

逆冲型地震地表破裂带宽度与活断层 “避让带”的分析研究*

郭婷婷^{1,2,3}, 徐锡伟³, 于贵华³

(1. 山东省地震工程研究院, 山东 济南 250021; 2. 山东省地震局, 山东 济南 250014;
3. 中国地震局地质研究所 活动构造与火山重点实验室, 北京 100029)

摘要:综合分析大量汶川地震地表破裂带宽度资料与其它逆冲型断层历史地震地表破裂带宽度数据, 采用统计分析方法, 计算得出逆冲型活断层“避让带”的有效宽度约为30 m, 并给出活断层上盘的避让宽度约20~22.5 m, 下盘的避让宽度约为7.5~10 m。研究结果可为建筑工程避让逆冲型断层和其他类型断层提供参考依据。

关键词:逆冲型地震; 地表破裂带宽度; 活断层; “避让带”宽度

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)03-0352-06

0 引言

活断层是指距今10万年以来活动过、现今正在活动, 并在未来一定时期内仍有可能活动的断层(徐锡伟等, 2002)。活断层与地震灾害的关系密切, 并决定着多数破坏性地震的发生位置。活断层对地面建筑物的危害主要来自断层错动——突发错动(产生地震的粘滑)和缓慢错动(不产生地震的蠕滑)。目前人类所掌握的科技水平及工程手段尚无法阻止地震断层错动对地面建筑物的直接破坏, 地震极震区具有沿发震断层呈狭窄的带状分布的特征(徐锡伟等, 1996)。

汶川地震与多次历史地震灾害实例表明(Wu *et al.*, 2012), 当强烈地震动发生时, 地下岩层撕裂, 并延伸至地表, 地表发生严重破裂变形, 使得直接建造在活断层及其两侧建筑物发生严重破坏, 而距离活断层两侧十几或几十米外的建筑物破坏相对较轻或是完好(李锡堤等, 2000; 周庆等, 2008; 郭婷婷等, 2010)。故探测活断层的准确位置, 合理确定“避让带”宽度, 使得建筑物选址避开具有发震能力的活断层, 可以有效避开活断层同震错动对地面建筑物的直接破坏, 减轻可能遭遇的地震灾害损失。

徐锡伟等(2002)基于不同类型活断层产生

的地震地表破裂带宽度和跨断层探槽地质剖面的地层强变形带宽度等观测事实, 结合地面建筑设施毁坏带与活断层密切的空间位置关系, 采用统计分析方法, 确定了活断层“避让带”宽度为30 m。周庆等(2008)根据汶川8.0级地震地表破裂带的实地调查, 龙门山断裂带中央断裂与前山断裂地表破裂带宽度自北向南一般小于40 m。结合以往历史强震地表破裂带的宽度统计, 提出汶川8.0级地震灾后重建时, 极震区地震断层两侧避让带宽度为25 m。张永双等(2010)系统调查了龙门山中央断裂带地表破裂的垂直和水平位移以及地震地表破裂影响带宽度, 并采用物探测试方法对部分影响带宽度进行了验证。统计结果表明, 汶川地震地表破裂影响带宽度主要集中在16~60 m, 并根据现场调查并借鉴国外经验提出, 上盘避让宽度下限一般不应低于15 m, 下盘避让宽度下限不应低于10 m。美国加州在1971年美国圣费尔南多(San Fernando)地震时, 注意到地震断层产生的直接地震灾害, 并于次年年初通过《特别调查法案》, 1994年又修订为《地震断层划定法案》, 主要目的是防止房屋建在活动断层地表形迹之上, 并规定了地震断层两侧各避让15 m。

目前, 我国对于活断层避让还没有相关法律依据, 仅在《建筑抗震设计规范(GB50011—2010)》规定丙类建筑(一般工业、民用建筑)在

* 收稿日期: 2012-11-12.

基金项目: 山东省地震局重点科研基金(JJ1110Y)资助.

