

文章编号: 0253-3782(2004)02-0174-09

渭河盆地断层活动的横向迁移^{*}

冯希杰 戴王强

(中国西安 710068 陕西省地震局)

摘要 断裂活动的横向迁移是断裂发展演化过程中的一种普遍现象, 在渭河盆地这种现象也较为常见, 特征比较典型. 本文以蓝田南侧王顺山山前断裂活动向其北侧的骊山山前断裂和渭南塬前断裂的迁移, 骊山凸起西北侧临潼—长安断裂带内大鲍陂—牛角尖次级断层的强烈活动向神峪寺—肖家寨次级断层的迁移, 以及渭河盆地中西部宝鸡与泾阳间一系列北西向断裂活动的横向迁移为例, 分析和讨论了它们各自的迁移时段及迁移过程, 为充分认识这些地区的构造发展和地貌演化历史, 深刻把握渭河盆地内最新的控制性活动断裂, 更加切近实际地估计每一条断裂的地震危险性提供了帮助.

关键词 横向迁移 断裂活动 渭河盆地

中图分类号: P315.2 **文献标识码**: A

引言

断裂活动的横向迁移与纵向迁移(丁国瑜等, 1993)一样, 是断裂发展演化的一种普遍现象, 特别是在山前地带和湖盆边缘, 这类现象就更为多见. 渭河盆地作为青藏块体东北缘外侧的一个大型内陆盆地(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; 陕西省地质矿产局, 1989; 彭建兵, 张骏, 1992), 断裂活动横向迁移现象也较为常见和典型. 自渐新世渭河盆地开始下沉接受沉积时起, 盆地边缘一些断裂的活动性就一直很强烈(徐煜坚等, 1988; 韩恒悦等, 1987; 李祥根, 冉永康, 1986; 候建军等, 1993; Chinese Working Group of the Project 206, 1989; 孙建中等, 1998), 在较长的地质时期中始终充当着盆地边界的控制性断裂, 但到晚第三纪末和第四纪初, 原来一些断裂的边界控制作用开始减弱, 盆地内部的一些断裂的活动性开始增强, 逐渐取代了一些先前断裂的控制性地位. 在个别地区, 这种断裂活动的横向迁移还发生多次, 形成了多层地形面这一独特的地貌景观. 开展某一地区断裂活动横向迁移的研究, 可使人们充分认识该地区的构造发展过程和地貌演化历史, 深刻把握区内最新的控制性活动断裂, 更加切近实际地估计每一条断裂可能潜在的地震危险性, 为该地区国土规划与开发利用提供科学和合理的依据.

1 王顺山山前断裂强烈活动向渭南塬前断裂迁移

1.1 王顺山山前断裂(F_1)活动

王顺山山前断裂是太华山脉北侧正断层的一部分, 位于蓝田县以南, 呈近北东-南西向

^{*} 国家重点基础研究项目(G199804070102)和地震科学联合基金(100120)共同资助.
2002-11-26 收到初稿, 2003-05-19 收到修改稿, 2003-09-23 决定采用.

沿王顺山山前展布(图 1). 该断裂形成于前震旦纪, 在第三纪和第四纪时期又复活. 断层面倾向于北-北西, 倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$. 断层南侧的王顺山为一中山, 山顶海拔 2 239 m, 由海西期一晚加里东期二长花岗岩(η_{3-4})组成. 断裂北侧为第四纪黄土覆盖, 以及下伏晚第三纪和早第三纪河湖相地层的骊山凸起(贾兰坡等, 1966; 谢又予等, 1966), 最高处海拔 1 302.2 m. 王顺山山前断裂是第三纪时期渭河盆地南缘的边界控制断裂, 把第三纪的沉积限制在断裂以北地区, 断裂南侧未发现第三纪地层. 第三纪末该断裂活动强度开始减弱, 到第四纪初其先前的边界控制作用已横向迁移到骊山山前断裂之上(图 2). 由于王顺山山前断裂活动减弱, 第四纪以来其北侧的下降盘没有形成巨厚的堆积, 如蓝田玉山镇至蓝田县城间的钻探结果所示, 灞河现代河谷的全新统仅 20 余米厚, 其下为晚第三纪紫红色泥岩基底(图 3). 另外, 在灞河左岸支流清水河下游, 野外可以看到晚第三纪紫红色泥岩直接裸露在河床上和一级阶地基座上. 从公王岭蓝田猿人遗址处灞河左岸五级阶地之上的水成堆积物的顶面(标高 700 m, 年代 1.3 Ma)(孙建中, 赵景波, 1991; 雷祥义, 张猛刚, 2001)仅高出灞河现代河床(标高 650 m)50 m 来分析(图 4), 第四纪以来该区抬升作用并不特别强烈. 这种断陷不深和抬升不高的原因可能与王顺山山前断裂的断陷和骊山凸起的抬升两种反方向运动相互抵消有关.

