

师亚芹, 冯希杰, 戴王强, 李晓妮, 任隽, 种 瑾. 2008. 临潼—长安断裂带的几何结构及形成机理. 地震学报, **30**(2): 152-164.

Shi Yaqin, Feng Xijie, Dai Wangqiang, Li Xiaoni, Ren Jun, Chong Jin. 2008. Geometric structure and formation mechanism of Lintong-Chang'an fault zone. *Acta Seismologica Sinica*, **30**(2): 152-164.

临潼—长安断裂带的几何结构 及形成机理^{*}

师亚芹[†] 冯希杰 戴王强 李晓妮 任 隽 种 瑾

(中国陕西 710068 陕西省地震局)

摘要 根据野外大量断层露头以及人工地震结果表明, 临潼—长安断裂带主要由两条断层组成, 即麻街—碾湾断层和胡家沟—首帕张断层. 麻街—碾湾断层, 在灞河右岸的高桥分出一条分支断层, 即王家碛—侯家湾断层; 胡家沟—首帕张断层在铜人塬和少陵塬分出一条分支断层, 即冢底村—唐家寨断层. 断裂表现为张性倾滑正断层性质, 平面上局部范围大致呈平行等间距展布, 剖面上向西北呈阶梯状降落, 成“Y”字型组合. 深地震反射结果显示, 该断裂深约 5—8 km, 为基底断裂, 深部为铲形正断层. 临潼—长安断裂带是在近南北向引张应力场的作用下形成的典型的伸展断裂系, 同时受余下一铁炉子断裂左旋走滑运动的影响, 使断裂带从东北向西南呈带状展布形态.

关键词 临潼—长安断裂带 张应力 伸展断裂系 铲形正断层

文章编号: 0253-3782(2008)02-0152-13

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

Geometric structure and formation mechanism of Lintong-Chang'an fault zone

Shi Yaqin[†] Feng Xijie Dai Wangqiang Li Xiaoni Ren Jun Chong Jin

(Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China)

Abstract The results from investigation of large quantity of fault outcrops and artificial earthquakes suggest that the Lintong-Chang'an fault zone mainly consists of two faults. One is the Majie-Nianwan fault that separates a branch of Wangjiabian-Houjiawan fault on the right bank of the Bahe River; the other is the Hujiagou-Shoupazhang fault that separates a branch of Zhongdicutang-Jizhai fault in Tongrenyuan and Shaolingyuan. As tensile dip-slip normal faults, the faults distribute with approximately parallel equal intervals in local regions and the profiles drop in a step-like form to the northwest, presenting a Y-shape combination. The result from deep seismic reflection indicates that the fault is about 5—8 km in depth, which is not only a basement fault, but also a listric

^{*} 基金项目 国家发展和改革委员会发改投资“城市活断层试验探测项目”(20041138)资助.

收稿日期 2007-11-12 收到初稿, 2008-02-25 决定采用修改稿.

[†] 通讯作者 e-mail: syq0651@sina.com

normal fault in the deep stratum. The Lintong-Chang'an fault is a typical outstretching rift system under the N-S trending tensile stress field. At the same time, affected by the sinistral strike slip of the Yuxia Tieluzi fault, the fault extends like a broom from the northeast to the southwest.

Key words: Lintong-Chang'an fault; tension stress; outstretching rift system; listric normal fault

引言

临潼—长安断裂带位于渭河盆地的东南部, 是渭河盆地内次级构造单元骊山凸起与西安凹陷的分界断裂. 该断裂带展布于西安以东、秦岭山前以北的沔峪口—骊山西侧一带, 走向北东, 为张性正断层. 前人对该断裂进行过较多工作. 张尔道(1957)、关恩威(1966)、张安良和雷姚琪(1991)、李永善等(1992)分别从地形地貌和断层露头剖面对临潼—长安断裂带的位置和活动性进行了研究, 认为该断裂带由3条断层组成, 晚更新世和全新世有活动. 由于前人获得的资料较少, 对断裂展布和活动性的认识有一定的局限性. 冯希杰等(2006)、师亚芹等(2007)通过近两年得到的大量新的地面地质调查结果以及探槽等资料, 对临潼—长安断裂带的活动性进行了分析, 并提出了新的认识.

临潼—长安断裂带是国家“十五”项目“西安市活断层探测与地震危险性评价”重点探测的断层之一. 为了确定断层的位置, 本项目组进行了地面地质调查、人工地震勘探、钻探和深地震反射等工作, 对临潼—长安断裂带进行了精确定位. 本文将介绍临潼—长安断裂带的展布及几何结构特征, 并对该断裂的形成机理进行分析.

1 临潼—长安断裂带的展布及活动特征

1.1 临潼—长安断裂带展布

根据地面地质调查、人工地震等工作, 认为临潼—长安断裂带主要由两条主断层组成, 即麻街—碾湾断层(F_1)和胡家沟—首帕张断层(F_2). 麻街—碾湾断层在灞河右岸的高桥分出一条分支断层, 即王家碛—侯家湾断层(F_{1-1}); 胡家沟—首帕张断层在铜人塬和白鹿塬分出一条分支断层, 即冢底村—唐家寨断层(F_{2-1})(图1).

1.1.1 麻街—碾湾断层(F_1)

该断层北起麻街, 经铜人塬、白鹿塬、少陵塬、神禾塬进入秦岭山前洪积扇, 大体呈 $N20^\circ-35^\circ E$ 展布, 在少陵塬作 $N70^\circ-80^\circ E$ 延伸, 在神禾塬走向又为 30° 左右, 倾向NW, 为张性正断层, 全长47.5 km.

铜人塬段断层从麻街到灞河右岸车丈沟, 长13.5 km. 其基底为上新统灞河组砂质泥岩(贾兰坡等, 1966), 上覆黄土不超过50 m. 该塬面破碎, 大、小冲沟较多, 古土壤出露明显, 发现了麻街、阳坡、小亚(图2a)、车丈沟4个断层剖面(表1), 可看到断层错断 S_1-S_5 古土壤层, 错距1—2 m, 断面清晰, 垂直擦痕清楚. 铜人塬与白鹿塬之间 J_{27} 灞河测线(图1)人工地震结果表明, 该断裂错断古新系地层80 m(表2).

白鹿塬段 F_1 断层从灞河左岸的毛西村到浐河右岸的鲸鱼沟, 长10 km. 该黄土塬基座为上新统, 上覆约140 m厚的黄土. 在该段发现7个断层剖面(表1). 金萍陀剖面(图1中编号7)错断 S_1 古土壤层顶界6.0 m, 是目前找到的 S_1 最大的错距. 牛角尖剖面错断 S_1 古

土壤层 5.7 m(张安良, 雷姚琪, 1991). 白鹿塬与少陵塬之间 Se11 测线地震结果显示清楚, 断裂呈典型的“Y”字型构造(图 3a、表 2)^①.

