

地质结构是内在因素 地下水作用是动力条件

——洒勒山滑坡的机制分析

曾庆伦 吴铁钧

(甘肃省地质局)

1983年3月7日下午5时46分左右,东乡县洒勒山发生的大规模山体急剧滑动,是一次罕见的自然地质灾害。它引起了中外各界的极大关注。高差达300多米的洒勒山体,势如排山倒海,以每秒25—30米的速度,数以4,000—5,000万立方米的土岩体滑泻于山脚下和那勒寺河谷内。顷刻之间,位在山坡和山脚下的苦顺、新庄、洒勒三个村落几乎荡然无存,变成南北长1.6公里、东西宽1.3公里的一片土海。这场毁灭性的突然袭击,使220名东乡族男女老幼丧生,1,000多头牲畜被活埋,70多户房屋建筑和3,000多亩(包括水地1,000亩)耕地被摧毁,河道被堵,水库被填,公路、桥涵、水利设施等全遭破坏,给东乡族人民生命财产和经济建设造成了巨大的损失。

一、滑坡的自然地质条件

(一) 有关自然概况

洒勒山滑坡位于东乡县果园公社西3公里,地处我国西北黄土高原之西南隅,属临夏第三系盆地的东北部,为一沟梁相间的黄土丘陵区。洒勒山是海拔2,283米山体(现已滑落无遗),那勒寺河的河床海拔高1,950米,其相对高差大于300米。山体坡度 45° 以上,地形较为陡峻。山脊南侧在海拔约2,100米和2,030米的高度上,明显地反映出两级高台地,低者为河流三级阶地。两级台地平行于山脊走向分布,长达4公里以上,宽约300—400米。台面倾向河谷(见图1、2),具有明显的滑动迹象,属老滑坡,在北岸构成一老滑坡群带。该地多年平均降水量为400—500毫米,且多集中于7、8、9三个月,占年降水量的60%以上,为半干旱气候区。

自西而东的那勒寺河谷宽600—900米,果园以上流域面积为350平方公里。旱季河水流量为0.22立方米/秒,或因上游取用而干涸,但雨季时洪水流量最大可达几百立方米/秒。河漫滩较宽,河道多蛇曲。一级阶地保存不全,二级阶地在两岸较发育,高出河床15—20米。由于河流的侧向侵蚀,使二级阶地宽度变化较大。位于二级阶地陡坎下的九二水库、王家水库,即是利用河流蛇曲为库容修建的。

(二) 有关地质条件

1、地层岩性。当地所见地层由老至新为：

新第三系临夏组第三岩性段，以泥岩为主夹砂岩、砂砾岩；其上为第四岩性段，砂岩、泥质砂岩夹砾岩。两者之间有一层厚约5米的砂砾岩，其岩性、岩相、厚度均较稳定，可做为标志层。在第三系红层之上为中更新统石质黄土，其结构致密，较坚硬，含钙质结核及粘土条带，垂直节理发育，约30余米厚。在石质黄土与红层之间偶见薄层钙质胶结砾石层。石质黄土之上覆盖一层厚约40—60米的上更新统马兰黄土，结构疏松，具大孔隙和垂直节理，并发育有陷穴、落水洞。上述地层构成酒勒山主体。

酒勒山南侧第一级高台地（自上而下），其岩性、结构、产状等均与主山体相同，但顶面标高相差150米左右，说明其间存在断层关系，并在此古地形之上堆积了新黄土、老黄土及底砾。由老滑坡群带组成的第二级高台地，其地层结构、岩性同前者相比不完全相同，表现为岩、土体破碎，层序紊乱，岩性和颜色混杂。

