

强震地表破裂宽度与震级的统计关系研究

郭安宁

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要: 研究了强震造成地表破裂的宽度范围, 得出造成地表破裂的下限震级是 6.6 级. 对应最大震级 ($M=8.5$) 的可能破裂宽度是 100 km, 它是一种带状破裂而不是一种线状破裂. 统计得出震级-地表破裂宽度的经验关系式.

主题词: 强震; 震级; 地表破裂宽度; 统计关系

中图分类号: P315.3⁺2; P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)03-0301-05

0 前言

地震震害除了地震波造成的振动破坏外, 还有地震破裂造成的地表错动破坏. 对于设计良好的建筑来说振动可能不会对它造成危害, 可是地表破裂的错动破坏可能是致命的, 因而对地震时造成的地表破裂的展布范围的研究是有其现实意义的, 这对一个可能有潜在地震危险性的断裂而言, 分析其地震破裂破坏的范围, 将有助于工程选址和规划. 本文主要研究强震的地表破裂范围, 研究它与震级的相关关系. 另外首先着重研究了特大(8 级和 8 级以上)地震的破裂宽度问题, 因为如此大的地震的破裂宽度极宽, 它的延伸破坏范围也极大, 这有可能使得很远地方的地震断裂的错动破坏延伸至建筑物造成破坏, 所以对它的宽度的真实性与可靠性进行研究就很有意义, 有助于震害预测的准确性.

1 8 级以上地震断裂地表破裂宽度

关于地震破裂带的长度及错动幅度与震级的关系已有许多学者建立了统计公式, 但是有关破裂带的宽度与震级的关系尚未见有很多研究. 文献[1]和[2]曾根据中国海原、古浪、富蕴、昌马、炉霍、海城、唐山和蒙古国戈壁阿尔泰等大地震破裂带宽度 W 的资料建立了它们与相应震级 M 的关系式:

$$M = 6.62 + 0.27 \log W(\text{cm}) \quad (1)$$

这个公式表明, 当震级为 6.6 时, 地表就形不成宏观断裂带了, 这与在中国已发现的造成地表宏观断裂带的下限震级是接近的(1966 年 3 月 8 日邢台 6.8 级地震是在地表产生断层错动的震级下限例子). 比 6.6 级地震小的地震, 在国内还未发现地表有宏观断层错动的现象. 另外, 公式(1)还有一个令人惊讶的结果是, 在震级为 8.5 级时, 断裂带的宽度为 92 km, 这样宽的破裂宽度将会对很远地方的建筑物造成破坏, 但这种结果的真实性如何呢? 下面作者将从

收稿日期: 2000-03-21

* 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2000035

作者简介: 郭安宁(1962-), 男(汉族), 陕西西县人, 副研究员, 现主要从事工程地震、地震地质及灾害学的综合研究.

一些震例对它进行研究.

1. 1 蒙古国 3 次 8 级以上地震

在蒙古, 本世纪以来发生了 3 次 8 级地震, 即 1905 年 7 月 9 日和 7 月 23 日在蒙古国杭爱山以北发生的 2 次 $8\frac{1}{4}$ 级地震(按古登堡震级)和 1957 年 12 月 4 日在蒙古西南戈壁阿尔泰发生的 8.3 级地震(按古登堡震级).

1. 1. 1 1905 年 7 月 9 日和 7 月 23 日杭爱山以北地震

根据 Агюдов 研究^[3], 这 2 次地震形成的地表断裂带如图 1 所示. 其中第一个大震形成的破裂带为 NE 向, 第二个大震的断裂总长达 350 km(图 1), 其总的走向是 NWW. 这 2 个地震的断裂带以垂直错动较明显, 水平错动不明显, 但是沿主断裂的羽状来看是有水平错动的. 以上 2 个大震的断裂宽度在文献[1] 和[2] 中未列入. 这是笔者这次所补充的资料.

1. 1. 2 1957 年 12 月 4 日蒙古戈壁阿尔泰地震

该次地震按古登堡所定的震级为 8.3 级. 按照前苏联学者 Слонено В. П. 和 Флюренсов Н. А. 的研究^[4], 该次地震的地震断裂带长达 270 多公里, 如图 2 所示. 在图 2 中, NWW 向的主要地震断裂之南还有许多支断裂, 最远可达 30 km. 这个地震的震级为 8.3 级, 其破裂带的宽度也是够大的了.

