

文章编号: 1008-2786-(2008)6-733-06

滑坡、泥石流堰塞湖灾害主要的成灾特点与减灾对策

程尊兰, 崔鹏, 李泳, 游勇, 陈晓清

(中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041)

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)

摘要: “5·12”汶川特大地震, 在灾区形成了大量堰塞湖, 具有明显危害的达34处, 严重地危害或威胁到上下游人民生命财产安全。为了及时有效地处置和减轻堰塞湖灾害损失, 收集、分析了我国西部一些滑坡、泥石流堰塞湖灾害的形成、危害和处置的资料, 启示如下: 滑坡、泥石流形成的堰塞湖灾害往往较滑坡、泥石流本身的灾害更严重; 滑坡堰塞湖一般较泥石流堰塞湖规模大, 堵塞时间长, 危害更严重; 大地震既能形成滑坡堰塞湖, 余震又能造成其溃决; 冰湖溃决泥石流易堵塞江河, 形成堰塞湖; 控制或减缓湖水位上涨, 尽早在水位较低时泄流是滑坡、泥石流堰塞湖首选的减灾对策。

关键词: 滑坡; 泥石流; 堰塞湖灾害; 减灾

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

2008-05-12 T 14:28 四川省汶川县发生8.0级地震, 房倒屋塌, 给人民生命财产造成巨大损失。同时, 形成了大量滑坡(含崩塌)、泥石流, 摧毁公路, 压埋房屋, 又造成了严重的次生灾害。特别是大型($100 \sim 1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$)和特大型($> 1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$)滑坡, 堵塞河道, 形成了大量堰塞湖, 具有明显危害的达34处, 严重危害着上游、威胁着下游民众生命财产的安全。其中, 危害最严重的北川县城上游的唐家山堰塞湖, 坝顺河长度803 m, 横河宽度610 m, 堰塞坝高达82~124 m, 滑坡堆积方量 $2.037 \times 10^8 \text{ m}^3$, 截至06-06 T 14:00 唐家山堰塞湖水位739.97 m, 相应蓄水量 $2.23 \times 10^8 \text{ m}^3$, 坝上游集水面积3 550 km^2 , 堵塞坝一旦溃决, 将对下游造成十分严重的危害。

聂高众等^[1]统计了自1856年至2004年以来, 我国共形成了141个地震堰塞湖, 平均每年近1个。本文叠加了“5·12”汶川地震作用下形成的堰塞湖(不包括小的堰塞湖), 平均每年近1.13个。为了

更及时有效地处置和减轻堰塞湖灾害的损失, 本文收集了一些滑坡、泥石流堰塞湖灾害形成、危害和处置资料进行分析, 作为启示, 以为堰塞湖灾害的防治提供借鉴。

堰塞湖是指河流被堵塞形成的湖泊。滑坡、泥石流、冰川、火山喷发的熔岩流和流动砂丘等都可能堵塞河流, 形成堰塞湖。如黑龙江省的镜泊湖是火山熔岩流堵塞成湖。大地震造成山崩、滑坡壅塞河道形成的堰塞湖, 在高烈度区是较为常见的自然现象。如“5·12”汶川8.0级大地震, 灾区形成了大量串珠状堰塞湖, 北川湔江9个, 青川青竹江3个, 安县茶坪河1个、干河子2个, 平武石坎河1个, 绵竹绵远河4个, 什邡石亭江7个, 彭州沙金河2个, 崇州文井江4个, 汶川岷江1个(支沟未计)。岷江上游四川省茂县的“大海子”和“小海子”是1933-08-25的7.5级地震诱发特大滑坡堵塞岷江成湖。1920-12-16宁夏海原发生8.5级地震, 形成的堰塞湖共60余处; 响河、长源河、散渡河、清水河等由

收稿日期(Received date): 2008-07-04; 改回日期(Accepted): 2008-08-24.

基金项目(Foundation item): 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。[Supported by the National Natural Science Foundation of China (40771024), the West Traffic Construction Science and Technology Project of Ministry of Communications (2006 31879284), and the Non-profit Project of the Ministry of Water Conservancy (40771024).]

