

陕西安县坡面型泥石流 形成条件及其诱发机制

杨为民, 吴树仁, 张永双, 张春山, 孙炜烽

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 坡面型泥石流是先产生滑坡, 而后迅速转变为泥石流的过程。它兼有滑坡和泥石流的一些特征。宁陕县城周围坡面型泥石流发育于中泥盆统地层的陡坡上。发生坡面流的斜坡残坡积土主要为粘性土, 含少量块石或碎石, 级配较好, 且土层厚度小。土中粘土矿物由伊利石/蒙脱石、伊利石和高岭石组成, 具低—中等膨胀性, 因而其渗透性低—极低。遇持续暴雨作用, 此种残坡积土局部发生启动下滑—流土, 进而在动水压力作用下下泻造浆形成坡面泥石流。坡面型泥石流沟浅而宽, 大多顺斜坡的倾向发生, 也有斜交坡向而沿岩层走向发生, 是沟谷型泥石流发育的雏形。因而, 有必要进一步研究坡面型泥石流的动力学特征, 为泥石流灾害预警提供科学依据。

关键词: 坡面型泥石流; 滑坡; 形成条件; 诱发机制; 陕西安县

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

0 引言

近年来, 关于坡面型泥石流时有报道^[1-5]。如 1984 年甘肃刘家堡坡面型泥石流, 1982 和 1984 年舟曲两次坡面型泥石流^[2], 重庆市北碚区的坡面泥石流^[3-4]。坡面型泥石流(亦称为滑坡型泥石流)是在很短时间内, 由滑坡体的位能快速转化为动能的一次性滑动—流动堆积。它由固体碎屑物、水和气体组成的混合流体, 介于块体运动与挟沙水流之间, 是泥石流的一种主要类型。李树德^[1,6]根据其受力运动方式将其分为滑坡型泥石流和崩塌型泥石流。滑坡型泥石流与一般的滑坡、泥石流不同, 它兼具滑坡和泥石流的一些特征。虽然其规模小, 但由于其具有分布广, 发生地点多、面积大, 速度快, 突发性强, 冲击力强, 因而其造成的危害和经济损失比一般滑坡危害大得多, 是一种危害十分严重的自然灾害。

宁陕县位于安康市最北部的南秦岭造山带的中段, 境内山岭纵横、沟壑交错。巨大的地形高差、陡峻的山坡和“U”型、“V”型狭长沟谷所形成的陡峻临空面, 为山洪、滑坡、泥石流等地质灾害的发生提供了有利条件。2003 年 8 月 28 日至 29 日, 以县城为中心普降特大

收稿日期: 2006-03-16

基金项目: 国家自然科学基金(编号 40472153)及科研院所社会公益类研究专项基金(编号 2004DEI100260)资助。

作者简介: 杨为民(1965-), 男, 工学博士, 教授, 主要从事工程地质、地质灾害及岩土工程方面的研究工作。

E-mail: snon_72@sina.com

暴雨,致使山洪暴发,暴雨诱发了大面积的滑坡、泥石流灾害,致使全县 14 个乡镇普遍受灾,以县城为中心的重灾区域达 800 余 km^2 。受灾最严重的城区灾害类型以泥石流为主,除了兼有少量沟谷型泥石流外,大部分是坡面型泥石流。本文通过野外调查和室内测试,重点研究了宁陕县城周围坡面型泥石流的发育特征、形成条件及诱发机制。深入研究坡面泥石流的形成条件,有助于从本质上揭示坡面泥石流成因机制和规律,为预防和治理坡面泥石流提供科学依据。

1 宁陕县环境地质背景

1.1 地形地貌

宁陕县城分布于长安河、东河两岸,建筑物大多依山傍河而建,属亚热带山地湿润大陆性季风气候区,年平均降雨量超过 1000mm,但分配极不均衡,主要集中在夏秋两季,且降雨常以连阴雨、暴雨形式出现,月平均降水量最大月份为 7~9 月。连阴雨及暴雨季节是宁陕县滑坡、崩塌、泥石流等灾害高发期,暴雨是各种地质灾害发生的重要诱发因素和动力条件。近年来由于暴雨强度大、来势猛,降雨覆盖面积大,历时长,累计降水量大,地质灾害发生的频度和规模有加大的趋势。

