

美姑河流域公路泥石流物源成因

唐红梅¹, 陈洪凯^{1, 2}, 金发均³, 马永泰³

(1. 重庆交通学院岩土工程研究所, 重庆 400074;

2. 重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044;

3. 四川省凉山彝族自治州公路局, 四川 西昌 615000)

摘 要: 位于四川西南部横断山区东部边缘大凉山内部的美姑河流域是我国公路泥石流典型发育的地区之一, 泥石流具有规模大、致灾作用强烈、活动频率高等特点。从流域地貌景观、新构造应力场及具有焚风效应的大气环流特性出发对区内公路泥石流成因进行了深入分析, 获得了地貌景观造就了流域内地表植被稀少、焚风效应显著、泥石流沟轴向与新构造应力场两个剪切带方向一致 (相差 $5.2^{\circ} \sim 6.5^{\circ}$) 的结论, 泥石流发育规律符合地貌发育对抗性原理^[1]。作为典型事例, 把洛高依打泥石流的物源区分为不稳定物源区、基本稳定物源区和稳定物源区, 并首次将物源补给量与不同降雨频率相结合, 获取了不同降雨频率 (3~ 5 a 一遇、10 a 一遇、20 a 一遇、50 a 一遇和 100 a 一遇) 泥石流最大可供物源量。对公路泥石流研究及治理中一些关键问题进行了探讨。

关键词: 美姑河流域; 公路泥石流; 物源; 新构造应力场; 焚风效应

中图分类号: P642. 23, U418. 5+ 4, U418. 5+ 6

文献标识码: A

美姑河流域位于四川省凉山彝族自治州大凉山境内, 属于我国横断山区东部边缘地区, 高程一般 1 500~ 2 000 m, 最高峰海拔 3 607 m, 位于流域南东侧大凉山系之一的黄茅埂山。宏观地貌景观为四列近南北向的褶皱断块山 (图 1)。连接西昌市~ 峨边县~ 乐山市的四川省干线公路 S20- 105 线南西~ 北东向贯穿该流域, 从美姑河大桥至美姑县 41 km 公路沿线发育的典型泥石流 27 条 (图 2), 平均约隔 1.5 km 发育一条。以洛高伊打泥石流沟最大, 流域面积 77.91 km², 其次为石家河泥石流沟、海勒谷泥石流沟等, 流域面积 20 km² 左右。从泥石流性质分析, 美姑河流域的泥石流 60% 属于稀性泥石流, 20% 属于粘性泥石流, 其余为过渡性泥石流。

从 20 世纪 70 年代以来, 美姑河流域公路泥石流病害日益严重, 集中在每年汛期尤其是 5~ 9 月发生。每年因泥石流造成公路直接经济损失数千万, 平均每年断道 15 d 左右, 2002- 07 发生 20 a

一遇大暴雨, 12 条泥石流沟同时暴发泥石流, 公路断道 30 余天。不完全观测显示, 流域内泥石流较大规模暴发的临界降雨为 3 a 一遇降雨。为了有



图 1 美姑河流域地貌简图

Fig. 1 Sketch of landform of Meigu river basin

收稿日期 (Received date): 2005- 03- 05; 改回日期 (Accepted): 2005- 06- 17。

基金项目 (Foundation item): 交通部跨世纪人才专项基金项目 (95050508)、西部交通项目 (200332822047)、交通部重点科技基金项目 (95060233) 及高等学校重点实验室访问学者基金资助项目成果之一。[The paper belongs to one of results subsidized by the Talent Fund of the Communication Ministry (95050508), the West project of Communication (200332822047), the important Fund of the Communication Ministry (95060233) and Ministry of Education of key lab. in institutions of higher learning.]

作者简介 (Biography): 唐红梅 (1968-), 女, 现任副研究员、硕士生导师, 从事公路泥石流及危岩研究。[Tang Hongmei (1968-), female, associate professor, Master tutor. Being engaged in research on Debris Flow along Highways and unstable rock.]

