

文章编号:1001-4179(2012)03-0036-03

# 堰塞湖成因与工程地质问题

王小波<sup>1</sup>, 向 锋<sup>2</sup>

(1. 水利部长江勘测技术研究所, 湖北 武汉 430011; 2. 长江水利委员会 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**为减小堰塞湖的危害,对其成因进行了分析:特殊的地质地貌与河谷斜坡,是形成堰塞湖的内因;降水、地震、加载、坡脚淘蚀或开挖、水位骤然升降、火山爆发、冰河崩解等是形成堰塞湖的诱因。论述了堰塞湖的工程地质问题,并以唐家山堰塞湖为实例,对其抢险处理方案作了介绍,具体为:机械开挖泄流明渠,借水力将其拓宽,逐渐扩大泄流能力,避免发生突然溃坝。对指导堰塞湖的应急处置具有一定的指导作用。

**关键词:**堰塞湖;成因;工程地质;唐家山堰塞湖;四川

中图法分类号:P315.9 文献标志码:A

“5·12”汶川大地震以前,堰塞湖对普通民众来说较为陌生,一般仅限于专业人员所知。唐家山堰塞湖由汶川大地震形成,当时处于极高危险状态,随时可能溃决,严重威胁着下游绵阳、遂宁 130 多万人民的生命和沿途重要基础设施的安全。为此,中国政府高度重视,温家宝总理两次亲临唐家山堰塞湖现场,经过各方艰苦卓绝的努力,终于成功地对唐家山堰塞湖进行了应急处置,使下游民众生命财产转危为安<sup>[1]</sup>。

## 1 危害与价值

堰塞湖是在一定的地质和地貌条件下,由于河谷岸坡在动力地质作用下迅速产生崩塌、滑坡、泥石流以及冰川、融雪活动所产生的堆积物或火山喷发物等形成的自然堤坝横向阻塞山谷、河谷或河床,导致上游段壅水而形成的湖泊。而具备一定挡水能力的堵塞河道的堆积体称之为堰塞体。

由于天然堆积的堰塞体结构松散、孔隙率大,很难抵抗不断上升的湖水位,当坝体溃决,洪水瞬间下泄时,对下游形成高水头洪灾,使下游人民的生命财产遭受巨大损失,同时也会对下游河道产生强烈冲刷,有时甚至会使河道改道。另外,堰塞湖蓄水对两岸边坡稳定性产生不利影响,湖水淤积和溃坝后坝体物质的堆积,也会对地质环境造成一定影响。

对于坝体短时间内不溃决的堰塞湖,随着水体携带物的沉积,形成湖相沉积物,其地质特征与河流沉积物有所不同。基于此,人们辨别出很多河流在地质历史时期曾发生过堵江事件形成堰塞湖,如金沙江、澜沧江、怒江、岷江等均发生过类似事件。

任何事物都有两面性,堰塞湖溃决会给人类带来巨大的灾难,但世界上也有因堰塞体稳定性较好,使堰塞湖得以保留下来,并因其独特的景观而成为旅游胜地,有的甚至像人工水库一样发挥灌溉、发电效益。

重庆黔江上的小南海,就是在清代(1856年)因地震活动形成的一座堰塞湖,现已成为旅游胜地,并享有“深山明珠”等美誉。黑龙江省东南部的镜泊湖,是在大约 1 万年之前经 5 次火山爆发由熔岩流堵塞河道形成的,1982 年被国务院批准为国家级首批 44 个重点风景名胜之一。黑龙江省的五大连池,由 14 座火山爆发形成,在河道上形成了 5 个一连串的堰塞湖,是集地质科学考察、生态旅游观光和度假健康疗养为一体的风景名胜。

## 2 成因分析

堰塞湖生成的内因是具有发生堵江条件的地质、地貌和河床水动力河谷斜坡,外因是具有作用于河谷斜坡上促使滑坡和崩塌发生的诱发因素,包括降水

收稿日期:2011-11-25

基金项目:国家科技支撑计划项目(2009BAK56B03)

作者简介:王小波,男,高级工程师,主要从事水利水电工程的地质勘察工作。E-mail:wangxiaobo9777@sina.com

(降雨和降雪)、地震、加载、坡脚淘蚀或开挖、水位骤然升降、火山爆发、冰河崩解等,其他不当人工开采活动导致山体滑坡和崩塌形成堰塞湖的现象也时有发生。

通过国内外大量堰塞湖的资料统计,降雨和地震是形成堰塞湖的两个主要诱发因素,占90%,火山喷发居第3位。

堰塞坝一般由高速滑坡或崩塌所形成。其基本特征是滑动面剪出口位于河床堆积层之上或稍偏下,滑坡离开剪出口后以一定的速度向河床方向运动,由于受对面岸坡的阻挡,停积于河床上形成坝体;若滑坡前缘物质过江形成堰塞坝坝体,而后部物质因受堰塞坝体的阻力而停积于斜坡上,则后者仍有一定的势能,在堰塞坝体溃决后,可能滑动再次形成堰塞坝。