抗震设防烈度为Ⅷ度时，发震断裂的最小避让距离为 100 m；设防烈度为Ⅸ度时，发震断裂的最小避让距离为 200 m。但是该规定相对泛泛，没有综合考虑活断层类别及其几何特征等。故仍需加强活断层避让研究工作，积极有效地减小地震灾害。

本文拟通过汶川地震后大量的实地地表破裂变形测量资料，以及收集到的逆冲型历史地震地表破裂带宽度资料，采用统计分析方法，初步确定了逆冲型活断层“避让带”的宽度范围，为建筑工程避让活断层提供依据。

1 地表破裂带及建筑物破坏

1.1 地表破裂带

2008 年汶川地震在龙门山推覆构造带上主要形成两条地表破裂带，一条破裂带沿北川—映秀断裂发育，长约 240 km；另一条破裂带沿灌县—江油断裂发育，长约 90 km（徐锡伟等，2008；吴珍汉，张作辰，2008）。强烈的地震地表破裂与错动使得地表破裂带及其两侧近断层的建筑物遭受了毁灭性破坏，并引发大量的山体滑坡、岩石崩塌、泥石流等次生地质灾害，加重了灾害的严重程度。

1.2 地表破裂带宽度及建筑物破坏情况

地震地表破裂带通常是指同震地表变形最剧烈的地带，常表现为地表逆断层陡坎，褶皱变形产生的挠曲陡坎等，对地面建筑物会产生直接毁坏。地震地表破裂宽度是指由于地震作用造成地表破裂及其引发的地表明显变形的区域宽度。

1.2.1 彭州市白鹿镇白鹿中学测点

龙门山断裂带前山断裂通过了白鹿中学（图 1），汉旺—白鹿地表破裂带斜切白鹿中心学校校园，在两栋教学楼间通过，在操场上形成一个宽 4~8 m，高 2（±0.15）m 的一个 NE 向褶皱陡坎。现场考察与实测可得该处的地震地表破裂带宽度约 18 m。位于强变形带上的砌体结构教师宿舍平房、砖混结构二层楼完全损坏倒塌成为废墟；操场的水泥地板折断；上盘强变形带外的三层砖混结构建筑依然直立且基本未受损坏；距离断层十几米外的平房教室大多数未倒塌。

1.2.2 北川县沙坝村测点

龙门山断裂带中央断裂通过北川沙坝（图 2）。北川—映秀地表破裂带在图 2 中所示沙坝处的 A、

B 两座楼之间穿过，形成一个陡坎。陡坎上砖混楼 A 已完全损坏成为废墟；上盘距陡坎 8 m 的二层砖混 B 楼结构未受太大损坏；距断层 24m 的二层砖混 C 楼结构完好。实测结果表明，同震地表变形量及建筑物损坏情况随距断层陡坎距离的增加而减小，实测地表破裂带宽度约 36 m。

