

牛眠沟流域泥石流形成条件、发展趋势及其防治探讨^{*}

杨志全^{1,2)} 廖丽萍^{1,2)} 杨万科³⁾ 胡 进^{1,2)}

(1) 中国科学院与水利部成都山地灾害与环境研究所/中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041
(2) 中国科学院研究生院, 北京 100049
(3) 四川大学土木工程及应用力学系, 成都 610065

摘 要 汶川地震使牛眠沟流域变成了一个多泥石流灾害的区域, 到目前为止, 已经发生 7 次大规模泥石流灾害。经研究, 该流域诱发泥石流灾害的 3 个基本条件非常发育, 而目前正处于发展阶段, 在震后 5 ~ 10 年内的雨季, 极易发生危害性较大、冲击力较强的大规模降雨型泥石流。如果考虑直接利用主沟内沉积的泥石流堆积物, 在主沟堆积区的中上游左右两侧修建约为沟宽一半的交替式拦挡土石坝、在中下游修建与沟宽大致相等的拦挡土石坝及在相邻两坝间修建与沟向相对且具有一定坡度斜坡的土木防治工程, 可实现消能与耗能双重目的。

关键词 牛眠沟流域; 泥石流; 形成条件; 发展趋势; 防治工程

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

DISCUSSION ON GENESIS AND DEVELOPMENT TREND CONTROL ENGINEERING OF DEBRIS FLOW IN NIUMIANGOU VALLEY

Yang Zhiquan^{1,2)}, Liao Liping^{1,2)}, Yang Wanke³⁾ and Hu Jin^{1,2)}

(1) Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy/
Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041
(2) Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049
(3) Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, Sichuan University, Chengdu 610065

Abstract After Wenchuan earthquake, Niumiangou valley becomes an area with dense and frequent debris flow disasters; so far, seven large-scale debris flows occurred. In this valley there are three basic conditions making debris flow well develop, and so it is in a developing stage now. Thus the large-scale rainfall induced debris flow disasters, with large damage and stronger wallop, will easily occur in the 5 – 10 year after earthquake. If considering to use directly the debris flow deposit in the main gully of Niumiangou valley, to construct civil control engineering such as alternate landslide dams from earth and rock with about half of main gully width in the left and right sides of upper and middle of the accumulation area, landslide dams from earth and rock with approximately equal to main gully width in middle and lower of the accumulation area and slope with certain gradient and relative to gully orientation between two adjacent dam, then the dual-purpose of energy dissipation and consumption can be achieved.

Key words: Niumiangou valley; debris flow; formation conditions; trend of development; control engineering

* 收稿日期: 2011-03-31

基金项目: 国家自然科学基金(41071058); 西部交通建设科技项目(09A31901900); 2011 年中国科学院社会实践项目(Y1R2060060)

作者简介: 杨志全, 男, 1983 年生, 在读博士, 主要从事山地灾害风险评估及防治方面的研究. E-mail: yzq1983816@yahoo.com.cn

1 引言

映秀镇位于四川省汶川县南部,是汶川地震 7 个受灾最严重的乡镇之一(图 1)。

牛眠沟流域,位于映秀镇境内,距成都 78 km,距映秀镇约 1.5 km。该流域面积为 10.46 km²,主沟长 5.8 km,流向由东北向西南,穿过 213 国道汇入岷江,为岷江的一级支流,支沟较发育,主要有道沟、白沟、莲花心沟、清水沟、牛筋巷沟及膘长沟等 6 大呈树枝状分布的支沟系(图 2)。