构成那勒寺河漫滩和一、二级阶地的堆积物，均系全新统砂砾石层和黄土状亚砂土构成（属黄土及红层搬运再沉积产物）。

2、地质构造，酒勒山位在临夏第三纪红层盆地内，自新生代以来，仍受邻近的青

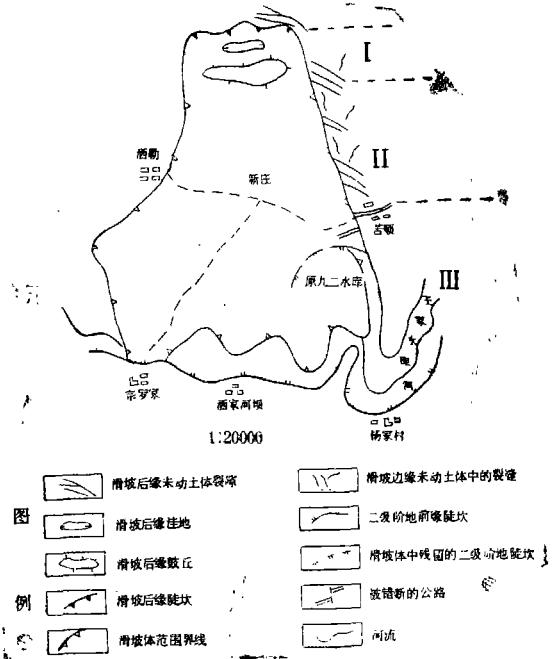


图1 酒勒山滑坡体平面示意图

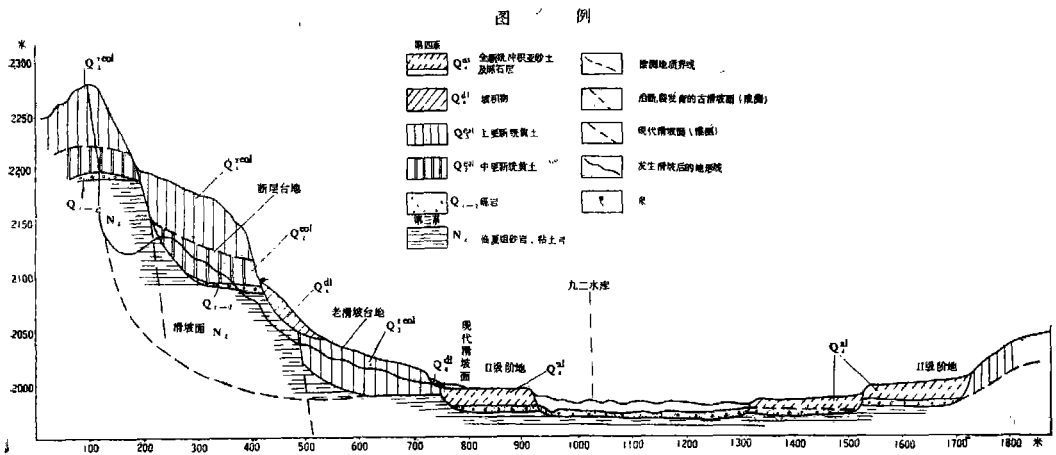


图2 那勒寺河河谷（酒勒西段）横剖面图

藏高原隆升运动的影响，主要表现为正向上升运动，使该地第三系红层基本保持了水平的产状。第三纪末，在洒勒山南侧临夏组红层中产生平行于山脉走向的阶梯状断裂，其性质属高角度正断层（图2、3），断层走向近于东西，倾向于河谷，倾角大于60°，东西延伸4公里以上。在西部那勒寺—老庄一带，呈断续分布的断裂及其老滑坡，可能属于该断裂的西延部分。洒勒山南侧的断裂，是产生老滑坡群带所特有的地质构造条件，而新滑坡的产生和发展亦与断裂息息相关。同时在那勒寺河南岸山坡上，也分布有众多的老滑坡。这些滑坡区别于那勒寺河北岸老滑坡的主要特征是：滑坡发育规模一般较小，无明显带群分布规律，且多分布于南北向冲沟两岸，呈对称状。据历史记载：“康熙三年（公元1665年）八月河州（即临夏）东乡干头沟（那勒寺河上游南岸，距洒勒10余公里）二山相合，压埋哈喇禅家和里民71口，牲畜无数，独一妇人抱幼子，手把马莲草扑于傍山之顶，视之居处莫辨，人以为异”。所谓“二山相合”是指一侧山体滑向另一侧山坡上。

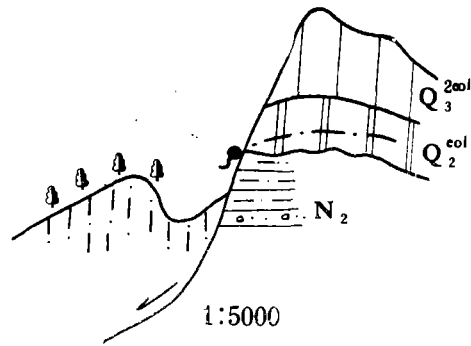


图3 滑坡后缘地质剖面图

同时在那勒寺河南岸山坡上，也分布有众多的老滑坡。这些滑坡区别于那勒寺河北岸老滑坡的主要特征是：滑坡发育规模一般较小，无明显带群分布规律，且多分布于南北向冲沟两岸，呈对称状。据历史记载：“康熙三年（公元1665年）八月河州（即临夏）东乡干头沟（那勒寺河上游南岸，距洒勒10余公里）二山相合，压埋哈喇禅家和里民71口，牲畜无数，独一妇人抱幼子，手把马莲草扑于傍山之顶，视之居处莫辨，人以为异”。所谓“二山相合”是指一侧山体滑向另一侧山坡上。

