

文章编号: 1006-6616(1998) 04-88-97

关中活断层和地裂缝的年代学研究

孙建中¹, 张景昭², 鼓建兵¹, 张 骏¹, 李秉成¹

1 西安工程学院, 西安 710054;

2 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710054

摘 要: 取该区活动断裂中的断层泥, 并首次在几个断层面附近的劈理化黄土中取样测出热释光年龄。12 个断层热释光年龄数据在 20—240 ka BP 之间变化, 证实中更新世晚期和晚更新世期间断层曾有一次活动, 为本区断层的活动性提供了证据。本研究成果也为西安地裂缝的活断层与人工抽水双重成因提供了证据。

关键词: 关中; 活断层; 地裂缝; 热释光测年

分类号: P533, P553 **文献标识码:** A

0 概述

研究活动断裂不仅要研究那些不久以前活动过而目前不活动的断裂, 而且要研究那些现在虽不活动而将来有可能活动的断裂(能动断裂)。这就提出了一个活断裂的时限问题。不同学者为了不同的研究目的提出了不同的时限, 如老第三纪早期、新第三纪以来以至几万年、一万年等等^[1,2]。

新构造运动应包括活动断裂和活动褶皱等构造变形, 一般认为, 新构造运动是指新第三纪以来发生的构造运动, 它在现代地形上有明显的表现^[3], 也就是说, 新构造运动是主要的“造貌运动”。这里我们姑且将二者统一起来, 即活动断裂与新构造运动的时间下限都采用新第三纪之初, 这样, 就可把活动断裂定义为: 那些新第三纪以来曾经活动过的断裂。现在正在活动着的断裂, 以及不久将来可能活动的断裂。它们在造貌过程中起着重要的作用。在分析活动断裂的活动历史时, 有时还可能追溯到老第三纪。

关中盆地是一个断陷盆地, 地堑盆地或裂谷盆地, 从第三纪初期以来一直在活动着。它的地质结构, 地貌演化, 水系变迁等都受断裂的控制。

由于印度板块对欧亚板块的碰撞, 青藏高原对华北地台施压, 在渭河盆地产生了 NEE—

收稿日期: 1998-02-13

基金项目: 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室资助的课题

作者简介: 孙建中(1931), 男, 教授, 主要从事第四纪地质及环境地质研究。

SWW向的压应力和 NNW—SSE向的张应力。因此,渭河地堑自喜马拉雅运动以来一直受近SN向张应力的作用,产生了许多不同序次的铲式伸展正断层。它们往往组成“Y”型对偶系列,形成一系列多米诺骨牌式(书斜式)的半地堑,造成许多掀斜式活动的地块系列,大的如渭河以北到北山之间,一系列正断层就是渭河以南的秦岭山前断裂、骊山山前断裂和渭河大断裂的次级断层;小的如西安地裂缝就是长安—临潼断层的次级正断层。

渭河盆地的活动断裂按方向可分为近EW向,NE向和NW向3组(图1)。它们活动的方式多以断块旋转滑落为主,大多兼有少许左旋扭动走滑。

渭河盆地在老第三纪时规模较小,中新世以后不断扩大,第四纪早期面积达到最大,沉积厚度最大可达7000 m,其中第四系最厚可达1300 m以上。如果太白山顶3600 m标高上的跑马梁夷平面属第三纪早期的地面,那么秦岭与渭河地堑的断距便可达10000 m。目前盆地中所见的活断裂,大多数是新第三纪以来活动的,属于新构造运动的范畴。地质观察表明,这些断裂自新第三纪以来,特别是第四纪以来,曾有过多次活动,但最近一次比较强烈的活动究在何时,尚无资料可查,这便是我们要测定其活动年龄的目的。

为此,我们选择几条活动断层采集以下4种热释光测年样品:(1)原生黄土;(2)断层附近受力作用形成的劈理化黄土;(3)断层面上片理化黄土;(4)基岩中的断层泥。

1 热释光测定的条件与结果

热释光年龄测定是在波长600 nm以上的红光下进行的,在红光下石英、长石等矿物中的热释光信号不会晒退,同时需假定:(1)所测样品都经过某种热事件的作用,以前积累的能量都已全部释放;(2)所测样品在被测年龄范围内的环境辐射是恒定的。

