

谨以此文向青海玉树地震中遇难的同胞致哀,向所有
参加救援、重建和进行科学研究的人员致敬

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

玉树地震地表破裂调查与灾后重建避让选址研究

张永双,马寅生,胡道功,杨农,熊探宇,郭长宝

中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081

内容提要:2010年4月14日07时49分40.7秒,青海省玉树县发生Ms7.1级地震。通过现场调查和分析,玉树地震的发震断裂是甘孜—玉树活动断裂的玉树段,地震产生的地表破裂长度为23km,走向北西西—北西,总体表现为左旋走滑特征,可进一步分为3段:西段呈连续延伸的左旋走滑破裂,在隆宝镇的“郭央烟宋多”附近(坐标:北纬33°03′11″、东经96°51′26″)最大水平位移达1.75m,可定为宏观震中;中段主要位于县城南侧,由多条右阶斜列的破裂组成;东段表现为逆冲兼左旋走滑。玉树地震除了造成大量房屋破坏外,次生地质灾害主要包括:地震砂土液化及其引起的公路变形、地震滑坡、地震诱发水渠破坏及其链生土质滑坡和泥石流等。通过对内外动力地质灾害的综合分析,初步提出了玉树地震灾区灾后重建避让选址的建议。

关键词:玉树地震;地表破裂;宏观震中;地质灾害;避让选址

2010年4月14日07时49分40.7秒,青海省玉树藏族自治州玉树县发生Ms7.1级地震。中国地震台网中心(CENC)测得这次地震的震中位置为33.1°N,96.7°E,震源深度33km,震级Ms7.1;后将震中位置更正为33.2°N,96.6°E,震源深度14km。美国地质调查局(USGS)公布的震中位置(±6.6 km)为33.271°N,96.629°E,震源深度为10km,震级Mw6.9(图1)。截至4月25日17时,玉树地震导致2220人遇难,失踪70人。地震造成连续的地表破裂,大量民房倒塌,其中重灾区玉树县州府结古镇房屋倒塌最为严重(图2)。

玉树地震之后,国土资源部随即成立了“玉树地震抗震救灾应急专家组”,按照现场指挥部统一部署,灾后应急地质调查工作的重点是地质灾害和地震断裂应急调查,为玉树地震灾区灾后重建规划和避让选址提供依据(殷跃平等,2010)。作者作为专家组成员承担了玉树地震断裂和地震地表破裂的应急调查任务。通过野外地质调查,首先发现了玉树7.1级地震造成的较为连续的地表破裂,扭转了人

们前期认为玉树地震没有地表破裂的看法,随后确定玉树7.1级地震造成地表破裂长度23km,基本查清了玉树地震地表破裂的地质结构,为玉树地震灾区灾后重建避让选址提供了重要依据。

1 地质概况与发震断裂

1.1 地质概况

玉树县地处玉树藏族自治州东部,境内地形以高海拔、低起伏山地为主,平均高程4548m;主要水系包括通天河、扎曲、巴曲等。玉树县下辖结古、隆宝、下拉秀、巴塘、安冲、仲达、上拉秀、小苏莽五乡三镇,基本形成以结古镇为中心,国道214线、玉—治、玉—杂公路为依托的公路网络体系。在大地构造上,玉树县处于巴颜喀拉(松潘—甘孜)地块,与羌塘地块毗邻(图3)。玉树Ms7.1级地震即发生在巴颜喀拉块体南边界中部的甘孜—玉树断裂带上,该断裂带为青藏高原内部的一条北西向的大型走滑活动断裂带,同时也是川滇菱形块体的一条重要边界断裂,它的生成、演化及新活动特征和青藏高原的动力学

注:本文为中国地质调查局国土资源大调查项目(编号1212010914025)资助的成果。

收稿日期:2010-04-26;改回日期:2010-04-29;责任编辑:郝梓国。

作者简介:张永双,男,1968年生。博士,研究员,博士生导师。主要从事工程地质与地质灾害研究工作。电话:010-68486765;Email:zhys100@sohu.com。