（三）水文地质条件

由黄土和红层构成的洒勒山体，由于受构造断裂和老滑坡的破坏作用，给大气降水的入渗、地下水的形成及其水文地质作用，创造了基本条件和环境。大气降水通过孔隙、裂隙、裂缝等透过上部新老黄土层，到达红色泥岩顶部风化带时受阻形成含水层。以这种入渗方式形成的地下水，除在冲沟陡坎下以泉的形式排泄外，还沿着红层中的裂隙、断裂、老滑动面继续入渗到红层中的砂砾岩和红层裂隙中，形成深部含水层。据区域水文地质资料表明，上述含水层厚度薄，水量小（钻孔单位涌水量小于0.02升/秒米），水质较差，矿化度多大于3克/升。同时，洒勒山虽然地势高，地形坡度大，但由于地层结构和岩性特点，致使地下径流和排泄条件不畅通，给山体滑动的形成、发展创造有利的条件。

那勒寺河谷的地下水，主要集中分布在漫滩一、二级阶地的砾石层中，一般水质较好，但含水层较薄（一般小于4米）。这些水主要来源于上游河川地表和地下径流的补给。地下水埋藏较浅，河水、地下水之间经常互相转化。

二、滑坡的形态特征

洒勒山滑坡以其规模大、速度快、能量大为特征，实属一场罕见的自然灾害。我们在现场访问了两名幸存者。据一妇女讲：她在山坡上拾柴时，感到地动，听到山鸣后就见后山尘土飞扬，急忙抱住一颗大树，顷刻之间就被抛到800余米的河滩上，平稳落地，无一伤处；另一青年，骑车接其父，两人在苦顺村西相遇，将车交于父，牵牛先回。其父在原地休息，青年刚走出滑动带，只听“轰隆”一声巨响，回头看时，其父与

车均不见了。可见洒勒山滑坡是以急剧闪电式暴发的。据目睹者估计，整个滑动时间不足2分钟。

滑坡体是沿着二个呈弧形破裂壁塌落下滑的。滑坡后缘滑裂壁倾向河谷，倾角 65° — 70° ，宽约700米，可见高度220米。滑裂壁已跨越分水岭30余公尺，使洒勒山2,283米制高点从此消失，瞬间变成马鞍形分水岭。其顶部尚残存滑动引起的三条宽10余厘米的裂缝。受软弱结构面控制（指节理面、断裂面等），滑坡体呈上窄下宽的较规则的几何图形。以后缘两个弧形滑裂壁交点至九二水库西尖咀阶地一线为界（方向 160° ），分为东西两个滑体（见图1）。东滑体规模小，滑床短而浅；西滑体规模大，滑床长而深（见图3、4）。两个滑床均呈大曲率的圆弧形。按其特征，滑坡体从上至下分为三部分：

（一）**上部崩塌滑落带（I）**。此带紧接滑裂壁分布（图1），其特点是具有较大的后缘洼地和鼓丘。洼地是呈东西展布的槽形地，长约500余米，低于分水岭220米，呈封闭型。鼓丘亦呈东西向展布，南坡陡而北坡缓，表部可见东西向的横裂隙呈张开状，同时在南坡可见许多“醉林”，具有明显的塌落特征。鼓丘土体与醉林均系分水岭塌落之产物，东西长约700米。由于滑裂面切穿部分红层，故滑落物中包括第三系红层和黄土两部分，此带宽约200余米（见图3）。

（二）**中部滑动带（II）**。紧接上部崩塌滑落带，以滑床前缘出露部位为界，分东、西两个滑体，宽度和特征均不相同；西滑坡体带宽达一公里以上，它包括原来的老滑坡分布带和河谷一、二级阶地及部分河漫滩。它的南界以第三系厚层砾岩标志层滑出部位为其特点，是滑床深切基岩的典型证据。它在滑坡前缘呈弧形展布，为西侧滑床出露部位（见图2）；东部滑体带宽为500—600米，它仅包括老滑坡分布带及部分二级阶地。它的南界仅抵二级阶地后缘（即滑床出露带）。上述两个滑体组成的中部滑动带，主要特征是鼓丘地形发育，也呈波峰、波谷状弧形展布。此带堆积体以水平运动为主，是沿着被地下水浸湿软化的第三系红层或层理面，在上带土体推动下向南运动的。滑动土体疏松，仍可辨认出北倾的原始地面，并见其上纵横交错的裂缝（宽约10—15厘米）。在东西滑槽两侧边缘见第三系红层被挤出，饱水湿润呈泥状，并显示翻卷之特征。滑坡边缘未动土体，因受力偶作用，形成一系列雁行排列、方向为 140° 的张扭裂缝，裂缝宽达1米，延伸约百余米。由于强大的推动力，使东滑体上的公路向南平移41米；西滑体上的公路推入河床中，而无法辨认。此带为推移滑动。

