

山体陡峻 岩性松散 径流潜蚀

造成洒勒山失去平衡而滑坡

石玉生 刘金渤 陈广寿

(甘肃省水利水电设计院)

洒勒山滑坡,北距甘肃省东乡族自治县21公里,地处洮河流域,广通河支流那勒寺河的北岸。滑坡区山体在长期蠕变后,于1983年3月7日17时46分产生了突然滑动。滑坡体下滑高达300余米,厚50—80米,体积4,500万立方米;滑体前缘土体脱离滑床后,呈放射状冲入那勒寺河谷,主滑舌前缘冲向南岸Ⅱ级阶地坎下,堵塞河床240米,东侧滑体推入九二水库。总滑坡面积2个多平方公里,掩埋耕地3,000多亩;摧毁4个生产队,80多家住戶,掩埋220多人;众多的房屋、牲畜荡然无存,造成很大的自然灾害。

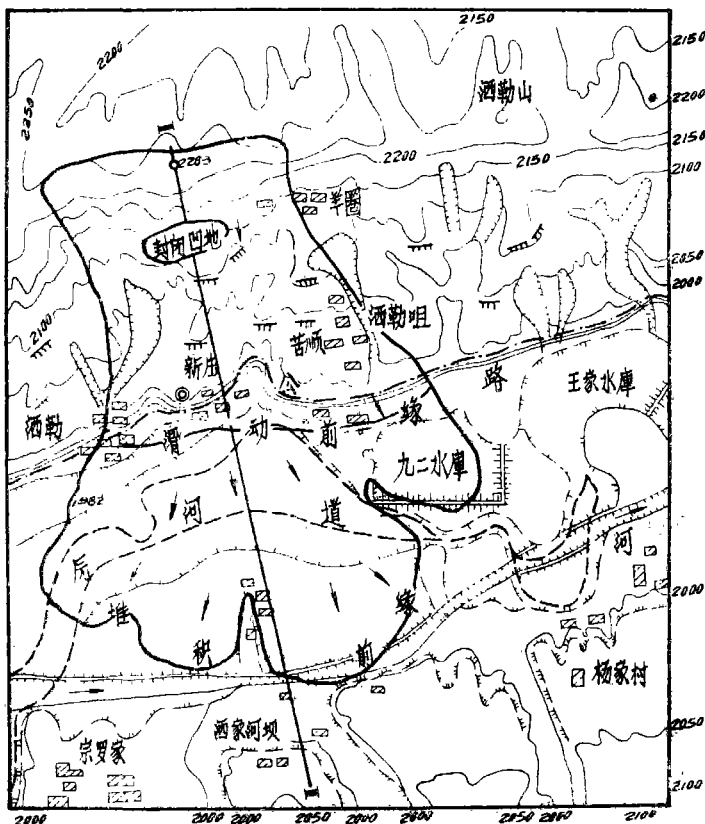
该滑坡是在古滑坡的基础上发生的,由于山体陡峻,黄土岩性松散,摩擦阻力小;地下水沿古滑坡裂隙和东西向构造节理渗入第三系粘土岩,形成软弱面;多年来,发育在各级阶地上的冲沟逐渐扩大,岩土流失,河流旁蚀,Ⅱ级阶地缩窄,起到卸荷作用,使山体逐步失去平衡而产生滑动。滑体上部为厚100余米的黄土地层。Ⅲ、Ⅳ级阶地后缘,滑床切入第三系红色地层,滑床顺Ⅱ级阶地第三系粘土岩侵蚀面滑动,由Ⅱ级阶地前缘坎下冲出地面。滑坡体主要为黄土,也刮裹了Ⅲ、Ⅳ级阶地下部少量第三系粘土岩。按滑体规模和性质应属大型重力式黄土滑坡。由于滑体大、滑壁陡、滑床短、阻滑段窄,当整个滑床贯通后,摩擦阻力显著变小,很高的位能转换为巨大的动能,以罕见的滑速冲出地面,覆盖在宽广的河漫滩上(见平面示意图)。

