

青海省玉树州高原暴雨型泥石流形成机制

——以称多县拉隆沟泥石流为例

高波^{1,2}, 王佳运^{1,2}, 张成航^{1,2}, 冯卫^{1,2}

(1. 国土资源部黄土地质灾害重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要: [目的] 对青海省玉树州高原暴雨型泥石流形成机制进行研究, 旨在为此类泥石流灾害防治及风险减缓提供依据。[方法] 以青海省玉树州称多县拉隆沟暴雨型泥石流为例, 通过实地调查对其形成因素及形成机制进行研究。[结果] 该泥石流主沟道长约 3 km, 流域面积 5.25 km², 纵坡比降 212‰, 高差约 600 m。物源区发育滑坡方量约为 6.50×10⁴ m³, 流域内冲出泥石流物质共约 8.5×10⁴ m³, 沟道内物源补给量 2.0×10⁴ m³。[结论] 青海省玉树州高原暴雨型泥石流的启动模式可总结为: 滑坡—物源形成—固体物质启动—沟道侵蚀—泥石流形成。

关键词: 青海省玉树州; 暴雨; 泥石流; 形成机制

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0028-04

中图分类号: P642

文献参数: 高波, 王佳运, 张成航, 等. 青海省玉树州高原暴雨型泥石流形成机制[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 28-31. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.006

Formation Mechanism of Rainstorm-induced Debris

Flow in Yushu State of Qinghai Province

—A Case Study on Debris Flow of Lalong Gully in Chengduo County

GAO Bo^{1,2}, WANG Jiayun^{1,2}, ZHANG Chenghang^{1,2}, FENG Wei^{1,2}

(1. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, Ministry of Land Resources, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: [Objective] The formation mechanism of rainstorm-induced debris flow in Yushu Plateau of Qinghai Province is researched. Which was expected to provide a basis for the prevention and control of debris flow disaster and reduction of the risk mitigation. [Methods] Through field survey, Lalong debris flow of Chengduo County in Yushu state was selected as an example, and the stimulus factors and mechanism were analyzed. [Results] The main channel length of the debris flow is about 3 km, the catchment area is 5.25 km², the longitudinal gradient is 212‰, and the height difference is about 600 m. The volume of the landslide of the source area is about 6.50×10⁴ m³, the volume of the debris flow is about 8.5×10⁴ m³; and the volume of the material in the channel is 2.0×10⁴ m³. [Conclusion] The process of rainstorm-induced debris flow in the study area can be divided into 4 stages: landslide-source formation, particle material starting up, gully erosion and debris flow initiation.

Keywords: Yushu State of Qinghai Province; rainstorm; debris flow; formation mechanism

泥石流是山区常见的地质灾害之一, 具有暴发突然、高流速及破坏力巨大等特点^[1]。高原暴雨型诱发泥石流是青藏高原高寒山区常见的一种特殊泥石流, 其物源主要来自于坡体表部松散残坡积物及沟内侵蚀、剥蚀的固体物质, 受高海拔高寒因素影响, 其水

动力条件主要来自于冻融—暴雨共同作用, 其中暴雨是该类型泥石流爆发的临界诱发条件, 具有爆发频率高、高速运移、冲击距离远、形成规模大及危害严重等特点。由于其形成水动力条件(以暴雨为主, 同时伴有冰雪融水)的差异, 使其与内地常见暴雨型泥石流

收稿日期: 2015-03-19

修回日期: 2015-06-15

资助项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目“青海省玉树州地质灾害详细调查”(1212011140143); 中国地质调查局地质调查项目(12120111000150022); 陕西省自然科学基金项目(2015JM4129); 中央高校科研业务费基础研究计划项目(开放基金)(310829161128)

第一作者: 高波(1981—), 男(汉族), 山西省长治市人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害调查防治风险评估等方面的研究。E-mail: badun_2003@163.com。

通信作者: 张成航(1982—), 男(汉族), 山东省平邑市人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害调查与研究等方面的研究。E-mail: nicesupper@qq.com。

