

# 从洒勒山滑坡的发育过程 探讨黄土区巨型滑坡的预测预报

吴其伟 刘新民

(中国科学院成都地理研究所)

1983年3月7日下午5点46分,甘肃省东乡县洒勒山发生了巨型黄土切层滑坡。顷刻间,整个山体从相对高差300多米的山顶推向那勒寺河河漫滩阶地前缘,并越过那勒寺河,堵江壅水成湖,造成了我国北方黄土区罕见的灾难。

我们通过现场考察,认为洒勒山滑坡虽然规模巨大,滑动时间短暂,造成后果严重,然而该滑坡酝酿过程是相当长的,是该区地层岩性、河谷地貌,特别是地下水,九二水库回水,长期共同作用的结果。这类滑坡在我国西北黄土区具有代表性。根据这些认识,从洒勒山滑坡的发育过程探讨西北黄土区滑坡的预测预报,对解决黄土区兴建水利工程的边坡稳定性问题,有着重要的意义。

## 一、洒勒山滑坡形成的区域地质背景

那勒寺河发源于东乡族自治县以南的黄土梁峁沟谷,展布于近东西向的宽谷中,向东在广河镇汇入广通河后折向东北,在辛甸附近汇入洮河,再折向北西在刘家峡附近汇入黄河。

那勒寺河在洒勒山附近发育着开阔的河漫滩阶地和高陡的四级古阶地(图1),它们的概况:

**河漫滩阶地**高出现代河床5—7米,阶面宽400—600米,阶地由近代河流砂土、砂卵石层组成。地下水埋

深接近地表,由那勒寺河侧渗补给和九二水库回水补给。地表形成大面积的沼泽湿地,当地群众叫“海绵地”,为本次滑坡运动创造了良好的水文地质条件。

**I级阶地**高出现代河床10—15米,阶面近于水平,宽50—200米不等。前缘犬牙交

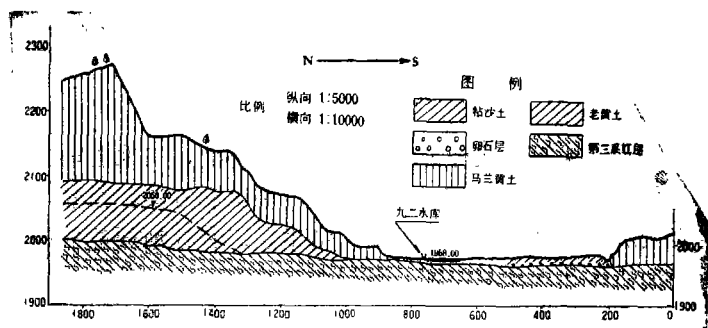


图1 洒勒山自然斜坡剖面图

错与漫滩阶地呈陡坎接触，并可见到垂直节理、黄土柱、黄土石笋、天生桥、溶洞、竖井等黄土地貌。由马兰黄土组成基座，其上残留少量砂砾石。基座之下为中更新世冲洪积粘土或第三系红色粘土岩风化而成橘红色粘土。这些粘土层，湿可塑，具滑感，是滑坡形成的软弱结构面之一。

**I级阶地**高出现代河床20—25米，阶面狭窄，宽30—50米，被后期流水改造，保存不完整。前缘与I级阶地呈陡坎接触，黄土柱、垂直节理、竖井等相当普遍，山体结构已遭破坏。

**II级阶地**高出现代河床80—100米，阶面宽80—120米，全由马兰黄土组成。山体内部可能为老黄土或第三系粘土岩。这些不同岩性的交界面估计为潜伏的滑动面。据滑坡堆积物岩性判断，老黄土中部是滑动面的可能性最大。

**IV级阶地**（二坪、即指苦顺村平台）高出现代河床180米—200米，阶面宽250—350米，是洒勒山滑坡的主体部分。阶地物质组成：上部马兰黄土，中部老黄土，下部新第三系红色粘土岩、砂砾岩间夹泥灰岩。这些组成物质的岩性：

马兰黄土结构疏松，垂直节理发育，大孔隙构造极为明显。从滑坡东侧完整的阶面上可见到黄土竖井，直径3—5米不等，井深5—10米，最深可达30米。冲沟两岸可见到垂直陡壁和黄土柱。这些岩溶竖井、垂直节理裂隙的存在和发展，为降水、雪水的聚集和向下渗透创造了良好的条件，从而使黄土层中的地下水被快速疏干，提高了物理力学性质，使得黄土高陡边坡得以保存。这为本次巨型黄土滑坡的产生奠定了雄厚的物质基础。