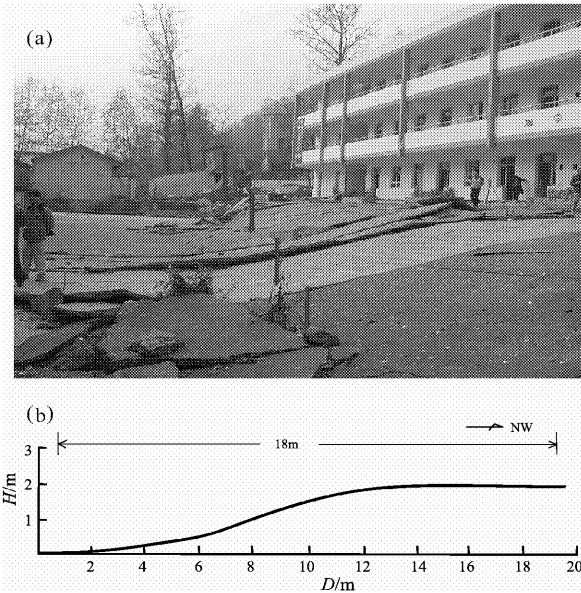


图 1 白鹿镇白鹿中学地形测量剖面图

Fig. 1 Topographic survey profile of Bailu Highschool, Bailu town

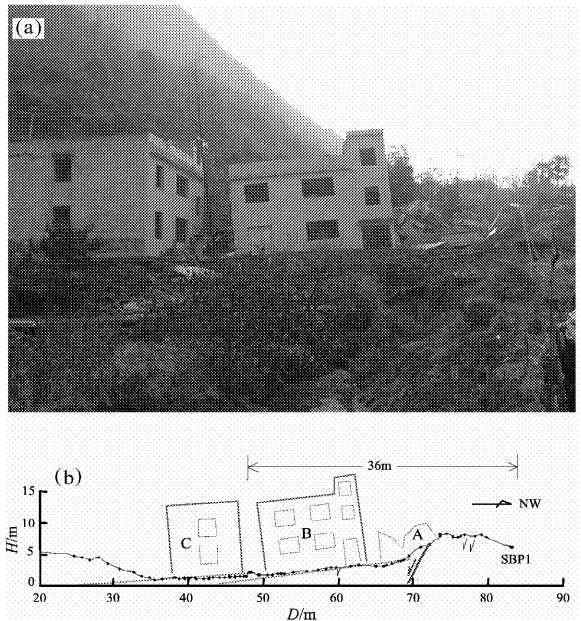


图 2 北川县沙坝村地形测量剖面图

Fig. 2 Topographic survey profile of Shaba Village, Beichuan County

1.2.3 小鱼洞中路测点

NW 向小鱼洞地表破裂带通过小鱼洞镇 (图 3)。本文在小鱼洞中路进行了该地地形的差分 GPS 测量与建筑物破坏实地调查, 断层在此形成高 0.9 m, 宽度约 6 m 的陡坎, 断层通过处建筑物全部倒塌。地表断层通过约 23 m 内的地表发生严重变形, 其地面建筑物几乎全部倒塌, 23 m 外两侧的建筑物发生严重破坏, 但仍站立。

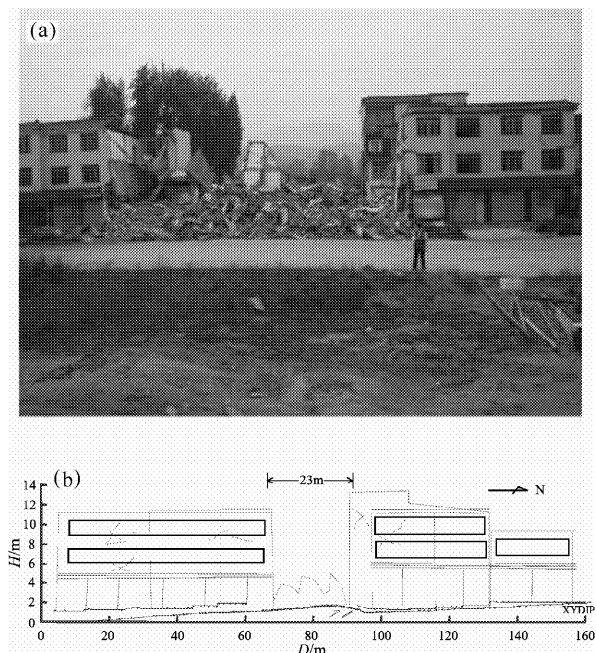


图3 小鱼洞中路地形测量剖面图

Fig. 3 Topographic survey profile of the mid way of Xiaoyudong

1.3 同震地表破裂带宽度统计

本文对前山断裂的汉旺—白鹿地表破裂带, 中央断裂带的北川—映秀地表破裂带以及 NW 向小鱼洞地表破裂带多处地表破裂宽度进行统计 (表 1)。其中部分为本文实测结果, 其它均来自文献资料搜集, 共计 52 处较典型的地表破裂宽度数据资料。数据统计结果表明, 汶川地震地表破裂带宽度大部分在 15 ~ 35 m 之间, 个别观测点变形带宽度大于 40 m, 甚至大于 100 m。

2 历史地震地表破裂带宽度统计

地震地表破裂多发生在地震强度 $M_s > 6.0$ 的场地条件。因此, 关于逆冲型地震地表破裂带的历史地震资料较少, 主要收集了 1927 年古浪 8 级

地震、1932 年昌马 7.6 级地震以及 1999 年台湾集集 7.6 级地震地表破裂带宽度的资料 (表 2)。地震错动产生的地震地表破裂带主要沿主逆断层地表迹线分布, 大多数地表破裂带宽度 (单断层破裂宽度) 均在 30 m 之内。

3 活断层“避让带”的有效宽度计算与讨论

建筑物“避让”活断层就是指避开直接能够产生地表破裂的未来同震错动面。确定“避让带”宽度的原则是有效避开活断层同震错动对地面建筑设施的直接破坏, 减轻可能遭遇的地震灾害损失。目前, 确定活断层“避让带”宽度的具体方法有 2 种: (1) 同震地表破裂带宽度统计法; (2) 跨断层地质探槽剖面分析法。本文将采取同震地表破裂带宽度统计法, 进行活断层“避让带”计算。其具体方法是依据某类型活断层同震地表破裂带宽度的多组实测数据, 取逆断层已有单条和多条地震地表破裂宽度 ≤ 50 m 的所有数据统计分析获得的均值与均方差, 以均值和 2 倍均方差之和作为活断层“避让带”的有效宽度 (徐锡伟等, 2002)。

