

马槽沟泥石流防治工程初探

蔡祥兴 李鸿琏 崔炳田

(中国科学院兰州冰川冻土研究所和武都水土保持科学试验站)

提 要

马槽沟流域面积13.1平方公里,上游清水供给区面积占26%,中游断层破碎带面积占32%,下游黄土滑坡区面积占42%。泥石流固体物质主要来自中下游。为一条多发性粘性泥石流沟,输入北峪河的泥沙量约占北峪河含砂量的1/4,对北峪河口的武都县城威胁很大。该沟中下游滑坡连接成片,但滑坡在沟岸的临空高度平均只有1.1米,最高者也不超过4.5米,而且滑坡轴线大体和沟槽垂直,有利于采用建坝拦淤以稳固滑坡的防治方案。为此,主沟布设了13座拦挡坝,现已完成7座,经过两年的洪水和泥石流考验,效果良好。

马槽沟,在武都县城东北约13公里处的马街镇汇入白龙江的一级支流北峪河。该沟近几年每年发生泥石流2—3次,不仅是武都地区的典型粘性泥石流沟,也是陇南地区多发性泥石流沟之一。它对村镇、农田、水利设施和武都的交通经常造成危害,特别是将其大量泥沙输入北峪河,使北峪河河床逐年抬高;对武都县城的安全也有着很大的威胁。经有关专家和科技人员多次论证,认为该沟在武都地区泥石流沟中具有充分的代表性,而且面积(13.1平方公里)大小适中,应作为武都地区泥石流观测和防治实验的重点沟谷。

一、泥石流形成条件

1、地质构造与岩性。由图1可知,马槽沟流域的中上游有一个东西向断裂破碎带,面积为4.2平方公里,占马槽沟流域面积的32%。岩性以志留系黑灰色千枚岩为主,局部地段也分布着一些泥盆系灰岩。分水岭主要由泥盆系灰岩所构成,切割轻微,山体完整,面积3.4平方公里,占马槽沟流域面积的26%;第四系黄土已被冲蚀殆尽,只零星分布于山体顶部;中下游区的面积为5.5平方公里,占马槽沟流域面积的4.2%,大部为黄土所覆盖。黄土下伏基岩为第三系红色粘土岩夹砂质板岩。

2、泥石流固体物质源。除马槽沟流域源头为清水供给区外,断裂破碎带和其以北地区各种不良地质现象,特别是滑坡和沟岸坍塌,既普遍又严重,既为泥石流提供了丰富的固体物质,又导致了马槽沟泥石流只有形成区而无流通区(图2)。

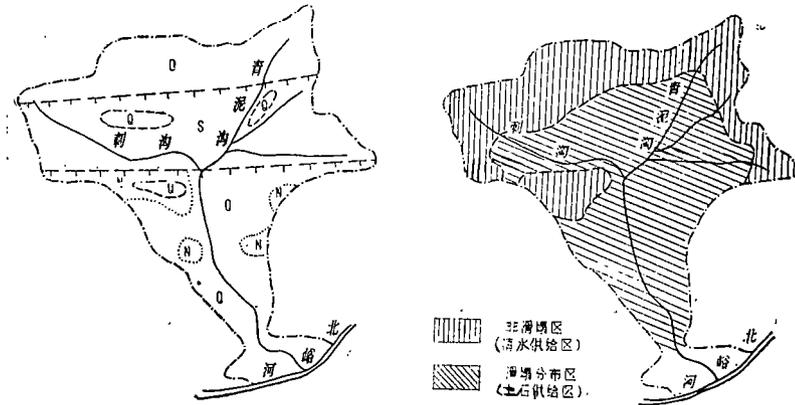
(一) 滑坡。流域内有新老滑坡共计32处,总面积3.04平方公里,占流域面积的23%,占形成区面积的48%(表1),其中以黄土为主的滑坡12处,石质滑坡20处;滑坡前缘再次滑动的有15处,处于稳定的1处,有30处滑坡可对泥石流直接供给部分物质。近百年来发生尚在活动的有16处,面积0.681平方公里,占全部滑坡面积的22%;已经滑坡扰动破碎的土石量达8,294万立方米,其中尚在活动的土石方量有1,704.3万立方米。

