

堰塞湖应急处置实践与认识

刘 宁

(中华人民共和国水利部, 北京 100053)

摘要: 堰塞湖是由于山体滑坡、崩塌、泥石流等堵塞河道形成的没有经过专门设计、没有专门的泄水设施的湖泊, 一旦溃决, 容易给下游造成巨大的灾难。分析了堰塞湖的成因、溃决机理与风险判断, 提出堰塞湖应急处置的原则、理念、阶段与处置方法, 总结了堰塞湖应急处置中的一些经验和认识。以四川省汶川特大地震形成的堰塞湖应急处置为例, 从可能溃决方式、溃坝洪水、应急除险总体方案、开渠引流方案和除险效果等方面, 介绍了唐家山堰塞湖的应急处置实践, 并简要介绍了其它一些堰塞湖应急处置。

关键词: 堰塞湖; 成因; 机理; 应急处置

中图分类号: TV122.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-6791(2010)04-0541-09

堰塞湖是由于山体滑坡、崩塌、泥石流等堵塞河道形成的湖泊, 是一种较为常见的自然现象。由于堰塞湖为天然形成, 堆积体没有经过专门设计, 缺乏专门的泄水(洪)设施, 因此其形成后可能淹没上游, 带来生命财产损失, 同时无控制的蓄水也会对下游的安全造成威胁, 若不及时采取措施, 降低其对上游带来的威胁, 一旦溃决, 还会给下游造成更大的灾难。堰塞湖灾害, 不仅存在于其形成过程中, 在形成后还会对上、下游带来淹没或溃坝洪水等次生灾害。对上游可能造成的灾害主要表现在随着湖内水位的不断上涨, 回水将淹没上游的农田耕地、村庄、厂矿、道路、桥梁、铁路、输电与通讯线路等, 乃至引起生命损失。

1 堰塞湖成因与溃决机理

1.1 成因分析

堰塞湖生成的内因是具有发生滑坡堵江条件的地质、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、崩塌发生进而堵江的诱发因素, 如降雨、地震、加载、坡脚淘蚀或开挖、水位的骤然升降等。堰塞湖多发生在高山峡谷区, 这些地区构造活动强烈, 地震、火山活动频繁, 岩层节理、裂隙发育, 有利于滑坡的发生。通过国内外大量堰塞湖的资料统计, 形成堰塞湖的两个主要诱发因素是降水和地震, 占总数的90%, 火山喷发位于第3位, 占总数的8%, 其它因素占2%。此外, 对国内140起堵江类型统计分析, 滑坡堵江占98起, 崩塌堵江占24起, 土石流堵江占18起, 滑坡与崩塌合计占堵江比例的87%^[1]。因此可以认为, 降水和地震诱发的滑坡堵江是形成堰塞湖的一种最主要模式。

1.2 溃决机理

堰塞湖是一种天然形成的蓄水体, 堰塞湖的堰塞体是自然灾害的产物, 不同于经过专门设计的水利工程设施, 堰体材料没有经过人工选择和施工碾压, 可能存在架空、内部物质组成和结构差异明显等现象, 易产生渗透变形、沉降变形和稳定性等诸多工程问题, 其在工程地质问题、堰体材料组构以及水力学问题上表现出的差异和离散特征, 直接影响和决定着堰塞体的溃决模式和过程。

产生堰塞体溃决的原因包括工程地质和水力学两个方面, 主要有渗透破坏、堰体滑坡和堰顶漫流等3个

收稿日期: 2009-07-03

作者简介: 刘宁(1962-), 男, 辽宁丹东人, 教授级高级工程师, 主要从事水利水电规划、设计与管理研究。

E-mail: liuning@mwr.gov.cn

主要诱发因素^[2]。渗透破坏是指可导致堰体材料产生管涌和流土破坏的渗流状态。堰体滑坡是指具有导致堰体整体和大规模滑动、最终产生湖水漫溢的状态,不影响堰体整体稳定的局部滑坡或塌滑现象不在溃决成因之列。堰顶漫溢是一种最常见的导致堰塞体溃决的破坏方式,一是库水上涨超过堰顶高程导致漫溢,另一是由于堰体破坏造成堰顶高度下降而产生漫溢。

综上所述,可以确定对于主要由土石料堆积物形成的天然坝而言,不论是何种原因导致大坝溃决,其溃决破坏通常分为瞬间溃决(突然溃决)和逐渐溃决两种形式,主要取决于天然坝的体型、物质组成和溃坝诱因。

1.3 风险判断

为安全、科学、快速地处置堰塞湖,必须根据堰塞湖自身的规模、危险程度、溃决损失等参数来确定堰塞湖的风险状态,做到因地制宜、有的放矢。

(1) 堰塞湖规模确定 按堰塞湖可能的最高水位对应的库容对堰塞湖的规模分为大型、中型、小(1)型和小(2)型。

(2) 堰塞体危险级别 堰塞体危险性主要由其稳定性和溃决破坏能力决定,其稳定性越差、破坏能力越强,其危险性越大。而堰塞体稳定性包括滑动和抗冲刷稳定,主要受其物质组成决定。因此,堰塞体危险应由堰塞湖规模、堰塞体物质组成和堰塞体高度等主要因素决定。堰塞体危险性分为极高危险、高危险、中危险和低危险4级。