1. 2 前苏联中亚地震

在前苏联中亚地区最大的地震是 1911 年 1 月 3 日发生的阿拉木图地震. 这个地震的震级为 8.4 级(按古登堡震级). 据萨瓦连斯基 1955 年所著《地震学与测震学》一书的介绍, 该次大震造成了很多断裂带, 如图 3 所示. 由图 3 可知, 破裂带展布范围的宽度可达 50 km. 这个大震的宽度资料在文献[1] 和[2] 得出公式(1)时也未列入.

以上 3 个地震地面破裂带宽度的事实告诉我们, 大于 8 级的大地震不是单一的断裂带, 它是一个具有主断裂的大范围地壳破裂, 这个概念与我们以往的概念是不同的, 这样由公式(1)所求的 $M=8.5$ 级的地震时地震断裂宽度可达 92 km 就不难理解了.

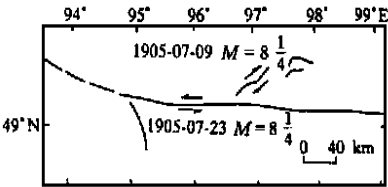
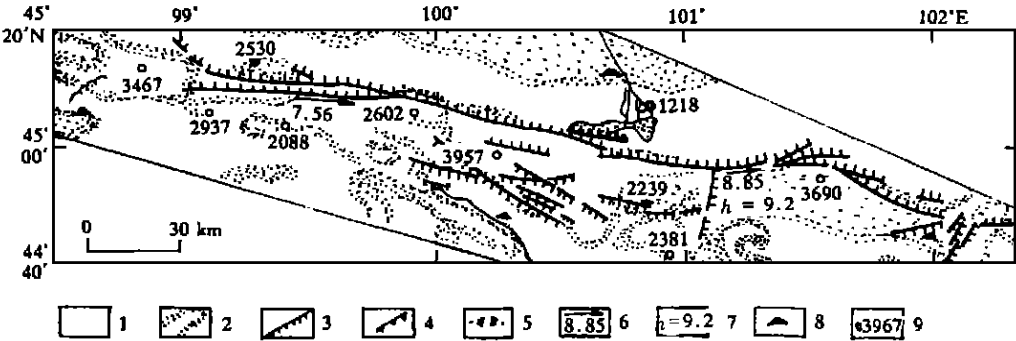


图 1 1905 年 7 月 9 日和 7 月 23 日蒙古国 2 次 $8\frac{1}{4}$ 级地震在地表形成的断裂带
Fig. 1 Surface fractured zones caused by both the earthquakes($M=8\frac{1}{4}$) on July 9, 1905 and on July 23, 1905 in Mongolia.



1 山间谷地; 2 山块; 3 1957 年 12 月 4 日地震形成的主要断裂;
4 1958 年 4 月 7 日地震形成的主要断裂; 5 比土特构造; 6 水平错动方向和幅度(m);
7 垂直错动幅度(m); 8 1957 年 12 月 4 日破坏的县中心和居民点; 9 绝对高度
图 2 1957 年 12 月 4 日戈壁阿尔泰地震极震区略图

Fig. 2 Sketch of meizoseismal area of the Gobi-Altai earthquake on December 4, 1957.

1.3 日本地震

在日本陆上的 8 级地震仅有 1891 年 10 月 28 日的浓尾地震. 按照日本学者浅田敏的研究此地震的震级为 8.4 级(资料来源于《地震预知的方法》, 东京大学出版社, 1990). 另外根据卢振恒资料^[4], 该地震发生时在震区曾发生 1 万处山崩, 并在地面产生了广阔的地表破裂带, 这也是作者这次新补充的资料, 如图 4 所示.

具体情况是在根尾川一带伴随地震出现了垂直错动 2~6 m, 水平错动 2~8 m 的根尾谷断层. 断层走向为 NNW—SSE, 中心错距 8 m, 向北西延伸到福井县内为温见断层, 最大错动 3 m, 北东东延伸为梅原断层, 最大错距为 5 m. 在出现大断层的地区房屋破坏率为 91 %.

把 1891 年浓尾地震的震级 $M=8.4$ 带入(1)式, 则可算得该震在地表产生的破裂带范围宽度为 39 km. 实际上该震造成的地壳破裂带最大宽度为 30 km, 二者是大致接近的.