需要指出的是,这些活动中的土方量在现阶段并不全是泥石流固体物质,但大滑坡中又有小滑坡,老滑坡中又有新滑坡,形成上下陡中间缓的多级阶梯状地貌形态(图3)。滑坡前缘(即沟

岸)为 30° — 50° 的陡崖,中部坡度为 5° — 15° ,起伏不平;后壁陡达 50° — 60° ,多处悬崖直立。这种陡缓相间的地形坡面,反映出山坡曾经多次变形,引起局部地段再次滑动,形成大滑坡套小滑坡的层叠滑坡群;前缘小滑坡的活动,常可引起老滑坡复活,不断供给土石。近百年来,马槽沟中下游曾发生过4次较大规模的滑坡堵沟:1975年蒿湾滑坡堵沟,阻截水深达10米,拦蓄的泥石流冲击物回淤长度300米,坝体短期内即被冲毁;1979年崖湾大滑坡堵沟,以崩塌形式将约6,000万立方米土体推至沟底,堵成高达60米的土坝,阻水成湖,堵塞时间长约10多年,坝上游拦截了大量泥石流冲击物,沉积厚度约达30米,淤积面宽200—400米,沿沟分布长度达1,100米,估算得沉积物量253万立方米,后来堵塞坝被冲毁,沟道恢复至原有宽度;1985年10月,沟口右岸的金

窟窿山坡突然从高达200米的陡崖上滑塌,滑下土体78万立方米,堵住沟道,形成高约13米的土坝,聚水成湖,回水长达220米,最大水深10米;1986年8月6日泥石流冲击的大量石块拦在湖内,将沟床淤高2米左右,平均宽度达20米。

以上所述,仅系痕迹显明的几次滑坡堵塞现象,临时性堵塞沟阻水的次数可能更多。由于马槽沟受滑坡堵塞与泥石流冲刷的结果,形成如图3所示的那种谷中套沟的复式沟谷形态,沟槽狭窄,沟壁陡立,只需2—3万立方米土体即可堵住沟道。



TTT—断裂, N—第三系红土岩,
D—泥盆系灰岩, d—第四系黄土,
S—志留系千文。

图1 马槽沟流域地质图

图2 马槽沟滑坡分布范围

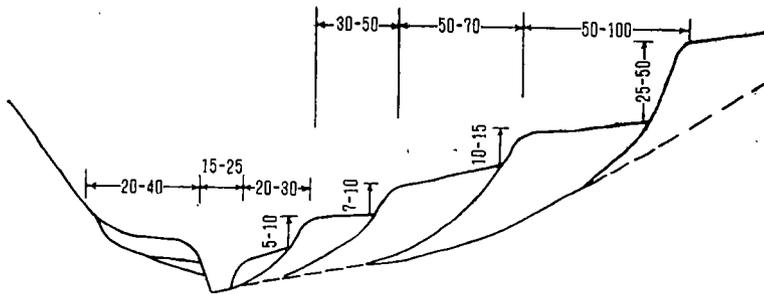


图3 马槽沟中下游典型沟谷横断面示意图 (图中尺寸均以米计)

滑坡堵沟的结果,有可能抑制泥石流,减小其规模,也有可能促进泥石流活动,增大规模:

1、当滑坡规模大,进入沟槽的土石量多,堵塞坝厚而高,库容大(容量一般大于50年一遇的泥石流总量),滞流时间长,库内停积的泥砂多时,沟床宽度一般可达30—40米,保证库容基本消失。在这种情况下,即使泥石流从坝顶溢流,也不致造成坝体总溃决,而只在局部坝面冲开缺口,以满足泥石流泄流。由此开始,在疏松的沉积物上溯源侵蚀,使淤积段的沟道达到堵塞前的宽度和深度,进而形成较稳定的沟道,其两侧仍保留着一定宽度的淤积平台,以抵御滑坡继续活动。大崖湾滑坡堵塞沟道、拦蓄泥石流的结果,就起了上述的良好作用。

