李为乐，黄润秋，裴向军，等. 基于 Google Earth 的 1920 年海原 8.5 级大地震地质灾害研究[J]. 灾害学，2015，30(2)：26－31.［Li Weile，Huang Runqiu，Pei Xiangjun，et al. Study on geological disasters caused by Haiyuan M8.5 earthquake in 1920 based on Google Earth[J]. Journal of Catastrophology，2015，30(2)：26－31.］

基于 Google Earth 的 1920 年海原 8.5 级大地震地质灾害研究*

李为乐[1]，黄润秋[1]，裴向军[1]，张晓超[1]，张远明[2]

（1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室，四川 成都 610059；
2. 四川省华地建设工程有限责任公司，四川 成都 610081）

摘 要：详细精确的滑坡编目是地震滑坡灾害评价的前提和基础。利用 Google Earth 提供的多源高精度卫星影像对 1920 年海原 8.5 级地震触发的黄土滑坡进行了详细解译，共解译得到 1 000 处滑坡，并利用多边形圈出了滑源区和堆积区。海原地震滑坡主要集中分布于西吉县西南部和海原县东南部。统计分析表明，地震触发的滑坡灾害主要受高程、坡高、坡度、坡向等地形地貌参数的控制，大量低角度高速远程滑坡主要是由于黄土液化的作用。

关键词：海原地震；黄土滑坡；分布规律；Google Earth；黄土液化

中图分类号：P315.9；X4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000－811X(2015)02－0026－06

doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2015.02.006

详细准确的滑坡编目是地震滑坡灾害评价的前提和基础，一个理想的地震滑坡编目图应该覆盖整个地震区域，并且滑坡应该用多边形的形式准确圈定出滑坡的位置和形状[1]。对地震滑坡较详细的编目始于 1960 年代，主要是利用航拍解译和野外实地调查的方法，效率低下，并且很难覆盖整个地震影响范围[2－5]。近年来随着遥感和 GIS 技术的飞速发展，高精度卫星遥感影像不断被应用到地震滑坡的精细解译中，许多详细、准确的地震滑坡编目图被制作出来[6－11]。但高精度卫星遥感影像较长的获取周期和较小的单景覆盖面积，导致短时间覆盖整个地震影响区非常困难。Google Earth 作为一种免费的遥感、GIS 三维平台，为地震滑坡，尤其是历史地震滑坡的研究提供了新工具。2008 年 5 月 20 日 Google Earth 及时在线提供了拍摄于汶川地震后第 3d(5 月 15 日)的汶川地震重灾区北川附近的 FORMOSAT－2 卫星影像，为抗震救灾和唐家山堰塞湖的发现提供了帮助。Sato 等[12]利用这些免费影像对北川周边的地震滑坡进行了解译，解译了 257 处大型滑坡。

1920 年 12 月 16 日海原 8.5 级大地震是我国有史以来震级最大、死亡人数最多的地震之一，强震持续了大约 10min，超过 23 万人在地震中丧生，其中约 10 万人的死亡是由于地震触发的黄土滑坡直接导致的[13－14]。翁文灏、谢家荣等在震后第二年对海原地震的灾情进行了考察，并对地震滑坡和堰塞湖进行了简单描述[15]。Close 等[16]对海原地震滑坡拍摄大量照片并进行了相应的描述。但对海原地震滑坡开始较为深入的研究是在地震发生 60 多年后。白铭学等[17]对 1920 年海原大地震引发的固原县石碑源黄土层的低角度滑移进行了研究，认为是黄土液化导致滑坡发生。Zhang 等[13]对海原地震滑坡进行了调查研究，指出海原地震滑坡存在三个集中分布区，总面积约 4 000 km^2，并总结出海原地震滑坡具有含水量低、坡度缓、滑动速度快等特点。张振中[18]通过对海原地震滑坡的研究，依据地貌形态和地质条件将地震诱发的黄土滑坡分为震陷崩塌滑坡、黄土液化型滑坡和剪切变形滑坡。而陈永明等[19]则将黄土地震滑坡分为黄土内部滑坡、黄土－基岩层面滑坡和黄土－基岩混合滑坡。王家鼎等[20]认为地震诱发高速黄土滑坡的机理是黄土体解体、斜抛和粉尘化效应。王兰民等[21]用土动力学方法探讨了黄土层的液化机理。2003 年宁夏地矿厅地质环境监测总站对海原地震黄土滑坡集中分布的西吉县开展了滑坡调查，并对对滑坡灾害危险程度作了评价[15]。袁丽霞[15,22]对西吉县境内的滑坡进行了详细研究，认为在西吉县境内分布的大量滑坡

