzy factors [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(S1): 624-629.
- [142] 冯学才, 周自强, 王家鼎. 兰州市皋兰山一带滑坡稳定性评价及灾害预测[J]. 甘肃科学学报, 1989, 1(1): 37-42.
Feng Xuecai, Zhou Ziqiang, Wang Jiading. The evaluation of landslides stability and hazards forecasting in Gaolanshan Mountain of Lanzhou[J]. Journal of Gansu Science, 1989, 1(1): 37-42.
- [143] 丁彦慧, 王余庆, 孙进忠, 等. 地震崩滑预测方法及其工程应用研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(4): 475-480.
Ding Yanhui, Wang Yuqing, Sun Jinzhong, et al. Research on the method for prediction of earthquake-induced landslides and its application to engineering projects[J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(4): 475-480.
- [144] 王余庆, 高艳平, 辛鸿博. 用灰色聚类方法预测边坡地震稳定性研究[J]. 工业建筑, 2002, 32(6): 44-47.

- Wang Yuqing, Gao Yanping, Xin Hongbo. A research on prediction of seismic stability of slopes by grey clustering method[J]. Industrial Construction, 2002, 32(6): 44-47.
- [145] 丁彦慧, 王余庆. 对不同规范中关于地震滑坡判别条件的探讨[C]//中国地震学会第11次学术大会论文摘要集, 2006: 80.
Ding Yanhui, Wang Yuqing. Discussions of criterion of earthquake-triggered landslides in different specifications[C]//The 11th Annual Meeting Abstract Book of China Seismological Society, 2006: 80.
- [146] 丁彦慧, 王余庆, 孙进忠. 利用综合指标法预测地震滑坡的判别准则[C]//中国土木工程学会第八届土力学及基础工程学术会议论文集. 北京: 万国学术出版社, 1999, 569-572.
Ding Yanhui, Wang Yuqing, Sun Jinzhong. Criterion of earthquake triggered-landslides prediction base on comprehensive index method [C]//The 8th Soil Mechanics and Foundation Engineering Conference Proceedings of China Civil Engineering Society. Beijing: International Academic Publishers, 1999, 569-572.
- [147] 鲍叶静, 高孟潭, 姜慧. 地震诱发滑坡的概率分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(1): 66-70.
Bao Yejing, Gao Mengtan, Jiang Hui. Probabilistic analysis of earthquake-induced landslides[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(1): 66-70.
- [148] 徐桂弘. 地震诱发滑坡的危险性分析与预测[J]. 内陆地震, 2008, 22(2): 188-192.
Xu Guihong. Analysis and prediction of danger of landslide caused earthquakes[J]. Inland Earthquake, 2008, 22(2): 188-192.
- [149] 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.
Liu Fengmin, Zhang Lihai, Liu Haiqing, et al. Danger assessment of earthquake-induced geological disasters in China[J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12(2): 127-131.
- [150] 鲍叶静, 高孟潭. 地震诱发崩塌滑坡危险区初步预测[J]. 中国地震, 2004, 20(1): 89-94.
Bao Yejing, Gao Mengtan. Earthquake triggered landslide hazard primary prediction[J]. Earthquake Research in China, 2004, 20(1): 89-94.
- [151] 鲍叶静. 地震崩塌滑坡概率危险性分析及初步预测[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 2004.
Bao Yejing. Probabilistic seismic hazard analysis and preliminary predictions of earthquake-triggered landslides[D]. Beijing: Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, 2004.
- [152] 王赞军, 江志萍, 张家庆, 等. 滑坡危险性分析中地震动的概率性估算及地震滑坡的危险性评判[J]. 高原地震, 1998, 10(1): 40-45.
Wang Zanjun, Jiang Zhiping, Zhang Jiaqing, et al. The probability estimation of the earthquake force in the landslip risk analysis and risk determination of the earthquake landslip[J]. Earthquake Research in Plateau, 1998, 10(1): 40-45.
- [153] 文畅平, 杨果林. 基于属性数学理论的岩土边坡地震稳定性评价[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(5): 8-14.
Wen Changping, Yang Guolin. The seismic stability evaluation of the rock and soil slope based on the attribute mathematical theory[J]. China Railway Science, 2010, 31(5): 8-14.
- [154] 高科, 李夕兵, 宫凤强. 基于突变级数法的边坡地震稳定性综合评价[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(2): 406-412.
Gao Ke, Li Xibing, Gong Fengqiang. Integrative evaluation on seismic stability of slopes based on catastrophe progression method [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(2): 406-412.
