

1668年郯城8.5级地震断裂的全新世滑动速率、古地震和强震复发周期

王华林

(山东省地震局, 济南 250021)

摘要 本文根据野外考察、实测和开挖资料研究了1668年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂上的全新世位移分布、滑动速率、古地震遗迹、古地震期次和强震复发周期以及地震破裂模式。

关键词: 郯庐地震构造带 古地震 地震复发周期 地震破裂 位移 滑动

1 引言

1668年沿郯庐断裂的中段发生了郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震。这次地震在地表留下了近100 km长的地震断裂,它引起了中外广大地震和地质学家^[1-8]的兴趣。笔者曾在1978年和1993年先后与美国地质调查局 R. V. Sharp、J. D. Sims 和日本地质调查所 E. Tsukuda 三位博士一起对郯城地震断裂进行了野外调查,取得了丰富的第一手资料。本文集中反映了这些野外调查结果,着重讨论了沿1668年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂全新世位移分布、滑动速率、古地震、大震复发周期和地震破裂模式。

2 地震断裂的位移分布

2.1 位移的标志和类型

1668年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂,自北向南由8条不连续的次级剪切断层组成(图1)。断层的位移标志和类型归纳如下:

(1) 断层的水平位移标志和类型

断层水平位移的标志主要有冲沟、山脊、第四纪地质体和地层。位移的类型大致可分为8类(图2):a 显示两次或多次位移的断头冲沟和扭曲冲沟,扭曲冲沟的扭曲量代表最新一次水平位移量;b 断层两侧的AA'间的距离代表断层的水平位移量;c 断头冲沟与取直冲沟间的距离为断层的水平位移量,若存在多条断头冲沟则表明断层具有多次错动;d 断层一盘冲沟平直,另一盘发生扭曲,AA'间的距离为断层水平位移量;e 断层一盘冲沟平直,另一盘冲沟发生多级扭曲,每次扭曲代表一次断错的水平位移,断层总水平位移为多级扭曲量的总和,d、e两种情况中,冲沟平直的一盘多为基岩区,扭曲的一盘为第四纪松散沉积;f 山脊水平位错;g 第四纪地质体水平位错;h 不同时代的地层同步水平位错。后三种类型的水平位

移量精度高于前五种类型。

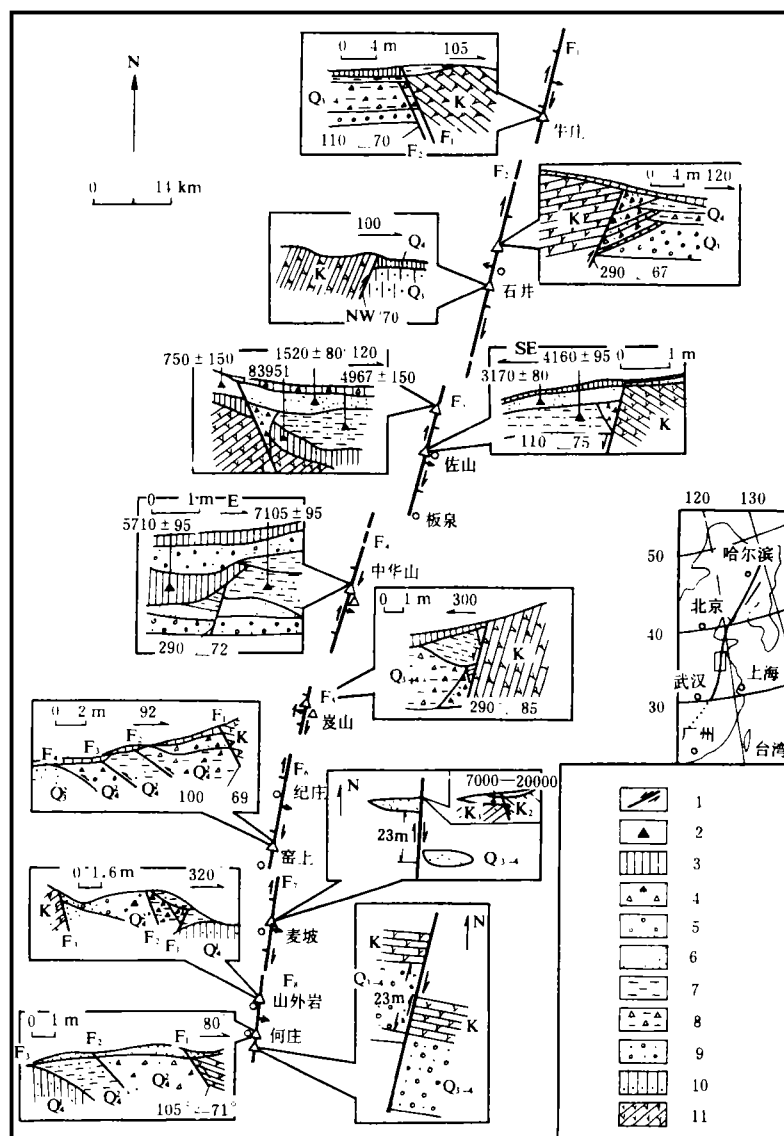


图 1 1668 年郯城地震断裂几何及古地震遗迹分布

- 1 断层及错动方向 2 ^{14}C 年代样 3 黄土或土壤层 4 堆积楔 5 砂土层 6 砂层
7 砂质亚粘土 8 含砾亚粘土 9 砾石层 10 含锰结核粘土 11 火山岩