本世纪以来, 中国境内共发生 8.5 级地震 2 次, 一次是 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8.5 级地震, 一次是 1950 年西藏墨脱 8.5 级地震(以前称为察隅地震). 1950 年的墨脱大震, 由于发生在人迹罕至的大山之中, 不易考察, 故无确切的资料. 1920 年海原地震断裂带的资料经过多次考察, 现已比较明确, 但是人们都是沿着最早的考察作纵向延伸考察的. 而横着主要地震断裂的方向则未作全面的大范围的考察. 所以今天人们并不详知 1920 年海原地震的断裂带展布的范围有多宽. 当然另一个原因是海原地震的高烈度破坏区, 有很大一部分地区为黄土所覆盖, 地震时山崩滑坡甚为普遍, 因之即使有多个地震断裂带也被掩埋, 这使得今天人们对 1920 年海原地震的断裂带只知道延伸长 220 km 的主要断裂带, 而不知这个主要断裂带的宽度是多少.

由于上述蒙古国和前苏联的 4 次大地震的断裂带都很宽, 因之作者怀疑 1920 年海原地震的断裂带还可能在更宽的范围内分布. 下面从史料记载中列举一些现象, 以供研究参考.

根据谢家荣等人的考察(见民国九年十二月甘肃地震报告):“会宁七里铺之南山有一黄土断层甚大, 其断下之部土质完整, 并无碎裂现象, 故与山崩异. 此外黄土断层多不胜数, 且有多数断层合于一处, 而呈似阶梯形”. 这个地区距 1920 年海原地震主要断裂带已达 90 km.

按 1989 年地震出版社出版的《甘肃省地震资料汇编》(国家地震局兰州地震研究所编, 第 207 页), 靖远“东川地裂, 绵亘数县, 还长数百里, 若断若续, 遍地裂缝, 初见黑烟, 继之似火…”. 最奇特者, 南乡刘家寨一山陷入地中化为沙河, 距此山由五里平地涌出古城一座, 其大约三顷

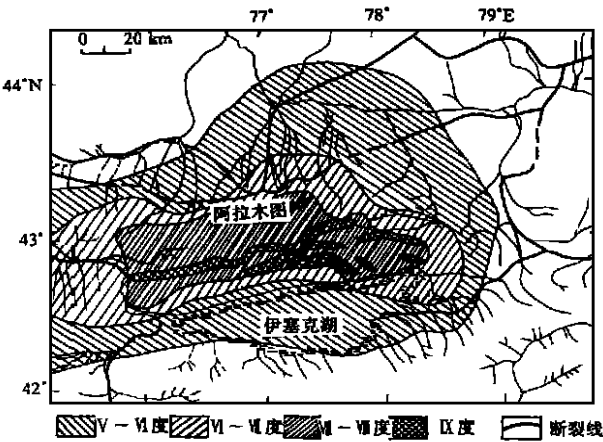


图 3 1911 年阿拉木图地震造成的地表断裂分布
Fig. 3 Distribution of rupture zone of the Alma-Ata earthquake of 1911.

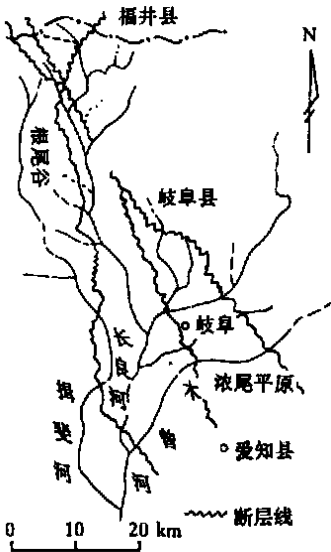


图 4 1891 年 10 月 28 日日本浓尾地震 ($M=8.4$)
Fig. 4 The Mino-Owari (Japan) $M_s8.4$ earthquake on October 28, 1891.

余宙”. 由此材料看来, 上述记载似非地表次生现象. 靖远距 1920 年海原大震的主断裂带已有 30 km.

根据以上资料, 认为 1920 年海原地震的断裂带展布范围达 90 km 以上, 与公式(1)计算结果相近.

2 强震地表破裂宽度与震级经验统计关系

前边所述公式(1)是在 1992 年发表的, 当时所根据的资料有限. 作者补充了前述 4 个大地震破裂带的宽度资料, 又拟合了一个公式:

M = 6.05 + 0.35 log W(cm) (2)

式(1)与式(2)的曲线如图 5 所示, 数值见表 1. 表中 M 皆为古登堡震级, W₁ 为式(1)所求的断裂带宽度, W₂ 为由式(2)求得的断裂带宽度. 式(2)所得结果与 7~8 级地震的断裂宽度更为接近.

