

试论洒勒山滑坡机理

傅传元 刘光代

(铁道部科学研究院西北研究所)

在兰州以南60余公里(直线距离)的甘肃省东乡县果园公社发生了洒勒山滑坡,因其速度快、范围大以及造成的伤亡人员多而成为近些年来我国自然滑坡直接伤亡最严重的事件之一,同时也引起了各级政府和社会各界的关怀和重视。

象洒勒山那样的滑坡,在我国西北、华北黄土地区并非罕见。青海省龙羊峡水坝上游的查纳、陇海铁路沿线1357^k、1358^k、1398^k、宝成铁路122^k、渭河左岸卧龙寺新滑坡等,无论从规模和性质上都和洒勒山滑坡有许多相似之处。对于这类滑坡产生条件和作用机理,国内外虽有研究,但系统报道所见不多。

此次我们在洒勒山滑坡产生后数天内,几度前往现场调查,对该滑坡的变形过程、产生条件和因素、滑坡微地貌特征有了初步的认识。现将这方面的认识整理成文,并就该滑坡的机理提出粗浅的看法。

一、滑坡变形过程及特点

洒勒山滑坡的急剧滑动发生在1983年3月7日下午5时46分。据当地群众回忆,其急剧滑动的历时很短,一般估计在1分多钟内,主体滑动即行停止。

滑动开始时,在滩地及河对岸劳动的农民首先感到地动,紧接着在滩地干活的农民即沿滑动方向跑动,仅跑几十步(未能躲及的即被掩埋)即见山头下坐,然后山坡及坡麓一带迅即向前移动。滑动过程中,村舍、居民除被埋没者外,亲临其境的幸存者普遍反映,滑动时他们基本上是在空中飘流,腾越向前。例如,一名居住在苦顺村的农民感到地动时急中生智,当即抱住大树,一刹那间,大树被飞至800—1,000米外而未倒伏(仅见向山倾斜),此人亦免遭惨亡。另有新庄一老妇人手提一篮鸡蛋,刚出家门山体即动,便任其顺坡飞滑,抛至800米外而幸存。经过这次滑动,处于滑坡范围内的果园公社宗罗大队的洒勒、苦顺、新庄、达浪四个生产队84户农民有70余户生命财产遭到了毁灭性破坏,死亡200多人,伤20余人。在滩地劳动的鲁鲁木生产队社员十几人亦被埋入滑坡体内,滑坡穿过的公路、水库引水渠、通讯线杆全遭摧毁,前缘河道堵塞,九二水库亦为滑坡物质所淤积填死。总之,洒勒山前南北1,700米、东西1,600米范围内,整个地貌全然改观,村舍、民屋荡然无存,原先层层梯田及滩地,顷刻间为一片土海所取代。

据访问,洒勒山滑坡滑动前,各种先兆甚为明显。现今的滑坡壁位置,早在1979年9—10月间即见“山头开裂”。最先在山梁之西北部出现宽数厘米左右的拉张裂缝,大致以北东东方向断续延伸达100余米,同时见到苦顺村后缘也有近东西向裂缝。之后,裂缝

不断加宽、延伸，至1982年5月，山顶裂缝已加宽至20厘米左右。一直到今年2月，裂缝更见加宽，并向东部山头延伸；同时，苦顺村农民家用水窖出现南北方向的压扁、变形。3月2日曾感到地动，3日听到山体震动发出的沉闷如牛叫一样的吼声，同时出现泉水变浑等现象。此时，山顶东部裂缝不断延长，山脊裂缝已加宽至70厘米左右（农民说，当时还能跨过去），其后，裂缝以每昼夜数十厘米的速度不断加宽。至5日，裂缝已宽达1米以上（农民说，需跳跃才能越过）。7日下午2时，裂缝更见扩大，深不见底，向缝内扔土块长时间才能听到回声，遂于当天下午5时46分发生整个山坡（并切过山顶分水线）急剧下滑。剧滑停息后，沿山顶裂缝形成高220余米、坡度达70°以上的高陡滑壁。其后数天内沿滑壁仍不断发生土体坍塌现象。20多天后，土体坍塌仍未完全停息。在距坡顶外40—50米范围内，拉张裂缝仍在不断张开和下错。滑坡东西侧壁处受影响地段，裂缝也有发展。所有上述迹象，显示了滑坡壁部的不稳定状态。

