

文章编号: 1001-1986(2008)06-0062-05

临潼-长安断裂构造发育特征

——基于人工地震探测结果分析

苗康运

(煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘要: 临潼-长安断裂地处黄土区, 黄土稳定性差, 以往多采用地面和遥感地质调查等方法加以研究。由于受黄土塬边滑坡或湿陷性影响, 得到的断层剖面构造特征不但深度有限可靠性差, 而且深部的构造特征仅具有推测性质。地震勘探是探测深部地质构造最有效的地球物理勘探方法之一。利用地震探测获得了深达千余 m 的地质剖面, 并从区域构造研究入手, 划分了临潼-长安断裂与周至-户县凹陷、骊山凸起的分界, 确定了临潼-长安断裂的总体剖面构造特征。

关键词: 地震探测; 临潼-长安断裂; 周至-户县凹陷; 构造特征

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A

Structural development characters of Lintong-Changan fault: Based on result analysis of artificial seismic survey

MIAO Kang-yun

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: The Lintong-Changan fault is located in loess area, which is researched usually with surface or remote geologic survey methods due to poor stability of loess. Because of influence of landslide and wet subsidence of loess plateau, the structural characters of fault profile is limited by depth and poor reliability. Especially the structural property at deep depth is only inferred. The seismic survey is considered as one of most effective survey methods for detecting deep structures. The boundaries among Lintong-Changan fault, Zhouzhi-Huxian depression and Lishan Salient are identified, and the structural characters of Lintong-Changan fault profile are determined with seismic survey and regional structural study.

Key words: seismic survey; Lintong-Changan fault; Zhouzhi-Huxian depression; structural character

临潼-长安断裂地处黄土区, 黄土稳定性差, 垂直裂隙发育, 表层多为耕作土覆盖。以往研究多采用地面和遥感地质调查等方法, 虽有断层存在痕迹, 但断裂深度几何、有否黄土塬边的滑坡^[1]或黄土湿陷影响、深部剖面构造特征如何, 很难得出确切结论。

地震勘探是探测深部地质构造最有效的地球物理勘探方法之一。测区渭河新生代断陷盆地第四系以砂泥岩和风积黄土为主, 厚约 300~900 m, 新近系和古近系以细粒砂岩、泥岩为主, 厚 400~6 000 m^[2]。新生界厚达 3 500~6 500 m, 地层稳定, 产状平缓, 断层倾角大, 地下水位浅, 地震地质条件好。地震资料上主要表现为有效波能量强, 信噪比高且连续性好。但由于地层多为土泥、粉土与砂, 或泥岩、砂质

泥岩与砂岩互层, 其地震波组特征不稳定, 在测线之间很难找到可连续追踪、具明显波组特征、可进行区域对比的反射波组, 地层对比解释难度较大, 但地震波组反映的地质构造形态(新构造变动)可靠, 对构造解释有利。

煤炭科学研究总院西安研究院首次利用地震探测揭示了深达千余 m 的地质剖面, 从区域构造分析入手, 不但划分了临潼-长安断裂与周至-户县凹陷、骊山凸起的分界, 而且确定了临潼-长安断裂的总体剖面构造特征。为了探测临潼-长安断裂, 在横岭塬、白鹿塬、少陵塬、神禾塬及神禾塬以西等部位布设了 7 条地震测线, 此外, 在断裂北西侧靠近断层的位置亦有 2 条地震测线, 对临潼-长安断裂解释作用很大。

收稿日期: 2008-05-13

作者简介: 苗康运(1951—), 男, 陕西西安人, 高级工程师, 从事构造地质及地震勘查研究。

1 测区构造概述

临潼-长安断裂是渭河盆地内部骊山凸起与周至-户县凹陷及泾河-临潼次级隆起间的一条重要边界性断裂,也是《西安市地震活断层探测与地震危险性评价》项目需要重点评价的目标断层之一。临潼-长安断裂北起西安市临潼县城,向南西依次切过横岭塬、白鹿塬、少陵塬及神禾塬,延至长安区沣峪口,长约42 km,总体走向约NE46°,倾向北西,倾角60°~70°,为高角度正断层^[3]。区域构造中,骊山凸起构造特征表现为北西侧翘起,向南东倾伏掀斜^[4],断裂下盘作为骊山凸起的一部分,地层产状一般向南微倾或靠近断层平缓;周至-户县凹陷为向斜构造,断裂上盘作为向斜南东翼地层呈单斜向北西倾斜。周至-户县凹陷中心在户县以西,测区范围内地层倾角西大东小。地震L1测线解释的F₁₋₃断层上盘和J13测线地

