

隆务西山滑坡及其隐患和应急措施

李天池 刘新民 吴其伟

(中国科学院成都地理研究所)

1984年11月21日晚7时许,青海省同仁县隆务镇西面的隆务西山,发生一起大型滑坡。滑坡从相对高180—200米的隆务西山中部向下滑动,并在山脚处剪出,滑坡总体积达180—200万立方米。滑坡使黄南中学后面的围墙倾倒,6间教工宿舍倒塌,球场破坏,在其前方直接威胁该校主教学楼及2,000多名师生员工生命财产的安全。受该滑坡的牵动,黄南中学东侧毗连的坡体失稳,斜坡的顶部及中前部出现裂缝,在其坡脚前缘处有个仓库的地面开裂、倾斜。这些变形迹象表明,另一个更大的滑坡正在酝酿发育之中。

隆务西山滑坡发生之后,国务院、青海省政府和中国科学院对此非常重视和关心。青海省委、省政府派遣工作组迅速赶往现场,及时采取了各种应急措施,很快地安定了人心,学校复课,城区各项生产活动恢复正常。

根据中国科学院和我所领导指示,我们这次考察的基本任务是:查明滑坡发生的原因及影响因素;评价滑坡活动的现状及其发展趋势;提出滑坡的防治对策。现将此次考察结果综述如下:

目前,我国泥石流拦挡坝大多是浆砌块石坝,高度一般为20—25米,个别地方也有金属或钢筋混凝土格栅坝和钢筋混凝土坝。在四川西南部现正计划用定向爆破方法修筑高达100米的堆石重力坝,此种类型的堆石坝在苏联阿拉木图是145米高,在美国洛杉矶是114米。

考虑到泥石流大冲大淤的特点,人工排泄泥石流的排洪道最好亦用浆砌块石或混凝土护岸,沟底每隔20—50米修建一道防冲肋墙(潜坝式),否则泥石流的冲刷下切很可能会危及两边护堤工程基础的稳定,或者就需要加深两岸护墙的基础而大大增加投资费用。此外,对待弯道亦应特别小心,由于粘性泥石流具有较大的粘度和内聚力,在其运动过程中泥石流龙头有保持直线运动的特性,尽管其流路两侧可能是很低的凹地或较深的沟壑。工程平面布置中如果忽略了这点,必然会使防治工程不能发挥应有的作用,达不到防灾的目的。为较好地解决这一问题,排泄泥石流的人工河槽要尽可能的避免急弯和较小的弯道。

根据前述的诸项原则,我们已在青海乐都、甘肃武都、云南东川和梁河以及四川凉山州等地区取得了成功的经验。如在大桥河流域内修建了四座总高为76.5米的拦挡坝和长达5公里的排洪道,基本上免除了泥石流对下游的危害,使堆积扇上5,000亩荒滩变成高产稻田。类似成功的例子可以在四川黑沙河、雅安陆王沟和南坪县后山沟以及甘肃武都白龙江沿岸找到许多。

最后,值得指出的是,由于泥石流形成机理和运动堆积过程比较复杂,许多工程措施所需要的有关泥石流的特征值和参数,还不能准确地确定,从而使泥石流防治工程仍有许多值得进一步研究的问题,甚至还会得到失败的教训。但是,随着泥石流研究工作的不断深入和防治工程广泛兴建,一切困难都将会逐步得到克服的。

一、区域自然环境概况

同仁县地处青藏高原和黄土高原的接壤地带。地质构造上属祁吕山字型构造体系的弧形褶皱带，滑坡在其西翼外侧边缘地带的尖扎—同仁拗陷盆地之南端。新生代以前的地层多被断层交叉切割呈断块状。新生代中期受喜马拉雅运动影响，同仁盆地四周大幅度的隆起，中部相对下陷。与此同时，在盆地内部沉积了一套中—上新世的红色碎屑堆积物，在隆务西山一带可见厚度在200米以上，岩性为浅红色、橘黄色的粉砂质粘土岩，夹薄层含砾砂岩、粉砂岩的透镜体。粉砂质粘土岩结构致密，厚层状，层理不甚明显，但节理裂隙较发育，以北北东、北西西及近东西向三组占绝对优势。本组岩性的另一特征是上部粘土岩砂粒明显减少，粘性增加，颜色自下而上变浅，即由浅红色、黄灰色逐渐过渡到浅黄色或橘红色。

