

文章编号:1009-3850(2015)03-0109-04

泥石流堵断主河临界条件研究进展

宋 志

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:自 20 世纪 90 年代开始,泥石流堵断主河临界条件研究取得了较大进展,开展了多动态室内模拟试验、统计学的相关性分析、动量动能的理论力学分析,取得了基于不同方法的临界条件判别式,但对泥石流堵河的力学形成机制、堵河的数值模拟、堵河原型模拟试验、多时段的遥感运用等方面的研究仍需解决和深入。前人所做的临界条件往往对具体环境下的单沟能够较好适应,而对一定数量的其它泥石流堵河事件往往对比验证较差。对泥石流堵河临界条件的研究需要运用到土力学、水力学等学科的相关理论才能解决。作者认为,在前人研究的基础上,未来研究方向应着重于泥石流堵河机理研究、RS、GIS 技术的应用、原型模拟堵河试验及判别式研究,也许能有效地解决泥石流堵河临界条件的科学性和正确性,为实现防灾减灾提供科学的依据。

关 键 词:泥石流;堵河;临界条件;力学分析

中图分类号:P694

文献标识码:A

引言

我国是一个泥石流频发的国家,尤其在西南高山峡谷区,泥石流灾害尤为发育^[1]。如果泥石流能在短时间内将大量泥沙输入主河,泥石流规模较大且主河水动力条件较弱,则有可能堵塞主河。在我国西部山区常发生泥石流堵河事件,2005 年 8 月 11 日,磨西河特大型泥石流汇入大渡河处形成巨大的泥石流堆积扇,并堵断大渡河,在上游形成长达数公里的临时水库,积蓄了大量水体,溃决后,造成对岸沿河的 400 余米省道 S211 线连路基一起被彻底冲毁,中断交通近半年^[2];2010 年 8 月 7 日,甘肃甘南舟曲县出现持续强降雨天气,舟曲县城后的三眼峪沟和罗家裕沟暴发特大规模泥石流,并形成堰塞湖,堵塞白龙江,致使舟曲县城部分被淹,造成 1364 人死亡,401 人失踪的特大灾害^[3];2008 年 9 月 24 日,唐家山大水沟和无名沟在遇到百年一遇的暴雨后爆发特大型泥石流,导致泄流槽堵江断流达 17 小时,堰塞湖水位抬升近 8m^[4];2000 年 4 月 9 日

20 时,西藏易贡藏布支沟堵断主河 6 个小时,溃坝后,冲毁下游公路近 30 km,94 人死亡,250 万人无家可归,中断印度北部 7 个邦的铁路和公路联系^[3]。此外,典型的泥石流堵河事件还包括:1981 年 7 月 9 日,成昆铁路 283 km 处利子依达沟泥石流^[3];1919 年至 1968 年云南东川蒋家沟泥石流^[5];1953 年 9 月 29 日,西藏古乡沟泥石流^[6];1976 年 7 月 25 日,甘肃省宕县化马乡一带泥石流堵断白龙江^[7];1985 年 6 月 20 日,西藏培龙沟泥石流堵断帕隆藏布江^[8];1974 年 4 月 12 日,巴基斯坦境内帕提巴尔沟泥石流堵断洪扎河^[8]。以上泥石流堵河溃坝后,均造成严重的灾害,主要表现为人身伤害、中断交通、冲毁房屋、淹没村庄。

近年来,受全球气候变暖和极端天气事件的影响,我国山区以特大型规模为主的泥石流灾害频发,这类泥石流不仅淹埋民房和农田,破坏铁路、公路及水电站等基础设施,更严重地会堵断主河,形成次生灾害链。泥石流堵断主河后,形成天然坝和堰塞湖,淹没上游农田、铁路、公路等沿江建筑物,

收稿日期:2015-06-12; 改回日期:2015-07-08

作者简介:宋志(1982-),男,工程师,在职博士研究生,主要从事岩土工程与泥石流研究。E-mail:35842126@qq.com

资助项目:成都地质矿产研究所青年基金项目(所控基 2014-05);中国地质调查局地质调查项目(12120114069501)

造成大范围灾害。当洪水漫过天然坝时,发生溯源冲刷,进而导致天然坝溃决。而天然坝溃决产生的大规模溃决洪水,会对下游造成长距离超常冲刷,甚至冲毁下游农田和沿江建筑物,形成第二次灾害^[2-8]。因此,开展泥石流堵断主河临界条件的研究,确定科学的堵河判别公式,将为山区泥石流堵河次生灾害链的发生提供早期识别模式,并为科学的减灾防灾提供理论依据。