总的看来，洒勒山滑坡的变形过程具以下特点：

- 1、先兆明显；
- 2、急剧滑动经历时间短，滑动速度非常快；
- 3、滑坡涉及的范围大，尤其是堆积区覆盖面积大；
- 4、剧烈滑动时，除主滑部分外，滑体当其脱离滑床后即以微小俯角“飞飘”向前。

二、滑坡产生的地质地貌环境

洒勒山滑坡位于东乡县果园公社驻地以西3公里处，那勒寺河左岸洒勒山坡麓。洒勒山主峰海拔2,283米，山前那勒寺河海拔约1,950米，地形相对高差333米。那勒寺河谷内发育了宽达800米的河漫滩和四级河流阶地。梯状地形是当地地形的特点之一：

河漫滩，相对高4米。基座面高出水面1米多。基座由第三系泥岩组成，其上为近代河流冲积物，厚1—2米。

第Ⅰ级阶地（ T_1 ），相对高7—8米。该阶地在滑坡区附近河流两岸零星分布，宽度很小，仅在上、下游地段见到，宽度一般在数十米以内。 T_1 属基座阶地，第三系泥岩组成阶地的基座，其上覆盖有3—4米厚的新黄土。

第Ⅱ级阶地（ T_2 ），相对高20米，绝对标高约为1,970米。 T_2 在河流两岸都有分布，保留尚为完整，其宽窄不一，最宽可超过200米（如滑坡体左侧一带及滑坡正面所对之河流右岸呈咀状伸出之台地），较窄处也有数十米至百余米宽。滑坡破坏前，当地新庄、洒勒村所在平台即属 T_2 平台。 T_2 亦属由第三系泥岩构成基座的基座阶地。基座面标高约1,954—1,958米，高出河水面约4—8米，其上覆盖了约12—16米第四系黄土。

第Ⅲ级阶地（ T_3 ），相对高60—70米，绝对标高2,010—2,020米。该级阶地在河流两岸每有存在，但宽度不大，多在100米以内。该级阶地在本滑坡对岸山坡保存完整。

第Ⅳ级阶地（ T_4 ），相对高140—150米，绝对标高约2,090—2,100米。该级阶地在河流两岸呈不对称分布，滑坡区附近主要在左岸保存较好，但局部已遭山坡滑动而有

变位。T₄亦属基座阶地，第三系泥岩组成基座，基座标高2,013—2,020米，其上覆盖有70—80米厚的黄土。原苦顺村所在平台即属之（“苦顺”系东乡语，意即山咀子，说明原苦顺村即位于Ⅳ级阶地之山咀上）。

当地出露的地层主要包括：

1、上更新统（Q₃）马兰黄土，又称新黄土，浅灰黄色，粉砂质，结构疏松，较均一，无层理，具孔隙，柱状节理及陷穴发育，地表溶蚀现象较为严重。这种黄土主要分布于山顶及谷坡表面，厚度数米至数十米不等；覆盖在低阶地的黄土厚度较小，盖于高阶地及山顶部位的厚度较大。

2、中一下更新统（Q₁₋₂）石质黄土，又称老黄土，微红色，泥质—泥质粉砂土，略见成层性，垂直节理发育，半胶结—胶结。该层黄土与马兰黄土的重要区别是结构紧密，硬度大，干时难于捏碎，断面光滑，分布在高级阶地和分水山脊地面以下数十米深处，一般厚数十米不等。该石质黄土内部夹有数米厚、成分和粒径不一的砂砾石层和绿灰—浅灰色砂粘土层透镜体。