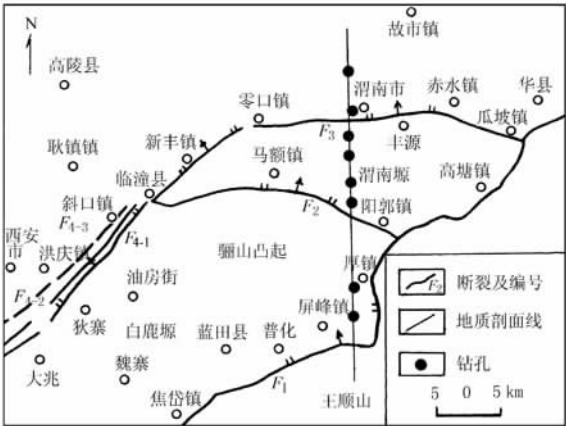


图 1 骊山凸起及其周围地形和断裂分布
 F_1 : 王顺山山前断裂, F_2 : 骊山山前断裂,
 F_3 : 渭南塬前断裂, F_4 : 临潼—长安断裂

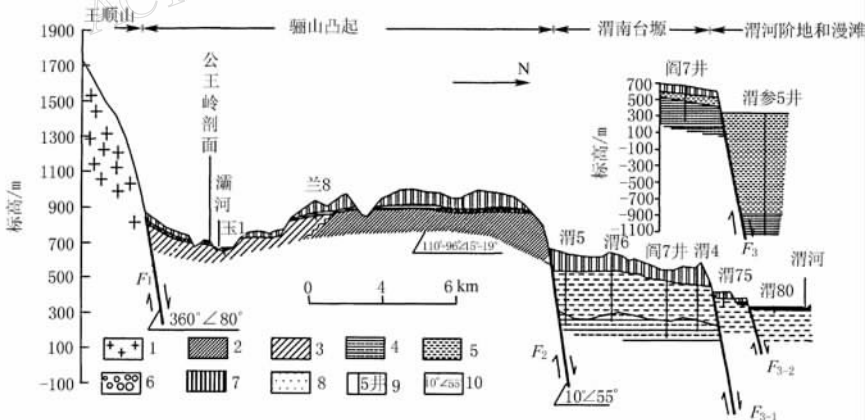


图 2 王顺山—渭南间地质剖面

- 1. 海西期一晚加里东期二长花岗岩; 2. 老第三系; 3. 中新统; 4. 上新统; 5. 三门组; 6. 早更新世砾石层;
- 7. 第四纪黄土; 8. 晚第四纪砂层; 9. 钻孔及编号; 10. 地层和断裂倾向及倾角