2、当滑坡规模小,堵塞坝低而单薄,库容小,连一场泥石流都不能拦蓄时,来自上游的泥

马槽沟滑坡要素表

表 1

编 号	轴线长度 (米)	平均宽度 (米)	平均厚度 (米)	坡 度 (°)	滑坡面积 (平方公里)		滑坡体土石量 (万立方米)		性 质	岩 性	发生年代	稳 定 性
					新老滑坡	新 滑 坡	新老滑坡	新 滑 坡				
1	170	200	25	26	0.035			78.5	崩塌型	黄土、粘土	1984年	临 动
2	200	250	30	33	0.041	0.010	123.0	30.0	推 移	黄 土	1985年10月	前部不稳定
3	400	600	40	26	0.174	0.094	348.0	38.0	同	同	1979年 1975年	前缘不稳定
4	870	420	40	18	0.300	0.050	1,200.0	200.0	同	黄土、粘土	1979年	活 动
5	1,100	400	40	19	0.460	0.070	1,840.0	280.0	同	黄 土	同	同
6	710	300	30	13	0.104		312.0	24.0	同	同	1976年	前缘不稳定
7	750	500	40	17	0.253	0.040	1,012.0	160.0	同	同		同
8	200	140	30	16	0.030			90.0	同	同		活 动
9	250	200	25	16	0.370	0.010	92.5	25.0	牵引	土 石		前部不稳定
10	150	300	25	18	0.045		112.5	0.0	同	同		同
11	230	140	25	23	0.020			50.0	同	同		活 动
12	220	180	25	23	0.030			75.0	同	同	1984年	活动无直接补给
13	1,700	90	25	20	0.008	0.008		20.0	同	同		前部活动
14	400	240	30	23			240.0		同	同		前部崩塌
15	210	160	25	21	0.019			47.5	浅滑	石 质		活 动
16	200	360	25	27	0.065	0.033		81.3	同	同		同
17	280	300	25	30			161.0		牵引	同		前部滑动

续表 1

18	100	170	20	31	0.007		14.0	浅滑	石	质		活
19	90	110	20	24	0.008		16.0	同	同	同		同
20	90	100	20	24	0.009		18.0	同	同	同		同
21	180	80	20	24	0.010		20.0	同	同	同		同
22	140	120	20	24	0.013		26.0	同	同	同		同
23	100	140	20	31	0.012		24.0	同	同	同		同
24	180	190	20	29	0.023		45.0	同	同	同	1984年	同
25	300	250	20	26	0.052		104.0	牵引	同	同		同
26	610	780	30	24	0.042	0.292	126.0	同	同	同		同
27	450	400	25	23		0.130		同	同	同		同
28	500	440	20	20		0.175		同	同	同		同
29	860	260	20	27	0.018	0.178	36.0	推移	黄土、粘土	前缘滑塌	1979年5月	前缘滑塌
30	800	250	20	25	0.012	0.122	24.0	同	同	同	1979年	同
31	470	920	20	25	0.026	0.281	52.0	同	同	同	1979年	同
32	300	330	20	28		0.070		同	黄土	土	1979年5月	稳定

注：滑坡厚度，是后壁高度与前缘扰动土体厚度的平均值，并用滑坡体上部冲沟中出露的滑坡体厚度作了校正。

泥石流和洪水翻越坝顶，导致坝体溃决，增大泥石流规模。

3、当滑坡体少部分物质到达沟槽，形成局部堵塞时，因洪水冲蚀边岸堆积物，也容易形成泥石流。

上述三种堵塞形式，今后在马槽沟中仍有可能出现。

(二) 坍塌。直接给泥石流补充固体物质的，是位处沟岸的再生小型滑坡及坍塌（以下称沟岸坍塌）。马槽沟中的沟岸坍塌可分为：

1、严重坍塌区。坍塌体连续分布，土石堵塞沟道，影响正常水流，如遇洪水冲蚀，即可就地产生泥石流；

2、一般坍塌区。坍塌体连续分布，土石堆成单个锥体，局部阻碍水流，可为泥石流增加固体物质；

3、轻微坍塌区。坍塌体零星分布，沟道较宽（6米以上），侧蚀不严重，有部分物质补给泥石流。

上述三种坍塌体的总长度约6.8公里，已经坍塌或近期内可能发生坍塌的平均宽度估算为100米，坍塌体的厚度用临空面高度与稳定边坡的坡度相参照，估算为25米。估算得已经坍塌和可能坍塌作为直接补给物的土石量约为1,700万立方米。单位面积上可能补给的固体物质量约为131万立方米/平方公里。按甘肃泥石流容重经验公式 $\gamma_c = 1.1A^{0.11}$