作者简介(Biography): 程尊兰(1952-), 女, 四川隆昌人, 研究员, 主要从事泥石流和山区洪水的成灾机理与减灾技术。电话: 028-66713342.

[Cheng Zunlan (1952-), female, Professor, research direction: mountain hazards and prevention methods.] E-mail: cz@imde.ac.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

于大规模的滑坡体堵断河道,形成众多的堰塞湖;仅西吉县由于滑坡活动,堵塞河流,形成了独特的奇观——20多个串珠状堰塞湖^[1]。据考证^[2]:宁夏固原、甘肃静宁、会宁、通渭、天水、张家川、灵台、镇原等地均出现多处堰塞湖,大量村庄被毁。1974-05-11,云南大关发生7.1级地震,海口至马颈子发生大规模滑坡,长300 m,宽200 m,厚50 m,滑坡体逆冲到对岸,阻塞河流,形成堰塞湖^[3];1950-08-15西藏察隅发生8.6级地震,墨脱X度区:更邦拉山大崩塌和江额阿曲的泥石流分别堵塞雅鲁藏布江12~16 h和6 h后溃决形成浪高50 m的洪水,洪水发生时江面由原来的20 m宽扩展到80多 m。X度区:墨脱格当地区的泥石流堵塞了金珠藏布,后塞坝溃决,洪水将下游村庄一扫而光^[4]。西藏自治区波密县1953-09闻名世界的古乡沟(受1950年西藏察隅地震影响)特大泥石流堵塞雅鲁藏布江支流帕隆藏布,堵塞坝上游迅速积水成湖,淹没或淤埋了村寨、农田和川藏公路;1962年泥石流再次堵江,形成了回水5 km多的古乡湖,对公路危害进一步扩大,古乡湖至今尚在。本文仅讨论滑坡、泥石流形成的堰塞湖灾害^[5]。

1 堰塞湖灾害往往较滑坡、泥石流的直接危害更严重

大型或特大型滑坡、泥石流进入河道后,能瞬时形成天然土石坝(堵塞坝),堵塞江河形成堰塞湖,在上游水位不断上涨成湖,形成淹没灾害。一段时间后,在湖水压力、管涌、溢流冲刷等作用下,堵塞坝溃决,形成非常溃决洪水,洪峰流量往往是正常洪水的数倍、数十倍,以至几百倍,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,造成下游极端严重的灾害。凶猛的洪水扫荡沿途村庄、耕地、公路和桥梁等,造成巨大的生命、财产、经济损失,还可能诱发下游新的滑坡、崩塌等灾害。这里的堰塞湖灾害是地震促发的大型滑坡、泥石流的次生灾害,与地震—大型滑坡、崩塌、泥石流具有因果关系和链式扩散、放大效应,构成灾害链。堰塞湖灾害带来的危害、造成的损失,可远远大于滑坡、泥石流本身形成的直接灾害。