层均倾向北西,两测线相距很近,亦证实周至-户县凹陷的向斜特征。

2 地震剖面构造特征

地震测线自西向东布置为L1、Se10、Se10-1、Se11、Se12、J27和Se14测线(图1),其中Se10-1测线是初步解释认为Se10未能控制F₁₋₁断层而增加的。测线分布西到长安区黄良镇,东至临潼区斜口镇,测线方向与临潼-长安断裂走向近垂直。地震探测结果表明,临潼-长安断裂带宽3~5 km,东窄西宽,由3条近平行断层(F₁₋₁、F₁₋₂和F₁₋₃)组成,总体剖面构造特征为南侧(F₁₋₁断层下盘)地层水平或轻微南倾;北侧(F₁₋₃断层上盘)地层倾向北西呈单斜构造,断裂带F₁₋₁与F₁₋₂断层间地层倾向北西,F₁₋₂与F₁₋₃断层间地层水平。按断裂带剖面构造特征,并结合地形地貌可分为西中东3段。

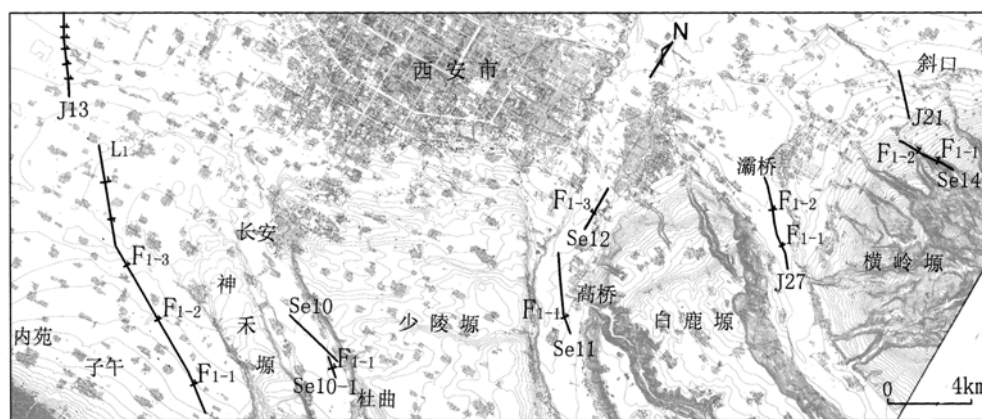


图1 浅层地震测线及断点平面位置图

Fig. 1 Playout plan of shallow seismic lines and points

注: Se11——地震测线编号; F₁₋₁、F₁₋₂、F₁₋₃——临潼-长安断裂断点位置

a. 西段

该段位于神禾塬以西,地形平缓,区域构造为骊山凸起与周至-户县凹陷中部的分界。该段L1地震测线(下北良)长12.6 km,地震探测效果好,可反映临潼-长安断裂的总体构造特征。地震地质剖面(图2)解释有5条断层,从剖面构造形态分析,最南部的断层为临潼-长安断裂F₁₋₁断层,该断层下盘地层连续性不好,产状变化不规则,是靠近秦岭洪积相地层所致,但总体地层水平,靠近断层向下牵引是清楚的。从断层下盘地层近水平及所在平面位置分析,断层下盘地层应属骊山凸起部分;断层上盘地层倾向北西,倾角总体较缓(约3°),产状稳定,靠近断层向上牵引变陡,断层两侧岩相突变及波组下错,显示为正断层。F₁₋₂断层位于F₁₋₁断层以北,断层下盘即为F₁₋₁断层上盘,两断层间地层倾向北西,呈单斜构造,上盘地

