

甘肃省武都县马槽沟泥石流特征*

高守义 祁 龙

(中国科学院兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

提 要 马槽沟是一条典型的灾害性泥石流沟。沟内不良地质现象发育。降水是该泥石流发生的条件,十分钟雨强是暴发泥石流的关键。列出了泥石流特征值,这为泥石流防治提供了有实用价值的参数。

关键词 甘肃省 武都县 马槽沟 泥石流

马槽沟位于甘肃省武都县东北13km处,在马街乡汇入白龙江一级支流北峪河,流域面积13.5km²。地势南高北低,沟口海拔1267m,南山山脊线海拔2150~2250m,相对高度983m。主沟长4.3km,平均比降5.8%;左支沟长1.40km,比降19.0%,右支沟长2.24km,比降13.0%(图1)。沟壑切割密度6.4km/km²。沟内山坡坡度平均19°,植被覆盖率14.6%。该沟泥石流暴发频繁,曾三次冲毁公路桥,中断行车10~30d不等,经济损失100多万元。它将大量泥沙带入北峪河内,使武都县城比水位低。1983-08-03泥石流涌入县城,泥深1.4m,3万多人受灾。马槽沟是一条灾害严重的泥石流沟。1986年在沟内建立泥石流观测防治站,旨在弄清该沟泥石流形成机制和泥石流动静力学特征,为陇南地区泥石流工程治理探索经验。

1 泥石流形成条件

1.1 地质构造及岩性

流域内有三条构造断裂带。沟内岩性以秦岭褶皱带中的压性断裂带为界:南面主要有中上志留统千枚岩、板岩,在分水岭上有中泥盆统灰岩,第四系黄土只零星分布于山体顶部;北面底部主要为第三系红色粘土岩、砂质板岩,上部大多为黄土所覆,零星有粘土岩出露,风化成泻溜。

1.2 新构造运动与地震

马槽沟沟口有三级阶地:相对高度5~10m,15~20m,60~120m。在

Ⅰ级阶地取样,经¹⁴C分析得约2万aBP,据此推算上升量3~4mm/a。

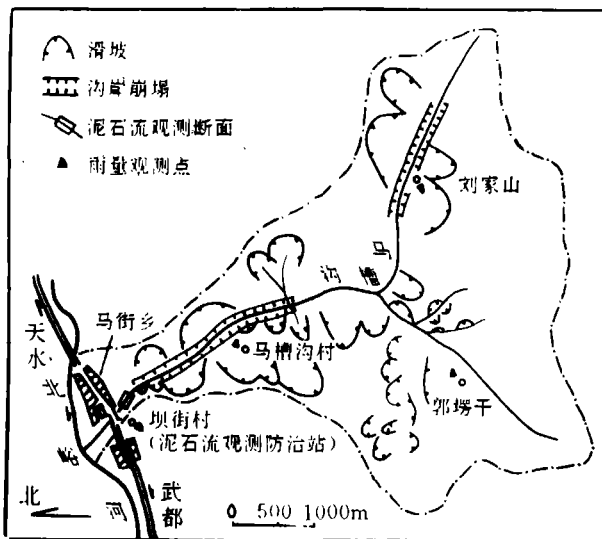


图1 马槽沟滑坡分布

Fig 1 The distribution of landslides in Macaogou Gully

* 感谢同时参加本项工作的崔炳田、王香梅两位同仁。

本文收稿日期:1997-03-10。

武都为 8° 地震烈度区,属武都—马边地震带。据史书记载,这里曾发生灾害性地震15次,其中1879-07-01武都7.5级地震,使沟内的蒿湾、河那、大崖湾发生大型滑坡,原卯家安子村被崩塌体所埋没,大崖湾220万 m^3 滑体堵断沟床,堆成一道坝,阻水成湖,回水长1100m余。1976年松潘地震使毛家山发生滑坡,土体埋毁民房20余间,10多户居民被迫搬迁。