一、滑坡区地形地貌

那勒寺河自西向东流,河谷北岸分水岭高程2,283米,河谷底高程1,950米,高差达300余米。河谷内分布着四级阶地:Ⅰ级堆积阶地高出河床3—5米,在滑坡区内零星分布;Ⅱ级侵蚀堆积阶地,广泛分布在河谷北岸,高出河床20米,阶面高程1,990米,基座为第三系粘土岩。在滑坡区与河漫滩地平面,阶面宽一般30—50米。在九二水库稍上游呈三角形尖嘴伸入河漫滩,最宽处达200米。阶坎以下为九二水库岸坡地形。原公路沿阶面行进,新庄生产队10余户社员居住在Ⅱ级阶地公路南侧;Ⅲ级阶地在滑坡区东侧,高出河床50米,阶面宽50—70米,高程2,020米,苦顺生产队30余户社员,滑前居住在Ⅰ、Ⅲ级阶地斜坡台地上;Ⅳ级阶地高出河床120米,阶面高程2,090米,阶地前缘有第三系粘土岩出露,高程2,070米。Ⅳ级阶地后缘至分水岭全为黄土覆盖,滑坡区西侧半山坡

滑坡区平面示意图

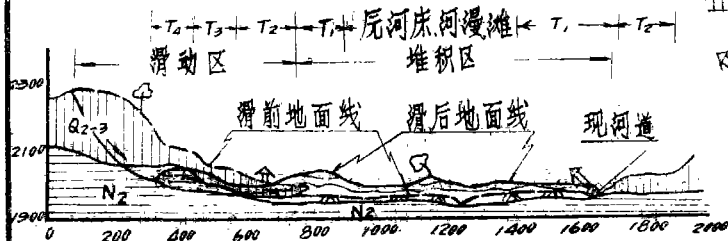
比例 1:25000



图例

- 房屋村庄
- 公路
- 堤坝
- 河道
- 水库
- 二级阶地
- 四级阶地
- 滑坡范围内地形线
- 滑坡范围
- 剖面线
- T_1, T_2, T_3
- 窑洞
- 防洪堤
- 引水沟
- 河道
- 一级阶地
- 三级阶地
- 地形线
- 冲沟

I—I 剖面图 (主滑方向)



Q_{2-3} 第四系黄土

N_2 第三系红层

滑坡前房屋和树

滑坡后房屋和树

T_1, T_2, T_3, T_4 分别一、二、三、

四级地面线

上,第三系橘红色粘土岩出露,高程2,120米。此线呈一台面,可能为洮河流域V级阶地侵蚀基座面。滑坡覆盖区内河漫滩宽500—800米,为滑前川地所在。原那勒寺河床位于河漫滩中部蜿蜒东流,1971年人工改道,河床移到南岸Ⅱ级阶地坎下。现代河床宽30—50米,河底低于河漫滩2—3米,高于原河槽1—2米。现滑坡区,滑面地貌已完全破坏,据1/50,000航测图和调查了解,滑坡区内东西各有大冲沟一条,两沟之间为梁崮地形,梁东西宽150—200米,南北长100—150米,梁面即为河谷Ⅳ级阶面,高程约在2,090米。梁后缘为高达200米的陡峻山坡,梁崮前缘为斜坡地形,其下即为Ⅱ级阶地。

二、地层岩性及水文地质

滑坡一带最老地层为上第三系,被第四系黄土广泛覆盖,第三系红色地层仅零星出露。

1、上第三系上新统临夏组(N₃)。在滑坡一带为红色、紫红色粘土岩夹砂砾石透镜体,总厚700米。岩层微北倾,倾角1°—3°。粘土岩坚实致密,遇水软化,失水后呈粒状,干裂,在滑坡区东、西两侧Ⅳ级阶地下部出露,高程分别为2,070、2,040米。西侧沟底红色粘土岩中夹数层灰色、黑灰色粘土岩,单层厚5—20厘米,顶面高程2,015米,滑坡后在河漫滩堆积的滑体上可见到此层。该层之上有地下水溢出。红色粘土岩本身透水性小,可视为隔水层,但节理、裂隙发育,节理间距0.3—0.5米,节理走向近东西,倾角直立。地下水主要通过节理渗流。