Fig. 1 Distribution of the paleoearthquake traces and geometry of the 1668 Tancheng earthquake fault.

(2) 垂直位移的标志和类型

断层垂直位移的标志主要有冲沟、陡坎和地层。位移类型有 4 种：a 断层两侧冲沟的送水高度代表断层的垂直位移，冲沟规模越大，形成时代越老，送水高度往往越大，反映断层多次位移；b 断层陡坎是断层垂直位移留下的地貌景观，陡坎的高度近似代表断层的垂直位

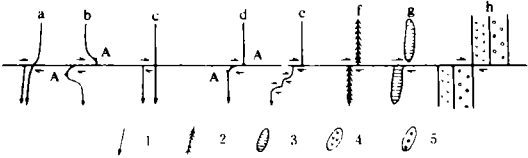


图 2 沿 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震断层的
水平位移类型

1 冲沟 2 山脊 3 地质体 4 火山岩 5 砾石层
Fig. 2 Different kinds of horizontal displacements along the
1668 Tancheng earthquake ($M_s=8\frac{1}{2}$) fault.

移,断层陡坎的多级坡度中断代表断层的多次垂直位移,断层陡坎有正断层陡坎与逆断层陡坎之分;c 地层断错是断层垂直位移的直接反映,断层断错不同时代的地层及位错量代表了断层的活动时代和强度;d 断层堆积楔,无论是正断层楔,还是逆断层楔,它们的规模均与断层垂直位移正相关.楔体的规模越大,说明断层位错量越大,反之亦然。

2.2 位移的分布特征

根据断层的位移标志和类型,通过实例获得了由南向北各条次级剪切断层的水平位移和垂直位移(表 1)。分析研究发现断层的位移分布具有如下特征:

(1)1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震的最大水平位移分布在石井与佐山之间,位移量为 10 m(见图 3)。断层水平位移向北衰减快,衰减速度为 0.143 m/km,向南衰减慢,衰减速度为 0.01 m/km。说明 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震破裂是由北向南进行的,系双侧不对称破裂。每一条次级破裂也显示了由北向南的破裂特征。

表 1 地质体、山脊和冲沟位移测量数据统计结果

断层名称	序号	右旋水平位移(m)	垂直位移(m)	位 移 标 志	级别	备 注
牛庄断裂(F1)	1	7.0		冲 沟	I	
	2	9.3		冲 沟	I	
	3		3.8	陡 坎	I	
	4		4.2	陡 坎	II	
	5		>4.0	断错地层	II	
	6	8.7		冲 沟	I	
	7		3.4	陡 坎	I	
	8		2.6	陡 坎	I	
	9	9.0		冲 沟	I	
	10		5.4	陡 坎	II	
	11		6.6	陡 坎	II	
	12		4.0	断错地层	I	12 和 13 为同一剖面 所见,显示两级错动
	13		6.0	断错地层	II	
	14	3.0		冲 沟	I	
	15	4.0		冲 沟	I	
	16	3.5		冲 沟	I	
石井断裂(F2)	17		3.3	陡 坎	II	
	18	8.0		冲 沟	I	
	19		2.1	堆 楔 高 度	I	19、20、21 为 同一剖面所见
	20		3.9	断 错 地 层	II	
	21		6.1	断 错 地 层	IV	
	22	9.0		冲 沟	I	
	23		3.3	陡 坎	II	
	24	8.0		冲 沟	I	

表 1(续)

