

达摩沟泥石流形成的物质条件分析及防治对策

齐 干, 张长敏

(北京市地质研究所, 北京 100120)

摘要:北京市门头沟区清水镇达摩沟历史上曾发生多次严重泥石流灾害。根据该流域泥石流的灾害历史和发育特征,采用现场调查、地质勘查和室内试验等方法,分析了其形成的地质地貌条件、气象水文条件、土壤植被条件及人类工程活动的影响,查明了达摩沟泥石流为降雨激发的高容重低粘性的过渡或稀性沟谷形泥石流。采用颗粒分析、电镜扫描、X射线衍射分析和室内物理力学性质试验等方法重点对物质条件进行了较为全面深入的研究,提出了以生物措施为主、工程措施为辅,治理与环境保护、经济发展相结合,泥石流监测预警体系和应急体系建设相结合等综合防治措施。

关键词:达摩沟; 泥石流; X射线衍射; 电镜扫描; 物理力学性质; 防治对策

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2011)05-0102-08

泥石流是北京山区最严重、最具破坏性的地质灾害类型,其形成原因复杂、暴发突然、危害性极大^[1]。据调查统计,北京山区泥石流沟和潜在泥石流沟共计 892 条,以门头沟区清水河流域、房山区大石河流域、延庆县东部、怀柔区中部及密云县北部最为集中。北京地区泥石流活动强度与洪水活动周期相一致,多发生在七月下旬至八月上旬。自 1867 年北京地区共发生严重泥石流灾害 27 次,1949 年以来泥石流灾害造成 500 多人死亡、60 多人受伤、7534 间房屋和 10 万余亩耕地被毁,其中一次致死人数超过 100 人的泥石流 2 次,一次致死人数超过 10 人的泥石流 9 次,经济损失达数亿元^[1~3]。

长期以来,许多专家学者和科研人员对北京山区泥石流的类型、物质组成、活动状况、分布发育特征、形成条件和防治措施等进行了大量的调查、勘查和研究^[4~11],为北京泥石流灾害防治做出了重要贡献。鉴于北京地区泥石流的成因复杂、分布广泛和危害严重,本文在前人调查研究成果基础上,重点对达摩沟泥石流的形成条件特别是物质条件进行了研究,提出了针对性的防治对策。

1 达摩沟泥石流概况

达摩沟位于太行山东麓、北京西山百花山之西北侧、清水河中游南岸,地理位置为东经 $115^{\circ}37' \sim 115^{\circ}39'$,北纬 $39^{\circ}52' \sim 39^{\circ}56'$,系门头沟清水河的一级支沟,流域面积约 16.16 km^2 。流域内有达摩庄、上达摩、洪水峪 3 个行政村,常住人口 1100 余人。该流域呈一上部较宽下部出口较窄的葫芦形状,最高点海拔 1562.8m,最低点为 487.0m,最大高差达 1075.8m,坡度大于 25° 的面积占流域沟坡面积的 67.91%。各支沟沟床纵比降较大,一般在 $160\text{‰} \sim 230\text{‰}$ 之间。

达摩沟流域历史上曾多次暴发泥石流,以 1950 年泥石流危害最大。时年 8 月 4 日流域内普降特大暴雨,最大日降水量达 190.1mm,最大雨强为 56.5mm/h。高强度的持续暴雨导致达摩庄的后港沟和王家港沟泥石流暴发,并使洪水峪东沟、上达摩扫帚港等沟形成高含沙洪水,造成 84 人死亡、24 人重伤,大量房屋、耕地、树木及道路被毁,给当地人民生命财产造成严重损失。

现场调查研究表明,本次泥石流为降雨激发的沟谷形泥石流,物质冲出量 $2 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4 \text{ m}^3$,巨大漂块石物质较少,多见砂、砾及碎石,属于小规模高容重低粘性的过渡或稀性泥石流。如此小规模泥石流却造成严重的灾害损失,原因在于:(1)该沟发育形态上呈一弯形刀把状,即靠近下游沟口处沟道突然转弯,上游倾泻下来的泥石流具有很强的直进性,它不能随弯曲的沟道泻流,而是直接撞击弯道的凹侧,恰巧该凹侧处的沟梁极低,仅高于沟底 1.5~2.0m,因而几米高的泥石流龙头越过沟梁冲向下方的村庄(图 1);(2)村

收稿日期: 2011-01-02; 修订日期: 2011-03-20

基金项目: 北京市地质矿产勘查开发局公益性地质科研项目
(dkjdzky2010003)

