中国科学: 地球科学 2010 年 第 40 卷 第 5 期: 538 ~ 540
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

动 态

玉树地震高倒塌率建筑物及诱因: 遥感认识

郭华东*, 张兵, 雷莉萍, 张丽, 陈玉

中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100190
* E-mail: hdguo@ceode.ac.cn

收稿日期: 2010-04-29; 接受日期: 2010-05-04
国家重点基础研究计划(编号: 2009CB723906)资助

2010 年 4 月 14 日 7 时 49 分, 我国青海省玉树藏族自治州玉树县发生里氏 7.1 级大地震, 给人们的生命财产带来极大损失, 迄今已造成 2200 多人死亡或失踪, 12000 多人受伤. 地震造成人员重大伤亡的最直接原因是建筑物的倒塌[1]. 高分辨率航空遥感技术具有识别倒塌建筑物的能力. 玉树地震发生后的当天下午 15 时 30 分, 搭载 UcXp 传感器的中国科学院对地观测与数字地球科学中心航空遥感飞机经过 3 个架次 12.5 h 的飞行作业, 在第一时间获取了灾区数据, 共获得玉树县城及周边地区 2000 km^2 的遥感图像, 数据量达 260 GB, 空间分辨率为 0.33 m. 这使得我们可以高精度地识别倒塌建筑物.

利用倒塌房屋遥感快速自动识别技术[2]并结合人工解译, 笔者对玉树县城建筑物倒塌情况进行了综合分析. 建筑物倒塌的识别结果如图 1 所示. 结果显示, 呈"T"字型展布的玉树县城房屋平均倒塌率为 53%, 县城东部区域的房屋倒塌明显低于西部区域. 房屋倒塌比较严重的区域主要分布在县城西部和南部地区, 平均倒塌率为 82%. 倒塌的房屋类型主要为土木结构或砖混结构的平房和一些矮层的楼房, 尤其是位于坡地的一些平房. 县城中心区和东部地区房屋倒塌率比较低; 以道路"T"字交叉口为中心, 周边主要为钢筋混凝土结构的大型建筑和高层楼房, 倒塌不严重, 平均房屋倒塌率为 16%.

结合房屋倒塌率空间分布特征和建筑类型分析, 可以发现同样建筑类型的低矮平房建筑区(图 2 黄色区域内), 城区西部和城区南部西区的平房或低矮建筑基本遭粉碎性破坏(图 3).

地震是由于断层的突然运动造成的[3]. 通过与震前遥感影像房屋建筑特征的对比分析, 发现倒塌建筑物与其距主震断裂距离、所处地质地貌环境、建筑物类型关系密切, 主要表现在以下几个方面.

(1) 距离主震断裂距离. 此次地震的主震断裂为甘孜-玉树断裂[4~6]. 该断裂从玉树县城西南穿过, 呈 NW-SE 走向. 通过统计玉树城区各处房屋倒塌率与距主震断裂的距离的关系可以看出, 随着距主震断裂距离的增加, 房屋倒塌率明显降低(图 4), 在距离主震断裂 4 km 处基本降为 0, 距离 4 km 以外即使有很多土木结构房屋也基本保存完好, 相关性统计显示二者在 0.01 的水平下相关性达到了 0.97. 由此可以看出, 此次地震沿着主震断裂能量释放作用明显; 在玉树县城处 4 km 左右为其有效作用距离. 采用线性拟合的方法对距离主震断裂距离与房屋倒塌率之间进行拟合(见图 5), 其拟合精度 R^2=0.943.

(2) 松软冲积扇地基. 大量地震灾害资料表明, 松软地基上的各种结构建筑破坏程度明显比坚硬地基破坏程度强. 建筑物在软地基和硬地基上的破坏程度之差约为烈度 2 度, 相当于软地基上的地震力提高 300%左右[7]. 笔者在进行玉树遥感图像分析时发现了扎西科冲积扇、前进村冲积扇、扎西大同冲积扇和胜利村冲积扇共 4 个冲积扇(图 2). 建于洪积扇上的房屋普遍倒塌严重[8], 扎西科冲积扇区域房屋倒塌率达 85% (图 2). 1995 年日本阪神大地震时, 在山丘硬地上建造的木结构房屋只有轻微的损坏, 但过渡到平坦地带, 木屋的损坏率急剧增加, 在冲积扇区域几乎达到 100%. 汶川地震房屋倒塌也出现这种现象[9~11].