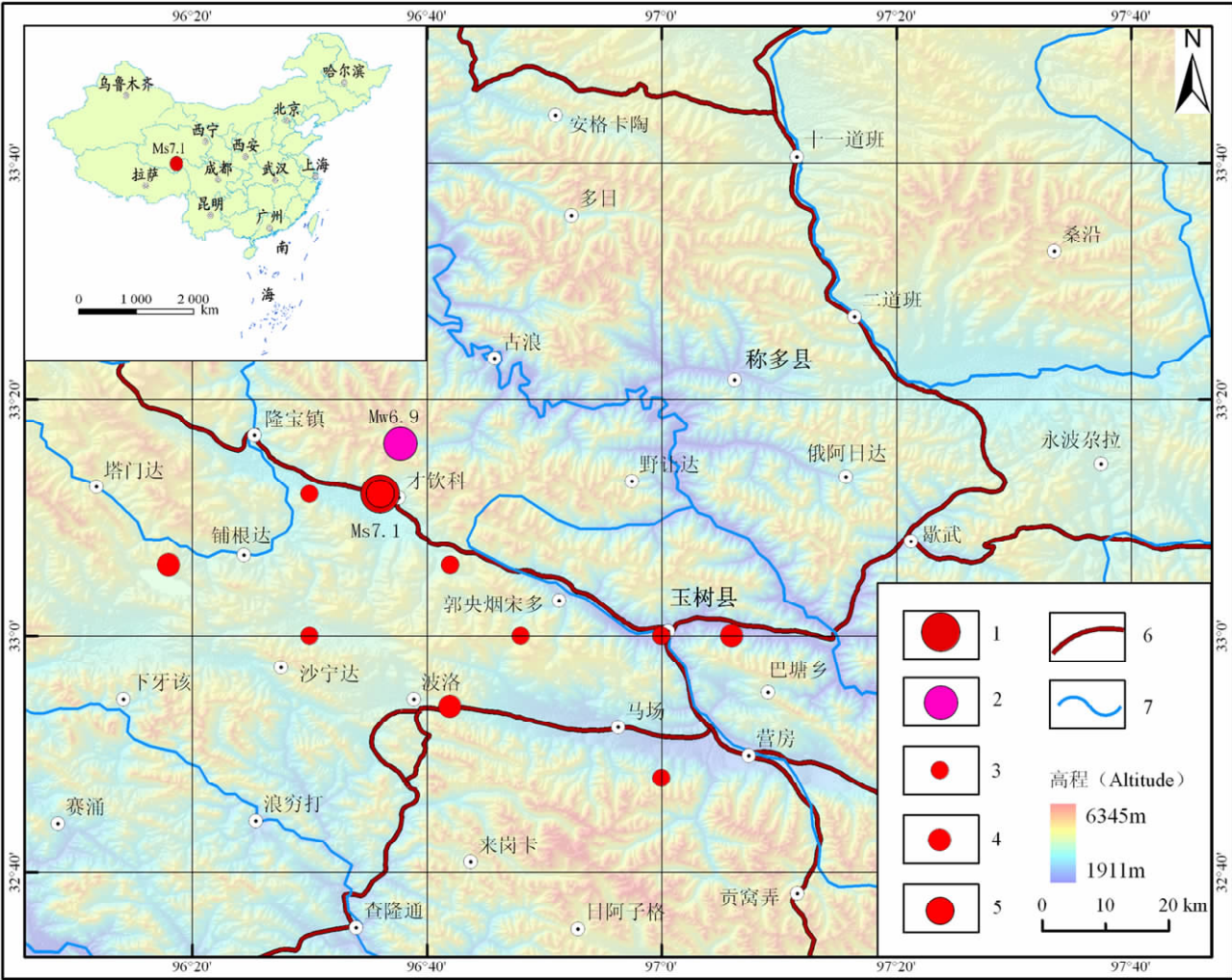


图 1 玉树 Ms7.1 级地震震中位置示意图

Fig. 1 Sketch map showing Yushu Ms7.1 Earthquake epicenter position

- 1—玉树地震震中(中国地震台网中心);2—玉树地震震中(美国地质调查局);3—玉树地震余震震中:3.0≤Ms<4.0;
4—玉树地震余震震中:4.0≤Ms<5.0;5—玉树地震余震震中:5.0≤Ms<7.0;6—公路;7—河流
- 1—Yushu earthquake epicenter (CENC); 2—Yushu earthquake epicenter (USGS); 3—aftershock epicenter (3.0≤Ms<4.0);
4—aftershock epicenter (4.0≤Ms<5.0); 5—aftershock epicenter (5.0≤Ms<7.0); 6—road; 7—river

过程密切相关。

1.2 玉树地震发震断裂

青海玉树地震是甘孜—玉树活动断裂带突发错动的结果。甘孜—玉树断裂带规模巨大,西起青海治多县那王草曲塘,经当江、玉树、邓柯、玉隆,至四川甘孜县城南,全长约 500km。甘孜—玉树断裂是在前第四纪基岩断裂带的基础上发展起来的一条全新世强烈活动断裂。老的基岩断裂破碎带一般宽数十米至百余米,局部地段达数百米。而新的破裂面则局限于比较狭窄的范围内,一般仅有一条新活动面(周荣军等,1997)。甘孜—玉树断裂带晚第四纪以来的强烈左旋走滑运动在地貌上留下了非常醒目的痕迹,沿断裂线,冲沟、洪积扇、河流阶地、冰碛垄

及山脊等往往被断裂左旋错断(图 3)。

甘孜—玉树断裂带具有长期活动的地质演化历史,晚新生代以来,该断裂带北西段和中段走滑速率 8mm/a 左右,南东段约 10mm/a 左右(冉勇康,2010)。该断裂南东段甘孜一带千年尺度的滑动速率达 10mm/a 左右,GPS 观测的现代滑动速率也在 10mm/a 左右(闻学泽,2004)。甘孜—玉树断裂带曾经于 1738 年 12 月 23 日在玉树西北发生过 6.5 级地震,1896 年 3 月在四川省石渠洛须—青海玉树间发生 7.0 级地震,1979 年 3 月 29 日在玉树南东发生 6.2 级地震(冉勇康,2010),2006 年 7 月 18、19 日在青海玉树发生了 5.0、5.6、5.4 级地震(都昌庭,2006)。2010 年 4 月 14 日玉树 Ms7.1 级地震是近年来甘孜—玉树断