本文对表 1 中所收集的汶川地震地表破裂带宽度数据进行初步计算: 均值为 26.5; 均方差为 3.0, 计算所得断层“避让带”的有效宽度值为 32.5 m。将所能收集到的汶川地震地表破裂带宽度数据 (表 1) 与其它逆冲型地震地表破裂带宽度数据 (表 2) 一起进行计算, 算得的活断层“避让带”的有效宽度值为 29.7 m, 约为 30 m。虽然逆冲型地震的相关地表破裂带宽度数据不多, 但是加上表 2 中的数据进行计算, 其结果更具有代表性和全面性。本次通过大量的实测数据所得计算结果与徐锡伟等 (2002) 研究结果以及美国加州“地震断层划定法案”规定的活断层两侧合计 30 m “避让带”宽度非常吻合。

本文计算所得逆冲型活断层“避让带”的有效宽度为 30 m。需要指出的是, 上述“避让带”宽度值仅代表“避让”单条断层的宽度。根据逆冲型地震的现场调查, 断层上盘影响带宽度与下盘的比值一般为 3:1 ~ 2:1 (张永双等, 2010), 本文给出逆冲型活断层上盘的避让宽度约为 20 ~ 22.5 m, 下盘的避让宽度约为 7.5 ~ 10 m。在避让带之外所建各类建筑工程均应达到新的抗震设防标准。

表 1 汶川地震同震地表破裂带宽度统计

Tab. 1 Statistics of the widths of co-seismic surface rupture zones of Wenchuan M8.0 earthquake

序号	地点 (或经度, 纬度)	水平位移量 /m	垂直位移量 /m	地表强形 变带宽度/m	走向 /(°)	参考文献
2008 年汶川地震 中央断裂						
1	北川县沙坝村	6.0	4.1	36	60	实测
2	北川县城测点	1.4	1.3	30	60	
3	深溪沟测点 1	13.6	4.8	25	50	
4	深溪沟测点 2	4.0	2.3	22	50	
5	深溪沟测点 3	4.1	4.0	10	50	
6	(103.48°E, 31.06°N)		1.0	15		
7	(103.49°E, 31.06°N)		1.5	10		
8	(103.49°E, 31.07°N)		1.0	26.7		
9	(103.66°E, 31.13°N)	1.2	0.5	100		
10	(104.42°E, 31.78°N)		3.4	7.9		
11	(104.43°E, 31.78°N)			6~8		(徐锡伟等, 2008)
12	(104.43°E, 31.80°N)	1.43	1.6	16		
13	(104.43°E, 31.81°N)		4.1	15.5		
14	(104.45°E, 31.82°N)		2.5	6		
15	(104.68°E, 32.05°N)	4.9	1.5	27~31		
16	(104.69°E, 32.06°N)	1.85	2.5	44		
17	(104.84°E, 32.21°N)	1.6	1.2	12		
18	(104.46°E, 31.83°N)	2.14	3.05	27		
19	(103.61°E, 31.09°N)			26.7		
20	(103.66°E, 31.12°N)	4.3	1.2	>100		
21	(104.43°E, 31.80°N)		4.5	8.5		(于贵华等, 2009)
22	八角庙 P1		2.1	22±2	60	
23	八角庙 P2		4.3	20±2	60	
24	八角庙 P3		3.9	6±0.4	40	
25	八角庙 P4		4.0	4±0.5	40	
26	北川茅坝 P1		1.4	38±2	45	
27	北川茅坝 P2		1.3	25	45	
28	北川曲山小学		3.1	27	40	
29	平通镇西河床	3.7	3.66	36	60	
30	擂鼓镇石岩村		3.24	38		(陈桂华等, 2008)
31	高川乡泉水村东		2.2	63	60	
32	映秀镇交警支队北侧		1.75	30.4	70	
33	陈家坝			30	25~30	
34	平通镇南		3.66	26±2	60	
35	邓家乡石林子村		5.0	30		
36	桂溪乡凤凰村		2.2	25		
37	南坝镇磨湾村		1.0	3~5		
38	平通镇南盘旋路	3.0	3.6	30~40	60	
39	平通镇达爱小学		2.7	30	55	(郑文俊等, 2008)
40	南坝镇庙子湾	1.4	1.2	14	55	
41	白鹿中学测点 1		2.15	18		
42	白鹿中学测点 2		2.5	24		
43	通济镇草坝村观测点 1			8.6		
44	通济镇草坝村观测点 2			8.4		
45	白鹿镇关沟村		3.65	25.8		
46	白鹿镇关沟村王家坎		2.2	19.8		
47	通济镇双阳村		2.8	12.9		