例如,扎木弄巴沟位于西藏雅鲁藏布江二级支

流易贡藏布下游左岸,2000-04-09其上游发生总体积达 $2.02 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的雪崩,顺着百米高的陡坡掀动沿程的松散物质,并进而冲击到由巨厚松散堆积物构成的缓坡段,促进其滑动,沿程强烈侵蚀而暴发国内外罕见的特大规模碎屑流^[6],汇入易贡藏布,使1902年也是由该沟泥石流形成的易贡湖堵塞坝再次加高60 m,形成了坝长达1.5 km,总高130 m的堵塞坝。上游易贡堰塞湖水起初上涨速度为0.5 m/d。由于施工条件差,泄流工程难以尽快实施,加之雨季到来,湖水上涨速度达2.0 m/d,使易贡湖的湖水由 $7.0707 \times 10^8 \text{ m}^3$ 陡增到 $22.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。淹没了上游两岸藏汉等各民族居民点和闻名世界的易贡茶场基地,使4 000多人受灾,造成直接经济损失1.4亿元以上,坝顶过流冲刷后于2000-06-10堵塞坝溃决,基本上是一溃到底,举世罕见的特大洪流,沿易贡藏布进入帕隆藏布,再汇入雅鲁藏布江,经过墨脱县,直泻印度,涌波(洪水波)所到之处荡净了沿程的一切公路、桥梁、耕地和民房。涌波经过泥石流坝下游17 km的川藏公路通麦大桥时,水位高达52.07 m,高出桥面32 m,除川藏公路外,还冲毁了其他公路10 km,马道54 km,桥梁11座,耕地187.33 hm^2 和大量机具;同时上游回水淹没了2个乡镇政府所在地,一个茶场,一家开发公司,房屋面积达28 036 m^2 ;近1 000人被困,10 000多人受害,在我国境内直接损失达2.8亿元,因我国已有准备,损失不算很大,仅死难2人。虽然我国也通知了印度,可能未及时采取有效措施,损失十分惨重。据法新社报导,印度北部拉马普特拉河洪水泛滥,造成94人死亡,250万人无家可归,中断印度中部7个邦交通联系^[7]。

2 滑坡堰塞湖一般规模大,堵塞时间长

小规模滑坡、泥石流进入主河后,往往只能侵占部分河床,压缩河流的过流断面,产生挑流、束流作用,改变主流线,使洪水直冲彼岸,形成强烈的岸坡侵蚀。只有大规模滑坡、泥石流的堆积物进入主河,才能堵塞河流形成堰塞湖。从本文收集到的滑坡、泥石流堰塞湖形成资料看(表1、表2)^[1-17],滑坡、泥石流进入主河的堆积物要在数百万立方米以上,才能形成堰塞湖。一般形成堵塞坝的堆积物方

1) 万自成,刘登齐,王玉霞,等. 建国以来宁夏破坏性地震. 1994.

量愈大, 则堵塞坝愈高, 堵塞坝形成至溃决的时间愈长, 危害也愈严重。从表 2 可以看到, 上亿立方米土石进入主河形成的堵塞坝都能保留数十天。

表 1 表 2 分析得知, 比较而言, 滑坡堰塞湖较泥石流堰塞湖规模大, 堵塞时间, 其淹没上游, 冲毁下游所造成的危害更严重。

表 1 我国西部部分滑坡堰塞湖灾害表
Table 1 Some dammed lakes in the southwest China

滑坡位置	被堵江河	所在行政区	堵塞坝形成日期	滑坡体积 (m ³)	堵塞坝高 (m)	堰塞湖情况	堵塞坝形成至溢流或溃决的时间	备注
唐家山	湔江	四川北川县	2008. 05. 12	2. 037×10 ⁷	82~ 124	06- 06 T 14 00蓄水 2. 237×10 ⁸ m ³ , 湖水位 739. 97 m, 回水长度 20 km	27 d	人工溢流
石板沟	青竹江	四川青川县	2008. 05. 12	98. 3×10 ⁶	31	至 05- 18 水位到 15~ 18 m, 回水 5~ 7 km, 蓄水 5. 0~ 7. 0×10 ⁶ m ³	5 d	自然溢流
肖家桥	茶坪河	四川安县	2008. 05. 12	2. 28×10 ⁶	60	蓄水 7. 5×10 ⁷ m ³ , 回水长度 7 km	36 d	人工溢流
磨西	大渡河	四川泸定县	1786. 06. 01				10 d ^[14]	溃决
扎木弄巴	易贡藏布	西藏波密县	1902. 07. 08		80	湖面积 51. 9 km ²	30 d ^[6]	溃决
叠溪	岷江	四川茂县	1933. 08. 25	1. 5×10 ⁸	160	蓄水 4~ 5×10 ⁸ m ³	46 d ^[13]	溃决
唐古栋	雅荅江	四川雅江县	1967. 06. 08	7. 0×10 ⁷	300	蓄水 6. 8×10 ⁶ m ³ 回水长 53 km	9 d ^[16]	溃决
拉月	东久河	西藏林芝县	1969. 08. 29	1. 0×10 ⁷	70~ 90	蓄水 6. 0×10 ⁶ m ³	30 d ^[10]	溃决
舟曲	白龙江	甘肃舟曲县	1981. 04. 09			蓄水 1. 3×10 ⁷ m ³ 回水长 4. 5km	2 d ^[17]	溃决
102道班	帕隆藏布	西藏波密县	1991. 06	5. 1×10 ⁶		蓄水 2. 6×10 ⁶ m ³	0. 7 h ^[11]	溃决
天台山	前治	四川宣汉县	2004. 09. 05	3. 0×10 ⁸		抬高上游水位 23m	17 h ^[13]	溃决