样品测定采用细粒技术。样品测试前经过处理去掉其中的有机质和硫酸盐,取其中4—10 μm粒径的细粒制成测片。等效计量测定是用残余热释光法求得,所用仪器为TL-9800型测量系统,U、Th含量用中子活化法测定,⁴⁰K用原子吸收光谱法测得。按Aitken关系求得年剂量率,对宇宙射线的贡献也给予考虑;对含水量的影响按Fleming法对年剂量率作了修正,测试结果见表1。所有样品均有良好的等效剂量“坪”区间,即在“坪”区间范围内,各发光温度上所测得的等效剂量值一致。这表明此等效剂量值是可靠的,可以说,该批样品的热释光年龄基本上也是可靠的。

2 地质地貌解释

2.1 西安地裂缝

西安地裂缝自1959年发现以来不断活动,表现在裂缝带的数目不断增加,裂缝带不断伸长,两盘垂直断距不断加大。到1988年初已发展成11个带(图2),总长达55 km以上,其中最长的为小寨地裂缝带(DS),长约13 km。地裂缝带总体为N70E向,大体呈平行等间距分布;地裂缝水平张量累计最大约50—80 mm,年最大张开速率可达10 mm/a;左旋扭动累计达60—70 mm,年最大扭动率可达8.6 mm/a。裂缝两盘垂直落差累计最大可达50 cm以上,裂面一律向南倾。这些地裂缝把西安市地面切割得支离破碎,地面上的房屋、道路等建筑物,地下的洞室、隧道、水及煤气管道、电缆等设施都受到了程度不等的破坏,每年造成数以百万元的经济损失,成为一种严重的地质灾害,引起地质学家广泛的关注^[4—10]。

西安地裂缝的成因曾经有过构造成因与人工抽取地下水成因的争论。构造成因论的证据有: 地裂缝明显呈线性,具定向性,等距性,单倾向性(全部向南倾,近年产生的一些次级断裂有向北倾斜者),单向滑落性(全部为北盘上升、南盘下降)以及与地貌的关连性(地裂缝带常位于梁地南坡与洼地北坡的过渡带)。他们认为西安地裂缝符合多米诺骨牌型和Y型伸展断裂系统(图 3)^[10]。长安—临潼断裂呈铲状向北倾斜,而上盘的一系列正断层一致向南陡倾,特别是现已证实没有大规模抽取地下水之前,已经发现有地裂缝的活动^[5-9]。因此,西安地裂缝实际上是一种活断裂。

抽水说的证据是,在 70 年代以后,由于工业的发展随着抽水量的日益增加,地裂缝活动增强,表现在地面沉降量日益加大,地面沉降量、承压水位下降量、地裂缝垂直位错量与抽水量之间存在正相关关系以及地裂缝主要分布在地面沉降强烈区,且随着地面沉降漏斗的扩大而扩大。例如,抽水与沉降区主要位于南郊、东郊和东北郊,这些地区地裂缝活动也最强裂,而古城(明朝城墙)内地裂缝活动则较弱。据现有资料,西安市区最深的地面沉降漏斗在小寨东路—西影路一带。1960 年—1991 年间,大雁塔十字处累计沉降量为 1778 mm;西影路与三兆路交叉处为 1827 mm,截止 1998 年初该处沉降量已达 2300 mm(据李新生博士资料),小寨—铁炉庙地裂缝带正位于此沉降漏斗之北侧,成为西安市最长及活动最强烈的一条地裂缝带,而大雁塔向西北歪斜显然也与此沉降漏斗有关。西安地裂缝目前仍在强烈活动着,例如 1994 年 11 月落成的草场坡立交桥的桥基横跨在地裂缝上,三年半的时间桥基两部分的垂直错距已达 10cm。