浅棕红色粘土（老黄土 $Q_2^{L-PL}$ ）。浅棕红色粘土较致密，呈块状，层理不明显。裂隙发育，产状分别为NE55°，∠75°和NW195°，∠86°，裂隙宽3—5毫米，至深部逐渐变细。从两组裂隙的产状要素判断与区域性构造线方向一致，可能属构造裂隙经后期风化流水作用改造的结果。这些风化构造裂隙的存在和发展，致使上覆黄土层中地下水下渗，进入老黄土中下部。随着裂隙的逐渐闭合，地下水富集起来，形成老黄土中粘土裂隙潜水，在洒勒山滑坡东西两侧的冲沟中见泉水从该层中涌出（海拔高2,050米）得到证实。据调查，泉水受降水、降雪影响有周期性的变化。老黄土中不多的裂隙潜水的富集，足以使土层的物理力学指标降低，形成新的软弱带。这是本次滑坡产生极为重要的因素之一。

除此以外，在IV级阶地以上还有100余米厚的马兰黄土，地貌上形成陡坡，黄土地貌景观亦相当明显，因厚度大、位置高，为本次滑坡形成储备了巨大的驱动力。

在老黄土之下尚有新第三系橘红色的粘土岩、砂砾岩间夹泥灰岩，它们对本次滑坡形成影响不大，讨论从略。

## 二、洒勒山滑坡的发育过程

洒勒山滑坡的发育过程，也就是该滑坡发生、发展与演变的历史。直到目前为止，对洒勒山滑坡的成因及诱发因素，不同学者持有不同见解。就地下水对洒勒山滑坡成因的影响而论，认识上是一致的，但地下水如何影响滑坡，其通过的途径却各家说法不

一。我们认为,对该滑坡发育的全过程进行探讨,有助于上述问题的解决。现将酒勒山滑坡的发育过程划分为酝酿阶段和滑动阶段。

### (一) 滑坡酝酿阶段

现今酒勒山滑坡西侧,观察到Ⅱ级阶地后缘(海拔2,000米左右),有反翘的、结构疏松的砂砾石层。在海拔2,050米观察到现今酒勒山滑坡西侧边缘(酒勒村后山),有呈块状分布、结构致密的老黄土,断裂面不甚新鲜,风化较强烈;联系到酒勒村以西Ⅳ级阶地以上地形向两侧呈弧形展布,构成圈椅状的滑坡地貌景观;那勒寺河从胡朗沟突然折向东南,直到尕都坪,深切于酒家河坝西侧的黄土Ⅰ级阶地,形成宽5—10米的峡谷。由此推测酒勒山以西,从酒勒至胡朗沟一带,历史上曾一度发生过古滑坡作用,迫使那勒寺河向南迁徙,并堵江壅水成湖;以后湖水切穿宗罗家一带的黄土阶地而外泄,河水绕酒家河坝后又折向北东,回到早期的流路上。

这一古滑坡的作用对酒勒山滑坡的影响有二:一方面使酒勒山滑坡西侧岩层松动错位,

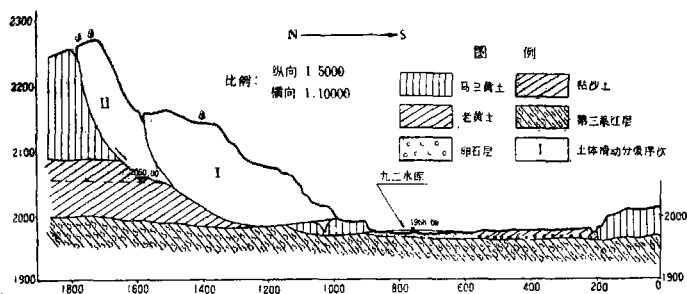


图2 酒勒山自然斜坡分级滑动分析剖面图

为地下水的垂直贯通创造了良好的通道,加速了酒勒山滑坡发育的进程;另一方面正是古滑坡作用,使得酒勒山西侧高陡岸坡储备的位能释放。因此,当酒勒山发生滑坡时,西侧属古滑坡复活部位,滑坡推力小,滑距亦小,酒勒村遭受滑坡灾害相对较轻。

