

黄土中的活动断裂

刘景文

张家明

(西安市地震办公室)(陕西省地质局)

前

言

黄土伏盖了全球陆地总面积的9.3%，在我国主要分布在黄河中、下游，面积约63万平方公里。由于它是第四纪堆积物，所反映的构造变动时代较晚，因之对阐明地震危险性具有重要意义。

本文主要分析大型河谷地区黄土台原中的活动断裂，当然许多认识是很片面的，目的是引起大家注意，以起到“引玉”之作用。

一、黄土中常见的几种活动断裂形迹

黄土中常见活动断裂主要是地裂缝，黄土断层以及黄土破裂带三种形式。

(一) 黄土区地裂缝

近几年在河北、山西、豫西、陕西、甘肃以及宁夏等地的黄土区，发现地面有规律地出现许多裂缝，作雁行状排列。地裂缝宽度一般5—20厘米，最大可达一米，深及15—20米，长度最大者可延伸10公里以上。它切穿了不同地质地貌单元，具有明显的方向性，常和当地隐伏基岩断裂线的区域走向一致，并可观测到作毫米/年级的张、降、错运动。近期活动的地裂缝就其出现年代而论，最早者可追溯至1936年(陕西澄城)。1976年唐山地震以后，西安地区地裂缝迅达地表，并有加速发展之势，经调查其发展史可追溯至50年代。目前已有六条地裂缝，最长的一条长约8公里，作北东东展布。另外在山西临汾与运城盆地之间的黄土台原，河南豫西及洛阳、荥阳地区也相继有所发现。

地裂缝在形态上，上宽下窄呈楔状，偶有充填物。断面甚粗糙具张性，地表往往由于人类活动及黄土湿陷发生塌陷而把裂缝封闭起来，实际上在地下深处则呈空洞状，故钻探时常发生掉钻现象。

根据地裂缝的线性分布，三维运动矢量与当地区域应力场的一致性，以及与当地微震活动的同步性，目前一般认为是在地壳表部黄土层中，由于下伏基岩断裂继承性的张扭作用，应变传至地表，加之黄土的松散及低刚度，因而产生破裂缝，故其蠕变运动的矢量代表下伏基底隐伏断层的活动，是后者在地表的直接反映。所以地裂缝就是最新的活动断裂。

(二) 黄土断层

典型的断层构造在黄土中陆续发现,其出现部位,皆与当地区域主要的大断裂线相吻合,明显受基底构造控制,诸如宁夏西华山断裂,贺兰山东侧大断裂,渭北断裂的扶风、韩城,秦岭大断裂的宝鸡、兰田,长安—临潼断裂的灞河两岸,以及山西汾河两岸,霍山、太谷断裂的许多地点,都发现有黄土断层(图1)。这些断层都属正断层性质,一般断层面角度大(65—75°),断距小(0.4—4米)断面平滑,少数断面具有变色的充填物。在古土壤及钙质结核层清楚的中、下更新世黄土中更容易鉴别,而在马兰黄土中,当严格剔除垂直节理的干扰后,结合地貌形态上特有洼地和陡坎的分布,其断层性质也是不难区分的。这类断层发育区,常和古地震区域相一致。例如陕西渭南瓜坡,峽峪黄土断层频见,与1556年华县大震的极震区吻合,西安浐河两岸,泾河下游黄土断层和这一区域在历史上多震相一致。此外,象山西临汾,运城,宁夏银川盆地,西海固地区,都可以见到同样的吻合现象。