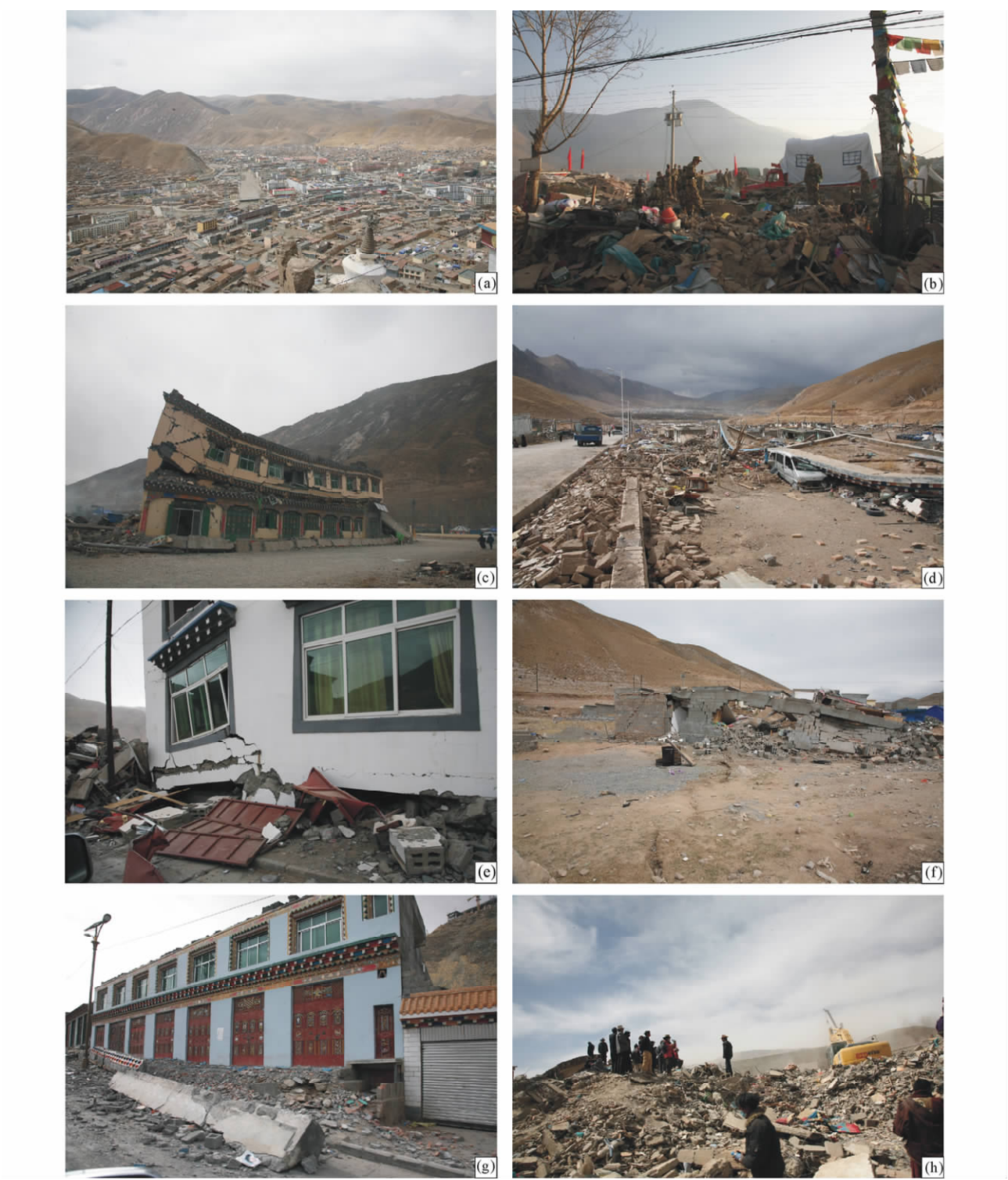


图 2 玉树地震造成的建筑物破坏特征

Fig. 2 Destruction characteristics of buildings after the Yushu earthquake

(a)—地震后的玉树县城一隅(SE); (b)—县城西侧房屋破坏严重(N); (c)—在剪切-挤压作用下二楼缺失(SE); (d)—建筑物和汽车被压扁(NW); (e)—一楼在剪切-挤压作用下夷平(NW); (f)—地表破裂从建筑物中间通过(E); (g)—建筑物檐角易破坏(W); (h)—建筑物呈碎块状损毁(E)

(a)—The main part of Yushu County after the earthquake; (b)—serious destruction of the west part of Yushu County; (c)—second floor disappears after shear-compress action; (d)—buildings and car are flattened; (e)—first floor disappears after shear-compress action; (f)—surface rupture passes through a house basement; (g)—brims and corners of building can be destroyed more easily; (h)—buildings are completely destroyed into blocks

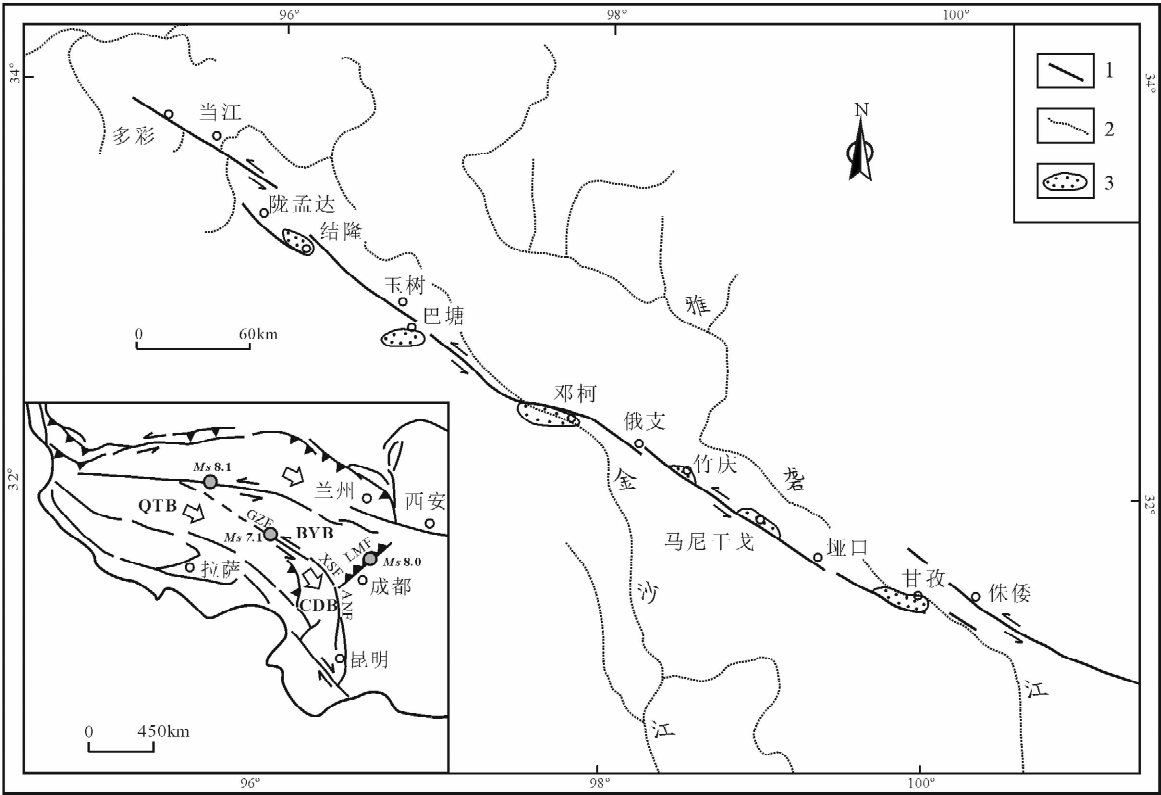


图 3 甘孜-玉树活动断裂带平面展布图(据周荣军等修改,1997)

Fig. 3 Distribution map of Ganzi-Yushu active fault zone (after Zhou Rongjun, 1997)

