

黄土高原的崩塌、滑坡等重力变形

韩恒悦 胡敏 韩立平

(陕西省地震局)

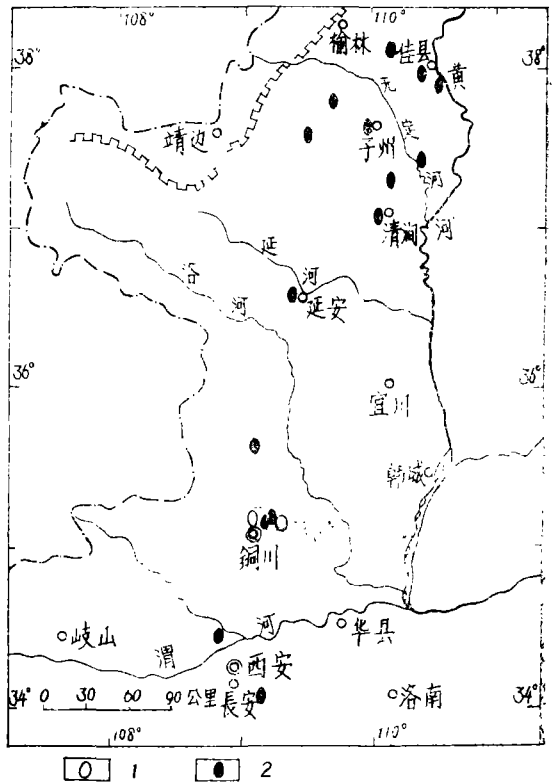
一、引言

在我国西北黄土高原上，崩塌、滑坡、垮落等重力构造发育甚为广泛。长期以来，繁衍生息在高原上的居民，在不稳定的斜坡地段经常遭受到崩滑体等自然灾害的突然袭击。近年来，随着多种经营活动的发展和地表降水量的剧增，崩塌、滑坡等事件频繁发生。边坡的失稳变形效应已成为黄土高原上一种突出的地质灾害，具有降低环境质量和破坏生态平衡的势头。所以探索揭示滑坡等分布规律和形成原因，开展预测预报和整治工作，减缓或防止对当地居民的危害，是一项实际而有意义的工作。

本文主要依据陕西榆林、铜川等地区1984—1985年1月集中发生的多处崩塌、滑坡的现场调查材料，试图分析研究陕北黄土高原上重力变形的主要特征，以及这些重力变形孕育、形成、发生的过程及其伴生的前兆现象，并建议立即开展黄土高原上崩塌、滑坡等灾害的普查和研究工作，进一步控制各动活种对黄土高原地质环境的破坏作用。

二、崩塌体主要特征

陕西省的榆林和铜川地区，处于我国西北黄土高原的中部。据调查资料，长城沿线以南大约到延安以北，主要以中、小型崩塌为主，滑坡为次，集中分布在子洲、绥德、清涧、佳县等丘陵沟壑区内；延安以南经铜川等渭北一带直至渭河盆地内的台塬边坡，各种类型的黄土滑坡广泛发育。每逢雨涝，大地封冻、解冻时期，各种崩塌、滑坡等灾害多有所见，近年来有愈益加剧增多的趋势。据调查统计，1984—1985年1月，榆林和铜川两地区共发生11起崩塌灾害（图1），致使99人丧生，财产损失尚



1—蠕动变形的滑坡；2—已发生的崩塌、滑坡。

图1 1984—1985年1月榆林和延安地区崩塌、滑坡分布图

无法估计。1984年10月2日凌晨4时54分，铜川市南关发生路坎崩塌，崩塌体约6.5万立方米，覆盖面积2,270平方米，5户住家被掩埋，共计50人遇难。这是陕西省近年来崩塌死亡人数最多的一次。1985年1月4日21时，榆林县桐条沟张硷发生人工塍坡崩塌，体积约6.3万立方米，崩塌体摧毁3户农家住宅，21人熟睡中惨遭掩埋。这类崩塌、滑坡等重力构造在黄土高原上出现的随机性大，具有数量多，分布广，危害重的特点。