为了有助于这一问题的解决,我们在草场坡—秦川厂地裂缝带(D_7)东端的高娄村剖面采样,热释光年龄数据示于图 4。

我们在高娄村剖面第一层古土壤(S_1)的上、下界面附近采样。 S_1 上界面之上黄土的年龄

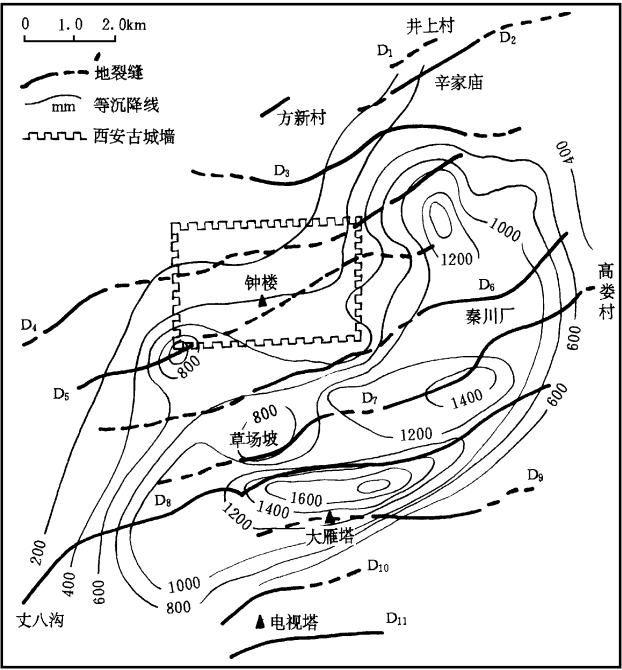


图 2 西安地裂缝 (1994) 和等沉降线 (1991) 图
Fig. 2 The zones of ground fissures (1994) and isolines of lands subsidence (1991) in Xi'an

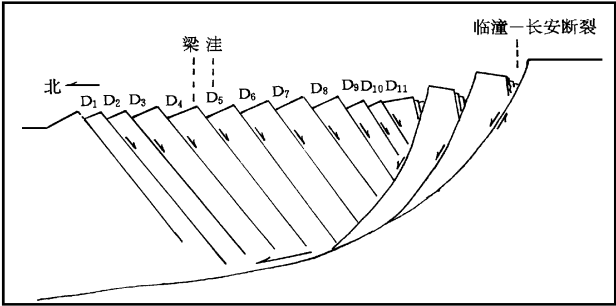


图 3 西安地裂缝的多米诺骨牌式与“Y”式模型
(据张家明, 1990)

Fig. 3 The Dominoes and “Y” shape model of ground fissures in Xi'an

西安地裂缝目前仍在强烈活动着,例如 1994 年 11 月落成的草场坡立交桥的桥基横跨在地裂缝上,三年半的时间桥基两部分的垂直错距已达 10cm。

为了有助于这一问题的解决,我们在草场坡—秦川厂地裂缝带(D_7)东端的高娄村剖面采样,热释光年龄数据示于图 4。

我们在高娄村剖面第一层古土壤(S_1)的上、下界面附近采样。 S_1 上界面之上黄土的年龄

为 $93.3 \pm 9 \text{ ka BP}$; 下界面下黄土的年龄为 $142 \pm 13 \text{ ka BP}$ 如果认为 S_1 可与深海氧同位素第 5 阶段对比是末次间冰期形成的, 则其上、下界线年龄应为 75 与 128 ka BP 与之相比, 我们所测上、下界面年龄都偏大前者大 18.3 ka , 后者大 16 ka , 误差分别为 19.6% 和 1% , 可见下界年龄误差较小。由于下界的样品是采自古土壤下界之下的黄土, 它的年龄本应比古土壤下界偏大。此外, 由于古土壤形成时黄土风尘堆积速度较慢, 成壤作用必然要进入到早期沉积的黄土内部一定深度, 也会使采自古土壤下界的样品测得的年龄偏老。由此看来, 我们测得的下界年龄数据是比较可靠的, 但上界的年龄看来是偏大了些。我们认为, 热释光年龄测试数据与实际年龄之间大约有 10% 的误差。从国内众多测试结果和热释光方法发展的水平看, 这个结果是可以接受的, 其中比较年青的样品可靠性较高一些。