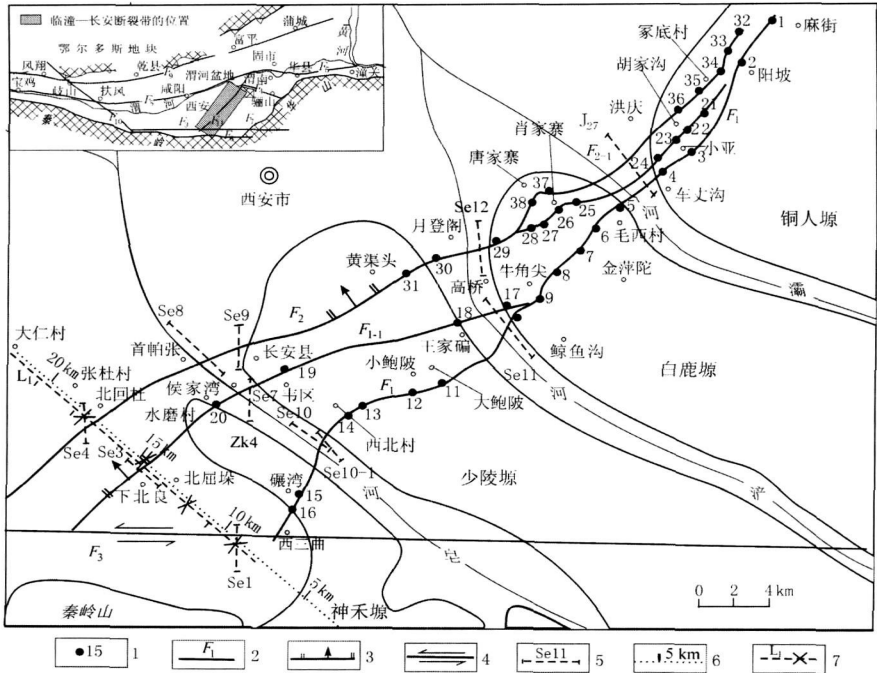


图 1 临潼—长安断裂带展布及断层露头位置和人工地震测线位置图

1. 断层露头位置及编号; 2. 断层及编号; 3. 正断层; 4. 走滑断层; 5. 浅层地震测线及编号; 6. 深反射测线及公里数; 7. 控制性浅层地震测线、编号及异常点. F_1 . 麻街—碾湾断层; F_{1-1} . 王家碛—侯家湾断层; F_2 . 胡家沟—首帕张断层; F_{2-1} . 冢底村—唐家寨断层; F_3 . 户县—铁炉子断裂

Fig. 1 Sketch map showing the Lintong Chang'an fault zone, the position of fault outcrop and the profile of deep seismic sounding

1. Position and number of fault outcrop; 2. Fault and its number; 3. Normal fault; 4. Strike-slip fault; 5. Shallow DSS line and its number; 6. Deep seismic reflection line and its number of kilometer; 7. Major shallow DSS line, its number and abnormal location. F_1 . Majie Nianwan fault; F_{1-1} . Wangjiabiarr Houjiawan fault; F_2 . Zhongdicur Tangjiazhai fault; F_3 . Huxiar Tieluzi fault

少陵塬段 F_1 断层从浐河左岸到皂河右岸, 长 10 km, 走向 $N60^\circ - 70^\circ E$. 基座为下更新统“三门组”湖积地层. 发现有大鲍陂、小鲍陂和西北村等断层剖面. 各剖面断面清晰, 垂直擦痕明显, 大鲍陂、小鲍陂(图 2b) S_1 底界距断 1.1—1.3 m, 几个剖面的 S_1 顶界都未发生错动(表 1). 少陵塬与神禾塬之间局连村浅层地震剖面 Se10 和 Se10-1(图 3b、表 2)有清楚的断层显示, Se10-1 是因 Se10 未能完全控制到主断裂向南东方向追加的一条测线.

神禾塬段 F_1 断层从皂河左岸到神禾塬西南缘的碾湾, 长 2.5 km, 走向又变为 $N20^\circ - 30^\circ E$. 该基座为下更新统湖积地层. 发现碾湾和黄甫村断层剖面, 碾湾剖面 S_1 和 S_2 顶界错距 1.5 m(图 2c、表 1).

① 煤炭科学研究总院西安研究院. 2007. 西安市活断层探测与地震危险性评价浅层人工地震详细探测工程报告.