作者简介: 齐干(1979-),男,博士,工程师,主要从事地质工程、岩土工程、矿山地质环境等方面的研究工作。

E-mail: qiganphd@163.com

庄位置恰处该沟道拐弯凹侧的外缘,民宅集中,时值清晨,村民无任何戒备,因而造成巨大人员伤亡。

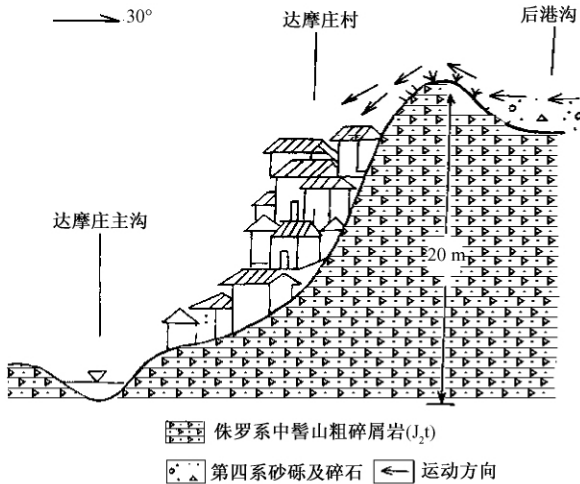


图1 达摩沟泥石流运动方式示意图

Fig.1 Movement mode of debris flow in Boddhidharma trench

2 达摩沟泥石流形成条件

达摩沟泥石流的形成是多种因素综合作用的结果,特殊的地质地形和丰富的固体物质是泥石流形成的基本因素,高强度降雨是形成泥石流的激发因素,而不合理的人类活动则影响并促进本流域泥石流的形成。

2.1 地质地貌条件

达摩沟流域以山地地貌为主,属中山区,总体地势北低南高。流域内地形起伏较大,海拔在 487.0 ~ 1562.8m 之间,谷地比较开阔,沟谷形态多呈放射状分布。在地质构造上,达摩沟处于燕山台褶带门头沟迭陷百花山-庙安岭向斜的北翼,北东向马栏断裂带由流域中部拦腰穿过,该断裂带由多条密集的压性或压扭性断裂所组成,断裂附近岩石极为破碎。达摩沟内出露地层有侏罗系下统窑坡组(J_{1y})、龙门组(J_{1l}),侏罗系中统九龙山组(J_{2j})、髻髻山组(J_{2t})及第四系全新统(Q_4)(图2)。岩性主要为砂岩、粉砂岩、安山岩、玄武岩、凝灰质砂岩、粉砂岩、页岩及煤系地层等,第四系全新统主要由砾石、岩屑、粘土质等残、坡积物组成。构造断裂、劈理及岩石层面相互贯通、交切,将岩石分割成大小不等的块体,生成大量碎屑物。在各种营力作用下,碎屑物不断受到风化、水蚀,加之一些岩体在重力作用下发生崩落、坍塌逐年一并向沟内汇集,向沟床输送了大量固体碎屑物,为泥石流的发生提供了充

足的物源条件。据统计,该流域泥石流暴发后,80% ~ 85% 的固体碎屑物来自沟床,15% ~ 20% 来自坡面,沟道松散堆积物和坡面残坡积物均由破碎基岩产生。

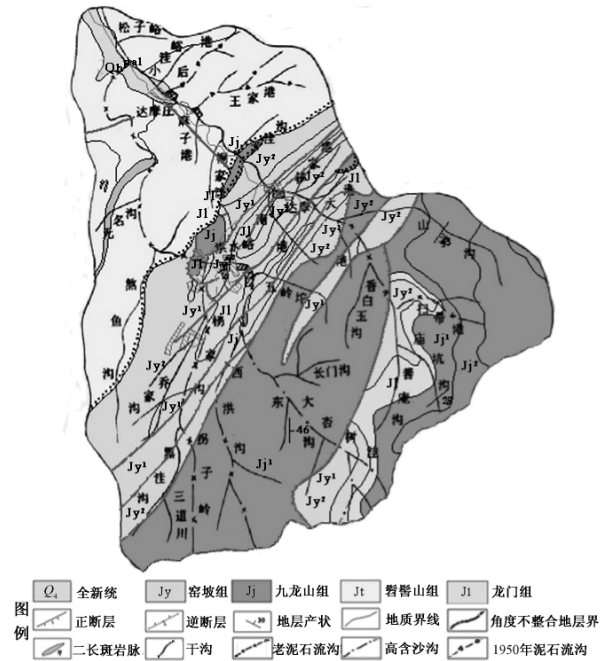


图2 达摩沟流域区域地质图

Fig.2 Regional geological map of Boddhidharma trench basin

2.2 气候水文条件

达摩沟流域为典型的暖温带大陆性半湿润半干旱季风性气候,四季分明,春秋季节短促夏冬季漫长。区内无长年性地表流水,仅在上达摩村西面有一由东南向西北方向的时令河。本区年均气温 $7^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$, 冷热温差变化较大,温度变化迅速。年降水量一般为 550 ~ 650mm, 平均 575mm, 汛期平均雨量为 400 ~ 500mm。本区降雨分布具有年际间不均衡、年内变化大、降雨集中、降雨强度大等特点。年最大降水量 932mm(1958 年), 年最小降水量 329mm(1984 年), 最大日降雨量为 224.8mm, 最大小时降雨量达 56.5mm。每年雨季(6 ~ 8 月)降水量占全年降水量的 60% ~ 80%, 且多以大暴雨或特大暴雨形式出现。这种高度集中的降雨特点既有利于松散堆积物的积累,又利于低频率泥石流的活动。从达摩沟流域降雨的周期性规律分析,未来年份可能出现灾害性降雨,可能导致泥石流的发生。