第四纪之初，受抬升运动的影响，整个上新统地层向北西方向倾斜，倾角 $3-7^{\circ}$ 。晚更新世末期，由于新构造差异性和间歇性抬升运动，隆务河下切，形成I—V级阶地。阶地后缘高程分别是2,480、2,530、2,600、2,700、2,800米。I—V级阶地均为基座阶地，其中III—V级阶地上覆盖有不厚的黄土及黄土状堆积物。高差较大，阶面宽缓的II—IV级阶地为滑坡储备了物质基础。在隆务西山及附近一带，滑坡多发生在II级阶地以上的部位。

调查区内宽缓的II级阶地中，后部有少量河谷潜水，埋深10—15米。据黄南中学打井揭露，水量甚微，其水质略碱。出露层位在II级阶地基岩面与上伏卵石层之间，潜水面高程约在2,485—2,490米左右。II级阶地以上未发现地下水露头，基本上处于疏干状态。不过据隆务西山防空洞内实地考察，进洞50余米之后，粘土岩湿度增加，联系到坡体上出现的黄土溶蚀竖井，推测坡体经长期重力卸荷变形而产生裂缝。尔后这些裂缝长期受降雨和融雪水的侵蚀，逐渐扩大加深。不多的雨水和融雪水沿溶洞和裂缝渗入坡体内部，一方面避开了地表强烈的蒸发，另一方面对坡体内部岩土含水量的增加可能起重要作用。因此岩土的强度指标也会随含水量的增加而降低，这在滑坡发育过程中起到重要作用。

需要指出的是，尽管隆务西山背后的杂让龙洼沟的河水位标高在2,610米，而黄南中学旱井水位标高仅2,485—2,900米，两地仅一山之隔，水平距离不过700余米，相对高差达100余米，从水头差上考虑对滑坡体的补给是极为有利的。但是组成隆务西山的山体是粉砂质粘土岩，结构十分致密，裂隙贯通较差，因而表现出没有明显的水力联系。这一点从防空洞内的土体处于疏干状态以及隆务西山的坡脚处未发现泉水出露而得到证实。

调查区内，气候特点是寒冷、少雨、干燥。年平均气温 5.2°C ，1月平均气温 -8.5°C ，7月平均气温 16.1°C 。年平均降水量442毫米，且降雨多集中在7—9三个月，约占全年总降水量的50%以上。自有降雨记录资料以来，一日最大降雨量不超过45毫米。全年日降雨量超过25毫米的日数为12—15日。这种少雨、干燥的自然环境，对保持粘土岩组成的高陡斜坡的稳定是十分有利的。然而也正是这种高陡的自然斜坡，为巨型滑坡的产生提供了物质基础和地形条件。

二、产生滑坡的自然斜坡的形态、结构和岩土的力学性质

滑坡发生在隆务西山的中段。未发生滑坡之前的自然山坡坡度 35° 左右，坡顶高程2,700米，坡脚高程2,511米，相对高差189米。斜坡的前方还有100米长的低平台抗阻段。

组成该坡体的粉砂质粘土岩结构致密，主要为泥质胶结，经受一定的成岩作用，在某些层位含一定的盐分，在干燥的情况下具有较高的强度，因而能形成较陡(35°以上)的边坡。但是另一方面，该类岩石水理性质差，我们曾在斜坡上、中、下部采集标本进行崩解试验，在30至60分钟内全部崩解。另外，粘土岩中盐分的淋溶使其强度降低，特别是随含水量的增加其强度急剧降低。该类岩石力学强度的衰减，坡体应力状态的改变，以致滑动面的形成都与该类粘土岩的性质直接相关。

根据野外简易地质方法鉴定，以及和相邻地区同时代类似的半成岩的粘土岩的试验结果相比较之后，我们采用下列的强度指标进行滑坡的稳定分析，以及未来发展趋势的评价。在天然干燥状态下， $\phi = 30^\circ$ ， $C = 5 - 10$ 公斤/平方厘米， $q_n = 30$ 公斤/平方厘米；在饱水条件下， $\phi_r = 14^\circ$ ， $C = 0$ ， $q_n = 1$ 公斤/平方厘米左右。