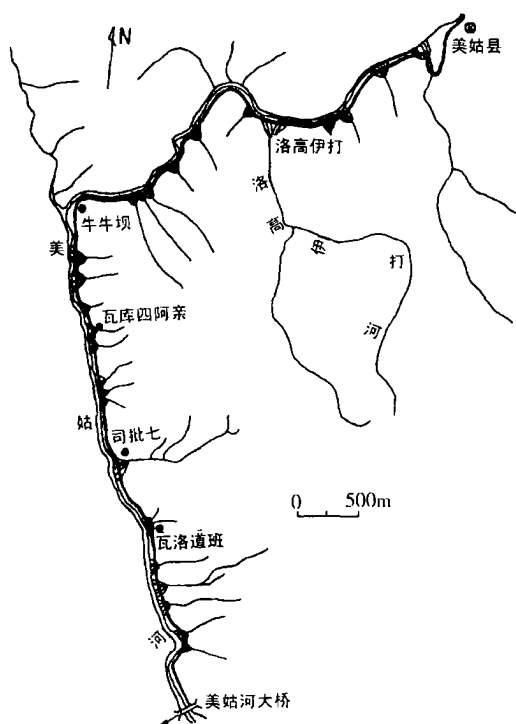


图2 美姑河流域公路泥石流分布图

Fig. 2 Distribution map of debris flow in Meigu river basin

效治理美姑河流域的公路泥石流病害, 本文重点对流域内公路泥石流的形成原因进行分析。

1 物源分析

美姑河流域公路泥石流物源主要为破碎岩体及第四系松散堆积物, 其中破碎岩体主要为雷口坡组和白果湾组地层, 前者由灰~深灰色角砾状白云岩、灰岩组成, 单层厚在 0.1~0.5 m; 后者中下部由灰~深灰色含砾砂岩、长石英砂岩、粉砂岩、粘土岩及煤线组成, 第四系松散堆积物包括洪积物、残坡积物及滑坡堆积物, 洪积物一般位于泥石流沟沉积区, 厚度 5~35 m, 结构松散, 固相颗粒呈棱角状~次棱角状, 65%~90% 的块碎石粒径在 5~50 cm, 岩性主要为中~强风化的泥岩、白云岩和粉砂岩, 粒间多充填泥土及砂粒, 透水性较强; 残坡积物一般厚 0.5~10 m, 由强风化砂岩、粉砂岩、泥岩等未固结的块碎石土组成, 粒径一般 3~12 cm, 棱角状, 粒间充填细小颗粒及粘土, 透水性较好; 滑坡堆积物厚度一般 5~10 m, 个别可达 17 m, 固体颗粒粒径一般 15 cm 左右, 局部可达 3.6 m, 棱角状, 透水性较好。

洪积物多数位于泥石流沟沉积区及流通区沟床, 残坡积物位于泥石流沟边坡内, 滑坡堆积物主

要位于泥石流沟源头及流通区两岸, 而破碎岩体一般位于泥石流沟分水岭地带。

根据现场调研及勘查可以初步确定泥石流沟的物源储量, 但是由于泥石流沟内的松散物质所处的地貌部位不同、岩性差异等而可有效提供用于建造泥石流发育的物源数量则远小于理论储量^[1]。唐红梅等首创的通过对泥石流沟进行三维有限元数值模拟并结合现场调查及勘测进行物源稳定性分区的方法^[2], 对于比较客观地量化泥石流沟内松散物质的稳定性态具有较重要的应用价值, 采用该方法对流域内规模最大的洛高伊打泥石流进行了物源稳定性分区 (图 3), 其稳定物源区、基本稳定物源区和不稳定物源区所占面积分别为 23.77 km²、39.52 km² 和 14.62 km², 储量分别为 $8\ 060 \times 10^4$ m³、 $3\ 240 \times 10^4$ m³ 和 $4\ 035 \times 10^4$ m³。根据现场观测并查阅相关历史资料, 构建了不同稳定状态的物源在相应降雨频率下的失稳概率 (表 1)。由表 1 可见, 降雨频率越高松散物质失稳概率越低, 该泥石流在 3~5 a 一遇降雨作用下物源一次性失稳方量: 2002-07-18~20 前期降雨量 140 mm 左右、10 min 降雨强度 19 mm, 属于 5 a 一遇降雨频率, 泥石流冲出量 400×10^4 m³, 与预测结果比较吻合。