2.3 土壤植被条件

达摩沟海拔 487.0 ~ 1562.8m, 高差悬殊。海拔 800m 以下地区土壤主要为山地褐土,因山坡较陡,母

岩系较坚硬的安山岩或粉砂岩类,风化缓慢,总特点是土层较薄,厚度仅 10 ~ 30cm,植被为旱生型,土壤中腐殖质较少,结构性差。该处阳坡植被以荆条灌木丛为主,植被覆盖度一般在 40% 左右;阴坡或半阴坡植被以胡枝子等灌木丛为主,覆盖度一般达 60% 以上。海拔 800m 以上地区土壤为山地棕壤,阴坡面积较大,水分条件较好,植被茂密,有较厚的腐殖质层,总体土层较厚,厚度在 60 ~ 80cm,土壤质地为砂壤 ~ 壤质。现有植被树种阳坡主要是桦树、山杨混交次生林,总覆盖度为 70% 左右;阴坡、半阴坡主要分布辽东栎林、山杨、桦树、柞木等,总覆盖度达 80% 以上。

2.4 人类活动

由于人类长期砍伐、垦殖、放牧等活动,流域内原始森林已基本破坏殆尽,现以次生林和灌(草)丛为主,生物水土保持能力较低。尤其是近 30 年来不合理的经济活动如采煤、采石、筑路等,不仅占压土地、造成水土严重流失,产生的大量煤矸石、弃土弃渣等随意堆放在沟床、坡脚,挤占并堵塞沟道,也会极大地促进和加速泥石流的形成与发展。

3 泥石流形成的物质条件试验分析

地质地貌是达摩沟流域泥石流形成的基本因素,降雨是泥石流暴发的激发因素,人类不合理经济活动是泥石流形成的促发因素,而丰富的坡面残坡积物和沟道松散堆积物则为泥石流的发生提供了物质条件。由于地质地貌和降雨因素人为难以改变或控制,因而若有效防治本流域泥石流,必须首先改变其物质条件,合理控制人类经济活动。本次研究从达摩沟泥石流现场采集了大量松散堆积物,采用颗粒分析、X 射线衍射分析、电镜扫描、物理力学性质试验等手段对其物质条件进行了较全面的试验分析,为改变其物质条件进而有效防治泥石流提供了基础数据和设计依据。

3.1 颗粒分析

在达摩沟流域采集了大量松散堆积物样品,采用筛分法和密度计法进行颗粒分析试验。试验的松散物粒径分布范围较广,既含有粒径小于 0.005mm 的细颗粒,也含有粒径大于 20mm 的粗颗粒,具有细粒土与粗粒土的双重特性。表 1 为达摩沟松散堆积物样品颗粒分析统计表。图 3 为取自后港沟的残坡积土的颗粒级配曲线图,可以计算出该样品的 $d_{10} = 0.024\text{mm}$, $d_{30} = 0.084\text{mm}$, $d_{60} = 4.3\text{mm}$, 不均匀系数 $C_u = 179.2$, 曲率系数 $C_c = 0.068$ 。根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001),后港沟松散堆积物级配不良。

3.2 矿物成分分析

采用 D/MAX 2500 射线衍射仪,对达摩沟泥石流松散堆积的坡残积土和砾石分别进行了全岩矿物及粘土矿物成分分析。二者全岩矿物和粘土矿物 X 射线衍射图谱如图 4、5 所示。根据 X 射线衍射图谱计算出全岩中各矿物成分含量及粘土矿物相对含量如表 2、3。由表可见,达摩沟松散堆积物矿物成分以粘土矿物和石英为主,对水理性质影响较大的粘土矿物含量相对较高,其中伊/蒙混层含量偏高,具有一定的膨胀性,遇水易膨胀崩解。对比发现砾石中粘土矿物含量高于坡残积土,而石英和伊/蒙混层含量则小于后者,说明砾石易风化,且长期与水作用后其矿物成分及含量易发生较大改变。

表 1 达摩沟松散堆积物颗粒分析统计表

Table 1 Grain analysis statistical table of loose deposits
(粒级单位: mm)

样品 土类	取样 地点	各粒级百分含量(%)				
		> 20	20 - 2	2 - 0.05	0.05 - 0.005	< 0.005
残坡积土	扫帚港沟	14.09	52.24	33.6	极微	
残坡积土	石山子沟	35.0	27.2	32.5	4.4	0.9
沟道土	后港沟	6.5	46.6	41.9	4.2	0.8
残坡积土	扬家港沟	4.7	59.0	33.1	3.2	极微
煤矸石	乔家沟	38.33	31.36	30.31		
残积土	后港沟	4.48	65.65	29.87	极微	
残坡积土	拐子岭沟	10.4	32.5	32.7	19.9	4.5
沟道碎石	后港沟	56.96	25.17	17.86	极微	
沟道碎石	王家港沟	51.18	28.84	20.04	极微	
残坡积土	西洪沟	35.9	49.9	14.20	微	
残坡积土	上达摩主沟	51.07	24.57	24.35	极微	
开路弃渣	上达摩主沟	65.64	21.21	13.15		
残坡积土	后港沟	0	56.8	23.2	17.9	2.1

表 2 矿物 X-射线衍射全岩分析结果

Table 2 Result of whole minerals by X-ray diffraction

岩性	矿物种类和含量(%)					粘土矿物 总量(%)
	石英	钾长石	斜长石	方解石	赤铁矿	
坡残积土	44.2	4.7	13.2	2.1	/	35.8
砾石	25.4	/	21	/	1.6	52

表 3 矿物 X-射线衍射粘土矿物分析结果

Table 3 Result of clay minerals by X-ray diffraction

岩性	粘土矿物相对含量(%)					混层比(%)	
	S	I/S	I	K	C	C/S	I/S
坡残积土	/	25	63	5	7	/	45
砾石	/	5	84	3	13	/	45

