

西藏江河堵溃灾害及成灾环境分析^{*}

程尊兰^{1,2}, 田金昌³, 张正波³, 强巴³

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 西藏自治区交通科学研究所, 西藏 拉萨 850001)

摘要: 江河堵溃灾害指由江河两岸大规模滑坡、泥石流等在主河道形成堵塞坝和溃决造成的灾害。西藏近年发生的14次江河堵溃灾害都分布于藏东、藏南地区。根据形成江河堵塞坝的山地灾害类型其可划分为滑坡堵溃灾害和泥石流堵溃灾害及滑坡、泥石流混合堵溃灾害, 形成过程各有特点。西藏江河堵溃灾害集中分布于藏东、藏南, 这与这里下述因素有关: 河谷深切, 山高坡陡; 新构造运动活跃, 地震频繁; 第四系冰碛等松散堆积物深厚; 海岸性冰川发育, 冰湖广布。

关键词: 西藏; 滑坡; 泥石流; 堵溃灾害; 成灾环境

中图分类号: P642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)01-0026-05

江河堵溃灾害, 是指江河两岸的大规模滑坡或泥石流物质进入江河后形成天然土石坝(又称堵塞坝), 堵塞江河造成上游回水淹没灾害; 一段时间后溃坝, 形成堵溃洪水, 其洪峰流量往往是正常洪水的数倍至数十倍, 按正常洪水频率计算, 则相当于数千年, 乃至上万年一遇的洪水, 造成下游严重冲毁灾害; 凶猛的涌波扫荡沿途村庄、耕地、公路和桥梁等, 还可能诱发新的滑坡等灾害。江河堵溃灾害是大规模滑坡、泥石流的次生灾害, 与大规模滑坡、泥石流具有因果关系和链式扩散、放大效应, 构成灾害链。大规模滑坡、泥石流物质攒成的江河堵溃灾害的危害和损失, 远远大于滑坡、泥石流灾害本身。

例如, 林芝县的培龙沟, 1984年8月和1985年6月的特大泥石流在帕隆藏布(江)都曾形成堵塞坝, 回水淹没了上游6 km的川藏公路和79辆装满货物的汽车; 溃坝后, 堵溃洪水又冲毁了下游2 km的川藏公路和沿程的5座桥梁, 造成川藏公路分别断道56 d和270 d。

西藏是我国江河堵溃灾害多发区, 主要分布在藏东和藏南的高山深谷地区。西藏江河堵溃灾害散见于滑坡、泥石流等山地灾害文献中^[1-6], 仅作为次生灾害有所提及, 进一步的系统分析研究不够。本文拟对西藏的江河堵溃灾害及其成因作

一全面综合分析, 以进一步引起人们的重视, 并为河谷地带公路、城镇等经济建设规划、设计提供借鉴, 以便尽可能规避和减轻江河堵溃灾害。

1 西藏江河堵溃灾害分布

要在江河中形成自然土石坝, 把江河堵塞, 必须要有大量土石在极短时间内堆置于河道, 因此, 只有大规模的滑坡、泥石流等山地灾害, 才能在极短时间内(数分钟至数小时), 将数十万 m^3 , 甚至数亿 m^3 土石堆置于河道, 造成江河堵塞。而后, 在上游静水压力和管涌等作用下, 短暂堵塞或数十天堵塞后溃坝, 形成堵溃洪水灾害。据初步统计, 西藏近年发生江河堵溃灾害14起, 主要分布在滑坡、泥石流等山地灾害严重的东部和南部高山深谷区, 详见表1。

2 江河堵溃灾害类型及成灾过程

根据造成江河堵塞坝形成的山地灾害类型, 可将江河堵溃灾害划分为: 滑坡堵溃灾害、泥石流堵溃灾害和滑坡、泥石流混合堵溃灾害。下面通过各类堵溃灾害典型实例, 分析其灾害形成过程和危害。

* 收稿日期: 2007-07-30

基金项目: 国家自然科学基金(40771024); 交通部西部交通建设科技项目(2006 31879284); 水利部公益项目(200801032)资助
作者简介: 程尊兰(1952-), 女, 四川隆昌人, 研究员, 博导, 主要从事泥石流和山区洪水(含山洪)的成灾机理与减灾技术。