1.2 骊山山前断裂(F_2)第四纪早期活动

该断裂是所在地区第四纪早期三门湖南缘的一段边界性控制断裂. 如上所述, 断裂南侧的骊山凸起由第三系组成, 并被第四纪风成黄土披盖, 未见有第四纪湖相堆积(曹伯勋

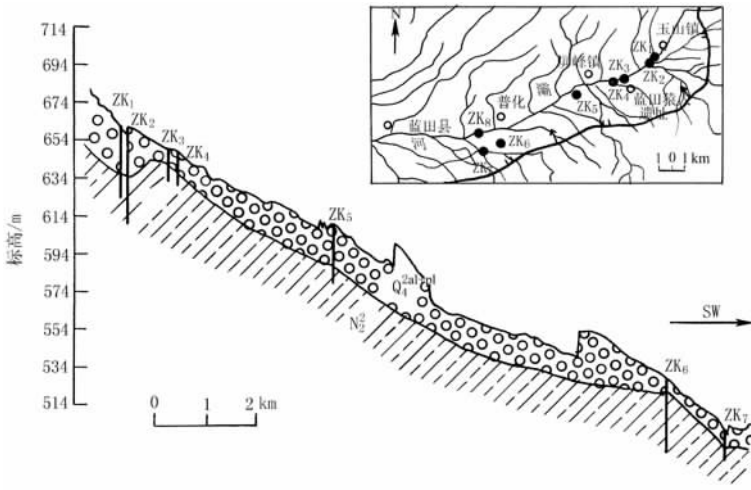


图 3 玉山镇至蓝田县城间钻探剖面 and 钻孔位置

等, 1966); 断裂北侧为渭南黄土台塬, 上覆厚 110 余米的风成黄土, 下伏基座为早更新世湖相堆积(图 2), 说明第四纪早期骊山山前断裂将古三门湖限制在断裂以北地区. 据渭南黄土台塬内阎 7 井和武家堡天然黄土剖面古地磁资料, 黄土台塬基座的三门湖堆积结束于早更新世距今 1.2~1.8 Ma(图 4)(孙建中, 赵景波, 1991; 聂高众等, 1996; 岳乐平, 薛祥煦, 1996; 王书兵等, 1999), 说明自第四纪初期到 1.2 Ma 前, 骊山山前断裂的活动很强烈. 当时断裂以北为浩繁广阔的古三门湖泊, 断裂以南为黄土台塬. 1.2 Ma 以后断裂活动开始减弱, 其北侧的渭南塬前断裂活动开始增强, 盆地边界开始向北边的渭南塬前断裂迁移, 夹在骊山山前断裂和渭南塬前断裂之间的湖底开始露出水面, 接受风成黄土堆积($S_0 \sim L_{18}$ 或 S_{22}), 经历了 1.2~1.8 Ma 时间, 形成了今日的渭南黄土台塬. 需要指出的是第四纪中晚期以来, 骊山山前断裂的活动变弱, 但仍未停止, 野外仍可看到该断裂错断晚更新世黄土(图 5).

1.3 渭南塬前断裂(F_3)第四纪中晚期活动

渭南塬前断裂是所在地区第四纪中晚期渭河盆地南部的边界性主要控制断裂. 其南侧为前述的渭南黄土台塬, 北侧为渭河河谷和阶地. 据渭参 5 井和渭 6 井等深孔钻探揭露, 渭南塬前断裂北侧下降盘的第四纪堆积连续完整, 厚 1 205~1 240 余米^①, 断裂南北两侧上第三系顶面高差达 900~1 000 m 左右(图 2). 另据渭南市张逸夫小学一带渭河右岸二级阶地钻探资料^②, 渭南塬前断裂将晚更新世黄土底部的古土壤层错断 5.02m.

2 临潼—长安断裂带(F_4)内次级断层间活动性横向迁移

临潼—长安断裂带作为骊山凸起的西北部边界(图 1), 由彼此相距一定距离的多条断层组成(李永善, 1992; 陕西省地震局, 1996). 从东南往西北, 依次为大鲍陂—牛角尖断层(F_{4-1})、神峪寺—肖家寨断层(F_{4-2})和斜口—东大断层(F_{4-3}). 野外调查发现, 断层活动的横

① 国家地质总局第三普查勘探大队. 1977. 汾渭盆地石油普查阶段地质成果报告, 6~139.
② 陕西省工程地震勘察研究院. 2001. 渭南市光明电力集团公司综合办公楼工程场地地震安全性评价工作报告, 8~35.