1—主干断裂; 2—水系; 3—第四纪盆地; BYB—巴颜喀拉地块; CDB—川滇地块; QTB—羌塘地块;
GZF—甘孜-玉树断裂; LMF—龙门山断裂; XSF—鲜水河断裂; ANF—安宁河断裂

1—Main active fault; 2—river; 3—quaternary basin; BYB—Banyan har block; CDB—Sichuan-Yunnan block; QTB—Qiang tang block;
GZF—Ganzi-Yushu fault; LMF—Longmenshan fault; XSF—Xian shuihe fault; ANF—Anning he fault

裂带在玉树县附近发生的最大一次地震。

1.3 玉树地震的震源机制

陈运泰等(2010)在震后利用全球 31 个台站的波形资料反演得到了本次玉树地震的地震矩张量解。根据反演结果,这次玉树地震的标量地震矩约为 4.4×10^{19} Nm,对应的矩震级为 7.0,表征震源机制的两个节面分别为:走向 119° /倾角 83° /滑动角 -2° 和走向 209° /倾角 88° /滑动角 -173° 。根据玉树地区的断裂构造背景,判定这次青海玉树地震的发震断层是一条沿着走向 119° 近乎直立的左旋走滑断层。

2 玉树地震地表破裂特征

通过野外地质调查,我们首先发现了玉树 Ms7.1 级地震造成的较为连续的地表破裂,确定地震地表破裂长度 23km,并基本查清了地表破裂的地质结构(图 4),即:玉树地震地表破裂在平面上大致可以分为三段:西段自玉树赛马场以西至堪扣一带,长度 12.3km;中段在城区范围南部(扎曲以南)

至加吉村东侧山梁,长度 4.8km;东段大致从加吉村东侧山梁沿玉树-巴塘公路加油站西侧山坡向东南延伸,长度 5.9km。

2.1 西段特征

玉树地震地表破裂西段位于玉树赛马场以西至堪扣一带,沿扎曲河南岸山坡展布,主要分布在向北倾斜的斜坡带上部,总体走向 305° ,连续延伸长 12.3km,呈左旋走滑性质,同震最大走滑位移 1.75 m。地表破裂及其分支裂缝的影响带宽度一般 15~20m,局部可达 30m;地表破裂有时呈左行右阶雁列式分布,阶区宽一般 4~6m,最大可达 30m;沿主破裂常出现一系列挤压隆起或鼓包,帐篷构造、拉分裂槽、错断冲沟、反向陡坎等现象发育(图 5,图 6)。在一条近南北向冲沟的沟口附近,观测到由多次地震活动造成的累积左旋水平位移 35m,反向陡坎高 0.5~1.5m,新的地震地表破裂即叠加在该反向断坎之上。该段地表破裂在中间有断续现象。