由表 1 可知, 式(1)与式(2)求得的 8.5 级地震的断裂带宽度都是很大的, 这对我们今后研究 8~8.5 级地震是一个必须考虑的事实, 即对于这种特大地震, 不能用 8 级以下地震得出的概念去研究. 这一点不仅符合众所公认的 b 值曲线到 8 级以后起了弯曲变化, 同时也符合某些学者提出的断层宽度有特征尺度的观点. 式(1)和(2)求出的强震造成的地表破裂宽度范围可以作为今后场地安全性评价时参考. 对于一些象核电站、大坝等等重要建筑都要考虑地表断裂可能造成的破坏.

造成地震断裂延伸到地表破裂宽度的因素是多种多样的, 它首先是取决于地震的大小, 然后才取决于其它的因素. 这些因素包括地震的破裂性质, 张性的、逆冲性质的断裂可能破裂宽度要宽一点, 相对而言平滑性质的可能要窄一点. 震源深度也是一个因素, 震源深度深则破裂宽度相对要窄, 浅则相对要宽. 另外可能震源多处破裂的类型断裂宽度要宽一些. 地表介质性质也会影响断裂在地表造成的宽度, 但影响机理可能是很复杂的. 综而叙之, 地震断裂所造成的地表破裂宽度的因素是多样的, 作者仅是研究了它对影响最大的震级因素, 与其它因素的关系有待于今后详细研究. 另外还应指出, 对于 M_S=8.5 地震之所以没有出现震级饱和, 这与震源是多个破裂有关, 即这些破裂在相近的时间发震, 其各自发射的地震波可以叠加成很强的振动, 从而震级才能提高. 另外初步认为, 特大地震的地震主破裂带二侧的地壳破裂发育程度是不对称的, 往往多在一侧, 这些问题有待今后更进一步深入研究.

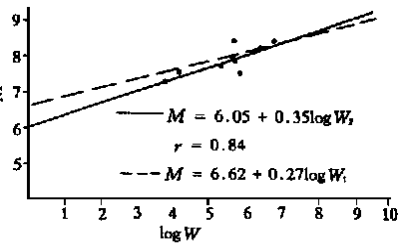


图 5 震级与断裂带宽度 W(单位: 厘米)
Fig. 5 The relation of magnitude of earthquake to width of rupture zone (cm).

表 1 震级与断裂宽度关系表

震级 (M)	W ₁ /km	W ₂ /km
8.5	91.8	100
8.4	39.1	51.8
8.3	16.7	26.8
8.2	7.1	13.9
8.1	3.03	7.2
8.0	1.3	3.7
7.9	0.55	1.93
7.8	0.24	1.0
7.7	0.1	0.52
7.6	42 m	0.27
7.5	18.2 m	0.14
7.4	7.74 m	72 m
7.3	3.3 m	37 m
7.2	1.4 m	19 m
7.1	60 cm	10 m
7.0	25 cm	5.2 m
6.9	4.6 cm	1.4 m
6.7	2 cm	72 cm
6.6	1 cm	37 cm

[参考文献]

[1] 郭增建, 秦保燕. 地震时在地表产生断层错动的预测[J]. 国际地震动态, 1991, (5): 9—11.
[2] 郭增建, 秦保燕, 李革平. 未来灾害学[M]. 北京: 地震出版社, 1992.

[3] Апудов В. А. Сейсмотектонические наблюдения в районе северо-хангайского землетрясения 1905 г (МНР) [J] .
 Бюллетень Совета по Сейсмологии, 1960, (10): 90—97.

[4] Солоненко В. П. и Флоренсов Н. А. Гоби-алтайское землетрясение 4 декабря 1957 г [J] . Бюллетень Совета по
 Сейсмологии, 1960, (10): 85—89.

[5] 卢振恒. 日本地震破坏概观[M] . 北京: 地震出版社, 1991.

STATISTICAL RESEARCH ON RELATION BETWEEN SURFACE FAULT WIDTH
OF STRONG EARTHQUAKE AND MAGNITUDE

Guo An-ning

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Surface fault width caused by strong earthquake is studied. The result shows earthquake ($M_s=6.6$) is minimum magnitude of producing surface fault, and earthquake ($M_s=8.5$) may produce fault zone with width of 100 km. It means, for the very strong earthquake, the surface fault is stringy rupture, isn't lineal rupture. An empirical formula between surface fault width of earthquake and magnitude is obtained.

Key words: Strong earthquake; Magnitude; Surface fault width of earthquake; Statistical relation