3、上第三系（N₂）临夏组第三段（N₂L₃）泥岩，紫红—棕红色，成岩差，可见近似水平的岩层产状。该层裂隙尚发育，干时坚硬，遇水后软化，可呈粘泥状。该红色泥岩组成河漫滩及各级阶地之基座，其标高随阶地而向山坡方向逐级升高。据露头观察，各级基座顶面标高为：漫滩1,952米；Ⅰ级阶地1,958米；Ⅳ级阶地2,020米；山脊一带为2,050米左右。

当地构造特征是，近东西向构造和近南北向构造表现清楚。由于尚未查到充分的地质证据，只能从地貌和水文地质特征上予以推测。从地貌上，洒勒山山脊线及那勒寺河谷大体作东西走向，那勒寺河诸支沟均以近南北方向彼此平行分布，主流和支沟呈垂直相交。另外，那勒寺河左岸在果园公社驻地的上游一带谷坡很不稳定，古老滑坡和现代滑坡接踵分布。这些滑坡的后壁一般多作直线状延伸，它们经剥蚀后呈现明显的三角面。从地下水出露情况看，滑坡区附近几条小沟沟头均有裂隙水出露，它们的连线近东西方向。此外，第三系红层内还有包括由北西32—38°/北70°和北东50—54°/90°节理组成的“x”共轭节理在内的构造节理存在，其所反映的构造应力场特征亦与区域构造总表现一致。

以上地质结构强烈控制了本区的水文地质条件：

首先、在疏松的马兰黄土和致密的石质黄土之间可以构成相对隔水层。但由于石质黄土的垂直节理发育，故也具透水性，因此，坡体内未见沿新老黄土接触面出露的地下水；

其次、新老黄土与第三系红色泥岩层之间为一主要隔水层，地下水一般汇集在泥岩层顶部；

第三、老黄土中的砂砾石层和砂粘土层透镜体的存在，对坡体内局部地下水分布也起一定作用；

最后、由于古老滑坡的多次活动，使岩体内产生了新的破裂面。十分破碎的滑体物质更加强了表水下渗作用。由于古老滑坡活动仅涉及到新老黄土层，故其下伏的红粘土岩顶部更能集中大量地下水。

由此分析可以认为，第四系黄土与第三系红色泥岩的接触带是坡体内最主要的含水带。其地下水来源主要来自当地大气降水，同时也可接受区域基岩裂隙水的补给。在正常情况下，渗至坡体并在红色泥岩层顶面汇集的这部分地下水将向那勒寺河床排泄。当大气降水骤增、河水猛涨或人工抬高斜坡的局部侵蚀基准面时，排泄速度将要降低，并造成泥岩顶面地下水的大量积聚。

三、古滑坡问题

从区域地貌看，那勒寺河左岸谷坡从果园公社驻地向西二三十公里范围内古滑坡成群分布。洒勒山南坡坡前同样显示有典型的古滑坡迹象。据1/50,000的地形图判释，该处地形等高线呈弧形外凸，反映了山坡坡麓线（Ⅰ级阶地以上部分）的不正常外凸，表征了古老滑坡的存在。

由于古老滑坡的作用，使原第Ⅳ级阶地下错大约20—30米。目前，在西侧胡朗沟一带仍可见到古滑坡壁的残余部分（此古滑坡壁向东延伸部分已被这次滑动破坏）。胡朗沟左侧山脊有一个标高为2,060米的山包，它是第Ⅳ级河流阶地下滑的结果。

可以看出，该处古老滑坡曾经经历过多次活动。其最近一次滑动发生在Ⅰ级阶地形成前。当时洒勒山一带处于那勒寺河的冲刷岸（这一点可以由Ⅰ级阶地的分布情况得到证明），由于具备有前述地质结构条件（上部疏松、透水的第四系黄土，下部致密隔水的第三系泥岩），坡体内部的地下水主要汇集在第三系泥岩顶面并使其软化，再加之河水强烈冲刷，便造成以当时的河漫滩（即现在的第Ⅲ级阶地）为剥蚀基准面的古滑坡作用。其出口高度在2,013米左右。此次滑动主要涉及到第Ⅳ级河流阶地，其范围也是有限的。