- [155] 邱海军. 降水型与地震型滑坡空间分布特征及其敏感性对比分析研究[C]//地理学核心问题与主线——中国地理学会2011年学术年会暨中国科学院新疆生态与地理研究所建所五十年庆典论文摘要集, 2011: 314-323.
Qiu Haijun. Study on comparative analysis of spatial distribution characteristics and susceptibility on rainfall and seismic induced landslides[C]//The Core Issues and Main Lines of Geography: Proceedings of the 2011 Annual Conference of Chinese Geographical Society and the 50th Anniversary Celebration of Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, 2011: 314-323.
- [156] 陈晓利, 赵健, 叶洪. 应用径向基概率神经网络研究地震滑坡[J]. 地震地质, 2006, 28(3): 430-440.
Chen Xiaoli, Zhao Jian, Ye Hong. Application of RBPNN in the research of earthquake-induced landslide[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 430-440.
- [157] 陈晓利. 人工智能在地震滑坡危险性评价中的应用[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2007.
Chen Xiaoli. Application of artificial intelligence to assessment of earthquake-induced landslide susceptibility[D]. Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administration, 2007.
- [158] 高艳平, 王余庆, 辛鸿博. 神经网络在预测边坡地震稳定性中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2001, 20(4): 431-433.
Gao Yanping, Wang Yuqing, Xin Hongbo. The application of the artificial neural network in prediction of slope seismic stability[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2001, 20(4): 431-433.
- [159] 蒋良文, 王士天, 刘汉超, 等. 岷江上游汶川_较场段滑坡稳定性的神经网络评判及其堵江可能性浅析[J]. 山地学报, 2000, 18(6): 547-553.
Jiang Liangwen, Wang Shitian, Liu Hanchao, et al. Evaluation and prediction on stability of landslides in method of nerve network analysis and the possibility of damming river in Wenchuan_Jiaochang section of upstream of Min River[J]. Journal of Mountain Science, 2000, 18(6): 547-553.
- [160] 王兰民, 袁中夏, 石玉成, 等. 黄土地震灾害区划指标与方法研究[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(3): 87-92.
Wang Lanmin, Yuan Zhongxia, Shi Yucheng, et al. Study on the methods and indexes of zonation for seismic losessal disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(3): 87-92.
- [161] 高振寰. 山间盆地地震害特征及其形成原因的探讨[J]. 地震研究, 1983, 6(2): 189-196.
Gao Zhenhuan. Considerations on the characteristics of seismic disaster in intermountain basins and their causes[J]. Journal of Seismological Research, 1983, 6(2): 189-196.
- [162] 王兰民, 张振中, 王峻, 等. 随机地震荷载作用下黄土动强度的试验方法[J]. 西北地震学报, 1991, 13(3): 50-55.
Wang Lanmin, Zhang Zhenzhong, Wang Jun, et al. A test method of dynamic strength of loess under random seismic loading[J]. Northwestern Seismological Journal, 1991, 13(3): 50-55.
- [163] 陈国顺. 山西地震带中与强震活动有关的两种滑坡[J]. 华南地震, 1991, 11(2): 40-46.
Chen Guoshun. Two types of landslides relative to strong seismicity at Shanxi seismic belt[J]. South China Journal of Seismology, 1991,

- 11(2): 40-46.
- [164] 石玉成, 王兰民, 张向红. 黄土场地不同土层结构对地震地面运动参数的影响[C]//第六届全国工程地质大会论文集, 2000, 8(S1): 355-358.
Shi Yucheng, Wang Lanmin, Zhang Xianghong. Effects of different loess soil structure on parameters of seismic ground motion[C]// Proceedings of the 6th National Conference of Engineering Geology, 2000, 8(S1): 355-358.
- [165] 张振中, 郑恒利, 王兰民. 黄土随机振动强度参数在地震滑坡分析中的应用[J]. 西北地震学报, 1991, 13(3): 45-49.
Zhang Zhenzhong, Zheng Hengli, Wang Lanmin. Application of loess strength parameters under random vibration in analysis of seismic landslides[J]. Northwestern Seismological Journal, 1991, 13(3): 45-49.
- [166] 陈文化. 地震液化流滑震害[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 88-93.
Chen Wenhua. Slipping disaster induced by seismic liquefaction[J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(4): 88-93.
- [167] 冯先岳. 论地震地貌[J]. 华北地震科学, 1986, 4(3): 66-71.
Feng Xianyue. Discussions on seismic geomorphology[J]. North China Earthquake Sciences, 1986, 4(3): 66-71.