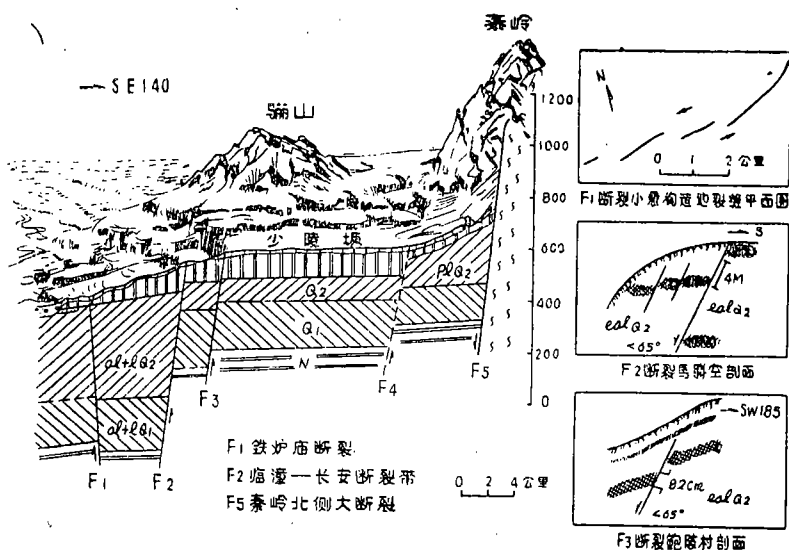


图1 长安原黄土断裂剖面

Fig.1 Section of The loessic faults in Changan yuan

在黄土断层的断面上,常可见到厚约10—20毫米的断层泥或者变色土带,多呈砖红色和褐色,并具叶片状微细构造,有的可见钙质结核被剪切成两瓣,在破裂面上还可见擦痕现象。在临潼冢底村还见到钙核被剪切而扭变为肘状。黄土断层的断距一般都较小,多不超过4米。一般认为,黄土乃抗剪强度极低的松散土层,如果在缓慢的蠕动下,绝对不会形成这样特殊的破裂面,加之断距又如此小,这只能解释为,在一种快速滑动作用下,高摩擦不仅剪断了坚硬的钙核,而且由于局部升温使接触面附近黄土发生脱水粉化作用。在黄土断层带附近,常常存在宽广的黄土水平推伏体,地貌上呈不对称的波浪状,单个波浪的陡坡常代表受力方向,在黄土中常分布有45—80度角的压性黄土页理和劈理,当地人称为“塌地”,其面积可达几十平方公里,往往沿黄土断层的一侧延伸。这种黄土地貌常和古地震区相吻合,例如宁夏海原,固原就有这种地貌分布,当与1920年海原大震有关。因之,这一类黄土断层分布区,是具有很大的潜伏危险性的地区。

(三) 黄土破裂带

在黄土分布区经常出现的是在区域上沿一定方向展布的破裂带。它不同于基岩区的破裂带,是由许多在形态上极不相同而实质上都具有成因联系的带状地段所构成的联合破碎带。沿着这样的地带可出现特殊的黄土微地貌带;特殊重力物理地质作用带;特殊的水文地质带;特殊的黄土断层群。由于它们统一遭受活动断裂的控制,所以它不仅本身是地下水的连通带而且两侧富水性截然不同,它们在航照和卫星照片上线性影象清晰。这些狭长的破裂带,常是地球物理探测的重磁异常区,也是现代地壳形变测量的垂直梯度陡变带,这一切都证明它们不是杂乱无章,而是在统一的构造作用背景上形成的活动断裂带。现将其主要几种表现型式分述于下:

①山前断裂带 黄土分布区,黄土和基岩一般为正常地层接触,但在贺兰山,六盘山、秦岭、渭北山地、吕梁山、霍山及中条山一带,都可以明显见到黄土和基岩山的老断面也呈现出断层接触关系,说明这些老断裂在黄土沉积以后仍在活动。在秦岭断裂带上,西起宝鸡东至兰田,沿断层可见到许多地点,黄土层和基岩为断层接触,断开了马兰黄土,顺断面可见黄土被挤压以及滑动痕迹,如宝鸡南钓鱼台剖面(图3)。渭北山前断裂在富平县石川河全新世冲积黄土和灰岩断面直接接触上也同样可见被挤压和滑拖破碎现象。