该剖面第三个样品是采自断层旁侧受断层压力影响形成的劈理化黄土中。黄土受应力作用后形成 $1-2 \text{ mm}$ 厚的多层状黄土, 其中的劈理呈高角度倾斜。该样测得热释光年龄为 $65.6 \pm 7 \text{ ka BP}$ 从断层切断 S_1 看, 此数据小于 S_1 上界年龄, 因而是合理的。有趣的是该断层北盘 S_1 只有 1.15 m 厚, 而南盘竟厚达 3 m , 这说明该断裂是一个“同沉积断裂”。在 S_1 形成过程中该断层即缓慢蠕动, 北盘一面升高一面遭受雨水侵蚀, 并向下降着的南盘低地处搬运沉积, 使南盘 S_1 加厚。根据断层两盘 S_1 厚度可以计算出该断层蠕动速率为 0.02 mm/a 65.6 ka BP 发生的断层剧动造成北盘 S_1 顶面比南盘 S_1 顶面高出 2 m 的断距。这次剧动很可能与一次地震事件相关。可见, 该断层有缓慢的蠕动期, 也有突发的剧动期。

最近 50 年来, 西安地区并无大的地震足以使地裂缝发生剧动, 即处于蠕动时期。但该类地裂缝的垂直断距每年达 1 cm , 而 S_1 时蠕动速率为 0.02 mm/a , 二者相差 500 倍。由此看来, 现在地裂缝这样大的活动断距应归之于人工过量抽取承压含水层中的地下水所致。由于过量抽水引起地层压缩和地面沉降, 而地面沉降又会造成破裂, 新的破裂会迁就已有的断裂面, 从而加速活断层的活动。所以, 虽然地面没有看到与沉降漏斗有关的环形裂缝, 但活断层依旧沿原来的走向进一步活动, 原先下降的上盘与原先上升的下盘依然未变。所以西安地裂缝既是活断裂的表现又是人工过量抽取地下水所致。那末, 限制人工过量开采地下承压水或向地层中注水, 实为阻止和防治地裂缝活动的有效措施。

2.2 长安—临潼断裂

该断裂呈 NE 走向 从西安纺织城向东南 200 m 是肖家 赵家村所在的一个标高约 620 m 的台地。最初人们怀疑它是一个阶地, 但从台面倾向 SE 而与 河相背来看, 它又不象阶地。而牛角尖、江尹村和 河河床中普遍发现地裂缝和断层现象, 证明它是荻寨所在的白鹿原(头道原)与西安沉降带之间过渡的一个断块, 当地人称二道源(图 5), 是长安—临潼断裂带两个分支所夹的断块。