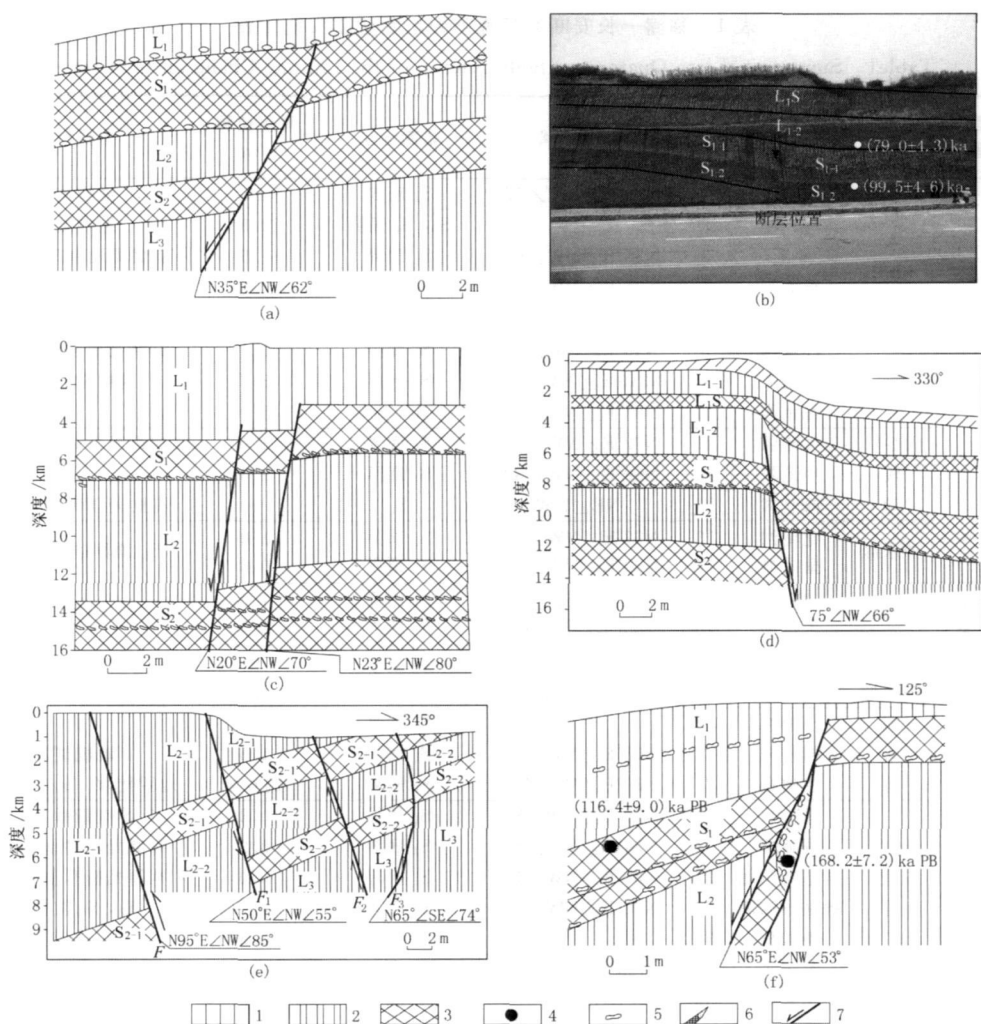


图 2 临潼—长安断裂带断层剖面图

(a) 小亚剖面; (b) 小鲍坡剖面; (c) 碾湾剖面; (d) 水磨村剖面; (e) 黄渠头剖面; (f) 冢底村剖面。1. 马兰黄土; 2. 离石黄土; 3. 古土壤; 4. 取样位置; 5. 钙质结核; 6. 断层破碎带; 7. 断层; L_{1S} 晚更新世第一层弱古土壤层; L₁₋₂ 晚更新世第二层黄土; S₁₋₁ 晚更新世第一古土壤层上部; S₁₋₂ 晚更新世第一古土壤层下部; L₂₋₁ 中更新世第一层黄土上部; L₂₋₂ 中更新世第一层黄土下部; S₂₋₁ 中更新世第一层古土壤上部; S₂₋₂ 中更新世第一层古土壤下部; L₃ 中更新世第二层黄土; (116.78±9.0) ka PB 年龄测试结果

Fig. 2 Vertical profiles showing Lintong-Chang'an fault zone

(a) Xiaoya profile; (b) Xiaobaopo profile; (c) Nianwan profile; (d) Shuimecun profile; (e) Huangqutou profile; (f) Zhongdicun profile. 1. Malan loess; 2. Lishi loess; 3. Paleosoil; 4. Sampling location; 5. Calcareous; 6. Fault shatter zone; 7. Fault; L₁S. Late pleistocene first layer slightly paleosoil; L₁₋₂. Late pleistocene second layer loess; S₁₋₁. The upper part of late pleistocene first layer paleosoil; S₁₋₂. The lower part of late pleistocene first layer paleosoil; L₂₋₁. The upper part of Mid Pleistocene first layer loess; L₂₋₂. The lower part of Mid Pleistocene first layer loess; S₂₋₁. The upper part of Mid pleistocene first layer paleosoil; S₂₋₂. The lower part of Mid Pleistocene first layer paleosoil; L₃. Mid Pleistocene second layer loess; (116.78 ± 9.0) ka PB OSL age

白鹿塬、少陵塬和神禾塬断层基本沿二级黄土塬与三级黄土塬之间北东向的黄土陡坎分布,陡坎高分别为 90—100 m, 30—50 m 和 38—46 m.

表 1 临潼—长安断裂带晚第四纪断层露头统计表

Table1 Summary of late Quaternary fault outcrop of the Lintong-Chang'an fault zone

断裂名称	地貌单元	断层剖面		产 状	错断地层	垂直位移 /m	主要特征
		位置	编号				
麻街— 碾湾断 裂带 (F ₁)	铜 人 塬	麻街	1	N35°E∠NW∠62°	S ₁ 底界	1.0	地貌陡坎
		阳坡	2		S ₃ , S ₄ 顶界	2.0	地貌陡坎
		小亚	3	N35°E∠NW∠62°	S ₂ 顶界	1.5	有磨光面和垂直擦痕
		车丈沟	4	N35°E∠NW∠62°	S ₁ 顶界	1.5	地貌陡坎
	白 鹿 塬	金萍沱	7		S ₁ 底界	6.0	地貌陡坎
		江家沟	8	N45°E∠NW∠80°	S ₁ 底界	1.1	有磨光面和垂直擦痕
		牛角尖	9	N315°E∠NW∠70°	S ₁ 底界	5.7	地层错开明显
		鲸鱼沟	10	N85°E∠NW∠65°	S ₄ , S ₆	1.0	
	少 陵 塬	大鲍陂	11	N72°E∠NW∠72°	S ₁ 底界	1.0	有磨光面和垂直擦痕
		小鲍陂	12	N68°E∠NW∠82°	S ₁ 底界	1.3	
		西北村	13	NE∠NW	S ₁	0	有磨光面和垂直擦痕
	神禾塬	龙尾沟	15	N72°E∠NW∠70°	S ₁ 顶界	1.0	
		皇甫村	16	N30°E∠NW∠68°	S ₁ 顶界	0.8	S ₂ 顶界错距 1.5 m
王家碛— 侯家 湾断裂 (F ₁₋₁)	白鹿塬	高桥	17	N25°E∠SE∠72°	S ₁ 底界	1.0	
		王家碛	18	N55°E∠SE∠65°	S ₃ 顶界	2.5	地层错开明显
	少陵塬	韦曲镇	19	N70°E∠NW∠72°	S ₁ 顶界	0	
	神禾塬	水磨村	20	N75°E∠NW∠66°	S ₁ 底界	1.0	有水平擦痕和磨光面
胡家沟 —首帕 张断裂 带(F ₂)	铜 人 塬	小家沟	22		S ₂ 顶界	2.0	
		胡家沟	23	N95°E∠NW∠78°	S ₁ 底界	1.5	地貌陡坎
		王柯寨	24	N55°E∠NW∠62°	S ₁ 底界	约 0.8	地貌陡坎, S ₂ , S ₃ 错开
	白 鹿 塬	桥沟	25	N70°E∠NW∠82°	S ₁ 顶界	0.8	L ₁ S 被错断 0.6 m
		肖家寨	26	N34°E∠NW∠82°	S ₁ 底界	3.9	有磨光面和垂直擦痕
		神峪寺沟北	27	N60°E∠NW∠73°	S ₁ 底界	6.0	有磨光面和垂直擦痕
		神峪寺沟南	28	N60°E∠NW∠73°	S ₁ 底界	2.0	S ₂ , S ₃ 被错开
		中殿村	29		S ₂ 底界	0.3	S ₁ 未错开
		少陵塬	31	N65°E∠SE∠74°	S ₁ 底界	0.3	呈地垒地堑式
		李家沟	32	NE∠70°	S ₁ 底界	0.3	地貌陡坎
冢底村 —唐家 寨断裂 (F ₂₋₁)	铜 人 塬	杨家寨	33	N40°E∠SE∠80°	S ₁ 底界	0.5	
		范家村	34	N20°E∠NW∠50°	S ₃ 顶界	1.5	
	冢底村	冢底村	35	N70°E∠NW∠63°	S ₁ 顶界	2.0	光释光年龄为 (116.4±9.0) ka
		任家村	36	N20°∠NW∠70°	S ₂ 顶界	0.8	
	白 鹿 塬	唐家寨沟口北	37	N95°E∠N∠75°	S ₁ 底界	0.3—0.4, 1.4	有磨光面和擦痕, S ₂ 错开 0.9 m
		唐家寨沟口南	38	N342°E∠W∠78°	S ₁ 底界	0.3—0.5	可看到 S ₂ , S ₃ , S ₄ 被错开

注：表 1 与图 1 中断层剖面位置编号一致。

1.1.2 王家碛—侯家湾分支断层(F₁₋₂)

该断层是麻街—碾湾断裂带的分支断层。从白鹿塬西南角的牛角尖经高桥过浐河进入少陵塬，经少陵塬、神禾塬到秦岭山前洪积扇。断层走向 N 70°—80°E，倾向北西，倾角约 60°，是一条张性正断层，长约 35 km。该断裂沿一级黄土塬与二级黄土塬之间北东向的陡坎分布，在少陵塬上形成明显的地貌陡坎，坎高 40—60 m，神禾塬地貌坎约 20 m。在浐河右岸的高桥、左岸的王家碛、少陵塬上的韦区东村、神禾塬上的水磨村发现断层剖面，错距

1—2.5 m. 目前仅在水磨村断面(图 2d、表 1)上发现有水平擦痕. 在秦岭山前洪积扇的下北良 S_{e3} 地震测线结果表明, 其错距约 15 m(表 2).