注: S-蒙脱石; I/S-伊/蒙混层; I-伊利石; K-高岭石; C-绿泥石; C/S-绿/蒙混层。

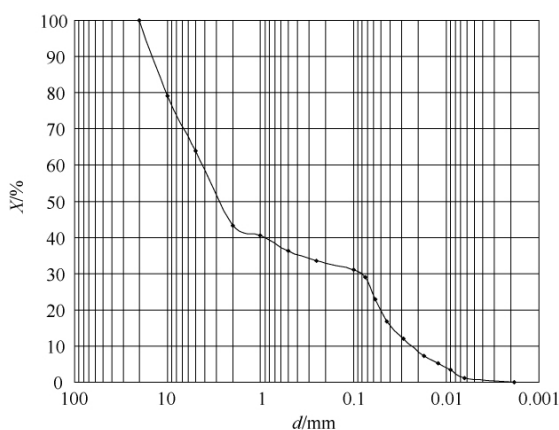
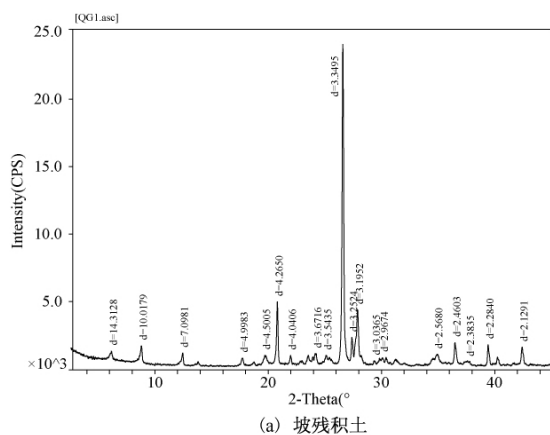
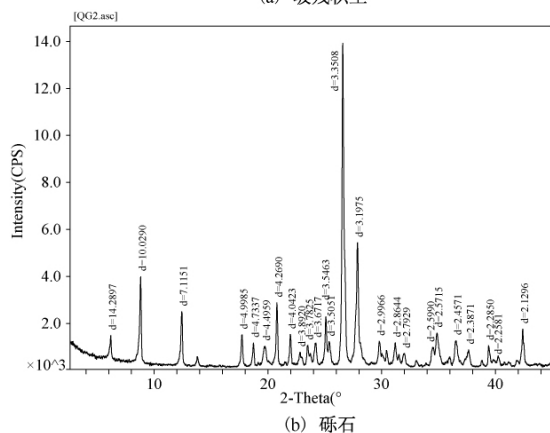


图 3 颗粒级配曲线

Fig. 3 Distribution curve of grain size



(a) 坡残积土



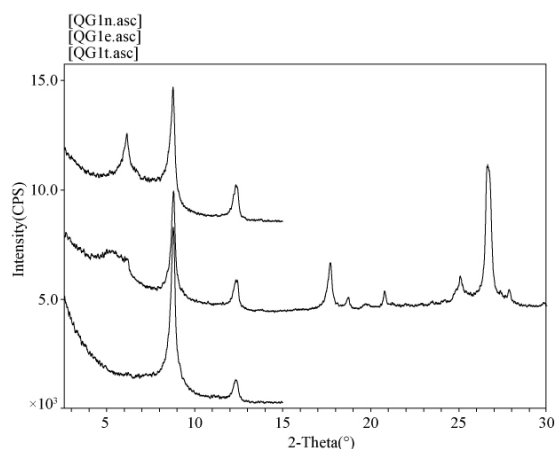
(b) 砾石

图 4 全岩矿物 X 射线衍射图谱

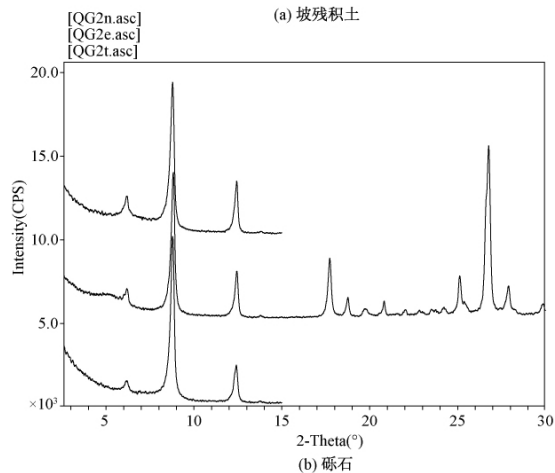
Fig. 4 X-ray diffraction patterns of whole minerals

3.3 微观结构分析

采用常用的扫描电镜技术对达摩沟泥石流松散堆积物微观结构进行分析。由于达摩沟泥石流松散堆积物成分复杂、粒径不一,因而分别选取了粒径较小的坡残积粘性土和粒径较大的砾石进行研究。分析试验仪器分别采用 LEO435VP 型电子显微镜和 LINK-ISIS 型能谱仪。坡残积粘性土和砾石不同放大倍数下的扫描