1.2 地层岩性

宁陕县城坡面型泥石流主要分布于高家湾南侧山体北坡、宁陕小学东侧山坡、三星坝山体北坡,以及宁陕县城东南侧山坡(图 1)。以县城城南东河为界,北侧出露泥盆系公馆组下部(D_{2gn1})地层,岩性为厚层至中厚层状结晶灰岩、大理岩夹钙质片岩、钙质石英砂岩,局部夹千枚岩、板岩,节理发育,岩体破碎,斜坡残坡积层岩土体结构松散,山体坡高 400m 左右。再向北为中生代的细-中粒黑云母花岗岩。南侧出露下志留统(S_1)及 D_{2gn1} , S_1 岩性为石英片岩夹炭质片岩、灰岩及变质砂岩。各地层共同构成 EW 向延伸的次级宁陕背斜。

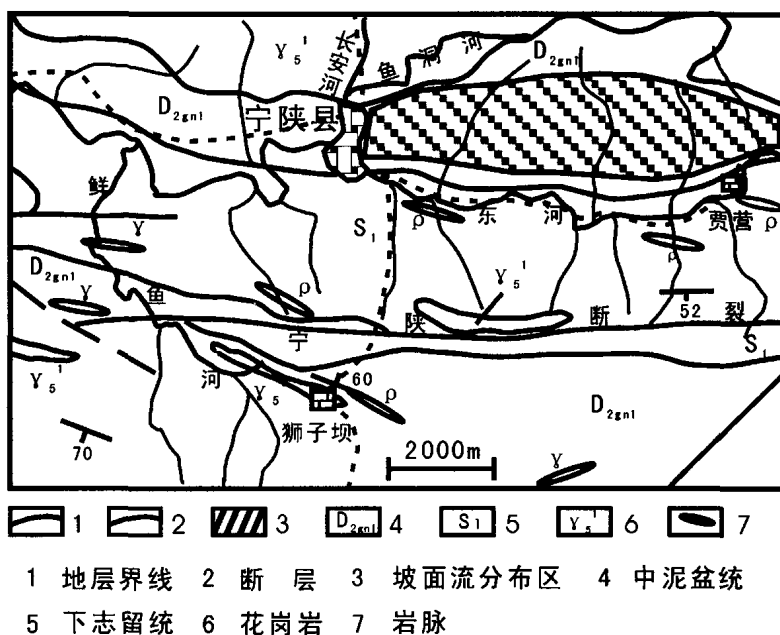


图 1 宁陕县城及周围坡面型泥石流地质图

Fig.1 Geological map of slope type mudflow at the seat of Ningshaan County and its surroundings

1.3 地质构造

区域构造资料显示,该区地跨扬子地台和秦岭褶皱系两大构造单元,经历了多期构造变动,因而构造复杂,断裂褶皱发育,岩浆活动和变质作用强烈。县城及周边地区宁陕背斜轴总体近 EW 向,断裂展布以 EW 向为主,NE 向次之。走向 EW 的宁陕断裂从县城南侧穿过,

破碎带宽 50 ~ 100m。第四纪以来，本区新构造运动和地震活动活跃。新构造运动以间歇性差异上升运动为主，使山体不断抬升，促使河流下切加速，形成了现在山高谷深的地貌景观，致使重力作用异常活跃，为地质灾害的发生创造了动力条件。

2 坡面型泥石流的形成条件

2.1 宁陕县城坡面型泥石流的发育条件

宁陕县城坡面型泥石流的发育分布受控于 D_{2gn1} 地层。为查明坡面型泥石流的形成机理，对宁陕县城周围泥石流沟进行了较详细的调查和测绘，表 1 是其中的 4 条坡面型泥石流沟调查结果。由表 1 及图 1 可知，宁陕坡面型泥石流具有以下特点：