2 新构造应力场与泥石流发育

为了探讨境内公路沿线泥石流发育的宏观规律, 本文基于境内 1:500 大比例地形图, 通过

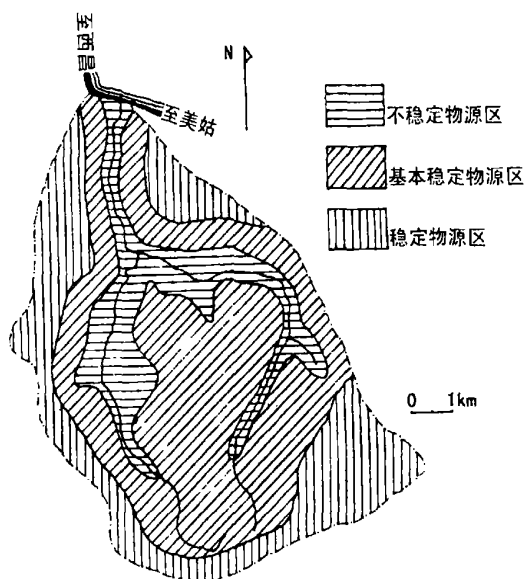


图3 洛高伊打泥石流沟物源稳定性分区

Fig. 3 Material area division of Luogaoyida debris flow

1 521条沟谷水系折线化求解出水系分布玫瑰图(图 4), 运用方法 Scleidegger^[3-5] 求解获得了美姑河流域的新构造应力场, 其主压应力方向方位 43°、两个剪切带方向 Max1 和 Max2 分别为 73°和 347°。而对境内泥石流沟轴线方向统计可见, 美姑河流域公路泥石流沟轴线存在两个优势分布方向, 即方位角 160.5°和 78.2°, 前者与新构造应力场 Max2 相近, 相差 6.5°; 后者与新构造应力场

Max1 相近, 相差 5.2°。显然可见, 泥石流宏观发育具有系统规律, 泥石流沟基本沿着新构造应力场剪切带方向发育, 符合地貌发育对抗性原理^[2-3]。根据对抗性原理, 剪切带方向是地表破碎集中发育带, 其在地表流水作用下易于发生水土流失, 而与新构造应力场主压应力方向较一致的方向易于发生滑坡、崩塌等, 这可能是泥石流沟两侧岸坡易于发生滑塌的一个重要内在因素。

表 1 洛高伊打泥石流物源失稳概率 (%) 及物源补给预测量
Table 1 Unstable probability (%) and reserves of material in Luogaoyida debris flow

降雨频率	稳定物源区 (%)	基本稳定物源区 (%)	不稳定物源区 (%)	物源补给量 (失稳量) × 10 ⁴ m ³
3~ 5 a一遇	0. 1	1. 1	8. 0	415
10 a一遇	1. 2	3. 5	12. 0	800
20 a一遇	3. 5	5. 8	25. 0	1 570
50 a一遇	8. 0	16. 0	64. 0	3 000
100 a一遇	15. 0	28. 0	78. 0	5 918

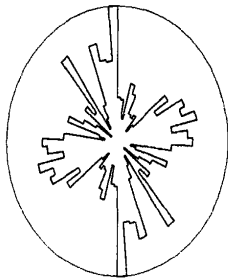


图 4 美姑河流域水系分布玫瑰图
Fig. 4 Rose map of river system of Meigu River Basin

3 具焚风效应的气象条件

美姑河流域属于高原气候区, 干湿季节分明, 垂直变化显著。据美姑县气象站资料, 境内多年平均降水量 820.7 mm, 集中在 5~ 10 月, 占全年降

水量的 91%, 日最大降水量为 110.3 mm, 时最大降水量是 36.3 mm。境内的泥石流属于降雨诱发型, 尤其是 120~ 150 mm 的前期降雨量并辅之以 16~ 25 mm/10 min 的降雨强度是诱发泥石流的临界降雨阈值。

由于美姑河流域在地貌上位于大凉山西侧的断陷谷地内, 根据大气环流运行模式 (图 5), 东部暖湿气流向西越过大凉山后在美姑河流域下沉而产生焚风效应。焚风效应的产生致使境内气温普遍比全县平均气温高 3℃左右, 况且植被系统相对脆弱, 从 20 世纪早中期人为大量破坏后恢复过程极其缓慢, 使多数泥石流沟的植被有效覆盖度不足 30%, 这可能是流域内泥石流沟内松散物质稳定性较差的又一个主要原因, 此规律与新疆天山公路泥石流极为相似^[6]。