(a) 坡残积土



(b) 砾石

图 5 粘土矿物 X 射线衍射图谱

Fig. 5 X-ray diffraction patterns of clay minerals

电镜照片分别见图 6、图 7。

坡残积粘性土扫描电镜分析结果显示:在放大 200 倍时,可见样品全貌较疏松,粒间孔隙 20 ~ 40 μm,连通较好;在放大 837 倍时,可观察到粒表粒间片状伊利石和 I/S 混层;在放大 2 400 倍时,可见粒间泥质碎屑,碎屑成分主要为石英、长石;在放大 2 890 倍时,可见菱铁矿颗粒轻度淋滤;在放大到 3 450 倍时,可见粒表蜂窝状 I/S 混层。砾石扫描电镜分析结果显示:在放大 200 倍时,清晰可见样品全貌较疏松,溶孔较发育,直径 10 ~ 40 μm,连通较差;在放大 2 220 倍时,可观察到粒间片状绿泥石;在放大 2 860 倍时,可见粒间叶片状绿泥石和片状伊利石;当放大到 7 690 倍时,可见粒间球粒状菱铁矿;在放大 8 200 倍时,可见粒间菱铁矿和蜂窝状蒙皂石。对比二者的电镜扫描照片可以发现:粘性土粒间微孔隙大于砾石;前者粒间孔洞和泥质碎屑充填较多且淋滤现象较严重。

3.4 物理力学性质试验分析

在达摩沟采集了大量松散堆积物样品,将其分成

三组,进行了物理力学性质试验^[1]。样品分别取自基岩坡面(D1)、上游沟道(D2) 和山坡坡脚(D3),为风化剥蚀残留物及崩滑塌碎石,属碎石类土,由未经分选的大小碎屑物混杂组成,碎块呈棱角状,土质不均。试