(1) 滑床基岩即主要由 D_{2gn1} 钙质片岩、泥板岩、千枚岩夹薄层灰岩，大理岩化灰岩组成，产状为 $335^{\circ}/75^{\circ}$ 。图 1 及图版照片 1 显示坡面型泥石流主要发育于 D_{2gn1} 地层范围内，受控于 D_{2gn1} 地层，灰岩和页岩均发生了不同程度的变质，灰岩部分发生大理岩化，而页岩变质为片岩，故岩体坚硬耐风化，风化残坡积物厚度较薄，尤其是大理岩化灰岩，常形成次级陡坎地貌，其上残坡积土层厚度更薄。 D_{2gn1} 常形成坡陡高山地形，为坡面流的发生提供了有利条件。

表 1 宁陕坡面型泥石流沟调查表
Table 1 Questionnaire of slope type mudflows in Ningshaan County

沟编号	位置	高程 (m)	沟延 伸方位 (°)	坡形参数			坡积物 厚度 (m)	坡积物特征	下伏基岩
				坡度 (°)	沟宽 (m)	沟深度 (m)			
宁陕小学 东侧山坡 泥石流沟 1	沟顶	1018	305	41	22.0	1.1	1.1 ~ 1.2	松散坡积物主要为粘性土，风化较彻底，含少量块石和碎石，沟底有大块石堆积，最大者可达 2.0m，与基岩接触面明显。下部沟底及两侧均为残坡积粘性土，夹块石和碎石，块石砾径为 0.1 ~ 0.8m，有圆角现象	见 D_{2gn} 钙质片岩、泥板岩、千枚岩夹薄层灰岩，大理岩化灰岩，产状为 $335^{\circ}/75^{\circ}$ ，基岩较坚硬耐风化，尤其是大理岩化灰岩
	中部	959	300	45	8.5	2.2	1.0 ~ 1.1		
	中部	914	305	50	7.1	1.7	0.4 ~ 1.0		
	中部	876	305	50	6.3	2.1	1.2		
	中部	842	305	44	8.1	2.7	1.2 ~ 1.3		
	沟口	800	305	25	2.2	1.4	≥ 7.0		
宁陕小学 东侧山坡 泥石流沟 2	沟顶	992	320	50	18.0	1.8	1.4 ~ 1.5	松散残坡积物为粘性土，夹碎石和块石，坡脚处有 2.0m 高的砌石挡土墙，但因未穿过松散层座落在基岩上，因而遇暴雨时仍有下滑的可能	D_{2gn} 黄绿色泥板岩，夹薄层泥灰岩及中厚层大理岩化灰岩，厚层状大理岩化灰岩
	中部	963	300	50	16.0	1.2	0.3 ~ 0.4		
	中部	926	300	50 ~ 60	25.0	2.0 ~ 3.0	≤ 1.0		
	中部	882	290	50	3.5	1.9	1.3 ~ 1.4		
	沟口	795	290	40	1.2	0.5	≥ 7.0		
宁陕小学 东侧山坡 泥石流沟 3	沟顶	924	250	50	7.0	0.5	0.2 ~ 0.3	残坡积物为粘性土，土壤化明显，沟内尚残留有少量夹碎石、块石的粘性土堆积，块石粒径为 0.2 ~ 0.6m	岩性同上，走向 $65^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，与沟的延伸方向一致，近直立，岩层坚硬耐风化
	中部	867	265	40	18.2	0.6	0.4 ~ 0.5		
	沟口	853	260	35 ~ 40	7.8	0.5 ~ 0.6	0.3 ~ 0.4		
高家湾泥石 流沟西侧 坡面流沟	中部	995	320 ~ 330	41	14.3	1.6	1.3	残坡积物为粘性土，夹碎石和大块石，粒径 $\leq 0.6m$	见 D_{2gn} 中 - 厚层状大理岩化灰岩，弱 - 微风化，向下为钙质片岩
	下部	970	350	30 ~ 50	13.5	5.5	3.0 ~ 4.0		
	沟口	913	360	20	6.0	2.0	0.6 ~ 1.5		