式中： γ_c ——可能产生的泥石流容重；A——单位面积上的固体物质补给量判断，该沟泥石流经常出现的容重在2.0吨/立方米以上。

单从近期内可能补给的固体物质量看，马槽沟泥石流在白龙江中游属于最严重的沟谷之一（表2）。

表 2 马槽沟与邻近沟谷可能补给量比较

沟 名	流域面积 (平方公里)	可能补给量 (万立方米)	单位面积补给量 (万立方米/平方公里)	容 重 (吨/立方米)
马 槽 沟	13.1	1,300	131	>2.0
甘 家 沟	40.4	4,400	109	2.3
东 江 水 沟	7.0	880	125	>2.0
泥 湾 沟	10.3	2,780	269	>2.0

(三) 降水。据马街水文站资料，马槽沟流域年降水量约 500 毫米，属半干旱山区。除个别丰水年外，泥石流的发生与前期和当日降水均有关系。

近几十年来，马槽沟几乎每年都发生泥石流。1984年8月2—3日，马街水文站降雨量107.2毫米，马槽沟接连发生3—4次泥石流；1986年夏季，在马槽沟流域布设了4个自记雨量计，记录了8月6日泥石流发生的雨情，降雨笼罩面积约3.3平方公里，泥石流发源地雨强大的刘家山雨量点（海拔1,755米），45分钟降雨量29.5毫米，其中10分钟雨量23毫米，激发了泥石流，在相同海拔高度上的郭楞干降雨9.2毫米（20分钟），并未发生泥石流。由此推断，这次泥石流的发生与10分钟降雨关系密切，临界雨强约为15毫米（图4）。此值比曾经在武都县境内观测的火烧沟、柳湾沟等泥石流发生的临界雨强（10分钟雨量5—10毫米）为大。这可能是火烧沟与柳湾沟泥石流形成区坡度陡，泥石流发生前有连续降雨之缘故。

(四) 地形。包括以下两个方面:

1、流域形态。马槽沟流域宛如“瓢状”。刺沟与青泥沟汇合口(图1)以上,平均宽度约4.2公里;刺沟与青泥沟汇合口以下至马槽沟村,平均宽度约2.1公里;马槽沟村以下至沟口,平均宽度只有约0.8公里。流域形态系数0.66。这种流域形态有利于暴雨洪流的迅速集中,形成较大的洪峰流量。

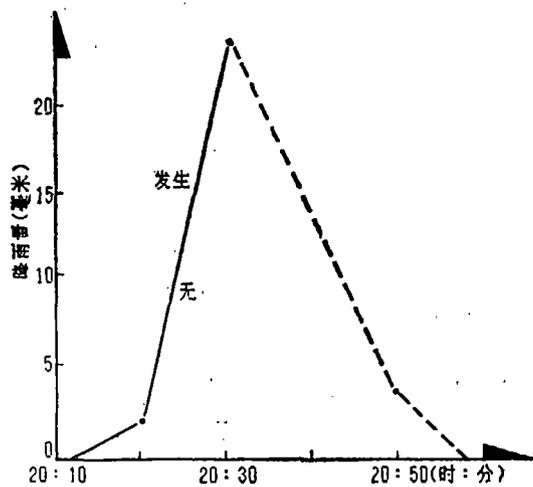


图4 马槽沟泥石流发生时的雨强

2、沟床比降。由表3可知,马槽沟的主沟和支沟,其平均比降均在13%以上,而且中下游的主沟和支沟沟床多已切割至第三系地层,沟槽横断面多呈窄而深的V形,沟床宽度一般只有5米左右。这种沟床比降和沟槽形状不仅有利于泥石流的流动,而且对泥石流的形成也有重要影响。

刺湾沟与青泥沟汇合口以上,沟床又多被千枚岩滑塌体所堵塞,当水流注入使滑塌体到饱和时,便可借重力流动,为重力型泥石流流区;汇合口以下为水动力型泥石流流区,即来自上游的洪水或小规模泥石流冲蚀主沟两侧滑塌体形成容重和流量更大的泥石流。