验结果见表 4。由表 4 可见,达摩沟松散堆积物密度较大,孔隙率较大(特别是坡脚的第三组样品),含水率较高,抗压强度和抗剪强度均较低,反映其结构

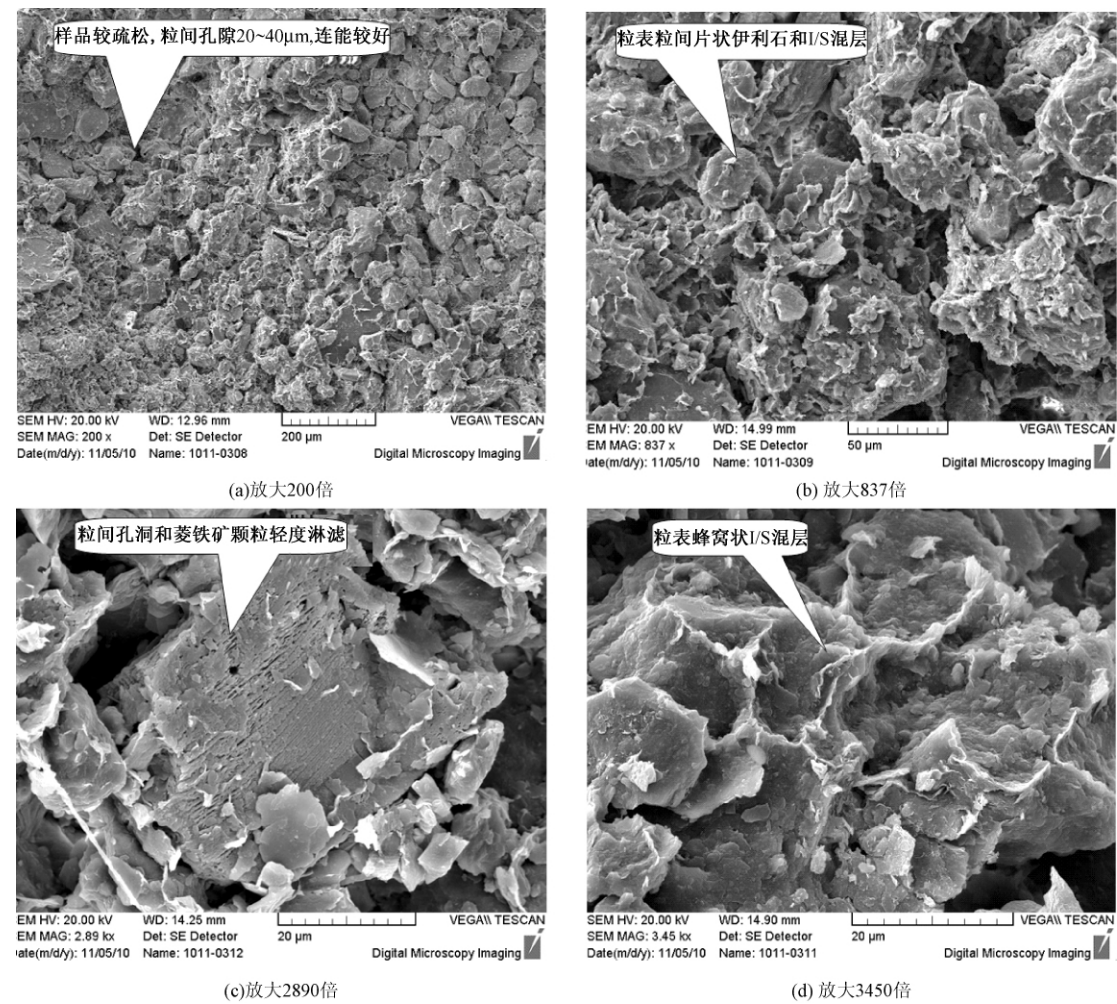


图 6 坡残积粘性土电镜扫描照片

Fig. 6 SEM images of slope residual cohesive soil

表 4 土体物理力学性质试验结果汇总表

Table 4 Experimental results of physical-mechanical property of soils												
试验 编组	密度 (g/cm ³)	干密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	比重	孔隙率	液限 (%)	塑限 (%)	粘聚力 c(kPa)	内摩擦 角(φ°)	抗压强度 σ _c (kPa)	弹性模量 E(MPa)	备注
D1 - 1	2.07	1.73	19.50	2.633	34.30	28.63	15.34	27.73	23.83			饱水
D1 - 2	2.06	1.75	18.19		33.54			34.20	24.99			浸水
D1 - 3	2.00	1.73	15.21		34.30			35.65	25.80			自然
D1 - 4	1.94	1.74	11.34		33.92			74.00	35.15			失水
D2 - 1	2.06	1.73	18.81	2.573	32.64	26.85	17.02	33.70	24.51			饱水
D2 - 2	2.04	1.74	17.38		32.62			38.95	25.38			浸水
D2 - 3	2.00	1.74	15.07		32.62			38.55	28.16			自然
D2 - 4	1.94	1.74	11.36	2.684	32.62			102.11	34.22			失水
D3 - 1	2.08	1.79	16.24		86.00			27.50	31.50			自然
D3 - 2	2.03	1.75	16.24		80.50					116.95	5.67	自然

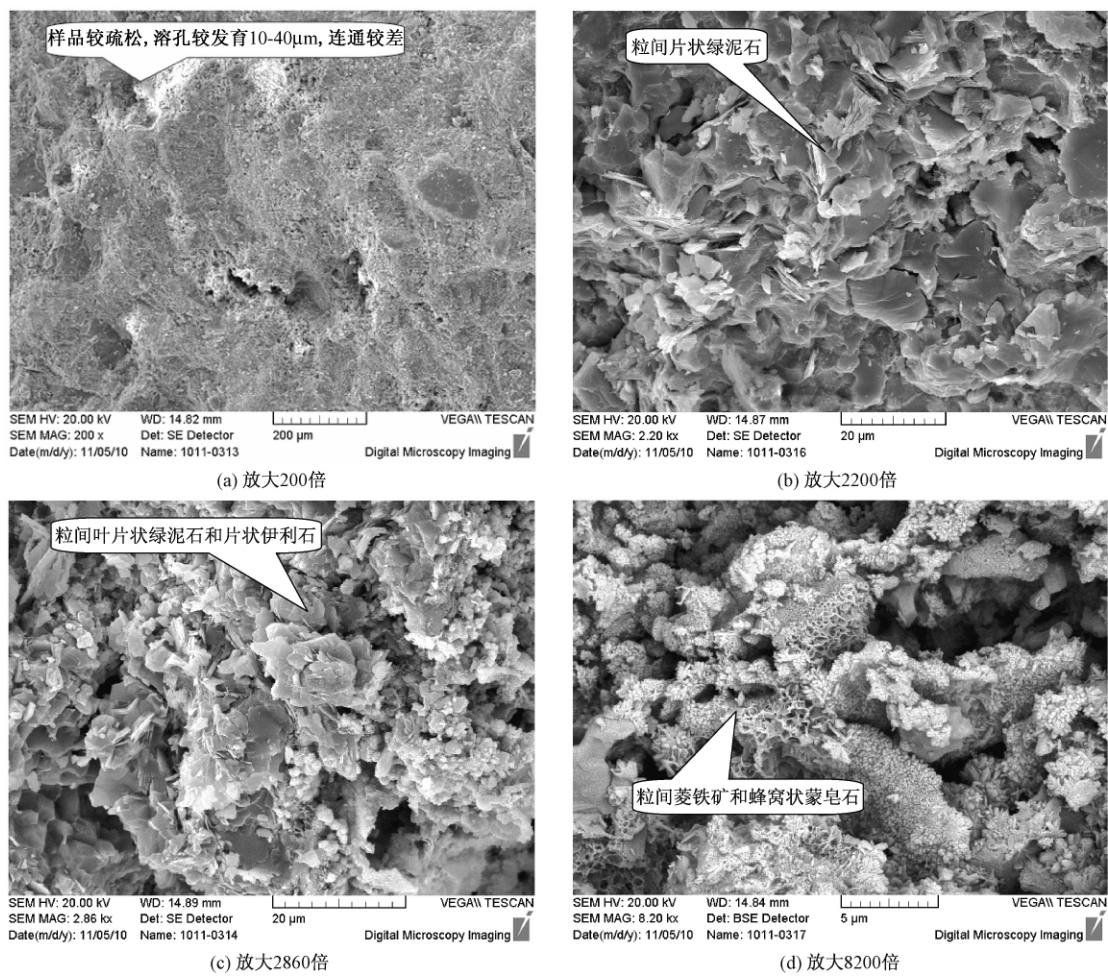


图 7 砾石电镜扫描照片
Fig. 7 SEM images of gravel

松散,透水性强,易滑移、流动,稳定性差。总体而言其物理力学性质较差,特别是浸水或饱水状态下其强度显著低于自然或失水状态下的强度,稳定性更差,这就为强降雨条件下泥石流的发生发展提供了良好的物质条件。