(2) 滑坡处残积土层厚度小, 且主要为粘性土, 已基本土壤化。除沟口(坡脚)处厚度较大外, 滑坡体残积土厚度为 0.3~1.5m, 最大厚度仅 1.5m。松散残坡积物风化较彻底, 含少量块石和碎石, 沟底有大块石堆积, 最大者可达 2.0m, 与基岩接触面明显。下部沟底及两侧均为残坡积粘性土, 夹块石和碎石, 块石砾径为 0.1~0.8m, 有圆角现象。说明坡积物堆积历史长, 受后期物理风化和生物风化作用强烈, 残坡积粘性土中所夹块石具有一定的圆度也证明了这一点, 在山高坡陡的斜坡地带, 块石的圆化不可能由于搬运磨圆, 只能是后期的长期风化所致。

2.2 地貌条件是坡面型泥石流形成的充分条件

坡面型泥石流仅发育在锥形沟谷的陡坡上, 地貌条件是产生坡面型泥石流的重要条件。它对坡面型泥石流形成所起的作用, 最根本地表现在地势为坡面型泥石流提供势能, 并通过山坡坡度和沟谷纵比降将势能转换为坡面型泥石流形成、启动和运动所需的动能; 地貌条件还影响坡面型泥石流的空间分布、规模和特征。

根据野外实地调查和测绘, 形成宁陕坡面型泥石流地貌具有以下特征:

(1) 坡面型泥石流发生后, 沟的深度稍大于残坡积土层的厚度。一方面由于滑坡整体起动后, 滑体本身对下伏基岩风化层的侵蚀切割所造成; 另一方面是由于泥石流发生后, 后期降雨形成的坡面水流对坡面松散堆积物冲蚀搬运所致。

(2) 除沟口处坡角为 20~40°以外, 滑坡发生处斜坡的坡度均 $\geq 40^\circ$, 一般为 40~50°, 平均约为 45°, 最大可达 60°, 说明宁陕县城周围坡面型泥石流滑体在饱水条件下, 其滑坡稳定的临界坡度角为 45°左右。

(3) 滑坡发生处自沟口向上, 滑坡体的宽度总体上表现为逐渐加大的趋势(图 2), 如表 1 中宁陕小学东侧山坡泥石流沟 1 和沟 2。沟顶部宽而浅, 向上受岩性影响, 常发生分叉, 如沟 1 顶部分叉为两条次级冲沟, 中间为厚层状大理岩化灰岩, 形成一次级陡坎。对于次级坡面型泥石流沟, 自沟入口(沟顶)至沟出口(沟口), 滑体宽度表现为窄-宽-窄的特点, 平面上呈桃形, 向下与