E-mail: czl@imde.ac.cn

表 1 西藏江河堵溃灾害概况表

堵河灾 害类型	名 称	被堵 江河	所在 县名	堵 塞 坝 形成日期	主河 流量 /m ³ /s	滑坡 体积 /万 m ³	泥石流 最大流量 /(m ³ /s)	泥石流进 入主河体 积/m ³	堵塞 坝高 /m	堵 塞 坝 形 成 至 溃坝时间	堰塞湖 情 况	溃决洪 峰流量 /(m ³ /s)
滑坡	拉月 大滑坡	东久河	林芝	1967-08-29		1 000			70~90	30 d	蓄水 600 万 m ³	
	102 滑坡	帕隆 藏布	波密	1991-06	420.8	510				0.7 h	蓄水 260 万 m ³	
泥石流	古乡沟	帕隆 藏布	波密	1953-09			28 600	1 100 万		长期	回水 10 km	
	隆达沟	吉隆河	吉隆	1964-08			3 100	65 万		短暂		
	唐不 朗沟	尼洋河	林芝	1964-09-27					20	10 h		
	冬如 弄巴	帕隆 藏布	波密	1975-06-12	232		562.1		13.4	短暂		
	长藏 普沟	波曲	聂拉木	1981-07			11 000		50	30 d		
	培龙沟	帕隆 藏布	林芝	1983-07-29	2 298		2 950	100 万	2~3	短暂		
				1984-08-23	1 191		5 245	220 万	14.3	0.25 h	水面上升 15 m	
				1985-06-20	2 104		8 195	388 万	29.3	0.5 h	蓄水 3 600 万 m ³	
	米堆沟	帕隆 藏布	波密	1988-07-14	194		1 021		7~9	短暂		1 200
滑坡泥 石流	扎木 弄巴	易贡 藏布	波密	1902-07-08	1 100		58 600	5.13 亿	80	30 d	湖面 51.9 km ²	
				2000-04-09	720				130	62 d	蓄水 300 亿 m ³	30 250

2.1 滑坡堵溃灾害

指江河岸坡发生大规模滑坡(含崩塌),其滑坡体进入江河并形成堵塞坝及其溃决造成的灾害。以林芝县雅鲁藏布江二级支流东久河左岸拉月大滑坡为例。1962 年起拉月一带山坡就多处出现裂缝,经常发生小型崩塌和滚石,危害过往车辆和行人。1967 年 8 月 29 日拉月一带山体突然发生特大型滑坡,约 1 000 万 m³ 坡体从相对高度 400~700 m 的山体斜坡中部剪除下滑,堆埋川藏公路(2.5 km 路段被埋)和东久河,在东久河中形成高达 70~90 m 的堵塞坝,上游回水形成堰塞湖(拉月湖),拉月湖储水达 600 万 m³,回水淹没公路 3 km,造成 15 人死亡,汽车数十辆被毁坏。大约一个月后,拉月湖溃决,堵溃洪水强烈冲刷下游狭窄的河岸,使沿 1.1 km 公路路基受到严重毁坏^[5]。

八宿县帕隆藏布江上游然乌湖,湖面海拔 3 990 m,湖长 26 km,平均宽 1~2 km,就是山地滑坡、崩塌堵江,部分溃决后留下的河道型湖泊^[6]。

2.2 泥石流堵溃灾害

指由支沟暴发大规模泥石流冲出沟口后在主河形成堵塞坝和溃决造成的灾害。以中尼公路长藏普沟冰湖溃决泥石流堵溃灾害为例,予以说明。

长藏普沟位于喜马拉雅山南坡,聂拉木县波曲河上游东岸一支沟。1981 年 7 月长藏普沟源头阿玛次仁冰川冰舌段发生崩滑,约 700 万 m³ 冰碛、沟岸崩塌物质和沟床揭底冲刷物质汇入溃决洪水形成大型泥石流。泥石流冲出长藏普沟后,堵塞波曲(河)形成高 50 m 的堵塞坝,回水很快淹没了上游 100 m 处距河床 30 m 高阶地上的曲乡村。一个月后堵塞坝溃决,溃决洪水造成下游严重灾害。洪水冲刷岸坡,导致滑坡复活,严重危害中尼公路;冲毁中国和尼泊尔交界处的友谊桥及两岸全部建筑物;友谊桥下游 32.4 km 的尼泊尔逊科西水电站遭受严重损失,死亡 200 人^[4]。