层产状水平,为倾向北西的正断层。F₁₋₃断层位于下北良村北,下盘地层水平,上盘倾向北西,地层视倾角总体约5°,靠近断层均受牵引变陡,为倾向北西的正断层。此外,F₁₋₁断层上盘浅部地层向北西方向有加厚趋势;F₁₋₃断层上盘浅部地层向北西方向明显加厚,说明两断层均有生长断层性质。

F_{L-4}和F_{L-5}断层位于F₁₋₃断层以北,地层倾向北

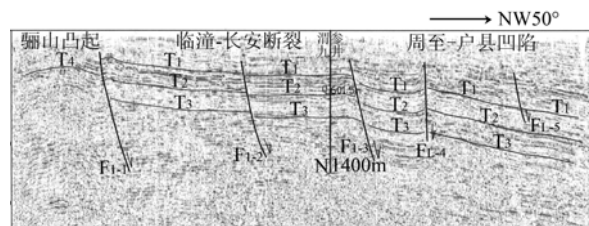


图2 L1测线地震地质变密度剖面图

Fig. 2 Seismic geological profile of L1 seismic line

西的单斜构造中。 F_{1-3} 和 F_{L-4} 断层间的地层虽有呈现小向斜的趋势(向斜特征明显), 但向斜为不对称向斜, 地层总体还是北西倾斜的。两断层均为高角度的正断层, 其中 F_{L-4} 断层倾角近直立, 区域构造分析该断层与 F_{1-3} 断层应为剖面上的“X”型构造。 F_{L-4} 断层在深部与 F_{1-3} 断层合为同一断层, 也可认为是剖面上 F_{1-3} 断层的反向断层。 F_{L-5} 断层倾向北西, 规模较小, 浅部及深部地层未错开。由于西安地裂缝发育, 在 J13 测线上倾向北西的单斜地层中也有 5 条倾向北或近直立的高角度正断层(地裂缝), 因此, 综合分析认为 F_{L-4} 和 F_{L-5} 断层应为周至-户县凹陷北西翼类似于西安地裂缝性质的断层。

b. 中段

该段位于神禾塬、少陵塬和白鹿塬的边缘地带, 地貌上存在断层坎, 区域构造为骊山凸起与周至-户县凹陷东部的分界。该段共布有 4 条地震测线, 其中 Se11 测线位于白鹿塬与少陵塬间泾河河谷的高桥村附近, 控制 F_{1-1} 断层。该测线地震探测效果极好, 地震剖面(图 3)上不但 F_{1-1} 断层特征清晰, 而且伴生次级断层、低序次反向断层发育, 反映 F_{1-1} 断层基本是在同方向拉张应力持续作用下形成的张性正断层。剖面 F_{1-1} 断层下盘地层产状水平, 上盘地层总体倾向北西, 浅部地层倾角较缓(约 3°), 深部倾角较陡(约 9°), 靠近断层的地层受牵引变陡, 且浅部地层远离断层有加厚的趋势, 反映断层具生长断层性质。 F_{Se11-2} 断层位于浅部, 剖面上呈台阶状与 F_{1-1} 断层平行, 浅部 F_{1-1} 断层断距较小, 综合分析认为 F_{Se11-2} 断层应为 F_{1-1} 断层的次级断层, 断裂带较宽, 在浅部分为 2 个。断层上盘的单斜地层中存在的 F_{Se11-3} 、 F_{Se11-4} 、 F_{Se11-5} 和 F_{Se11-6} 反向正断层, 位于浅部, 规模较小, 倾向南东, 两盘地层产状基本一致, 断距不大, 倾角上陡下缓, 呈弧形弯曲, 线状特征清晰; 断层由南向北阶梯状下错, 断错深度依次由浅变深, 倾角由大变小, 断层间距由小变大。该类断层从构造上分析应是 F_{1-1} 断层的低序次构造, 与 F_{1-1} 断层是互相依存的关系, 为 F_{1-1} 断层存在的有力佐证。