- [168] 黄小琴. 高烈度地震山区地震诱发地质灾害信息管理系统[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
Huang Xiaoqin. Management system for mountain highway geological disaster arose by earthquake in the high intensity seismic mountain area[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [169] 许冲. 汶川地震滑坡详细编录及其与全球其他地震滑坡事件对比[J]. 科技导报, 2012, 30(25): 18-26.
Xu Chong. Detailed inventory of the 2008 Wenchuan earthquake triggered landslides and its comparison with global other earthquake events[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(25): 18-26.
- [170] 许冲, 戴福初, 姚鑫. 汶川地震诱发滑坡灾害的数量与面积[J]. 科技导报, 2009, 27(11): 79-81.
Xu Chong, Dai Fuchu, Yao Xin. Incidence number and affected area of Wenchuan earthquake-induced landslides[J]. Science & Technology Review, 2009, 27(11): 79-81.
- [171] Xu C, Xu X W, Zhou B G, et al. Revisions of the M 8.0 Wenchuan earthquake seismic intensity map based on co-seismic landslide abundance[J]. Natural Hazards, 2013, 69(3): 1459-1476.
- [172] Xu C, Xu X W, Dai F C, et al. Application of an incomplete landslide inventory, logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping related to the May 12, 2008 Wenchuan earthquake of China[J]. Natural Hazards, 2013, 68(2): 883-900.
- [173] Xu C, Xu X W, Yao Q, et al. GIS-based bivariate statistical modelling for earthquake-triggered landslides susceptibility mapping related to the 2008 Wenchuan earthquake, China[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2013, 46(2): 221-236.
- [174] Xu C, Xu X W, Yu G H. Landslides triggered by slipping-fault-generated earthquake on a plateau: an example of the 14 April 2010, M. 7.1, Yushu, China earthquake[J]. Landslides, 2013, 10(4): 421-431.
- [175] 许冲, 徐锡伟. 玉树地震滑坡体积、重力势能降与造成的区域质心改变定量研究[J]. 科技导报, 2013, 31(2): 22-29.
Xu Chong, Xu Xiwei. Quantitative study on volume, gravitational potential energy reduction and caused regional centroid position change: an example of the 2010 Yushu earthquake triggered landslides[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(2): 22-29.
- [176] 许冲, 徐锡伟, 于贵华, 等. 玉树地震滑坡影响因子敏感性分析[J]. 科技导报, 2012, 30(1): 18-24.
Xu Chong, Xu Xiwei, Yu Guihua, et al. Susceptibility analysis of impact factors of landslides triggered by Yushu earthquake[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(1): 18-24.
- [177] 许冲, 徐锡伟. 俯冲带地区压扭断裂型地震触发滑坡及其剥蚀厚度空间分布规律分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(5): 732-744.
Xu Chong, Xu Xiwei. Spatial distribution of seismic landslides and their erosion thickness relate with a transpressional fault caused earthquake of subduction zone[J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(5): 732-744.
- [178] Xu, C. Assessment of earthquake-triggered landslide susceptibility based on expert knowledge and information value methods: A case study of the 20 April 2013 Lushan, China M_s6.6 earthquake[J]. Disaster Advances, 2013, 6(13): 119-130.
- [179] 许冲. 2013年芦山M_s7.0级地震滑坡易发性快速评价方法[J]. 科技导报, 2013, 31(28/29): 15-23.
Xu C. Quick landslide susceptibility evaluation and its validation for the 2013 M_s7.0 Lushan earthquake[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(28/29): 15-23.
- [180] 许冲, 徐锡伟, 郑文俊. 2013年7月22日岷县漳县M_s6.6级地震滑坡编录与空间分布规律分析[J]. 工程地质学报, 2013, 21(5): 736-749.
Xu Chong, Xu Xiwei, Zheng Wenjun. Compiling inventory of landslides triggered by Minxian-Zhangxian earthquake of July 22, 2013 and their spatial distribution analysis[J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(5): 736-749.
- [181] Xu C, Dai F C, Xu X W, et al. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China[J]. Geomorphology, 2012, 145-146: 70-80.
- [182] Xu C, Xu X W, Dai F C, et al. Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China[J]. Computers & Geosciences, 2012, 46: 317-329.
- [183] Xu C, Xu X W, Lee Y H, et al. The 2010 Yushu earthquake triggered landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence modeling[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 66(6): 1603-1616.
- [184] Xu C, Xu X W. Spatial prediction models for seismic landslides based on support vector machine and varied kernel functions: A case study of the 14 April 2010 Yushu earthquake in China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(6): 666-679.

(责任编辑 吴晓丽)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。