2.3 滑坡、泥石流混和堵溃灾害

指由滑坡、泥石流等山地灾害共同作用形成的主河堵塞坝和溃决所造成的灾害。雅鲁藏布江二级支流易贡藏布(江)上,易贡湖的形成和溃决

最为典型。

扎木弄巴沟位于易贡藏布(江)下游左岸,流域面积 31.8 km^2 , 主沟长 9.7 km , 历史上曾发生多次冰川泥石流活动。1902 年 7~8 月间, 经过连续的降雨后, 沟道突然断流, 很可能是沟道中游发生大滑坡堵断沟道, 形成滑坡堵塞坝。15 d 以后沟水浸润, 导致堵塞坝失稳溃决, 呈粘性或塑性泥石流冲出沟口, 进入易贡藏布(江), 将沟口一带 50 余户房屋、牲畜及大片耕地淤埋, 几小时后形成厚 $75 \sim 140 \text{ m}$, 宽 $3.2 \sim 3.6 \text{ km}$, 长 2.7 km 的泥石流堵塞坝, 其最低处高出原河床 80 m (即坝高)。上游积水成湖, 湖水淹没面积达 51.9 km^2 。约 1 个月后, 该坝大部分溃决, 溃决总水量达 270 亿 m^3 。残留坝高 30 m , 保留湖区称为易贡湖^[2]。

1998 年后的 2000 年 4 月 29 日, 扎木弄巴沟上游发生总体积达 202 万 m^3 的雪崩^[3], 顺数百米高的陡坡掀动沿程的松散堆积物, 并进而冲击到由巨厚松散堆积物构成的缓坡段, 促使其发生滑动, 从而构成特大规模的高粘性泥石流, 奔向易贡藏布(江), 很快堵断易贡藏布(江), 山地上部含水量丰富的固体物质继续下泄, 逐渐成为碎屑流, 不断堆高和拓宽堵塞坝, 最终形成了堵塞长度 1.5 km 、高 130 m (含 1902 年留下的 30 m) 堵塞坝。起初, 易贡湖水上涨速度为 0.5 m/d 。

由于环境条件差, 引流工程难以尽快实施, 加之雨季到来, 溃决前, 湖水上涨速度已达 2.0 m/d , 使原易贡湖的湖水由 0.8 亿 m^3 突增到 30 亿 m^3 , 在静水压力和管涌作用下, 于 2000 年 6 月 10 日堵塞坝溃决, 溃口最深处达 110 m 。堵溃洪水持续 6 h 之久, 下游通麦洪峰高达 57 m , 洪痕宽 336 m , 洪峰流量达 $12.64 \text{ 万 m}^3/\text{s}$ ^[4]。冲毁下游 30 km 公路及沿途桥梁, 上万人受灾。洪水沿易贡藏布(江)进入帕隆藏布(江), 汇入雅鲁藏布江, 直泻我国的墨脱和印度, 荡尽两岸的耕地和建筑物, 我国境内损失达 2.8 亿元人民币 。在印度造成 94 人死亡, 250 人无家可归, 北部 7 个邦的铁路和公路被中断。

3 江河堵溃灾害成灾环境分析

西藏江河堵溃灾害集中分布于东部和南部(表 1), 这是与藏东藏南特殊的地理环境分不开的。这里河谷深切, 山高坡陡, 岭谷高差大; 新构造运动活跃, 地震频繁; 第四系冰碛等松散堆积物深厚; 海洋性冰川发育, 冰湖广布。以上这

些因素为滑坡、泥石流等山地灾害的发生提供了基础。特别是帕隆藏布(江)流域, 有“山地灾害博物馆”之称^[7], 这是除了火山泥石流之外, 所有的山地灾害都有分布, 且规模大, 危害历史长, 对生态环境和社会经济危害严重。仅在帕隆藏布(江)干流及支流易贡藏布(江)上, 至今还保留着大规模滑坡、泥石流土石坝堵江, 后又部分溃决, 残存堵塞坝形成二座高山河道型湖泊。

3.1 然乌湖(八宿县)和古乡湖(波密县)河谷深切, 山高坡陡

受新构造运动强烈抬升与河流强烈下切的影响, 藏东藏南地区河谷深切, 山高坡陡, 岭谷高差悬殊。形成了高陡的临空面和纵比降大的沟谷, 有利于滑坡、泥石流的发育。该区南有喜马拉雅山脉, 北有念青唐古拉山脉, 东有横断山脉, 雅鲁藏布江及其支流切割其中, 形成高山深谷地貌。例如, 雅鲁藏布江大拐弯处, 南岸南迦巴瓦峰海拔 7782 m , 北岸加拉白垒峰海拔 7284 m , 西雅鲁藏布江平均深达 5000 m 以上, 最深处江面海拔仅 2400 m , 与南迦巴瓦峰相差达 5382 m 。雅鲁藏布江支流帕隆藏布(江)在下游(通麦以下), 岭谷高差一般在 $2000 \sim 2500 \text{ m}$ 以上。中上游岭谷高差一般也在 1500 m 以上, 最大达 2800 m 。谷坡坡度一般在 30° 以上, 最大达 80° 。由此形成的高陡临空面都在数百米以上, 大多数(90%)泥石流沟沟床纵比降都达 $50\% \sim 300\%$ 。为大规模滑坡、泥石流的暴发提供了地貌基础。特别是高陡的斜坡, 具有很大的滑动势能和自重推滑力, 一旦滑动易形成高速滑坡, 堵塞江河能力极强。