根据诱发因素不同,堰塞湖大致分为降水堰塞湖、地震堰塞湖、火山堰塞湖、冰川堰塞湖以及人为因素诱发的堰塞湖等。

(1) 降水堰塞湖。降水堰塞湖是由于长时间降雨、降雪或冰雪融化导致山体饱水失稳,产生滑坡、泥石流等地质灾害体,其堆积物阻塞河道形成堰塞湖。例如,2007年7月25日,江坪河水电站左岸梅家台山体因暴雨发生大面积滑坡,约72万 $m^3$ 坡积体滑入河床,在河床中形成高30~50m的堵江堰体,堵江堰体顺河床方向底宽约260m,在其上游形成库容约为1680万 $m^3$ 的堰塞湖。

(2) 地震堰塞湖。地震堰塞湖是由于地震引发河道两侧山体滑坡、崩塌或泥石流,其堆积体落入河道、河谷迅速形成拦水堤坝,上游河水壅高成湖。我国是地震多发区,地震堰塞湖大多分布于西南地区的四川、云南、西藏等高山峡谷区和西北地区的新疆、甘肃、宁夏和陕西等黄土高原地区,台湾也时有发生。其中西南高山峡谷区由于地质构造运动强烈,地震活动频繁,河流下切强烈,河谷狭窄,往往是容易发生大型崩塌滑坡堵江形成堰塞湖的地区。据不完全统计,迄今为止我国有记载的地震堰塞湖有300余处。

(3) 火山堰塞湖。由火山爆发产生熔岩流形成的堰塞湖。我国有多座著名的熔岩堰塞湖,如黑龙江省镜泊湖、五大连池,新疆天山的天池等。

(4) 冰川堰塞湖。由冰川消退时产生冰凌形成的堰塞湖。我国的黄河、黑龙江、松花江易形成这种堰塞湖,如2004年2月阿尼玛卿雪山发生冰崩,形成长300m、宽70m、水深5m的堰塞湖。

无论上述哪种诱发因素导致的堰塞湖,其形成一般需具备以下条件:①形成区内有河道、河流经过;②河道两侧有堰塞物质如山体或冰川,而且稳定性较差;

③稳定性较差的堰塞物质失稳并堵塞河道。

另外,张捷等通过野外沉积构造和湖泊形态观察、水化学分析及室内对灰华体的光学显微镜和扫描电镜的观察,表明川西北岷山灰岩区多种生物的不同作用(包括同化作用、拦截作用、毛管作用、捕获粘结及构架作用)贯穿于灰华沉积的复杂循环过程之中,形成了一种特殊的喀斯特堰塞湖<sup>[2]</sup>。

### 3 堰塞坝主要工程地质问题

(1) 稳定性问题。由于堰塞坝是快速堆积而成的,坝体物质结构杂乱、松散、孔隙率大,因而易失稳造成溃坝。堰塞坝稳定性问题包括堆积体的整体稳定性和上下游坝坡稳定性两个方面。在暴雨和地震作用下,堰塞坝是否会失稳是一个重要的工程地质问题,而上下游坝坡,尤其是下游坝坡的稳定性至关重要。

(2) 渗透变形问题。堰塞坝堆积体的主体一般是滑坡崩塌堆积物,但上游坝坡附近通常有堰塞沉积物、底部河床冲积物以及表部后期的泥石流堆积物。因而,堰塞坝堆积体常具有多成因的物质组成和结构特征,存在渗透变形破坏问题。渗透变形破坏的形式有流土、管涌、流土-管涌复合型,有时在堰塞坝堆积体内架空严重地带甚至还会出现管道流破坏。上游坝坡附近的堰塞沉积物一般以流土破坏为主,底部冲积物一般以管涌为主,崩塌滑坡形成的堆积体视内部不同层带的物质组成和结构特征的差异,几种渗透变形破坏均可出现。此外,不同成因堆积体之间由于渗透系数的差异,还可形成接触冲刷。

(3) 沉降及不均匀沉降问题。堰塞坝内部结构疏松,密实度差,一般呈松散-稍密状态,物理力学性质差,变形模量较低,会引起较大的沉降变形。尤其在上游坝坡附近的堰塞沉积物,若沉积较厚,在库水压力及坝体自重作用下,沉降变形很大,影响坝体安全。同时堵江堰塞坝由于物质组成和结构特征的不均一性及不同部位堆积体厚度的不同,将会造成严重的不均匀沉降问题,从而引起坝体开裂,影响坝体安全和稳定。

(4) 砂土液化问题。砂土液化是堰塞坝的另一个重要工程地质问题。堰塞体下部河床冲积层及上游坝坡附近的堰塞沉积层等可能存在液化的砂土层。在利用堰塞体做坝时,必须进行砂土液化评价。在地震动荷载作用下,砂土层液化与否直接关系到坝体安全与稳定。目前对砂土液化的判别,大多根据堆积体内的有效粒径、不均匀系数、标准贯入击数、相对密度、砂土厚度、地下水位、剪切波速以及剪应力与剪应变等因素进行综合评价。