2、上新统临夏组(N₃)。岩性为橘红色、土红色粘土岩,半胶结,成岩作用差,裂隙部分为次生石膏充填。紧靠滑坡西侧Ⅳ级阶地后缘山坡上,粘土岩顶面高程2,120米,总厚80—100米;东侧山坡为黄土覆盖,第三系岩层没有出露。

3、第四系中更新统(Q₂)老黄土。仅在滑坡区东侧半山坡上零星出露,高程2,140米,土黄色,岩性较密实,节理发育。在滑坡壁下部(高程2,090米附近)粗略观察,仍为黄土。那勒寺河北岸为一系列滑坡。推测本滑坡区内,黄土沉积之前,第三纪粘土岩曾产生滑坡或遭受剥蚀,为一凹洼地形。黄土沉积厚度达200米(包括Q₃黄土)。

4、第四系上更新统(Q₃)新黄土。岩性灰黄、土黄色,疏松,具湿陷性,垂直节理、大孔隙发育。山坡岩溶发育,“枯井”、“陷坑”深度5—10米。新黄土成因复杂,以风积为主,两侧山坡多为坡积。厚度随古地形而异,一般10—30米,覆盖在老黄土之上。

5、第四系上更新统(Q₃)砂砾石。它分布于各级阶地的底部。Ⅱ级阶地第三系粘土岩之上砂砾石层厚1—2米,其上为15米厚的黄土。砂砾石之下,有微量地下水渗出,但不能成流。滑坡区西侧Ⅳ级阶地粘土岩之上,有河流相砂砾石,厚度1米,半胶结,高程2,050米,其上黄土厚10—15米。砂砾石底部有泉水溢出,流量0.01升/秒,水质味咸,为(N₃)粘土岩裂隙水所补给。

6、第四系全新统(Q₄)

砂砾石、砂壤土分布在Ⅰ级阶地及河漫滩之上,厚度3—8米,其中上部的砂壤土层厚2—5米。河漫滩一带地下水埋深1—3米,含水层为孔隙潜水,为河水所补

给。

滑坡区内梁崮一带出露地层，与滑坡区东西两侧Ⅲ、Ⅳ级阶地物质相同，出露高程也是一致的。

三、大滑动前的预兆

这次滑坡前预兆极其明显。早在3年前，滑体山头分水岭（高程2,230—2,250米）就发生了东西向断续的地裂。随着时间的推移，裂缝由小变大，互相沟通。到1983年2月份，滑坡裂缝已长达500米，宽达1米；1983年3月初，裂缝发展到两米，裂缝下错30—50厘米。处于Ⅲ、Ⅳ级阶地上的裂缝时隐时现，几天前的旧缝有时消失，有时又产生新缝，这是由于山体各部分蠕动速度的差异引起裂缝的变迁。1982年6月，位于滑坡下部的新庄生产队和滑坡东部的苦顺生产队的社员，发现窑洞和水窖变形；滑坡前4天，窑洞被挤扁，洞壁开裂；滑坡前两天，夜间可听到似牛吼声的壅壅。当地社队在1983年春节前夕，曾动员社员搬迁，但对滑坡的规模，特别是滑坡速度如此之快，认识不足，因而对搬迁决心不大，贻误了时间，造成了这次重大的灾害。总结预兆规律，搞好滑坡预报，已是摆在科学技术工作者面前的一个义不容辞的任务了。