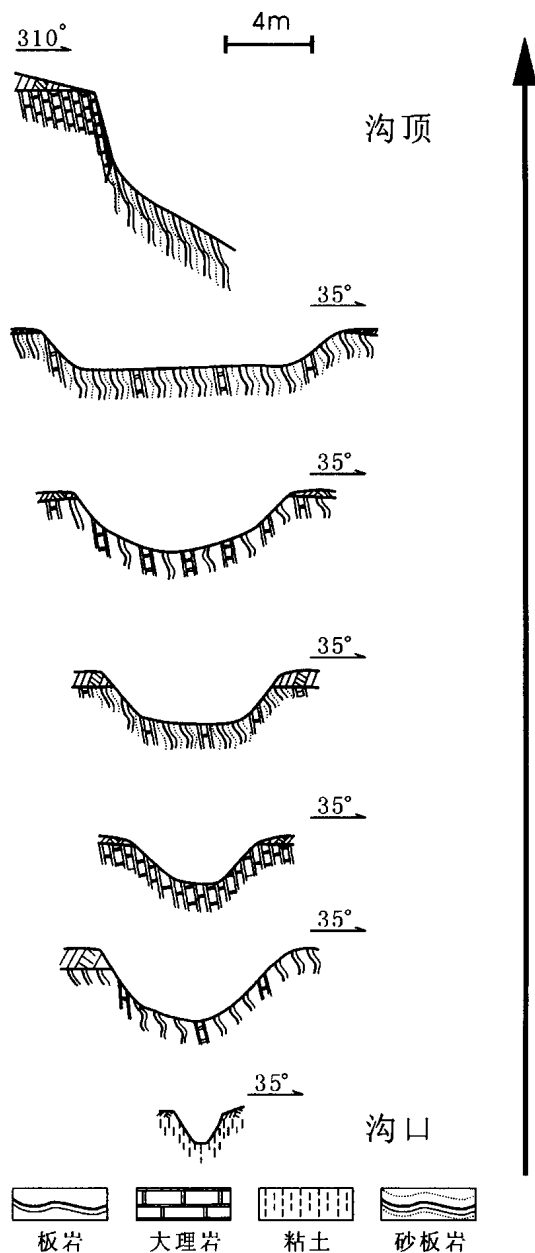


图 2 宁陕小学东侧山坡坡面型泥石流沟横剖面形态纵向变化

Fig.2 Longitudinal change in shape of the cross section of a slope mudflow canyon on mountain slopes at the east side of the Ningshaan Primary School

主沟交汇。

坡面型泥石流形成后，各主沟在平面上表现为辫状或指状（见图版照片2），形态似“癞痢头”。主沟与次沟在平面上呈树形交叉。若上部物源充分，中上部具一定汇水条件的凹型坡面，将会进一步演化成沟谷型泥石流。

（4）沟的延伸方向主要受地形控制，特别是坡向的影响。坡面型泥石流沟主要沿斜坡倾向方向发生，如表1中沟1、沟2及高家湾泥石流沟均表现为此特点。次级泥石流沟除受地形控制外，还受其它因素影响，如表1中沟3即沿下伏基岩走向发生。

总之，坡面型泥石流发生必须具备陡峻的坡度、较长和较为平整的坡面、较薄的坡积层、下伏基岩透水性较差等条件。这与王士革^[8]、李天池等^[9]人的研究结果是一致的。

2.3 残坡积岩土体组成是坡面型泥石流发生的物质基础

滑坡启动下滑后，在坡面水流作用下，瞬间即转变成泥石流奔泻而下，这不仅与残坡积岩土体的厚度有关，而且与其物质组成密不可分。

室内土工试验结果显示，宁陕发生坡面型泥石流的斜坡残坡积岩土体主要由细粒土组成，含碎石或块石，碎石含量 $<20\%$ ，其稠度界限分别为液限 37.0% ，塑限 21.3% ，塑性指数 15.7% ，故为粘性土。对松散坡积土来说，由于这种土是欠固结土，故土的粘粒含量越高，塑性指数越大，其工程性质越差。对粘性土来说，其物质组成尤其是粘土矿物成分是影响土的工程性质的重要因素。粘土矿物XRD定量测试结果显示，粘土矿物为伊利石/蒙脱石混层矿物、伊利石、高岭石，并以中等混层比的伊利石/蒙脱石混层矿物为主，相对含量为 60% ，绝对含量为 17.33% 。残坡积粘土比表面积为 $123.95 \sim 132.14 \text{ m}^2/\text{g}$ ，活动性系数A为 $0.52 \sim 0.54$ 之间，具低—中等膨胀性。

此外，土的渗透性受土的性质影响。渗透性好坏与土的粒径大小与级配、孔隙比、矿物成分、结构及饱和度有关。剔除土样中的块石或碎石后进行颗分试验（图3），可知 $<5\mu\text{m}$ 粘粒含量大于 30% ，其不均匀系数 C_u 为 11.3 ，曲率系数为 0.8 ，表明此种土的级配较好，粒间孔隙被更细小的颗粒充填，反映了此种土的渗透性差。已有的研究结果表明，粘土的渗透系数均 $<1.2 \times 10^{-6}$ ，渗透性为低—极低。