三、滑坡发育过程和形成原因

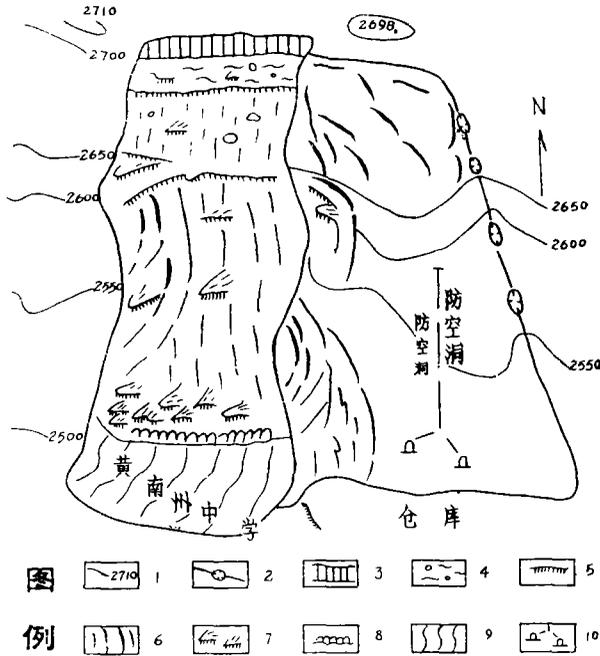
前已指出，产生滑坡的自然斜坡并非完全由完整的粉砂质粘土岩所组成，其中前部约150米的范围内系由老滑坡堆积物所组成。因此自然斜坡上、下部在抗滑稳定性上有着明显的差异。无疑上部斜坡的稳定性受相对比较完整的粘土岩的强度所控制，滑动面处的抗剪强度较高；相反，下部由老滑坡堆积物构成的坡体，其下部已具有完整统一的滑面，滑面处的抗剪强度显然低于上部，而接近于临界状态。

鉴于隆务河现代的侵融基准面(2,474米)已远低于老滑坡的滑面(估计在2,490米)。Ⅰ级阶地的潜水位埋深在地表10米以下的部位，对于滑体的稳定似无明显的影响。同时老滑坡堆积物已经历较长时间的压密固结作用，滑带处的抗剪强度有一定程度的提高。因此，黄南中学未在坡脚部位平整球场时，自然斜坡处于稳定状态，只不过安全储备不高，稳定系数略大于1。

我们认为，黄南中学近两年平整球场在坡脚挖方与这次滑坡的发生有着直接的关系，坡脚开挖深达8米左右，较大的削弱了坡脚前方厚达20米的抗滑段。计算结果表明，开挖后前方抗阻段的抗滑能力下降至开挖前的64%。因此可以说，这次隆务西山的滑坡是在坡脚前方抗滑段被开挖的条件下发生发展的。前方抗阻段的削弱，促使中前部坡体蠕动变形，地表产生裂缝，为大气降水向坡体深部的渗透打通了流路，使经过固结、压密，提高了滑带土的强度重新发生衰减。这种衰减支配着滑坡发生发展的进程。在已经衰减到接近临界状态的情况下，去年10月11日和30—31日二次厚达21毫米的降雪融水，对于11月21日隆务西山的滑坡起着重要的促进作用。除此之外，沿隆务西山展布的北东向和近东西向的构造以及山脊重力扩展引起的裂缝，对于滑坡展布的平面周界也具有控制作用。

在滑坡破坏的力学机制上，中前部滑体起着主滑作用，上部滑体是被牵动部分。在该滑坡的发育过程中，坡体的变形破坏具有牵动发展的特色，失稳时随着中前部滑体转动下滑，逐渐转化为推动式滑坡。滑体上部崩塌性地滑落，滑体中部有明显的错台，前缘抬升反翘剪出(挤出)，整个滑体表面呈向坡后迭瓦式开裂破坏。抗阻段地表有被滑体推挤形成弧形分布的鼓包和纵张裂缝，等等。这些不同部分的变形形迹，反映出上述滑坡各部分受力的性质(图1)。

鉴于该滑坡发生在降水量不甚充沛的寒冬季节，整个滑带土抗剪强度指标的衰减幅度并不十分巨大，滑面综合抗剪强度低于滑动临界值的差距有限。同时滑体受中部两侧侧壁的牵制，因此在滑体运动特征上，显示出缓慢滑动的特点，滑体下滑释放的势能，大部分消耗在克服前缘抬升反翘和滑体变形的破坏上。滑坡后壁错落下滑距离不过20余米，前缘剪出滑动距离最大不过26



1.地形等高线；2.黄土溶蚀竖井；3.滑坡后缘拉裂壁；4.滑坡后部崩塌体；5.滑坡拉裂陡坎；6.滑坡裂缝；7.滑体前部反倾块体；8.被推倒围墙；9.前缘隆起带；10.防空洞。