* 收稿日期：2014－10－22　　修回日期：2014－12－04
基金项目：国家自然科学基金青年基金(41202210)；国土资源部公益性行业专项(201211055)；中国地质调查局项目(1212011140005)
作者简介：李为乐(1982－)，男，安徽太湖人，博士研究生，副研究员，主要从事地质灾害遥感与 GIS 应用研究.
E-mail：whylwl01@163.com

是受该区域特殊的地形地貌、区域地质构造、应力关系、土质特征、震前宏观水异常等特征控制。Zhang 等[23]通过大量环剪试验(ring shear tests)认为地震过程中黄土的抗剪强度剧烈降低是由于孔隙水压力陡增的缘故。

尽管近年来对海原地震触发的黄土滑坡开展了大量的研究，但主要还是针对个别典型滑坡或典型区域(如西吉县)滑坡的研究，对整个地震区范围内滑坡的综合研究较少。本文利用 Google Earth 提供的高精度遥感数据，对整个海原地震Ⅸ度区的滑坡进行了详细解译，建立滑坡数据库，并对其分布规律与地震、地质构造和地形地貌参数进行了统计分析。

1　研究区地形地质条件

据前人调查研究[13-14]，海原地震滑坡主要有三个集中分布区，即Ⅺ、Ⅻ烈度区位于海原县东南区域，Ⅸ、Ⅹ烈度区位于西吉县西南区域和Ⅷ烈度区位于通渭县附近(图 1)。但在通渭县附近，1718 年发生了 7.5 级强震，所以很难确定通渭县附近集中区的滑坡是由海原地震触发还是 1718 年的地震触发。所以本研究将海原地震Ⅸ度烈度区作为研究区，研究区面积 23.5 ×10^3 km^2(图 1)。

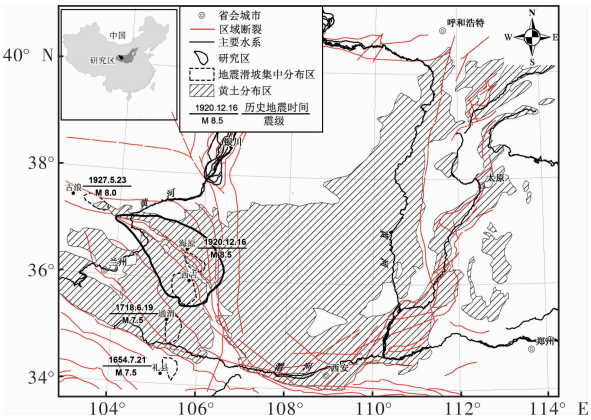


图 1　研究区位置图(改自文献[24])

研究区中部为六盘山山脉，出露上新统基岩，海拔高程 2 000 ~ 3 000 m。山脉周围属于黄土丘陵地貌，海拔高程 1 200 ~ 2 000 m。研究区属于温带大陆性季风气候，年平均气温 5 ~ 7 ℃，该区较干旱，年平均降雨量 200 ~ 500 mm，总的趋势是从东南向西北递减。研究区属中国著名的强震发生区——六盘山地震区，据统计，截至 1976 年，该区共记载到 6 级以上的破坏性地震 51 次，其中 7 级以上的强震 22 次，8 级及大于 8 级的特大地震 6 次[15]。

1920 年海原地震地表破裂带全长 237 km。以南华山东端为界，地表破裂带可分为两段，西段总体走向 NWW，东段走 向为 NW 向，两段总体走向之间的夹角为 30°左右。发震断裂为左旋平移断裂，该地震中其最大水平位移约 10 m，最大垂直位移为 7.6 m[15]。

2　滑坡解译

2.1　遥感数据源和解译方法

Google Earth 影像在研究区的覆盖情况较好，大部分区域有 Quickbird (0.6 m)、Worldview - 2 (0.5 m)和 Geoeye - 1(0.5 m)等高精度影像，只有少部分区域为 Spot - 5(5 m)影像(图 2)。滑坡解译直接在 Google Earth 软件三维视图下进行，采用添加多边形的方式直接进行滑坡的解译。由于研究区面积较大，为了避免遗漏和重复解译，全区被划分为 34 小块，逐一对每小块进行解译，如图 2 所示。