(3) 堰塞体溃决损失判别 堰塞体溃决会对下游影响范围带来毁灭性灾难,堰塞体溃决损失程度是堰塞湖风险等级划分的重要指标。根据堰塞湖影响区的风险人口数量、重要城镇、公共或重要设施等情况,可将堰塞体溃决损失严重性划分为极严重、严重、较严重和一般。确定堰塞体溃决损失时以风险人口、重要城镇和公共或重要设施3项分级指标中最大的一级作为该堰塞体溃决损失严重性的级别。

(4) 堰塞湖风险等级划分 堰塞湖风险等级根据堰塞体危险性和溃决损失严重性分为极高风险、高风险、中风险和低风险,分别用Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级表示。堰塞湖风险等级应根据实际情况确定。条件具备时,按风险分析方法计算分析确定。条件受限时,可查表确定。查表法和风险计算分析确定的堰塞湖风险等级不同时,取较高等级为堰塞湖的风险等级。

(5) 应急处置洪水标准 应急处置洪水标准分应急处置期和后续处置期两种情况分别确定。堰塞湖应急处置期洪水标准综合考虑所处季节、降水和流域资料、影响对象的重要程度、可施工时段、可利用的施工资源、交通运输条件等确定。

(6) 应急处置预警水位 应急处置预警水位是警示应急处置人员与设备转移、下游影响范围人员撤离的堰塞湖水位。预警超高由最大波浪爬高、风壅水面高度和安全裕量等因素通过计算分析确定。条件受限时,预警超高也可根据堰塞湖风险等级选用。

(7) 后续处置堰顶安全余裕量 后续处置堰塞体挡水部分最低处的堰顶高程按满足相应洪水标准泄流能力时的静水位加波浪爬高、风壅水面高度、堰塞体沉陷量和安全余裕量等因素计算分析确定。地震产生的堰塞体,确定安全余裕量时计入余震沉陷的影响;当堰塞湖内存在滑坡、崩塌体时,安全余裕量应考虑滑坡或崩塌等引起的涌浪的影响。

(8) 堰塞体整体稳定标准 有条件时,后续处置可对堰塞体边坡滑动稳定性进行分析计算。可采用简化毕肖普法进行堰塞体后续处置边坡整体稳定分析,采用瑞典圆弧法计算堰塞体边坡抗滑稳定安全系数。

2 堰塞湖应急处置

2.1 处置原则

堰塞湖可分为高危型堰塞湖、稳态型堰塞湖和即生即消型堰塞湖。堰塞湖处理的方法多种多样,在进行堰塞湖工程处置时,应根据堰塞湖的风险级别,坚持以下几个原则:

(1) “安全、科学、快速”原则;

- (2) “主动、尽早,排险与避险相结合”原则;
- (3) 应急工程治理与长期综合治理相结合的原则。

2.2 处置理念

堰塞湖的应急处置不单单是一个技术层面的问题,还涉及到政府与行政主管部门决策和治理理念。鉴于堰塞湖的特性,完全消除或避免灾害是非常困难或是不可能的,而应对堰塞湖的处理要立足于减灾,通过采取各种工程和非工程措施,将可能带来的灾害降低到最低程度。

(1) 目标明确 政府不应该也不允许因为堰塞湖的应急处置不当而引发次生灾害,再次造成对人民群众的生命伤害和财产损失。

(2) 合理分担 自然灾害之后造成的次生灾害及其潜在的风险巨大,对此政府和行政主管部门应该有充分的认识,更应该认识到灾区是风险的承担者,政府是风险的消除者。在复杂的风险条件下,要合理地分担风险,即灾区群众应该承担主动规避风险的义务,政府应该承担解除风险的责任,二者必须有机地统一。

(3) 应急主动 地震形成的堰塞湖存在很多不确定性,包括工程地质、环境及风险程度等,其中影响应急处置决策最显见的两个不确定性是余震的不确定性和气象的不确定性。如此多而严重的不确定因素,直接影响着工程决策的效果和成败,因此要规避风险的叠加,最好的办法就是对应急事件主动从速处置,在汛期到来之前快速、科学和安全地应急处理,提高决策和处理技术水平。

(4) 风险决策 处置重大、复杂的应急事件,往往不是单一风险,会面临许多风险因素。此时一定要认真分析各种风险影响因素,按照统筹兼顾、综合风险最小的原则处置风险事件。

(5) 机制高效 内部实行“合署办公、集体协商、共同决策,地方落实”的工作机制,外部实行“广泛合作、信息共享、相互协调、形成合力”的合作机制,有效地完成应急事件处置工作。