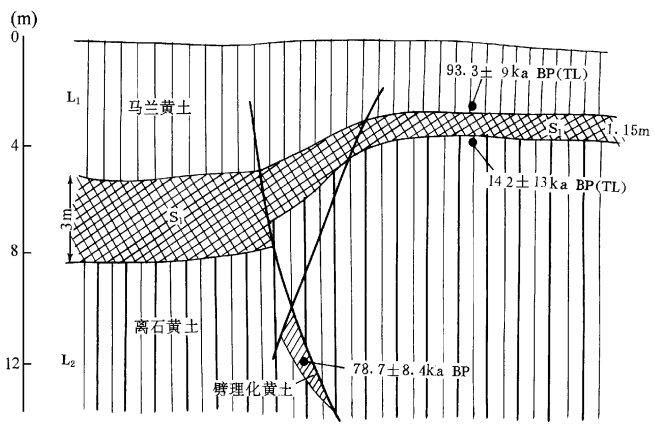


图 4 西安高娄村剖面

Fig. 4 The outcrop of ground fissure D7 in its east end at Gaolu village, Xi'an

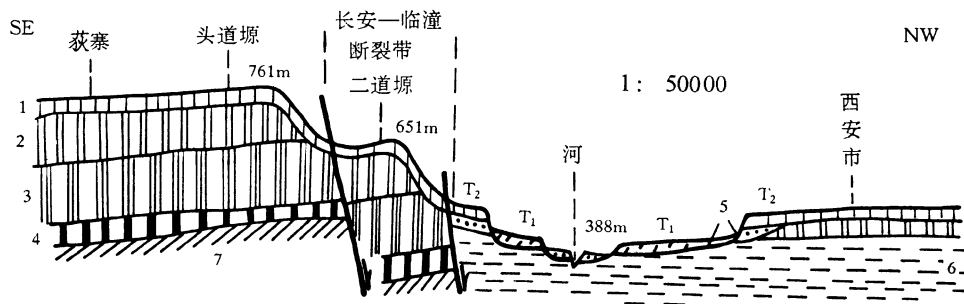


图 5 白鹿塬—西安剖面图

Fig. 5 Bailuyuan—Xi'an section

1. 马兰黄土; 2. 离石黄土; 3. 午城黄土; 4. 蓝田组 (上新世) 红土; 5. 河流冲积物; 6. 三门群湖积物; 7. 老第三纪

图 6是在西安东郊神峪峙沟南坡发现的该断裂带中的一个断面。断层切穿了 S_5 S_6 ,但未明显错动 S_4 。热释光年龄测定是采自断层面旁侧的劈理化黄土,测试结果为 89.7 ± 9 ka BP,说明其活动时间大约在 S_4 的中晚期。有趣的是,在此断层面之西, S_2 突然中断,端处没有裂面。断面已被黄土熔合,说明在 S_2 与 S_4 之间,大约 150ka BP 时断裂曾有一次活动,而后活动已停止。

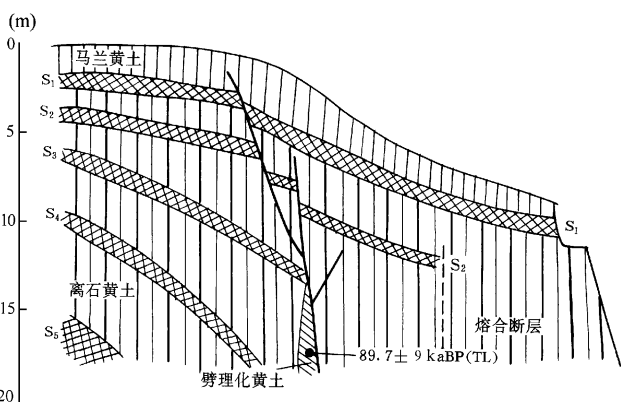


图 6 长安—临潼断裂带在西安市东郊神峪寺沟的露头

Fig. 6 The outcrop of Chang'an-Lintong fault in Shenyushi gully in the east suburb of Xi'an City

地质调查表明,长安—临潼断裂带形成于上新世之初,导致断裂带东南侧的老第三纪地层(红河组,白鹿塬组);中新世的冷水沟组、寇家村组和灞河组^[11]

上升脱离湖泊环境,而断裂以西的西安地区继续沉降并沉积三门群湖相地层。因此,该断裂是三门湖在西安 ES 方向的一个边界断裂。

这次断裂活动使得上新世的三趾马红土和下部的冲积砂砾石层与灞河组及其以下的地层之间形成一个大的不整合。所以,这次断裂活动是本区一次重要的造貌运动。

根据古地磁测定结果,该地区蓝田组的年龄为 2.5—6.5 MaBP^[12],而国际上所定的上新世下界为 5.1MaBP^[13]。所以我们将原张玉萍等 (1978)所定的蓝田组,由上新世改为中新世晚期至上新世,或简单地说是上新世,而将其下的灞河组划入中新世。

在该断裂西北的西安洼陷沦为湖泊的同时,该断裂 ES 方向的骊山—同仁塬、白鹿塬断块开始隆升,除局部河道与山麓地带有冲积砂砾沉积外,三趾马红土的广泛沉积并不整合覆盖在老地层之上。研究表明,它是一种在湿热气候条件下被强烈成壤作用改变成红色的风尘堆积^[14]。因此,此处象黄土一类的风尘堆积,至少可以追溯到 7 Ma 以前。如果说黄土风尘是季风的产物,则至少也可以追溯到 7Ma 以前。此后在这些隆起的地块上连续堆积了第四纪的黄土地层,形成了黄土台塬与黄土覆盖的阶地 (图 7)。