1 国内外研究进展

对于泥石流堵江的事件,国内研究进展较多,国外尚未见关于泥石流堵江问题的研究,他们多集中于清水或含沙水流与主河交汇问题的研究^[9]。目前,对泥石流堵断主河的临界条件研究主要表现在以下几个方面^[10-20]。

1.1 泥石流堵断主河研究方法

泥石流堵断主河研究,基本上集中在国内的研究。90年代初起,周必凡等^[10]提出了基于沟床条件和主河流量为主的临界条件判别式,之后相关的研究者进行了大量的研究工作。对泥石流堵断主河的评价方法,现阶段多集中于利用已发生堵河事件或水槽试验开展相关性的分析,进行半定性与定量研究,如以实验为基础来研究泥石流堵江规律,通过一系列的水槽实验,提出泥石流的堵江判别式。从研究方法模式上,泥石流堵河事件临界条件研究分为3类,分别为基于多动态条件的室内试验模拟、基于统计学的相关性分析、基于动量动能的理论力学分析。

1.1.1 基于多动态条件的室内试验模拟

泥石流堵河事件的室内试验模拟较为普遍,相关学者做了大量研究。主要方法是模拟在不同交汇角的条件下,主支沟的交汇及河床响应过程,选择不同的评价指标(例如:流量比、容重、规模)分析得出泥石流的堵河判别式。2000年,陈德明^[11-12]以实验为基础来研究泥石流堵江规律,通过一系列的水槽实验,提出泥石流的堵江判别式;2000年,王协康等^[13]用试验手段模拟泥石流堵塞坝形成和溃决的过程,并对主河河床的响应特征进行研究;2004年,郭志学等^[14]对影响泥石流堵江的各因素进行了试验研究;2006年,崔鹏等^[15]在实验基础上,采用主支单宽临界流量比、动量比、泥石流密度、入汇角等因素,通过多因素回归分析,得到泥石流体密度和入汇角与主支单宽临界流量比和动量比的回归方程,建立了流速、流量、入汇角和密度堵河判别关

系式;2009年,党超等^[16]分析了泥石流堵河的主要影响因素,对这些无量纲参数进行了一系列的泥石流堵塞主河试验,对比本次研究和其他文献关于泥石流堵河试验的变量和结果,得出无量纲化的泥石流堵塞主河的临界条件。

1.1.2 基于统计学的相关性分析

该方法主要以文献查阅、实地调查得到各泥石流沟的基本数据和堵河特征资料,对堵河型泥石流基本特征进行分析总结,得出计算泥石流堵断主河的定位或动量的经验公式。1991年,周必凡等^[10]从理论的角度对泥石流堵江事件进行了探讨,在此基础上提出了泥石流堵江的最小规模、扇形地泥石流沟床条件、主河流量等计算公式;2008年,张金山等^[9]通过文献查阅、实地调查,得出计算泥石流堵断主河可能性大小的经验公式;2010年,宋志等^[2]对泥石流一次过程总量与堵河最小规模的计算,将一次过程总量与不同频率下的泥石流流量进行分析,得出磨西存在50年一周期的堵河可能性;2012年,刘翠容等^[3]研究了典型堵河事件,提出了泥石流堵塞大河的特点:存在全堵、壅堵和局部堵塞3种堵河模式。局部堵塞是最普遍的堵河形式,高速水流冲刷异岸,或迫使主河改道而成灾是泥石流局部堵塞大河的主要成灾模式。

1.1.3 基于动量动能的理论力学分析

该方法主要为建立起泥石流沉积及泥石流与主河水流相互作用动力学方程组,以动量与动能平衡为主要切入点,分析得到其各自的理论解,理论分析了泥石流堵断主河的条件。1995年,匡尚富^[17]从动量原理出发,理论分析了泥石流流入汇形成天然坝堵塞主流的条件;2003年,何易平^[18]研究了短时泥石流作用堵塞主河的条件,利用非线性回归方法得到了在泥石流堵河临界状态下的主支单宽流量比和动量比与上述影响因素的复式回归方程,得到了泥石流堵河的动量和流量判别式指标。

1.2 泥石流堵断主河评价参数选择

影响泥石流堵河的因数较多,具有极大的不确定性,如区域差异、流域滑坡突发性、交汇地形沟道起伏,使得临界条件研究的参数体系的确定极为困难。对泥石流个体来讲,研究的主要参数为容重、规模、流速、流量。对泥石流与主河交汇的综合考虑,目前的研究多集中在汇流角、流量比、输沙规模、动量比。对泥石流堵河研究的不同手段模式,选取了有适应性的研究参数开展指标分析(图1)。