在距测线不远的鲸鱼沟内(白鹿塬边), F_{1-1} 断层下盘有新近系出露, 地层产状水平, 故 F_{1-1} 断层下盘为新近系。波组对比认为, F_{1-1} 断层上盘至 F_{Se11-2} 断层间的 T6 层位也为新近系, F_{Se11-2} 断层上盘为第四系。综合分析认为, F_{1-1} 断层断距深部大, 浅部小, 在百余 m 至数百 m, 反向断层断距较小, 约 20~50 m。

Se10 测线位于少陵塬与神禾塬间泾河河谷的局连村附近, 控制着 F_{1-1} 断层。Se10 测线构造特征(图 4b)与 Se11 测线非常相似。 F_{1-1} 断层地面虽未出露,

但深部断层下盘地层产状水平是清楚的, 上盘地层总体倾向北西, 呈单斜构造, 倾角浅部缓(约 3°), 深部陡(8°), 浅部地层厚度远离断层有加厚趋势, 反映断层具生长断层性质。在上盘的单斜地层中 F_{Se10-3} 、 F_{Se10-4} 、 F_{Se10-5} 、 F_{Se10-6} 和 F_{Se10-7} 反向正断层特征亦与 Se11 测线反向断层相似, 应是 F_{1-1} 断层的低序次构造。

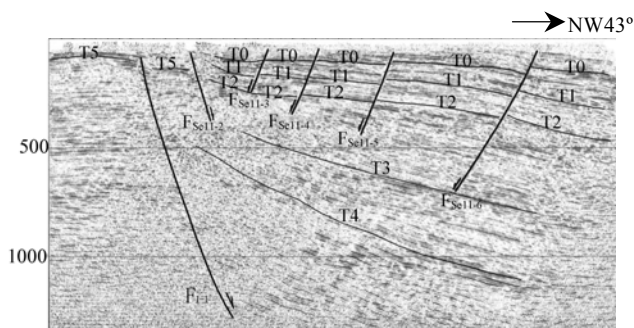


图 3 Se11 测线地震地质变密度剖面图

Fig. 3 Seismic geological profile of S11 seismic line

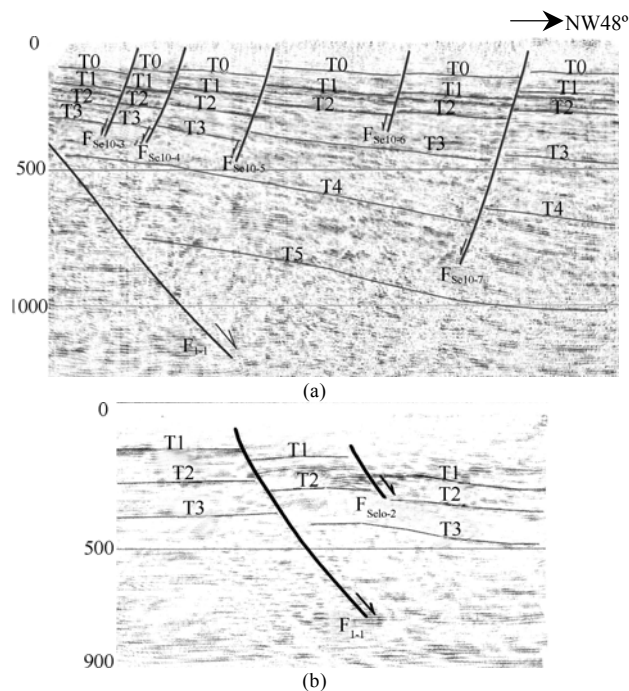


图 4 Se10-1、Se10 测线地震地质变密度剖面图

Fig. 4 Seismic geological profile of Se10 and Se10-1 seismic lines

a—Se10-1 测线; b—Se10 测线

Se10-1 测线位于 Se10 测线以南, 为平移后的 Se10 测线延长线。地震地质剖面(图 4a)上 F_{1-1} 和 F_{Se10-2} 断层均倾向北西, F_{1-1} 断层规模较大, F_{Se10-2} 断层断错深度较小, 是 F_{1-1} 断层的次级断层。探测结果与推测 F_{1-1} 断层位于 Se10 测线以南是一致的。Se10 和 Se10-1 测线探测结果与 Se11 测线完全一致, F_{1-1} 断层规模巨大, 剖面构造特征清晰。