(3) 建筑物结构类型. 分析建筑物倒塌率空间分布和建筑类型特征, 发现同样建筑类型的平房低矮

引用格式: Guo H D, Zhang B, Lei L P, et al. Spatial distribution and inducement of collapsed buildings in Yushu earthquake based on remote sensing analysis. Sci China Earth Sci, 2010, doi: 10.1007/s11430-010-1011-1

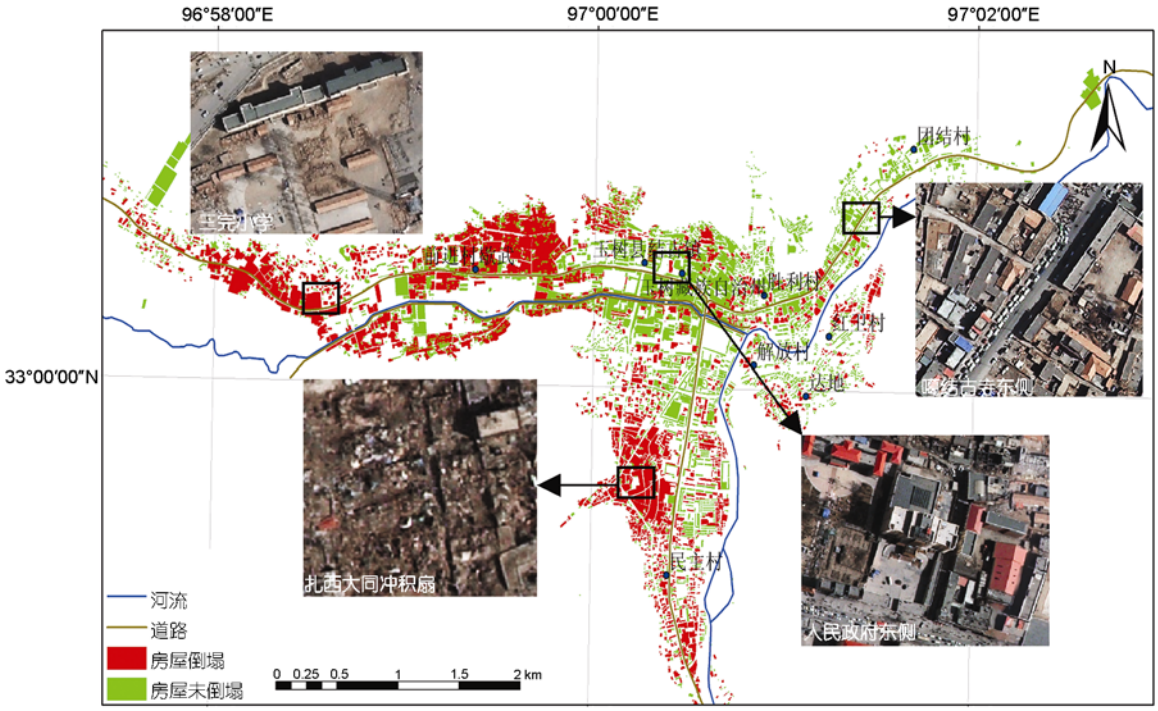


图 1　玉树县城房屋倒塌遥感解译图与局部影像示例

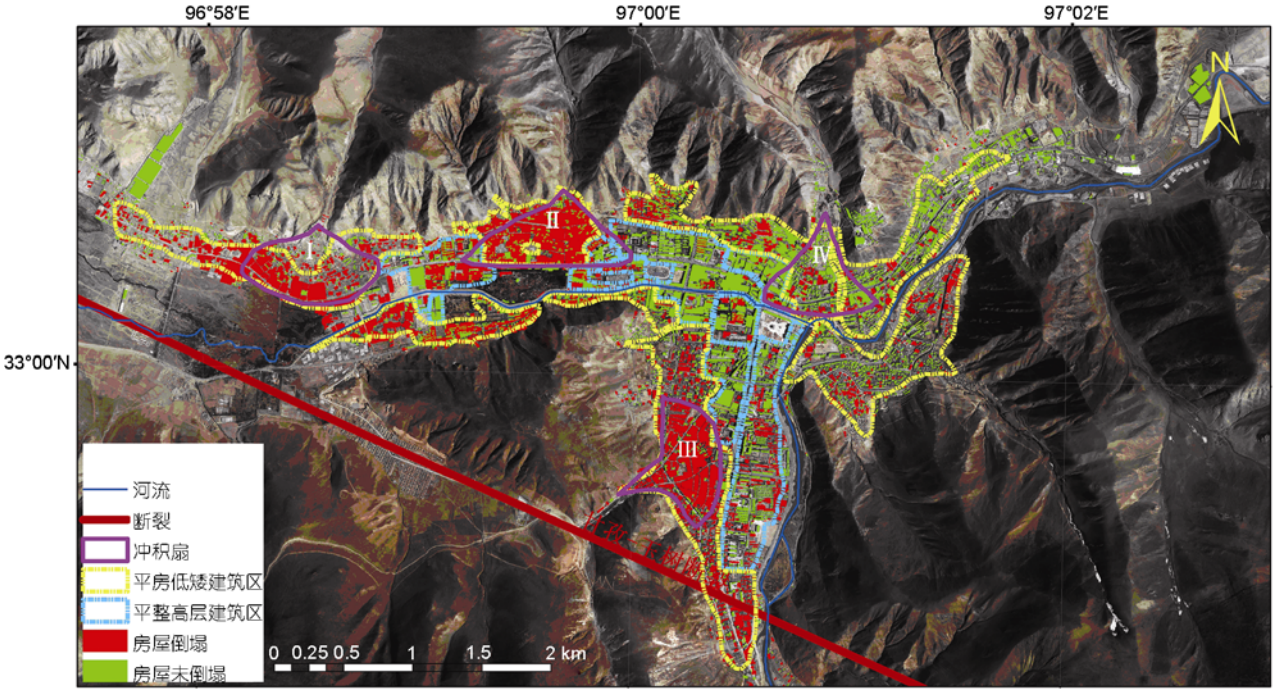


图 2　玉树倒塌建筑物空间分布与诱因要素叠加图

Ⅰ, 扎西科冲积扇; Ⅱ, 前进村冲积扇; Ⅲ, 扎西大同冲积扇, Ⅳ, 胜利村冲积扇



图 3　扎西科冲积扇房屋倒塌遥感解译图

房屋遭粉碎性破坏. 红色, 倒塌房屋; 绿色, 未倒塌房屋

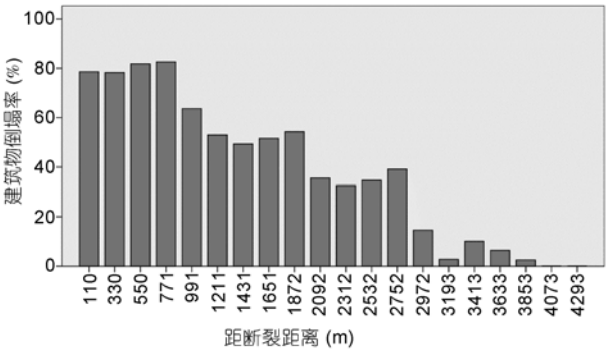


图 4　建筑物倒塌率与距主震断裂距离之间的关系

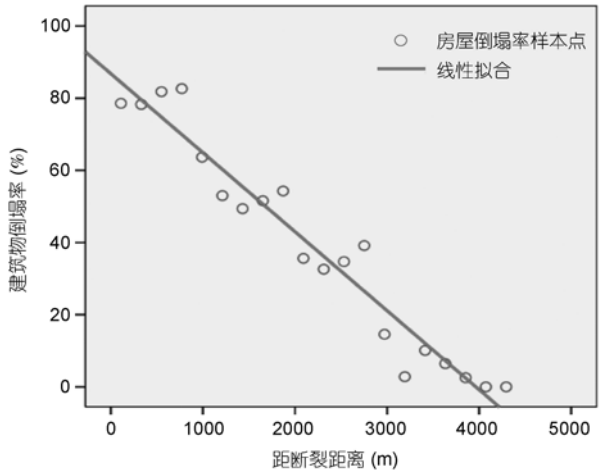


图 5　建筑物倒塌率与距断裂距离的线性拟合结果

建筑区(图 2 黄色区域内)受损严重; 城区西部和南部西区的平房或低矮建筑基本遭粉碎性破坏. 而框架结构的房屋保存较好, 或仅轻微受损.

三种诱因综合叠加结果如图 2 所示. 综合分析, 建筑物倒塌与距主震断裂带的距离高度相关, 与所处的松软冲积扇地基部位关系密切, 与建筑物自身结构类型十分有关. 距离断裂带较近、位于冲积扇之上、具有土木结构的建筑物最易倒塌. 4 个冲积扇区域的房屋均以土木结构为主, 离主震断裂较近的扎西科冲积扇、前进村冲积扇、扎西大同冲积扇以上建筑物倒塌最为严重, 而离断裂较远的胜利村冲积扇建筑物倒塌相对较轻.

致谢　　感谢陈颙先生的精心修改, 感谢审稿专家提出的宝贵意见.

参考文献

1　郭华东. 汶川地震灾害遥感图集. 北京: 科学出版社, 2009