根据玉树地震地表破裂和建筑物破坏情况等综

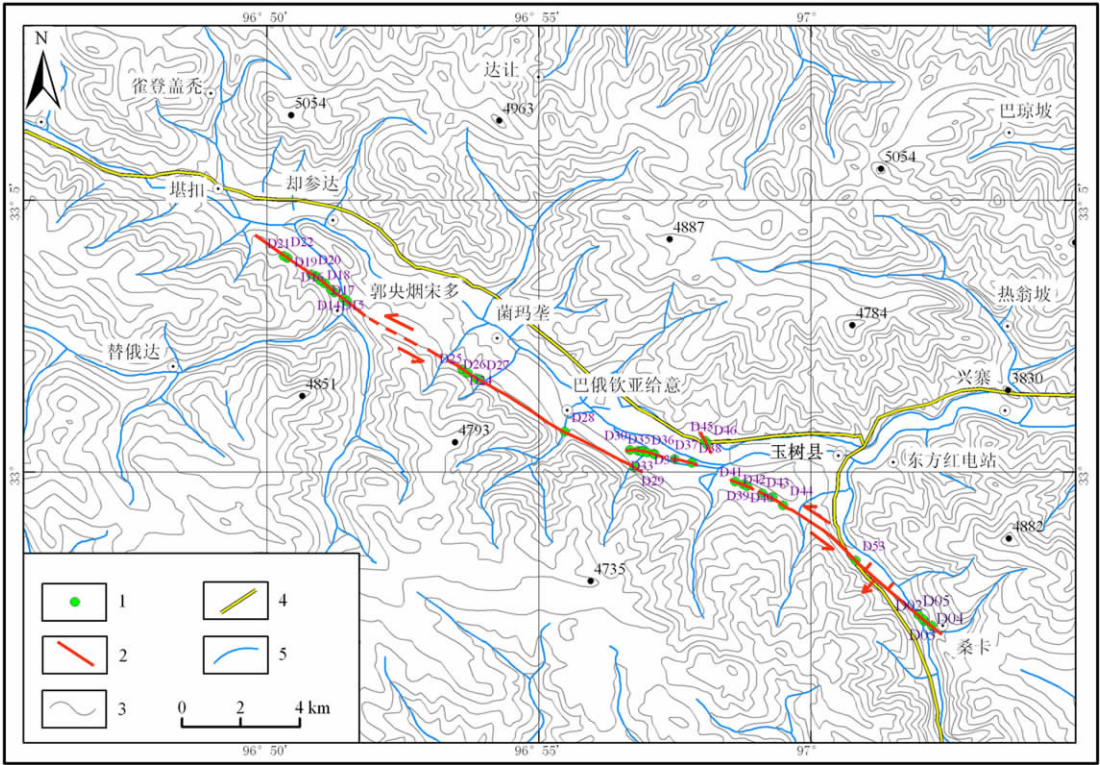


图 4 玉树地震地表破裂平面展布图

Fig. 4 Distribution map of the Yushu Earthquake surface ruptures

1—野外调查点; 2—地表破裂; 3—等高线; 4—公路; 5—河流

1—Field investigation point; 2—earthquake rupture; 3—contour; 4—road; 5—river

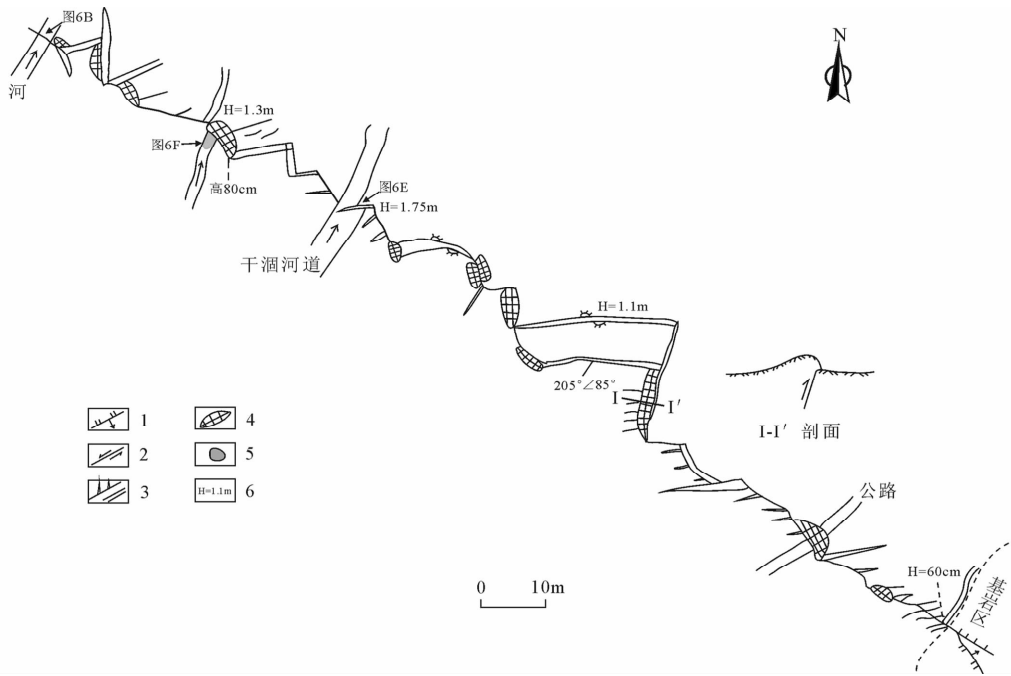


图 5 玉树地震破裂西段宏观震中附近素描图

Fig. 5 Sketch map of the west segment of Yushu earthquake ruptures near the macroscopical epicenter

1—逆断裂; 2—走滑断层; 3—地表破裂及分支裂缝; 4—挤压隆起(鼓包); 5—断塞塘; 6—水平位移

1—Reverse fault; 2—strike-slip fault; 3—main rupture and sub-rupture; 4—earthquake bulge; 5—fault clogged pond; 6—horizontal offset



图 6 玉树地震破裂带西段地质特征

Fig. 6 Geological characteristics of the west segment of the Yushu earthquake ruptures

(a)—连续延伸的地震破裂(NW); (b)—地震破裂造成河流跌水(NW); (c)—帐篷状构造(NW); (d)—地表破裂沿反向断坎发育(SE); (e)—地表破裂最大水平位移 1.75m(NE); (f)—地表破裂位错形成小型堰塞塘(NE); (g)—右阶排列的地震地表破裂(NW); (h)—地震破裂西段所在的地貌特征(SE)

(a)—Continuous earthquake ruptures; (b)—river drop caused by earthquake ruptures; (c)—tent conformation caused by earthquake ruptures; (d)—ruptures developing along a reverse scarp caused by paleo-earthquake; (e)—the maximum horizontal offset of the rupture is 1.75 m; (f)—a mini-dammed pond caused by rupture; (g)—earthquake ruptures distributing as a type of right-step; (h)—landform of the location of west segment ruptures

合调查认为,距离玉树县城西北方向隆宝镇郭央烟宋多附近,地表破裂同震水平位移最大(1.75m),可定为宏观震中。其位于中国地震信息网公布的仪器震中东南约 30km,宏观震中坐标为:33°03′11″N、东经 96°51′26″E。在宏观震中附近,地表破裂表现为一系列挤压鼓包与张裂缝相间排列(图 5),反映出纯剪切破裂的特点。

2.2 中段特征

玉树地震地表破裂中段位于玉树城区南部赛马场以西(扎曲以南)至加吉村(三江源移民村)东侧山梁,长 4.8km,由多条雁列式分布的左旋走滑破裂组成(图 7)。斜列的地表破裂总体呈右阶分布,阶区宽一般 50~100m。该段地表破裂的同震位移较小,可见最大水平位移约 0.3m;沿地表破裂延伸方向局部地段,因地震造成的房屋破坏严重,无法观测到地表破裂(图 7 中虚线部分)。在主城区没有发现大的地震破裂带(图 8)。

通常,研究与走滑活动构造相关的发展断裂带

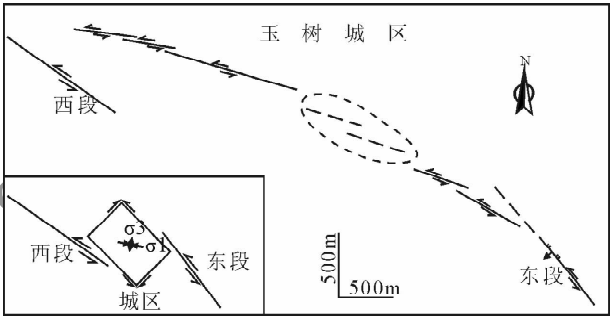


图 7 玉树地震破裂模式图

Fig. 7 The map showing the Yushu earthquake ruptures formation

时,断裂带的阶区或拐弯的构造部位值得特别关注(Shifeng Wang et al., 2008; Bihong Fu et al., 2004,李海兵等,2008)。从玉树地震地表破裂的分段性及其空间组合关系可以看出,玉树县城所在地可能位于西段和东段之间的阶区,因而导致其中的地表破裂呈雁列式分布。尽管其中地表破裂规模不



图 8 玉树地震破裂中段主要特征

Fig. 8 Characteristics of the middle segment of the Yushu earthquake ruptures

(a)—城区南部呈雁列式分布的地表裂缝(W); (b)—雁列式分布的地表裂缝延伸至灾后安置点(W);
(c)—城区南部地表裂缝最大水平位移 30cm(E); (d)—地表破裂从加吉村房屋下穿过(E)

(a)—En echelon ruptures in south part of the Yushu county town; (b)—en echelon ruptures extend to a re-allocation site; (c)—the maximum horizontal offset of the rupture is 0.3m; (d)—surface rupture across the house of Jiagiji village west to the Yushu county town