上述测试结果表明，宁陕坡面流发生处的残坡积岩土体具低—中等膨胀性，且渗透性低，这为坡面流的发生提供了重要的物质基础。

3 坡面型泥石流的诱发机制

降雨是触发泥石流的最重要因素，大多数泥石流发生的直接原因是暴雨及其所产生的山区洪流和地表径流。持续的强降雨是宁陕县城坡面型泥石流形成的主要诱发因素。县城从

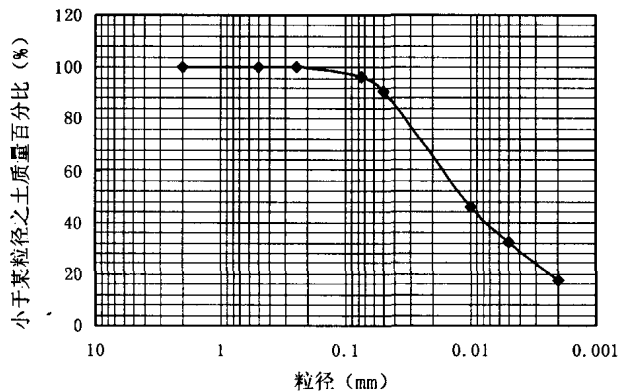


图3 宁陕小学后山斜坡残积土颗分曲线

Fig.3 Grain size curve of residual soils on slopes behind the Ningshaan Primary School

2003年8月28日20:40开始降雨,到30日20时雨停,累计降雨量达347.8mm,其中28日20:40至29日13:05的16个小时降雨量高达301.9mm,灾前的29日11时~12时,1个小时降雨量达69.5mm(图4)。

连续降雨雨水下渗,使坡面残坡积土的饱和度迅速提高,达到饱和或近饱和状态,土体发生软化,由于残坡积土渗透性低—极低,下渗到土体中的水不能及时排出,孔隙水压力迅速增大,结果使滑体土有效应力降低甚至为零,致使斜坡局部地段残积土呈悬浮状态,此时一旦遇触发因素,坡体土将会发生下滑。

其次,随土体饱和度的增高,即土中含水量的增加,残坡积土的粘聚力和内摩擦角迅速降低。张永双、曲永新等^[5]通过对宁陕小学东侧边坡残坡积土的重塑土样力学性质与含水量之间关系的试验研究,结果表明当含水量为26.8%时,土的粘聚力、内摩擦角分别为23.7kPa、14.0°;当含水量达30.3%时,粘聚力、内摩擦角分别为14.9kPa、8.7°,含水量30.3%的强度参数仅为26.8%的63%。可见,当土体含水量超过28%~30%,即饱和度超过75%时,粘聚力和内摩擦角都发生急剧降低。

另外,由于残坡积土层与滑床基岩工程性质差异大,下伏基岩坚硬耐风化,风化深度小,坡积物与基岩之间接触面为力学性质差异明显的界面,由暴雨产生的强烈坡面流一方面对趋于饱和的土体施加冲刷作用,促进了残坡积物的泥化、软化;另一方面,坡面水流顺斜坡上基岩露头处沿坡积物与基岩接触面发生渗流,产生一个向下的渗透力(动水压力),这大大增加滑坡体的下滑力,降低了松散坡积物与下伏基岩间的抗滑阻力。当滑体下滑力超过其与下伏基岩之间的抗滑阻力,即发生下滑。

因而,这种薄层粘土层的下滑实际上是斜坡局部范围内的土体或颗粒群同时发生悬浮移动,是渗透变形—流土。滑体启动后,滑体土产生裂缝,发生崩解,在坡面水流作用下,碎石(块石)、泥(粘土)、水混合在一起顺坡而下,混合物具有很大的势能,加上山高坡陡,固体物质含量大,粘粒成分高,此时产生造浆作用^[10],形成泥石流浆—泥石流,在重力作用下发生大面积的坡面泥石流灾害。这种泥石流浆由于固体物质含量大,浆液粘稠,浮力大,属粘性泥石流,推测容重约16~18kN/m³左右,因而具有较大的破坏力。野外观察到泥石流在下泻过程中,将沿途的植被大部分切割带走,沟两侧的植被可见马刀树、醉汉林现象(见附图版照片3)。

综上所述,宁陕坡面泥石流是一种特殊类型的坡面型泥石流,它是在持续强降雨诱发下,残坡积粘性土岩土体饱和软化,发生整体启动滑坡—流土。而后顺坡下泻,在坡面水流的作用下,产生造浆迅速转变成泥石流。这也是宁陕坡面型泥石流大面积同时发生,相对强降雨滞后出现的主要原因。