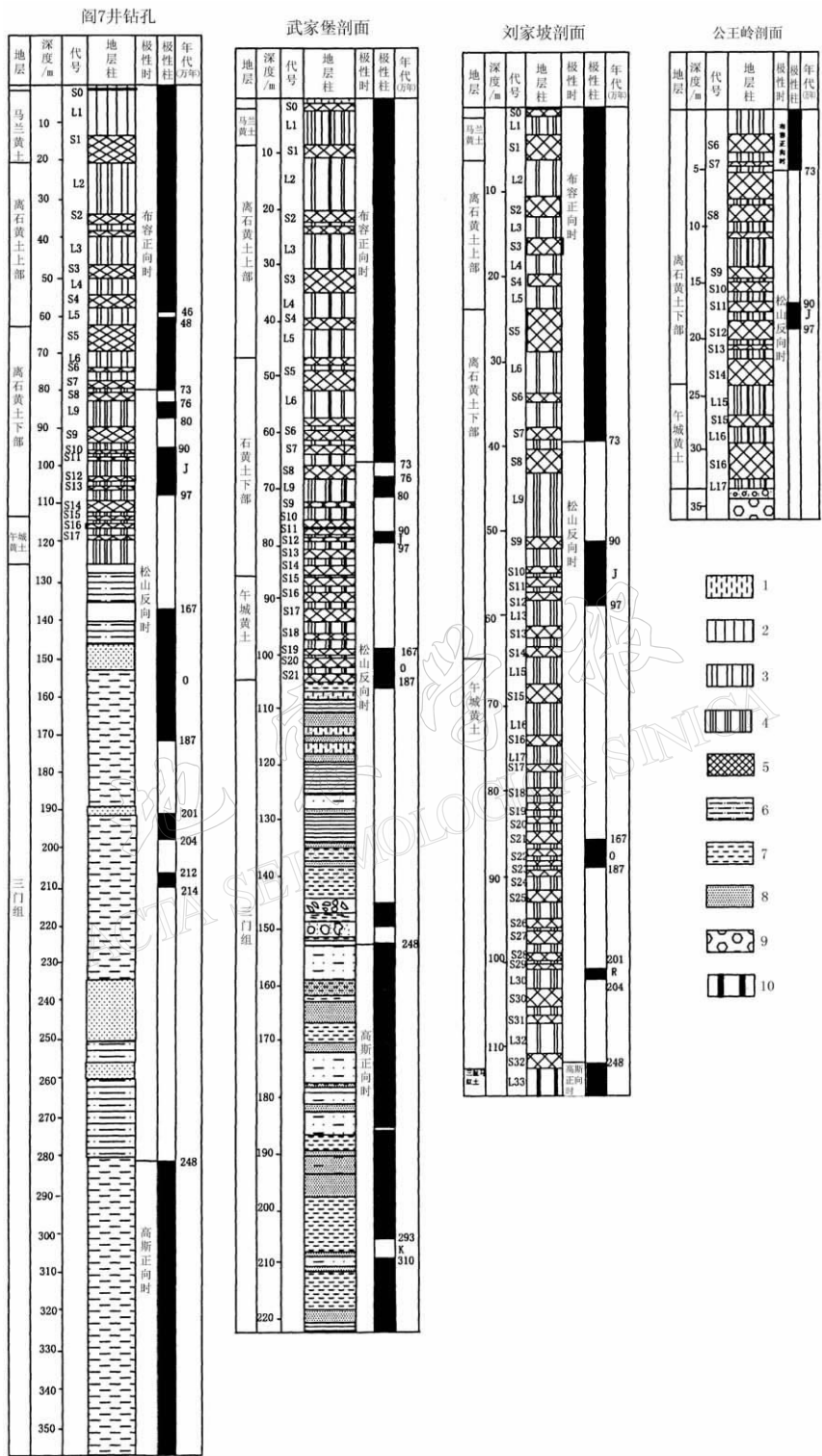


图 4 研究区内几个典型的第四纪剖面(据孙建中, 赵景波, 1991)

1. 全新世黄土; 2. 晚更新世黄土; 3. 中更新世黄土; 4. 早更新世黄土; 5. 古土壤; 6. 亚粘土; 7. 亚砂土; 8. 砂层; 9. 卵石、漂石; 10. 三趾马红土



图 5 阳郭镇庙沟骊山山前断裂(镜头向西)