续表 1

序号	地点 (或经度,纬度)	水平位移量 /m	垂直位移量 /m	地表强形 变带宽度/m	走向 /(°)	参考文献
2008 年汶川地震 小鱼洞地表破裂带						
48	小鱼洞北路		1.1	23		实测 (徐锡伟等,2008)
49	小鱼洞北路		0.9	19		
50	(103.75°E,31.19°N)	2.3	1.3	2~3		
51	(103.76°E,31.13°N)	0.45	0.2	100~200		
52	(103.76°E,31.12°N)	0.1		35~40		

表 2 历史地震地表破裂带宽度统计

Tab. 2 Statistics of the widths of surface rupture zones of historical earthquakes

序号	地点	水平位移量 /m	垂直位移量 /m	单断层破裂 宽度/m	走向 /(°)	参考文献
1927 年古浪地震($M_s=8$) 逆断层						
1	下方寨—寺尔沟		0.6 ~ 1.5	10 ~ 20	290°	(国家地震局地质研究所, 国家地震局兰州地震研究所,1993)
2	皇城—塔尔庄—双塔		2 ~ 4	7 ~ 15	300°	
3	磨嘴子—中坝		2 ~ 4	6	340°	
4	古浪—双塔				340°	
1932 年昌马地震($M_s=7.6$) 逆走滑断层						
5	西水峡东	0.2	0.1	5	80°	(国家地震局兰州地震 研究所,1992)
6	大泉口	1.5 ~ 3	1 ~ 2	15	80°	
7	白杨河—雅尔河	1.7 ~ 5.5	0.5 ~ 1.8	3 ~ 7	80°	
8	桌子山—月牙大坂	2.2 ~ 4.5	1.1 ~ 2.0	2 ~ 4	280°	
9	大豹子沟	2.9 ~ 4.0	0.7 ~ 2.5	3.6	300°	
10	白疙瘩沟	2.0	1.0	2	276°	
11	大黑沟	1.5 ~ 2.0	1.0	5	80°	
12	朱家戈壁	0.5	0.8 ~ 1.9	60	280°	
13	鲁家湾			50	340°	
1999 年集集地震($M_s=7.6$) 逆断层						
14	Wufeng	3.3	2.2	20 ~ 30	30°	(Lee <i>et al.</i> ,2001)
15	Experimental Vineyard Site, Wufeng		2.2	30	55°	(Kelson <i>et al.</i> , 2001)
16	Kuangfu Middle School	5	2.8	30 ~ 35	NW	

4 结论与讨论

汶川地震现场考察表明,活断层同震错动产生的地震地表破裂带及其对地面建(构)筑物直接毁坏是难以通过抗震设防措施预防和阻止的,采取避让活断层错动带应为防震减灾工作首选。本文综合大量汶川地震地表破裂带宽度与其它逆冲型历史地震地表破裂带宽度数据,计算所得逆冲型活断层“避让带”的有效宽度约为 30 m。活断层上盘的避让宽度可以取值约 20~22.5 m,下盘的避让宽度为 7.5~10 m。计算结果可为建筑工程避让逆冲型断层提供参考依据。

汶川 $M_s8.0$ 地震提供了大量的关于逆冲型断

层的地震地表破裂带宽度资料,故本次对于逆冲型断层“避让带”有效宽度的计算结果更加具有可靠性,且与徐锡伟等(2002)研究结果以及美国加州“地震断层划定法案”规定的活断层两侧合计 30 m“避让带”宽度非常吻合,其结果也可作为其他类型活断层避让提供参考。综合本文与前人研究分析资料(徐锡伟等,2002,张永双等,2010),活断层地震灾害“避让带”宽度可初步定为 30 m,除上段提出的逆冲型断层外,其它类型的活断层上下盘的避让距离可根据断层类型与具体工程地质条件、地形地貌特征而有所变化;活断层斜列阶区、平行次级断层围限区、走向弯曲区等特殊地域的“避让带”宽度为除它们本身的地域宽度外的 30m 避让。具体各活断层“避让带”

宽度也可根据跨活断层探槽地质剖面揭示的强变形带宽度等于实际避让带的宽度来确定（徐锡伟等，2002）。

在活断层“避让带”宽度之外所建各类建筑均应达到新的抗震设防标准；在其它灾害可避免的情况下（如山洪、滑坡、泥石流、崩塌等），在活断层“避让带”之内，只能建造高于抗震设防标准的2层以下建筑物，但在此范围内应明确禁止兴建学校、医院等公共建筑。

建议相关部门继续加强活断层“避让带”宽度研究，以及震后活断层上下盘震害情况调查与对比研究；开展活断层避让带立法与执法管理，加强活断层鉴定及其地表活动线几何结构形态的准确定位工作。

参考文献：

陈桂华,徐锡伟,郑荣章,等. 2008. 2008年汶川 M_{8.0} 地震地表破裂带定量分析:北川—映秀断裂地表破裂带[J]. 地震地质,30(3):723-738.