这次滑坡，从山体开始蠕动到引起大滑动的间隔时间比一般常见滑坡长，原因是滑坡厚度大，主滑部位宽，滑面沟通需要较长时间的缘故。

四、滑坡形态和特征

主滑段滑床全部沟通后，在上部滑体的推动下，产生大的滑动。主滑段位于东西两冲沟之间，宽约400—500米，滑动方向SE175°。当主体滑动后，又牵引后缘大裂缝以南3—5米宽的土体。东西冲沟外侧的滑体，是主滑体滑动过程中受牵引下滑的。滑坡部分为一梯形槽。滑坡壁上宽700—800米，顶部高程2,230—2,240米。滑坡出口一带东西宽900—1,100米，出口高程约1,980—1,975米，南北滑床长500—800米。原山脊部分土体全部滑走，滑坡壁高达220米，滑壁中上部坡度45°，下部37°。滑坡壁下形成一个高程2,010米、长100米的封闭洼地和三条鼓丘带。

第一鼓丘带最高处高程2,070米，表面仍保持原山脊形态，反坡坡度15—25°；

第二鼓丘带位于原Ⅱ级阶地以南，高出附近滑体15—20米；

第三鼓丘带在原河漫滩中部，高出附近滑体10—15米。

当主滑体冲出地面后，呈放射状扩散，覆盖在Ⅰ级阶地和河漫滩地区。主滑舌前缘抵达南岸Ⅱ级阶地坎下，并将河床底部砂砾石以抗剪断的冲力铲起向南推移15米。南岸伸出的Ⅱ级阶地尖棱前缘，滑体受阻隆起，高出阶面6米。覆盖区从Ⅱ级阶地坎下起，南北长500—900米，东西宽1.7公里，覆盖厚度10—30米。滑坡区二条冲沟外侧滑体，大部分堆积在附近冲沟内，部分冲出Ⅱ级阶地以南。西侧呈尖棱状堆积在河漫滩上；东侧主滑体另一分支，形成宽约150米缺口的滑体推入九二水库，将原公路面推入九二水库内，滑距60—70米。Ⅱ级阶地前缘土体将库内淤泥、冰块挤出，滑土填满了大部分库

容。九二水库西侧与主滑床之间原Ⅱ级阶地尖棱部分，有长约80米阶坎安全无恙。西侧位于Ⅱ级阶地的洒勒生产队，向西南推移，滑距50—70米；位于Ⅳ级阶地主滑部位梁崴上的孤树，滑到河漫滩部位，滑距800—1,000米；位于Ⅱ级阶面上的房屋，推到滑体南部边缘，滑距最大为800米。

五、滑坡床位置与特征

这次滑坡是在老滑坡的基础上发生的，滑面位于老滑体的北侧山内，滑床上部切穿了山脊部分深厚的新老黄土地层。从滑坡壁外露情况看，总厚度达170米，梁崴（Ⅲ、Ⅳ级阶地）后缘，滑坡切入下伏第三系临夏组（N₂）橘红色、土红色粘土岩以及下部红色粘土岩。滑床在Ⅳ级阶地下部最低处，达到红色粘土岩之中的紫灰色、灰色粘土岩夹层以下，高程约2,000米附近。因该层岩性软弱，且有相对含水层，在河漫滩堆积的滑体上，也发现该层岩体。Ⅱ级阶地滑床则位于第三系粘土岩侵蚀基座面以上。关于滑坡出口，推测在Ⅱ级阶地坎下与Ⅰ级阶地之间，高程约1,975—1,980米附近，这主要是根据下列现象确定的。

- 1、滑坡速度快，滑床必然短，阻滑段小；
- 2、Ⅱ级阶地前缘陡坎为16—17米的临空面，下伏粘土岩侵蚀面与河漫滩地面平，有地下水形成软弱面；
- 3、Ⅱ级阶地上的住房，全部推到滑舌前缘，掩没的房子以南，再无任何滑体物质。