具有不同的成因机制。由于区内高寒、高海拔特点加之受自然条件限制早期人类活动较弱,暴雨型诱发型泥石流的危害很少受到人们的关注。20 世纪以来,随着区内经济发展,旅游开发,人口大幅增加,在区内基础设施建设中经常都遇到这类泥石流的危害。例如 2012 年 7 月 3 日 16:00 左右,位于青海玉树称多县称文镇北侧的上庄村拉隆沟发生了泥石流灾害。泥石流爆发导致位于沟口牧民居民点 2 户居民的房屋和畜棚等基础设施完全被毁,5 户居民房屋成为危房,直接经济损失 120 余万元。

由坡体表面松散坡积物及沟道侵蚀、剥蚀形成固体物质作为物源补给、暴雨作为其诱发水动力条件的高原暴雨型泥石流在青藏高原高寒山区极为发育,开展全面有效治理防治难度极大。因此,本研究对该区高原暴雨型泥石流形成机制进行研究,以期防治此类泥石流灾害和减缓风险提供依据。

1 研究区概况

称多县地处青海省南部,玉树藏族自治州东北部,巴颜额拉山中段南坡,通天河自西北向东南流经县境西南侧,扎曲(河)至雅袭江上游段,纵贯县境中部,县境最高巴颜喀拉山主峰 5 267 m,最低在县境南通天河左岸夏达村,海拔 3 524 m,相对高差 1 743 m。该区属中高山地貌,山体岩性主体为三叠系砂、板岩,表部为基岩风化层和残坡积层。区内属高原大陆性气候。冬季漫长,气候寒冷。据清水河气象站资料(1971—2007 年),多年平均气温 $-4.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 $20.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-42.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。四季不分明,只以 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上下分为冷暖两季,无绝对无霜期。全年霜日数 266 d,日照时数 2 651.2 h,气温随海拔升高而降低。多年平均降水量 503.6 mm,多集中在 6—9 月,占全年总降水量的 73.4%,50 年一遇日最大降水量 40.8 mm,小时最大降雨量 14.3 mm。多年平均蒸发量 1 127.4 mm,季节性冻深 2.52 m。称多县地处青藏高原腹地,新构造运动强烈,主要表现为以隆升为主,其继承性和区域的差异性比较明显,北部巴颜喀拉山及南部宁静山大幅度隆升,而中部的河谷谷地则表现为振荡式的隆升,为泥石流的发育及发生提供了有利的地形地貌条件^[2]。

根据区内地质灾害详查研究资料,区内主要发育 55 条泥石流主要分布于通天河左岸支沟,给当地人民生命财产、生产及生活造成较大的威胁和危害。区内泥石流沟总的特征为沟谷切割强烈,一般 500~800 m,沟槽横断面多呈 V 形,谷坡坡度在 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,植被覆盖较差,坡面风化剥蚀强烈,主沟纵坡降较大,

有利于水流汇集,物质来源主要为坡面冻融风化物及沟内侵蚀,泥石流规模以中小型为主。2012 年 7 月爆发的拉隆沟泥石流具有典型的高原暴雨型泥石流特征,因此,选取该沟作为研究对象具有较好的代表性。

2 高原暴雨型诱发型泥石流的形成条件

2.1 物源补给特征

通过现场调查,从拉隆沟泥石流物源补给上看,该型泥石流物源补给具有方式的多样性及空间多区段性的典型特征。通过对拉隆沟泥石流的调查研究发现,与崩滑物质作为物源补给和沟谷侵蚀形成固体物质作为物源补给不同,该型泥石流的物源补给同时具备上述两种物源补给特征,既有滑坡整体滑动过程(图 1),也有在重力、冻融及风化作用下崩落到沟道内的固体物质在沟道流水冲击下的起动过程(图 2),是两者综合作用的结果,是典型的多种物源补给类泥石流。以称多县称文镇拉隆沟高原暴雨型泥石流为例,经计算,物源区发育滑坡方量约为 $6.50\times 10^4\text{ m}^3$,流域内冲出泥石流物质共约 $8.50\times 10^4\text{ m}^3$,沟道内物源补给达 $2.00\times 10^4\text{ m}^3$ 之多。此外,该型泥石流的物源补给在空间上还呈多区段性的特征,主要体现在该型泥石流的物源补给在整个沟谷流域内连续补给,这与其它类泥石流物源补给不同,不具备集中性。众所周知,泥石流的物源补给来自一处或几处滑坡、崩塌形成的固体物质,或者来自泥石流沟道内侵蚀形成的松散固体物质。但实地现场调查可知,该型泥石流的物源补给空间上表现出多处补给及补给段长的特点,即从上游形成区到中游流通区均有物源加入,呈连续补给,空间上补给段长度可达数公里。例如,称多县拉隆沟泥石流沟的补给段范围从上游一直到沟口,长度约 3 km。