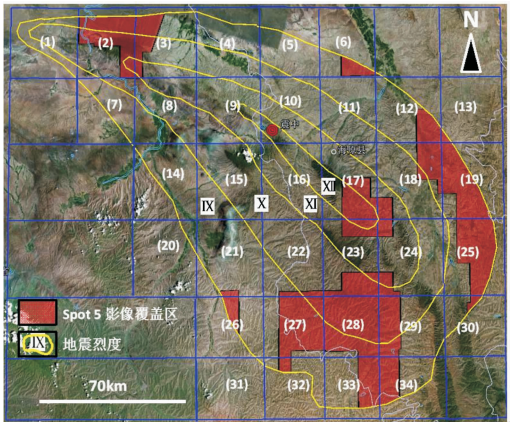


图 2　研究区 Google Earth 影像及地震烈度

为了后期滑坡分布规律统计的准确性，将滑坡滑源区和堆积区分别用不同的多边形表示，并赋予相同的滑坡编号。所有解译的滑坡多边形都放在同一个文件夹下，解译完成后将该文件夹存为 KLM 格式文件，再由 Global Mapper 软件转换为 Shapefile 文件。

2.2　解译标志

区别于其他植被覆盖较茂密的区域，黄土高原地区植被稀少，地表光秃，通过以下影像特征可以较容易识别出滑坡。

(1) 圈椅状滑坡后壁

滑坡后壁是滑坡解译最直接的解译标志。海原地震滑坡发生已有 90 多年，虽然经历了长期的水土侵蚀和人工改造，但由于海原地震触发的滑坡后壁都很高陡，其圈椅状特征仍然非常明显，在影像上呈弧状深色调，尤其在 Google Earth 三维视图下，较容易识别出滑坡(图 3)。圈椅状滑坡后壁是本次遥感解译中最主要的解译标志。

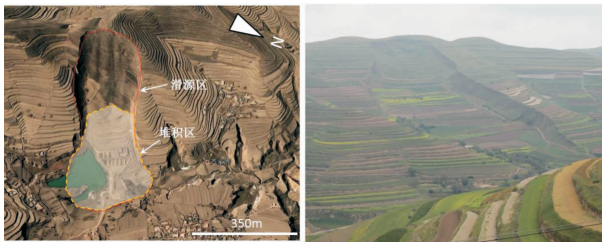


(a)圈椅状滑坡后壁影像特征　　(b)圈椅状滑坡后壁野外照片

图 3　典型圈椅状滑坡后壁解译标志

（2）影像纹理

黄土斜坡在遥感影像上一般呈现与等高线平行的连续条状纹理，滑坡位置条状纹理会突然错位或者中止(图 4)，是识别黄土滑坡的重要标志。



(a)滑坡纹理解译标志影像特征 (b)滑坡纹理解译标志野外照片

图 4 典型滑坡

（3）堰塞湖

大量规模较大的海原地震滑坡堵断河流形成堰塞湖，共有 43 处保留至今，主要集中分布在西吉县境内。在影像上堰塞湖呈深色调，容易识别，可以作为地震滑坡的辅助解译标志(图 5)。

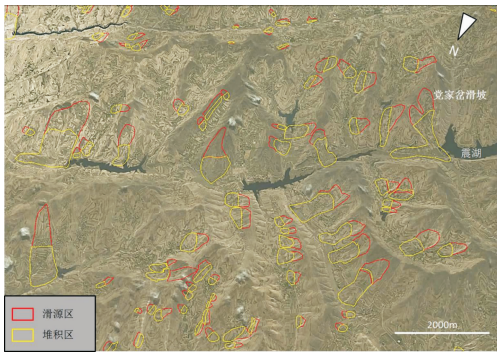


图 5 党家岔附近遥感解译三维视图

2.3 解译结果

利用上述解译标志，我们前期在研究区共解译滑坡 805 处。2012 年 7－8 月对其中 473 处滑坡进行了野外验证，这 473 处全部被证明为滑坡。在野外调查的基础上，我们进行了第二次补充解译，最终确定滑坡为 1 000 处，如图 6 所示。滑坡总面积 102.6×10^6 m^2，其中滑源区总面积 45.2×10^6 m^2，堆积区总面积 57.4×10^6 m^2。最小滑坡面积 755 m^2，最大滑坡面积 2.3×10^6 m^2，平均面积 102.5×10^3 m^2(图 7)。