断层名称	序号	右旋水平位移(m)	垂直位移(m)	位 移 标 志	级别	备 注
石井断裂 (F2)	25	8.0		冲 沟	I	
	26		1.0	断错地层及楔体	I	
	27		5.0	断 错 地 层	N	
	28	7.0		冲 沟	I	
	29	6.0	0.5	断 错 地 层	I	水平位移由擦痕 和垂直位移求得
	30	26.0	2.3	断 错 地 层	N	
	31	9.0		冲 沟	I	
	32	30.0		冲 沟	N	
	33	27.0		冲 沟	N	
	34	15.0		冲 沟	I	
佐山断层 (F3)	35	10.0		冲 沟	I	35、36 同一冲沟 显示两级错动
	36	17.0		冲 沟	I	
	37	10.0		冲 沟	I	37、38 同一冲沟 显示两级错动
	38	20.0		冲 沟	I	
	39	20.0		冲 沟	I	
	40	15.8		冲 沟	I	40、41 同一冲沟 显示两级错动
	41	27.0		冲 沟	N	
	42		4.1	断 错 地 层	N	
	43	7.3		冲 沟	I	43、44 同一冲沟 显示两级错动
	44	17.0		冲 沟	I	
	45		0.3	断 错 地 层	I	45、46、47 同一剖面, 显示两级错动
	46		1.2	堆 积 楔 高 度	I	
	47		4.0	断 错 地 层	N	
	48	16.0		冲 沟	I	
	49	8.0		冲 沟	I	
	50	16.0		冲 沟	I	
	51	15.0		冲 沟	I	
	52	16.0		冲 沟	I	52、53 同一冲沟 显示两级错动
	53	24.0		冲 沟	N	
	54		2.1	陡 坎	?	
	55	6.3		冲 沟	I	
	56		0.4	断 错 地 层	I	56、57、58 同一地层, 见三次错动
	57		1.0	断 错 地 层	I	
	58		>1.5	断 错 地 层	N	
	59	15.0		冲 沟	I	
	60	14.0		冲 沟	I	
	61	15.0		冲 沟	I	61、62 同一冲沟, 多级错动
	62	34.0		冲 沟	N	
	63	14.0		冲 沟	I	
中华山断层 (F4)	64	3.0	0.5	纹沟、陡坎	I	
	65	3.4		纹 沟	I	
	66	2.5		纹 沟	I	
	67	2.5	0.8	纹沟、陡坎	I	

表 1(续)

断层名称	序号	右旋水平位移(m)	垂直位移(m)	位 移 标 志	级别	备 注
岌 山 断 层 (F5)	68	5.5		冲 沟	I	
	69	4.0		冲 沟	I	
	70		1.2	断层地层	I	70、71、72 同一剖面 显示多级垂直断错
	71		2.5	断错地层	Ⅱ	
	72		>4.5	断错地层	N	
	73	5.0		山 梁	I	
	74	12.0		冲 沟	Ⅱ	
	75	20.0		冲 沟	N	
	76	10.0		冲 沟	Ⅱ	
	77	10.0		冲 沟	Ⅱ	
	78		2.2	陡 坎	?	
纪 庄 窑 上 断 层 (F6)	79	4.0		纹 沟	I	
	80		1.1	断错地层	I	
	81	5.0		冲 沟	I	
	82	7.0		冲 沟	I	
	83		>4.0	断错地层	Ⅱ	
	84		>5.0	断错地层	N	
	85	13.0		冲 沟	Ⅱ	
	86	10.0		冲 沟	Ⅱ	
	87	10.0		冲 沟	Ⅱ	
麦 坡 断 层 (F7)	88	24.0		冲 沟	N	
	89		>2.0	断错地层	I	
	90	11.0		冲 沟	Ⅱ	
	91	11.0		断 头 沟	Ⅱ	
	92	11.0		冲 沟	Ⅱ	
	93	5.0		冲 沟	I	
	94	10.0		冲 沟	Ⅱ	
	95	17.0		冲 沟	Ⅲ	
	96	12.0		断 头 沟	Ⅱ	
	97	7.0		冲 沟	I	
	98	23.0	2.8	断错地层和地质体	N	
	99	5.0		冲 沟	I	
何 庄 断 层 (F8)	100	11.0		冲 沟	Ⅱ	
	101	6.0		冲 沟	I	
	102		>2.0	断错地层	Ⅱ	孙家塘剖面
	103	5.0		冲 沟	I	
	104	16.0		冲 沟	Ⅲ	
	105	5.0		冲 沟	I	
	106		5.0	断错地层	Ⅲ—Ⅳ	
	107	23.0	3.8	断错地层和地质体	N	(李家灵等,1991)
	108		2.0	断错地层	Ⅱ	早于 3500 年
	109		4.5	断错地层	N	
	110		5.0	断错地层	N	
	111		4.0	断错地层	N	

(2)沿 1668 年郯城地震断裂的水平位移具有明显的分级特征。全新世以来沿 1668 年郯

城地震断层的水平位移和垂直位移大致可分 4 级(表 2), 各次级剪切断层不同级别的水平位移显示了同步消长关系。

(3) 各次级剪切断层的水平位移与垂直位移之比不同(表 2), 主要取决于断层的性状和所处的构造部位。一般地, 高角度断层, 水平位移量大, 水平位移与垂直位移比值大, 如石井、佐山和麦坡; 在断裂的端部水平位移量变小, 垂直位移量变大, 水平位移与垂直位移比值小, 如