四、滑坡微地貌特征及滑体物质组成

洒勒山南坡经历了这次剧烈滑动后，原有阶梯状地貌遭到彻底破坏，形成今日由台洼相间地貌（滑动部分，即主滑区）和波状起伏的“土林”地貌（覆盖部分）组成的滑坡微地貌。

（一）滑动部分

滑动部分之后部以破裂壁为界，前部至原洒勒、新庄生产队所在Ⅰ级阶地前缘陡坎，两侧受滑坡左右侧壁控制，总面积约0.8平方公里。其微地貌形态如下：

1、主滑壁。东西长800米，高220—240米（顶部标高约2,240—2,260米，坡底标高约2,020米）。坡度70°左右。因滑动后进一步坍塌，使滑坡壁迅速夷缓而呈上陡（70°）下缓（50°—60°）状。在整个滑坡壁上曾清楚地表现有指向南5°东的滑动擦痕，其指向相当稳定。组成主滑壁和稳定部分的主要物质，上部（标高2,130米以上）为马兰黄土，2,130米以下因被坍塌体覆盖而未见露头。

2、滑坡侧壁。在滑动部分两侧，以南5°东方向平行延伸。从裸露部分看，主要是由马兰黄土构成，未见其它地层。仅在西侧壁所保存的山梁上，于2,130米高程以下

可见微红色石质黄土。滑坡侧壁向南延伸部分，或为滑体物质超越覆盖，或受局部坍塌（如东侧壁处）而致破坏。

3、主洼地。东西长500米，宽50—60米，洼地底部标高为2,020米（随着后壁的不断坍塌，底部标高在不断提高）。洼地内部全为马兰黄土所充填，结构极疏松。

4、主平台。位于主滑壁下。平台顶面标高2,080米，与主滑壁顶部垂直高差160—180米。此平台以 -6° — -17° 反坡倾向山里，并与内侧主洼地相接，沿滑动方向宽100余米，东西方向长250—300米。该平台在中段表现完整，向西、向东未贯穿整个滑坡。平台正面向河倾斜 42° 。平台表面由马兰黄土组成，下部为微红色石质黄土。这种物质组成可以从平台前部陡坡所露出的岩层情况看到。主平台总体积约500万立方米。

5、次平台。位于主平台下。在临时公路以北，主平台以南，滑坡左侧部有一低矮台地。此台地系从原苦顺村方向滑落下来。平台上树木除有倾斜外，一般未遭破坏，说明在位移过程中的整体性。主平台与次平台之间为一深度和范围不大的洼地，此即次洼地。另外，在临时公路以南120—150米处有一标高为2,000米的台地（地面有一大树向山倾斜约 50° ，故称它为小树台地）。

6、次生坍塌。滑坡经历整体滑动后，局部应力调整作用使在一些陡坡地段和原有的台坎一带产生一些次生坍塌。其中主要几处为：主滑壁壁部的一系列坍塌；滑坡东侧壁壁部坍塌；主平台正面陡坡的坍塌；临时公路一带（即原Ⅱ级河流阶地前缘陡坎位置）的坍塌。

7、地面鼓胀隆起。这是在滑坡边缘（两侧及前缘）出现的地面变形现象。这是由于在向河倾角平缓（一般为几度）的滑动推力作用下，在滑坡周界一带受稳定“地块”的阻挡和约束而出现在地面的鼓胀和隆起。这种现象在滑坡右侧中部一带表现最为典型。滑坡前缘堵河段亦是原河漫滩拱起的结果。

8、局部小洼地。这种小洼地在滑坡体中后部分布较多。例如西侧滑体中部（原公路桥），由于原处于自然沟沟底位置，滑动后在该处形成封闭洼地（1,980米标高）；小树台地南侧的东西向洼地；临时公路西段外侧的洼地等，其分布位置主要与原地形起伏有关，有的还与滑床地形起伏有关。