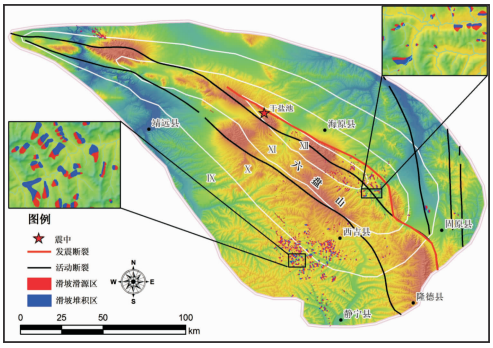


图 6 研究区滑坡分布图

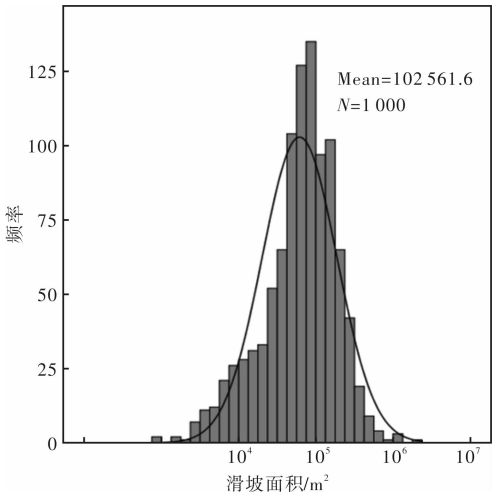


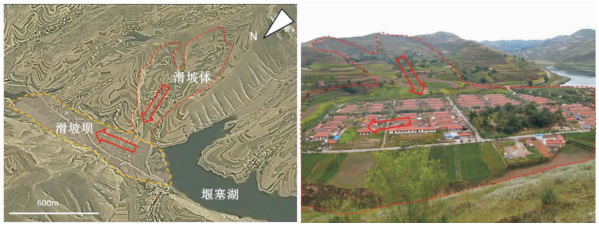
图 7 滑坡面积分布频率图

从图 6 可以看出，地震滑坡主要集中分布于两个区，海原县东南部和西吉县西南部，其中后者分布滑坡最多，约有 600 处滑坡分布在该区域。此外，绝大多数滑坡都分布在发震断裂的西南侧，仅有 14 处滑坡分布在东北侧。

需要说明的是，由于海原地震距离现在已经有 90 年，大量地震触发的中小型滑坡由于后期自然和人为改造已经无法通过遥感解译辨别出来，因此海原地震触发的滑坡应该要远远多于 1 000 处，本研究解译的 1000 处滑坡是规模较大或后期改造较小，滑坡形态保持较好的滑坡。

2.4 党家岔滑坡和地震堰塞湖

位于西吉县城大约 30 km 的党家岔滑坡（35°50′3″N，105°27′38″E）是海原地震触发的大规模、低角度、高速、远程灾难性滑坡的最典型代表。该滑坡为黄土滑坡，滑体由同一山脊的两部分组成，如图 8 所示。滑坡先沿着沟谷快速运移了约 2 km，直至沟口主河，再顺主河向下游运动了约 1.1 km。滑坡坝堵塞主河，形成了一个长约 5 km，宽约 400 m 的堰塞湖，是海原地震触发堰塞湖中保留至今规模最大的，滑坡体积约 1 500 万 m^3。该滑坡滑源区原始坡度约 20°，前后高差仅约 170 m，却总共运动了约 3 100 m，其视摩擦角仅 0.05，表现出了非常大的运动性。Zhang D X 等[23]通过现场调查和大量环剪试验认为主要是由于地震过程中黄土液化和孔隙水压力导致该滑坡具有大的运动性。



(a)Google Earth 影像 (b)野外照片

图 8 党家岔滑坡和堰塞湖

3　地震滑坡分布规律

地震滑坡的分布主要受到地震参数、地质构造背景和地形地貌等因素的影响和控制。本文拟从震中距离、地震烈度、发震断层距离、高程、坡高、坡度和坡向等参数来分析海原地震滑坡的分布规律。统计分析利用 ARCGIS9.3 的 Spatial analysis 功能完成，分别将滑坡滑源区多边形与对应参数进行叠加，统计滑源区面积在各参数内的百分比。