表 2 我国西部部分泥石流堰塞湖灾害概况表
Table 2 Disasters by the dammed lakes in the southwest China

泥石流沟名称	被堵江河	所在行政区	堵塞形成日期	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)	堰塞湖情况	堵塞坝形成至溃决 时间	溃决流量 (m ³ /s)
古乡沟	帕隆藏布	西藏波密县	1953. 09	28 600	1. 5×10 ⁸		回水 10 km	局部溃过	
隆达错	隆达沟	西藏吉隆县	1964. 08	3 100	6. 5×10 ⁵			短暂	
唐不朗沟	尼洋河	西藏工布江达县	1964. 09. 26		5×10 ⁶	20		10 h	
冬如弄巴	帕隆藏布	西藏波密县	1975. 06. 12	562. 1		13. 4		短暂	
樟藏布沟	波曲	西藏聂拉木县	1981. 07. 11	1. 1×10 ⁴		30		短暂	
			1983. 07. 09	2 950	1. 0×10 ⁶	2~ 3		短暂	
培龙沟	帕隆藏布	西藏林芝县	1984. 08. 23	5 245	2. 2×10 ⁶	14. 3	水面上升 15 m	0. 25 h	
			1985. 06. 20	8 195	3. 88×10 ⁶	29. 3	蓄水 3. 6×10 ⁷ m ³	0. 5 h	
米堆沟	帕隆藏布	西藏波密县	1988. 07. 15	1 021		7~ 9		短暂	1. 2×10 ³
扎木弄巴	易贡藏布	西藏波密县	2000. 04. 09		3. 75×10 ⁸	130	蓄水 22. 59×10 ⁸ m ³ , 湖水面 积 52. 855 km ² , 上下 游水位差 40 m	63 d后溃决	
						(原有 50 m)			

3 地震既能形成滑坡堰塞湖,又能造成其溃决

地震是地表新构造运动的具体体现,常常诱发滑坡、崩塌、泥石流、堰塞湖等次生灾害发生。震级 $M_s \geq 6$ 级的地震就可能直接引发大型、特大型的滑坡(含崩塌)发生,产生大量的松散堆积物,甚至堵塞江河形成堰塞湖。雨季大量的松散堆积物在暴雨作用下,则可能转化为大规模泥石流,堵塞江河形成堰塞湖。2008年汶川“5·12”地震不仅造成了特大地震灾害,同时还诱发了大量的滑坡堰塞湖灾害。堰塞湖是地震作用下最为严重的次生灾害之一。

资料表明^[8],破坏性地震诱发滑坡形成的堰塞湖,在余震中溃决的可能性比较大。

例如,1786-06-01,四川泸定县磨西发生 $7\frac{3}{4}$ 级地震,引起大渡河右岸木岗岭发生滑坡,“壅塞泸河(即大渡河)断流十日”;06-10余震溃坝,“(水)高浪大,一涌而下”,“漂流居民以万计”。下游水患成灾,势如山倒,沿岸居民一扫而尽,即便在下游150 km的汉源县境内的娃营、杨泗营一带,大渡河水也陡涨25 m,2村被冲刷殆尽。