（三）**滑动土体散落带（III）**。这是指滑床前缘出露带以南部分（见图1），呈扇形展开，最宽处达1.3公里（整个九二水库被埋），多为一套黄土散落物（来源于高台地）。在东滑体上，此带南北宽400余米。位处老滑坡前缘的二级阶地在苦顺段保存完好，其下引水洞也未变形（见图4），可见九二水库中的散落物是越过二级阶地飞落在水库中的。这一事实表明，东滑坡体滑床前缘可能只抵达二级阶地后缘，飞落土体仍保持原始地面特征，其上可见草皮等，倾向与滑动方向相反，地形呈波浪型；西滑体带仅宽200余米，散落物除黄土外，尚有河漫滩之砂砾石。它属于滑床错起的第四系堆积物，厚约10余米。

从上述特征可见，洒勒山滑坡不同于一般黄土滑坡，其滑裂面和滑床已深切第三系红层，其运动方式：上部以崩塌滑落运动为主；中部以剪切滑动为主；前缘滑舌部分为推动力造成的土体散落运动。

三、滑坡机制的分析

前已叙及，洒勒山新老滑坡的发生和发展，虽然具有特定的自然地质条件与背景，诸如陡峻的地形，不稳定的断裂构造，松散的黄土及遇水易于软化的红层，不通畅的地下水径流、排泄条件等，但在短时间内促使山体急剧失稳、变形到滑动，还应具备一定的动力条件及其相关的影响因素。所谓动力条件，就洒勒山滑坡而言，主要是指山体在高陡坡的重力条件下，地下水的作用过程和结果。据现场观察分析认为：

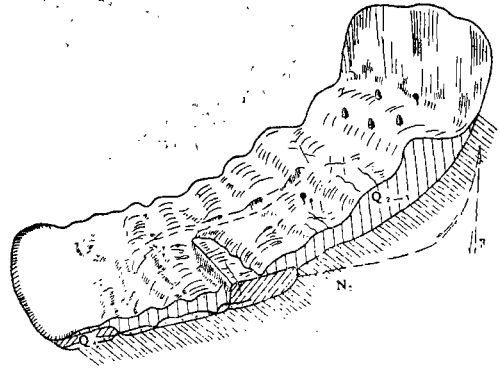


图4 洒勒山滑坡素描图

1、**滑坡体后缘滑裂壁的形成条件。**洒勒山此次发生滑动所造成的后缘滑裂壁，位在第三系断裂以北约100米（已跨越分水岭），滑裂壁长约700米，可见高度达220米，其中下部第三系红层临空高度达100米。这一新的滑裂壁与南侧红层断裂面的走向相平行，倾向相同，倾角也相近。从地层新老顺序和接触关系看，洒勒山新老黄土，均属在第三系红层断裂（断距100余米）形成的阶梯式古地形之上堆积的。受断层影响，第三系红层中产生两组裂隙：近东西向和NW345°方向的两组裂隙，在地表见红色泥岩被两组裂隙切成柱状。上述裂隙经历长期风化过程，使裂隙扩大和加深。黄土堆积后，大气降水透过上覆的黄土和底砾石层，继续渗入到红层裂隙内，从而地下水的作用在裂隙内不断加强，促使裂隙进一步发展，随之孕育了新的滑裂面。

2、**地下水的作用。**普遍覆盖在洒勒山的新老黄土层，除本身具有孔隙、裂隙透水的特性外，还由于陡坡重力的影响产生的大量裂隙，增加了大气降水入渗量，导致了大气降水入渗作用的加强。由降水入渗形成的地下水，除沿上述红层裂隙渗透外，还沿红层顶部接触面（或风化带）、断裂面、老滑床、层理面等渗透。经长期浸泡、软化及渗透作用，形成了各种含水水体，如风化带潜水、裂隙脉状水、断裂面和滑裂面脉状水等。随着含水体的形成和静水压力的作用，进而产生地下水的渗流运动，沟通了各含水水体间的水力联系，最后除部分以泉的形式为沟谷所排泄外，余者均潜溢于河谷内。含水水体接受补给量虽然有限，但对滑坡的形成与发展却起到了极为重要的润滑和推移作用。地下水的这一作用过程，主要反映在滑坡由量变到质变的过程，其中包括了老滑坡的复活和蠕动、缓慢移动，到剧烈滑动等一系列变化过程。此次在洒勒山发生的滑坡，所具有的规模大、能量大、速度快、滑床长而深及整体滑动的特点，均与上述水文地质条件密切相关。