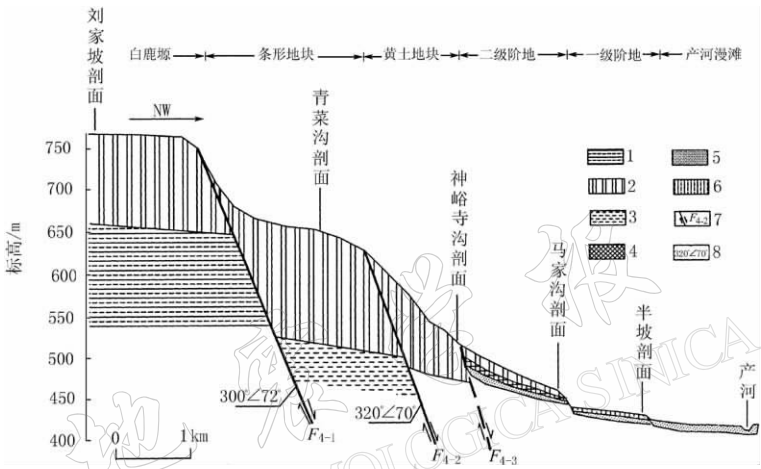


图 6 刘家坡至纺织城第四纪地质剖面

1. 上新统; 2. 第四纪黄土; 3. 三门组; 4. 古土壤; 5. 砂层; 6. 粉质粘土;
7. 断裂及编号; 8. 断裂倾向和倾角

向迁移现象在临潼—长安断裂带内的次级断层上也非常明显, 呈东南往西北迁移(图 6).

2.1 大鲍陂—牛角尖断层(F_{4-1})第四纪早期活动

大鲍陂—牛角尖断层为临潼—长安断裂带内最南的一条次级断层, 也是沿走向各分段中形成最早的一条带内次级断层, 走向北东-北北东, 倾向北西-北西西, 倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$. 在灞河—产河间, 受其活动影响断层东南为开阔、平坦的白鹿塬, 塬面标高 $740\sim 766\text{ m}$. 以北则为比南侧低 $80\sim 100$ 余米的潘村—江村北东向条形平台, 地面标高 $621\sim 629\text{ m}$. 据灞河左岸白鹿塬塬边刘家坡、段家坡等天然黄土剖面测量结果, 上覆风成黄土厚 110 余米, 台塬基座为紫红色泥岩, 两者之间未发现有第四纪河湖相堆积(图 4)(孙建中, 赵景波, 1991; 岳乐平, 1989; 岳乐平, 薛祥煦, 1996); 而断层北侧的潘村—江村条形地块, 青菜沟野外天然剖面显示该条块上覆黄土厚 78 m , 内夹 9 层古土壤层($S_0\sim S_9$), 底部基座为灰绿色三门湖相细砂层(有泉水出露). 根据渭河盆地黄土—古土壤的时代标尺(韩宇平, 赵景波, 2000; 童国榜等, 2000), 此段的大鲍陂—牛角尖断层活动强烈的时期为第四纪初到 0.9 Ma , 是当时该处三门湖南部的控制边界. 尽管 0.9 Ma 以来, 该断层活动变弱, 失去了边界控制作用, 但它至今仍在活动, 在牛角尖和大鲍陂等地仍可见到该断层将晚更新世黄土底部的古土壤层错断 $1\sim 4\text{ m}$.

2.2 神峪寺—肖家寨断层(F_{4-2})第四纪中期活动

神峪寺—肖家寨断层是临潼—长安断裂带内的第二条次级断层。在灞河—产河之间的白鹿塬塬前,该断层东南是前述的潘村—江村之间的条形平台,而该断层以北的块状黄土平台中仅夹有 5 层古土壤层($S_0 \sim S_5$),说明神峪寺—肖家寨断层在距今 0.9 Ma 时活动开始增强,南侧的潘村—江村之间的条形地域快速抬升,湖水退却消失,湖底露出水面,接受风成黄土堆积,形成次级黄土台地。但到距今 0.45 Ma 左右,该断层的活动开始减弱,强烈活动开始迁移到北侧的斜口—东大断层之上,北侧的下降盘也结束了水成环境,开始了风成黄土堆积。同大鲍陂—牛角尖断层相似,晚第四纪以来,该断裂仍在活动,在神峪寺沟可见到该断层将晚更新世黄土底部的古土壤层错断 7~8 m(图 7)。



图 7 神峪寺—肖家寨断层(镜头向东)