3.2 新构造运动活跃, 地震频繁

藏东、藏南地壳构造运动强烈, 特别是 340 万年以来的新构造运动十分活跃。来自南部的印度板块以 $50 \sim 64 \text{ mm/a}$ 的速度, 向欧亚板块(即青藏高原)推进; 同时, 在拉萨河、羊八井——那曲一线以东, 地块受到 15 mm/a 速度的亚板块推挤作用^[8]。这种强大的持续地壳水平运动产生的力偶作用, 形成了多组节理。其中一组是平行于河谷方向的卸荷节理, 一组是垂直于地层走向的横节理, 使坚硬的岩层破裂成豆腐块式的岩块。并在长期持续作用下发展成活动断层。豆腐块式的坡体是深切河谷大规模崩塌、滑坡的地质基础, 沿断层破碎带发育的沟谷则是大规模泥石流发育的地质基础。受板块运动推挤, 区内新构造运动上升强烈是高山深谷地貌形成的根本原因。距今 300 万年以来, 青藏高原上升速度呈明显加快趋

势。起初上升速度为 $1.0 \sim 2.0 \text{ mm/a}$, 距今 200 万年为 $2.0 \sim 7.0 \text{ mm/a}$, 距今 100 万年以来为 $10 \sim 30 \text{ mm/a}$, 15 万年以来上升最大速率达 30 mm/a ^[8]。地壳的强烈上升, 引起了河流的深幅下切侵蚀。例如帕隆藏布(江)干流下游, 距今 7.3 万年以来, 河流的平均下切速率为 6.3 mm/a ^[10]。由此, 形成区内的高山深谷地貌。

地震是新构造运动的直接体现, 也是诱发大规模滑坡、泥石流等山地灾害发生的原因之一。震级 ≥ 6 级的地震就可能直接引起大规模崩塌、滑坡的发生, 产生大量松散堆积物, 雨季则可能转化为大规模泥石流。西藏东南部的察隅——波密地区就是喜马拉雅弧形山系东端的一个强地震带, 帕隆藏布(江)流域地震烈度达 IX 度。1950 ~ 1996 年间帕隆藏布(江)流域和毗邻的察隅——墨脱地区共发生震级 ≥ 4.0 的地震 124 次, 其中 1980 ~ 1996 年发生 $4.0 \leq M \leq 5.9$ 级地震 14 次^[10], 1950 年 8 月 15 日察隅发生了 8.6 级大地震。这些地震都直接或间接地促进该区当年及以后年代大规模滑坡、泥石流的发生。

3.3 第四系冰碛等松散堆积物深厚

区内深厚的第四系松散堆积物是大规模滑坡、泥石流形成土石坝、堵塞江河的物质基础。由于区内受到多次冰期、间冰期作用, 现代海洋性冰川发育, 使区内第四系松散堆积物深厚。通常, 在森林线以上残坡积物发育; 河谷中具有化学风化和生物风化作用的坡积物深厚, 并隐伏着厚层的古冰川堆积物; 干流及支流两岸主要分布冰水和河流沉积物。例如, 帕隆藏布(江)下游的 102 大滑坡后壁剖面显示, 倒数第二次大冰期古冰碛层厚达 256.40 m, 其上叠加的倒数第二次大冰期和末次冰期间的冲洪物厚达 182.61 m, 总厚达 439.01 m^[7]。

又如, 培龙沟大型冰川泥石流沟内, 各种松散沉积物就达 4.35 亿 m^3 , 仅距沟口 2 ~ 3 km 右岸的古冰碛平台(海拔 2 450 m), 古冰碛层厚达 310 m, 其古冰碛物达 973 0 万 m^3 。培龙沟各种第四系堆积物累计厚达 586 m。

深厚的第四系堆积物为大规模泥石流的发生和江河堵溃坝的形成, 提供了充足的物源基础。

3.4 海洋性冰川发育, 冰湖广布

由于该区地势高亢, 大多数山峰在海拔 5 000 m 以上, 冰川发育。帕隆藏布(江)就集中分布着我国最大的季风海洋性冰川群, 面积达 4 638.42 km^2 , 占流域总面积 16.2%, 共有冰川