酒勒山附近的天然斜坡滑动以前,宽缓的各级阶地面,可与东侧相应同级阶地对比,高程上无明显差异,前缘Ⅰ、Ⅱ级阶地向外突出的三角体保持相对完整;地层结构上无明显错位,实属未遭受破坏(古滑坡作用)的天然斜坡。那么酒勒山滑坡是如何形成的呢?其发展过程如何?

据现场调查访问,该滑坡的酝酿阶段达数年之久。早在七十年代后期,酒勒山山脊线就出现长达数百米的走向裂缝,1980年左右经县有关部门实地测量,裂缝发展长达1,000余米,分析造成地裂缝的原因有二:1、从Ⅳ级阶地到九二水库水边线相对高差近200米,有比较高大的自重压力作用,在Ⅱ级阶地以下的土体承受不住自重压力引起的推力作用时,土体内部就产生剪切挤压变形;2、Ⅳ级阶地中下部的老黄土层,为本区区域地下水位(标高2,050米左右)经长期浸泡软化,大大降低了老黄土的抗剪强度,形成新的软弱剪切带。而这个软弱剪切带是漫长的地质年代中逐渐形成的,并且与前一原因的自重压力挤压带互为一体,是二者长期共同作用的结果。酒勒山山脊线出现的地裂缝,正是Ⅳ级阶地内部变形在地表的反映。

今年3月2日,Ⅲ、Ⅳ级阶地上地表面出现裂缝,房屋、水窖发生变形错位,当地

干部群众已意识到一场大的走山灾害即将开始。公社干部动员群众搬迁，撤离危险区。由于群众对滑坡知识缺乏了解，一部分群众存在侥幸心理仍未搬迁，一部分群众搬到Ⅰ级阶地。事过120小时的3月7日下午5点46分，就发生了规模巨大的快速滑坡，仅1分多钟时间内就完成了快速滑动过程。整个Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级阶地上四个生产队，埋于滑坡体之下，造成我国黄土滑坡史上罕见的灾难。

从上述滑坡酝酿阶段时间因素考虑，大致可以划分出两期：缓慢挤压变形期和快速剪切变形期，前者长达数年之久，后者仅120小时。两者具有前因后果的联系。

## （二）滑坡的滑动阶段

该滑坡在长期的酝酿阶段完成之后，就进入快速滑动阶段。此时Ⅳ级阶地以下的土体，切层于老黄土中下部，沿Ⅱ级阶地前缘剪出，证据有二：1、沿Ⅱ级阶地（公路内侧）滑坡体两侧，观察到纵张裂缝，并在西侧可见到松散的河谷砂砾石层，成40°反翘内倾；2、Ⅱ级阶地以下的Ⅰ级阶地向外凸出部分（抗阻段较长部分），却保持完整稳定。滑体越过Ⅱ级阶地后，因受九二水库（海拔高程1,968米）回水浸泡软化的影响，在阶面狭窄的凹岸部位（抗阻段短），在后面滑体强大的推动力作用下，卷起Ⅱ级、Ⅰ级阶地底部的老黄土进入河漫滩阶地（海绵地）之上。河漫滩阶地虽然近于水平，但是因九二水库回水的影响，造成大面积湿地、沼泽，当滑体向前推进时，形成的超孔隙水压力作用，大大降低了摩擦力，致使滑舌向前越过那勒寺河。在那勒寺河地段滑舌置于冰层之上，摩擦阻力最低，有利于滑动，在不大的推动力作用下，滑舌直抵对岸Ⅰ级阶地才受阻停止。滑体进入河漫滩，沿地表向前滑移或接近地表滑移，也就是说滑床不是在河漫滩阶地卵石层与第三系红色泥岩的交界面上，其理由是：1、从滑坡堆积物组分看，Ⅳ级阶地的堆积物滑移约800米，最前缘停留在那勒寺河，幸存者马文义抱着柳树随滑体一道位移，现今这棵柳树尚存在那里。从这棵柳树再向前200—300米处，见有Ⅰ、Ⅱ级阶地下部的红色粘土（即老黄土），翻转陡倾，潮湿可塑，未见到水平层理。层面上有少许砂砾石，这与第三系粘土岩判若两样，而从该点到滑体最前缘100米左右，如若是滑体的滑动面沿河漫滩阶地与第三系粘土岩顶面进行的，那么在100米远的范围内，要堆积长800米、厚约10米的漫滩阶地堆积物，从方量上估算，是远远不够的。2、从洒勒河坝（近滑坡体主轴方向）滑体前缘，见到滑舌铺盖于漫滩阶地之上，其交界面下却根本见不到任何变形迹象，因此滑面接近地表的可能性最大。