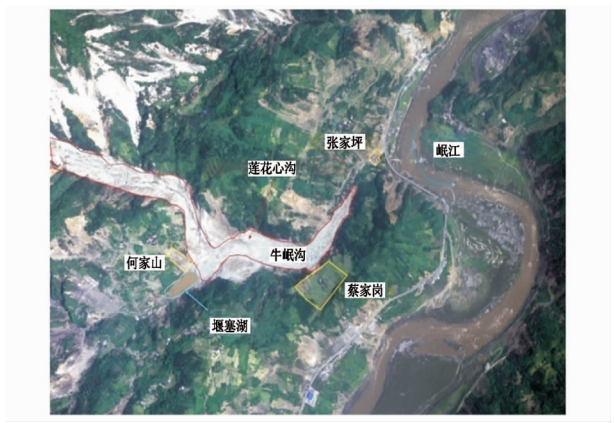


图 1 牛眠沟流域的航空遥感图

Fig.1 Aerial remote sensing image of Niumiangou valley

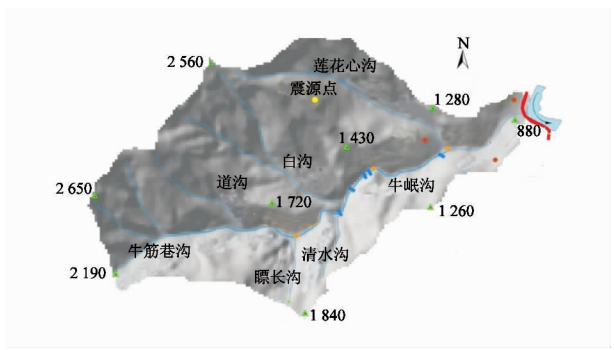


图 2 牛眠沟流域的三维地形图

Fig.2 Three dimension digital terrain map of Niumiangou valley

汶川震后,牛眠沟流域相继发生 7 次大规模的泥石流灾害,其中尤以 2010 年 8 月 14 日的泥石流灾害最为严重,冲出物约 $55 \times 10^4 \text{ m}^3$,引起该流域主沟堆积区厚度增加约为 3~5 m;堵塞主沟沟口老国道 213 线及堵断岷江五分之四的宽度。

2 牛眠沟流域泥石流形成的条件

牛眠沟流域发生的泥石流为降雨型泥石流,诱发降雨型泥石流的 3 个条件,即丰富的松散固体物源、合适的地形及充足的降雨在本流域非常发育。

2.1 松散固体物质

牛眠沟流域位于映秀-北川断裂带上,映秀-北川断裂带对该区域地层的发育起着控制作用。该流域地层自中元古界至第四系均有出露。流域内上三叠统(T₃)有较广泛的出露,但发育一般都不完整,缺失晚三叠世早期地层,发育有多套滑脱层^[1]。志留系岩性主要是千枚岩、板岩等浅变质岩,三叠系主要为碎屑岩和变质碎屑岩。

流域内出露岩石主要以千枚岩及板岩为主,而千枚岩及板岩系抗风化能力极差的软弱岩石。加之地震作用影响强烈(自 1169 年以来,龙门山区域共发生震中烈度Ⅵ度地震 13 次、Ⅶ度以上地震 4 次^[2],这些地震都属于浅源地震),对地表破坏作用强烈,尤其是破坏了山坡的稳定性,促进了流域内滑坡及崩塌的发育,积累了大量的松散固体物质。尤其汶川地震时,剧烈的山体震动,大量崩塌、落石、滑坡活动进一步增强,使牛眠沟流域内松散碎屑物质剧增,积聚了更为丰富的松散固体物质^[3]。

牛眠沟流域受构造运动的影响,节理发育,风化强烈,岩性脆弱,流域内松散固体物质堆积厚度大,储备十分丰富,且分选性很差,为泥石流的形成提供了丰富松散固体的物质来源(图 3、4)。

2.2 地形

牛眠沟流域处于青藏高原东缘向四川盆地过渡地带,属切割较强烈高山区,呈陡峭高山峡谷地貌,具有山势高、沟谷深、坡陡的特点^[4]。地形南高北低,最高点海拔 2 693 m,最大相对高度 1 833 m,山坡坡度在 35~75°间,平均坡度 42.5°。

主沟的 6 条支沟沟长 1.0 km。主沟上游及支沟,沟床陡,跌水发育,主沟沟床比降 20.7%,支沟沟床比降 32.7~52.5%。由此可见,牛眠沟流域山



图 3 莲花新沟的松散固体物质

Fig.3 Solid loose materials in the Lianhuaxin gully



图 4 道沟的松散固体物质

Fig. 4 Solid loose materials in the Dao gully

高坡陡,沟床纵比降大,为堆积的松散固体物质提供了较大的势能,为该流域泥石流的发育创造了动能条件。

2.3 降雨

牛眠沟流域气象主要受东南暖湿气流控制,是典型的亚热带潮湿气候,垂直变化明显,旱、雨季分明,每年 5~10 月为雨季,11 月至翌年 4 月为旱季,雨季降水占全年降水的 68.2%,且时常为暴雨。

据当地气象站资料统计,多年年平均降雨量为 1 253.1 mm,年最大降雨量达 1 688 mm,最大日降雨量 269.8 mm^[5]。高强度降水为泥石流的发育提供了丰富的水动力条件。