牛庄和何庄。F4 断层处在板泉拉分盆地内^[9], 其水平位移和垂直位移量均较小。

2.3 全新世水平位移量的讨论

全新世断层位移量的精确测定是定量评价断层活动强度、位移速率和大震复发周期的重要依据。从已获得的数据分析, 各次级剪切断层的全新世水平位移量(N)是不同的, 其范围在 20—34 m 之间。确定 1668 年郯城地震断裂的全新世的水平位移证据如下:

(1) 地质体的位错, 麦坡晚更新世晚期的沟谷沉积体被右旋错动 23 m。

(2) 不同沉积地层被同步错动, 何庄断层两侧的详细钻探资料证实^[7], 白垩纪火山岩和晚更新世砂砾层均被同步右旋错动 23 m。

(3) 由断层面上的擦痕与垂直位移换算得到的水平位移量与相邻冲沟扭曲量十分接近。西南岭断层面上发育有逆冲分量的水平擦痕, 侧俯角 6° , 垂直位移 2.3 m。由三角关系得到 Q_4 以来的右旋水平位移为 26 m。相邻冲沟的水平扭曲量为 30 m, 二者十分接近。

(4) 佐山一带是沿断裂冲沟扭曲最典型的一段, 最大一级的水平位移为 34 m, 根据冲沟要素及其转折度^[10]判定, 这一水平位移具有较高的可信度。

各段的全新世水平位移是不同的, 其结果见表 2。沿 1668 年地震断裂, 全新世的水平位移是由北向南衰减的, 显示全新世以来断层破裂是由北向南破裂的。

3 1668 年地震断层上的古地震事件

3.1 古地震标志和证据

归纳起来, 沿 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂的主要古地震遗迹有: 古地震断层及其相关堆积楔, 水平位移的分级和断层陡坎的坡度中断。

3.1.1 古地震断层及其相关堆积楔

沿 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断层多处可见古地震断层及其相关堆积楔(图 1)。这些断层

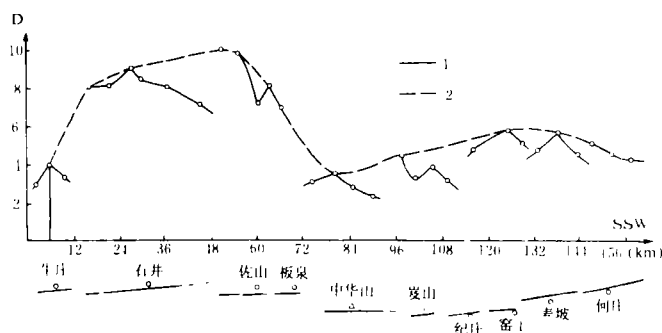


图 3 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂的水平位移分布曲线

1 各次级断层实测曲线 2 各次级断层峰值连线

Fig. 3 Distribution of horizontal displacements along the 1668 Tancheng earthquake ($M_s=8\frac{1}{2}$) fault.

断错不同时代的全新世和晚更新世地层,并形成相关的堆积楔。古地震断层和堆积楔大致可分为以下类型(图4):

a 剖面逆断层束及其相关堆积楔(图4a、b)。用于恢复古地震事件的原则^[10]为:逆断层束中的逆断层条数和相关堆积楔的个数与古地震期次相对应;古地震的年代由断层断错的地层和相关堆积楔的年代确定;古地震的强度可通过断层的位移量和相关堆积楔的规模获得。图4a所示的逆断层束主要出现在断层的南段,即窑上、纪庄、山外岩、何庄一带,这一地段地形梯度大,断层下盘沉积物的可压缩性大,逆断层倾角随断层由新到老而由陡变缓。图2b所示的逆断层束出现在断裂北段的牛庄,其地形梯度小,断层下盘沉积物的可压缩性小。

b 剖面逆断层与正断层(图4c、d)。在逆断层上盘由于次生张应力的作用,形成几条断错不同时代的正断层及相关堆积楔。正断层的年代从逆断层由近及远而由新到老。正断层的条数与古地震的期次相对应,逆断层与正断层倾向相反。有两种情况,其一,在一个剖面中可见逆断层上盘有几条正断层和相关堆积楔(图4c),断裂南段,孙家塘古地震剖面属这种类型;其二,剖面中只见正断层,逆断层在正断层的下面,剖面中见不到。正断层断错和扰动了不同时代的地层(图4d),在断裂中段中华山可见到这种正断层。

c 逆断层及其相关堆积(图4e)和正断层及其相关堆积(图4f)。在剖面中只见到一条逆断层或正断层,但与之相关的堆积楔有多个。这种情况反映了几次古地震破裂均发育在一条断层上,断层运动形成的堆积楔记录了地震破裂的信息。图4e显示发育在逆断层下盘的楔体的时代由上到下而由新到老,利用楔体的个数和规模可恢复古地震期次和强度。这种逆断层及其相关堆积楔在断裂北段的西南岭和西北岭可见到。图4f显示正断层上盘,在断层附近形成三角形的堆积楔,根据堆积楔的相互关系、规模和堆积物的年代可以确定古地震的期次、年代和强度。这种正断层及其相关堆积楔在岌山和佐山可以见到。