3 宝鸡—泾阳北西向断裂活动的横向迁移

与骊山凸起周围断裂活动横向迁移类似,在渭河盆地西部,断裂活动横向迁移的现象也很多。例如第四纪以来宝鸡—泾阳多条北西向断裂的活动迁移就非常典型(图 8)。第三纪末到第四纪初,以千河断裂为界,千河以西地区开始抬升,脱离第三纪水成环境,接受第四纪风成黄土堆积,形成区内的第三级黄土台塬(岳乐平,薛祥煦,1996;陈云等,2000)。根据渭河盆地黄土—古土壤的时代标尺推断,到早更新世中期(距今 1.3~1.5 Ma),断裂强烈活动开始横向迁移至中间的岐山—马召断裂之上。该断裂以西地区也开始抬升,脱离了水成环境,接受到第四纪中晚期风成黄土堆积,形成第二级黄土台塬。到早更新世晚期(距今 0.9 Ma),盆地边界控制性断裂开始横向迁移到东边的泾河断裂之上,受

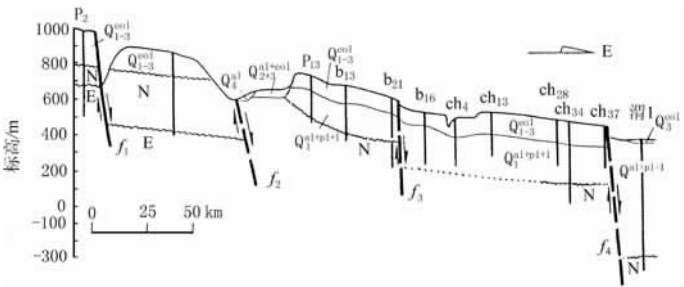


图 8 宝鸡峡口—泾河东地质断面

f_1 : 金陵河断裂; f_2 : 千河断裂; f_3 : 岐山—马召断裂; f_4 : 泾河断裂

其影响泾河以西渭河断裂以北地区也开始脱离水成环境，接受第四纪中晚期风成黄土堆积，形成第一级黄土台塬(图 8，9；表 1). 而泾河断裂以东地区仍继续下陷，接受水成堆积.

表 1 宝鸡—泾阳黄土台塬分级及各级特征

台塬 分级	塬面标高 /m	盖层		基座		
		厚度/m	古土壤层数	时代	岩性	顶面标高/m
第三级	920~820	110~150	34($S_0 \sim S_{34}$)	新第三纪	河湖相粘土岩和 粉细砂岩	790~665
第二级	888~632	105~123	16($S_0 \sim S_{16}$)	早更新世早中期	河湖相粘性土、中细砂	690~507
第一级	642~418	80~100	9($S_0 \sim S_9$)	早更新世晚期	河湖相粘性土和 粉细砂砾	530~370

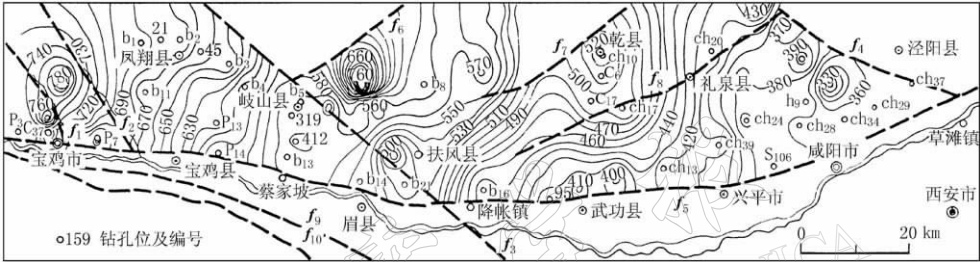


图 9 宝鸡峡口—泾河东黄土台塬基座顶面标高(单位: m)