表 2 临潼—长安断裂带浅层地震探测结果表

Table 2 Summary of the shallow seismic exploration result of the Lintong Chang'an fault zone

序号	测线 编号	测线名	断层 编号	性 质	视倾向	视倾角	错距/m	上断点 埋深/m	测线长度 /m
1	Se12	中殿村	F_{Se12}	正断层/主断裂	NW	66°	100	≤ 35	2190
2	Se11	高桥	F_{Se11-1}	正断层/主断裂	NW	65°	30—200	≤ 30	4187
			F_{Se11-2}	正断层/主断裂	NW	65°	30	≤ 30	
			F_{Se11-3}	正断层/低序次	SE	63°	10	≤ 30	
			F_{Se11-4}	正断层/低序次	SE	63°	20	≤ 30	
			F_{Se11-5}	正断层/低序次	SE	63°	30	≤ 30	
			F_{Se11-6}	正断层/低序次	SE	63°	10	≤ 30	
3	Se10	局连村	F_{Se10-1}	正断层/主断裂	NW	58°	100		3389
			F_{Se10-3}	正断层/低序次	SE	67°	15	≤ 40	
			F_{Se10-4}	正断层/低序次	SE	65°	15	≤ 40	
			F_{Se10-5}	正断层/低序次	SE	68°	15	≤ 40	
			F_{Se10-6}	正断层/低序次	SE	68°	20	≤ 50	
			F_{Se10-7}	正断层/低序次	SE	65°	20	≤ 50	
4	Se10 1	局连村	F_{Se10-1}	正断层/主断裂	NW	69°	40	≤ 50	1206
			F_{Se10-2}	正断层/次断裂	NW	69°	20	100	
5	Se9	清凉寺	F_{Se9}	正断层	N	66°	25	≤ 40	902
6	Se8	张村	F_{Se8-1}	正断层/低序次	NW	70°	15	≤ 50	2033
			F_{Se8-2}	正断层/低序次	NW	70°	15	≤ 50	
7	Se7	二中	F_{Se7}	正断裂	NW	65°	20	≤ 35	870
8	Se4	杜回村	F_{Se4}	正断层	NW	68°	30	≤ 40	1800
9	Se3	下北良	F_{Se3-1}	正断层/主断裂	NW	70°	15	≤ 50	2370
			F_{Se3-2}	正断层/主断裂	NW	70°	10	260	
			F_{Se3-3}	正断层/低序次	SE	65°	8	175	
10	J ₂₇	灞河	F_{J27-1}	正断层/主断裂	NW	68°	80	≤ 30	4890
			F_{J27-2}	正断层/主断裂	NW	69°	200—400	≤ 30	
11	L ₁	大仁村—西王曲	F_{1-1}	正断层	NW	85°	70	250	12660
			F_{1-2}	正断层	NW	70°	94	350	
			F_{1-3}	正断层	SE	75°	45	400	
			F_{1-4}	正断层	NW	85°	35	500	
			F_{1-5}	正断层	N	81°	45	330	

1.1.3 胡家沟—首帕张断层(F_2)

该断裂北起铜人塬小峪沟, 向南经铜人塬、白鹿塬、少陵塬及洪积扇前缘河流阶地. 铜人塬断裂有一条分支断层, 在神峪寺沟与主断裂重合.

铜人塬段 F_2 断层长 13.5 km. 与麻街—碾湾断裂带在铜人塬的走向基本平行. 有小沟、胡家沟和王柯寨断层剖面(表 1), S_1 顶面被错断 0.8—1.5 m.

白鹿塬段 F_2 断层从灞河左岸到浐河右岸, 长 10 km. 断层沿一级黄土塬与二级黄土塬之间北东向的陡坎展布, 陡坎高达 90—120 m. 该断裂经过唐家寨沟和神峪寺沟. 在此段有桥沟、肖家寨、神峪寺沟、中殿断层剖面(表1). S_1 错距 2.0—6.0 m, 错断的最新地层