由于重力的作用，在高差比降较大的边坡地带，岩土体破裂后发生快速滑移，形成多种类型的地貌变形。在此仅讨论黄土高原上崩塌体的形态和发育过程中的有关问题。

1、运动模式单一。崩塌体外形多呈帚状、片状，上窄下宽，坡度角一般为30°—45°，主崩塌体厚度大体上在20—50米之间，体积多在10万立方米左右。崩塌体后缘与前舌的高差普遍为40—100米（图2），后缘圆弧形破裂壁完整明显，常见的破裂壁高5—20米，倾角50°—70°，崩塌体两侧的滑动壁上有清晰的滑动擦痕。这类浅层中、小型崩塌体，重力滑动机制表现得很清楚，展示了一种简单的变形模式。这种倾覆旋转运动形式，垂直位移量大，水平位移量小。崩塌体结构简单，一般只有一个主破裂滑动面。

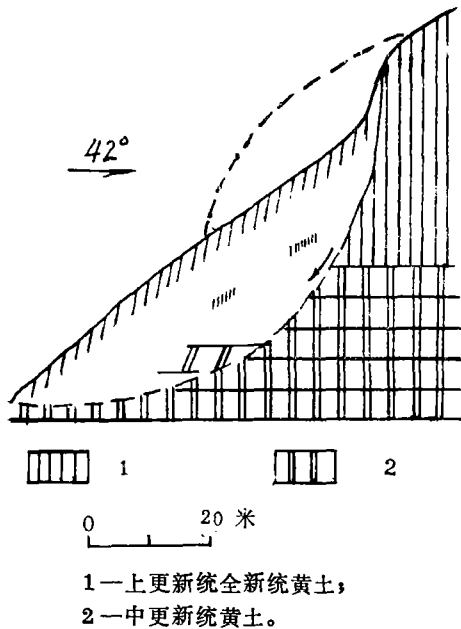


图2-a 榆林桐条沟张硷崩塌剖面图

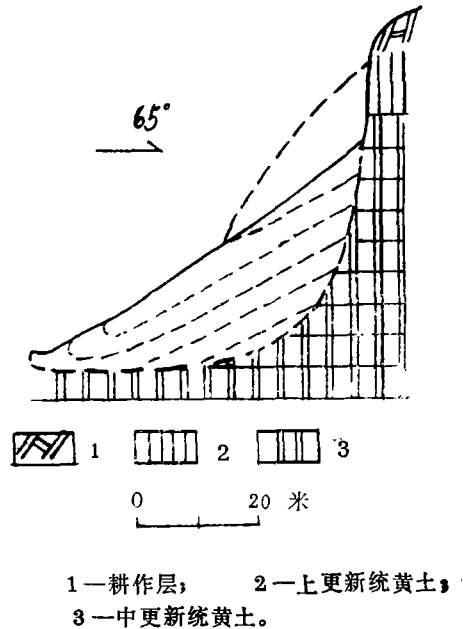


图2-b 铜川市南关崩塌剖面图

2、蠕变变形阶段短促。崩塌推移体一般体积小，孕育形成期比较短促，属于突发性地貌变动灾害。崩塌体从数十米高处跌落时，具有很大的位能差，瞬息又转化为动能，因此整个运动过程速度快，来势猛，破坏性强。这类崩塌的孕育与发生，在空间上取决于边坡岩（土）体的稳定状态（静态因素），时间上在一定程度上取决于水、振动等外部扰动触发因素的作用（动态因素）。

子洲县城1984年6月9日凌晨2时15分发生了一次崩塌性黄土滑坡，崩塌体高66.6米，宽79.5米，厚约20米，体积约10万立方米（图3）。在滑坡发生的15天前，滑体山顶上出现了

0.3—0.7厘米宽的稀疏细小裂隙，随着滑动带上土体抗剪强度和剪切下滑力之间比值 $\left(\frac{[\tau]}{\tau}\right)$

的急剧减小，裂隙由少变多，由窄变宽，由短变长。3—5日内裂缝宽度竟扩张至2厘米，两侧羽状剪切裂缝贯通撕开，且从上到下合并成一条明显的圆弧形破裂带。整个崩塌体蠕变变形阶段宏观上只经历了仅15天的时间，完成了裂缝的出现、稳态扩张、扩张加速与失稳扩张的连续变化过程。