2.3 处置阶段

堰塞湖处置分为3个基本阶段:应急处置阶段,后续治理阶段和后期整治阶段。一般情况下,在堰塞湖产生后的1~3个月期间应完成堰塞湖的应急处置,在其后1~2年内完成堰塞湖的后续治理和后期整治。

2.4 处置方法

2.4.1 堰塞湖快速发现和风险评估

(1) 堰塞湖快速发现和调查,采取各种可能的手段对堰塞湖进行分析研判,组织技术人员到现场勘查,尽可能摸清堰塞体的地形地貌,先弄清实际情况。主要工作包括快速发现与动态跟踪、卫片与实地调查、现场信息获取、遥感动态跟踪与灾情评估、应急勘查、检测与监测。通过堰塞湖快速发现、监测和调查,为堰塞湖应急治理决策提供基本依据。

(2) 堰塞湖风险程度评估,危险性评估方法多种多样,各行业采用的方法也不尽相同,但大致可分为快速评估和精确评估。快速评估是根据堰体实时观测资料与堰塞湖所处的河流地理、水文气象及经济社会等基础信息,通过查表法等快速评判堰塞湖危险度、可能溃决延时和风险度,为确定应急处置的优先顺序与对策提供依据。精确评估是在快速地勘测和调查的基础上,进行堰塞体的抗滑稳定性、渗透稳定性和抗冲刷能力分析,以及依据堰塞湖集水区的面积、降水量与来流量的水文特性分析与溃坝洪水的水力学计算等,评估堰塞湖可能维持的时间、溃决的方式及其可能危害的范围与可能造成的损失等,为论证堰塞湖处置方案等提供基本依据。

(3) 堰塞湖治理决策,堰塞湖快速发现和调查与堰塞湖风险程度评估的目的和最终目标是为治理决策服务,这就需要在前期工作的基础上,建立快速有效的应急管理机制与应对决策机构,做好应急评价,准确进行应急响应等级划分,完善应急处置与治理对策。

在制订工程除险方案的同时,要制定下游的避险方案,要有几套避险方案,而不是单一的方案,同时要
进行24 h的不间断监测,运用一切高技术手段,进行堰塞体溃决可能性监测。

2.4.2 堰塞湖应急处置措施

在安全评估的基础上,根据其结果制定科学经济合理的工程治理措施。主要包括工程措施和非工程措施

两个方面。

(1) 工程措施 堰塞湖应急处理的基本原则应是在较短的时间内,最大可能的降低和排出堰塞湖内拦蓄的大量湖水,保证堰塞湖的稳定与安全。处理措施目的是在堰塞湖水位上涨过程中,尽最大努力降低湖内水位、减少湖内水量,减少上游受淹范围,防止堰体突然溃决,降低湖水下泄时对下游造成的破坏程度。应急处置的工程措施主要有以下几类,具体根据堰塞湖的具体情况,因地制宜选用。① 堰塞体开渠泄流、引流冲刷、拆除或爆除,上游垭口疏通排洪、湖水机械抽排、虹吸管抽排、新建泄洪洞等湖水排泄措施。开设临时溢洪道、排水涵管(洞)或泄洪洞需要合适的地形条件,一般施工周期较长;设置导水涵管、抽水泵站方式较为简易,布置方便快捷,在电力不足时,也可采用虹吸的方式泄洪,适用于河道较狭窄、水面面积不大、水位较深的堰塞湖;在堰顶开设泄流渠,泄水能力较强,可有效地控制堰塞湖水位,为堰塞湖应急抢险的优选方案之一,但需注意分析滑坡堆积体的组成成分、边坡坡度等特点,避免泄水引起堰体突然溃决。② 下游建透水坝雍水防冲。③ 下游河道与影响区内设施防护和拆除。④ 堰塞湖内水位变化和下游河道洪水冲刷可能引起的地质灾害体的防护。

(2) 非工程措施 非工程措施应包括应急避险范围确定、应急避险技术和应急避险保障方案的制订等。应急避险范围就是根据溃决可能影响情况,确定应急避险范围、时段和影响程度。对于上游,避险范围应为最高可能水位对应的淹没区和堰塞湖水位变化引起的次生地质灾害影响区。对于下游,应急避险范围应为堰塞湖泄流后下游过水区及可能引起的塌岸、滑坡气浪冲击等次生灾害影响范围。一般情况下,按水情预测的上游来水情况、上游水位上升速度、堰塞体上下游边坡稳定状况、堰塞体渗水量等确定应急响应等级的标准。一般分为黄色预警、橙色预警、红色预警 3 个级别。黄色预警时,应急避险范围内的所有单位、部门和人员按预案措施进入防范状态;橙色预警时,应急避险范围内的所有单位、乡镇、社区、学校应停工、停课,转移、保护重要设备设施,人员按照预案程序进入疏散准备状态;红色预警时,应急避险范围内的所有人员按照预案程序进行紧急疏散、转移。制订应急避险保障措施和预案,充分做好避险时段的物质、交通运输、医疗等保障措施。