（二）覆盖部分

滑动部分以南至前缘边界之间均属覆盖区，其范围与原河漫滩范围大体相当，主要由“土林”地形组成。

1、“土林”地形。洒勒山滑坡是一个包括上部疏松黄土、下部含裂隙石质黄土在内的土质滑坡。原山坡表面覆盖的厚数米至数十米的疏松黄土，在快速飞滑过程中无法保持其整体性而呈散体铺盖在开阔空间（河漫滩地及水库库面），遂在滑坡出口带以外形成开阔的波状起伏的“土林”堆积地形。“土林”内部的土脊，其走向与局部滑动方向垂直，一般作近东西向分布，土脊与土脊之间距离一般为数米。脊与脊之间为土槽，脊顶与土槽之高差有数米至十余米。土脊上常可见到与局部滑动方向几近一致的张性裂缝（如原九二水库内，这种裂缝排列非常整齐，皆作北 45° 西走向分布）。

“土林”地形是滑坡前部覆盖区的主要地形要素。滑坡右侧边界地区，“土林”地形与主滑区的隆起开裂地形之分界线非常清楚，此界线与滑动区和覆盖区之间的界线相

一致。

2、**滑坡裂缝和小台坎。**滑坡范围内，无论是滑动区或覆盖区，或后部及两侧影响区，都有大量裂缝分布。按力学成因及性质可分为：

(1) **拉张裂缝。**拉张裂缝在滑坡后部及两侧影响区分布较为集中，此外在滑体内局部台洼相间地带亦有分布。位于反坡平台内侧的为反向拉张裂缝，即逆主滑方向拉裂而成，其余为正常的、沿主滑方向拉裂而成，有的已产生垂直错距而成小台坎状。

(2) **剪切裂缝。**主要分布在滑坡边缘和两侧影响区，呈羽状排列。东侧壁边界外可见到沿这种裂缝发生的剪切位移擦痕，倾角 10° — 11° 。

(3) **纵向扭张裂缝。**这种裂缝在滑坡区内多有分布，其延伸方向与滑动方向一致。例如，九二水库“土林”区内所见纵向裂缝作北 45° 西方向延伸，分布甚密集，一般平均每1—2米即有一条。这种裂缝多呈张开状，具有上宽（3—5厘米）下窄（1—2厘米）的特点。

由于无抗滑段，同时滑坡出口前缘无约束，该滑坡较少出现放射状裂缝和前缘挤压裂缝，而这些裂缝在一般有抗滑段和有约束的滑坡出口地段是经常可以见到的。洒勒山滑坡所具有的这一特点可能与滑动时的飞越有关。

3、**滑坡前缘边界。**前缘边界作不规则分布，其延展情况完全取决于受覆盖部分的原地形而自由扩散。只有最前部进入河床并超覆至河流对岸的部分，以及滑坡中部前端受原右岸Ⅱ级阶地咀子的阻挡者是例外。

五、滑动面位置及形态

由于尚无勘探资料，而且主滑部分和出口均无显露，故对滑动面位置及形态的推断，只能根据滑动面暴露部分（主滑壁）的形态及地质结构（包括构造特点、地层层次、岩性特征和人文地质条件）和滑坡地貌形态的分析及地貌发育过程的恢复等综合推定。

首先、滑动面的暴露部分。主滑壁应是这次滑坡的主要后壁。它的高度达220—240米，而且具有 70° 左右的原始坡度。后期受坍塌体的不断坠积而和缓了滑壁下部的坡度（ 55° ），并抬高了壁下洼地的标高。据气压计测量，滑动6天后（13日）的洼地底部高程为2,020米，滑动21天后（28日）高程为2,050米。但滑坡壁的原始特点反映了滑动面已深切至2,020米高程，甚至更低。