该滑坡在运动过程中的分级分块问题，是一个值得探讨的问题。该滑坡具有纵向上分级、横向上分块的特征，从自然斜坡分级滑动分析图（图2）看，此次滑动大致可分为：包括Ⅳ级阶地在内的斜坡中下部剧滑部分；Ⅳ级阶地上方陡坡的被牵动部分。当剧滑部分到达Ⅰ、Ⅱ级阶地受到犬牙交错的陡坎影响，统一的滑体在横向上分解为两支：东支越过Ⅱ级阶地插入九二水库；中支推动Ⅰ、Ⅱ级阶地伸入河漫滩后，Ⅳ级阶地上牵动部分接踵而来。与此同时，剧滑部分的上覆马兰黄土越老黄土顶面而过，于那勒寺河停息。这还可以从苦顺村柳树滑移距离和滑体东侧出现在地表的老黄土得到证实。中支推动Ⅰ、Ⅱ级阶地向前滑移时，还受到洒家河坝西侧Ⅰ级阶地三角体的阻挡，解体成两部分，即三角体以东属中支的一部分；以西成为一支，停留于宗罗家对岸河漫滩阶地上。整个滑坡因分块而呈扇形展布，平均厚度30—40米，各解体部分的相对位移值约

800米。滑坡范围东西宽1.7公里，南北长1.6公里，滑体总方量估算约5,000万立方米。

据幸存者马文义同志口述，他从Ⅳ级阶地拖柳树滑到停止的位置，水平位移是800米，估计时间最多一分多钟。由此估算，该滑坡刷滑段的平均速度为10—13米/秒，最快（以30秒计）不超过30米/秒。又据幸存者洒同志口述，走山前他在河滩地种地，突然“走山”了，当他跑到那勒寺河对岸近山边，滑坡已追到跟前。他在河滩地上跑的距离约400米，如若他每跑100米用时间30秒估算，则滑体前缘的平均速度为3—5米/秒。

综合上述，从滑坡的发育过程不难看出，影响洒勒山滑坡发育的一切自然因素中，最主要的因素是老黄土中部的潜水。它在滑坡形成之初（缓慢挤压变形期），仅起到浸泡软化土体的作用，促使软弱结构面的形成。同时还必须指出，这种作用是长期的累积性的，是该区地下水天然流路相对稳定的情况下进行的；它在滑坡酝酿阶段的后期——滑坡快速剪切作用期和快速滑动阶段，随裂缝拉裂而改变流向，增大了水力坡度所引起的动水压力作用。快速滑动中所引起的超孔隙水压力作用就显示出来，仅从3月2—7日约120小时，贯穿了Ⅰ级阶地以上的滑面，促使该滑坡高速度沿Ⅰ级阶地前缘剪出。

在沿主滑方向附近的Ⅰ、Ⅱ级阶地，阶面狭窄，抗阻段短小，又经九二水库长期浸润软化，在后部刷滑部分的强大推力作用下，插入Ⅰ、Ⅱ级阶地下部的浸润软化带向河漫滩阶地推进。滑体进入漫滩阶地，因沼泽、湿地的地下水位接近地表，超孔隙水压力作用促使滑舌伸入那勒寺河，直到对岸受阻而结束了滑坡的全过程。