2.4.3 堰塞体后续治理

对于堰塞湖来说,应急处理阶段处理完成后,堰塞体经过较大水流的冲刷和考验,需要进行堰塞体残留堰体及泄流通道的综合评估,是彻底清除堰塞体,还是继续深挖扩容降低其风险,对后续治理工作提出建议。

堰塞体后续治理的基本原则是,在对堰塞体进行详细勘查的基础上,考虑堰塞体的现状及对环境的影响、可利用价值等多方面因素,进行堰塞体的整治。后续处置泄洪通道的泄流能力应满足相应的洪水标准要求,可对应急处置期泄洪通道进行必要的整治。若其泄流能力仍不满足洪水标准要求,应布置其它泄洪通道。对受堰塞湖影响可能产生危害的滑坡体、崩塌体和泥石流的处理措施进行研究,条件具备时,宜对不稳定滑坡体、崩塌体和泥石流进行治理。应急处置后,应对残留堰塞体和滑坡体、崩塌体持续进行必要的安全监测。

3 唐家山堰塞湖应急处置

受汶川特大地震影响,山体滑坡堵塞河道,在一些重要江河支流,共形成较大堰塞湖 35 处,其中四川 34 处、甘肃 1 处,蓄水容积 1000 万 m^3 以上的 1 处,蓄水容积 100 至 1000 万 m^3 以上的 21 处。四川省 34 处堰塞湖中,极高危险级 1 处(唐家山),高危险级 5 处,中危险级 13 处,低危险级 15 处,数百万人民群众生命安全受到威胁。

唐家山堰塞湖位于通口河四川省北川县城上游 3.2km、苦竹坝电站库区内,是汶川大地震形成的一座极高危险级的堰塞湖,严重威胁着下游绵阳、遂宁 130 多万人民的生命和宝成铁路、兰成渝输油管道等重要基础设施的安全。

唐家山河段河谷深切,谷坡陡峻,震前枯水期水位 665 m。堰塞体平面形态为长条形,顺河长约 803 m,

横河宽约 611 m, 平面面积约 30 万 m^2 , 堰高 82 ~ 124 m, 体积 2 037 万 m^3 。堰顶地形起伏较大, 横河方向左高右低, 左侧最高点高程 793.9 m, 右侧最高点高程 775 m。右侧顺河方向有一弓形沟槽贯通上下游, 底宽 20 ~ 40 m, 中部最高点高程 752.2 m。堰塞湖最大可蓄水量 3.16 亿 m^3 , 堰前湖底高程约为 663 m^[3]。

2008 年 5 月 14 日, 唐家山堰塞湖在地震后的航拍影像上被发现, 自此, 工程技术人员进行了大量的技术准备工作。5 月 21 日, 在解放军陆航部队的帮助下, 工程技术专家乘直升机首次降落唐家山堰顶, 经过实地查勘堰塞体现场认为: 湖险情危急, 但堰塞体和水情基本具备实施工程除险的可能, 关键的是抢险方案和措施的选择与实施。

3.1 可能溃决方式分析

(1) 冲刷破坏将是主要破坏形式 唐家山堰塞体物质组成大致可分为以碎石土为主体的右侧上部区和以碎裂岩为主的其它部位区。对以碎石土为主体的部位, 其溃坝过程与人工土石坝的溃决有相似的特征。相关专家在现场对唐家山堰塞体瞬间溃决与逐渐溃决可能性进行了多次会商, 鉴于唐家山堰塞体体积巨大, 且上游堰坡较缓、上部为土质覆盖层, 下部结构较密实, 基本不存在整体瞬溃的危险。唐家山堰塞体可能的破坏形式是在大流量水流作用下的冲刷破坏。

(2) 堰体物质结构有利于避免全溃 现场估算唐家山堰塞体上部约有 700 万 ~ 750 万 m^3 残坡积物和强风化岩体, 属易被冲刷物质, 而堰塞体下部存在约 1 300 万 m^3 的碎裂岩。碎裂岩是堰塞体的主体, 它与一般的泥石流、土质滑坡堆积体有本质的不同, 只要不出现高水头巨大流量冲刷等极端情况, 不易出现快速整体全溃情况。

(3) 引流渠沿线两处可见的碎裂岩有利于延缓溃决速度 现场地质调查认为并经开挖揭露证实, 在引流渠沿线有两处碎裂岩, 一处是在引流渠出口段, 一处是在引流渠中部, 虽然破碎较严重, 但地层的层位关系尚在, 抗冲刷能力相对较强, 将对溃决速度起到延缓作用。