又如,四川省岷江上游茂县叠溪附近,1933-08-25发生7.5级地震,造成岷江右岸大型滑坡,达 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 土石滑落于岷江,吉白沟、龙池、石咀等11个村寨因滑坡而消失。滑坡体在岷江干流形成了三处堵塞坝,从上游向下游分别为银瓶崖堵塞坝、大桥堵塞坝和叠溪堵塞坝。上游岷江水继续流来,至09-14银瓶崖堵塞坝以上形成了长12.5 km,最宽处达23 m的堰塞湖,称为“大海子”。然后,大海子漫坝;进入大桥堵塞坝上游岷江段,蓄水而形成“小海子”。09-30小海子水又漫出,流入叠溪堵塞坝间岷江段,由于该坝高达160 m,坝顶高于大桥堵塞坝和银瓶崖堵塞坝,水又倒淹两坝之上,致使“三海”连成一片,蓄水量最多时达 $4 \sim 5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。上游沙湾、猴儿寨、新街、水磨房、油房等村寨,全部淹于水中,牛马牲畜、田园庐舍无一幸免。此外,处于大桥堵塞坝与叠溪堵塞坝之间的岷江右岸支流松坪沟下游也有3个小型堰塞湖。主震后45 d即10-09 T 6 00余震使松坪沟中、下2个堰塞湖溃决。大量溃决洪水涌入叠溪堰塞湖,湖水陡涨,致使高160 m的堵塞坝中上部几乎整体溃决,积水倾湖而出,形成特大洪水,下游沿江村镇、关堡之房屋、城墙

被一卷而光,或为乱石埋没,人、畜伤亡严重。据统计,此次地震—滑坡—堰塞湖—溃决灾害链共造成9 300余人死亡,1 900余人受伤(须知当时人口本来就很少)。

大地震的波及区,或震级较小的地震,虽然不能直接产生大型、特大型滑坡,形成堰塞湖,但它震松地表岩土物质,加剧地表裂隙的形成和扩大,为后续的暴雨滑坡、崩塌、泥石流、堵塞坝灾害的形成提供了有利条件。例如,西藏察隅1950-08-15发生8.6级地震,使毗邻的波密地区发生大规模雪崩、冰崩、崩塌和滑坡,造成大量地表松散物质,影响到波密地区自那以后30多年来滑坡、崩塌、溜砂、泥石流普遍发生。1953-09-07波密县古乡沟暴发大规模泥石流,堵塞帕隆藏布形成堰塞湖,则是1950年察隅8.6级大地震影响形成的“后发型”泥石流^[17]。

4 冰湖溃决泥石流易形成堰塞湖

冰湖溃决泥石流是由高山冰湖溃决形成的大规模洪水冲刷沟谷谷底及谷坡松散堆积物,形成的突发性泥石流。由于冰湖所处位置海拔很高,形成的溃决洪水动能很大,强烈侵蚀沟道、侧蚀谷坡以厚层冰碛物为主的各类松散堆积物,使形成的泥石流具突发性强、洪峰高、流量大的特点。大流量的泥石流堆积物进入主河,常构成堵塞坝,形成堰塞湖。但由于泥石流堆积物含有一定的水分,当堰顶过流后容易溃决。所以,泥石流堰塞湖除个别外(古乡沟),大都保存时间较短,一般几十分钟至数小时后就发生溃决(见表2),危害严重。

例如,1988-07-14西藏波密县米堆沟上游冰湖光谢错发生溃决,强劲的洪水激发了大型泥石流,以 $1\,021 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量汇入帕隆藏布江,当时主河流量仅 $194 \text{ m}^3/\text{s}$ 当超过主河流量5倍的泥石流进入后,堵塞帕隆藏布形成堰塞湖,水位上升近10 m,很短时间就产生溃决,强大洪水损毁下游公路路基42 km,其中21 km被全部冲毁,导致川藏公路南线中坝段中断交通200 d。

再如,喜马拉雅山南坡,西藏聂拉木县樟藏布沟,1981-07源头阿玛次仁冰川冰舌段发生崩塌,约 $7.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 冰体拥入下方次仁玛错冰湖,造成冰湖溃决。溃决洪水携带 $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 冰碛物、沟岸崩塌物质和沟床揭底冲刷物质,形成大型泥石流。泥石流进入主河波曲河,形成30 m高的堵塞坝,冲