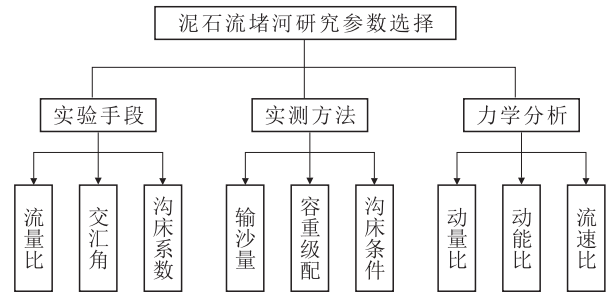


图1 泥石流堵河研究参数选择

Fig. 1 Selection of the parameters for the river blocking by debris flows

从图1可知,目前的泥石流堵河临界条件研究多集中选择一些传统型的参数,存在着一些不足。未能考虑各堵河因素对泥石流堵塞主河的综合作用,如考虑泥石流总量的系数法、考虑泥石流容重(粘度)的容重法、考虑泥石流颗粒大小的粒度法、考虑泥石流堵河堆积量和堆积形式的形态法,未能对泥石流体的物理性质做定量的研究^[9]。对泥石流堵河的参数考虑有限,多集中于传统的考虑参数,比如交汇角、流量比、容重、流速比、主河宽度、主河比降等因子,并未从流体运动力学上进行力学的机理分析,或者这方面的分析较为简单^[19-20]。

2 未来泥石流堵河研究的方向

对泥石流堵河的临界条件研究,国内学者取得了较大的进展,但对泥石流堵断主河的内在机理研究较少,或仍不明确,主要是选取传统的典型参数进行相关性分析,且堵河临界条件往往不具有代表性。未来泥石流堵河的研究方向主要应集中在以下方面。

2.1 泥石流堵断主河机理研究

目前,泥石流堵河机理研究多集中经验型的公式判别。对泥石流的理论模型集中在两相流。该两相流理论分为两类:第一类将浆体和粗颗粒分别用一组方程来描述,第二类是应用土力学和流体力学相结合的库仑颗粒流模型。与第一类不同的是,这类模型将浆体与粗颗粒的两组方程相加,从而将浆体与粗颗粒的作用力消去^[20-22]。但是在动力学方程中精确地描述泥石流与主河水流交汇时的相互作用可能性小,根本原因在于两者的相互作用是基于面上的,与基于单位流“体”的动力学方程无法协调统一。所以,研究泥石流堵河的机理研究应从质量守恒方程、动力学方程、动量动能方程进行公式推导,增加或选取关键性参数因子参与理论推导,力求在力学上建立主支沟交汇堵塞的理论方程。

2.2 RS、GIS 技术的应用

以往的泥石流堵河调查多是基于现场实测的定性和半定量调查数据,只能得到堵河平面形态、平均堵河高度等简单数据,对堵河的全过程定量描述具有一定的局限性。同时,由于目前遥感调查存在数据更新的时滞性,难以对堵河过程进行及时跟踪和数据处理。在今后 GIS 技术普及面广的情况下,尽可能得到及时的高精度卫星影像和立体生成高精度数字高程模型(DEM),其时效性尽可能还原堵河前、堵河中、堵河溃决后 3 个时间段的高分辨影像图,对堵河的宏观形态进行全面掌握(避免实验堵河的人为性)、得出沟道内松散物源的动态变化过程和定量数据,分析泥石流堵河的运动状态,能较好得还原历史形态,并能为临界条件判别式提供对比验证的准确基础数据。

2.3 原型模拟堵河试验及判别式

目前的泥石流堵河室内试验多集中于规则的主支槽,人为的交汇角、平滑的交汇区沟床条件,传统的临界判别参数,往往与实际堵河的环境有较大的区别。在滑坡物理模拟较为成熟的条件下,应对泥石流堵河试验开展原型模拟试验,选取采取几何相似、运动相似或动力相似进行模型试验,客观反映堵河的各要素。原型模拟试验的关键要素包括主支沟交汇区地形、纵坡、流量比、颗粒级配、沟道形态、沟道阻力系数等,避免传统的泥石流堵河参数选择的单一性、随意性、理论性。对模型试验得出的现象进行反复调试、参数修正,最后达到与客观堵河事件的一致性。在原型模拟试验的基础上,分析所选取堵河事件的形成机理,总结力学机制分析、对已发生的泥石流堵河事件进行对比验证,确定临界条件判别式。

3 结论

自 20 世纪 90 年代开始,泥石流堵断主河临界条件研究取得了较大进展,开展了多动态室内模拟试验、统计学的相关性分析、动量动能的理论力学分析,取得了基于不同方法的临界条件判别式,但对泥石流堵河的力学形成机制、堵河的数值模拟、堵河原型模拟试验、多时段的遥感运用等方面的研究仍需解决和深入。泥石流堵河的复杂性不仅体现在其影响因素的多样性,还表现为堵河的内在机理的复杂性和不确定性。前人所做的临界条件往往对具体环境下的单沟能够较好适应,而对一定数量的其它泥石流堵河事件往往对比验证较差。对