大,但其中的应力条件比较复杂,总体表现为 NW 方向挤压,伴随 NNE 向的拉张(图 6),灾后重建选址时应注意这一构造形式和应力特点。

2.3 东段特征

玉树地震地表破裂东段从加吉村东侧山梁沿玉树-巴塘公路加油站西侧山坡向东南延伸,穿越巴曲后,从结古镇禅古村南侧通过,抵达禅古村小学操场终止。该段地表破裂长度 5.9km,走向 320°,地震破裂呈走滑-逆冲性质,局部逆冲为主。在禅古村附近,同震地表破裂最大垂向位移达 0.6m,水平位移 0.3m(图 9,图 10)。

上述玉树地震地表破裂的调查结果以及对地震地表破裂特征的认识,将为玉树地震灾区灾后重建避让选址提供重要的依据。

3 地震次生地质灾害特征初步分析

3.1 地震砂土液化及其引起的公路变形

强烈地震作用常引起饱水的砂土产生液化,野外调查表明,本次玉树地震造成的砂土液化虽然较

少,但也造成了明显的地质灾害(殷跃平等, 2010)。例如,在扎拉那一带,公路路基下伏为河漫滩相砂土,地下水位浅,在地震作用下砂土液化引发路基变形,致使路面波状起伏并发生开裂。又如,在隆宝湿地自然保护区,玉树-治多公路路基下伏沼泽相淤泥质土,在地震作用下软土发生流变,引起路面开裂滑移,进而促发公路边坡稳定性变差(图 11)。

3.2 地震滑坡分布与活动断裂之间的关系

尽管本次地震造成的次生地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流)相对较少,但仍可以看出二者之间的关系。基岩斜坡(边坡)在超过 45°时才容易产生地震崩滑,并且一般在距地震断裂 2km 范围内(图 12)。值得指出,一些滑坡尽管目前表现为表层的崩滑,但是由于地震作用造成斜坡后缘产生拉裂,改变了斜坡岩体的结构,促使其性质劣化,因此应加强震后斜坡的稳定性评价工作。

3.3 地震诱发水渠破坏及其链生土质滑坡

玉树-巴塘公路南侧水渠所在斜坡,前缘由冲积一坡洪积物混合堆积构成,中上部粘性土含量较

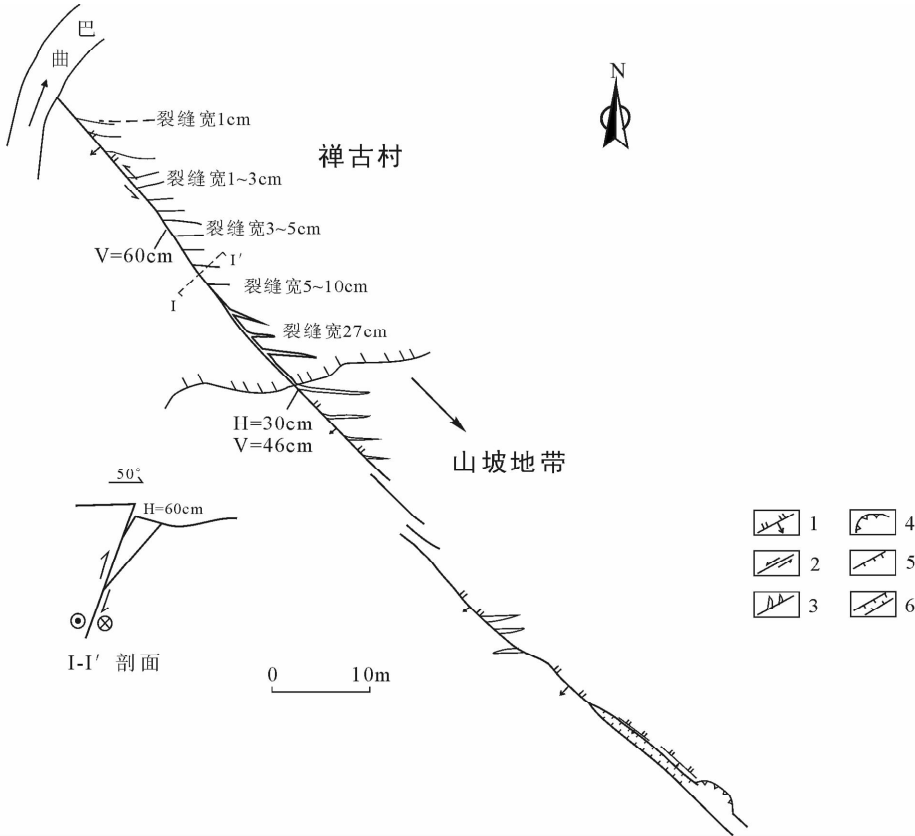


图 9 玉树地震破裂东段禅古村附近素描图

Fig. 9 Sketch map of the east segment of Yushu earthquake ruptures near the Changgu village

1—逆断层;2—走滑断层;3—地表破裂及分支裂缝;4—滑坡;5—地形陡坎;6—冲沟

1—Reverse fault; 2—strike-slip fault; 3—main ruptures and sub-rupture; 4—landslide; 5—terrain scrap; 6—gully



图 10 玉树地震破裂东段主要特征

Fig. 10 Characteristics of the east segment of Yushu earthquake ruptures

(a)—地震地表破裂东段与震后禅古村废墟(NW); (b)—禅古村断坎以逆冲-走滑为特征(SE);

(c)—地震地表破裂东段从加吉村通过(SE); (d)—地震破裂从玉树-巴塘公路南侧斜坡中部通过(S)

(a)—Characteristics of east segment of earthquake ruptures near the Changu Village after earthquake; (b)—fault-scarp in Changu Village indicating the thrust-slip feature; (c)—the east segment of the Yushu earthquake ruptures passing through Jiagi Village; (d)—the east segment of the Yushu earthquake ruptures pass through the south slope of Yushu-Batang Road