1.3 固体物质的来源及补给方式

沟内不良地质现象极为发育。据统计,在面积 7.7km^2 的泥石流形成区内有大小滑坡33处,面积 3.5km^2 ,滑动扰动的固体物质总储量8333万 m^3 ,尚在活动和前沿不稳的动储量1856万 m^3 。滑坡主要沿三条断裂带分布。据观测,当降雨后土壤含水量 $<20\%$ 时,滑体稳定;当含水量 $20\sim 25\%$ 时,滑体处于临界状态,个别失稳下滑;当含水量 $>25\%$ 时,滑坡大多数不稳,出现蠕动、错动及滑动。这里基部的粘土岩沿沟底向两侧倾斜,倾角 $23^{\circ}\sim 25^{\circ}$,被滑动过的松散土体粘附在倾斜的岩面上,厚度 $20\sim 40\text{m}$ 。当降雨入渗后,聚积在岩面与黄土间浸泡过的饱水泥浆,其滑动后又起润滑作用,促进滑体下滑。但沟床狭窄,水流挟带能力有限,前面冲走一些,后面下滑一些,使滑坡下滑呈断续运动,滑体呈台阶式。

马槽沟松散的固体物质充足,沟床陡而狭窄,补给段长而方式多样,许多地方呈堵塞或半堵塞状,每逢雨季一经水流冲刷,即可形成泥石流。

1.4 降 水

当松散固体物质储备足够的数量后,降水是泥石流形成、运动的关键。对此在不同海拔处建立了四个雨量观测点,并在沟口至公路桥间建立了长 $60\text{m}\times$ 宽 $8\text{m}\times$ 深 7m (比降 3%)的泥石流动力观测断面,配有泥石流静态物理试验分析的全套设备。1986~1991年的汛期进行降雨观测278次,其中大雨(日雨量 $>25\text{mm}$)13次,中雨(日雨量 $10\sim 25\text{mm}$)47次,小雨(日雨量 $<10\text{mm}$)218次。

1. 降雨特征 据六年降雨观测,沟内年降水量 $430\sim 624\text{mm}$,年均降水量 495mm ,集中于6~9月,占年降水量的 65% 。降水量随海拔升高而递增,降水递增率 19mm/hm 。最大日降雨量 39.7mm (刘家山,1987-06-28),最大两日降雨量 74.3mm (刘家山,1987-06-24~28)。一次最长过程降雨量 33.4mm ,历时 $58\text{h } 50\text{min}$ (刘家山,1987-06-24,16:18~26,5:10)。三十分钟最大雨强 29.4mm (刘家山,1986-08-06,20:12~20:42),十分钟最大雨强 23mm (刘家山,1986-08-06,20:20~20:30)。

2. 形成泥石流的降水条件 在六年278次降雨观测中,共暴发泥石流27次,其中大雨时发生12次,中雨10次,小雨5次,即沟内大中小三种雨均能形成泥石流;只不过雨量多,暴发泥石流的频率、规模更大,关键在于十分钟雨强。大中雨时形成泥石流所需的十分钟最小雨强 $>1.0\text{mm}$,小雨时形成泥石流所需的十分钟最小雨强 $\geq 2.5\text{mm}$ (马街乡,1989-09-08,日雨量 19.9mm ,十分钟雨强 1.0mm 就发生泥石流;郭塆干,1987-09-08,日雨量仅 5.0mm ,十分钟雨强 2.5mm 便发生泥石流)。观测发现,只要十分钟雨强 $<1.0\text{mm}$,不会发生泥石流(刘家山,1987-06-26,日雨量 39.7mm ,十分钟最大雨强仅 0.9mm ,没有出现泥石流)。马槽沟内只要十分钟雨强 $\geq 6.0\text{mm}$,一定会暴发泥石流;十

分钟雨强 $<1.0\text{mm}$ 者, 不会发生泥石流。

2 泥石流类型

当马槽沟上游降了能够形成泥石流的雨后 30~60min, 在沟口就会看到泥石流流出。据 1986~1988 年观测, 马槽沟发生泥石流 13 次, 总方量 103.92万 m^3 , 年均 34.64万 m^3 。按各次泥石流的体积浓度比算得, 三年内共冲出泥沙 37.06万 m^3 , 年均 12.35万 m^3 。这样众多的固体物质被冲出的泥石流有四类。

2.1 稀性泥石流

流体以水为介质, 块石砾级颗粒为搬运物质, 粒径 $>20\text{cm}$ 的块石在沟底以滚动式前进, 粒径 $10\sim20\text{cm}$ 的砾级呈跳跃式前进, 沙级呈悬浮式前进, 其悬浮力主要由流体运动时产生的紊动力来维持。流态呈紊流型, 流体表面波纹粼粼, 响声大, 测速气球在泥面呈跳跃式前进, 受阻时泥浆飞溅, 流体容重 $1.3\sim1.7\text{t/m}^3$, 流速 $2.0\sim5.0\text{m/s}$ 。