表3 马槽沟沟床比降

沟名	沟长(公里)	平均比降(%)	沟道状况
主沟	7.75	15	第三系红层出露,多处形成小跌水。
门底沟	0.65	31	发育在滑坡体上
双砂沟	0.80	25	同上
大沟湾沟	1.67	22	发育在断裂带中的V形沟
青泥沟	1.22	28	同上
家河沟	1.40	19	同上
张阴山沟	0.75	29	同上
赵安子沟	1.00	24	同上
艾沟	0.80	35	同上
刺湾沟	2.24	13	同上
孔儿沟	0.75	34	滑坡上的冲沟
大崖湾南沟	0.96	35	同上
大崖湾北沟	0.72	36	同上

二、泥石流特征

(一) 泥石流性质。根据可补给固体物质数量估算,该沟今后泥石流最大容重每立方米可达2.0吨以上。1984年8月3日,泥石流通过后调查的容重达2.29吨/立方米,实测得1986年8月6日泥石流容重1.9吨/立方米(由于受沟口湖水稀释,比中游容重小)。另外,泥石流过程具有

典型阵性波状流特征。1986年8月6日的泥石流，在28分钟内接连出现24次阵性流(图5)。由上可知，马槽沟泥石流属典型粘性流体。

(二) 泥石流流量。据1986年8月6日泥石流观测资料，流速一般每秒4米左右，最大达6米/秒，最小0.64米/秒；实测得8月6日沟口泥石流最大流量31.6立方米/秒。根据泥石流过后沿沟痕迹测量，流量沿程变化较大，距沟口3公里处

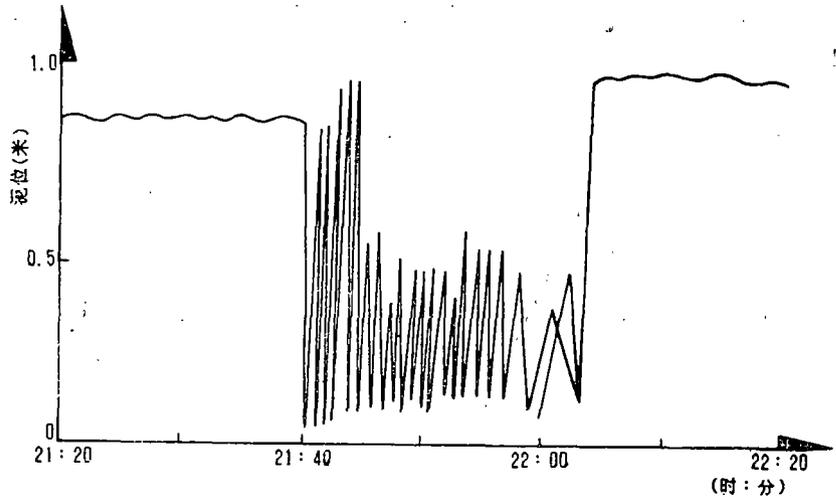


图5 8月6日泥石流部分浪位过程线

的中游流量为83.9立方米/秒，沟口流量不及中游流量的一半。在流程约7公里的沟道中，流量出现如此明显地削减，是受沟口附近一处滑坡堵塞湖拦堵的结果。堵塞湖长约220米，平均宽度37米，水深2—10米，堤顶高出水面约2米。该次泥石流受堵塞湖的滞留，只有一部分流体从底宽0.67米、深2.5米、断面积2.7平方米的缺口流出。

表4 马槽沟泥石流规模比较

沟名	流域面积 (平方公里)	固体物质 储量 (万立方米)	容重 (吨/立方米)	单位面积泥 沙冲出量 (万立方米)	单位面积每秒 产流量 (立方米/平方公里)	备注
马槽沟	13.10	8,294	2.29	26	34.0	计算
甘家沟	40.40	4,430	2.30		9.6	1984年8月3日调查偏小
柳湾沟	1.97	1,040	2.12	23	31.0	1963年9月1日观测
山背后沟	2.18	100	2.12	23	31.0	1966年7月30日观测
火烧沟	1.98	1,700	2.20	135	194.0	1972年8月26日观测

这次泥石流径流时间长达3时23分钟，径流总量为8,534.7立方米，其中泥砂总量为47.62万立方米，沉积在沟口的泥沙3,813立方米，只为冲出总泥沙量的8%，绝大部分汇入北峪河随洪水流失。

1984年8月3日泥石流泥痕流量246立方米/秒。按配方法计算的马槽沟百年一遇的泥石流流量为542立方米/秒，五十年一遇的流量为434立方米/秒。

(三) 泥石流规模。与武都地区有观测和调查资料的泥石流沟相比(表4)，马槽沟流域滑坡多，破碎的土石量大，单位面积上的泥石流冲出量仅次于火烧沟，居第二位。由表4中的参数看出，马槽沟属武都地区规模和作用强度较大的严重泥石流沟。