第二、从滑坡区的地质结构来分析。已如前述，滑坡区附近主要存在有三套地层。最上部马兰黄土与中部微红色石质黄土之间尽管存在着相对透水性的差异，但无论在区域上还是滑坡区均未发现在这两层土之间出露地下水。而且，从区域地貌发育过程和河谷地貌特征已经证明了古滑坡（主要发生在 T_4 范围内）的存在，所以使厚达80米左右的石质黄土内部的构造裂隙多经破碎而容易透水。石质黄土内部存在的半胶结至胶结状砂砾石层更属良好透水层，故地表降水完全可以通过这两层黄土而渗至下伏的红色泥岩层。由于红色泥岩在地下水作用下极易软化，且使岩层中的裂隙闭合，故红色泥岩具有良好的隔水性，其顶部软泥带具有极低的抗剪强度，这就为山坡滑动提供了软弱结构面

条件。因此，红色泥岩顶部是本滑坡主滑段滑动面主要通过位置。

第三、从地貌形态的分析和地貌发育过程的恢复。如前所述，区域地貌特点之一是阶梯状地形的存在。河漫滩和各级河流阶地基本上都属于基座性质，也就反映了在第四纪各个不同时期，第三系红色泥岩都被抬升在相应时期的局部侵蚀基准面以上，从而为第四系黄土沿红泥岩的滑动提供了条件，这就造成了古老滑坡的多次活动。洒勒山坡的这次滑动只是谷坡发育中的一个正常的过程，只是规模更大、破坏强烈而已。其所依附的条件与历次滑动所依附的条件一致，都是沿红泥岩顶面进行的。

第三系红色泥岩顶面的台阶状分布，是与阶地的存在相适应的。相应Ⅰ级河流阶地，红色泥岩层面就有一个台阶。因此，从河谷横剖面来讲，虽然泥岩本身产状接近水平状，但其顶面的标高却随远离河床而不断增高。沿河谷横剖面方向，该红层顶面具有大约7—8°的向河倾斜，这也使沿该层顶面的滑动成为可能。

综上所述，我们认为，洒勒山滑坡的滑动主要沿第三系红色泥岩顶面进行，在后壁下或基岩陡坎处可能局部切割泥岩层。其滑动面形态是，滑坡后部为一坡度达70°左右、高约220—240米的陡壁，主滑段为稍有转折的平面状，剖面上呈近似直线状。

滑坡出口位置及滑出点的标高，主要根据地质结构和地貌条件，同时根据滑动后的地貌特征（滑坡覆盖区前缘土体厚12—15米，洒勒村所在平台黄土层厚度亦在12—15米左右），确定出口在原洒勒村所在的Ⅰ级阶地前缘陡坎一带，其标高为1,954—1,958米，即低于阶地面12—15米。主滑段全长约700米。

本滑坡之滑动有一显著特点，是滑坡前缘无抗滑段，滑坡自滑出点滑出后迅速飞滑，一泻千米。

六、滑动原因、机理和类型

已如前述，洒勒山滑坡的滑动有它必然的地质基础。这种基础既是古老滑坡的产生条件，也是这次复活变形的条件。这些条件和其他一些外界因素，例如地下水的活动、人工提灌、水库蓄水等，都诱发了这次滑动的产生。在这些条件和因素中，地质基础（包括地层结构、构造条件和河谷地貌特征）在相当长的时间内是恒定的，而外界因素则是不断起变化的。正是这种变化才决定了滑坡能否发生以及在何时发生。当这种外界因素的变化引起坡体重量的加大、坡脚卸荷或滑带土抗剪强度的减少以至坡体失去平衡状态时，山坡即行滑动。洒勒山坡这次滑动就是与各种外界因素的变化直接有关。例如，由于降雨量的增加或冰雪融化，将造成活动于滑动带的地下水量的明显增大、坡体内裂隙充水量的增加及裂隙间摩擦力的降低。人工提灌一方面增加了滑带土的含水量，一方面还将增加坡体的重量。水库蓄水将明显地改变（降低）地下水的水力坡度。