3.1.2 断层位移的分级现象

断层位移分级和可公度现象蕴含着断层多次粘性破裂信息^[11]。沿1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂各次级剪切断层的水平和垂直位移具明显的分级现象。如表2所示,沿1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂各次级断层的水平位移和垂直位移大致可分4级,各次级剪切断层的水平位移显示了成倍数增加的可公度性,说明全新世以来,沿1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂发

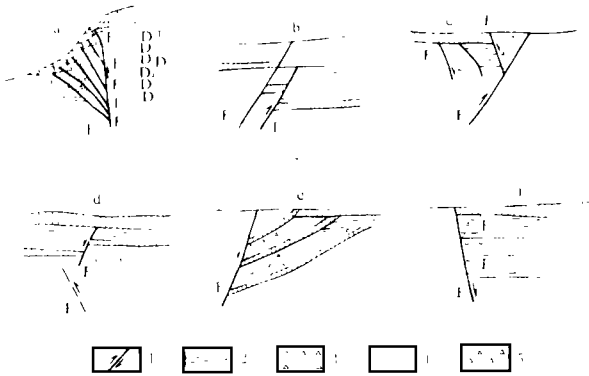


图4 1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级地震断层上的主要古地震剖面类型

1 断层 2 标志层 3 堆积楔 4 砂质粘土 5 含砾亚粘土

Fig. 4 Different types of the paleoseismic profiles along the

1668 Tancheng earthquake ($M_s=8\frac{1}{2}$) fault.

生过 4 次粘性破裂事件。

3.1.3 断层陡坎的坡度中断现象

断层陡坎是断层垂直位移在地表留下的一种微地貌,断层陡坎的坡角蕴含着断裂活动的年代信息^[12]。多级坡度中断显示断层的多次运动^[13]。沿 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂大致有 3 处坡度中断,它们的坡角分别为 20° — 22° , 28° — 35° , 40° — 80° 。反映了郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂的多次破裂。

将 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂上的古地震遗迹列入表 3 中;主要的古地震剖面标绘在图 1 中。

3.2 古地震期次、年代和强度

由表 3 所列举各次级剪切断层上和古地震剖面中的古地震遗迹分析,全新世以来,沿 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂发生过 4 次强震事件。各次强震事件(次序由晚到早)的遗迹和年代讨论如下:

最近的一次地震事件,1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震在地表留下了长达 150 km 的地震断层。主要依据是断层通天,断错全新世最新地层。

第二次地震事件,遗迹在石井、佐山、岌山、窑上、麦坡和孙家塘古地震剖面中被揭露,主要依据是古地震断层和相关堆积楔。佐山、窑上、麦坡和孙家塘古地震剖面中的 ^{14}C 年代资料分析表明,这次古地震事件发生在距今 3,000—4,000 年之间,平均年龄为 3,500 年。这次地震断层的长度为 140 km 左右,据此和断层的位移量、堆积楔的规模分析,地震事件强度为 $8\frac{1}{2}$ 级。

第三次地震事件,从南到北几乎各次级剪切断层上均能见到这次地震留下的遗迹,主要依据是古地震断层和相关堆积楔。西岭泉、中华山、麦坡和孙家塘古地震剖面中的 ^{14}C 年代资料表明,这次地震事件发生在距今 6,500—8,400 年之间,平均年龄 7,000 年。这次地震断层长度 150 km 左右,据此和这次地震的位移量、堆积楔的规模分析,地震事件强度 $8\frac{1}{2}$ 级左右。

第四次地震事件,从南到北,除中华山次级剪切断层外,其它次级剪切断层上均见到这次地震的遗迹,主要依据是地震断层和相关堆积楔。这次地震发生在距今 10,000—12,000 年之间,平均年龄 11,000 年左右,其强度 $8\frac{1}{2}$ 级左右。

4 全新世滑动速率、强震复发周期和地震破裂模式

4.1 全新世滑动速率

沿 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂各次级剪切断层的全新世滑动速率见表 2。各次级剪切断层的水平位移速率有所差别,在 1.7—2.8 mm/a 之间,整个断裂带的平均水平滑动速率为 2.1 mm/a。各次级剪切断层上的垂直位移速率在 0.2—0.5 mm/a 之间。