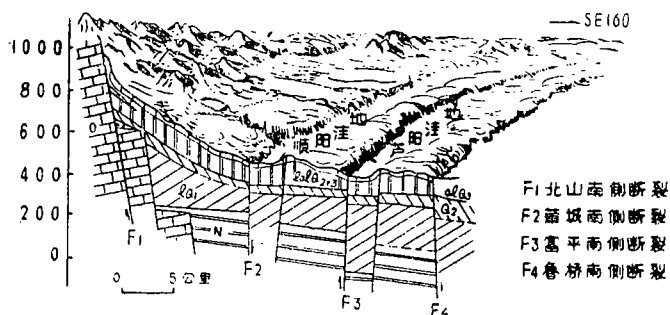


图2 富平原黄土断裂及洼地剖面图

Fig. 2 Section of the loessic faults and the depressions in Fuping yuan

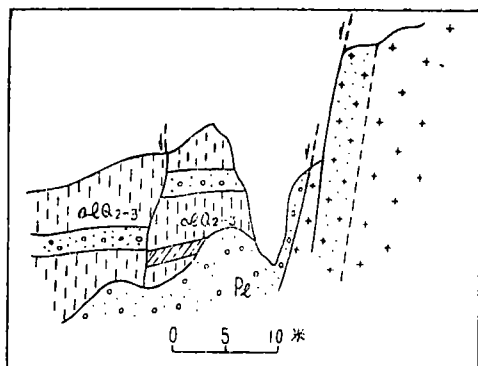


图3 宝鸡钓鱼台黄土断裂剖面

Fig. 3 Section of the loessic fault at Diaoyutai in Baogji

根据国家地形变测量资料,穿过秦岭断裂带20公里的水准线,黄土台原和基岩山相对垂直升降量约为5—6毫米/年,渭北山前断裂与原区变化量却只有0.4—2毫米/年,并且沿

这些断裂带出现一系列温泉和地热异常区，许多泉水的涌水量变化和当地古地震活动的关系密切。根据断层断开马兰黄土等特征，证明这些山前断裂，至少在晚更新世以来仍在进行着强烈的活动。

②黄土原边断裂 黄土台原为人们熟悉的黄土地貌类型，其轮廓和分布常具一定规律，在汾渭地堑内多数黄土台原严格受当地主要断裂所围限，象在甘、宁两省（区）的六盘山和贺兰山东部的黄土原的延展方向主要为北西，宝鸡武功一带为北西，关中部多为东西，关中东部的渭河南为北东南西的菱形，渭河以北为北东向的条带状。其中许多黄土原面的倾斜方向明显和现代侵蚀基准无关系，原边断裂可以切过不同地质地貌单元形成前述种种地质地貌现象，显然这些黄土台原是由活动断裂所切割成的，它的主要边界就是现代活断裂（图4）。