图1 隆务西山滑坡平面示意图

米，滑动距离有限。

总之，从上述成因机制的分析和滑体运动的过程可以看出，此次滑坡的发生是在不恰当的人为活动诱发下，在老滑坡的基础上扩大发展形成的新滑坡。尽管隆务西山滑坡在滑动之前具有相当大的势能，但滑动之后滑体重心位置并无明显的下降，因此今春融雪季节或雨季时，由于地表水下渗，滑带土强度降低，该滑坡仍有重新滑动的可能。

四、滑坡的现状分析和今后发展趋势

根据以上分析和滑坡处于相对稳定的现状，对于滑带土当前的性质，按瑞典法计算分析滑带土的综合 ϕ 值。分析计算的结果表明，中值约等于 24.8° ，既低于完整粘土岩块体强度指标值（ $\phi = 30^\circ$ ），又高于饱水状态下残余抗剪强度指标（ $\phi_r = 14^\circ$ ），显然更高于极限长期强度值（ $\phi_\infty = 5 - 8^\circ$ ）。表明滑带土强度指标值大幅度下降的可能性是存在的。

为安全计，考虑到气候条件变化可能出现的最不利因素等，就滑坡高速滑动时可能波及的范围也进行了草算分析。滑带土的力学指标值按残余强度考虑，滑体按图2所示滑面整体滑动分析。分析结果表明，高速滑动时前缘滑体有可能向前推进103米，平均滑速可达每秒8米左右。当然，能否出现这种情况，取决于影响滑坡稳定的各种因素的变化及其不利的组合，就现有情况而言，还不致于发生这种情况。

我们除对这次发生的滑坡进行考察外，还对附近一带的山坡进行了调查。发现滑坡北侧一段南北长200多米的山坡也处在变形之中。该段斜坡高180米，坡度为 32° 。沿山脊走向后缘裂缝已

经贯通，顺近东西向冲沟发育的裂缝已和后缘主裂缝相连，其南侧与隆务西山这次发生的滑坡相连，在平面上滑坡的周界已被这些裂缝明显的勾画出来，滑坡已初具雏形。因此可以说，另一个大型的滑坡正在孕育形成之中。严重的是，隆务西山中部发生滑坡之后，使该段坡体的南侧失去了支撑，而在前述滑坡下滑的过程中，一部分下滑力已转嫁至该段坡体的中前部，并在山坡上产生一些平行山脊的裂缝。该段坡体将要产生滑坡的另外一些证据，在斜坡内部和前部也可以找到。

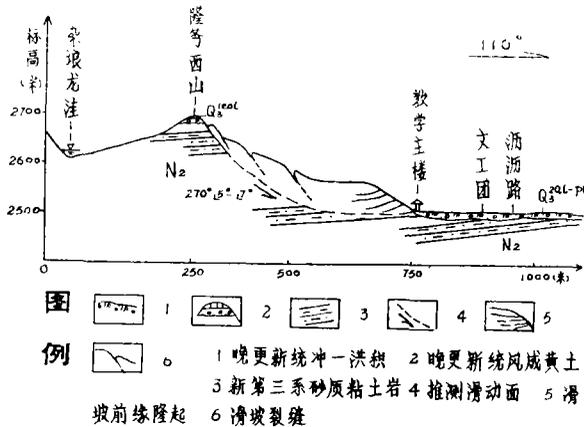
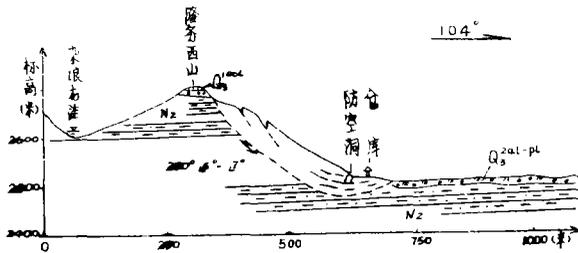


图2 黄南中学滑坡地质剖面图



(图例同图2)

图3 仓库滑坡发展趋势预测剖面图

而且一些因素如地震和特大降雨等又难于预测，我们也从最安全角度出发，就该段坡体可能高速滑动时波及的范围也作了估算。估算的结果表明，剧滑时前缘滑体可向前推移170余米，平均滑速可达每秒10米左右。同时我们还按照国外70多个大型滑坡滑程分析的统计公式进行了计算分析，计算结果是滑动后前缘滑体距后壁的水平距离可达450多米。对比实际的水平距离，两种计算结果大体相近。

五、关于滑坡的治理措施

鉴于隆务西山这次发生的滑坡存在着继续滑动的可能性，而其北侧毗邻的山坡滑动的危险性更大。为了附近居民的安全，应及时采取有效措施进行治理。我们认为治比不治好，早治比晚治好。考虑到山体的结构，施工的技术力量和施工的难度等，我们建议采取上部削坡（下转第39页）