(4) 部分高度范围将出现快速渐溃 在右侧开渠引流后, 由于堰塞体体形及物质成分分布特征, 相对较破碎的碎裂岩在引流渠出口段出露, 而堰体下部存在较厚的相对较完整的碎裂岩体, 抗冲刷能力相对较强, 由此判断唐家山堰塞体的溃决为受引流渠诱导的局部高度溃决, 且沿程冲刷与溯源冲刷并存, 在水能作用下拓宽冲深引流渠, 溃决过程是一个渐进的过程。但这一渐进过程只是相对瞬间溃而言的, 由于堰体上部物质为松散物, 其渐溃过程仍是非常快的, 过程也仅在数小时内。

3.2 溃坝洪水分析

为满足确定人员避险影响范围需要, 评估对沿途基础设施的影响, 多家单位共进行了近 200 个方案的溃坝洪水计算, 分析了溃坝洪水从坝下至北川、绵阳、重庆的演进过程。部分计算还考虑了下游水利设施滞洪作用, 及与涪江、长江不同洪水遭遇的工况。

溃坝洪水计算分全溃决、1/2 溃决和 1/3 溃决 3 种典型模式和不同的二次溃决方式。典型模式的溃口概化为梯形, 顶部宽度均为 340 m, 溃口底部高程分别为 663 m、695 m 和 720 m, 溃口底部宽度分别为 100 m、35 m 和 35 m, 溃口深度分别为 89 m、57 m 和 32 m, 起溃水位均设定为 752 m。溃决时间从 0.5 h 到 24 h^[4]。

表 1 为 3 种典型溃坝模式下游洪峰流量及洪峰到达时间。在全溃决、持续时间为 1 h 情况下, 溃口最大洪峰流量可达 117 200 m^3/s , 到达绵阳市流量为 26 800 m^3/s , 超过防洪设计流量; 在 1/3 溃决、持续时间为 3 h 情况下, 溃口最大洪峰流量可达 21 100 m^3/s , 到达绵阳市流量为 11 800 m^3/s 。

计算分析表明, 溃坝洪峰流量取决于起溃水位、溃坝历时和溃口形状及其发展过程等, 起溃水位越高、溃决历时越短、溃口宽度和深度发展越快, 坝址洪峰流量越大。因此, 通过开挖引流渠等措施有效降低起溃水位, 减少可泄水量, 可以明显降低坝址洪峰流量, 减轻溃坝洪水对下游的威胁。计算结果同时表明, 1/3 溃坝、1/2 溃坝、全溃坝的短时溃决方案, 通口河河口以上洪峰流量均超出河道安全泄量, 通口河以下亦接近或超出河道安全泄量。因此, 在采取工程措施除险的同时, 需制定坝下游人员转移预案, 规避潜在的溃坝风险, 且通口河河口以上地区人员需首先转移避险。

表 1 典型溃坝模式下坝下游洪峰流量及到达时间
Tabel 1 Peak discharge and arrival time of the dam downstream under typical dam-break modes

溃坝模式	溃决时间 /h	溃口洪 峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	北川(坝下游 4.6 km)		通口镇(坝下 游 24.0 km)	铁路桥(坝下 游 48.0 km)	绵阳市(坝下游 68.9 km)	
			洪峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	到达时间 /h	洪峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	洪峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	洪峰流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	到达时间 /h
1/3 溃决	1	43 200	38 700	1.08	28 400	23 500	12 800	5.88
	2	29 600	28 900	2.08	24 800	21 800	12 900	6.67
	3	21 100	21 050	2.97	19 900	18 300	11 800	7.47
1/2 溃决	1	80 500	75 300	1.03	53 500	43 500	20 000	5.00
	2	47 200	46 800	2.03	42 400	38 100	19 400	5.75
	3	32 600	31 700	2.90	32 200	31 000	18 000	6.50
全溃决	1	117 200	115 200	1.00	70 000	48 700	26 800	4.38
	2	63 100	62 000	1.80	55 000	45 200	26 600	5.08
	3	43 200	42 400	2.17	41 300	38 000	25 600	5.75

3.3 应急除险总体方案

鉴于唐家山堰塞湖的特殊复杂性和堰塞体除险的高风险性，为确保无一人伤亡的目标，最大限度减少湖水下泄造成的损失，争取避免堰塞体快速溃决这一恶劣工况对下游造成的灾难性损失，按照“安全、科学、快速”的除险原则，在有限的时间内同步实施应急除险工程措施和人员转移避险非工程措施。应急除险工程措施为开挖引流渠引流冲刷。人员转移避险措施为根据不同溃坝模式演算的洪水过程和风险评估成果，由地方政府制定人员转移避险方案，实行黄、橙、红 3 级预警机制，下游绵阳和遂宁两市受 1/3 溃坝风险威胁的 27.76 万人全部转移到安全地带，同时制定 1/2 溃坝和全溃坝方案的人员转移预案^[5]。为确保除险方案的实施，需建立可靠的应急保障体系。为此，建立了水雨情预测预报体系、堰塞体远程实时视频监控系统、坝区安全监测系统、坝区通信保障系统，以及防溃坝专家会商决策机制。