4 渭河盆地断层活动横向迁移模式

若将渭河盆地断层活动横向迁移的时间段分为地质时期 a(相当于第三纪时期)、地质时期 b(相当于第三纪末至第四纪早期)、地质时期 c(相当于第四纪早、中期)、地质时期 d(相当于第四纪中、晚期), 那么渭河盆地断层活动横向迁移的模式可用图 10 来表示. 即在地质时期 a, 断裂 F_a (如文中的 F_1 断裂)为所在地区的主要活动断裂, 也是所在地区的控制边界. 该阶段断裂上盘遭受剥蚀, 下盘接受堆积, 形成水成堆积系列 1; 到地质时期 b, 断裂 F_a 的边界控制作用被断裂 F_b (如文中的 F_2 、 F_{4-1} 、 f_2 断裂)所替代, 主要断裂活动迁移至断裂 F_b 上, 它的上盘被风成堆积系列 1 所披盖, 下盘接受了水成堆积系列 2; 到地质时期 c, 断裂 F_b 的边界控制作用又被断裂 F_c (如文中的 F_3 、 F_{4-2} 、 f_3 断裂)所替代, 主要活动迁移至断裂 F_c 上, 其上盘大面积披盖风成堆积系列 2, 下盘接受水成堆积系列 3; 到地质时期 d, 边界控制作用迁移到断裂 F_d (如文中的 F_{4-3} 、 f_4 断裂)上, 它的上盘接受了风成堆积系列 3, 下盘接受了水成堆积系列 4. 伴随断层活动的横向迁移, 渭河盆地周边地区不断抬起, 脱离水成堆积环境.

5 结语

与其它自然现象的生息消亡一样, 断裂的活动性也有盛衰之变故, 它不仅表现在沿断裂走向活动有强弱交替, 而且在横向上断裂也有活动强弱的迁移和更替. 从第三纪末期开始, 在渭河盆地边缘地带, 许多断裂的活动强度都发生了改变, 伴随着断裂活动向盆地中

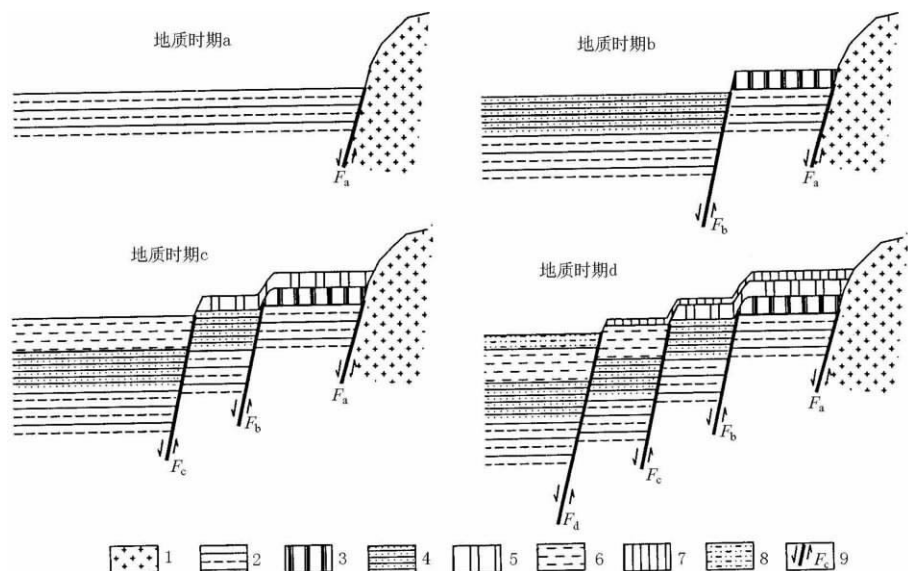


图 10 渭河盆地断层活动横向迁移模式示意图

1. 前第三系; 2. 水成堆积系列 1; 3. 风成堆积系列 1; 4. 水成堆积系列 2; 5. 风成堆积系列 2;
6. 水成堆积系列 3; 7. 风成堆积系列 3; 8. 水成堆积系列 4; 9. 断裂

间的逐步迁移, 古湖盆的范围开始大幅度缩小, 许多原先接受水成堆积的地区, 陆续脱离水成环境, 接受风成黄土堆积, 形成了黄土台塬或黄土覆盖的河流阶地。断裂活动横向迁移的结果, 除在渭河盆地内形成逐级下降的多层地形面外, 这些最新的边界控制断裂还控制着渭河盆地内历史和现今的中强地震, 以及滑坡、崩塌等内外动力地质作用, 使它们沿其展布密集呈带状分布。当然, 尽管那些早期强烈活动的断裂在后期失去了边界控制作用, 但它们后来并未停止过活动, 在野外许多地方仍能够看到它们的晚第四纪活动露头和剖面, 只是活动性相对变弱而已。