2.3 骊山山前断裂

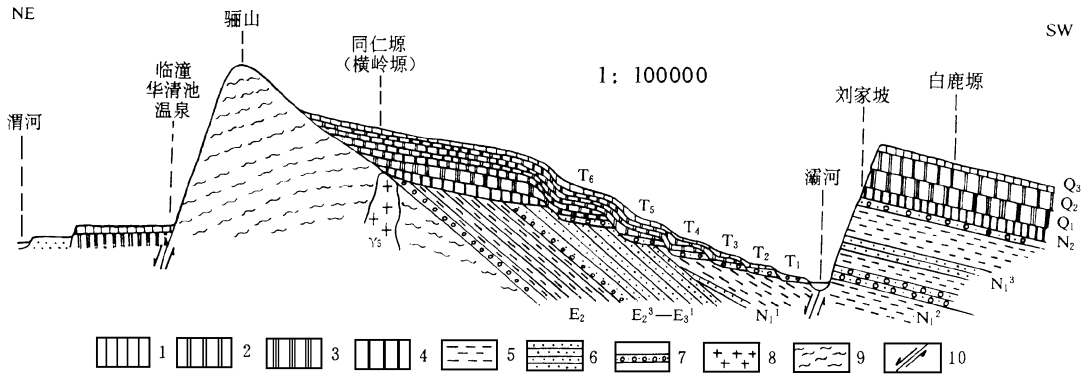


图 7 骊山—白鹿塬剖面图

Fig. 7 Lishan-Bailuguan section

1. 马兰黄土; 2. 离石黄土; 3. 午城黄土; 4. 三趾马红土 (上新世蓝田组 N_2); 5. 泥岩; 6. 砂岩; 7. 砂砾石; 8. 燕山花岗岩; 9. 太古代片岩、片麻岩; 10. 断层; E_2 始新世红河组; E_2-E_3 始新世渐新世白鹿塬组; N_1-1 冷水沟组, N_1-2 寇家村组; N_1-3 灞河组

该断裂大致呈 EW 走向,中部微呈弧形向北凸出,西起临潼往东达渭南阳郭塬与荣凝塬以东。在临潼一带,地貌反差强烈,临潼以北是低平的山前平原,而骊山及其南侧则骤然突起,并有华清池温泉从断裂带中溢出,沿此断裂带前人已作过大量断层剖面^[10]。该断层的活动历史可以追溯到第三纪以前,导致断层南盘变质岩中出现挤压性构造。第三纪早期,断层两侧堆积了厚度不等的老第三纪沉积,然而,最明显的活动发生在上新世早期。同仁塬、白鹿塬及其西南的少陵塬和神禾塬断块发生北仰南俯上升运动。这一上升运动在第四纪继续活动,形成了灞河谷的不对称特征(图 7),东北岸形成了一系列的阶地,而使灞河不断向西南岸滚动侵蚀,形成了陡峭的西南岸坡。按贝尔定律,北半球的河流本应受科里奥利力 (Coriolis force) 的作用而侵蚀它的右岸,但灞河却反其道而行之,第四纪以来不断侵蚀它的左岸。这正是骊山—同仁塬断块第四纪倾斜上升的佐证。白鹿塬、少陵塬和神禾塬的黄土塬面和底面都一致向西南倾斜,也是这一运动的结果。这些断块的倾侧运动是与渭河地堑南部一系列铲状伸展断裂在运动过程中发生滑落旋转的结果,和西安地裂缝系列的构造模式相似。另外,灞河的多级基座式阶地又说明了这种倾侧上升运动具有间歇式上升到稳定的多旋回性。

在渭河阳郭镇以南,该断裂在同仁塬(头道塬)与阳郭塬(二道塬)之间表现为陡坎,并成为三门湖的南界断裂(图 8)。上新世早期,断裂南盘上升剥蚀,造成上新世蓝田组与老第三纪不整合,并在同仁塬上堆积了从三趾马红土到第四纪黄土一整套陆上风尘堆积;而断裂北盘则下降沦为三门湖,发育三门群湖相沉积。到 1.2 Ma B P 才上升为陆接受黄土堆积。张玉萍等^[11]曾描述了阳郭镇以南同仁塬北部边缘的西岔沟剖面中午城黄土与离石黄土之间和离石黄土上、下部之间有两个不整合,分别代表大约 1.2 Ma B P 和 0.5 Ma B P 时的两次断裂活动和同仁塬与阳郭镇之间的差异上升运动。