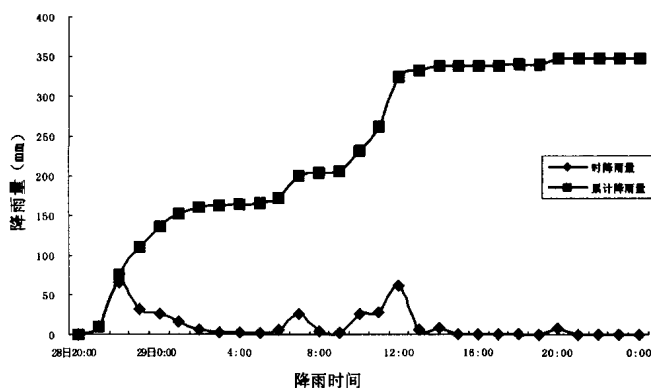


图4 宁陕县城2003年8月28日至31日
降雨量历时曲线图

Fig.4 Curve of rainfall with time at the seat
of Ningshaan County on August 28, 2003

4 结论

通过上述研究, 可以获得以下认识:

(1) 宁陕县城周围坡面型泥石流发育受控于 D_{2gn1} 地层, 坡面流基本沿 D_{2gn1} 地层分布; 坡面流发生处残坡积物厚度小 ($\leq 1.5\text{m}$), 坡度大 ($\geq 40^\circ$), 对松散坡积物来说已处于一种临界角状态。

(2) 宁陕县城坡面泥石流斜坡残坡积土为粘性土, 粘粒含量高, 级配较好。粘土矿物主要为伊利石/蒙脱石混层矿物, 具低-中等膨胀性, 因而它的渗透性低-极低。

(3) 降雨是宁陕坡面泥石流的主要诱发机制。雨水使斜坡残积土饱和度提高, 孔隙水压力增加, 抗剪强度降低, 在动水压力作用下发生流土, 进而下泻造浆形成坡面泥石流。

(4) 坡面流大都沿坡的倾向发生, 与下伏基岩走向成小角度相交, 次级小冲沟沿岩层走向发育, 在平面上与主冲沟交汇, 后经雨水冲刷逐渐形成汇水冲沟, 有顺坡向的, 也有斜坡向的, 这是沟谷型泥石流发育的雏形。

本次研究工作仅探讨了坡面型泥石流的形成条件和诱发机制, 有必要深入研究松散坡积物在水动力作用和加荷条件下的动力学特性, 为坡面型泥石流的预测预警提供依据。目前, 宁陕县城东侧山坡采用挡土墙的方法治理坡面流, 共设置两道挡墙, 但由于斜坡坡脚处松散堆积物较厚 ($> 10\text{m}$), 挡墙底部未能嵌入下伏稳定基岩之中。若坡脚处的泥石流松散堆积物发生蠕变流动, 则治理措施失效。因此, 应进一步查清斜坡各部位松散层的厚度, 并进行长期的变形监测。

参 考 文 献

- [1] 李树德. 滑坡型泥石流形成机理 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 1998, 34 (4): 519~522.
- [2] 林宗耀. 丹东地区泥石流浅析 [C]. 第四届全国泥石流学术讨论会论文集. 兰州: 甘肃文化出版社, 1994. 204~203.
- [3] 徐刚. 坡面泥石流流域地貌要素的概率分布 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14 (2): 70~74.
- [4] 曾凡伟, 徐刚, 李青, 等. 坡度阈值与坡面泥石流—以重庆市北碚区为例 [J]. 山地学报, 2004, 22 (5): 568~571.
- [5] 张永双, 曲永新, 何锋, 吴树仁, 等. 秦巴山区宁陕县城坡面型泥石流的形成机理 [J]. 水文地质工程地质, 2005, (5): 84~88.
- [6] 李树德. 论泥石流的另一种类型—滑坡型泥石流 [J]. 水土保持学报, 1988, 2 (4): 66~71.
- [7] 冯自立, 崔鹏, 何思明. 滑坡转化为泥石流机理研究综述 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14 (3): 8~14.
- [8] 王士革. 山坡型泥石流的危害与防治 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10 (3): 45~48.
- [9] 李天池, 章书成, 康志成. 滑坡型泥石流 [C]. 全国泥石流学术会议论文集. 中国科学院成都地理研究所, 1980. 110~116.
- [10] 陈自生. 高位滑坡的运动转化形式 [J]. 山地研究, 1992, 10 (4): 225~228.