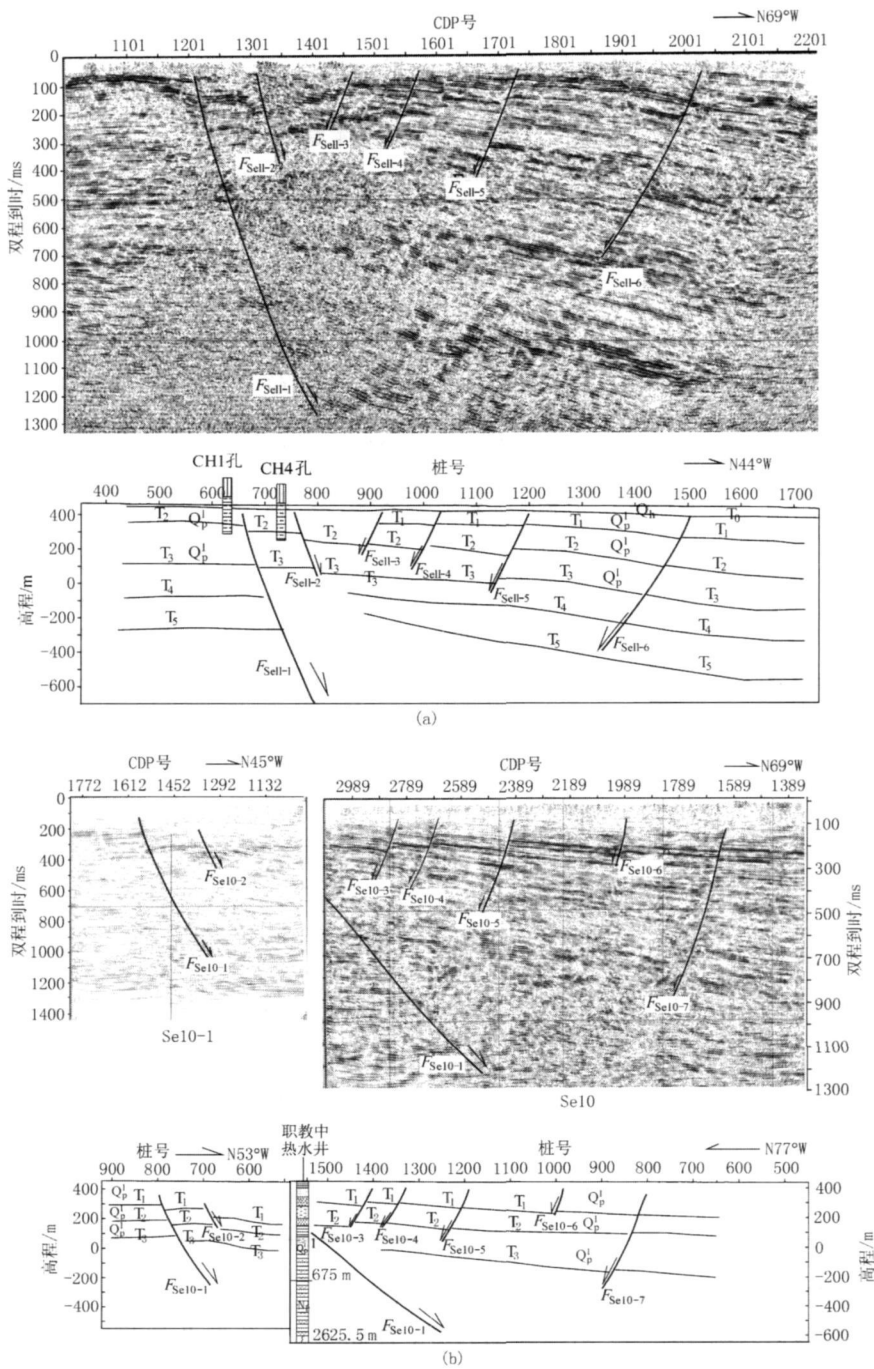


图 3 (a) 高桥浅层地震剖面及地质解释图(Se11, 道间距 3 m); (b) 局连村浅层地震剖面及地质解释图 ①(Se10 和 Se10-1, 道间距 3 m)

Fig.3 (a) The shallow seismic profile Se11 near Gaoqiao and its geological explanation; (b) The shallow seismic profile Se10 and Se10-1 near Juliancun and geological explanation

① 煤炭科学研究总院西安研究院. 2007. 西安市活断层探测与地震危险性评价浅层人工地震详细探测工程报告.

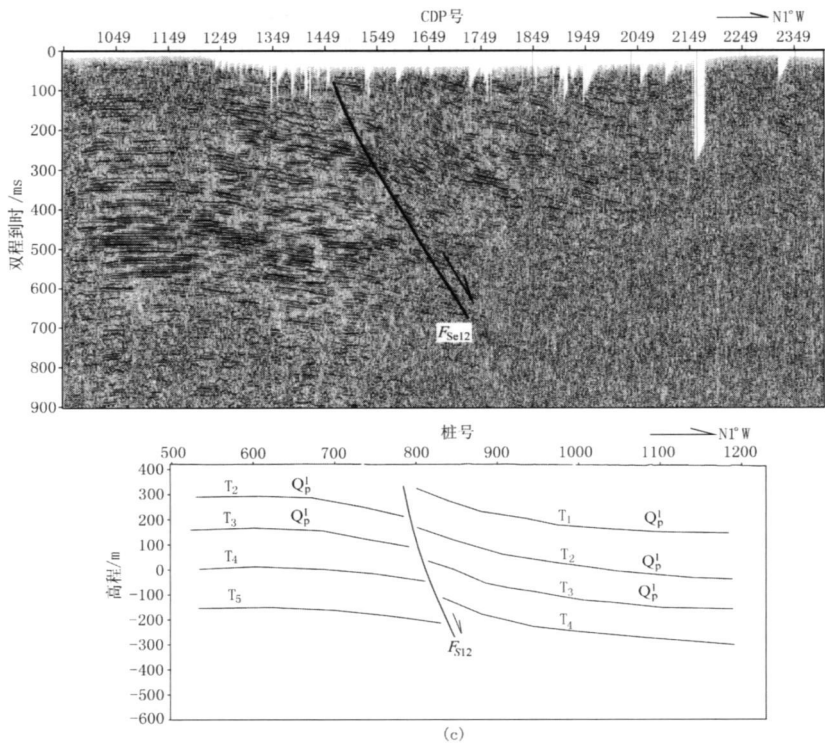


图3 (c) 中殿村浅层地震剖面及地质解释图^①(Se12, 道间距3 m)

Fig. 3 (c) The shallow seismic profile Se12 near Zhongdiancun and its geological explanation

为3.2万年的L₁S弱古土壤层,约0.6 m。中殿村浅层地震剖面(图3c、表2)有明显的断层显示。

少陵塬F₂断层从泾河左岸的月登阁经黄渠头到首帕张,长10 km。断层沿一级黄土塬与梁洼地貌之间有北东向的陡坎展布,陡坎高达40—50 m。在少陵源上的月登阁和黄渠头发现很好的断层剖面。神禾塬在此缺失一级黄土塬,地貌单元为河流阶地。清凉寺地震测线Se9、皂河阶地首帕张地震测线Se8、泾河阶地杜回村地震测线Se4结果(表2)都显示了该断裂的存在。

1.1.4 冢底村—唐家寨断层(F₂₁)

该断层从铜人塬到白鹿塬,在神峪寺附近与胡家沟—首帕张断裂带(F₂)重合。在唐家寨附近走向沿地貌陡坎发生近90°的转折。主要断层剖面有杨家寨、任家村、冢底村(图2f)和任东村(表1),断层错断S₁顶界为0.3—2 m。

1.2 临潼—长安断裂带的最新活动性

临潼—长安断裂带晚更新世以来错距为0.2—6.0 m,多数在0.8—1.5 m之间,平均1.1 m。各分支断层平均错距分别是:F₁为1.94 m,F₁₊₁为0.73 m,F₂为2.17 m,F₂₊₁为0.82 m。F₂断层比F₁断层活动强烈,断层的活动性有向西即向盆地方向迁移的特点。不

① 煤炭科学研究总院西安研究院. 2007. 西安市活断层探测与地震危险性评价浅层人工地震详细探测工程报告.
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

同的黄土塬断层的错距不同. 从铜人塬到神禾塬, 各个地貌单元错断晚更新世第一古土壤层 S_1 的错距平均值分别为: 铜人塬 1.09 m, 白鹿塬 2.76 m, 少陵塬 0.70 m, 神禾塬 0.93 m. 神禾塬参与统计的断面比较少, 可信度相对较差. 在秦岭山前洪积扇上目前还未找到晚更新统错断的证据. 统计结果表明, 在空间上断裂活动相对较强的段为白鹿塬, 少陵塬断层活动相对较弱. 在该断裂带上错断的最新地层为 L_1S (图 1 中编号 26, 桥沟剖面), 距今 3.2 万年. 如果 S_1 底界的年龄按 10 万年计算, 各分支断层和各黄土塬断层晚更新世早期的平均活动速率为 $1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-3}$ 级别, 活动速率比较小.

2 断裂带的平面和剖面组合特征

2.1 断裂带的平面组合形态

1) 帚状(图 4a). 临潼—长安断裂带在东北端的铜人塬, 宽约 2.5 km, 向西南逐渐撒开, 在神禾塬断裂带宽 10 km, 并微微向西北凸出. 整个断裂带平面上构成帚状形态.