（一）滑动因素

1、滑动带地下水含量的增加所产生的影响。雨季时降雨量的增加、春融季节坡体内冰雪的融化、人工灌溉（水库建成后有2,000亩水浇地）等因素，必将导致滑体重量的增加和滑带土含水量的增大，从而导致下滑力的增大和滑带土抗剪强度的降低。再者，处于地下水位以下的岩层的上浮力将减小对下伏岩层的压力。所有这些因素，都

有利于滑动的产生。

2、水库蓄水引起地下水水力坡度的降低。洒勒山滑坡前部那勒寺河水面原标高为1,950米,后部山体内部含水层标高在2,050—2,060米,故在山坡滑动前以及因修建小水库而改河以前,山坡内地下水位具有向河倾斜约 7° 的坡度。1971年前后在滑坡左前方先后修建了王家水库和九二水库,并在此期间将原坡脚处河床改至200—300米外的现河床位置。由于改河河床比原河床为高,这就必然抬高坡脚附近地下水位及侵蚀基准面标高,也使原有地下水坡度变小(由原 7° 左右减小为 5°)。这种因修建水库及河流改道而引起的地下水位坡度的明显减小,显著地降低了地下水排泄速度,并使河漫滩位置的第三系红泥岩顶面一带(1,955米高程)滞积了大量的地下水,并向上影响到Ⅰ级阶地基座面(1,955—1,958米),使Ⅰ级阶地基座处红泥岩逐渐泥化而降低强度,在后部山体巨大压力下首先出现蠕变,并最终造成整体滑动的产生。

(二) 滑动机理

根据主轴断面知,处于陡坡地段土体的体积(主动部分滑体体积)为13,400立方米,取土体容重为1.8吨/立方米,故每一米单宽滑体从重心2,150米滑落至2,050米时,滑落高度为100米,两重心点的移动距离为300米,此时具有约2,500,000万牛顿米的势能。由能量守恒定律,在滑动过程中,这一巨大的势能,一部分转化为克服滑体运动所产生的摩擦力所作的功($fmg\cos\alpha \cdot l$),其值约为1,500,000万牛顿米;另一部分转化为滑动动能,其值为1,000,000万牛顿米。由此得出主滑体运动过程中的加速度为 1.33 米/秒²,滑动经历时间为21秒,其滑动速度为28.28米/秒。此即主动部分滑体传给前部土体滑动的初速度。设前部土体滑动后的末速度为零,前部土体滑动总距离为750米,据此计算出前部土体滑动过程中的加速度为 -0.53 米/秒²,滑动时间为50秒至60秒。因此,洒勒山滑坡总的滑动时间约为70—80秒。

在滑坡下滑过程中,当滑体越过第Ⅱ级河流阶地前缘陡坎线后,即进入宽阔的河漫滩地和水库库区,此时,以每秒20米左右的速度飞速过河滩冲向河流对岸。由于河漫滩顶面标高1,953米和滑坡滑出点的标高1,958米之间存在有大约5米左右的高差,因此,当滑体脱离滑床后在滑体与河漫滩之间迅即形成封闭的气垫层,它支撑滑体并起着对滑动的润滑作用,大大减少运动过程中的摩擦力。这种气垫作用(或抬托作用),由幸存者所回忆的“当时只感到一会儿抬起来了,一会儿又沉下去”可作佐证。因气垫作用的存在,故在滑动过程中没有可能产生强烈的、普遍的翻卷,位于高处(例如树木上)的人或物均无严重破坏,地面(例如新庄村)亦能保持相对完整。

由于空气向滑体的渗透作用的存在以及运动速度的改变,气垫层将随着运动距离的增加而减小其厚度,并在主滑体物质坠入地面产生巨大冲击力,造成库区冰块的破裂并腾空飞起以及河漫滩地面的隆起,而滑体物质则均匀覆盖于湖面和滩地表面。覆盖区前缘部分的厚度应与主滑区原Ⅱ级阶地部分的滑体厚度在数量上基本相等(12—16米)。这种推断可以由原位于Ⅱ级阶地台面上的洒勒村、新庄村被推至800米外以后盖于河漫滩表面时,仍保留原来12—16米左右的厚度得到证实。