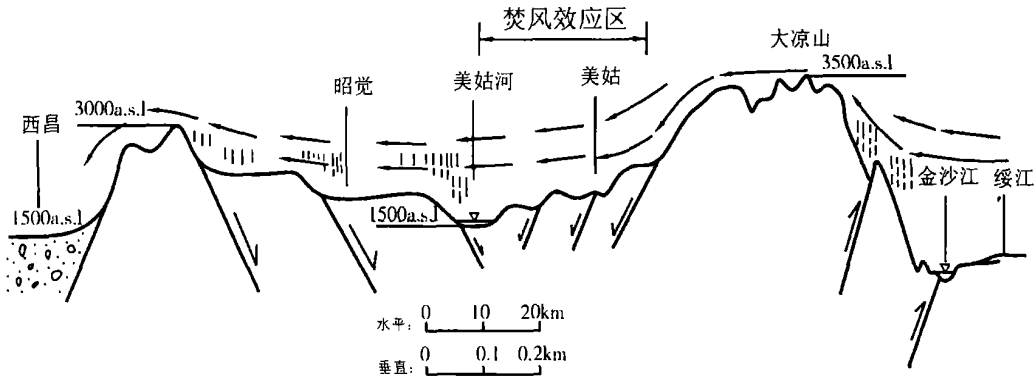


图 5 西昌- 绥江地貌断面及大气环流简图

Fig. 5 Sketch of landforms section and atmosphere circulation from Xichang city to Xuijiang county

根据陈洪凯教授等对第四纪以来横断山区泥石流发育规律的研究, 第四纪时期内, 横断山区泥石流活动的一级周期为 13.5 Ma, 二级周期 1 000 a 左右, 三级周期 10~12 a, 四级周期 3~5 a^[7]。21 世纪初属于四级周期的叠合时期, 因此, 美姑河流域泥石流近年来处于一个发育高峰期应该与此有关。

4 结语

基于前述分析可见, 位于横断山区东部边缘的美姑河流域严重的公路泥石流病害是地貌、构造、岩性及气象气候条件等异变耦合的必然结果, 具有多级周期发育特性。为了有效治理公路泥石流, 必须坚持公路泥石流研究及治理的系统工程方法论, 基于对泥石流的充分认识和深入分析, 以确保公路建构筑物的安全与稳定、确保公路交通有序进行为目标^[3, 8-10], 尽可能在公路有限的用地范围内合理地拟定治理方案, 选用速流结构、底埋隧道、翼型墩汇流结构、护岸及糙底技术等一种或几种技术的有效组合^[11, 12]。

对于公路泥石流而言, 应该在公路选线阶段就充分考虑泥石流发育问题, 尤其是重视路线与泥石流沟组合关系^[13], 使路线尽可能在泥石流沟合理部位以较大角度横向穿越; 公路勘察、设计阶段应该高度重视泥石流沟内物源储量及不同降雨频率下可能的有效供给量、重视泥石流冲击力及磨蚀力计算、重视泥石流淤积方式及淤积速度计算、重视针对公路泥石流特点的治理方案; 公路施工阶段应重视泥石流防治结构基础持力层的选取及处治, 有效控制工程质量; 公路养护阶段应高度关注泥石流对防治结构物的冲击磨蚀性态, 尤其对于严重磨蚀部位应该采用必要的补救措施。

参考文献 (References):

- [1] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Ma Yongtai, et al. Research and control of debris flow along highway [M]. Beijing: Press of the People's Communication of China, 2004. 80~88. [陈洪凯, 唐红梅, 马永泰, 等. 公路泥石流研究及治理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004. 80~88.]
- [2] Tang Hongmei, Chen Hongkai, Weng Qineng, et al. Research on source of loose earth for impact-deposit debris flow to develop in-view of geotechnical stability of debris flow catchment [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 2001, 20 (1): 74~78. [唐红梅, 陈洪凯, 翁其能, 等. 从泥石流沟的岩土稳定性论

冲淤变动型泥石流的物源问题 [J]. 重庆交通学院学报, 2001, 20 (1): 74~78.]