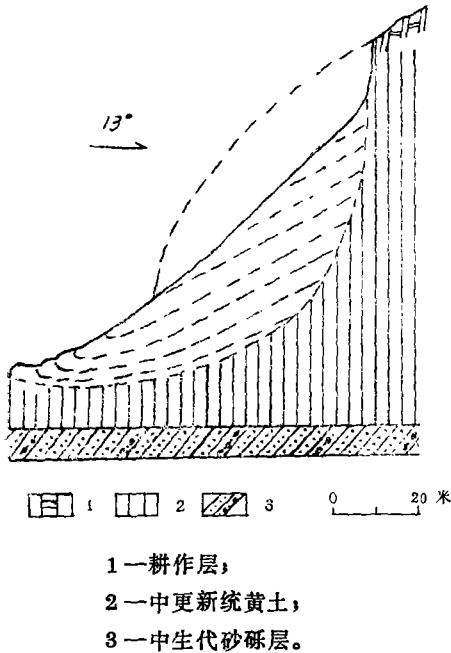


图3 子洲县城崩塌性黄土滑坡剖面图

1971年开始出现小裂缝，大约经历了近十年的稳态扩张期，1979年裂缝扩张加速，1982年滑体中部局部滑动，毁坏了房屋，造成伤亡。现滑体上80%的建筑物毁坏；居于滑体中部一座3.5万千瓦的变电所墙体开裂40厘米，钢筋弯曲；滑体后缘出现数条宽达0.2—0.5米的弧形裂缝，长度达300—500米；滑体舌部地面隆升起约50厘米高。公路、护堤张裂，整个破裂滑动面基本连通。

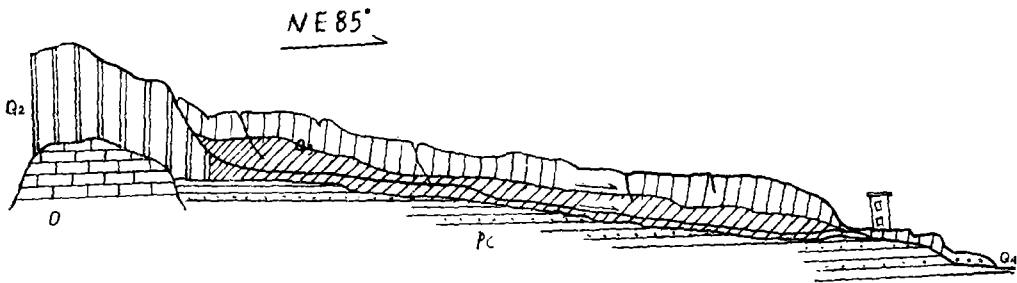


图4 铜川市川口蠕变变形中的黄土滑坡图（据王泰书等）

铜川市铝厂滑坡，面积约0.5平方公里，滑坡壁高50米左右，滑体由黄土层和下覆的砂泥岩组成。座落在滑体前舌部位的铝厂生产区是1969年开始筹建的，1982年滑体黄土层发生蠕变变形，现已造成前舌部位部分石砌护坡墙毁坏，地面下沉，水泥路上拱约20厘米，厂房张裂错位一般达4—5厘米，是一个具有潜在危险的大滑坡。

清涧县师家院周家殿子小崩塌和子洲县马蹄沟黄土崩塌，两处崩塌均发生在崖坡建窑的工程活动中，其蠕变变形阶段也只经历了5—10天的时间。

3、老崩塌体(滑坡)复活。因受地质地貌格局的控制，崩塌体(滑坡)的分布在空间上具有相对密集和重复发生的特点，许多新崩塌均发育在老崩滑或古崩滑体的活动区带内，或在老崩滑体左右定向迁移。这在性质上属于早先崩滑体的复活。进行滑坡危险性区划和区域地壳稳定性评价时，是一条重要的依据。