Se12 测线位于灞河河谷, 在 Se11 测线以北中殿村附近, 探测 F_{1-3} 断层。该测线因北部有垃圾回填, 探测质量稍差。地震地质剖面(图 5)解释存在 F_{1-3} 断层, 下盘地层产状近水平, 靠近断层受牵引变陡, 上盘地层倾向北西, 靠近断层亦受牵引变陡, 地层下错, 断面特征清楚, 为倾向北西的正断层。上盘地层靠近断层连续性变差, 产状变化不协调说明断层带较宽。

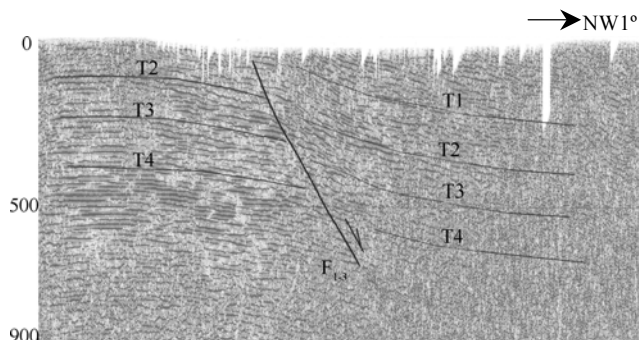


图 5 Se12 测线地震地质变密度剖面图

Fig. 5 Seismic geological profile of Se12 seismic line

该段 4 条测线均未控制 F_{1-2} 断层。但 Se12 测线紧邻 Se11 测线, 从 Se11 测线 F_{1-1} 断层上盘地层呈单斜构造及 Se12 测线 F_{1-3} 断层下盘地层产状水平, 结合临潼-长安断裂总体剖面构造特征, F_{1-1} 与 F_{1-2} 断层间地层倾向北西, F_{1-2} 与 F_{1-3} 断层间地层水平分析, F_{1-2} 断层无疑应从 Se11 测线北端点附近通过。

c. 东段

该段位于强烈隆起的横岭塬边缘, 地形坡面较陡, 区域构造为骊山凸起与泾河-临潼次级隆起(固市凹陷和周至-户县凹陷间)分界。该段有 2 条测线, 其中 J27 测线位于横岭塬与白鹿塬间的灞河河谷, 长度 4.89 km。地震地质剖面(图 6)解释存在两条断层, 其中南部断层下盘地层产状水平, 靠近断层向下牵引变陡, 上盘地层倾向北西, 呈单斜状, 地层明显向下错位, 应为 F_{1-1} 断层; 北部断层下盘即为 F_{1-1} 断层的上盘, 地层倾向北西, 视倾角约 14° , 上盘地层反射波组连续性相对较差, 反映地层产状总体较平缓, 靠近断层波组紊乱, 说明该断层断裂带较宽, 与 F_{1-1} 断层在测线上相距 1 950 m, 应为 F_{1-2} 断层。

F_{1-1} 断层以南在灞河河谷及两侧地表可见新近系出露, F_{1-1} 和 F_{1-2} 断层间浅部为全新统覆盖, 从剖面波组特征、第四系与新近系间呈角度不整合分析, 靠近 F_{1-2} 断层新近系埋深较大, F_{1-2} 断层上盘新近系埋深由 F_{1-1} 和 F_{1-2} 断层间单斜地层计算, 同层位地层的相对高差大于 500 m。波组对比认为 F_{1-1} 断层断距较小, F_{1-2} 断层断距较大。据庆华厂热水井资料, F_{1-2} 断层上盘新近系埋深近 1 000 m, 与地震剖面探测结