1 861 条, 平均每条冰川面积 2.49 km^2 。西藏最长的冰川恰青冰川就分布在该流域, 长 35 km, 冰川面积达 172 km^2 , 上限海拔 6 356 m, 下限海拔 2 510 m, 伸入原始森林中^[6]。据统计, 帕隆藏布(江)流域共有冰湖 144 个, 总面积 25.2 km^2 , 估算总蓄水量达 4.833 亿 m^3 。

冰川是气候变化的函数, 无论是年内还是年际间, 随着气候的波动变化, 冰川也有前进和后退, 积累和消融。特别是洗涤性冰川, 冰温高, 接近 0°C , 运动速度快, 每年数十米至数百米以上; 积累和消融快, 每年 1 000 mm 以上, 甚至高达数千毫米。从而导致冰崩、冰湖溃决洪水、冰川泥石流、冰湖溃决泥石流等暴发。特别是冰湖溃决泥石流, 由于其规模大, 常造成主河堵溃灾害。

例如, 1988 年 7 月 14 日, 波密县帕隆藏布(江)左岸支流米堆沟上游终积湖光谢错, 因贡扎冰川冰舌前缘 36.2 万 m^3 冰体崩入湖内, 造成溃决洪水; 两岸大量松散堆积物介入, 形成稀性泥石流; 汇入帕隆藏布江后, 堵塞主灌, 后溃决形成流量 1 200 m^3/s 的洪水。冰湖溃决泥石流冲毁了沟内米堆村, 毁房 51 间, 死亡 5 人; 危害汇口下游密美村。帕隆藏布(江)堵溃洪水冲毁大小桥梁 18 座, 川藏公路累计 42.0 km 路段遭受水毁, 其中 21.6 km 几乎全毁, 中断交通达半年之久^[4]。

4 结语

江河堵溃灾害指由江河两岸大规模滑坡、泥石流等山地灾害, 在主河中形成土石坝, 堵塞江河造成上游回水淹没灾害, 溃坝后形成的堵溃洪水灾害。

西藏近年发生的 14 次江河堵溃灾害都分布于藏东、藏南地区。

根据形成江河堵塞坝的灾害类型, 江河堵溃灾害可划分为: 滑坡堵溃灾害, 泥石流溃灾害, 滑坡、泥石流混合堵溃灾害, 其形成过程各有特点。

西藏江河堵溃灾害集中分布于藏东、藏南, 与这里河谷深切、山高坡陡, 新构造运动活跃、地震频繁, 第四系冰碛等松散堆积物深厚, 海洋性冰川发育、冰湖广布等成灾环境有密切相关。

参考文献:

[1] 张金山, 沈兴菊, 谢洪. 泥石流堵河影响因素分析[J]. 灾

- 害学, 2007, 22(2): 82–86.
- [2] 吴积善, 程尊兰. 西藏东南部泥石流堵塞坝的形成机理[J]. 山地学报, 2005, 23(4): 399–405.
- [3] 朱平一, 王成华. 西藏特大规模碎屑堆积特征[J]. 山地研究, 2000, 18(5): 453–456.
- [4] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所. 西藏公路水毁研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2001: 50–57.
- [5] 孔纪名, 张小刚. 川藏公路拉月滑坡的块状破坏特征[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 228–233.
- [6] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 西藏自治区交通厅科学研究所. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 104.
- [7] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通厅科学研究所. 西藏泥石流与环境[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 214–229.
- [8] 马杏垣. 中国岩石圈动力学概要[J]. 地质学报, 1987, (2): 113–125.
- [9] 孙鸿烈. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究[J]. 基础研究, 1997, 5(5): 1–13.
- [10] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 3–5.

Analysis on Environment of Disasters Resulting from River Blockage in Tibet

Cheng Zunlan^{1,2}, Tian Jinchang³, Zhang Zhengbo³ and Qiang Ba³

(1. *Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 61004, China;*

2. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;*

3. *Institute of Traffic Science, Traffic Bureau of Tibet, Lhasa, China)*

Abstract: Blockage of rivers by large landslides often results in great disasters. In the recent years, there have been 14 events of river blockage in the east and south of Tibet. The disasters can be identified as debris flow, landslide, and sometimes the combination of them. Such disasters are mainly distributed in the east and south of Tibet because of their geomorphologic features of deep incision, steep slope, and active neotectonic movement, and the frequent seismic activities. In particular, loose materials due to the Quaternary moraine and oceanic glacier abound in the area, which provide material sources for landslides and debris flows.

Key words: landslide; debris flow; disaster from river blockage; Tibet