4 防治对策

根据前述达摩沟泥石流灾害历史、区域地质、构造地质、地形地貌、工程地质、水文地质等条件,在充分掌握其形成条件特别是物质条件特性后,有针对性地提出以下防治对策:

4.1 生物治理与工程治理相结合

达摩沟流域面积较大,直接危害目标分散,普遍进行工程治理不现实且经济上不合理。根据前面分析,该流域泥石流产生发展的重要原因之一是由于生态环境系统遭到严重破坏、坡面岩土层及松散堆积物缺乏保护而失稳所造成的,因而采用以生物治理为主,生物

治理和工程治理相结合的措施。

生物治理措施应针对泥石流沟流域各部位的不同特点种植不同的树种。清水区是为泥石流形成提供水源或水动力条件的重要源地,应作为水源涵养林区。该区位于流域的上游至分水岭一带,涉及洪水峪东沟、西洪沟、乔家沟、杨家沟、上达摩扫帚港沟及石山子沟的中上段。该区属流域上游的清水集流区,海拔高度一般大于 1 000m,面积 5.52km²,占流域面积的 34.16%。形成区既要涵养水源、调节径流,更重要地在于制止土壤侵蚀、保护沟坡稳定、防止坡面水土流失,属于水土保持林区。该区位于流域的中上游及下游分水岭地带,包括上述几条支沟的中段及达摩庄一带后港、王家港、杨家港等支沟中上段。海拔高度一般介于 800 ~ 1 000m,山坡坡度平均大于 25°,面积 4.90km²,占全流域面积的 30.32%。其中宜林地面积 1.81km²,占此类防治区的 36.94%。流通区可根据水土流失情况及地形、土壤等条件种植经济林及水土保

持林,兼顾水土保持作用和经济效益。该区位于流域中下游主沟两侧较缓的山坡,海拔一般低于 800m,面积 3.62km²,占流域面积的 22.4%。其中宜造林地面积 2.60km²,占此类地区的 71.82%。此外,位于达摩庄—上达摩主沟河谷、洪水峪村一带及沟谷边缘的缓坡,是人类居住、垦荒、种植果林的地区,经济活动十分活跃,可作为农田果林区。该区面积 2.12km²,占整个流域面积的 13.12%。

根据达摩沟流域泥石流的形成条件及发育特征,工程治理应以拦挡为主,辅以疏排、护导工程措施。主要工程措施及其作用如下:

(1) 拦沙坝、谷坊:拦截部分泥沙、石块,制止沟床进一步下切,减缓上游沟段纵坡,削弱上游泥沙危害,达到削减泥石流规模之目的;

(2) 挡土墙:防止不稳定弃石堆发生大规模滑移与坍塌,避免形成泥石流或加大泥石流规模;

(3) 导流护村坝:将泥石流拦挡并导向下游,使保护目标避开泥石流直接袭击,确保生命财产及其它设施的安全;

(4) 沟床整治:清除行洪障碍,疏通沟道,排导山洪泥石流,减轻灾害。

对于生物治理和工程治理难以奏效的泥石流高危险区,应实施有计划、有组织的搬迁避让措施。

4.2 治理与环境保护、经济发展相结合

在达摩沟泥石流灾害防治过程中一定要综合考虑当地生态环境现状及地区经济发展前景,以达到在治理保护的同时提高当地人民生活水平的目的。泥石流途经下游易受高含沙洪水危害的沟段,应进行疏通清障,禁止在河(沟)道内建房、弃倒渣土、堆放物品等。对现有林草加强保护及管理,严禁乱砍滥伐或坡地开荒,沟道坝地应留泄水通道,沟道纵坡超过 10°的沟道不允许再修筑坝阶填土造地。通过营造经济林发展当地经济,带动居民致富,同时又能达到防灾减灾的目的。

4.3 泥石流监测预警体系与应急体系建设相结合

达摩沟泥石流灾害具有暴发频率低、活动区移动大并常成群暴发的特点,准确地预报泥石流发生的时间和地点在目前的技术条件下还比较困难,但可根据目前掌握的泥石流与潜在泥石流危害情况,利用降雨预测,针对危害严重的沟谷及目标实施避让、防护等措施。目前北京市突发地质灾害监测预警系统一期工程已正式启动,拟对密云、房山、门头沟三个区县的 104 处泥石流隐患进行监测,其中包括在达摩沟流域的达摩庄、上达摩、洪水峪等处安装自动雨量计、土壤含水

仪和遥测地声仪等专业监测仪器设备,通过监测结果进行预警预报,对达摩沟泥石流防治具有重要的作用和意义。

此外,还应制定达摩沟流域泥石流地质灾害应急预案,完善突发性地质灾害应急体系建设;加强泥石流灾害防治知识的宣传教育,增强公众地质灾害防治和地质环境保护意识,提高自救、互救及防灾减灾的能力和水平。

5 结论

(1) 达摩沟历史上曾多次发生泥石流灾害,危害严重。达摩沟特殊的地质地貌和丰富的固体物质来源是泥石流形成的基本因素,高强度降雨是泥石流产生的激发因素,不合理的人类活动影响并促进了本流域泥石流的形成;

(2) 达摩沟泥石流为降雨激发的高容重低粘性的过渡或稀性沟谷形泥石流;