省地震局的同志在坡脚仓库内部设立的重锤明显偏移，地坪微凸，出现裂缝，这些现象表明坡脚前部已出现反倾和位移。此外，我们在坡脚高程2,530米垂直于山脊走向的防空洞内，发现距洞口30—110米一段防空洞混凝土衬砌出现横向贯通性的变形开裂，从外向里裂缝产状由倾向东，倾角45°，逐渐过渡到近乎垂直。这表明，坡体深部切层滑面已处于接近贯通的阶段，一旦统一滑面形成，滑坡即将产生（图3）。

现在已发现的该段斜坡坡脚的变形现象是微凸和反翘，估计其滑动方式大概和这次发生的滑坡一样，是反翘鼓出向前推移。估计该段坡体可能下滑的岩体多达400万立方米，大约相当于这次滑坡体积的2倍，同时重心偏高（距坡脚约80—90米），整个滑体的抗拒部分少，显然下滑时危害的范围比这一次滑坡更大。这次滑坡向前推进大约26米，估计仓库背后斜坡下滑时大概可推出60—70米远。由于触发滑坡的一些自然因素比较复杂

(一) 粘性泥石流运动的基本特征:

1、阵性波。表现为间歇性波状流，是一种非连续的运动状态，其波峰流速最高。阵波性产生的根本原因，是浆体内部物理特性所决定的，由于一定浓度的泥石流流体，具有相当大的起始切应力，因此一定纵波的沟床使它流动需要有一定厚度的流体，以克服其起始切应力。这种临界厚度取决于流体的性质及浓度， $H > n$ 是发生流动的基本条件，否则即停止流动。由于波体在传播过程中不断发生变形，能量逐渐减少，开始虽然具备了流动条件 $H > n$ ，但流动一段距离之后，又能量力不足，直至停止流动。若上游不断的供应物质，流体重力随之增加，克服了粘滞阻力，又开始流动。这种多次重复过程，即形成阵性波的流动特点。

2、波的形状。一般波峰前部较后部短。波前携带的块石大而后部小，流体破碎；而波后流态平稳，块石相对少而小。波前流速大于波后流速，以波峰流速为最大。波峰高度随路程的增长有降低的趋势。因此，由于波的衰减作用，必然会形成上游淤积厚度高于下游。按照流体力学的特性，流体厚度愈大能量愈大的特点，即可压缩断面增加泥深。

(二) 稀性泥石流。 $\gamma_s \leq 1.8$ ，一般为1.1—1.5左右，运动则是连续性的，容易使粗颗粒物分布在最低层床面，影响最低层流速分布；内部大量滚动的石块也会对流体产生阻力，同样影响流速。

四、治理意见

1、建立健全组织领导。抽调技术干部组织滑坡、泥石流规划队，由政府出面开展综合治理，并要求省上列计划，安排经费，集资开展工作，并建议列入长江流域的治理项目。

2、水土保持与治理相结合。光靠水土保持解决不了下面的防洪问题、河床淤填问题，要有工程措施，调整河床比降，科学治理，固土防冲。山顶要以防为主，不要乱采乱伐，要建造水源涵养林；中部千枚岩、页岩地带滑坡山洪沟多，要逐步还林还牧，对乱开垦及破坏坡面要有个法规；坡脚滑动地带要尽量作些谷坊群体（比降小的地区）拦蓄泥砂。马槽沟等北峪河上游及甘家沟上游应层层设防，逐段拦蓄，提高基面，固定坡脚，对防止滑坡有好处。开展小流域治理，改造冲积扇，建立稳产高产田。结合农村新建房舍有计划的搬迁危及安全的村庄。

3、建立蓄、引、漫、排相结合的坡面工程防护体系。

4、建立健全水土保持工作机构，抓紧科学研究，加强群众治理滑坡泥石流的技术指导。

5、对暴雨冰雹多发区的黑虎岸地区设立高炮点，进一步加强群众防雷站，以减少造成滑坡泥石流的动力。

本文作者 王允仁

(上接第23页)

减载；下部填土反压的方案，再辅以整平坡面、夯填裂缝，在山坡上植树造林等措施。治理方案最好能结合城市的整体规划来进行。

为保证安全，从现在开始就必须进行正规的连续的观测，就是在施工过程中也要进行监测。在治理之前，住在危险地带的居民应当撤离疏散。