2.2 水源补给的快速性与叠加性

大多数泥石流发生的水动力条件均为强降雨,当降雨汇流形成沟道径流的时候,它可以通过水流的动压力用而使固体物质产生运动,并会形成“铲蚀效应”^[3-4]和“消防水管效应”^[5-6]。通过现场访问调查,拉隆沟泥石流爆发前,区域内持续强降雨 6 h,因此其发生的水动力条件仍然来自暴雨形成的沟道径流;同时,现场调查沟道流域内同时还叠加有冰雪融水。此外,由于受到为以隆升为主的强烈新构造运动加之河谷谷地振荡式的隆升使得泥石流的上游形成区基岩裸露,且呈漏斗状,极有利于地表径流的汇集并快速转化为沟道径流(图 3),成为泥石流形成的水动力

条件。同时,由于受区内气候条件的影响,泥石流流域上游山体常年封冻。受气温的影响,流域内的冰雪融水也成为泥石流沟道流水补给的另一重要方面



图 1 滑坡成为泥石流的物源补给区



图 2 沟道内松散堆积物被泥石流冲刷后的深槽



图 3 汇水区“漏斗状”地形



图 4 上游冰雪融水加大了流域的汇流量

2.3 流域地貌发育特征

地貌的发育受地质构造明显的控制作用,如山脉、河谷的空间展布皆受构造的控制。泥石流作为特殊的地质灾害现象,其沟谷的发育及演化受构造运动的影响也较为明显。通常情况下,在构造稳定地区,沟道下切的速度较为缓慢,泥石流的发育过程也就相对缓慢,反之则较快^[7]。受到为以隆升为主的强烈新构造运动加之河谷谷地振荡式的隆升作用使得区内泥石流流域沟道具备了较大的高差,主沟纵坡比降大,为这类泥石流的发生提供了有利的地形地貌条件。以称多县拉隆沟泥石流为例,该泥石流主沟道长约 3 km,流域面积 5.25 km²,纵坡比降 212‰,沟口高程为 3 980 m,沟脑高程为 4 590 m,高差约 600 m。沟谷狭窄,山高谷深,横断面呈 V 形,右岸山体坡度 50°,左岸山体坡度 45°,这些地貌特征为泥石流的发育提供良好的孕育条件。

3 高原暴雨型泥石流形成过程分析

高原暴雨型泥石流与其它地区,尤其是与内地典

(图 4)。因此,与其它地区泥石流沟道汇流条件相比,高原暴雨型泥石流具有汇流集中,流量叠加的特点。

型降雨型泥石流相比,孕育环境、物源补给方式、水动力条件都有明显的不同。就泥石流灾害本质而言,虽然控制暴雨型泥石流形成的主要条件与其他类型泥石流的形成条件(物源形成,沟道水源补给,地形地貌等)大致相同,即“固体物质、水流、空间条件”,但是每个主要条件形成方式却存在明显不同。这也决定了这类泥石流必然与其他类型泥石流的形成过程不同。通过对拉隆沟泥石流暴发后的调查可以将其形成过程概括为:物源形成,固体物质起动,沟道侵蚀,泥石流形成。(1) 物源形成。该阶段为泥石流固体物质形成阶段。正如前文所述,在上游形成区既有滑坡整体滑动,在中游流通区也有在重力、冻融及风化作用下崩落到沟道内的固体物质(图 2),暴雨型泥石流物源形成是两者综合作用的结果。和其它类型泥石流不同,暴雨型泥石流物源形成具有多样性与多段性。(2) 固体物质起动。这阶段是指沟道内固体物质在暴雨、冰雪融水形成沟道径流冲击作用下发生运动,主要是指覆盖、堆积在沟道内的固体物质,多为碎石土。固体物质的受冲击起动使得堆积在沟道内松散