高。地震地表破裂在山坡中部大致平行公路连续延伸,走向 317° ,距水渠不足 100m,地震造成水渠破坏,渗水引起粘性土饱水而滑坡。在玉树—巴塘公路加油站东约 600m 的范围内,连续出现 4 个较大规模的土质滑坡,由于滑体含水量高,迅速转化成泥石流,滑移最远的滑体可冲至巴曲北岸(图 13)。

3.4 建筑物破坏与地震断裂的关系

通过调查发现,玉树地震造成的建筑物破坏与地震断裂、活动断裂密切相关,沿地震断裂建筑物破坏强烈,并且建筑物破坏主要集中在地震断裂的北盘(图 2)。在距地震断裂 500m 以内,建筑物破坏严重,1km 以外建筑物破坏明显减轻。由于玉树地震断裂通过玉树县城西南侧,因此,造成地震断裂附近 1km 以内的玉树县城南部和西部破坏严重,县城东侧、北侧由于距地震断裂超过 2km,因而破坏较轻。

4 重建避让选址探讨

按照国家建筑抗震设计规范(2008),全新世活

动断裂带附近进行工程建设必须进行避让。近年来,活动断裂避让选址问题受到国内外不少学者的关注并进行了相关研究(徐锡伟等, 2002; Earl & William, 1997; Dong Shuwen et al., 2008; Xiwei Xu et al., 2009; 张永双等, 2008; 周庆等, 2008; 付小方等, 2008)。前已述及,玉树地震地表破裂大致可以分为 3 段,即:玉树县赛马场以西的西段、城区南部“雁列式”分布的中段、从玉树县城扩展到结古镇禅古村的东段。根据地震破裂的分布特征及其与地形之间的关系,避让选址的侧重点有所不同。

(1)在西段,由于地震断裂(地表破裂)主要位于 4000m 左右高程的山坡地带,通常不会或不宜作为重建选址的场地。而对于城区西部和南部平缓地带,则应做好地震断裂的避让,这也是本次地震造成灾害较严重的地区。由于本次地震破裂属于走滑型,根据现场调查并借鉴美国加州的做法,断裂单侧一般须避让 20m 以上,在避让带外侧,还应根据地震烈度选取相应的抗震设计标准,这方面我国有专



图 11 地震砂土液化及其诱发灾害特征

Fig. 11 Sand soil liquefaction and corresponding disasters caused by the Yushu earthquake

(a)—地震引起的扎曲河漫滩砂土液化(N); (b)—扎曲北侧公路路基变形(NW); (c)—地震诱发隆宝湿地路基变形(NW);
(d)—地震诱发路基变形链生潜在滑坡(E)
(a)—Sand soil liquefaction at the Zhaqu River floodplain; (b)—roadbed distortion at north side of Zhaqu River;
(c)—roadbed deformation of Longbao marsh; (d)—roadbed deformation and corresponding landslide

门的国家标准。

(2)在玉树主城区,尽管本次地震未造成大的破裂带,但由于其所处的特殊地质位置和应力条件,如果继续原地重建,应加强抗震设计和提高房屋建筑质量。

(3)在玉树地震地表破裂东段通过的玉树—巴塘公路南侧边坡沿线,要重视活动断裂带与边坡稳定性之间的关系,加强边坡前缘土体滑坡的防治并部署相应的监测预警措施。该地段目前已毁坏的水渠不宜重新修复。

(4)综合考虑玉树地震地表破裂的发育现状和玉树地震断裂特征,在城区附近扎曲以南不宜作为重建规划区,扎曲以北的主城区在恢复重建中必须加强建(构)筑物抗震设计。

(5)建议根据本地区的发展规划,进一步探索玉树地震重灾区异地(如巴塘一带)重建的可能性。

值得指出,在重建避让选址过程中,还要加强活动断裂的进一步调查和稳定性评价,因为一次地震

并不能完全反映一条活动断裂的全部特征,要借助古地震和活动断裂性质研究进行综合分析。同时,重建选址过程中,还要把内动力地质灾害(如地震、地表错断等)和外动力地质灾害(如崩塌、滑坡、泥石流等)综合考虑。

5 结论

玉树 Ms7.1 级地震是近年来甘孜—玉树断裂带在玉树地区发生的最大一次地震。玉树地震后,作者随国土资源部抗震救灾应急专家组深入玉树地震灾区,野外对地震地表破裂和地震次生地质灾害进行了调查和初步分析研究,获得如下主要认识:

(1)玉树地震的发震断裂是甘孜—玉树活动断裂的玉树段。地震产生的地表破裂长度为 23km,走向北西西—北西,总体表现为左旋走滑特征。

(2)玉树地震地表破裂带可进一步分为 3 段:西段呈连续延伸的左旋走滑破裂,在玉树县城西北方



图 12 地震滑坡分布与活动断裂之间的关系

Fig. 12 Distribution relationship between earthquake-induced landslides and active faults
(a)—距地震造断裂 2km 的陡坡发生滑动(NW); (b)—表层溜坍后缘出现拉裂缝预示斜坡岩体劣化(N);
(c)—地震断裂附近的土质滑坡(SSW); (d)—地震断裂附近的崩滑体阻断公路(SSE)

(a)—A steep slope, 2 km far from the earthquake fault, glided after Yushu earthquake; (b)—tensile cracks disappearing on the slope backedge indicates rock mass degradation; (c)—a huge soil landslide occurs near the earthquake fault; (d)—a landslide near the earthquake fault blocked the road



图 13 地震诱发水渠破坏及其链生土质滑坡

Fig. 13 Aqueduct damaged and soil landslide developed after Yushu earthquake
(a)—地震造成活动断裂附近的水渠损毁(SEE); (b)—土质滑坡迅速转化成泥石流(SSW)

(a)—Aqueduct near the active fault was damaged by earthquake; (b)—soil landslide quickly transferred into mudflow during earthquake

向隆宝镇郭央烟宋多附近,地表破裂同震水平位移最大,达 1.75m,可定为宏观震中;中段主要位于县城南侧,由多条右阶斜列的破裂组成;东段表现为逆

冲兼左旋走滑。

(3)玉树地震除了造成大量房屋破坏外,次生地质灾害主要包括:地震砂土液化及其引起的公路变

形、地震滑坡、地震诱发水渠破坏及其链生的土质滑坡等。

(4)初步提出了玉树地震灾区灾后重建避让选址的建议。根据地震破裂的分布特征及其与地形之间的关系,在玉树地震断裂或地表破裂附近避让选址的侧重点有所不同。在选址过程中,应综合考虑内动力地质灾害(如地震、地表错断等)和外动力地质灾害(如崩塌、滑坡、泥石流等)因素,不可偏废。

致谢:本项工作得到国土资源部中国地质调查局、青海省国土资源厅和地质力学研究所各位领导的大力支持,国土资源部玉树地震抗震救灾应急专家组组长殷跃平研究员、副组长田廷山研究员等对本项工作给予了现场指导,还得到参加现场应急地质调查的各兄弟单位技术人员的大力配合和不同形式的帮助,特此深表谢意!