(3) 达摩沟松散堆积物结构松散,透水性强,密度和孔隙率较大,含水率较高,强度较低,易滑移、流动,稳定性差特别是浸水或饱水状态下稳定性更差,为泥石流的发生提供了良好的物质条件;

(4) 达摩沟泥石流防治应以生物措施为主,工程措施为辅,与环境保护和经济发展紧密结合,通过建立完善的泥石流监测预警体系和应急体系,并采取宣传教育措施,实现综合防治。

参考文献:

- [1] 刘连刚,韦京莲,叶超. 北京地质灾害 [M]. 北京:中国大地出版社,2008:22-26. [LIU L G, WEI J L, YE C. Beijing geological hazard [M]. Beijing: China Land Press, 2008: 22-26. (in Chinese)]
- [2] 钟敦伦,谢洪,王士革,等. 北京山区泥石流 [M]. 北京:商务印书馆,2003:1-8. [ZHONG D L, XIE H, WANG S G, et al. Mountain area debris flow in Beijing [M]. Beijing: The Commercial Press, 2003: 1-8. (in Chinese)]
- [3] 李金海,余新晓,谢宝元,等. 北京山洪泥石流 [M]. 北京:中国林业出版社,2007:67-75. [LI J H, YU X X, XIE B Y, et al. Mountain torrents and debris flow in Beijing [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007: 67-75. (in Chinese)]
- [4] 张世清,毕小刚,刘振国. 北京山区泥石流防治对策探讨 [J]. 水土保持通报,1992,12(3):46-51. [ZHANG S Q, BI X G, LIU Z G. Discussion on the control measures of debris flow in the mountain areas of Beijing [J]. Bulletin of Soil and Water

- Conservation, 1992, 12(3): 46 – 51. (in Chinese)]
- [5] 韦京莲, 赵波, 董桂芝. 北京山区泥石流降雨特征分析及降雨预报初探 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994(5): 45 – 52. [WEI J L, ZHAO B, DONG G Z. Analysis of characters of debris flow, rainfall and first study on forecast of rainfall in the mountain areas of Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1994(5): 45 – 52. (in Chinese)]
- [6] 韦京莲, 董桂芝, 赵波, 等. 北京市门头沟区清水河流域泥石流灾害勘察报告 [R]. 北京: 北京市地质研究所, 1995. [WEI J L, DONG G Z, ZHAO B, *et al.* Hazard investigation report for debris flow at Qingshui River Watershed in Mentougou District of Beijing [R]. Beijing: Beijing Institute of Geology, 1995. (in Chinese)]
- [7] 赵波, 董桂芝. 北京西山清水河流域泥石流及危害预测 [J]. 北京地质, 1996(3): 1 – 16. [ZHAO B, DONG G Z. Debris flow and its dangerous prediction at Qingshui River Watershed in Beijing western mountain areas [J]. Beijing Geology, 1996(3): 1 – 16. (in Chinese)]
- [8] 谢洪, 钟敦伦, 靳怀成. 北京山区泥石流与滑坡防治研究 [J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 37 – 40. [XIE H, ZHONG D L, JIN H C. Debris flow and landslide disasters control in the mountain areas of Beijing City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(6): 37 – 40. (in Chinese)]
- [9] 白利平. 北京山区泥石流灾害临界雨量研究 [J]. 地质灾害与环境保护, 2006(4): 101 – 104. [BAI L P. The research on critical rainfall for debris flow in the mountain areas of Beijing [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2006(4): 101 – 104. (in Chinese)]
- [10] 胡封兵. 西白莲峪堆积物特征和北京山区泥石流防治探讨 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007. [HU F B. Characters of deposits in Xibailian Watershed and discussing on the preventment of debris flow in Beijing Mountain [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007. (in Chinese)]
- [11] 白利平, 孙佳丽, 张亮, 等. 基于 GIS 的北京地区泥石流危险度区划 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 12 – 15. [BAI L P, SUN J L, ZHANG L, *et al.* GIS-based risk factors zoning of debris flow in Beijing Region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(2): 12 – 15. (in Chinese)]
- [12] 中华人民共和国水利部. 土工试验方法标准 (GB/T50145 – 2007) [S]. 北京: 中国计划出版社, 1999. [The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Standard for test methods of earthworks (GB/T50145 – 2007) [S]. Beijing: China Planning Press, 1999. (in Chinese)]

Analysis on material conditions causing to debris blow and its control countermeasures in Boddhidharma Trench

QI Gan, ZHANG Chang-min

(Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China)

Abstract: The Boddhidharma trench in Mentougou District of Beijing City is an ancient debris blow trench, where have occurred several times severe debris flow disasters. The conditions of geology, landform, hydro meteorology, soil cover and human beings engineering activities are analyzed by using field investigation, geological exploration and laboratory experiment, based on the history of disasters and development characteristics in the drainage basin of Boddhidharma trench. The properties of debris flow is ascertained to be turbulent or transitional valley-shape debris flow with high density and low viscosity induced by heavy rainfall. The material conditions are primarily studied by the means of particle analysis, electron microscope scanning, X-ray diffraction analysis and laboratory experiment. Finally, the comprehensive control countermeasures including biological measures, engineering measures, environmental protection, economic development, monitoring and warning system and emergency system construction, and so on, are put forward.

Key words: Boddhidharma trench; debris flow; X-ray diffraction analysis; scanning electron microscope; physical-mechanical property; control countermeasure

责任编辑: 张若琳