2.2 泥 流

这是一种以粘土为主的粘性流体。其粘土含量高, 占流体中固体物质总重量的 10~30%。流体中有直径 $10\sim30\text{cm}$ 的泥球, 泥球内部为原状土体, 是泥面漂浮土体在缓慢流动中而成的球形, 表面层厚 $2\sim4\text{cm}$, 球形体是泥浆粗沙所包裹、在沟床上滚动形成, 有一定强度。流态多以层流和滑动相结合, 泥球有底部滚动前进。土块在泥面漂浮前进, 流体流动时响声大作, 受阻时易改变流向。满沟槽时多溢流向沟外, 淤埋农田、公路。堆积体月余不干涸。容重 $1.4\sim1.8\text{t/m}^3$, 流速 $3.8\sim4.5\text{m/s}$, 浆体的静切力 $600\sim1300\text{Pa}$ 。

2.3 粘性泥石流

流体以泥浆为主, 中间裹着块石和砾级颗粒呈悬浮式前进, 泥面有土块漂浮物。流态多呈层流和阵性波状流。层流时泥面平坦光亮, 响声小, 受阻时壅高, 无泥浆飞溅, 气球在泥面上平稳前进, 容重 $1.7\sim2.0\text{t/m}^3$, 流速 $2.0\sim6.0\text{m/s}$ 。1986-08-06 泥石流在流动中 20min 内出现阵性波状流 24 次, 波率 $10\sim60\text{s}$, 间隔时间: 最短 10s , 最长 9min , 大波赶上小波合并前进一次, 波高 $0.4\sim1.0\text{m}$ 。波速 $2.2\sim6.0\text{m/s}$, 波流量 $5.3\sim31.6\text{m}^3/\text{s}$, 容重 $1.8\sim2.0\text{t/m}^3$ 。其间发生浆河滞流现象 3 次, 时间各为 22s , 35s 和 13s 。

2.4 高粘性泥石流

流体中以土石为主, 泥浆只作空隙充填物, 流体中无上下粒度分选, 流态多以整体滑动为主。流速慢, 响声小而沉闷, 流动一段距离后停积下来, 等到一定泥深和动能时又开始流动, 遇阻时易改变流向, 停积下来无粒度分选。

3 泥石流动力特征

3.1 泥石流运动阻力

泥石流属非均质流体, 含有许多大小不等的土石块, 运动时流体内部泥沙颗粒之间摩擦力很大, 沟床上石块和沟壁阻力也很大, 这两部分阻力总称为泥石流运动阻力。各地泥石流运动阻力由于组成物质和沟床条件不同而差异很大。武都县马槽沟泥石流运动阻力与泥深关系密切, 且呈反比, 即泥深越小阻力越大, 否则相反。用回归分析算得马槽沟的

$(1/n_c) = 17H_{cp}^{-0.43}$ 式. 这与武都县火烧沟 1979 年总结的 $(1/n_c) = 18.5H^{-0.42}$ 式^[1]和东川蒋家沟 1966~1975 年求得的 $(1/n_c) = 28.5H^{-0.34}$ 式^[2]相类似. 同在一个地区的火烧沟与马槽沟两式指数相近, 而系数差别主要由于观测断面比降 i 不同所致(火烧沟 $i = 10.40\%$, 马槽沟 $i = 3.08\%$). 同蒋家沟差别主要在于补给泥石流的固体物质和沟床条件的不同. 用 $(1/n_c) = 17H_{cp}^{-0.43}$ 式计算得马槽沟泥石流运动阻力 $(1/n_c) = 0.09 \sim 0.12$, 这与武都中粘中阻型泥石流运动阻力相一致.

3.2 泥石流流速

流速是泥石流动能的主要标志, 也是泥石流工程防治设计的关键参数. 它与流体容重、流量及比降关系密切. 马槽沟泥石流表面中泓流速最快, 两岸边较小, 呈凸舌状; 流速垂向分布底部最小, 表面最大, 呈向前曲线形分布. 马槽沟实测表面流速 $1.8 \sim 7.5 \text{ m/s}$. 由于泥石流属非均质流体, 流速系数 C 是泥石流计算流速的关键系数, 为此将连续层流的资料用谢才-满宁公式求 C 值, 将 C 值与泥深 H 用回归分析计算得 $C = 23.27H_{cp}^{-0.102}$ 式. 这与火烧沟的 $C = 23.42H_{cp}^{-0.230}$ 式^[1]基本一致. C 值与泥深 H 呈反比关系, 即 H 值越小, C 值越大, 否则相反. 计算出阵性波状流 $C = 32H_{cp} + 6.02$ 式, 即波状流时, H 值越大, C 也越大, 属正比关系.