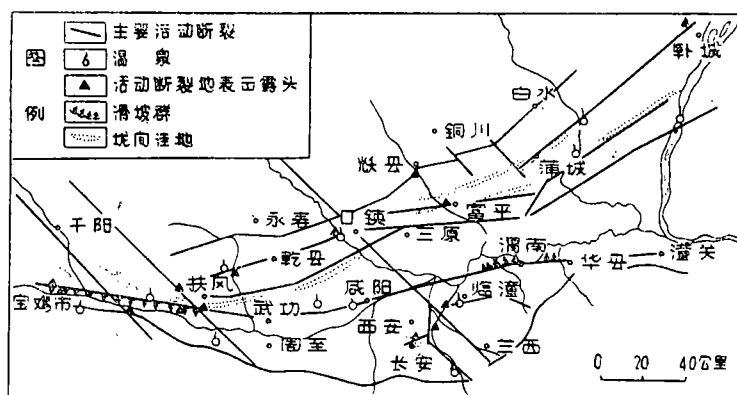


图4 渭河盆地活动断裂

Fig. 4 Schema of the active faults in the weihe basin

二、黄土断裂的演化

由于黄土的松散性，所以黄土中的断裂具有特有的地貌，而且这些伴生地貌及重力地质作用体以相当快的速度在演化、更替。大致可归纳为以下的三个阶段。

裂隙期

平整的黄土台原上出现一系列定向排列的狭长黄土峡谷、凹地、槽地，长者可达几十公里，宽0.1—5公里不等，这是一种刚刚切穿黄土覆盖层而达到地表的最新活动断裂所形成的。它的年代较晚，多数切穿马兰黄土而未切穿全新世沉积物，是黄土中活动断裂幼年期的地貌，著名的凹地有西安附近的鲍陵—杨村凹地，春临—伟曲凹地，富平芦阳凹地，运城解池凹地，永济—解城凹地等。如富平芦阳凹地（图2），走向北东东，长40公里，宽5—8公里，低于黄土台原面10—20米，凹地中央分布一系列北东东走向并作雁行排列的黄土裂缝，缝深可达20米，接近地面部份经常被黄土充填，实际地下仍为空洞状，有的地方缝宽达2米之上。当河流横切凹地时，可在河谷两侧见到凹地的主体黄土破裂带，主要的断层带位于凹地近中央，切过凹地的河谷潜水，在断层上下形成近20米的地下天然跌水。

凹地的皱形当地人称渭“地峡”它是巷状黄土地形，又是由构造性的裂缝，由于地表地下水长期冲刷和潜蚀，使裂缝的下部逐渐塌陷和扩大，互相连通，终于使上部黄土层大面积

陷落和沉降,从而形成长条形黄土凹地,沿一定方向凹地常断续出现形成似串珠状凹地带。

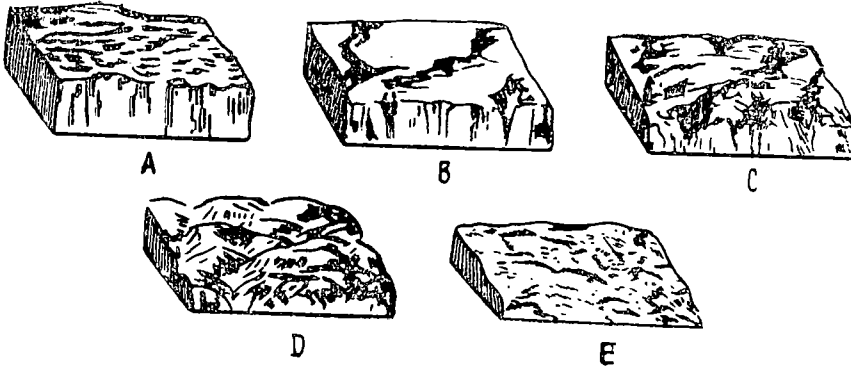


图5 黄土断裂演化模式

Fig. 5 Evolution model of the loessic faults

凹地内的黄土遭改造后常见古土壤层呈现出破碎杂乱状态,新、老黄土混合在一起,钙核层弯曲、紊乱、破碎等现象,我们权且称这种被严重扰乱的黄土为“混杂堆积黄土”。

陡坎期

是黄土断层中年期的主要地貌类型。

黄土断层进一步发育,两盘的断距逐渐增大,在地表形成相对高差显著的黄土坎,其高度一般在5—10米,最大可达30—50米,长由数公里至数十公里,最大可达百公里以上。黄土陡坎一般作直线形延伸,其方向常和区域性隐伏构造线一致,可以切过河谷,阶地以至分水岭,并和当地重、磁物理异常等值线一致,在卫星照片上有明显的反映。典型例证以关中盆地的北及东北地区为代表。渭北中西段这里的头道,二道,三道原的黄土陡坎作近东西向延伸,及至到富平以东开始被北东向延伸的黄土陡坎所取代替,直至山西的运城,临汾盆地仍可追溯到它们的痕迹,在陡坎发育最良好的关中东北区,尚可发现黄土陡坎平面分布具等间距性,坎间距一般在20公里左右。坎面一般陡直,高度10—50米不等,可举陕西渭北口镇一关山黄土陡坎为例:这一近东—西向黄土陡壁在卫星照片上极为清晰,呈直线状长约150公里,西端切入前古生代老山可见显著的张扭性断层标志,向东该陡坎因北东向构造陡坎干扰而消失,经物探和钻探证实该陡坎确系一断面南倾,倾角40—80°,错开黄土层100—200米的张扭性正断层,许多地点马兰黄土断开约50米,据24年重复水准测量,该断层南盘下降速率为2毫米/年。该断层最大特点就是在地表有一标准的黄土陡坎,坎高一般10—15米,个别地段可高达100米。根据黄土陡坎的新鲜程度,以及1880年在该断裂西段发生5.25级地震事件,说明该断层今天仍在继续活动。