3.1　震中距离与地震滑坡分布

不同的研究人员确定的海原地震的震中位置差别较大，本文以兰州地震研究所确定的海原县干盐池(36°39″N，105°17″E)为震中位置(见图6)。利用 ARCGIS9.3 软件，以 5 km 为间隔统计地震滑坡的分布情况，结果如图 9 所示。地震滑坡距离震中最大距离约 140 km。与大部分地震滑坡不一样，海原地震滑坡并不是距离震中越近滑坡就越多，大部分(67%)的滑坡分布于距离震中 80～100 km 范围，这说明海原地震滑坡主要不受震中距离控制。

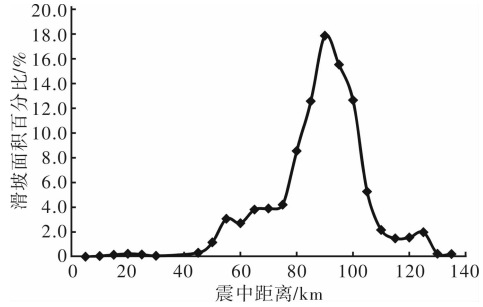


图 9　震中距离与地震滑坡分布关系图

3.2　地震烈度与地震滑坡分布

海原地震震中位置地震烈度达到Ⅻ度，本研究解译滑坡分布范围为Ⅸ～Ⅻ度范围。统计分析发现，滑坡分布密度随地震烈度递减，47.4%的滑坡位于Ⅸ度区，35.0%的滑坡位于Ⅹ度区，10.3%的滑坡位于Ⅺ度区，而Ⅻ度区内滑坡最少，占总滑坡的7.3%(图 10)。可见Ⅸ、Ⅹ度区内的滑坡要远远多于Ⅺ和Ⅻ度区，而且Ⅺ和Ⅻ度区内滑坡总体上较小，这可能主要由于Ⅺ和Ⅻ度区主要为六盘山脉(见图 6)，黄土厚度较小或为基岩出露[13]。

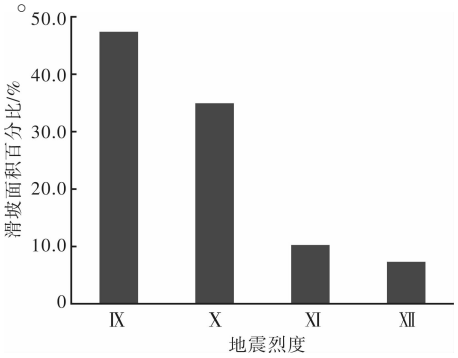


图 10　地震烈度与地震滑坡分布关系图

3.3　断层距离与地震滑坡分布

发震断层矢量化于 1：50 万地质图，并根据遥感影像特征进行了局部修改，如图 6 所示。以5 km 为间隔对地震滑坡与发震断裂的关系进行统计，结果如图 11 所示。地震滑坡具有两个集中分布区，即 0～5 km(22.0%)和 40～70 km(66.8%)范围，分布对应海原县和西吉县集中分布区，其中 40～70 km 范围内地震滑坡最多。两集中分布区之间为六盘山脉，可见地震滑坡还主要受到地层岩性和地形地貌等因素的影响。

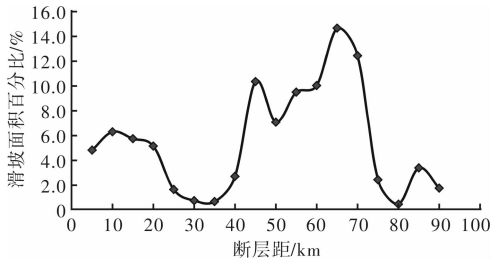


图 11　断层距离与地震滑坡分布关系图

3.4　高程与地震滑坡分布

高程数据来源于 ASTER G-DEM，ASTER G-DEM 单元格大小为 30 m，高程标准差为 7～14 m。整个研究区高程范围为 1 245～2 992 m，而地震滑坡的滑源区分布范围为 1 407～2 423 m，且集中分布于 1 800～2 200 m 高程范围(90.3%)，见图 12。