三、工程防治的必要性

(一) 要消除泥石流危害必须进行工程防治。主要有：

1、马槽沟在北峪河下游段，又是这里泥石流最严重的沟谷，它输移到北峪河的泥沙确不可低估。以1984年泥石流为例，8月3日北峪河马街断面实测流量为445立方米/秒；与此同时，马槽沟泥石流流量246立方米/秒，以输入大河流流量92%计，则其输入流量227立方米/秒，输入的泥砂占北峪河洪水含砂量的1/4左右。

2、历史上曾对该沟口的马街村和天武公路带来严重危害，今后依然存在着严重威胁。据调查，横跨马槽沟的天武公路桥，近年来曾三次被泥石流冲毁，而马街村受灾的次数更多，仅1984年就淹埋了该村的学校、民舍，有10多户人家被迫搬迁。为了确保村庄的安全，仅以一土堤导流，在冲积扇不断淤积升高的情况下，这种简易工程的防灾能力是相当低劣的。

3、由于泥石流的强烈侵蚀，使沟底下切，引起沟坡失稳，接踵而来的滑坡对马槽沟流域内的3个村庄，3,000多居民带来灾难。例如，1984年的马槽沟村西侧滑坡，使该沟左侧唯一的水渠毁于一旦；1984年仅一次滑坡，迫使一处村庄迁移；1985年金窟窿滑坡，又把通向沟口外的唯一一段公路推到沟底。目前有几个村庄仍处在活动滑坡上。

(二) 要控制水土流失必须进行工程防治。马槽沟流域面积，只占北峪河流域面积的3.2%左右，于治理易。开展马槽沟泥石流防治研究工作，不仅对控制马槽沟的严重水土流失，减弱或消除泥石流对沟口农田和村镇的危害有重要意义，而且对减少北峪河泥石流的规模和容重，缓和其对武都县城的威胁也有重要作用。要控制马槽沟的严重水土流失，必须从两个方面着手：一是要开展广泛的植树造林及梯田化工作；二是要做好各种不良地质现象的稳固工作。二者缺一不可。

植树造林及梯田化，能减缓由坡面侵蚀所形成的水土流失，是无庸置疑的。但它对控制滑坡集中补给而导致泥石流暴发所引起的重力侵蚀的作用并不大。在马槽沟这种特有地层结构和地形条件下，植树造林及梯田化，不仅对泥石流起不到控制和减缓作用，相反地还可能起到扩大和加速作用，原因是马槽沟流域的中下游沟槽两侧，滑坡非常普遍。这些滑坡多属中深层黄土滑坡，滑动面深度在20米以下。植物根系对稳固滑坡起不了作用，植树造林和梯田化之后，地表径流减少了，入渗径流增加了。通过黄土下渗的壤中流，到第三系红色粘土层后受阻，被迫在黄土与红色粘土接触面处聚积或沿接触面坡度流动，致使红色粘土被浸润软化，摩擦系数降低，这是黄土层失稳滑动的主要原因；沟岸坍塌及部分岩崩也属此因。这有可能导致滑坡和沟岸坍塌的扩大和活动。上述情况的分析表明，要控制马槽沟严重的水土流失，关键在于控制各种不良地质现象的发生和活动，为植树造林和梯田化创造条件，促使其取得良好效果。云南省东川大桥河泥石流的治理成功，使246.7公顷遍布巨石的、景观荒凉的泥石流扇形地变成了稳产高产的农田，并荣获云南省重大科技成果二等奖。这就是先工程后植被取得成功的。