### 三、西北黄土地区巨型滑坡的预测预报

洒勒山滑坡的发生发展与演变过程，为我们预测预报黄土区巨型滑坡的产生，提供了极为珍贵的类比资料。从洒勒山产生巨型滑坡具备的条件来看，有以下几方面可作为巨型滑坡产生的标志：

1、**气候环境方面**。东乡亚干旱区的气候条件，使天然斜坡保持有较高的土体强度，为保持黄土地区产生巨型滑坡的急斜坡坡形提供了条件；

2、**地貌条件方面**。洒勒山自然斜坡，具有台阶状的坡形（河流阶地），距坡脚180米高处，有Ⅳ级阶地的宽平台（宽300—350米）。这样的坡形为巨型滑坡高速滑动储备了足够的势能条件；

3、**地层岩性方面**。洒勒山斜坡组成，上部马兰黄土，中部老黄土，基底为新第三系粘土岩。滑坡滑面发生在上覆两类土层中，或老黄土与第三系粘土岩交界面上的可能性大，而在第三系岩层中的可能性小（有构造作用时例外）；

4、**水文地质方面**。地下水的作用是这类滑坡产生极为活跃的因素，地下水位是揭示滑面位置的主要标志之一。它在滑坡酝酿阶段前期起浸泡软化作用，后期起动水压力、剧滑时起超孔隙水压力作用。在河漫滩沼泽、湿地中也起超孔隙水压力作用；

5、**人为活动方面**。九二水库兴建，浸泡了坡脚抗滑段，对坡脚抗滑力有一定削弱，在加速老黄土层中滑面的形成起了促进作用。

从这几个方面的条件不难看出，在黄土区，遇到台阶状的极陡岸坡，特别是较高

位置有高平台，地下水又出露在高平台中下部，是需要加倍注意的。在这些地方更需要注意不恰当的人为活动，诸如兴建水库、傍山渠道等。

就洒勒山滑坡的发育过程和变形标志，给我们在时间上预报提供了重要信息。该滑坡体内部的变形破坏和地表变形迹象，具前因后果的联系，在黄土地区有一定代表性，可引伸应用。按其发育过程可划分为二个阶段：

**(一) 坡体累进性破坏酝酿阶段。**这一阶段又分两期：

1、缓慢挤压作用酝酿期。这标志着滑带形成的地方已出现明显的累进性的变形破坏，山体出现单一方向的地裂缝，但滑面尚未贯通，仍存在着强度较大持力段（锁固段）。由于地面有了明显的变形标志，它容易被人们所察觉。这一期延续时间最长，洒勒山滑坡发现山脊上出现裂缝达数年之久。

2、快速剪切作用酝酿期。这是滑坡将要产生剧烈滑动的前兆。这一期历时短暂，地表反映出裂缝加宽、加深和垂直错位，滑面持力段逐渐减小，地下水流向和水力坡度急剧改变。洒勒山滑坡，在这一期所经历的时间是从3月2—7日（120小时）。这一事实为我们临滑前进行时间预报，提供了重要的类比资料。

**(二) 快速滑动阶段。**洒勒山滑坡，在这一阶段历时仅一瞬间，据幸存者口述，约一分多钟。这一事实告诉人们，必须在此阶段以前搬迁撤离滑坡区；否则为时太晚，将造成重大损失。

通过这两个阶段，地表变形标志迹象使我们更加清楚地认识到，象这类巨型黄土滑坡空间分布范围是有规律的，时间延续上是分阶段的，只要掌握其规律和发展阶段，滑坡就可预防。当人们在认识自然、改造自然、进行山区建设的时候，千万不要忘记这个历史的教训。

以上讨论了黄土地区产生滑坡的空间预报、时间预测问题。但对于幅员广阔的黄土分布区，因自然条件是会有差异的，人类活动的规模、方式和时间亦有很多不同之处，因此不能简单的一概而论，需要作具体分析。就总的情况来看，这些共同的规律，在西北黄土区还是适用的。

本刊1983年第2期刊登的《四川省水土保持工作实施细则》，是四川省水利电力厅水土保持办公室的报审稿，四川省人民政府修改后已颁发试行，并在实践中逐步充实、完善。