2) 平行式(图 4b). 临潼—长安断裂带发育在特定的构造地貌部位, 从白鹿塬到少陵塬、神禾塬在各个黄土塬的局部地段. 该断裂带的几条断层互相平行, 间距大致相等.

3) 分叉或合并式(图 4d, e). 一条断层分成两条或两条以上的断层. 如麻街—碾湾断层(F_1) 在牛角尖分出家底村—侯家湾断层.

4) 肘状(图 4c). 断层出现近直角拐弯, 而呈现出肘状形态, 如 F_{2-1} 在唐家寨

形成肘状形态. 另外, 临潼—长安断裂带在不同地段倾向相反(图 4f).

2.2 断裂带的剖面组合形态

1) 单条式(图 5a). 在一个剖面中, 由一条断层组成. 在临潼—长安断裂带上单条断层表现最多.

2) 阶梯式(图 5b). 临潼—长安断裂带在剖面上组成阶梯式断阶地貌. 从东南向西北依次降落. 阶面形成前缘翘起、后缘倾俯的断阶地貌.

3) “Y”字型(图 5c). 浅层地震剖面 $Se11$ (图 3a)、 $Se10$ (图 3b)、 $Se3$ (表 2) 非常清楚地表现出这种“Y”字形断裂组合特征. 主断裂倾向北西, 次级断裂倾向南东, 主断裂和次级断裂走向相同、倾向相反.

这种“Y”字型构造, 不仅在临潼—长安断裂带中的某一条断层上发育, 而

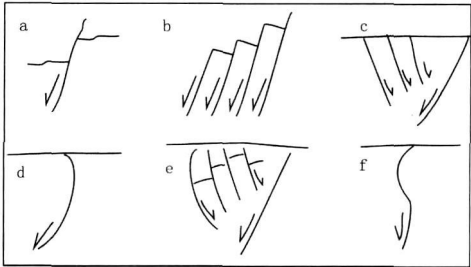


图 5 临潼—长安断裂带剖面组合特征
Fig. 5 Vertical profile view of the Lintong-Chang'an fault zone structure

且发生在不同级别、不同规模的断层上。例如, 整个临潼—长安断裂带在断层的上盘, 即西安凹陷中产生了一系列(约 14 条)低序次的反向正断层, 即西安地裂缝和临潼—长安断裂带形成“Y”字型结构, 在地貌上称为盆岭地貌(张家明, 1990)。

4) 地堑、地垒式(图 5e)。黄渠头剖面(图 2e、图 1 中编号 31)表现出小型地堑、地垒式结构。另外, 一些断面呈舒缓波状弯曲形态(图 5d, f)。

2.3 断层与陡坎的关系

从以上分析可以看出, 临潼—长安断裂带基本沿着地貌陡坎展布, 从陡坎高度与断层错距来看, 两者之间似乎差别很大, 如小鲍坡剖面(图 6), 晚更新世第一古土壤层底界错距 1.2 m, 但相应的陡坎高度约 40 m。陡坎高度与断层错距之间是什么关系? 钻探结果表明, 小鲍坡附近陡坎上下两个地貌面是同一地貌面, 黄土沉积厚度都为 110 m^①。其下为三门组湖积地层。黄土塬之间河谷中钻探结果显示, 作为基底的“三门组”湖积地层上部错距几米到十几米^②。也就是说, 黄土塬基座中断层的累积错距没有黄土陡坎高, 这个陡坎就不完全是断层形成的。另外, 还有一些证据表明^③, 该陡坎是“三门湖”退出时, 侵蚀作用是在已有的断层位置形成。地貌坎是断层活动和侵蚀作用共同作用的结果, 陡坎的高度以侵蚀作用为主。

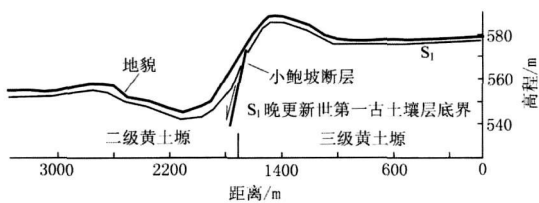


图 6 小鲍坡陡坎地形线

Fig. 6 Topography across scarp near Xiaobaopo

3 临潼—长安断裂带的深部构造

深地震反射测线位于西安市西南部的长安区与西北部的礼泉县之间, 测线方向为 NW-SE 向。该测线的 SE 端点(0 m 桩号)位于长安区太乙宫镇沙场村附近, 测线的 NW 端点位于礼泉县骏马镇付官寨附近, 测线全长 69 km。测线东南端长约 25 km 的长度覆盖了临潼—长安断裂带的宽度范围(图 1)。深反射测线东南端局部测试结果见图 7^④。

根据同相轴错断或强弱变化特点, 资料解释图 7 中在临潼—长安断裂带的宽度范围内有 5 条断裂, 即 F_1 , F_2 , F_3 , F_4 和 F_5 , 分别位于剖面桩号 10.2, 14.2, 16.0 km 和 17.5 km 左右, F_5 在地表的位置未记录。这 5 条断层均为正断层。

该结果认为图 7 中 F_1 为余下一铁炉子断层, 与区域断层分布相对应。该断裂在区域上走向近东西, 在渭河盆地中称周至—余下断裂, 进入秦岭山称铁炉子断裂。该断裂有明显的左旋走滑运动特性, 中更新世以来左旋位移量达 750 m(杨晓平等, 2005)。图 7 中 14.2 km 处的 F_2 应为临潼—长安断裂麻街—碾湾断层, 与地表的位置有一定的误差。图 7 中 F_3 和 F_4 分别对应王家碛—侯家湾分支断层、胡家沟—首帕张断层, 与地表断层位置对应较好。图 7 中 F_5 为秦岭北缘断裂。临潼—长安断裂错断了 T_N , T_E 和 T_g 反射层。 F_3 , F_4 断层在深度 5 km 左右归并到 F_2 断裂上, F_2 在深部 8 km 左右归并到 F_1 上。 F_1 以铲形方

① 陕西省第一水文队. 1977. 长安县农田供水水文地质勘查报告。

② 陕西省工程地质勘察研究院. 2007. 西安市活断层探测与地震危险性评价项目钻孔联合剖面报告。

③ 师亚芹. 2007. 临潼—长安断裂带所在陡坎的成因分析。

④ 中国地震局地球物理勘探中心. 2005. 西安市活断层探测与地震危险性评价深地震探测工作报告。

式延伸到大约 8.5—9 km 的深度上与断裂 F_5 归并.