## 4 唐家山堰塞湖成因与危害

(1) 物质组成与成因。唐家山堰塞坝位于北川县城北约 4.6 km 的通气河上,该区属典型的中、高山峡谷地貌。

唐家山在构造上位于青藏高原内部巴颜喀拉地块和中国东部华南地块的边界断裂——龙门山逆冲推覆构造带上。唐家山山顶高程为 1 580 m,坡高约 900 m,下部坡陡,坡度约为 40°,基岩裸露;上部较缓,坡度 30°左右。上下游各分布 1 条小型浅冲沟。岩性为寒武系下统清平组上部( $\epsilon_{1q}$ )灰黑色薄-中厚层长石云母粉砂岩、硅质板岩、泥灰岩、泥岩,岩层软硬相间。该地区构造复杂,区域稳定性差,地震烈度高。

2008 年 5 月 12 日,汶川 8.0 级特大地震发生在映秀——北川断裂带上,破裂面从震中汶川县开始破裂,破裂长度约 300 km,最大错动量达 9 m,震源深度约 10 km。唐家山堰塞坝地区的地震烈度在 10°以上,导致唐家山右岸岩质斜坡发生顺层滑动,高速入江形成堰塞湖,滑坡壁高约 634 m,滑床为基岩层面。

堰塞坝体顺河长约 803 m,横河最大宽度约 611 m,平面面积约 30 万  $m^2$ ,坝高 82 ~ 124 m,体积约 2 037 万  $m^3$ ,堰塞坝顶面地形起伏较大,横河方向左侧高右侧低,左侧最高点高程 793.9 m,右侧最高点高程 775 m。

(2) 灾害情况与危险性分析。唐家山堰塞坝上游集水面积 3 550  $km^2$ ,最大可蓄水量 3.16 亿  $m^3$ ,其下游有四川省第二大城市绵阳等重要城市,有运输大动脉宝成铁路、能源大通道兰成渝成品油输油管道等重要基础设施。“悬湖”之水严重威胁着下游绵阳、遂宁 130 多万人民的生命和沿途重要基础设施的安全。

另外,唐家山堰塞坝的上下游分布有 2 个已发生

滑动但未滑下的滑坡,上游滑坡顺河向宽 370 m,滑床后缘高程 1 350 m,堆积体后缘高程 1 165 m,前缘高程 710 m;下游滑坡顺河向宽 450 m,后缘高程 1 100 m,前缘高程 670 m。2 个已发生滑动但未滑下的滑坡,在降水和余震的诱发作用下,很可能下滑,从而导致唐家山堰塞坝溃坝,影响下游人民生命财产安全。

(3) 抢险情况。唐家山堰塞湖抢险总指挥部制定了抢险方案,推荐机械开挖泄流渠、借水力拓宽冲深泄流渠、逐渐扩大泄水能力、避免发生突然溃坝的工程除险方案。经过武警水电部队官兵的连续拼搏,开挖出一条长 475 m、渠底宽 7 ~ 10 m、进口段渠底高程 740 m、出口段渠底高程 739 m 的泄流渠,完成开挖工程量 13.55 万  $m^3$ ,成功实施了抢险方案。

2008 年 6 月 11 日,下游临时转移的 27.76 万人民群众返回家园。当日 14:00,堰塞湖水位已从最高的 743.23 m 降至 714.13 m,相应蓄水量从 2.48 亿  $m^3$  降至 0.86 亿  $m^3$ 。经过水流的冲刷,泄流渠形成长 800 m、上宽 145 ~ 235 m、底宽 80 ~ 100 m、进口端底部高程 710 m、出口端底部高程 700 m 以下的峡谷型河道,新形成的河道已具有通过 200 a 一遇洪水的能力。

## 5 结语

本文分析了堰塞湖的成因,探讨了堰塞坝的主要工程地质问题,并结合唐家山堰塞湖工程实例,研究了堰塞湖的成因、堰塞湖的物质组成及工程危害,对指导堰塞湖应急处置具有一定的指导作用。

### 参考文献:

- [1] 水利部长江水利委员会. 唐家山堰塞湖应急除险工程技术总结 [R]. 武汉:水利部长江水利委员会,2008.
- [2] 张捷. 川西北岷山灰岩区喀斯特堰塞湖形成中的生物作用[J]. 湖泊科学,1993,(3).

(编辑:徐诗银)

## Genesis of dammed lake and its engineering geological problems

WANG Xiaobo<sup>1</sup>, XIANG Feng<sup>2</sup>

(1. Changjiang Reconnaissance Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The dammed lakes have brought huge disaster to human beings, however, some have created the values of tourism and power generation. The dangers and values of dammed lake are described, and the genesis and engineering geological problems are analyzed. Taking Tangjiashan Dammed Lake as example, the emergency treatment scheme is introduced, in which, the diversion open channel is excavated by machines and widened by hydraulic power to increase its discharge capacity and to avoid sudden dam outburst.

**Key words:** dammed lake; genesis; engineering geological problem; Tangjiashan Dammed Lake