堆积物失去表层保护层,加剧了沟道进一步的侵蚀,为沟道内固体物源的补给提供条件。这种现象在调查中可以明显看到,在沟道内水流冲刷作用下,沟道内的固体物质表层存在明显剥蚀迹象(图5)。(3) 沟道侵蚀。沟道侵蚀主要是指沟道内流水冲击带动固体物质启动对沟道造成下蚀和侧蚀。这个阶段是高原暴雨型泥石流形成过程中的关键阶段,它表现为泥石流沟道物源补给量显著增大。对于高原暴雨型泥石流而言,这是泥石流沟道物源补给的重要过程,贯穿着泥石流发生及运动的全过程。下蚀过程主要是沟道流水对沟道底部进行竖向侵蚀,使堆积于沟道底部的固体物质启动,成为固体物质补给的另一来源;



图5 泥石流沟道两侧“铲、刮”严重

侧蚀过程是指沟道流水水平幅摆动带动泥石流固体物质对沟道两岸松散坡积物进行横向的“铲、刮”效应,使得岸坡坡积物基础被掏空,上部松散坡积物进而塌落进入沟道,成为泥石流固体物质的补给来源。(4) 泥石流形成。该阶段同时伴随着沟道汇水集中、沟道侵蚀和岸坡坍塌、能量集中的过程,也是泥石流危害性最强阶段(图6)。泥石流的形成使得流域内的固体物质补给量不断增加,为保持泥石流的持续运动提供必要条件。根据在称多县拉隆沟泥石流的调查显示,一次泥石流过程对沟道的掏蚀和侧蚀从上游到沟口皆有发生,局部沟段下切深度可达4 m,岸坡坍塌可达20 m宽,足见其侵蚀能量之巨大。



图6 泥石流堆积区情况

4 结论

(1) 高原暴雨型泥石流物源形成模式研究。高原暴雨型泥石流的物源形成特征为:沟道汇水横幅摆动侵蚀沟道岸坡坡脚使得坡脚被掏空,在重力作用下发生坍塌,这是该型泥石流沟道固体物源形成多见的破坏方式。此外,受到冻融作用的影响,融水入渗改变坡体水动力场进而改变坡体物理力学状态最终沿沟道临空面产生崩滑,堆积在沟道内,成为泥石流形成区的物源。青海省玉树州高原暴雨型泥石流的启动模式可总结为:滑坡—物源形成—固体物质启动—沟道侵蚀—泥石流形成。

(2) 高原暴雨型泥石流启动内在耦合研究有待进一步研究。高原暴雨型泥石流的形成过程虽然通过实地调查流域地貌特征可定性判别,但受其高海拔,高寒,人迹罕至、雨量资料缺乏等因素影响,其作用的内在机制定量描述却很难确定。此外,目前各种泥石流理论还未能较好的揭示该类型泥石流的内在耦合机制。因此,需要开展进一步物理、力学试验研究,以深入认识这类泥石流的形成机制。

[参 考 文 献]

- [1] 康志成,李焯芬,马蔼乃,等. 中国泥石流研究[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 中国地质调查局西安地质调查中心. 青海省玉树州地质灾害详细报告[R]. 陕西 西安:中国地质调查局西安地质调查中心,2012.
- [3] Takahashi T. Mechanical characteristics of debris flow [J]. Journal of the Hydraulics Division, 2015, 104(8): 1153-1169.
- [4] 姚德基,商向朝. 国外泥石流试验研究的若干基本问题 [J]. 地理译文集:泥石流,1980(4):26-33.
- [5] Coe J A, Glancy P A, Whitney J W. Volumetric analysis and hydrologic characterization of a modern debris flow near Yucca Mountain Nevada [J]. Geomorphology, 1997, 20(1/2):11-28.
- [6] Griffiths P G, Webb R. H, Melis T S. Frequency and initiation of debris flows in Grand Canyon, Arizona [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2004, 109(4):321-336.
- [7] 威廉斯. 第四纪环境[M]. 刘东生,译. 北京:科学出版社,1997.