刷或淤埋对岸的曲乡村, 堵塞坝瞬间溃决后, 泥石流龙头高达 30 m, 沿波曲河迅猛下泄, 溃决洪水冲毁中国和尼泊尔交界处的友谊桥及两岸全部建筑; 友谊桥下游 32.4 km 的尼泊尔逊科西水电遭受严重损失, 死亡 200 人; 洪水侵蚀岸坡, 导致滑坡复活, 严重危害中尼公路安全。

5 堰塞湖减灾对策

综上所述, 滑坡、泥石流堰塞湖灾害作为地震、暴雨或冰湖溃决诱发的滑坡、泥石流灾害链的链生灾害, 危害是非常严重的, 特别是在我国西部山区。由于堰塞湖的形成过程属于地表自然过程, 人们目前还无法制止。但是, 人们完全可以采取措施减轻或避免堰塞湖灾害可能造成的损失。

减灾对策主要有: 加强监测预报。采取遥感测量、勘探、观测等多种手段加强对滑坡、泥石流堵塞坝的监测与预报, 一旦滑坡、泥石流堵塞坝和堰塞湖形成, 对其位置、堵塞坝的规模、结构和稳定性、堰塞湖可能出现的最大蓄水量等能迅速掌握, 以便及时采取防灾减灾措施。

减灾对策的关键技术是: 1. 通过开挖隧洞、虹吸等方式, 排泄湖水, 控制上游湖水位上涨, 防止堵塞坝溃决; 2. 尽早在较低湖水位时, 采用爆破、机械开挖等快速有效的措施, 开挖明渠, 并用钢筋石笼, 巨石等加固渠底和渠岸, 一方面控制水位上涨, 另一方面在水位较低时过流可以减小上下游水位差和泄水量, 削弱水流冲刷能力, 防止坝体迅速整体溃决, 使其慢慢冲深, 逐渐拓宽, 呈明渠形式排泄湖水, 降低水位、减少蓄水量; 这样即使发生局部溃决, 溃洪流量不大, 通常愈快开渠泄流减灾效果愈好, 故是首先的减灾对策。

在上述二方面工作的基础上, 对上游最高湖水位以及溃坝最大流量、最高水位以及沿程的流量和水位作出预测, 圈定上游淹没范围和下游洪水危及范围, 及时撤离上游和下游可能淹没或冲毁区域的居民, 作好安置工作, 以防溃坝洪水对生命的伤害, 最大程度减轻灾害损失。

1981-04-09 甘肃省南部舟曲县城下游 5 km, 白龙江左岸发生滑坡, 堵断了白龙江, 上游水位以每小时 10 cm 速度上涨, 舟曲县城很快就有被淹没的危险。由于及时爆破坝体成功, 泄流渠道不断扩大, 从而解除了上游舟曲县城被淹, 下游发生特大洪

水的威胁。当时回水已达 4.5 km, 蓄水 $1.3 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

1967-06-08 四川省雅江县孜河区唐古栋一带发生特大型滑坡, 约 $7.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ 土石堵断雅砻江形成堰塞湖, 坝高 175~355 m, 水位不断升高, 蓄水达 $6.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 回水总长 53 km, 06-17 溃坝, 形成非常性洪水, 在坝下游 10 km 处, 洪峰水位高达 48 m, 洪峰流量 $6.21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由于当时对溃坝危险性和影响范围作出了预测, 并制订了减灾预案, 迅速组织下游沿江两岸低处人口疏散, 未造成人员伤亡, 但财产受到严重损失。冲毁耕地 233 hm^2 、房屋 435 间、公路 51 km、桥梁三座、涵洞 47 座、洼里、沪宁等三个水文站设施被冲毁。