3.4 开渠引流方案

(1) 方案构想 考虑地势相对较低的堰体右侧表层以碎石土为主，抗冲刷能力低，利用溯源冲刷原理，充分发挥水流的挟带能力，冲深拓宽形成一条新河道，快速泄放湖水，实现除险目的。

(2) 引流渠布置 引流渠顺地势布置在堰塞体右侧，平面上呈向右侧弯曲的弧形。右侧地势低，开挖方量少，施工便捷，且引流渠右侧主要为碎石土，易于冲刷，下泄水流将主要向右岸侧冲刷和下切。而引流渠左侧主要为碎裂岩，抗冲刷能力较强，边坡总体将保持稳定。

(3) 引流渠结构 引流渠采用梯形断面，两侧边坡为 1:1.5。为适应天气变化可能出现的不同施工工期，引流渠设计了边坡开口线相同、边坡坡比相同、渠底高程不同的 3 个方案。高标准方案引流渠进口高程 742 m、渠底宽 13 m；中标准方案引流渠进口高程 745 m、渠底宽 22 m；低标准方案引流渠进口高程 747 m、渠底宽 28 m。

(4) 施工过程中的动态优化 动态优化是应急除险工程必须遵循的基本原则。引流渠施工过程中，根据实际揭露的地质条件和实际达到的施工能力，对引流渠结构进行了多次优化和调整。由于实际施工能力较原计划能力有明显的突破，在接近完成高标准方案时，将进口高程由 742 m 降低为 741 m；在此方案施工临近结束时，又将渠底高程全线降低 1 m。最终实际进口高程 740 m，渠底宽度 7~10 m。

(5) 施工组织 ① 采用“疏通引流，顺沟开渠，深挖控高，护坡镇脚”以及“挖爆结合，先挖后爆，平挖深爆，以爆促挖”方式。施工前，部队徒步背负炸药奔赴唐家山，准备了 10 余吨炸药。在实际施工中，由于泄流渠开挖处沙和土较多，爆破作用不大，加上爆破容易引起新的崩塌，最终只对局部阻水点和漂浮物使用了少量爆破。② 开辟空中专用通道运送施工人员、设备、材料及给养等。世界上最大的米 26 直升机起升能力 48 t，该地限制吊运能力为 15 t，经两架米 26 直升机不间断作业 92 架次，共调运了 15 t 以下的推土机 24 台、挖掘机 16 台、自卸汽车 4 台以及数十吨油料、主要施工材料等。其它直升机运输能力均在 5 t 以下，经持续飞行 731 架次，保障了施工人员、零星材料及给养供给等的运输。③ 强化现场施工管理。由

于施工场地狭小,直升机停机坪、生产、生活营地、仓库等均设在堰上,飞机起降时的大风扬沙影响几乎整个生活营地。为加快进度,施工机械设备较多,相距甚近,相互间干扰较大,对施工管理要求极高。施工区因地震造成电力供应瘫痪,对外通讯中断,因此选用汽油发电机作为施工区供电手段,安装应急移动通讯设施解决对外通讯问题,施工区内部采用手持式对讲机进行通讯。后期设置了远程视频监测系统,发挥了很好的作用。

3.5 除险效果

2008年5月26日上午,应急除险工程正式开工。6月1日凌晨,引流渠施工提前完成。6月6日开始,又对引流渠实施了消阻、扩容等工程措施。6月7日7时08分,引流渠开始过流;6月9日下午溯源冲刷效果开始明显;6月10日中午下泄流量达到峰值 $6500\text{ m}^3/\text{s}$;至6月11日14时,堰塞湖水位从最高743.10 m降至714.13 m,湖内蓄水量从2.466亿 m^3 降至0.861亿 m^3 。唐家山堰塞湖险情解除,泄流过程中无一人伤亡,达到了最佳除险效果。

过流后形成的新河道平面上呈向右岸凸出的弧形;断面形态呈梯形,开口宽145~235 m,底宽80~100 m,进口端底高程一般为715~720 m,右侧深槽达710 m,断面基本稳定,虽存在局部垮塌和堵塞的可能,但不会影响大流量时的行洪能力。当发生200年一遇洪水时最大下泄流量 $6132\text{ m}^3/\text{s}$,小于历史调查最大洪水洪峰流量,也小于6月10日泄流的洪峰流量,新河道具有安全通过200年一遇洪水的能力。泄流时水流带走堰塞体堆积物约500万 m^3 。左侧剩余堰塞体主要由结构较密实的碎裂岩和巨石、孤块碎石组成,抗渗透破坏和抗冲刷能力较强,抗滑稳定性较好,整体稳定。

唐家山应急除险工程的实施,直接降低堰塞体水头9.0 m、减少蓄水量0.7亿 m^3 ,且控制溃坝过程按渐进方式发展,使坝址洪峰流量减小了约 $3400\text{ m}^3/\text{s}$,涪江桥断面洪峰流量减小了约 $3000\text{ m}^3/\text{s}$,坝下游各主要控制断面洪峰流量与原1/3溃坝洪水相比减少了约33.6%~34.6%,有效减轻了对下游人民生命财产安全的威胁。