参 考 文 献

陈运泰, 2010. 2010 年 4 月 14 日青海玉树地震震源机制和破裂过程快报(V4). from internet.

都昌庭, 李文巧. 2006. 2006 年青海玉树 5.0、5.6、5.4 级地震灾害损失及震害特点. 震灾防御技术 1(4): 371~377.

付小方, 侯立玮, 李海兵等. 2008. 汶川大地震(Ms 8.0)同震变形作用及其与地质灾害的关系. 地质学报, 82(12): 1733~1746.

李海兵, 付小方, Jerome Van Der Woerd 等. 2008. 汶川地震(Ms8.0)地表破裂及其同震右旋斜向逆冲作用. 地质学报, 82(12): 1623~1643.

嵇少丞, 王茜, 孙圣思等. 2008. 亚洲大陆逃逸构造与现今中国地震活动. 地质学报, 82(12): 1644~1667.

冉永康. 2010. 甘孜—玉树断裂及历史大地震活动情简况. from internet.

闻学泽, 黄圣睦, 江在雄. 1985. 甘孜—玉树断裂带的新构造特征与地震危险性估计. 地震地质, 7(3): 21~32.

闻学泽, 徐锡伟, 郑荣章等. 2003. 甘孜—玉树断裂的平均滑动速率与近代大地震破裂. 中国科学, 33(3): 199~208.

徐锡伟, 于贵华, 马文涛等. 2002. 活断层地震地表破裂"避让带"宽度确定的依据与方法. 地震地质, 24(4): 470~483.

殷跃平, 田廷山, 李文渊等. 2010. 青海玉树地震地质灾害调查. 工程地质学报, 18(2): 144.

张永双, 雷伟志, 石菊松等. 2008. 四川省北川县擂鼓盆地地壳稳定性与城镇选址. 地质学报, 82(12): 1758~1768.

张岳桥, 杨农, 施炜等. 2008. 青藏高原东缘新构造及其对汶川地震的控制作用. 地质学报, 82(12): 1668~1678.

周庆, 徐锡伟, 于贵华等. 2008. 汶川 8.0 级地震地表破裂带宽度调查. 地震地质, 30(3): 778~788.

周荣军, 马声浩, 蔡长星. 1996. 甘孜—玉树断裂带的晚第四纪活动特征. 中国地震, 12(3): 250~260.

周荣军, 闻学泽, 蔡长星等. 1997. 甘孜—玉树断裂带的近代地震与未来地震趋势估计. 地震地质, 19(2): 115~124.

中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫总局. 2008. 建筑抗震设计规范(GB50011-2008). 北京: 中国建筑工业出版社.

Bihong Fu, Yoshiki Ninomiya, Xinglin Lei et al. 2004. Mapping the active strike-slip fault triggered the 2003 Mw 6.6 Bam, Iran, earthquake with ASTER 3D images. Remote Sensing of Environment, 92: 153~157.

Dong Shuwen, Zhang Yueqiao. 2008. Surface rupture and co-seismic displacement produced by the Ms 8.0 Wenchuan earthquake of May 12th, 2008, Sichuan, China: Eastwards growth of the Qinghai-Tibet Plateau. Acta Geologica Sinica(English edition), 82(5): 938~948.

Earl W H and William A. B. 1997. Fault-Rupture Hazard Zones in California: Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zones Maps. California Department of Conservation Division of Mines and Geology.

Shifeng Wang, Xiaomin Fang, Erchie Wang, 2008. Late Cenozoic deformation along the northwestern continuation of the Xianshuihe fault system, Eastern Tibetan Plateau. GSA Bulletin, 120(3/4): 312~327, doi: 10.1130/B25833.1.

Xiwei Xu, Xueze Wen, Guihua YU. 2009. Coseismic reverse-and oblique-slip surface faulting generated by the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, China. Geology, 37(6):515~518.

Investigation and Research on the Surface Rupture of the Yushu
Earthquake and Reconstruction Site Selection

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>
ZHANG Yongshuang, MA Yinsheng, HU Daogong, YANG Nong, XIONG Tanwu, GUO Changhao
Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081

Abstract

The Yushu Ms 7.1 earthquake was happened at 7:49:40.7 on April 14, 2010 in Yushu county of Qinghai province. Field investigation and analysis indicate that the Yushu segment of Ganzi-Yushu fault is the earthquake causing fault. The total rupture length caused by the Yushu earthquake is 23 km with a strike direction of NWW-NW. The rupture is mainly characterized by left-lateral slipping, which can be further divided into three segments. The west segment is a continuous left-lateral slipping rupture, near the site, named Guo-yang-yan-song-duo, of Longbao town (33°03'11"N, 96°51'26"E), the horizontal offsets of the rupture is 1.75m, which is the largest amount measured, so the authors regard this area is the macroscopical epicenter. The middle segment is mainly located at the south of the city town, and composed by several right-step sub-ruptures. The east segment is mainly characterized by thrusting associated with left-lateral strike-slipping. Besides a large amount of house ruining, the Yushu earthquake has caused a series of secondary geo-hazards, such as sand soil liquefaction and related road deformation, earthquake-induced landslides, aqueduct damaged by the earthquake and related soil landslide and mudflow, etc. After comprehensive analysis of the endogenic and exogenic geo-hazards, proposals have been given forth for fault avoidance and reconstruction site selection in the Yushu earthquake stroked area.

Key words: Yushu earthquake; surface rupture; macroscopical epicenter; geo-hazard; reconstruction site selection