四、工程防治的可能性

稳定滑坡采取什么方案，必须具体情况具体分析。目前采用的防滑方案主要有抗滑桩，盲沟加排水沟，削坡减重和建坝拦淤等。一般来讲，以建坝拦淤，使滑坡的滑动面淤埋于沟床以下，让滑坡的下滑力经由拦淤土体传给对岸山体，从而促使滑坡得以稳定的方案最为稳妥和经济。在天水红山试验机厂和略阳车站涵王洞沟采用此种方案都取得了显著的效果。但采取此种方案有两个限制条件：一是滑动面在沟岸的临空高度不能过大，否则就需要修建很高的高坝，或单个坝高虽然不大而总高很大的坝群，投资反而增加；二是滑坡的轴线不允许以锐角与坝体相交，最好与沟床大体垂直，使坝体只承受其拦淤土体的侧压力，而不承受滑坡的下滑力，否则任何坚固的坝体都可能被摧毁而导致失事。马槽沟中下游各沟段，滑坡的滑动面在沟岸上的临空高度一般在3—5米之间，总平均高度只有1.1米。完全能满足采用建坝拦淤、稳定滑坡的第一个限制条件；滑坡轴线

都与沟床大体垂直，第二个限制条件也是能完全满足的。此外，马槽沟沟床属于下切性质，沟槽多为窄而深的障谷，第三系砂质板岩、粘土岩及泥盆系大理岩在沟底随处可见，在坝体设计时可不考虑消能设施并加长相邻两坝的间距；同时坝体轴线很短，一般都在20米以内，因而投资较少。总之，马槽沟采用建坝拦淤方案以稳固滑坡，从固体物质补给来源方面限制泥石流的暴发，条件是相当有利的。

按照先确定坝址，后按回淤坡度确定坝高，不淤埋农田并和马槽沟流域原水土保持规划相衔接的原则，在主沟及大支沟中共需建立13座拦挡坝，即可基本消除沟岸坍塌并使绝大部分滑坡趋于稳定。建这些坝总概算为35万元，在技术上和经济上都是可行的（表5）。

五、工程效益估计

由表5可知，拦挡工程实施之后，中下游沟床可平均抬高6.2米；沟床宽度可由平均5米拓宽为平均22.3米；滑坡滑动面在沟岸的临空条件基本消失，大部沟段的沟岸坍塌及坡积物可能达到自然安息角；调节库容总量达24万多立方米。根据这些情况估计的各项效益简述如下：

（一）对不良地质现象稳定性的估计。在布设有拦挡坝的马槽沟中下游沟段，滑坡的滑动面在沟岸上的临空条件大部分可以消失。目前尚处在不稳定状态，部位较低的滑坡均可能达到稳定状态。受此影响，处在山坡中上部的滑坡体，也有可能逐渐趋于稳定。沟床拓宽后，主沟段的沟岸坍塌体、岩崩体及风化散落的坡积物，都有可能达到其自然安息角，并可在沟道中增加约26.7公顷水浇地。

（二）对泥石流性质变化的估计。如前所述，马槽沟泥石流的固体物质主要来源于流域内中下游的滑坡和坍塌，在其得以稳定和活动逐渐减缓之后，固体物质补给来源将会大量减少；再加上拦挡坝的24万立方米的调节库容的作用，泥石流的性质肯定会发生明显变化，对泥石流容重的影响就更大了。据估算，马槽沟五十年一遇的泥石流固体物质的冲出总量为47万立方米，调节库容可调节一半，马槽沟将可能变为一条容重在1.5吨/立方米左右的稀性泥石流与洪水相间的沟谷。

（三）对泥石流流量变化的估算。目前对无观测资料的小泥石流沟的流量计算，多采用公式

$$Q_M = Q_F (1 + \phi) D。$$

式中： Q_M ——代表泥石流流量； Q_F ——代表洪水量。由这个公式可以看出， ϕ （泥石流系数）和 D 。

（堵塞系数）对泥石流流量的影响非常大。拦挡坝实施之后，马槽沟泥石流的容重可能下降到1.5吨/立方米左右；沟床拓宽之后，堵塞系数可能由目前的2.0左右变为1.0。由此可以计算，马槽沟五十年一遇的泥石流流量，将由433立方米/秒减少为97立方米/秒。其各种频率的泥石流流量也将以此种比率相应减少。

（四）对泥石流危害程度的估计。通过上述三方面的分析可知，拦挡坝实施之后，各种不良地质现象将逐渐趋于稳定，泥石流性质和泥石流流量都将发生很大变化，因此，泥石流危害也将极大地减轻或消失。工程实施后，沟口冲积扇上的排导沟如能保持现有断面面积（40平方米），并能保证畅通时，马街镇及该沟口农田，即可免遭重灾，马槽沟中下游区的农田、水利、道路及村庄的安全也能得到保证，输入北峪河的泥沙可减少一半（以1984年泥石流冲出物数量26万立方米计）。