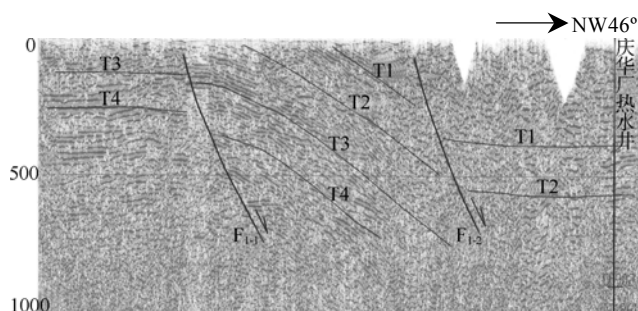


图 6 J27 测线地震地质变密度剖面图

Fig. 6 Seismic geological profile of J27 seismic line

果一致。

Se14 测线沿横岭塬边缘韩峪沟布设。地震地质剖面(图 7)解释有 F_{1-1} 、 F_{1-2} 和 F_{Se14-2} 3 个正断层, 其中 F_{1-1} 断层下盘地层产状水平, 靠近断层弯曲变陡, 上盘地层单斜状, 地层向下错位。 F_{1-2} 断层下盘地层呈单斜状, 上盘地层总体亦单斜状, 但浅部倾角较缓, 呈波状弯曲, 显示断层上盘地层曾受挤压应力作用。波组对比 F_{1-1} 和 F_{1-2} 断层的断距解释难度较大, 但从单斜地层倾角计算, F_{1-1} 和 F_{1-2} 断层两侧同层位地层的垂直高差约 300 m。该测线方向与临潼-长安断裂夹角较小, 韩峪水库大坝处地面出露新近系, 地层产状水平, 核工业研究所热水井中第四系底埋深 439 m, 再加上地形高差, 断层两侧同层位地层相对高差应更大。 F_{Se14-2} 断层为发育在浅部的 F_{1-1} 断层的低序次反向小断层, 断层下盘波组连续, 上盘不连续, 剖面特征非常清晰, 充分印证 F_{1-1} 断层的存在。

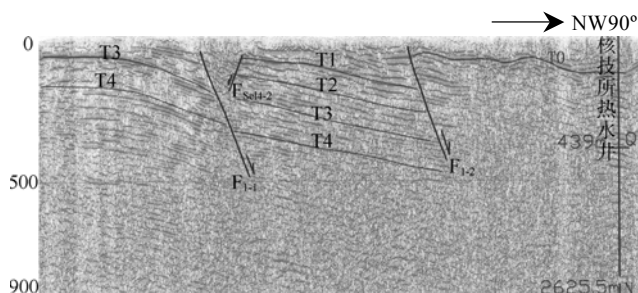


图 7 Se14 测线地震地质变密度剖面图

Fig. 7 Seismic geological profile of Se14 seismic line

对比 J27 和 Se14 测线探测结果, Se14 测线 F_{1-1} 和 F_{1-2} 断层间地层视倾角较缓, 这是 Se14 测线近东西向和临潼-长安断裂夹角小所致。需特别说明的是, J21 测线地层向北缓倾, 在斜口镇附近未发现断层, 但在测线南端洞北村附近翘起, 该测线距 Se14 测线不远, 所以, J21 测线以南有存在 F_{1-3} 断层的可能。在此位置临潼-长安断裂 F_{1-1} 与 F_{1-2} 断层间地层倾向北西, F_{1-2} 与 F_{1-3} 断层间地层水平的总体剖面构造特

表 1 临潼-长安断裂分段特征表
Table 1 Interval characters of Lintong-Changan fault

	地貌特征	构造位置	断裂带特征
西段	神禾塬以西的低平地带.	骊山凸起与周至-户县凹陷中部分界。	断带宽约 5 km, F_{1-1} 与 F_{1-2} 间地层倾向北西, 倾角缓约 3° , F_{1-2} 与 F_{1-3} 间地层水平, F_{1-1} 和 F_{1-3} 上盘地层浅部远离断层加厚, 均具生长断层性质, 其中 F_{1-3} 加厚剧烈, 说明该段断裂形成受周至-户县凹陷影响较大.
中段	神禾塬、少陵塬和白鹿塬边缘, 存在断层坎.	骊山凸起与周至-户县凹陷东部分界	断带宽约 3.5-4.5 km, F_{1-1} 与 F_{1-2} 间地层倾向北西, 倾角一般约 9° , 发育有大量低序次反向断层, F_{1-2} 与 F_{1-3} 间地层水平. F_{1-1} 上盘地层浅部远离断层剧烈加厚, 具生长断层性质, 说明该段断裂形成受骊山凸起影响较大.
东段	强烈隆起横岭塬边缘, 坡面陡.	骊山凸起与泾河-临潼次级隆起分界	断带宽约 3 km, F_{1-1} 与 F_{1-2} 间地层倾向北西, 倾角陡约 14° , F_{1-2} 与 F_{1-3} 断层间地层水平. 断带窄及 F_{1-1} 与 F_{1-2} 间地层倾角陡说明该段断裂形成以垂直扭动为主.