4 其它一些堰塞湖应急处置

4.1 嘉陵江支流青江河石板沟堰塞湖应急处置

受“5·12”地震影响,青江河在石板沟、东河口形成2个堰塞湖,支流红石河形成了另一个堰塞湖。应急处置方案为:自下而上、依次顺序处理,采用“挖爆结合,以挖为主;争取主动,先爆后挖”。即先采用爆破形成一期泄流槽,降低水位,同时处理东河口,具备条件时,采用挖爆结合的方式,加深加宽泄流槽,达到设计要求。初步设计方案:设计底宽42 m,边坡1:2,设计过流能力 $700\text{ m}^3/\text{s}$,开挖量约7.0万 m^3 。经10多次爆破与开挖循环作业,已形成13 m宽的泄流槽,水位下降11.55 m,库容160万 m^3 ,过流能力为 $3198\text{ m}^3/\text{s}$,满足5年一遇洪水防汛要求。

4.2 绵远河小岗剑上游堰塞湖应急处置

位于沱江支流绵远河小岗剑电站上游约300 m处,距离上游清平乡6 km。因地震由右岸岩质岸坡崩塌形成。应急处置方案为:采用爆破开槽为主,人工捡碴或水力冲碴为辅。按设计方案扩大左岸泄流槽,增加泄流能力。2008年6月12日10:30实施爆破后,至12:20下泄流量达到 $150\text{ m}^3/\text{s}$,随后堰塞体开始崩溃,流量急剧增大,汉旺水文站于13:17分出现最大洪峰,相应流量约 $3900\text{ m}^3/\text{s}$ 。

4.3 石坎河马鞍石堰塞湖应急处置

位于平武县南坝镇上游,属涪江支流石坎河,顺河长度950 m;堰宽平均270 m,堰高平均67.6 m,体积1120万 m^3 ,可能蓄水量1200万 m^3 。抢险前正常入湖流量 $3.96\text{ m}^3/\text{s}$ 。应急处置方案为“疏通引流,顺势开槽;挖爆结合,以爆为主”。经4次爆破,开挖形成了一条长280 m,底宽3 m、深3~13 m的V字形引流槽。6月23日,堰塞湖开始沿泄流槽开始溢流。22:00达到最大洪峰流量 $2200\text{ m}^3/\text{s}$ 。堰塞湖泄洪后库容不足170万 m^3 ,已不对下游地区构成严重威胁。

4.4 沱江支流石亭江上游堰塞湖应急处置

“5.12”汶川大地震,在重灾区什邡市境内石亭江上游引发大量的山体崩塌和滑坡,造成红白镇上游不足 11 km 的河段上分别形成规模不等的 7 处堰塞湖。最大堰塞体方量达 200 万 m^3 以上,最大坝高约 50 m,蓄水量 100 万 m^3 ,经评定其中马槽滩 3 处中等堰塞湖被评定为中危性质。应急处置方案为:自下而上依次处理,顺势开槽,疏通引流。采用人工开挖爆破坑进行爆破开槽,人工捡渣。经应急处置后,成功排除险情。

2008 年汶川地震后即在四川出现了 104 处堰塞湖,之后 2009 年在四川德阳又陆续出现了 9 座堰塞湖。这说明山区地震后,堰塞湖多发、突发,是重要的次生灾害威胁。在抢险救灾时,一定要给予高度关注,采取一切可能措施,应急处置中高危害堰塞湖。在灾后重建阶段,仍要下大力气因地制宜地持续处理好堰塞湖存在的潜在灾害风险。

5 结 语

5.1 堰塞湖排险避险工作具有如下特点:

- (1) 突发性强,难以预测,抢险就是与洪水赛跑。
- (2) 资料匮乏、交通不便、环境危险、条件恶劣,不确定因素多,施工难度大,工期紧迫。
- (3) 滑坡方量大、蓄水量大,对人民群众生命财产威胁大。
- (4) 堰塞湖排险避险工作需要整合多种社会资源和先进的科学技术,实现水利、气象、交通、部队以及各级政府和社会民众等的优势互补和联合作战。
- (5) 要健全组织体系,明确职责分工,加强统筹协调,形成整体合力。
- (6) 从基础性支撑技术、控制风险的关键措施、堰塞湖治理 3 个层面,针对堰塞湖险情快速评估、应急抢险、地震风险管理等 3 个科学问题开展关键技术研究,充分发挥水利科技支撑作用。

5.2 几点思考:

- (1) 排除了险情,不等于消除了隐患。地震造成大量不稳定山体,震后次生灾害具有多发性和长期性。
- (2) 灾后重建将受到次生灾害的长期困扰。不仅滑坡、泥石流、堰塞湖及其溃决洪水的威胁依然存在,而且由于水利设施损毁严重,供水安全问题也将显现。因此应急规划应作为特殊规划纳入中长期灾后重建规划体系。
- (3) 要进一步跟踪灾区次生灾害的发展态势,收集整理相关资料,加强观测、分析、归纳、总结。今后应对紧急情况时,尽管存在不确定因素,但只要把握得住变化趋向与良机,就可能避免大的灾害。