据记载，子洲县城的崩塌性滑坡地段，1935年和1954年就相继发生过两起崩滑。榆林桐条沟人工崖坡崩塌也发生在一个老崩滑区域内。

铜川市川口滑坡和铜川市铝厂滑坡是两个已有强烈蠕变变形的黄土大滑坡。川口滑坡长600米，宽300米，面积约0.18平方公里(图4)，

以上两个滑坡都位于老滑坡活动区内，属于明显的老滑坡复活。

三、崩塌、滑坡的前兆

崩塌、滑坡等重力地貌变动，和地震孕育、发生一样，都要经历一个应力增长和消亡的变化过程。伴生的各种前兆效应有相同的物理基础，不同之处在于地震多发生在地壳的深处，滑坡等出现在地壳表层（多局限于地貌上）。崩塌、滑坡的预测预报在某种程度上比地震要容易一些。

1、崩滑裂缝。裂缝的出现与加速扩张是崩滑产生的前提。崩滑孕育块体在初始阶段，因局部应力的集中，首先在后缘地表出现垂直微破裂，随着斜坡破裂滑动带的贯通形成和抗剪强度的骤降，微裂缝增多、加深、扩张，构成环形裂缝带，滑体前缘会出现横向张裂，地面产生隆起或沉降，滑塌体上可产生局部张裂下陷或滑动的情况。观测裂缝的动态变化，可以判定崩滑体的险情程度，估计发生的规模和时间。

通过崩塌孕育体上裂缝的动态连续观测，子洲县预报了1984年6月9日县城北山发生的崩塌性滑坡，长安县预报了1984年12月15日21时发生的古刘村滑坡。这两次滑坡由于较好的监测预报，使发生在闹市和人口稠密区的黄土滑坡无一人一畜伤亡，极大地减轻了灾害损失。

2、地下水骤变。在整体滑动之前，居于崩滑体上或前舌部位的窑洞或房屋，随着蠕动变形的加剧，墙壁会出现鼓丘，地面产生沉降，门窗位移变形并伴有吱吱音响。这些现象都是局部应力增大时的变形效应。长安县古刘村滑坡在滑动前就有这样的情况。

滑动物局部岩土体的破裂、变位，影响或破坏了地下水原有的动力系统，随之水位发生明显的升降变化，斜坡前缘的泉水复活或干枯。铜川川口滑坡前缘现有7处泉水出露。在人类目前还不可能完全控制崩塌、滑坡的情况下，观测地下水骤变，监测预报是减轻滑坡灾害的有效途径。

3、动物习性异常。根据某些实验和现代大地震现场调查结果，狗或其它动物具有一种特殊的功能，对岩土体发生的低频微破裂反映相当敏感，能表现出各种异常行为。

前述的榆林县桐条沟张硷崩塌，在临塌前的4—5天内居民豢养的一只公狗在家里吃完食即离家出走，整天蹲在崩塌体的山顶上惶惶不安，滑塌时狗和三只鸡幸存了下来。

清涧师家园周家殿子崩塌，在崩塌前1—2天，家犬跑到窑背上向天狂吠，异常不安，崩塌后则恢复常态。

子洲县马蹄沟李家砭崩塌，在临崩塌的半小时前，狗在大门前用前爪俯地刨土，乱吠，不时回头向窑里张望，表现出异常的惊恐焦躁。

这些事实说明，崩塌滑坡在强烈蠕动变形阶段，在滑塌体内必将产生一系列不同序次和级别的微破裂和小滑移，狗或其它动物的异常行为是这种微小变化的综合反应。

四、崩塌、滑坡发生的原因

崩塌、滑坡等重力侵蚀的发生，主要是由于岩土体剪切强度减小或剪切应力增大，二者比值降低的结果。其它水、振动、荷载等附加因素，均起着加速变形和破坏过程的作用。

1、地质地貌条件。黄土高原以上升隆起为主的现代构造运动甚为强烈，整个高原黄土类土广泛而连续的分布。黄土类土强度低，质地疏松，抗冲刷能力较弱。由于强烈的侵蚀切割作用，塬、梁、峁地形甚为发育。延安以北陕北高原上黄土沟谷与长梁状和浑圆形的黄土梁峁纵横交织，地形支离破碎（图5）。延安以南黄土台塬、残塬发育，塬、梁、峁地形的坡降比一般较大，陡直的崖坡地段上临空面往往有数十米的高差，圈椅形和双沟同源的地形发育。这些地形稳定系数偏小，不少地段边坡处于极限稳定状态。