黄土陡坎代表着活动断层两盘的相对高差,随着时间的增长,陡坎高度也愈来愈高,由于黄土的直立性好,常形成壮观的黄土壁,随着地形差异性加大沿着陡坎发生一系列重力地质作用,成带的滑坡,崩塌体,大致也沿着黄土壁前成带状延伸,方向性极强和一般的零星分散的滑、崩体在分布上极不相同。由于断层活动的周期性,黄土陡坎的发育也具有周期性,因之沿断层陡坎形成抬高的滑坡,崩塌群体也具有阶段性,所以它们常常可以进行时代对比,反过来又可根据其发生的阶段判断该断层的活动过程。关中盆地西部宝鸡至常兴的滑坡

带正好位于渭河大断裂上，地貌上是典型的黄土陡坎，高达百米，钻探证实断距可达200米，沿陡坎南缘由宝鸡至常兴出现大量的滑坡体（图7），最宽地区滑坡带可宽达两公里，各滑坡体均可区分为三期，最老者为中更新世，最晚者为1954年。

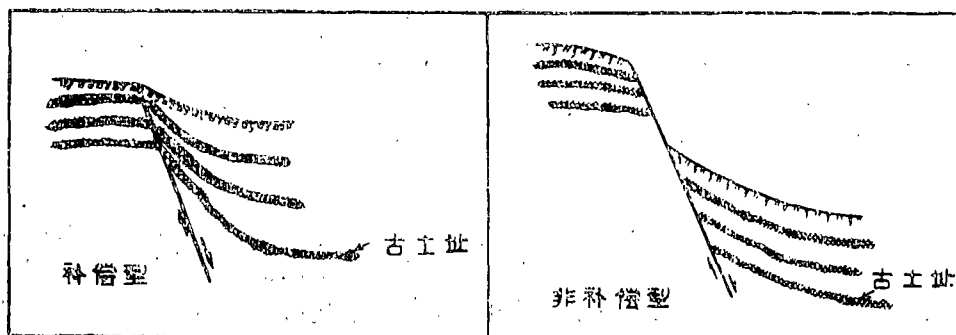


图6 黄土沉积断裂类型图

Fig. 6 Types of the loessic syndepositional fault

其著名的滑坡体可以卧龙寺为例：该滑坡体长1.5公里，宽400—600米，最底部滑坡体系中更新统上部黄土层，破坏了第五层最厚的古土壤，其余两期分别破坏了马兰黄土和全新世沉积，据《史记》周幽王二年（公元前780年）岐山大震时，“高岸为谷，深谷为陵”该断裂就有强烈活动，可能也有大滑崩体证明该断裂至少活动了三次而今仍在活动。可以认为定向呈带分布在黄土陡坎前的滑坡崩塌带，是黄土中活断层活动的主要标型特征之一。

塬岗期

黄土塬岗代表黄土断层的活动性已处于停滞阶段的一种地貌类型。它是由黄土陡坎经横向后生沟谷割分解，使陡坎变为一串梯形面，这些梯形面的黄土台变为具三角面的黄土丘，最后，这些丘又被改造为浑圆而低矮的黄土包，于是，由断层活动在黄土原面上形成的正地貌也就因其活动性消失而趋于消灭。

实际上在黄土区许多高阶地经破坏后也具有塬岗式地貌特点，但后者和构造塬岗仍有显著区别，除过构造塬岗在分布上具线性方向性强的特点外，一般又具有特殊倾斜方向，阶地一般倾向大河谷切而构造性塬岗倾斜方向常和区域侵蚀基准方向相反，而与断层掀升盘的倾斜方向一致。例如关中盆地东南的渭南原面上的黄土塬岗就背着渭河向秦岭一侧逐级下降，华县的黄家原标高701米至西南临潼的代王原，标高却降为500米。