郭婷婷,徐锡伟,于贵华. 2010. 基于抗震设防要求的汶川地震建筑物破坏分析[J]. 地震研究,33(4):346-353.

国家地震局地质研究所,国家地震局兰州地震研究所. 1993. 祁连山—河西走廊活动断裂系[M]. 北京:地震出版社.

国家地震局兰州地震研究所. 1992. 昌马活动断裂带[M]. 北京:地震出版社.

李传友,魏占玉. 2008. 2008年汶川 M_{8.0} 地震北川以北段地表破裂带变形的样式[J]. 第四纪研究,29(3):416-425.

李传友,叶建青,谢富仁,等. 2008. 汶川 M_{8.0} 地震地表破裂带北川以北段的基本特征[J]. 地震地质,30(3):683-696.

李锡堤,郑锦桐,廖启雯. 2000. 921 集集大地震的地盘变形现象及断层禁限建问题[A]//第八届台湾地区地球物理研讨会论文集, 669-675.

吴珍汉,张作辰. 2008. 汶川 M_{8.0} 级地震的地表变形与同震位移[J]. 地质通报,27(12):2 067-2 075.

徐锡伟,闻学泽,叶建青,等. 2008. 汶川 M_{8.0} 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质,30(3):597-629.

徐锡伟,杨晓平,杨忠东,等. 1996. 城市地震地质灾害及其预测问题初论[J]. 水文地质工程地质,23(3):32-35.

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[J]. 地震地质,24(4):470-483.

于贵华,徐锡伟,陈桂华,等. 2009. 汶川 8.0 级地震地表变形局部化样式与建筑物破坏特征关系初步研究[J]. 地球物理学报. 52(12):3027-3041.

张永双,孙萍,石菊松,等. 2010. 汶川地震地表破裂影响带调查与建筑场地避让宽度探讨[J]. 工程地质学报,18(3):312-319.

郑文俊,李传友,王伟涛,等. 2008. 汶川 8.0 级地震陡坎(北川以北段)探槽的记录特征[J]. 地震地质,30(3):697-709.

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[J]. 地震地质,30(3):778-788.

Kelson K I, Kang K H, Page W D, et al. 2001. Representative styles of deformation along the Chelungpu Fault from the 1999 Chi-Chi (Taiwan) Earthquake: Geomorphic characteristics and responses of man-made structures[J]. Bull Seism Soc Am,91(5):930-952.

Lee J C, Chen Y G, Sieh K, et al. 2001. A vertical exposure of the 1999 surface rupture of the Chelungpu Fault at Wufeng, Western Taiwan: structural and paleoseismic implications for an active thrust fault[J]. Bull Seism Soc Am,91(5):914-929.

Wu Z H, Patrick J, Barosh, et al. 2012. Effects from the Wenchuan Earthquake and seismic hazard in the Longmenshan Mountains at the eastern margin of the Tibetan Plateau. Engineering Geology, 143-144: 28-36.

Research on Width of Surface Rupture Zone of Thrust Earthquake and “Avoiding Belt” of Active Fault

GUO Ting-ting^{1,2,3}, XU Xi-wei³, YU Gui-hua³

- (1. Shandong Institute of Earthquake Engineering, Jinan 250021, Shandong, China)
- (2. Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, Shandong, China)
- (3. Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano, Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China)

Abstract

A lot of width data surface rupture zone of Wenchuan M_{8.0} earthquake and other historical earthquakes occurred on the thrust fault are comprehensively analyzed. We calculated that the effective width of thrust faults “avoiding belt” is about 30 m by statistical analysis methods, and obtained that the width of “avoiding belt” of hanging wall of active fault is about 20 ~ 22.5 m, and its foot wall is about 7.5 ~ 10 m. The research results can provide references for construction engineering for avoiding thrusting fault and other fault types.

Key words: thrust earthquake; width of surface rupture zone; active fault; width of “avoiding belt”