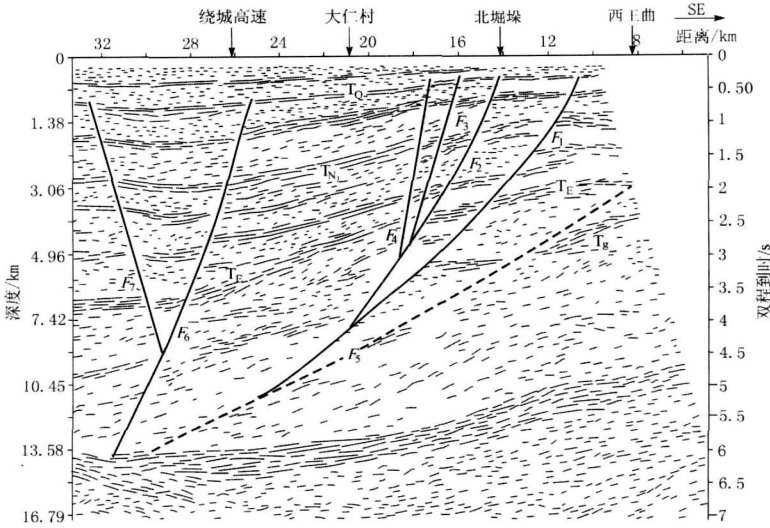


图 7 临潼—长安断裂带的深部构造特征

F_1 . 麻街—碾湾断层; F_2 . 户县—铁炉子断裂; F_3 . 王家碾—侯家湾分支断层; F_4 . 胡家沟—首帕张断层;
 F_5 . 秦岭北缘断裂; F_6, F_7 . 是新发现的两条断层; T_0 . 第四系底界反射波组; T_{N_1} . 中新统底界
反射波组; T_{N_2} . 上新统底界反射波组; T_E . 古近系底界反射波组; T_g . 结晶基底反射波组

Fig. 7 Deep structure of the Lintong-Chang'an fault zone

F_1 . Majie Nianwan fault; F_2 . Huxian Tieluzi fault; F_3 . Wangjiabian Houjiawan fault; F_4 . Hujiagou
Shoupazhang fault; F_5 . Qinling north marginal fault; F_6 and F_7 . New faults; T_0 . Reflection wave group of
bottom boundary of Quaternary system; T_{N_1} . Reflection wave group of bottom boundary of Miocene system;
 T_{N_2} . Reflection wave group of bottom boundary of Pliocene; T_E . Reflection wave group of bottom
boundary of Paleogene system; T_g . Reflection wave group of crystalline basement

从深地震反射剖面可以看出, 临潼—长安断裂带深约 5—8 km, 为基底断裂, 深部为
铲状形态, 属典型的伸展断裂构造系.

4 临潼—长安断裂带的形成机理

临潼—长安断裂带是渭河盆地西安凹陷与骊山凸起的边界断裂, 其形成机理与渭河断
陷盆地的形成密切相关(图 8). 渭河盆地是新生代断陷盆地. 古新世前, 受燕山运动的影
响, 该区强烈隆起, 遭受剥蚀. 始新世至渐新世, 由于深部地幔隆起, 加速了本区地壳伸展
和拉伸减薄(邓起东, 尤惠川, 1985; 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组,
1988.), 在先存的隆起的轴部岩石发生破碎(马杏垣等, 1983), 产生纵向张裂. 首先从东
西向的渭河断裂开始发生伸展断陷, 沉积了小范围的始新统和渐新统. 晚第三纪喜马拉雅
运动之后, 青藏高原隆起对鄂尔多斯块体北东向的挤压力增强. 同时, 太平洋向西挤压(国
家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组, 1988), 在东西方向受挤压的状态下, 本区形
成一个近南北向的拉张局部应力场, 在NNW-SSE引张应力场的作用下(高名修, 1979; 陕
西省地震局, 1996), 渭河盆地进一步扩大. 控制盆地发展的断裂从北向南迁移, 即渭河断
裂、余下一铁炉子断裂和秦岭北缘断裂. 断裂之间的块体沿铲形正断层面产生旋转, 形成
了从南到北逐渐降低的阶梯状正断层, 并以南缘断裂为主断裂、北缘断裂为反向次级断裂

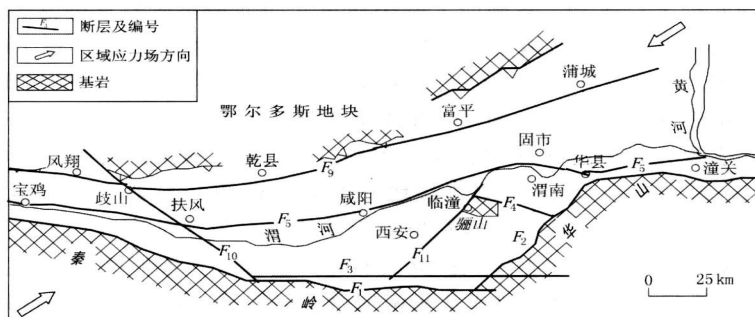


图 8 渭河盆地断裂及应力场分布图

F_1 . 秦岭山前断裂; F_2 . 华山西山前断裂; F_3 . 余下一铁炉子断裂; F_4 . 骊山山前断裂;
 F_5 . 渭河断裂; F_9 . 北山山前断裂; F_{10} . 岐山—马昭断裂; F_{11} . 临潼—长安断裂带

Fig. 8 Distribution of faults and stress field in Weihe basin

F_1 . Qinling range front fault; F_2 . Huashan range front fault; F_3 . Yuxia Tieluzi fault; F_4 . Lishan range front fault; North range front fault; Qishan Mazhao fault; F_{11} . Lintong Chang'an fault zone

的伸展断裂系. 在盆地边缘的余下一铁炉子断裂具有左旋走滑的特点.

始新世时期临潼—长安断裂带开始强烈断陷接受沉积. 在灞河毛西村附近, 断裂两侧古近纪晚始新统一早渐新统错距约 1 000 m (冯希杰等, 2006). 中新世、上新世断层两侧仍以沉降为主, 但沉降幅度明显减小. 早更新世断裂又表现出强烈的差异运动, 断层西侧堆积了较厚的上更新统; 中、晚更新世至全新世该区处于上升时期(关恩威, 1966). 自从早渐新世之后, 由于骊山不断北仰南俯“掀斜式”的抬升, 使整个地形面从东北向西南倾斜. 同时, 东侧的华山西麓不断抬升, 使骊山地区向北西倾斜, 形成东南西北方向的长条形堆积区. 该区地势从东北向西南, 从东南向西北依次降低. 在盆地的形成扩展中, 临潼—长安断裂带在近南北向引张应力场的作用下, 也在不断地掀斜扩展, 形成从东南向西北的伸展断裂系. 随着骊山凸起的抬升, 上新世、早更新世时期的湖水逐渐退出, 湖水在先存的断层位置发生侵蚀作用, 地壳抬升—断层活动—湖水侵蚀, 这样反复就形成了既有断层活动又有侵蚀作用的陡坎. 湖水退出之后, 接受黄土堆积, 黄土覆盖在以侵蚀作用为主的陡坎上, 黄土堆积后每次断层的活动量累加在陡坎上. 临潼—长安断裂带在受到近南北向引张应力的同时, 还受到近东西向剪应力的作用. 水磨村剖面表明断层受到水平剪应力的作用. 余下一铁炉子断裂呈水平左旋扭动. 临潼—长安断裂带位于余下一铁炉子断裂的北盘, 受其影响, 使断裂带西南段向西北凸出, 整个断裂带从东北向西南形成了一个北东走向的帚状平面形态.