沿塬岗带的横向沟谷区带可见到众多的黄土断层，在陕西渭南及山西临汾盆地的黄土塬岗中，可以见到切断三门系或泥河湾组地层的断层向上也错开了黄土层，如华县爪坡，峽峪，渭南尤河的黄土塬岗地貌转折部位，在这里黄土断层重力地质体也极为发育（如图7）。

三、黄土中活断层分类及判定标志

黄土中存在断层现已被公认，但确定这些断层的活动性，却是一项十分复杂的新问题，下边作一简要讨论。

第一、黄土活断层的分类问题

切穿黄土层而达地表的断层，本身就是最新的活动断层，然而要进一步确定其今天是否仍具有活动性，或者要确切的评定其潜在的活动性，除过根据精密的仪表进行观测外，我们只能借助于地质、地貌方法详细分析它们的发生发展过程，以求得对其作出定性的相对定量的判定。采用地质、地貌学方法可以把黄土中存在的活动断层区分为两类，如前所述，一类为蠕动黄土断层，另一类为快速破裂断层，这两类断层由于其发生发展机理不同，因而各有自己一系列形变过程，和相应的伴生地质地貌现象，我们只要查明这些黄土地质地貌类型及确切的发生学阶段，就能够大致判定所要研究的断层的活动性。

这两类黄土断层发展过程是：

蠕动黄土断层：黄土地裂缝—黄土地峡—黄土凹地—黄土陡坎—具有梯形面的黄土陡坎—具有三角形面的黄土陡坎—黄土垆岗（浑园状黄土丘）—波浪状黄土准平原。

快速破裂黄土断层：高角度黄土断层—黄土陡坎—黄土崩滑体—黄土推伏体。

蠕动断层由裂缝开始，终于波浪状准平原，代表了一个断层由发生到消亡的过程。而快速破裂断层则代表一种急剧的发生过程，所以二者有明显的地貌地质区别。实际上，上述分类还只是理想而又简化了的模式，自然界经常是这两类活动形式在同一断层上交替出现，甚至还要复杂的多。尽管如此，这两类黄土断层的地貌演化系列毕竟还是清楚的。

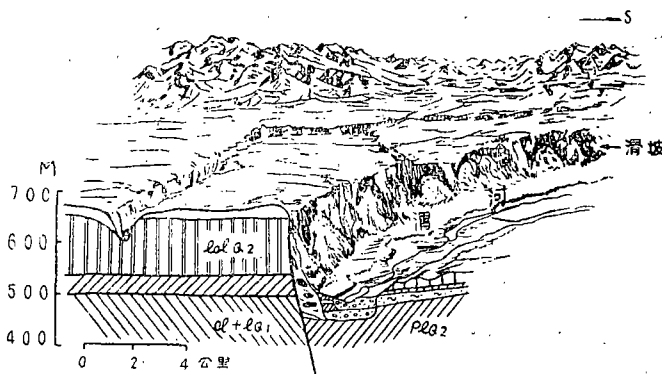


图7 沿渭河断裂重力地质作用素描图

Fig. 7 Sketch of the gravitative geological function along weihe fault

第二、黄土中的古土壤是识别活断层的良好标志

它一般在晋、陕的黄土岩中发育良好，多达20多层，并且在一定区段内成层性稳定。一般马兰黄土中有一层似粟钙土古土壤，中更新统黄土中有8—12层棕色土古土壤，下更新统老黄土中有8—12层残余红色古土壤，其中，中更新统中古土壤发育好，土壤发生层清楚，剖面完整，并有大量的钙质结核作为淀积层存在；而该统内第五层古土壤厚度最大（可达5米）发生层清楚，常作为有效的对比标志层。在活断层上，古土壤层数的增加，减少，不同时代不同类型古土壤突然接触，或者古土壤突然混灭，或者在不大的距离内古土壤和不同时代黄土完全混杂堆积在一起，这些现象的出现如果沿走向追索呈带分布时，必然存在黄土断层，当然象图（1）所示的马滕空断层当属活断层无疑。另外，可以根据不同古土壤类型被切开的序次去分析黄土断层所发生的时代，例如切断中更新统第五层古土壤者必然比切断第一层（由上而下）时代要老的多，而切开马兰黄土中粟钙土的断层时代必然在晚更新世后