3 发展趋势

牛眠沟流域节理发育,风化强烈,岩性脆弱;各支沟沟谷呈 V 型,沟床陡急,跌水发育,滑坡、落石与崩塌发育旺盛,山坡坡角陡峭,在该流域积累了大量的松散固体物质;目前估算该流域的松散物质量约 $2\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。不稳定松散物质量计算结果为静态值,由于堆积体大多位于沟床边,在沟水冲刷作用下可能产生逐步垮塌后退现象,因此,从较长时间来看,该流域的不稳定松散物质量大于计算值,甚至可大大超过 $2\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

每年 5—10 月的降雨量、降雨类型、雨强及暴雨频率基本不变,因此诱发牛眠沟流域泥石流的降雨条件几乎不会改变。此外,在该流域的中上部,分布着由汶川地震引起的 5 个堰塞湖,在暴雨条件下,可能会引起部分堰塞湖溃坝,从而诱发流速更快,破坏力更强的泥石流灾害。

结合诱发泥石流的 3 个基本形成和触发条件分析,牛眠沟流域处于发展阶段,在震后的 5~10 年内的雨季,极易发生危害性较大的降雨性泥石流。

4 牛眠沟流域泥石流防治工程探讨

4.1 土木防治工程

针对该流域泥石流的性质、规模与形成、运动和成灾规律及主沟堆积区堆积物的特点,可考虑在主沟堆积区内,以沟内沉积的泥石流堆积物为原料实施土木防治工程措施^[6-8]：

1) 由于中上游具有一定停淤空间且细颗粒物较多,由此可以考虑在该部分内修建间隔一定距离的交替式拦挡土石坝,来逐步减缓泥石流速度及减少对下游的危害的能量,在一定程度上减小向下流动的泥石流的规模。

结合堆积区中上游的实际情况,可布置间隔为 100 m、长度 40~60 m(约为沟宽的一半)及上底 4 m,下底 10 m,高 10 m 的梯形状横断面交替式拦挡土石坝(图 5),排水沟设置在设有拦挡土石坝的一端。

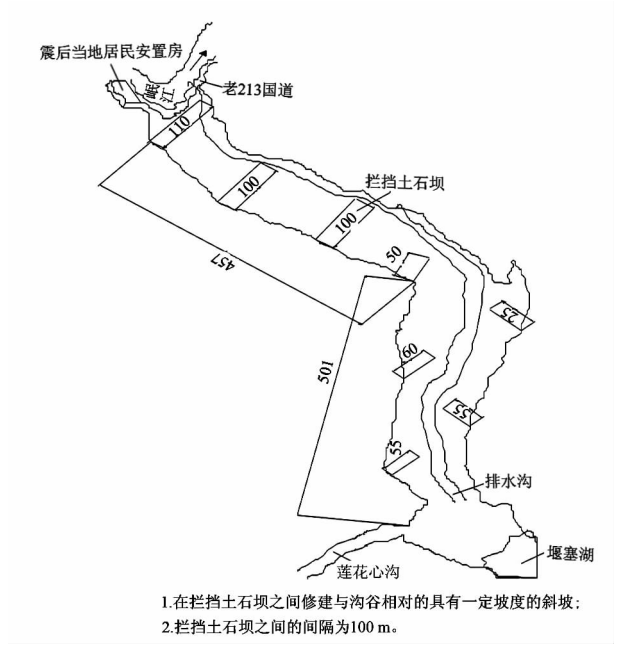


图 5 牛眠沟流域主沟堆积区土木防治工程示意图

Fig. 5 Schetch of civil control engineering of the accumulation area of main gully in the Niumiangou valley

2) 堆积区的中下游长 457 多米,沟宽 85~115 m。在中下游可以考虑修建间隔一定的距离与沟大致等宽的拦挡土石坝,经过中上游交替式拦挡土石坝及斜坡减缓一定速度、能量及规模的泥石流经过该部分的拦挡土石坝的阻碍,可进一步大大降低泥石流的速度与能量,使大部分泥石流物堆积在沟内,以实现对该流域泥石流的防治。

结合堆积区中下游的实际情况,可布置间隔为 100~150 m、长 80~110 m(约为沟宽)及与中上游相同形状横断面的拦挡土石坝,排水沟设置在堆积

区的凸坡脚。目前该沟中下游已修建了3 该类型的拦挡土石坝。

3)在整个主沟堆积区内,相邻拦挡土石坝之间修建与沟纵比降相对且具有一定坡度的斜坡,当泥石流经过斜坡时,由于斜坡的阻碍作用,速度在接触瞬间由顺沟向下转变成大致平行于斜坡的方向,从而可减小泥石流顺沟向下的速度与动能,从而逐步减缓泥石流的危害能量。