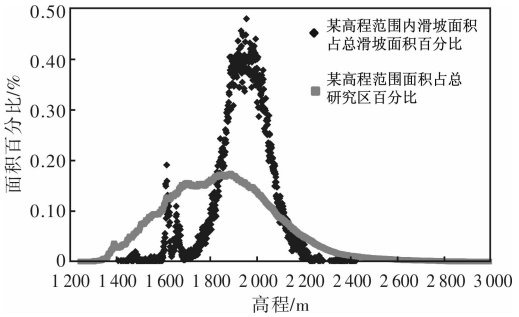


图 12　高程与地震滑坡分布关系图

3.5　斜坡高度与地震滑坡分布

斜坡高度由 ASTER G-DEM 数据利用 ArcGIS 软件计算得来，即斜坡坡底至坡顶的高程差。整个研究区斜坡高度范围为 0～496 m，而地震滑坡滑源区斜坡高度范围为 0～224 m，且集中分布于 15～100 m 坡高范围(74.0%)，见图 13。

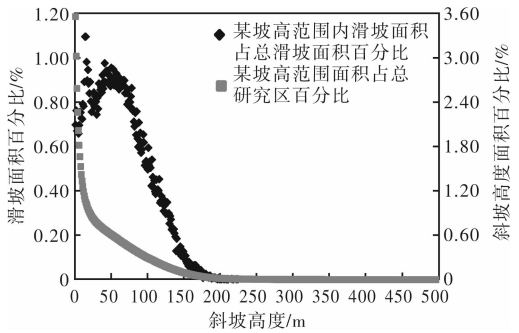


图 13　斜坡高度与地震滑坡分布关系图

3.6 坡度与地震滑坡分布

斜坡坡度也由 ASTER G-DEM 数据利用 ArcGIS 软件计算得来。整个研究区地形坡度都较小，91.6% 的范围斜坡坡度都小于 20°，而地震滑坡滑源区的坡度范围为 0°～41°，且集中分布于 5°～20°坡高范围(87.9%)，见图 14。

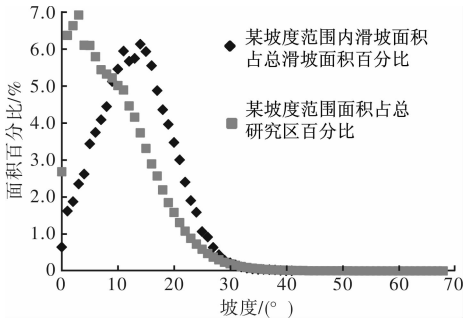


图 14 坡度与地震滑坡分布关系图

3.7 坡向与地震滑坡滑向分布关系

整个斜坡坡向由 ASTER G-DEM 数据计算得来，整个研究区斜坡坡向分布比较均匀，而地震滑坡滑向是 ArcGIS 软件里逐个量取得来，二者分布关系见图 15。可见地震滑坡的优势滑向为 40°～80°和 260°～330°。结合滑坡的整体分布位置，即大部分滑坡分布于震中东南方向和发震断裂的西南方向(图 15)，则地震滑坡的滑向主要是朝向震中和发震断裂方向，这正好与汶川地震触发滑坡的规律相反[25-26]。

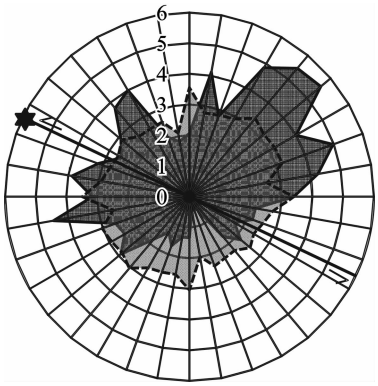
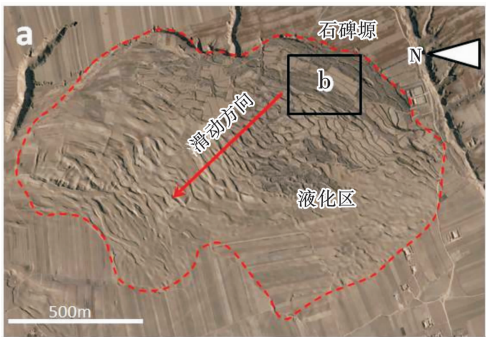


图 15 滑坡方向玫瑰花图
(灰色为整个研究区斜坡坡向，黑色为滑坡滑向)