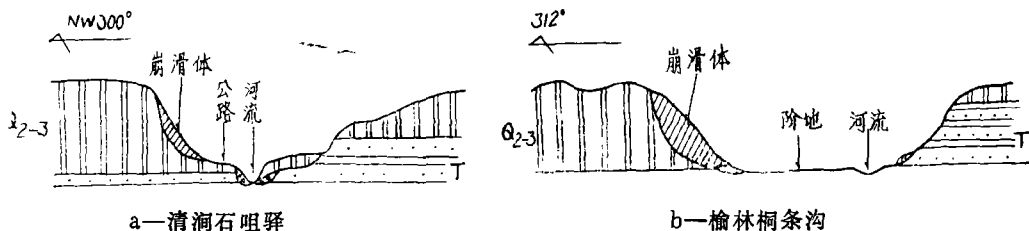


图5 陕北高原崩滑地貌地形示意图

陕北高原上主要出露平缓的中生代砂页岩和含煤地层，上覆数十米至百余米的第四纪黄土堆积层。黄土层的底部为含钙质结核层和褐色古土壤条带的下、中更新世硬质黄土，上部盖有数十米厚的上更新世和全新世粉砂质风积黄土。梁、峁的边坡及深切的沟谷两岸在厚层黄土之下，有含水砂层或砂砾层，地下水浸润和潜蚀等作用，促使边坡体内有效应力的降低，增加了边坡失稳滑动的可能性。

自然地质地貌条件是高原上崩塌、滑坡等重力构造广泛发育的基础，它对这些重力构造产生的空间位置和形式规模，有很大的制约作用。并不是到处都能产生崩滑，分布上有一定的规律性。

黄土为塑性岩系，破裂临界值低，在足够大的隆起地形上因重力的原因，容易发生滑动。成层成块的黄土垂直节理发育，清涧等地小崩塌多沿一组或两组特定的节理面发生。

2、水的作用。黄土由颗粒和空隙集合物组成，对水的吸附性强。过量的地表水短期内渗流入颗粒体系内，将会产生一系列扩溶膨胀等物化作用。这样改变了原有的颗粒结构和状态，其强度指标迅速降低，变形的进程加快。当较多的水渗透通过斜坡破裂面时，润滑接触面上的凸起体，降低颗粒间的粘结力和摩擦系数，即等效于剪切下滑力的增大。土中水的真实意义，在于它对整个结构体系应力状态的影响，导致土体变形和最后破坏。

地表水包括大气降水、农业灌溉水、人工排泄水等。黄土高原属大陆性半干旱气候，年降水期集中在7—9月份，暴雨多，近年来降雨量普遍增多。如铜川市1984年9月份降雨量达247.8毫米，为历年同期平均降雨量88毫米的近3倍，铜川南关1984年10月2日的崖坡崩塌与9月份降雨多存在着强相关性。

据调查分析，黄土高原上近年来崩滑现象日趋增多的原因与降雨量大，降雨期集中有密切的联系。降雨起了重要的诱发作用，滑塌发生的时间与大降雨期，从统计分析上存在稍滞后的正相关关系。1981年陕西汉中暴雨洪水期间，曾发生了数以千计的滑坡、泥石流，二者的峰值曲线仅相差3—5天的时间。