FORMATION CONDITIONS OF SLOPE TYPE MUDFLOW IN NINGSHAAN COUNTY, SOUTHERN SHAANXI, AND ITS INDUCING MECHANISM

YANG Wei-min, WU Shu-ren, ZHANG Yong-shuang, ZHANG Chun-shan, SUN Wei-feng

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: The occurrence of slope mudflow is a process in which a landslide first occurs and then rapidly changes into mudflow. It has some properties of landslide and mudflow concurrently. The slope mudflow around the seat of Ningshaan County occurs on a steep slope of Middle Devonian strata. The eluvial soils on slopes where surface flow occurs are mainly clayey soils with some blocks or debris. They have good grading distribution and a thin soil horizon. The clay minerals in the eluvial soils consist of illite/montmorillonite, illite and kaolinite with low and intermediate dilatibility, so their permeability is low or very low. When rainstorms persist, such soils will start to slide down the slope and be eroded, and furthermore, they rush down and form slurry, thus giving rise to slope mudflow. The canyons of slope mudflow are shallow and wide and mostly occur downslope, and sometimes those that obliquely intersect the slope direction but are parallel to the strike of the strata are also seen. They are embryos of canyon type mudflow. Therefore, it is necessary to study the dynamic features of slope type mudflow to provide a scientific basis for early-warning of mudflow disasters.

Key words: slope type mudflow; landslide; formation condition; inducing mechanism; Ningshaan County, Shaanxi

(上接第 210 页)

CAUSE ANALYSIS AND QUANTITATIVE ZONATION OF MUDFLOW HAZARDS ALONG THE RAWU-LUNANG SECTION, SICHUAN-TIBET HIGHWAY

DING Ji-xin^{1,2}, YANG Zhi-fa³, SHANG Yan-jun³

(1. *China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China;*

2. *Beijing Resources & Environment Engineering Company Ltd., Beijing 100045, China;*

3. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of sciences, Beijing, 100029, China*)

Abstract: Unique geological, geomorphic, hydrological and climatic conditions cause various kinds of mountainous hazards, especially very serious mudflow hazards, to occur frequently in the Rawu-Lunang section, Sichuan-Tibet Highway. On the basis of previous research and the authors' field investigations, it is thought that the complex geological structures, strong crust movements and rivers erosions, frequent earthquakes, abundant loose deposits, favorable geomorphology, well-developed modern glaciers and plentiful precipitation are the principal causes of triggering frequent mudflows in the study area. For the purpose of more effective disaster prevention and reduction, the rock engineering system (RES) method is adopted to make a quantitative zonation of mudflows in the study area. By comparing the quantitative mudflow zonation with the preliminary qualitative zonation and distribution of mudflows, it is verified that the quantitative mudflow zonation method is correct and feasible.

Key words: Sichuan-Tibet Highway; mudflow; hazard cause; quantitative zonation

附图版



照片 1 宁陕县城北侧山坡坡面泥石流沟景观，照片上方山体均为 D_{2gnl} ，中下方为 γ_5^I 花岗岩，可见坡面流发育受 D_{2gnl} 岩层走向控制明显，镜头向 $SE130^\circ$
Photo 1 Landscape of slope mudflow ravines on hill slopes north of the seat of Ningshaan County. The upper side of the photo is D_{2gnl} and the middle-lower side is granite (γ_5^I). The development of the slope mudflows are notably controlled by the strike of D_{2gnl} . looking toward $S130^\circ E$



照片 2 宁陕县城东侧山坡坡面泥石流景观，泥石流沟主要顺坡向发育，少数斜交坡向，平面上呈辫状，镜头向 $NE40^\circ$
Photo 2 Landscape of slope mudflows on hill slopes east of the seat of Ningshaan County. Mudflow ravines mainly occur downslope and some occur obliquely to the direction of the slope. In a plan view they show a braided pattern. Looking toward $N40^\circ E$.



照片 3 宁陕县城东侧山坡坡面泥石流形成的马刀树、醉汉林现象，镜头向 S
Photo 3 Various shapes of trees formed by slope mudflow on hill slopes east of the seat of Ningshaan County. Looking toward S