“5·12”汶川大地震诱发了大量堰塞湖, 具有严重危害的 34 处, 一旦溃决, 对下游广大人民群众构成危险, 也影响灾后重建。四川省各级抗震救灾指挥部水利组在国务院、水利部抗震救灾前方领导小组、四川省领导指挥下, 组成专家设计组及武警水电施工组, 采取措施, 抢险、避险, 立足主动, 争取汛期未到来之前, 采用爆破 + 机械, 力争 06-10 前将 34 处堰塞湖全部过流排险。尤其是对危险性最大的唐家山堰塞湖组织了国家著名的水利专家和武警水电部队, 投入了大量的兵力及大型施工机械, 制定了“疏通引流、顺沟开槽、深挖控高、护坡填脚”的施工办法, 于 2008-06-07 泄流全部开通, 渠道进口底面高程为 740.37 m, 比坝顶最低处低约 10 m, 06-08 渠道开始泄流, 至 06-10 T 9 00 流量迅速加大, 湖水位快速下降, 到 17 时水位下降至 723.8 m, 蓄水量减少了 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 险情基本解除。使下游 83 109 人、城镇、厂矿及基础设施免受洪水灾害, 取得了重大胜利。这也说明尽快在水位较低时开渠泄流是滑坡、泥石流堰塞湖灾害首选的减灾对策。

参考文献 (References)

- [1] Nie Gaozhong, Gao Jianguo. Preliminary study on earthquake-induced dammed lake[J]. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(3): 293~301 [聂高众, 高建国. 地震诱发的堰塞湖初步研究[J]. 第四纪研究, 2004, 24(3): 293~310]
- [2] Seismological Institute of Lanzhou, Chinese Seismological Bureau. Catalogue of Strong Earthquakes (1177 BC~1982 AD) of Shaanxi, Gansu, Ningxia, Qinghai Province[M]. *Xin Science and Technology Press of Shaanxi*, 1985: 66~80, 85~89, 92~94, 99~102, 137~138 [国家地震局兰州地震研究所. 陕甘宁青四省(区)强地震目录(公元前 1177 年~公元 1982 年)[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985 66~80 85~89 92~94, 99~102, 137~138]
- [3] Library of Annals of Yunnan. Annals of Yunnan (Vol. 89), Manuscript of Chinese Republic[M]. In: Chen Bingren et al. eds. *Annals of Yanjin* (Vol. 1). Manuscript of Chinese Republic. [云南通