3、人为活动的作用。人们在各种工程活动中，大量截削坡脚，增加荷载（堆积矿渣），扩大地下采空区，松动爆破等，破坏了原有边坡的极限平衡状态，加速了滑坡等形成和发生的过程。榆林地区的小崩塌现象大多发生在人工崖坡建窑的工程活动中；铜川市为滑坡的重灾区，除沟谷窄狭、壩高坡陡外，井下采空塌陷，造成地基失稳是不可忽视的因素。控制人为活动对环境地质的破坏，是防治崩塌、滑坡的重要环节。

结 语

1、崩塌、滑坡等重力地貌变形，在黄土高原上较为普遍。陕西省延安以北以崩塌为主，延安以南以滑坡为主。新滑崩往往多发生在老滑崩活动区内，具有成带、成片分布的特征。时间指标的确定在一定程度上取决于降水和人为不良的工程活动等动态因素的作用。

2、在崩滑的蠕动变形阶段，通过裂缝扩张发展的变化速率的观测及其它前兆信息的综合研

地下水活动与柏树村大型滑坡

薛 振 勇

(核工业部地质学校)

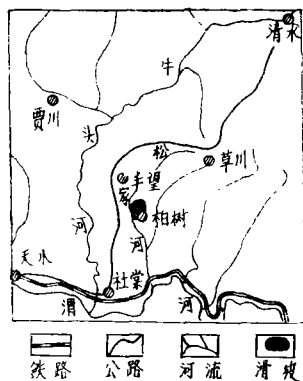


图1 柏树村滑坡位置图

1984年7月13日，甘肃省清水县丰望乡柏树村附近约4,500万立方米土体与丰望梁分离下移，形成了大型灾难性滑坡。滑坡体位于清水县城西南25公里，陇海铁路天水站NE33°，直线距离11公里处（图1）。

7月11日，柏树村北的鲁家湾下八亩地出现宽30厘米、长1华里的地裂缝，并向南北延展，两日后伸入柏树村内。13、14日连续缓慢滑动，致使北起王家崖，南至柏树村的邵家湾，东起老坟园，西到松家河，面积约1.2平方公里的土体向西南滑移，柏树村的415被滑坡切去，倒塌907间房屋，1,002口人无家可归；压死家畜（禽）1,077头（只），埋没粮食近两万斤；摧毁农田1317亩；大树倾倒、道路和高压电路被切断。经济损失估算达百万元。15号起，由于滑坡

体重心降低，地下水部分排出，滑体能量消耗于运动和土体形变之中，转入暂时稳定阶段。由于这次滑坡自发现裂缝到滑动的时间间隔较短，滑动速度小，故人和大牲畜得以转移，避免了伤亡。

滑坡发生后，我们应邀赴灾区调查滑坡体，选择重建村庄的地址。现根据收集到的资料对地下水的活动与该滑坡形成机理谈一点粗浅看法。

一、滑坡区的地质水和文地质条件

柏树村大型滑坡地处黄土覆盖的红土梁岭丘陵区，位于近南北向的丰望梁西侧。其梁顶海拔高1,950米，山梁下的松家河最低点海拔高1,319米，高差331米。自山顶到杨家坪山势较陡，坡度为13°，以下变缓为9.8°。7月13日的滑坡后断壁分布在1,520米高程上下。滑坡区地表沟谷发育，除松家河谷外，滑体上有近东西向的冲沟四条。河谷呈V字型，山梁窄陡。

从原地形图可看到，在7月13日，大滑坡东北部有明显的台地（称为杨家坪、西坪）与上部的山势坡度不协调，坪后有陡坎，李家堆谷（上端叫杨家大沟）和堡子沟双沟同源及松家河向西迁徙（河东侧有老河床沉积物出露），李家堆谷可见第四系底部土层错乱、变形等，表明杨家坪一带是历史上滑动过的老滑坡体。这次大型滑坡体的南侧，有一面积为0.06平方公里的波浪形凹

究，有可能确定滑坡等发生的时间和强度，采取必要的措施能够减轻或避免其危害。

3、结合国土整治和城乡建设规划，重点整治危害性大的塌崩和滑坡，控制人为活动对地质环境的破坏作用，树立长期与崩滑灾害作斗争的思想准备。

参加现场考察的还有榆林地区的朱有信和铜川市的张秉文等同志。