在我国西北黄土高原地区,具有上述飞越特征的滑坡不无多见。前述青海龙羊峡水库上游查纳滑坡,陇海线1357^k、1358^k、1398^k和宝成线122^k的滑坡,都是近几十年内产

生的规模较大的、性质类似的滑坡。历史上,甘肃省境内发生的赵家窑滑坡(由1718年通渭地震诱发产生),据乾隆三十五年《伏羌县志》记载:“永宁大正环村居民数千户,是时北山飞,尽掩压泥土中,……”、“北山一带,山崩土飞,塞渭而奔,直扑于南山腰……”。另据乾隆甲午《西和县志》记载,对1654年天水八级地震造成的罗家堡大滑坡记有“蛟龙飞出之状”。所有这些例子都说明,在由黄土组成的高陡边坡,其急剧下滑时确实具有“飞越”、“飞奔”之征状。

(三) 滑坡类型

根据滑坡体主要组成物质,洒勒山滑坡应属于包括马兰黄土和石质黄土在内的黄土滑坡。根据滑动带成因,它属于沿第四系松散土与下伏第三系红色泥岩之间的接触面滑动的接触面滑坡。按照滑体厚度及规模应属巨厚层滑坡。

遵照我国铁路部门对滑坡命名的统一原则,我们将洒勒山滑坡的类型定名为“巨厚层接触面黄土滑坡”。

洒勒山滑坡是一个第四系黄土沿下伏第三系红色泥岩之间的接触面滑动的接触面黄土滑坡。

洒勒山滑坡的产生有其固有的地质地貌和水文地质条件。地层岩性和构造条件通过控制滑坡的水文地质条件而对滑坡产生作用。外部因素(降水量、人工灌溉、水库蓄水)的存在及其作用程度的变化是该滑坡产生的直接原因。

洒勒山滑坡的滑动具有一般黄土滑坡的许多特点。虽然如此快的速度和如此宽大的覆盖面积不属常见,但也不是罕见的。这是由黄土高原地区的地质地貌的普遍规律和一般特征所决定的。类似洒勒山那样的滑动现象在历史上曾多次发生,今后仍将继续发生。由于滑坡在急剧下滑前有许多明显的征兆,因此,加强滑坡监测,及时预报滑坡动态,不仅是可能的,而且对于避免或减少生命财产的损失也是十分必要的。

(上接第22页)

不完全统计,自公元前186年至公元1982年间,造成严重灾害的滑坡就多达110余次。随着近代科学技术的发展,对山区的开发建设也将加快,势必要遇到这些具有潜在性的自然灾害和生态环境问题。由于人们对它认识不足,或不科学地开发建设,会出现新的地质灾害。为此,按大小自然单元或流域,开展综合性的调查研究与规划更为必要。

4、灾后重建问题。这次滑动对原来山体坡度有很大削弱,并趋于稳定,呈现一片山前开阔地。地形虽有起伏和滑土疏松,但经过稍加平整后,可以全面规划和建设。村落的布局可考虑在原来未滑动的二级阶地台面上(清掉虚土);农田基本建设,除后缘滑落壁上有些土体(估计250万立方米)还会塌落(可让其自然塌落,而影响不大),可以改造为环山排水沟道和发展防护林带。在滑坡前缘堵截河流部位应疏浚河道、加固河堤,并应考虑最大洪水泄流断面。鉴于该地水源不足、滑坡堆积物较厚、土质疏松等实际情况,均不利于发展大面积水浇地,适宜发展喷灌,以利节约用水,扩大农灌面积,防止抬高地下水位,造成湿陷、塌陷、盐碱化和产生新的滑动。