2　郭华东, 鹿琳琳, 马建文, 等. 一种改进的地震灾害倒塌房屋遥感信息自动识别方法. 科学通报, 2009, 54: 2581—2585
3　陈颙. 汶川地震是由水库蓄水引起的吗? 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39: 257—259
4　顾瑾萍. 青海玉树 7.1 级强震地震地质构造背景. 2010. http://www.csi.ac.cn/manage
5　陈运泰. 玉树地震震源机制和破裂过程快报. 第 4 版. 2010. http://www.csi.ac.cn/manage/html
6　邓起东, 冉勇康, 杨晓平. 中国活动构造图. 北京: 地震出版社, 2007
7　钱培风. 日本阪神地震灾情严重的主要原因. 地震研究, 1996, 19: 328—330
8　郭华东, 王心源, 李新武, 等. 多模式 SAR 玉树地震协同分析. 科学通报, 2010, 55: 1195—1199
9　Guo H D, Li X W, Zhang L. Study of detecting method with advanced airborne and spaceborne synthetic aperture radar data for collapsed urban buildings from the Wenchuan earthquake. J Appl Rem Sens, 2009, 3: 31695
10　Zhang B, Jiao Q J, Wu Y H, et al. Estimating soil erosion changes in the Wenchuan earthquake disaster area using geo-spatial information technology. J Applied Remote Sens, 2009, 3: 03167
11　Lei L P, Liu L Y, Zhang L, et al. Assessment of spatial variation of the collapsed houses in Wenchuan earthquake with aerial images. J Applied Remote Sens, 2009, 3: 031670