4.2 强震复发周期

全新世 4 次强震的绝对复发周期(相邻两次强震时间间隔)在 3,200—4,000 年之间。

表 2 郯城 8 1/2 级地震断裂不同级别水平位移、全新世滑动速率和强震复发周期

要素 断层	水平位移(D _H)				垂直位移(D _V)				全新世位移及速率				D _∥ / D _⊥	ΔT	断层性质与产状
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	D _∥	R _∥	D _⊥	R _⊥			
牛庄 (F1)	3.5		9								4.0~ 4.6	0.3~ 0.4	2~3		逆走滑断层 N20° E/E70° ~80°
石井 (F2)	6.0~ 8.0	15		26~ 30	0.5~ 1.0	2.1 2.3~ 3.8	3.0~ 4.0	2.3~ 6.1	26~ 30	2.2~ 2.5	2.3~ 6.1	0.2~ 0.5	8~ 12	3208~ 3636	逆走滑断层 N20° E/W70° ~80°
佐山 (F3)	6.3~ 10.0	16	24~ 26	34	0.4	1.1	2.0	4.0	34	2.8	4.0	0.3	8~ 20	3571	正走滑断层 N20° E/E76° ~80°
中华山 (F4)	3.0				0.6								5		逆走滑断层 N10° E/E60° ~80°
发山 (F5)	5.0	10~ 12		20	1.2	2.5		>4.5	20	1.7	>4.5	>0.4	4~5	2941	逆走滑断层,局部 正断层 N20° E/W85°
纪庄-- 纪上 (F6)	5.0~ 7.0	11		24	1.1	>2.0	>3.0	>5.0	24	2.0	>5.0	>0.4	5	3500	逆走滑断层 N10° E/E35° ~75°
麦坡 (F7)	5.0~ 7.0	11	17	23				2.8	23	1.9	2.8	0.2	8	3684	逆走滑断层 N10° E/E78°
何庄 (F8)	5.0~ 6.0		16	23		>2.0		3.8~ 5.0	23	1.9	3.8~ 5.0	0.3~ 0.4	5	3158	逆走滑断层 N10° E/E36° ~76°

注：D_∥和 D_⊥ 分别代表水平位移和垂直位移,单位:m;R_∥和 R_⊥ 分别代表水平滑动速率和垂直滑动速率,单位:mm/a;ΔT 为强震复发周期,单位:a

内 容 类 型	地 点	F1		F2		F3		F4	F5	F6		F7	F8	
		牛庄	西北岭	西南岭	西神泉	后佐山	中华山	炭山	缸庄	窑上	凌波	孙家湾	何庄	
水平位移分級		二級 I=3~4 m II=7~9 m	四級, I=6~8 m II=15 m, III不詳 N=26~30 m	四級, I=6.3~10 m II=14~20 m III=24~27 m N=34 m	一級 I=3 m±	四級, I=4~5.5 m II=10 m, III不詳 N=20 m	四級, I=5~7 m II=11 m± III=17 m± N=24 m	四級, I=5~7 m II=11 m± III=17 m± N=23 m	四級, I不詳, II=2 m± III不詳 N=3.8~5 m	一級, I、II、III級 I=2 m± III不詳 N=2.8 m	发育断层陡坎, 高度 2~5 m 不等, 坡度中断不明显	发育断层陡坎, 高度 2~5 m 不等, 坡度中断不明显	三条逆断层 组成逆断层 不求, 断槽不 求, 同时代地层	一条逆断层 发育三个逆 断层
		三級 I=0.8 m II=2.6~3.8 m III≥4~6.6 m	四級, I=0.5~1 m II=2 m± III=3.3 m± N=2.3~6.1 m	四級 I=0.4 m II=1.1 m III=2 m± N=4 m±	逆断层上盘正断 层位移 0.1~0.2 m	四級, I=1.2 m II=2 m± III不詳 N>4.5 m	四級, I=1.1 m II>2 m III>3 m N>5 m							
断层陡坎及坡角		三个坡度中断 I=80° II=34°~40° III=20°~25°	三个坡度中断 I=33°~35°, 高 1.5 m II=28° 高 2 m III=22°~高 2.2 m	断层陡坎不发育	二个坡度中断 I=30°± 高 1.2 m II=20°± 高 1.4 m	二个坡度中断 I=35°± 高 1.2 m II=25° 高 1.1 m	发育断层陡坎, 高 度 1.5~4.5 m 不等, 坡度中断不明显	断层陡坎不发育	发育断层陡坎, 高度 2~5 m 不等, 坡度中断不明显					
逆断层及其 其特征		二条平行逆断层 它们的垂直位移 分别为 3 m 和 2 m	一条逆断层 显示 0.5 和 2.3 m 的垂 直位移				四条逆断层 组成逆断层 不求, 断槽不 求, 同时代地层	一条逆断层 发育三个逆 断层	三条逆断层 组成逆断层 不求, 断槽不 求, 同时代地层					
逆断层及 逆断层		一条逆断层其 下有三个断体 断体高 2~3 m		一条正断层断 槽不同时代地 层, 形成四个 正断层断槽 层	一条正断层, 断槽不 同时代地层显示 3~ 4 级垂直位移, 两个 正断层	一条逆断层其 下有四个逆断 层断体								
正断层及 正断层														
逆断层及伴 随的正断层					逆断层上盘正断层, 垂直位移 0.2 m± 由 上向下减小							逆断层上盘 发育三条正 断层		
古地震期次		显示三次, 1668 年和新两次, 确 定年代不明, Q ₁ 中早期	四次, 1668 年一次其前, 三次, 确定年代不詳发生在 Q ₁ 的 不同时期	四次, 1668 年, 其余三次分别 距今 3960±395 年, 小于 8395 年, 大于 1 万年	二次, 1668 年 和 6500 年左右	四次, 1668 年, 前三 次确定年代不詳 发生在 Q ₁ 时期	四次, 1668 年, 2000~5000 年间, 5000~8000 年间, 小于 12000 年	四次, 1668 年, 3000 年以前, 7000 年左右, 小于 12000 年	四次, 1668 年, 小于 4560 年, 小于 8395 年, 小于 12000 年					