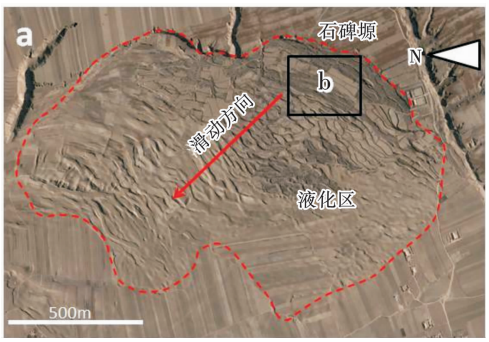
4 讨论

上述滑坡分布统计分析结果表明，海原地震滑坡的空间分布主要受高程、坡高、坡度、坡向等地形地貌因素的控制，而与距震中距离、距发震断层距离、地震烈度等地震本身因素相关性较小。海原地震滑坡的空间分布规律与汶川地震滑坡相差较大，汶川地震滑坡主要受发震断层的控制[25,27-29]，可能主要是由于两地震发震断裂性质和触发滑坡类型不同的缘故。汶川地震发震断层为逆冲走滑型，而海原地震发震断裂主要为左旋走滑型。汶川地震滑坡主要为岩质滑坡，而海原地震触发滑坡主要为黄土滑坡。陈永明等[30]认为黄土厚度对黄土地震滑坡有重要影响，滑坡厚度越大，黄土滑坡的规模也就越大，西吉县境内滑坡的集中分布，也可能是由于该处黄土厚度较其它地方厚的缘故。

前述研究表明，海原地震滑坡普遍发生在坡度较缓的斜坡上且运动距离较远。许多研究人员都试图对其机制进行解释。袁丽霞[22]对西吉县境内的滑坡进行了调查和室内试验研究，认为由于非饱和黄土中大量孔隙的存在，地震中地下水位迅速上升，导致孔隙水压力陡增，在地震作用下，黄土瞬间液化导致低角度高速远程滑坡的发生。在遥感解译中，我们发现位于固原县西北约 14 km 的石碑塬滑坡黄土液化的特征最为明显(图 16)。该滑坡原始坡度非常缓，只有 2°～5°，其滑动距离则达 1 500 m。图 16 显示滑坡表面呈排列整齐的波浪状，液化流动特征非常明显，是黄土液化的重要证据。



(a)滑坡全貌图



(b)局部波浪特征

图 16 石碑塬滑坡遥感影像特征(影像来自 Google Earth)

5 结论

利用 Google earth 遥感影像对海原地震Ⅸ度以上烈度区进行了滑坡解译，共识别滑坡 1 000 处，堰塞湖 43 处。实践证明，Google earth 是一种快速有效的历史地震滑坡编录工具。

海原地震滑坡主要集中分布在西吉县西南和海原县东南部两个集中分布区，其中西吉县集中分布区滑坡最多。统计分析表明，海原地震滑坡主要受高程、坡高、坡度、坡向等地形地貌参数

的控制，受震中距离、地震烈度和发震断层距离等影响较小。大量低角度高速远程滑坡的存在主要是由于黄土液化的作用。

参考文献：

[1] Harp E L, Keefer D K, Sato H P, et al. Landslide inventories: The essential part of seismic landslide hazard analyses [J]. Engineering Geology, 2011, 122: 9 – 21.

[2] Morimoto R. Geology of Imaichi district with special reference to the earthquake of Dec. 26, 1949 (II) [J]. Bulletin. Earthquake Research Institute, 1951, 29: 349 – 358.

[3] Morton D M. Seismically triggered landslides in the area above the San Fernando Valley [J]. U. S. Geological Survey Professional Paper, 1971, 733: 99 – 104.

[4] Morton D M. Seismically triggered landslides in the area above the san Fernando Valley [J]. State of California Division of Mines and Geology Bulletin, 1975, 196: 145 – 154.

[5] Plafker G, Ericksen G E, Fernández C J. Geological aspects of the May 31, 1970, Peru earthquake [J]. Bulletin Seismological Society of America, 1971, 61: 543 – 578.

[6] Harp E L, Jibson, R W. Landslides triggered by the 1994 Northridge, California earthquake[J]. Bulletin of the Seismological Society of America 1996, 86 (1B): S319 – S332.

[7] Liao, H W, Lee C T. Probabilistic hazard analysis of earthquake-induced landslides——an example from Khuosing, Taiwan[C]// Proceedings of The Next Generation of Research on Earthquake-Induced Landslides, An International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake. Taipei: NTUH, 2009: 91 – 92.

[8] Dai F C, Xu C, Yao X, et al. Spatial distribution of landslides triggered by the 2008 Ms 8. 0 Wenchuan earthquake, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 40(4): 883 – 895.

[9] 李明辉，王东辉，高延超，等. 鲜水河断裂带炉霍 7.9 级地震地质灾害研究 [J]. 灾害学，2014，29(1)：37 – 41.