洒勒山滑坡的特点是：滑壁陡、滑床短、阻滑土体小、滑体在Ⅱ级阶地坎下。冲出地面后，下部受气垫效应，摩擦阻力小，滑体由高位能转化为巨大的动能，产生高速滑动。

六、滑坡速度的调查与分析

滑坡土体主要为第四纪黄土，滑体土方4,500万立方米（其中Ⅳ级阶地后缘山体2,000万立方米，Ⅳ级至Ⅱ级阶地之间1,500万立方米）；滑坡前后，土体重心下移170米；黄土天然容重约1.5吨/立方米；滑床长约500米。据调查，滑坡大滑动时间不超过2分钟，这次滑坡总能量为：

$$mgh = 1.5 \times 3.5 \times 10^{10} \times 9.8 \times 170 \approx 8.7 \times 10^{13} \text{ 焦耳。}$$

相当于一个100万千瓦电站运行一昼夜所发出的电力，结合地质条件及能量转换方程式推算，滑体脱离滑床时的速度如下：

$$mgh = umg\cos\alpha + \frac{1}{2}mv_1^2$$

式中， mg ——滑体总重量（牛顿）

h ——滑落高度（米）

α ——滑床平均倾角 25°

u ——摩擦系数, 取 $\text{tg}20^\circ = 0.36$

l ——滑床长度 (500米)

m ——滑体质量 (千克)

v_1 ——滑体脱离滑床时速度 (米/秒)

$$v_1 = \sqrt{2gh - 2ugh\cos\alpha} \approx 12 \text{米/秒}$$

由上式计算可以看出, 滑体脱离滑床后, 以每秒12米的初速度在800米长的河漫滩中运行。由于气垫效应, 滑体与河漫滩地面摩擦阻力很小, 滑体快速到达南岸。由于岸边受到冲击, 使临夏地震台测到一个相当于1.4级的地震, 能量为 8.5×10^6 焦耳。这个能量显然是由滑体动能引起的, 则 $\frac{1}{2}mv_2^2 = 8.5 \times 10^6$ 焦耳, 滑体末速度 $v_2 = 0.02$ 米/秒。

七、滑坡后的稳定情况

滑动后滑体由于岩性松散, 迅速解体散开, 且重心下降了170米, 现在滑体已处于稳定状态; 除滑坡壁外, 不会再产生大的滑动。今后, 滑坡主要问题是要有一个较长时间的固结下沉, 在自重作用下, 产生不均匀沉陷, 个别鼓丘周围松散土体可能产生坍塌。滑坡壁上部大于 45° 。后缘山坡有2—3条牵引裂缝, 距滑坡壁20—30米, 处于不稳定状态。该带土体将逐渐坍塌, 塌落土体抛撒范围估计不会超过封闭洼地。滑坡区东西两侧影响带宽30—50米, 张扭性裂缝很多。当滑体下滑后, 周边形成沟槽, 影响带土体向沟槽蠕动坍塌, 地面下沉, 处于不稳定状态。根据上述情况, 新建居民点, 应选在滑坡体范围之外, 宜分散布置。如在滑坡区建设临时住房, 应远离滑坡壁, 安置在封闭洼地以南和两侧影响带范围之外。正式公路也应布置在封闭洼地以南。封闭洼地附近目前不宜平田整地, 修建梯田。砖木结构的永久住房, 当前不宜建在滑坡和覆盖区, 主要是基础将不均匀沉陷, 滑体松土厚度不清, 需勘探查明。如建在滑坡区, 地基应预先浸水湿陷, 然后分层翻夯, 以免事倍功半, 欲速则不达。

结束语

酒勒山滑坡以高速滑动震惊海内外, 去现场考察者众多。对于滑坡成因、滑床位置、滑坡出口, 众说纷纭, 提出各自推测, 尚待进一步勘探证实。本文是根据现场表面观察和向部分群众访问了解所得资料写成。由于缺乏滑坡前后地形资料, 滑坡范围系估测。文中提出的高程系铁道科学院西北研究所用气压计所测, 也待修正。