根据 Wallace 经验公式^[14]：

$$\Delta T=\frac{D_{max}}{v}$$

求得各次级剪切断层上的强震复发周期在 3,000—3,700 年间(表 2)。若用整个带上的平均滑动速率(2.1 mm/a)除 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震的最大水平位移(10 m)得到的大震复发周期为 4,762 年。通过分析、对比发现,利用各次级剪切断层的滑动速率除相应次级剪切断层上的一次地震的最大位移得到的强震复发周期十分接近强震的绝对周期;而利用全带的滑动速率去除一次地震的最大位移得到的强震复发周期偏差较大。这告诉我们,在确定一条断裂上的强震复发周期时,利用各次级剪切断层的滑动速率去除相应次级剪切断层上的一次地震的最大位移得到的强震复发周期更符合实际情况。

4.3 地震破裂模式

D. P. Schwartz 和 K. J. Coppersmith 将地震破裂模式归纳为可变滑动模式、均匀滑动模式和特征地震模式三种类型^[15]。综合分析研究认为 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂是遵循特征地震模式破裂的。主要证据如下：

(1)沿 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂上的 4 级水平位移显示了同步消长关系(图 5)。表明地震破裂遵循着一个相同的破裂模式,即在每条次级剪切断层上,每次破裂的位移是恒定的,而沿整个断裂带上的滑动速率是可变的(表 2)。拟合了特征地震的累加滑动曲线(图 6)。

(2)沿 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂上发生的 4 次强震的震级基本是不变的(8 $\frac{1}{2}$ 左右),显示了准周期特征。1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震之后的 300 年间,沿地震断裂未曾发生过 6 级和

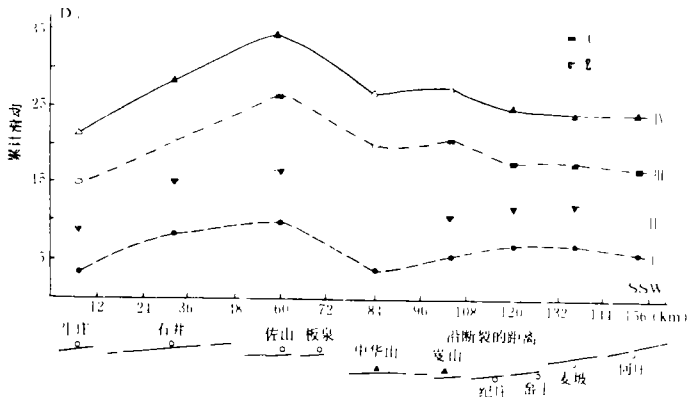


图 5 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震断裂多级水平位移(平均值)分布曲线

1 实测值(实心) 2 推测值(空心)

Fig. 5 Distribution of the different grades of horizontal displacements (average value) along the 1668 Tancheng earthquake fault.

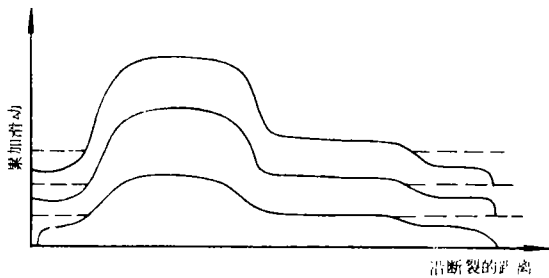


图 6 特征地震的滑动累加曲线

Fig. 6 Cumulative slip curves of characteristic earthquake (after D. P. Schwartz et al., 1984).