5 结论

1) 根据野外地面地质调查以及人工地震结果表明, 临潼—长安断裂带主要由两条断层组成, 即麻街—碾湾断层和胡家沟—首帕张断层; 麻街—碾湾断层在灞河右岸的高桥分出一条分支断层, 即王家碾—侯家湾断层, 胡家沟—首帕张断层在铜人塬和白鹿塬分出一条分支断层, 即冢底村—唐家寨断层. 该断裂带表现为张性倾滑正断层.

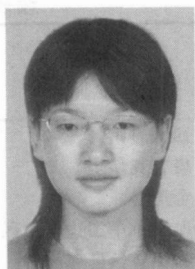
2) 在平面上临潼—长安断裂带从东北向西南撒开, 形成帚状, 在局部地段主断裂与分

支断裂呈大致等间距平行排列. 在剖面上断裂从东北向西南呈阶梯状降落, 断层之间的断块具有掀斜旋转的特性. 断层普遍呈“Y”型组合, 无论是单条断层还是整个临潼—长安断裂带都具有这种组合特点. 在剖面中还可看到地堑、地垒组合形态. 深地震反射结果表明, 临潼—长安断裂带在深部为铲形正断层, 在浅部与地表断层基本呼应. 临潼—长安断裂带的几何结构特征表现为典型的伸展断裂系, 反映了一个统一的张性构造应力场.

3) 临潼—长安断裂带的形成与渭河盆地的形成有密切的关系. 上新世北端骊山的北仰南俯, 东侧华山的抬升使临潼—长安断裂带所在的地区形成从东北向西南、从东南向西北逐渐降低的地貌. 在渭河盆地的形成扩展过程中, 临潼—长安断裂带在近南北向引张应力场的作用下, 不断地掀斜扩展, 形成从东南向西北呈阶梯状降落的伸展断裂系. 上新世、早更新世时期地壳抬升, 湖水逐渐退出, 在先存的断层位置发生侵蚀作用, 形成既有断层活动、又有侵蚀作用的陡坎. 同时, 受近东西向余下一铁炉子断裂左旋走滑运动的作用, 使断裂带从东北向西南呈帚状平面展布.

参 考 文 献

- 邓起东, 尤惠川. 1985. 鄂尔多斯周缘断陷盆地的构造活动特征及其形成机制[G] // 现代地壳运动研究. 北京: 地震出版社: 1, 58-78.
- 冯希杰, 戴王强, 师亚芹, 李晋, 任隽, 韩恒悦. 2006. 临潼—长安断裂错距及其分布特征. 地震地质, 28(4): 579-588.
- 高名修. 1979. 华北断块区的张应力场[J]. 地震地质, 1(2): 1-12.
- 关恩威. 1966. 骊山灞河地区新构造运动的初步观察[G] // 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所编. 陕西蓝田新生界现场论文集. 北京: 科学出版社: 136-150.
- 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 1988. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社: 312-328.
- 贾兰坡, 张玉萍, 黄万波, 汤英俊, 计宏祥, 尤玉柱, 丁素因, 黄学诗. 1966. 陕西蓝田新生界[G] // 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所编. 陕西蓝田新生界现场论文集. 北京: 科学出版社: 1-26.
- 李永善. 1992. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京: 地震出版社: 152-168.
- 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 汪一鹏. 1983. 中国东部中、新生代和伸展构造[J]. 地质学报, 57(1): 22-31.
- 陕西省地震局. 1996. 秦岭北缘活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社: 173-201.
- 师亚芹, 冯希杰, 李晋, 任隽, 戴王强, 李晓妮. 2007. 临潼—长安断裂带古地震及地震危险性评价[J]. 震灾防御技术, 2(2): 137-146.
- 杨晓平, 东起东, 冯希杰. 2005. 东秦岭内部铁炉子断裂带的最新走滑运动[J]. 中国地震, 21(2): 172-178.
- 张安良, 雷姚琪. 1991. 长安—临潼断裂的活动与西安地区地震危险性探讨[J]. 内陆地震, 5(3): 216-225.
- 张尔道. 1957. 临潼骊山新地质构造运动[J]. 地质知识, 2: 21-22.
- 张家明. 1990. 西安地裂缝研究[M]. 西安: 西北大学出版社: 37-68.



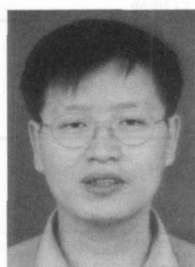
会员.

黄 慧 北京大学地球与空间科学学院在读硕士研究生. 2004 年北京大学地球与空间科学学院固体地球物理专业毕业, 获学士学位, 同时获经济学双学位. 一直从事地震波理论计算的研究. SEG 学生



构造方面的研究工作. 陕西省地震学会会员.

师亚琴 陕西省地震局高级工程师. 1986 年西北大学地质系地质专业毕业; 1999 年北京大学地质系获构造地质专业硕士学位. 曾从事地震小区划、地震安全性评价、地裂缝勘察等工作. 现从事活动



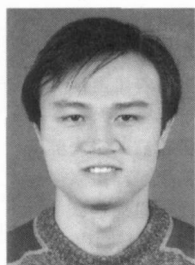
资料在地震预测中的应用; 地下速度结构反演.

张永久 四川省地震局工程师. 1995 年北京大学获理学学士学位; 2003 年中国科学技术大学获理学硕士学位. 主要从事数字地震研究工作. 目前的研究包括: 地震活动图象特征; 震源参数反演; 数字地震



研究应力演化, 中国和爱琴海的地震构造.

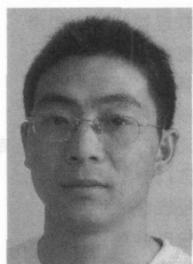
Ch. Gkarlaouni 希腊萨罗尼卡大学地球物理系. 2004 年希腊萨罗尼卡亚里斯多德大学地质系毕业. 2007 年获希腊萨罗尼卡亚里斯多德大学地球物理学硕士学位. 主要研究工作有应用库伦破裂函数变化



许 洋 中国地震局地球物理研究所地球探测与信息技术专业研究生. 2004 年上海交通大学电子信息工程专业毕业, 获学士学位. 现主要从事地震预警系统参数测定及平台建设方面的研究工作.



杨 勇 中国地震局地球物理研究所防灾减灾工程及防护工程专业在读硕士研究生. 2005 年中国矿业大学(北京)地质工程专业毕业, 获学士学位. 现主要从事工程地震学和矿业权评估的研究.



晏 锐 中国地震台网中心助理研究员, 中国地震局地震预测研究所在职硕士研究生. 2002 年云南大学地球物理专业毕业, 获学士学位. 现主要从事地下流体学与地震预测研究工作.



杨凤琴 中国科学技术大学研究生. 2005 年安徽师范大学毕业, 获学士学位. 现从事地震学与深部地球物理方面的研究工作. 安徽地震学会会员.

注: 冯梅, 杨晓平简介分别见本刊: Vol. 29, No. 4; Vol. 25, No. 1.