泥石流堵河临界条件的研究需要运用到土力学、水力学等学科的相关理论才能解决。在前人研究的基础上,开展泥石流堵河机理研究、RS、GIS 技术的应用、原型模拟堵河试验及判别式,也许能有效地解决泥石流堵河临界条件的科学性和正确性,为实现防灾减灾提供科学的依据。

参考文献:

[1] 唐邦兴. 中国泥石流[M]. 北京:商务印书馆,2000.

[2] 宋志,巴仁基,刘宇杰. 磨西河特大型泥石流堵塞大渡河分析——以一次泥石流规模、不同频率雨洪法流量定量计算[J]. 灾害学,2010,25(3):71-73.

[3] 刘翠容,姚令侃. 泥石流堵塞大河的特点及异岸受灾判据研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2012,44(5):93-100.

[4] 胡卸文,吕小平,黄润秋,等. 唐家山堰塞坝“9·24”泥石流堵江及溃决模式[J]. 西南交通大学学报(工程科学版),2009,44(3):312-326.

[5] 吴积善,康志成,田连权,等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京:科学出版社,1990. 3-4.

[6] 朱平一,王成华,唐邦兴. 西藏特大规模碎屑流堆积特征[J]. 山地学报,2000,18(5):453-456.

[7] 杜榕桓,章书成. 西藏古乡沟1953年特大冰川泥石流剖析[A]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊[C]. 北京:科学出版社,1984. 36-47.

[8] 陈延方,崔鹏. 西昌-攀枝花高速公路弃土场土壤侵蚀预报[J]. 自然灾害学报,2007,16(1):109-112.

[9] 张金山,谢洪. 岷江上游泥石流堵河可能性的经验公式判别[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):652-655.

[10] 周必凡,李德基,罗德富,等编著. 泥石流防治指南[M]. 北京:科学出版社,1991. 73-75.

[11] 陈德明. 泥石流与主河水流交汇机理及其河床响应特征[D]. 中国水利水电科学研究院博士学位论文,2000.

[12] 陈德明,王兆印,何耘. 泥石流入汇对河流影响的实验研究[J]. 泥沙研究,2002,3:22-28.

[13] 王协康,方铎. 泥石流模型试验相似律分析[J]. 四川大学学报(工程科学版),2000,32(3):9-12.

[14] 郭志学,曹叔尤,刘兴年,等. 泥石流堵江影响因素试验研究[J]. 水利学报,2004,11:1-8.

[15] 崔鹏,何易平,陈杰. 泥石流输沙及其对山区河道的影响[J]. 山地学报,2006,24(5):539-549.

[16] 党超,程尊兰,刘晶晶. 泥石流堵塞主河条件[J]. 山地学报,2009,27(5):557-563.

[17] 匡尚富. 汇流部泥石流的特性和淤积过程的研究[J]. 泥沙研究,1995,1:1-15.

[18] 何易平. 泥石流对山区河流河床演变的影响[D]. 北京:中国科学院研究生院博士学位论文,2003. 93-94.

[19] 刘希林. 我国泥石流危险度评价研究:回顾与展望[J]. 自然灾害学报,2002,11(4):1-8.

[20] 郑万模,巴仁基,刘宇杰,等. 四川康定城市地震地质及地质灾害风险评价[J]. 沉积与特提斯地质,2012,32(3):75-78.

[21] 杨成林,陈宁生,李战鲁. 汶川地震次生泥石流形成模式与机理[J]. 自然灾害学报,2011,20(3):31-37.

[22] 王全伟,梁斌,朱兵,等. 川西龙泉山西坡更新世泥石流的发现及其意义[J]. 沉积与特提斯地质,2013,33(1):1-4.

Progress in the research of the critical conditions of river blocking by debris flows

SONG Zhi

(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Considerable progress has been made since 1990 in the research of the critical conditions of river blocking by debris flows, including the dynamic simulation test, correlation analysis, theoretical mechanical analysis of momentum and kinetic energy leading to the presentation of various discriminant formulas for critical conditions. The author in this study contends that some aspects remain resolved concerning mechanical mechanism, numerical modeling, prototype simulation test and multiphase remote sensing application to the research of river blocking by debris flows. The techniques such as remote sensing and geographical information system, prototype simulation test and discriminant formulas should also be applied in the future research aiming at providing scientific base for the disaster prevention and reduction.

Key words: debris flow; river blocking; critical condition; mechanical analysis