征似乎也是存在的。此外, 以往地质资料认为: 临潼-长安断裂的南界断层($F_{2(3)}$) 在 Se14 测线以南的韩峪水库附近^[5]。该断层上盘地层水平, 下盘地层微向南倾, 应是骊山凸起的特征, 故不是 F_{1-1} 断层。

综上所述, 临潼-长安断裂分段特征如表 1, 总体特征相似。

3 结 论

a. 临潼-长安断裂带宽 3~5 km, 东窄西宽, F_{1-1} 断层是断裂带与骊山凸起的分界断层, 区域构造上骊山凸起总体构造形态是北西侧翘起, 向东南倾伏掀斜。 F_{1-1} 断层下盘地层产状水平或向南微倾是骊山凸起的标志, 所以, 在临潼-长安断裂与骊山凸起交界处, 两盘地层平缓的断层应不是临潼-长安断裂的 F_{1-1} 断层。 F_{1-3} 断层是临潼-长安断裂带与周至-户县凹陷的分界断层, 上盘地层较大范围向 NW 倾斜是周至-户县凹陷向斜的构造特征, 所以, 在靠近临潼-长安断裂倾向北西的单斜构造中的断层也不是临潼-长安断裂的 F_{1-3} 断层。

b. 骊山凸起东强西弱, 临潼-长安断裂在神禾塬以东主要受骊山凸起影响, 表现为 F_{1-1} 断层上盘地层倾角东陡西缓, 浅部厚度远离断层加厚, 有生长断层性质。在神禾塬以西主要受周至-户县凹陷影响, 表现为 F_{1-3} 断层上盘地层倾角较陡, 浅部地层厚度远离断层加厚, 有生长断层特征。

c. 从地貌上看, 在白鹿塬、少陵塬和神禾塬北

西缘有 3 条高差约 30~50 m 的断层坎和宽 1~2 km 的阶面, 断层坎与地震探测的临潼-长安断裂 3 条(F_{1-1} 、 F_{1-2} 和 F_{1-3}) 断层位置吻合, 台面位于断层间。从地震地质剖面构造特征分析, F_{1-3} 与 F_{1-2} 断层间台面与二断层间地层产状水平有关, F_{1-2} 与 F_{1-1} 断层间的台面地层虽倾斜, 但存在反向断层, 其间的台面应与 F_{1-1} 断层上盘的反向断层有关。

d. Se11 和 Se10 测线地震剖面所揭示的 F_{1-1} 断层剖面构造特征表现为, 主断层、次级断层及低序次断层的配套模式是非常标准的, 是单一张性或张扭性构造应力持续作用的结果, 实践中较难见到。该构造特征对西安地裂缝的形成, 分布规律研究应有指导作用。

e. 西安地裂缝在临潼-长安断裂带中段的 F_{1-1} 与 F_{1-2} 断层间也有分布。

参考文献

- [1] 雷祥义, 屈红军. 西安白鹿塬边黄土滑坡的稳定性与人类活动[J]. 地质评论, 1991(3): 258-264.
- [2] 朱立峰. 西安地裂缝活动特征及勘查思路探讨[J]. 西北地质, 2005(4): 102-107.
- [3] 冯西杰. 临潼-长安断裂错距及其分布特征[J]. 地震地质, 2006(4): 579-588.
- [4] 韩恒悦. 渭河断陷盆地带的形成演化及断块运动[J]. 地震研究, 2002(4): 362-368.
- [5] 李永善. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992.