- [3] Ai Nanshan, Chen Hongkai, Li Houqiang. Research on highway damage induced by debris flow neotectonic stress field [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, 16 (4): 60~65. [艾南山, 陈洪凯, 李后强. 从新构造应力场论公路水毁问题 [J]. 地理科学, 1996, 16 (4): 60~65.]
- [4] Tang Hongmei, Chen Hongkai, Zhuxiaoyin et al. Neotectonic stress field and its impact on macro-development of landslides in chongqing area of the Three Gorges Reservoir [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19 (3): 352~356. [唐红梅, 陈洪凯, 祝晓寅, 等. 重庆库区新构造应力场及其对滑坡宏观活动规律的控制 [J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19, (3): 352~356.]
- [5] LV Deshou, Bai Zipei, Chen Hongkai. Highway Damage-Induced by water and Neotectonic stress field in Wester of Sichuan [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 1992, 11 (3): 7~12. [吕德受, 白子培, 陈洪凯. 川西山地公路水毁与新构造应力场 [J]. 重庆交通学院学报, 1992, 11 (3): 7~12.]
- [6] Tang Hongmei, Chen Hongkai, Li Yaxun. Research on formation environment of debris flow along highways at Tianshan Mountain Area in Xinjiang Region [J]. *Highway*, 2004, (6): 87~92. [唐红梅, 陈洪凯, 李亚训 [J]. 新疆天山公路泥石流形成环境研究. 公路, 2004, (6): 87~92.]
- [7] Chen Hongkai, Chai Chuang, Wan Yi. Comparison between debris flow sedimental profile and climate change in the border region of eastern Qinghai-Xizang Plateau during Quaternary [J]. *Journal of Chongqing Normal College (Natural Sciences)*, 1993, 10 (2): 73~78. [陈洪凯, 蔡创, 万晔. 第四纪以来青藏高原东部边缘地区泥石流剖面与气候变化的对比. 重庆师范学院学报 (自然科学版), 1993, 10 (2): 73~78.]
- [8] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Ma Yongtai. A new concept of research and control of giant debris flow along highway [J]. *Highway*, 2004, (2): 77~83. [陈洪凯, 唐红梅, 马永泰. 公路特大型泥石流研究及治理新理念. 公路, 2004, (2): 77~83.]
- [9] Tang Hongmei, Weng Qineng, Wang Kai, et al. Research on substances startup types and mechanisms of debris flows in impact-deposit debris flow valleys (I) [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University* [J], 2001, 20 (2): 65~68. [唐红梅, 翁其能, 王凯, 等. 冲淤变动型泥石流沟中物质启动类型及机理研究 (I) [J]. 重庆交通学院学报, 2001, 20 (2): 65~68.]
- [10] Tang Hongmei, Weng Qineng, Wang Kai, et al. Research on substances startup types and mechanisms of debris flows in impact-deposit debris flow valleys (II) [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 2001, 20 (2): 69~72. [唐红梅, 翁其能, 王凯等. 冲淤变动型泥石流沟中物质启动类型及机理研究 (II) [J]. 重庆交通学院学报, 2001, 20 (2): 69~72.]
- [11] Chen Hongkai, Tang Hongmei. Theory and application of high-speed drainage structure in controlling debris flow [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2004, 15 (1):

- 11~ 16. [陈洪凯, 唐红梅. 速流结构防治泥石流的理论及应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15 (1): 11~ 16.]
- [12] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Wu Sifei. Research on countermeasures for giant debris flow disaster along highways [J]. *Highway*, 2004, (3): 1~ 5. [陈洪凯, 唐红梅, 吴四飞. 公路特大型泥石流灾害控制技术研究 [J]. 公路, 2004, (3): 1~ 5.]
- [13] Chen Hongkai, Tang Hongmei. Research on general model of highway damage-induced by debris flow [J]. *Highway*, 2003, (8): 143~ 147. [陈洪凯, 唐红梅. 公路泥石流水毁概化模式研究 [J]. 公路, 2003, (8): 143~ 147.]

Research on Material Sources of Forming a Debris Flow along Highways in the Meigu River Basin

TANG Hongmei¹, CHEN Hongkai^{1,2}, JIN Fajun³, MA Yongtai³

(1. *Inst. of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;*

2. *Key Lab. For the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China;*

3. *Highway Bureau of Liangshan Yi Nationality Autonomous Prefecture of Sichuan Province, Xichang 615000, China)*

Abstract: The Meigu River Basin, locating in Daliang mountain region in southwest Sichuan province, is one of typical areas to develop debris flow along highways in China. Debris flow there have some features such as giant scale, strong hazard and high frequency. Based on landform, neotectonic stress field and atmospheric circulation with extreme foehn effect the authors deeply approach the formation reason of debris flow along highway in the basin, further present some important conclusions. i. e. special landform make rare plants in the basin, obvious foehn effect and the same distribution direction (only deviation $5.2^{\circ} \sim 6.5^{\circ}$) between longitudinal debris flow valley and shear zones of neotectonic stress field, which identify that development features are consistent to the principle of antagonism. As an example, material source of Luogaoyida debris flow is divided into three areas in the paper, i. e. unstable material area, limit stable material area and stable material area. As the first time material provision is together with various frequency precipitation (one time in three or five years, one time in ten years, one time in 20 years, one time in 50 years and one time in 100 years), the most possible material provision are obtained. In the end, some key problems in research and control of debris flow along highway are discussed.

Key words: the Meigu River Basin, debris flow along highways, material source, neotectonic stress field, foehn effect