我们在阳郭镇西南的西蛟村剖面采取断层面上被搓成叶片状的黄土,测得 TL 年龄为 121.4 ± 9 ka B P。这个年龄代表了该断裂近期的一次较强烈的活动。彭建兵等^[10]用 Hanks T C 等人陡坎扩散方程计算得出该断层活动年龄为 115.2 ka B P,与我们所作的热释光测年结果十分接近。

长期以来,人们认为陕西省第二水文地质工程地质大队所在的渭南市南部属于渭河三级

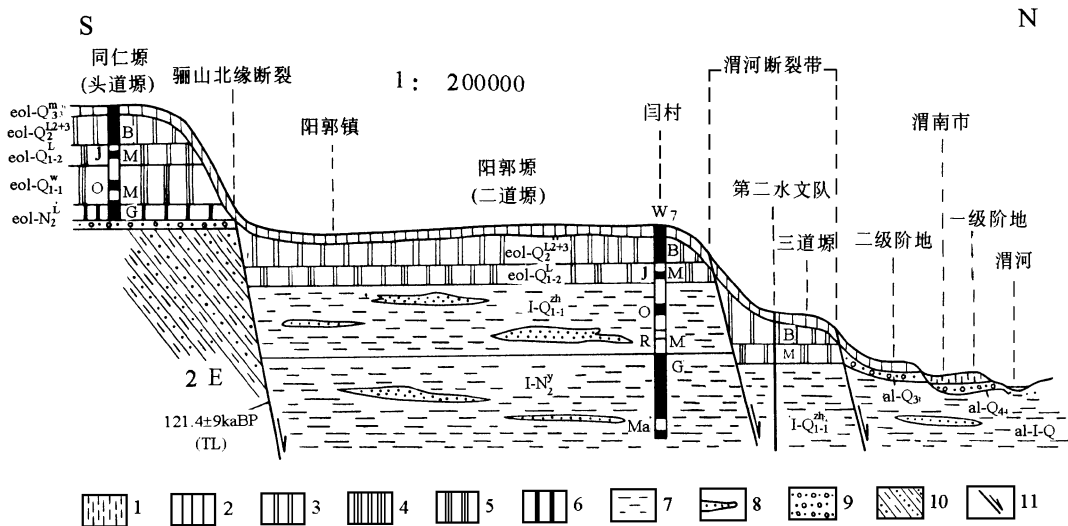


图 8 渭南附近地质剖面图

Fig. 8 Geological section through Weinan City, Shaanxi Province

al-Q₄.全新世冲积层; al-Q₃.晚更新世冲积层; I-Q₂¹.更新世早期张峪组湖积物; I-N₂.上新世游河组湖积物; al-I-Q₂.第四纪河湖沉积; ? E.老第三纪砂岩和泥岩; 张峪组+ 游河组= 三门群; 1. 全新世黄土; 2. 晚更新世马兰黄土 (eol-Q₂¹); 3. 中更新世离石黄土中 上部 (eol-Q₂¹⁻²); 4. 早更新世晚期离石黄土下部 (eol-Q₂¹⁻²); 5. 午城黄土 (早更新世早期) (eol-Q₂¹⁻²); 6. 上新世兰田组红土 (eol-N₂); 7. 粘性土; 8. 砂; 9. 砂, 砾石; 10. 砂, 泥岩; 11. 断层

阶地,但在 1556 年华县大地震时,出现一条走向 N80E,长达 15 km 北盘下降 0.1—5 m 的地裂缝。地裂缝中有喷砂、冒水等现象,说明这里有强烈的地震断裂活动^[5],特别是第二水文队院内一口深 250 m 的钻井中,上部有 100 m 厚的黄土,下部是三门群的湖相沉积,无河流相沉积 (图 8),说明它不是渭河的三级阶地而是从阳郭塬上断下来的一个夹在渭河断裂带中间的断块。如果把同仁塬叫作“头道塬”,阳郭塬叫作“二道塬”,那么,这里也可叫作“三道塬”。这个断块滑落下来的时间当在晚更新世早期,或许和上述热释光年龄测定的骊山北缘断裂的活动时间一致。