6 级以上的地震,说明中强地震频度低。拟合了特征地震断裂上的地震活动特征。

特征地震模式的含义是发生在特殊断裂或断裂段上的地震不遵循 Gutenberg—Richter 的地震频度—强度关系式 $(\lg N = a - bM)^{[16]}$, 在中等强度范围内存在一个低 b 值。本文获得的 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂上发生的地震遵循特征地震破裂模式的结论对认识郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂破裂机制和地震危险性评价有重要的实际意义。

(本文 1995 年 1 月 24 日收到)

参考文献

- 1 方仲景,丁梦林,计凤桔,向宏发. 郯城—庐江断裂带地震活动的地质分析. 地震地质, 1980, 2(4): 39—44.
- 2 强祖基,叶士忠. 1668 年山东莒县—郯城 $8\frac{1}{2}$ 级大震区的活动断裂特征. 地震地质, 1985, 7(2): 19—26.
- 3 高维明,郑郎荪,李家灵,林趾祥. 1668 年郯城 8.5 级地震的发展构造. 中国地震, 1988, 4(3): 9—15.
- 4 林伟凡,高维明. 沂沭断裂带大震复发周期. 中国地震, 1987, 3(3): 34—39.
- 5 陈国星,高维明. 沂沭断裂带现代活动特征及其与强震构造的关系. 中国地震, 1988, 4(3): 130—135.
- 6 黄伟师. 从地质地貌标志看沂沭断裂带的新构造运动特征. 中国地震, 1988, 4(3): 143—151.
- 7 李家灵,晁洪太,崔昭文,赵青玉. 郯庐断裂带郯城—新沂段活断层研究. 活动断裂研究(1). 地震出版社, 1991.
- 8 晁洪太,李家灵,崔昭文,赵青玉. 郯庐断裂带腾马—窑上活断层的几何形态与破裂特征. 活动断裂研究(2). 地震出版社, 1992.
- 9 王华林,耿杰. 1932 年昌马地震破裂带. 昌马活动断裂带. 地震出版社, 1992.
- 10 王华林,耿杰. 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震断裂的某些特征. 华北地震科学, 1992, 10(2): 34—42.
- 11 钱洪. 鲜水河断裂带的断错地貌及其地震学意义. 地震地质, 1989, 1(4): 43—55.
- 12 Wallace, R. E. Profiles and ages of young fault scarps, North-Central Nerade. U. S. B. G. S. A. , 1977, 88(9): 1267—1281.
- 13 邓起东,尤惠川. 断层崖研究与地震危险性估计—以贺兰山东麓断层崖为例. 西北地震学报, 1985, 7(1): 29—39.
- 14 Wallace, R. E. Earthquake recurrence intervals on the San Andreas Fault, California. B. G. S. A. , 1970, 8(10): 2875—2890.
- 15 Schwartz, D. P. and Coppersmith, K. J. Fault behavior and characteristic earthquake; examples from the Wasatch and San Andreas Fault zones. J. G. R. , 1984, 89(137): 5681—5698.
- 16 Gutenberg, B. and C. F. Richter. Seismicity of the earth and associated Phenomena. Princeton University Press, Princeton, N. J. , 1954.

(下转第 22 页)

AN ANALYSIS ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LIANCHENG M5.0 EARTHQUAKE IN FUJIAN AND GEOLOGICAL STRUCTURE

Huang Qingtuan, Lei Tucheng* and Ye Shengji

(Comprehensive Survey Group, Seismological Bureau of Fujian Province, Jimei, Xiamen)

Abstract

A M5.0 earthquake occurred in Liancheng on Nov. 26, 1992. The macroscopic epicenter is situated between Huangdi and Laiyuan (116° 57' E, 25° 32' N), epicentral intensity is VI⁺, focal depth is about 7.5 km. The isoseismal map of meizoseismal region shows oblong. Its long-axis strike is NNE, which is same as the that of the Huangdi—Meicuntou fault in epicentral area. The aftershocks were distributed along the fault and migrated from NE to SW. It is considered that the Huangdi—Meicuntou fault might be seismogenic structure of this earthquake.

Key words: Earthquake structure, Iseismic map, Epicentral intensity, Seismicity feature, Macroscopic precursor, Seismic parameter

(上接第 12 页)

HOLOCENE DISPLACEMENT RATE, PALEOEARTHQUAKES AND RECURRENCE INTERVALS OF STRONG EARTHQUAKES ALONG THE 1668 TANCHENG EARTHQUAKE ($M_s=8.5$) FAULT

Wang Hualin

(Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250021, China)

Abstract

Based on data of author's field investigating, measuring and trenching, the distribution and rate of Holocene displacement, paleoearthquake's traces and times, recurrence intervals of strong earthquakes ($M_s=8-8.5$) and model of the earthquake fracture along the 1668 Tancheng earthquake fault are studied in the paper.

Key words: Tancheng—Lujiang seismotectonic zone, Palaeoearthquake, Earthquake recurrence period, Seismic rupture, Displacement, Slip

* Fujian—Jiangxi Exploring Institute for Seismogeology—Engineering, Seismological Bureau of Fujian Province, Fuzhou