3、**季节性降水变化的影响。**据该地气象资料分析，洒勒山滑坡的急剧变形和滑动与1982年季节性降水的变化有关。该地降雨主要集中于7、8、9三个月内，如1979年

年降水量649.5毫米，而这三个月雨量竟达509毫米。1979年以后出现连续干旱，降雨量偏小(1982年年降水量370.6毫米，三个月雨季降水量减少到160毫米，占年降水量43%)，但1982年10—12月降水量达66.3毫米，较历来同期降水量有了明显的增加(1980年同期降水量仅9.2毫米)。洒勒山顶部两年前就发现裂缝，并随时间的推移在不断扩大，加之两级高台地地面平坦，因此给秋末冬初的降水沿老滑裂壁或第三系裂隙的渗入创造有利条件。水的渗透改变了滑体的力学状态，从而降低了滑裂面的抗滑强度。同时，在滑体自重应力作用下，使滑体变形(表现为下沉、裂缝扩大等)，随之出现近水平方向的拉应力，结果对滑体起了推动作用。另外，入渗到滑裂面、断裂面及红层裂隙中的地下水，因静水压力而产生的水楔作用，也增加了滑体下滑的推动力。在干旱、半干旱的黄土高原，这种季节性的地下水作用，一般都有一个滞后期。尤其是大型滑坡，在地下水补给、径流和排泄条件较差的情况下，其滞后期更长。

4、人为因素分析。据现场观察，山坡上的人工水平梯田、条田虽多，但均为旱地，故对滑坡无影响；九二水库和王家水库，虽位在山脚下的河道蛇曲处，但构成基座阶地的红层顶面均高于水库水位3—4米，估计侧向浸润、泡湿作用不大(部分二级阶地未被滑坡摧毁而保持完好)；但源于洒勒山的大小支沟，曾是排泄山区地表和地下径流的天然通道，而近年来在沟口(老滑坡带前缘)多筑有淤地坝，截洪流和平时利用泉水就水淤地与植树。因其水流不能直接泄入河床，而多渗入地下抬高了地下水位；加之，在洒勒二级阶地及老滑坡台面上发展提水灌溉，灌溉回归水也起到抬高地下水位的的作用。由于地下水位的抬高，对岸边的浸润软化，而影响了坡角的稳定性。

综上所述，地层结构和地质构造条件是滑坡产生的内在因素，而地下水的作用则是促使山体滑动的主要动力条件。但为什么偏偏在旱季发生滑动呢？经初步分析认为，去秋雨季形成的山区地下水，首先要通过较厚的黄土层，而后通过各种地质结构面等一系列渗流运动，才能反映其作用的结果，因此必然滞后一段时间。加之3月初正值解冻及春灌(滑体温度、含水量的变化改变了力学状态)，这些作用可能在时间上是个巧合。

四、几点建议

1、洒勒山滑坡，虽然具有急剧性滑动和毁灭性突然袭击的特点，但其发生、发展和破坏是一由量变到质变的长期过程。在山体滑动的两年前，已经发现山顶裂缝，并随时间推移在不断扩大，特别是在滑动的前三天，又发现地面变形(隆起高0.5米的地垄)和山鸣等现象。这些现象足以说明在山体滑动前是有明显前兆的。只要掌握住这些前兆现象，及时进行认真的观测和分析，是能够作出及时预报的，伤亡灾害是可以避免的。

2、滑坡对人民生命财产和经济建设所造成的损失，在诸多的自然灾害中，仅次于地震和洪水灾害。洒勒山滑坡只是该区老滑坡群带的一部分，在整个那勒寺河流域老滑坡遍布，特别是在甘肃省大面积黄土区，滑坡的分布也是屡见不鲜的。因此，加强对滑坡的调查研究，组织建立各地滑坡监测和预报，开展群众性的科普教育工作，实为必要。

3、据历史记载，甘肃省黄土及红层分布区，所发生的各种自然灾害相当严重和频繁。其中除旱灾外，多数是滑坡、崩塌、泥石流之类造成的灾害。据 (下转第16页)

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。