此外,我们还对秦岭山前断裂,岐山—乾县断裂,白水—合阳断裂,礼泉—蒲城断裂,口镇—关山断裂和韩城—华阴断裂带采样测定了 TL 年龄,其结果均列于表 1

3 结论

(1) 断层泥包括片里化的黄土是能够测出断裂活动年龄的,人们已经作了不少工作。但是,断层面附近受压力作用形成的劈理化黄土能否测出热释光年龄尚属首次试验。本文意在说明,在断裂面附近受应力作用会有热力产生,使原先沉积的黄土退火构成“最后一次热事件”,因此可为放射性测年法之一的热释光测年提供纪年的起点。

(2) 所作的 14 个热释光年龄测试结果中,只有两个是在可与全球地层和气候对比的黄土层位中采的样,所测年龄可能有 10—20% 的误差。西蛟村片理化黄土的热释光年龄为 121.4 ka B P,用断层陡坎扩散方程计算所得为 115.2 ka B P,二者误差 5.1%。

(3) 表 1 中年龄数据在 20—240 ka B P 之间变化,说明在本区活断裂曾在中更新世末期到晚更新世期间有过一次活跃期。

(4)西安地裂缝是多次活动的活断裂,近 30 余年来的快速活动主要与人工过量开采地下水有关,限制过量开采地下水,甚至向地下注水无疑是防止地裂缝活动的有效措施。
何恢亚教授、王全庆教授和何成富副教授曾亲临野外指导,谨表谢意。

参 考 文 献

[1] 徐煜坚.论活动断裂 [C]. 见:《中国活动断裂》,北京:地震出版社,1982. 10- 13.
[2] 李起彤.活断层及其工程评价 [M]. 北京:地震出版社,1991. 1- 2
[3] 易明初.新构造运动及渭延裂谷构造 [M].北京:地震出版社,1993. 3- 12
[4] 刘景文,张家明.试论西安地裂缝与地震 [C]. 见:《史前地震与第四纪地质文集》,陕西:陕西科学技术出版社,1982. 134- 141.
[5] 王景明,等.渭河地震带地裂与地震活动的周期性 [J].北京:地震学报,1985,7(2): 190- 201.
[6] 刘国昌.西安的地裂缝 [J].西安:西安地质学院学报,1986,(4): 9- 22.
[7] 吴嘉毅,廖燕鸿.西安地裂缝的工程性质 [M].陕西:陕西科学技术出版社,1990. 1- 59.
[8] 张家明,等.西安地裂缝研究 [M].西安:西北大学出版社,1990. 1- 98.
[9] 李永善,等.西安地裂及渭河盆地活断层研究 [M]. 北京:地震出版社,1992. 1- 212
[10] 彭建兵,张骏,苏生瑞,米丰收.渭河盆地活动断裂与地震灾害 [M].西安:西北大学出版社,1992. 1- 232.
[11] 张玉萍,等.陕西蓝田地区新生界 [M].北京:科学出版社,1978. 1- 64.
[12] 孙东怀,刘东生,陈明扬,等.中国黄土高原红粘土序列的磁性地层与气候变化 [J].中国科学 (D辑),1997,27(3): 265- 270.
[13] 哈兰德,等.地质年代表 [M].北京:地质出版社,1987.
[14] 赵景波.三趾马红土中光性定向粘土的发现及其意义 [J].地质论评,1986,32(6): 589- 592.

CHRONOLOGICAL STUDIES ON ACTIVE FAULTS AND
GROUND FISSURES IN GUANZHONG AREA,
SHAANXI PROVINCE, CHINA

SUN Jianzhong¹, ZHANG Jingzhao², PENG Jianbing¹, ZHANG Jun¹, LI Bingcheng¹

¹ Xi'an Engineering University, Xi'an 710054;

² Xi'an Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Academia Sinica, Xi'an 710054

Abstract 12 Thermoluminescence datings of the fault gouge and the adjoining cleaved loess of the area gives an age of 20- 240 ka B.P. It shows that the faults have been active during the late middle pleistocene to Late Pleistocene. Geomorphological and geological evidences are provided to show the alternation of rapid movement and show creep of the faults. The ground fissures in Xi'an City are in fact active faults, having been triggered to revive by pumping water from the confined aquifer.

Key words active fault; ground fissure; thermoluminescence dating; Guanzhong