3.3 泥沙颗粒动能量

$E_0 = \gamma_s C_v J$ (γ_s 为泥沙容重; C_v 为体积浓度比; J 为沟床比降. 该式表征单位泥石流体中泥沙在沟床每流动 1m 时所产生的动能量. 马槽沟泥石流体中泥沙动能量 $E_0 = 0.0191 \sim 0.0420$).

3.4 泥石流流动压力

这指泥石流体在沟槽流动时对沟壁单位面积上所产生的动压力 δ , 它与流速方向垂直, 是泥石流排导工程防治设计的重要参数. 马槽沟用 $\delta = \gamma_s V^2 / g$ 式计算得泥石流流动压力 $\delta = 0.58 \sim 5.80 \text{ t/m}^2$.

3.5 泥石流冲击力

它是反映泥石流瞬间最大动能量标志, 也是泥石流拦挡工程强度设计的关键参数. 马槽沟最大平均流速 6 m/s , 最大石块直径 1.0 m , 最大波高 1.5 m . 按 $P_{\#} = K P V \sin \alpha$ ($K = 1.8$; $\rho = \gamma_s / g$) 式计算, 得马槽沟泥石流冲击力 $P_{\#} = 1.05 \sim 12.80 \text{ t/m}^2$.

4 泥石流静力特征

这包括容重、含沙量、泥沙重量浓度比和体积浓度比、粘度、静切力、粒度结构及其他参数. 马槽沟泥石流静力试验分析了有代表性的样品 50 多个. 不论何种泥石流都有各自特征值和参数, 这反映了武都泥石流的形成条件、运动特征和堆积特征, 并作为各泥石流分类判别指标.

4.1 平均粒径 d_{cp} (mm)

它指代表粒度分布的平均趋势. 这除受形成区物质粒度影响外, 还与运动时的搬运方式和规模大小有关. 马槽沟泥石流平均粒径 $0.156 \sim 6.000 \text{ mm}$, 平均 2 mm .

4.2 峰 态

这是指粒度分布曲线的峰凸宽窄尖锐的程度,该值变化在 0.6~1.5 间。马槽沟泥石流峰态系数 0.527~0.820,平均 0.67~0.90,属宽峰类。这表明该沟泥石流粒度分布不集中,分选差。峰态值很低说明,该沟泥石流在搬运过程中实际上是一种物质未经分异的块体运动,流体运动过程中内部磨蚀和堆积分选改造更微弱。

4.3 偏 度

它表示粒度分布频率曲线上峰的对称性。当值为正值时称正偏,负值为负偏。马槽沟泥石流的偏度值-0.63~-1.50,均属负偏。这说明该沟泥石流粒度中细粒物质较多。

4.4 标准离差 δ_0 及分选系数 S_0

δ_0 和 S_0 均是表示泥石流停积后的分选程度。 δ_0 值愈小,分选愈好,否则差。马槽沟泥石流 δ_0 值 3.27~4.47,平均 3.66,属分选差。马槽沟泥石流 S_0 值 5.6~15.8,平均 95,也属分选差之列。

参 考 文 献

- [1] 杨针娘. 暴雨型粘性泥石流流速公式的初步探讨. 见:中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊,第 4 号·中国泥石流研究专辑. 北京:科学出版社,1985. 194~206
- [2] 吴积善,康志成,田连权等主编. 云南蒋家沟泥石流观测研究. 北京:科学出版社,1990. 1~251.

SOME FEATURES OF DEBRIS FLOW IN MACAOGOU GULLY, WUDU COUNTY, GANSU PROVINCE

Gao Shouyi Qi Long

(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Chinese Academy of Sciences
Lanzhou 730000)

Abstract

Macaogou Gully is a typical disastrous debris flow in Wudu County, Gansu Province. Rainfall is the occurring condition of debris flow, especially the 10min rainfall intensity. Meanwhile the analysis of debris flow features such as dynamic and static mechanics properties etc., these data are very valuable and useful for prevention and study on debris flow in this area.

Key words Gansu Province, Wudu County, Macaogou Gully, debris flow