但必须强调的是，在泥石流防治中‘工程治理与生物措施，两者相辅相成；如果缺少任何一方，欲达到泥石流根治，是不可能的。因此建议在修建防护工程的同时，尚应集中人力物力进行林草种植和农田建设，期望在较短的时间内，搞出一个可资推广的典型。

表 5 马槽沟拦档坝效益比较表

坝号	坝高(米)	回淤长度(米)	沟床宽度(米)		沟床平均高抬(米)	总库容(万立方米)	保证库容(万立方米)	调节库容(万立方米)	滑动面临空高(米)		沟岸坍塌、坡积物达到自然安息角的可能性
			建坝前	建坝后					建坝前	建坝后	
1	7	671.5	19.5	40.5	6.3	11.8	6.3	5.4	-3	-9.3	全部可能
2	7	135.0	1.5	21.9	5.6	0.9	0.7	0.2	4.5	-1.1	局部可能
3	8	312.5	3.5	21.1	5.9	2.4	1.3	1.1	3.5	-2.4	大部可能
4	8	281.3	4.0	19.7	5.6	2.4	1.6	0.9	3.0	-2.6	同上
5	7	289.3	5.0	21.3	4.9	2.4	1.5	0.9	0.6	-4.3	同上
6	6	263.0	2.0	17.3	4.5	1.2	0.7	0.5	3.5	-1.0	局部可能
7	6	548.7	5.0	21.3	3.8	3.4	1.7	1.8	0.0	-3.8	大部可能
8	6	220.0	2.5	12.0	4.8	0.8	0.6	0.2	2.0	-2.8	局部可能
9	10	425.0	4.0	28.3	10.3	15.0	9.0	6.2	0.0	-10.3	全部可能
10	10	400.5	5.0	21.3	5.5	4.6	3.0	1.5	0.0	-5.5	大部可能
11	12	364.0	6.0	25.3	12.0	7.6	4.3	3.3	0.0	-12.0	全部可能
12	10	(400.0)	3.0	(20.0)	(6.0)	(4.5)	(3.0)	(1.5)	0.0	-6.0	局部可能
13	7	(300.0)	4.0	(20.0)	(5.0)	(2.3)	(1.4)	(0.9)	0.0	-5.0	大部可能
总计		5,621.2	平均5.0	平均22.3	平均6.2	59.3	35.1	24.4	平均1.10	平均-5.58	

注：1984年滑坡堵沟后淤长300多米；-号表示淤埋地下；带（）者为估计数。

Exploring and discussing of the debris flow control engineering in Macao gully

Cai Xiangxing Li Honglian Cai Bingtian

*(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica and
Wudu Soil and Water Conservation Scientific Testing Station in Gansu)*

Abstract

The total river basin areas of Macao gully is 13.1km², the clear water supply areas in upstream, the middle stream fault destructive belt areas and the down stream loess slide areas occupies 26%, 32% and 42% of total basin area respectively. It is a viscous debris flow gully which bursts frequently, the solid substances of debris flow mainly come from middle and down stream. The sediment load carried to Beiyu river occupies about one quarter of Beiyu river, so at the mouth of the river it threatens Wudu county town. Although the landslides of the down stream of this gully are connected in a large sheet, the mean free face height of side in the gully wall is only 1.1m, the highest is no more than 4.5m, and the axis of the slide is more or less vertical with the gully trough. It is suitable for taking the measure to construct dam holding buck slides, for this reason 13 dams were designed for main gullies, testing in two years for flood and debris flow has demonstrated that seven of the dams built made good results.

(Continued from page 65)

The formative conditions of Luhuaogou debris flow and its control projects

Tan Wanpei Yuan Ximing

Abstract

The control projects of Luhuaogou debris flow of Heishui county was checked, accepted and assessed in provincial level in 1987. On the project planning "the principle is rational", "the planning is correct", "the measures are appropriate". On projects "the design is accurate", "making a new trial on structural form", "construction and management are rigorous", "quality is excellent". The project was regarded as all-excellent project controlling debris flow on province-level.

The paper analysed the formative conditions of debris flow gully. It comprehensively related to the idea, principle, programme and measures of the planning, introduced idea principle, standard and new structure of the designation. At last it discussed the construction, management and its effects, etc..