参 考 文 献

- 陈云, 童国榜, 曹家栋, 等. 2000. 渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应[J]. 地质力学学报, 6(2): 30~37
曹伯勋, 刘士容, 赵不亿, 等. 1966. 陕西渭南尤河地区新生界初步研究[A]. 见: 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会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 32~47
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[A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 现代地壳运动研究(1)[C]. 北京: 地震出版社, 58~78
丁国瑜, 田勤俭, 孔凡臣, 等. 1993. 活断层分段——原则、方法及应用[M]. 北京: 地震出版社, 1~135
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, 77~161
韩恒悦, 贺明静, 李永善. 1987. 渭河盆地东部地区的活断层[J]. 地震地质, 19(2): 85~90
韩宇平, 赵景波. 2000. 西安地区第三层古土壤研究[J]. 中国沙漠, 20(1): 9~13
侯建军, 白太绪, 梁海华, 等. 1993. 渭河盆地东南缘铲形正断层上盘活动特征[J]. 中国地震, 9(4): 351~355
贾兰坡, 张玉萍, 黄万波, 等. 1966. 陕西蓝田新生界[A]. 见: 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会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1~31
雷祥义, 张猛刚. 2001. 渭河中游水系的阶地形成年代[A]. 见: 卢演传, 高维明, 陈国星, 等编. 新构造与环境[C]. 北京: 地震出版社, 149~157
李祥根, 冉勇康. 1986. 渭河盆地新构造运动表现及其特征[A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 现代地壳运动研究(2)

- [C]. 北京:地震出版社, 35~43
- 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, 96~207
- 聂高众, 刘嘉麒, 郭正堂. 1996. 渭南黄土剖面十五万年以来的主要地层界线和气候事件—年代学方面的证据[J]. 第四纪研究, (3): 221~231
- 彭建兵, 张骏. 1992. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[M]. 西安:西北大学出版社, 1~76
- 陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1~398
- 陕西省地震局. 1996. 秦岭北缘活动断裂带[M]. 北京:地震出版社, 1~201
- 孙建中, 张景昭, 彭建兵, 等. 1998. 关中活断层和地裂缝的年代学研究[J]. 地质力学学报, 4(4): 88~97
- 孙建中, 赵景波. 1991. 黄土高原第四纪[M]. 北京:科学出版社, 1~184
- 童国榜, 吴锡浩, 陈云, 等. 2000. 渭河谷地晚新生代地表环境巨变的孢粉记录[J]. 地质力学学报, 6(4): 11~18
- 王书兵, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 1999. 三门峡地区三门群地层时代研究[J]. 地质力学学报, 5(4): 57~65
- 徐煜坚, 申屠炳明, 汪一鹏. 1988. 渭河盆地北缘断裂带活动特征的初步研究[J]. 地震地质, 10(4): 77~87
- 谢又予, 丁怀元, 李长甫, 等. 1966. 陕西蓝田地区新生界沉积环境[A]. 见: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会议论文集[C]. 北京:科学出版社, 89~123
- 岳乐平. 1989. 兰田段家坡黄土剖面磁性地层学研究[J]. 地质论评, 35(5): 479~488
- 岳乐平, 薛祥熙. 1996. 中国黄土古地磁学[M]. 北京:地质出版社, 27~127
- Chinese Working Group of the Project 206. 1989. *Atlas of Active Faults in China*[M]. Beijing and Xi'an: Seismological Press and Xi'an Cartographic Publishing House, 34~46

LATERAL MIGRATION OF FAULT ACTIVITY IN WEIHE BASIN

Feng Xijie Dai Wangqiang

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

Abstract: Lateral migration of fault activity in Weihe basin is a popular phenomenon and its characteristics are also typical. Taking the activity migrations of Wangshun Mountain piedmont fault toward Lishan piedmont fault and Weinan platform front fault, Dabaopi-Niujiaojian fault toward Shenyusi-Xiaojiazhai fault, among a serial of NE-trending faults from Baoji city to Jingyang County as examples, their migration time and process are analyzed and discussed in the present paper. It is useful for further understanding the structure development and physiognomy evolution history of Weihe basin.

Key words: lateral migration; fault activity; Weihe basin