在牛眠沟流域主沟堆积区内,直接利用主沟内沉积的泥石流堆积物,在中上游左右两侧修建约为沟宽一半的交替式拦挡土石坝、中下游布置约为沟宽的拦挡土石坝及在相邻拦挡土石坝之间修建与沟纵比降相对且具有一定坡度斜坡的土木防治工程,不仅可以就地取材,减少成本,而且能为下次泥石流提供更大的停淤空间,最重要的是,通过这些防治工程与泥石流的瞬间接触来改变泥石流顺坡流动的速度方向,从可逐步减小泥石流顺沟向下流动的速度、能量及规模,实现消能与消量的双重目的,从而达到控制或减少进入老国道 213 线和岷江的泥沙石块及尽可能避免对沟口左侧居民震后安置房危害的防治要求。

4.2 生物防治工程

针对牛眠沟流域目前的生态环境现状,可考虑整个流域内实施坑穴造林、支沟造林、坡改梯、坡式梯田、隔坡造林、退耕还林还草、林地封禁、抚育、果园改造及生物谷坊相结合的生物工程措施,逐步恢复由地震破坏的生态环境,进而来达到治理泥石流的功效。

5 结论

1)形成和触发泥石流灾害的3 个基本条件在牛眠沟流域非常严重,即:崩塌、落石及滑坡引起松散固体物质堆积厚度大、储备十分丰富且分选性很差,为泥石流的形成提供了丰富松散固体的物质条件;山势高、峡谷深、坡角陡的地形条件,为泥石流的发生提供了能量储备;每年雨季集中的高强度降水为泥石流创造了动力条件。

2)牛眠沟流域泥石流处于发展阶段,在震后5 ~10 年内的雨季,极易发生危害性较大、冲击力较强的大规模的降雨性泥石流,可能会堵断岷江、危害沟口左侧当地居民震后安置房、损毁老国道 213 线及给当地及过往人民群众生命财产及车辆安全构成了严重威胁。

3)直接利用主沟内沉积的泥石流堆积物,在主沟堆积区的中上游左右两侧修建约为沟宽一半的交

替式拦挡土石坝、在中下游修建与沟宽大致相等的拦挡土石坝及在相邻两坝间修建与沟向相对且具有一定坡度的斜坡的土木防治工程,可实现逐步减小泥石流顺沟向下流动的速度、能量及规模,从而实现消能与耗能的双重目的。由此,采用土木防治工程与生物防治工程相结合的防治工程体系对防止牛眠沟流域的泥石流具有较大的工程实践性。

致谢 图 1、2 由韩用顺博士提供,在此表示感谢!

参 考 文 献

1 谢洪,等. 2008 年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报,2009,27(4):501-509. (Xie Hong, et al. Debris flow in Wenchuan quake-hit area in 2008[J]. Journal of Mountain Science2009,27(4):501-509)

2 庄建琦,等. “5·12”地震后都汶公路沿线泥石流沟危险性评价[J]. 四川大学学报(工程科学版),2009,41(3):131-139. (Zhuang Jianqi, et al. Hazard assessment of debris flow valleys along Dujiangyan-Wenchuan highway after “5·12” Wenchuan deva stating earthquake[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2009,41(3):131-139)

3 Han Yongshun, et al. Hazard assessment on secondary geohazards triggered by Wenchuan earthquake[J]. Journal of Applied Remote Sensing,2009, 5

4 韩用顺,等. 地形条件对次生山地灾害易发性分析[J]. 四川大学学报(工程科学版),2010, 41(增刊1):15-21. (Han Yongshun, et al. Susceptibility of mountain hazards triggered by Wenchuan earthquake to topographic factors [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2010, 41(Supp. 1):15-21)

5 四川省地面气候资料累年值(1951—1980)[Z]. 成都:四川 I 省气象局行政处,1983. (Sichuan Province Meteorological Bureau. Siehuan ground climatic data year after year value[Z]. Chengdu: Sichuan Province Meteorologieal Bureau,1983.)

6 谢洪,等. 岷江上游干旱河谷区龙洞沟泥石流及其防治[J]. 自然灾害学报,2004,13(5):20-25. (Xie Hong, et al. Prevention and control of debris flow in dry valley of the upper Minjiang river :A case study of Longdong gully[J]. Journal of Natural Disasters, 2004,13(5):20-25)

7 唐邦兴,等. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京:科学出版社,1994. (Tang Bangxing, et al. Torrent, debris flow and landslide disasters and prevention[M]. Beijing: Science Press,1994)

8 吴积善,等. 中国山地灾害防治工程[M]. 成都:四川科学技术出版社,1997. (Wu Jishan, et al. Prevention projects of Chinese mountain hazards [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1997)