- 志馆·云南通志续修长编(卷八、九). 民国稿本[M]. 见: 陈秉仁等编. 《盐津县志》卷一, 民国抄本.]
- [4] You Zeli, Wu Zhixiong, Chayu Xizang earthquake with Ms 8. 6 in 1950 [A]. In M in Ziqun ed. Collected Papers on Chinese Historical Earthquakes (1) [C]. Beijing: Seismological Press, 1989: 196 ~ 202 [游泽李, 吴芝雄. 1950年西藏察隅 8.6级地震 [A]. 见: 闵子群主编. 中国历史地震研究文选 (1) [C]. 北京: 地震出版社, 1989: 196 ~ 202]
- [5] Wu Jishan, Cheng Zunlan, Geng Xueyong. Formation of dam from debris flow in the southeast Tibet [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(4): 399 ~ 405 [吴积善, 程尊兰, 耿学勇. 西藏东南部泥石流堵塞坝的形成机理, 山地学报, 2005, 23(4): 399 ~ 405]
- [6] Zhu Pingyi, Wang Chenghua, Tang Bangxing. Characteristics of large-scale debris deposits in Tibet [J]. *Mountain Research*, 2000, 18(5): 453 ~ 456 [朱平一, 王成华, 唐邦兴. 西藏特大规模碎屑堆积特征, 山地研究, 2000, 18(5): 453 ~ 456]
- [7] Lü Jietang, Wang Zhuhua. A tentative discussion on the monitoring of the Yigong landslide-blocked lake with satellite remote sensing technique [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(4): 363 ~ 368 [吕杰堂, 王治华. 西藏易贡滑坡堰塞湖的卫星遥感监测方法初探 [J]. 地球学报, 2000, 23(4): 363 ~ 368]
- [8] Cai Zongxin. The study of landslides and measures [J]. *Journal of Catastrophology*, 1989(1): 72 ~ 75 [柴宗新. 山崩灾害及其对策研究 [J]. 灾害学, 1989(1): 72 ~ 75]
- [9] Kong Jinling, Zhang Xiaogang, Qing Ba. Rock Lump of Landslide of Layue Destruction Feature Analysis in Sichuan Xizang Highway [J]. *Journal of Mountain Research*, 2003, 21(2): 228 ~ 233 [孔纪名, 张小刚, 强巴. 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]
- [10] Institute of Mountain Hazards and Environment CAS, Institute of Traffic Science, Tibet Research on Water Destruction of Highway in Tibet [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2001: 50 ~ 57 [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]
- [11] Luo Defu, Mao Jizhou. Mountain Hazards and Its Countermeasure for Sothemline (inside Tibet) of Sichuan-Tibet Highway [M]. Beijing: Science Press, 1995: 99 ~ 112 [罗德福, 毛济周. 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: 99 ~ 112]
- [12] Qiao Jianping, Wu Caiyan. Analysis on super large-scale landslide in Tiantai Xuanhan, Sichuan [J]. *Journal of Mountain Research*, 2005, 23(4): 458 ~ 461 [乔建平, 吴彩燕. 四川省宣汉县天台乡特大型滑坡分析 [J]. 山地学报, 2005, 23(4): 458 ~ 461]
- [13] Wang Ximin, Pei Xiyu. Some new points of view on the 1786 earthquake ($M = 7\frac{3}{4}$) occurring in the area between Kangding and Moxi, Luding, Sichuan Province [J]. *Earthquake Research in China*, 1988, 4(1): 108 ~ 115 [王新民, 裴锡瑜. 对 1786 年康定-泸定磨西间 $7\frac{3}{4}$ 级地震的新认识 [J]. 中国地震, 1988, 4(1): 100 ~ 115]
- [14] Han Kunli, Han Aiguo. Evaluation on hazard of burst flood of Xiaohaiizi dam [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 1999, 10(1): 47 ~ 51 [韩坤立, 韩爱果. 岷江上游小海子坝溃决洪水危险性评价 [J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10(1): 47 ~ 51]
- [15] Wu Chao, Ran Hongxing, Zheng Yonghong. Hydrograph of the dam-break flood of the reservoir formed by mountain collapse in Ya Longjiang [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 1996, 11(6): 646 ~ 652 [伍超, 冉洪兴, 郑永红. 雅砻江唐古栋垮山堵江溃决洪水过程研究 [J]. 水动力学研究与进展, 1996, 11(6): 646 ~ 652]
- [16] Wang Jingrong. Analysis of landslides in Zhouqu [EB/OL]. <http://www.cnki.net> 22 ~ 25. [王景荣. 舟曲县浅流坡滑坡成因分析 [EB/OL]. <http://www.cnki.net> 22 ~ 25]
- [17] Institute of Mountain Hazards and Environment CAS, Institute of Traffic Science, Tibet Debris Flow and Environment in Tibet [M]. Chengdu: Chengdu Science and Technology University Press, 1999: 24 [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. 西藏泥石流与研究 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 24]

Major Disasters and Countermeasures of Dammed Lakes from Landslides and Debris Flows

CHENG Zunlan, CUI Peng, LI Yong, YOU Yong, CHENG Xiaoping

(Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chengdu 610041, China;
Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS & Water Resources Ministry, Chengdu 610041, China)

Abstract The 5•12 Wenchuan earthquake resulted in a number of landslides and debris flows which formed dozens of dammed lakes in the quake-hit area. Among these quake lakes, 34 are of high risk of failure, threatening cities and towns downstream. For the purpose of preventing the dam failure, this paper reviews some failure events of dammed lakes formed by landslides and debris flows in the southwest and draws conclusion as follows: the dammed lake has higher potential of damage than the landslide and debris flow that formed it; landslide lake is often larger than debris flow lake and also has a longer duration and hence higher risk; the quake lake is prone to break during the aftershock and causes more disasters. In practice, the limiting of water level and timely draining of the lake are the primary control measures to prevent the potential disaster.

Key words dammed lake, landslide, debris flow, control measures