参考文献:

- [1] 魏迎奇. 堰塞湖灾变特征及应急处理技术[J]. 中国水利, 2008(11): 37-39. (WEI Ying-qi. Cataclysm feature of dammed lake and emergency treatment technology [J]. China Water Resources, 2008(11): 37-39. (in Chinese))
- [2] 刘宁. 巨型滑坡堵江堰塞湖处置的技术认知[J]. 中国水利, 2008(16): 1-7. (LIU Ning. Technologies of dammed lake treatment caused by large-scale landslide [J]. China Water Resources, 2008(16): 1-7. (in Chinese)).
- [3] 刘宁, 杨启贵. 唐家山堰塞湖应急除险技术实践[J]. 中国工程科学, 2009, 11(6): 74. (LIU Ning, YANG Qi-gui. The emergency handling technique and practice of Tangjiashan barrier lake [J]. Engineering Science, 2009, 11(6): 74. (in Chinese)).
- [4] 刘宁, 张建新, 林伟, 等. 汶川地震唐家山堰塞引流除险工程及溃坝洪水演进过程[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2009, 39(8): 1359-1366. (LIU Ning, ZHANG Jian-xin, LIN Wei, et al. Draining Tangjiashan barrier lake after Wenchuan earthquake and the flood propagation after the dam break [J]. Sci China Ser: E-Tech Sci, 2009, 52(4): 801-809. doi: 10.1007/s11431-009-0118-0. (in Chinese))
- [5] 刘宁. 唐家山堰塞湖应急处置与减灾管理工程[J]. 中国工程科学, 2008, 10(12): 67-72. (LIU Ning. The emergency handling of Tangjiashan barrier lake and disaster reduction management project [J]. Engineering Science, 2008, 10(12): 67-72. (in Chinese))

Practice and cognition for emergency disposal of landslide lake

LIU Ning

(The Ministry of Water Resources, PRC, Beijing 100053, China)

Abstract: A landslide lake is formed by watercourse blocking. It is a lake without any specialized designs as well as specific flood discharge facilities. If the dam was to burst, massive hazards would be posed. The experiences and cognition for emergency disposal of landslide lake are summarized. The formation cause, burst mechanism and landslide lake risk evaluation are analyzed. The disposal principle, concept, stage and approaches to addressing the issues are then brought forward. Taking the emergency disposal of landslide lakes due to the Wenchuan earthquake as an example, the disposal practice for the Tangjiashan landslide lake is introduced, including the dam burst mode, dam outburst flood, overall program for emergency risk mitigation, diversion channel scheme and risk elimination. Finally, other practices for emergency disposal of landslide lake are briefly introduced, which could give references on the subject.

Key words: landslide lake; formation cause; mechanism; emergency disposal

全球变化研究国家重大科学研究计划正式启动

2010年7月9日,全球变化研究国家重大科学研究计划启动实施大会在北京召开。全国政协副主席、科技部部长万钢,全国政协常委、教科文卫体委员会主任、原科技部部长徐冠华,科技部副部长曹健林出席会议。全球变化研究国家重大科学研究计划第一届专家组全体成员、第一批启动的19个重大项目的首席科学家和各课题负责人、项目承担单位和依托部门代表等近200人参加了会议。

全球变化研究国家重大科学研究计划第一届专家组由21位知名专家组成,其中,徐冠华院士为组长,秦大河院士、吴国雄院士为副组长,南京水利科学研究院张建云院士入选第一届专家组。

由南京水利科学研究院牵头,以张建云院士为首席科学家,联合中国水利水电科学研究院、河海大学、北京师范大学等单位申请的全球变化研究国家重大科学研究计划“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”获准立项。该项目以加强气候变化对水资源安全影响研究和提高中国应对气候变化适应能力的基础科学支撑为总目标,选择中国洪涝干旱灾害和水资源短缺问题较为突出的黄淮海地区为研究对象,探索气候变化对水循环要素和过程的影响机理,分析气候变化对旱涝灾害的驱动机制,评估研究区域气候变化背景下的旱涝灾害风险和水资源安全,提出水资源应对气候变化的适应对策;拟解决气候变化对水循环的影响机理、气候变化对旱涝灾害的驱动机制和气候变化对区域水资源的影响归因等三大关键科学问题。

全球变化研究国家重大科学研究计划的实施,将进一步提升中国应对全球气候变化的研究能力和国际影响力,形成中国全球变化研究的优势与特色,为国家社会经济可持续发展宏观决策提供科学依据,为中国参加国际气候变化谈判和开展环境外交提供强有力的科学依据和政策咨询建议。

(贺瑞敏)