[10] 刘亢，张学文，李津津，等. 唐山地震震害分布与地质构造关系探讨 [J]. 灾害学，2014，29(1)：25 – 28.

[11] 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.

[12] Sato H P, Harp E L. Interpretation of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008, M7. 9 Wenchuan earthquake in the Beichuan area, Sichuan Province, China using satellite imagery and Google Earth [J]. Landslides, 2009, 6: 153 – 159.

[13] Zhang Z D, Wang L M. Geological disaster in loess areas during the 1920 Haiyuan earthquake, China [J]. Geojournal, 1995, 36: 269 – 274.

[14] Derbyshire E, Meng X M, Dijkstra T A. Landslides in thick loesss terrain of north-west China [M]. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex England, 2000.

[15] 袁丽侠. 宁夏海原地震诱发黄土滑坡的形成机制研究 [D]. 西安：西北大学，2005

[16] Close U, McCormick E. Where the mountain walked. An account of the recent earthquake in Gansu Province, China, which destroyed 100, 000 lives [J]. National Geographic Magzine, 1922, XLI(5): 445 – 464.

[17] 白铭学，张苏民. 高烈度地震时黄土地层的液化移动[J]. 工程勘察，1990(6)：1 – 5.

[18] 张振中. 黄土地震灾害预测 [M]. 北京：地震出版社，1999.

[19] 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.

[20] 王家鼎，张倬元. 地震诱发高速黄土滑坡的机理研究[J]. 岩土工程学报，1999，21(6)：670 – 674.

[21] 王兰民. 饱和黄土液化机理与特性的试验研究[J]. 岩土工程学报，2000，22(1)：89 – 94.

[22] 袁丽侠. 宁夏西吉县低角高速远程黄土滑坡及其形成机理分析[J]. 防灾减灾工程学报，2006，26(2)：219 – 223.

[23] Zhang D X, Wang G H. Study of the 1920 Haiyuan earthquake-induced landslides in loess (China) [J]. Engineering Geology, 2007, 94: 76 – 88.

[24] Lin Z G, Xu Z J. Loess in China and landslides in loess slopes [C]// Chen Zuyu, Zhang Jianmin, Li Zhongkui, et al. Landslides and Engineered Slopes. London: Taylor & Francis Group, 2008: 129 – 144. .

[25] 许强，李为乐. 汶川地震诱发滑坡方向效应研究[J]. 四川大学学报：工程科学版，2010，42(Supp. 1)：7 – 14.

[26] Xu Q, Zhang S, Li W L. Spatial Distribution of Large-scale Landslides Induced by the Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Mountain Science, 2011, 8: 246 – 260.

[27] Gorum T, Fan X M, Westen C J, et al. Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake [J]. Geomorphology, 2011, 133(3/4): 152 – 167.

[28] Huang R Q, Li W L. Analysis of the geo-hazards triggered by the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake, China [J]. Bull of Engineering Geology and the Environment, 2009, 68: 363 – 371.

[29] Huang R Q, Li W L. Development and distribution of geohazards triggered by the 5. 12 Wenchuan Earthquake in China [J]. Science in China Series E-Technological Sciences, 2009b, 52(4): 810 – 19.

[30] 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.

Study on Geological Disasters Caused by Haiyuan M8.5 Earthquake in 1920 Based on Google Earth

Li Weile[1], Huang Runqiu[1], Pei Xiangjun[1], Zhang Xiaochao[1] and Zhang Yuanming[2]

(1. *State key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*;
2. *Huadi Corporation of Gedogic Bureau of Sichuan, Chengdu* 610081, *China*)

Abstract: A detailed and precise landslide inventory is an essential part of seismic landslide hazard assessment. Based on multisource high-precision satellite images provided by Google Earth, landslides in loess triggered by Haiyuan M8.5 earthquake in 1920 are interpreted in detail. A total of 1000 landslides are got from the interpretation, and the slip source zone and accumulation zone are circled by use of multiple deformation. The landslides mainly distributed in the southwest of Xiji County and the southeast of Haiyuan County. The statistical analysis results indicate that earthquake triggered landslide hazard is mainly influenced by elevation, slope height, slope, and landform parameters, and a large number of low angle high-speed distant landslides is mainly due to the effect of loess liquefaction.

Key words: Haiyuan earthquake; loess landslide; distribution pattern; Google Earth; liquefaction