期等……。其次，还可根据错开古土壤的距离以及同一断层上、下古土壤错距的差异，去计算断层滑动量，确定该断层的活动过程，和快速滑动次数。

黄土中大量钙质核层，由于是淋滤淀积作用形成，所以它们一般都具有优势排列方位，多数长轴垂直地平面而微层理平行地面，所以根据钙核层的产状和微观研究，不仅能恢复当时古地面水准，而且可根据其产状的变动情况去判断黄土层被构造作用改造的程度。另外，钙核和结核盘被断开的状况（武功龙王向黄土断层）是否有擦痕的方向，对判定黄土断层的性质和分类都是具有很大用途的。

第三、黄土活断层的同沉积性

黄土由于其特殊沉积作用，所以在一些大而老的断裂带上形成规模巨大的同沉积构造，物探和钻探证实，在汾渭盆地中一些大断裂两盘黄土厚度相差几倍，而且相的组合方面也极不相同。结合黄土地层剖面及古土壤层产状变化的分析发现这种同沉积断层可以分为两种类型：一种暂称为补偿型（图6）是缓慢蠕动的活断层，下降盘下降速率小，致使黄土不仅可填满其断开的空间，而且还可在上升盘残留薄层的同期黄土层，两盘地貌上相差不大，黄土岩相接近，所不同者断层两侧沉积层厚度差2—3倍，在断层面附近黄土及古土壤的同沉积弯曲尚可清晰辨认。第二种为非补偿型（如图6）。

活断层速率很大，形成差异性大的地貌，由于下降盘快速下降，黄土充填不满其所断开的空间，所以在黄土层中常有大量的河湖相粗碎屑层，致使断层两侧黄土层的相组合截然不同，沿断层面附近黄土缺失，古土壤层的断开、重合、减少和分叉、急剧弯曲现象增加，两侧黄土层堆积厚度相差可达近十倍（渭河断裂）。

实际在一条大断裂上，黄土层同沉积的两种类型可同时出现，常常一端为补偿型另一端为非补偿型，或者二者交替出现，这是由于一条断层各段活动性不同所造成的。

四、结 语

常被人们忽视的黄土中的断层，经过几年的实际资料证明其确实存在，而且还可以按其活动性分为缓慢蠕动和快速破裂的两种类型。由于松散的黄土保留构造形迹不易，所以在对其活动性分析时更多地强调了地貌形态发生学和地层学的方法，以期能不但定性而且能相对定量地作出断层活动性的区别。从实践角度，我们应对那些既具快速断裂性质，年代又轻，现在仍在活动的黄土断层，进行更为深入细致的研究和观测，期望能在黄土地区重大工程建设中采取必要措施，以便防止更大灾害的发生，造成不可估计的损失。从理论方面考虑加强对黄土中各种构造形迹特殊性的探索，将会更加丰富地质学，尤其是第四纪地质学的内容。

（本文1983年1月5日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕刘东生等，中国黄土堆积，科学出版社，1965。
- 〔2〕张伯声，1964年在断块构造的基础上说明秦岭两侧河流的发育，地质学报，44卷，四期。
- 〔3〕王永炎，1965年黄土地层划分，地质学报，46卷，第二期。

ON THE ACTIVE FAULT IN THE LOESS

Liu Jingwen

Zhang Jiaming

(*Seismological office, Xian*) (*Geological Bureau of Shanxi province*)

Abstract

The loess covers the extensive areas in China, but the active faults in the loess are often ignored. This paper systematically describes the various characteristics and the evolutionary processes of the loess faults. Together with a number of data in sedimentology, Geomorphology and Seismology, the author further divides the active faults of the loess into two types of different feature---the slow creep and the quick rupture. on estimating the trend of the future earthquake the later should be paid enough attention to.