

文章编号: 1008-2786-(2010)3-350-08

“5·12”汶川地震堰塞湖应急处置措施的讨论 ——以唐家山堰塞湖为例

陈晓清, 崔鹏, 赵万玉, 高全

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都, 610041)

摘要: 堰塞湖是地震诱发的次生灾害类型之一。唐家山堰塞湖是“5·12”汶川地震造成的规模最大、潜在威胁最严重的堰塞湖, 水利部组织了唐家山堰塞湖应急处置, 成功降低了该堰塞湖风险, 未造成新的人员伤亡。从该堰塞湖溢流的流量过程曲线和对北川县城的影响来看, 还有值得改进的地方。经初步分析, 提出改进措施: 1. 变梯形过流断面为复式断面; 2. 增大设计纵比降; 3. 保护泄流槽的进、出口, 控制沟道下切速度; 4. 抛掷人工结构体控制沟床下切速度。为了避免自然排泄的不利影响, 提出“人工可控排泄”处理堰塞湖。希望这些措施在以后类似堰塞湖应急处置中能够被参考, 最大限度减少灾害损失, 减少防灾减灾的社会、经济成本。

关键词: 汶川地震; 堰塞湖; 应急处置; 唐家山

中图分类号: P315.9 X43

文献标识码: A

堰塞湖是地震诱发的次生动力地貌类型之一。

在历史的地震事件中, 地震诱发产生堰塞湖的情况在山区较为常见, 而且地震堰塞湖由于快速堆积形成, 其坝体结构一般较为松散, 基本没有胶结, 在顶部溢流冲刷或渗透水压力作用下溃决, 溃决产生的洪水或泥石流会对下游产生严重的危害。如 1933 年四川叠溪 M7.5 级地震导致岷江叠溪段形成 3 处堰塞湖, 使岷江断流 43 d, 江水回水长度大于 20 km。地震 45 d 后, 堰塞湖溃决, 当时“吼声震天地, 距水头十数里外, 皆可闻见”, 溃决洪峰达到下游 200 km 的都江堰, 损坏了鱼嘴工程, 造成 1 600 多人死亡^[1]。1786 (清朝乾隆五十一年) 06-01, 四川泸定-康定发生 M7.75 级地震, 在冷碛与田湾的中间形成一座高 70 m 的滑坡堰塞坝, 堰塞湖面积 1.7 km²、库容 50×10⁶ m³, 在余震作用下, 该堰塞坝于 1786-06-10 早上溃决, 溃决洪水通过下游的乐山、宜宾和泸州时, 造成超过 10 万余人的死亡和失踪^[2], 该地震堰塞湖是全世界造成最为严重的一次

灾难。

“5·12”汶川大地震诱发了约 257 处堰塞湖^[3], 如果不进行及时的处置, 类似叠溪堰塞湖和康定-泸定地震堰塞湖溃决的灾难将可能再次上演。为了防止堰塞湖溃决对下游区域产生新的灾害, 在水利部抗震救灾指挥部的领导下完成了重点堰塞湖溃决危险性应急评估^[4]。在应急评估结果的基础上, 分别对一些极高、高危险堰塞湖开展了应急工程处置。其中唐家山堰塞湖是“5·12”汶川地震造成的规模最大、威胁最大的堰塞湖, 从 2008-05-26~06-10 两次进行了唐家山堰塞湖应急处置, 成功地降低了该堰塞湖的危险性, 并且未造成新的人员伤亡, 而成为以后堰塞湖工程处置的典范。目前, 对唐家山堰塞湖的成因、溃坝分析、排险设计、溃决洪水模拟等方面报道较多^[5-9], 但是从该堰塞湖溢流的流量过程曲线和对北川县城的影响来看, 存在排泄初期效率低、后期流量增长过快失去控制而增大了下游区域的风险等问题, 确鲜见报道。这

收稿日期 (Received date): 2009-09-17; 改回日期 (Accepted): 2009-02-26

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划“973”计划 (2008CB425802) 和中国科学院知识创新工程重要方向性项目 KZCX2-YW-302 资助。[This research is supported by 973 Program (40501008) and the Project KZCX2-YW-302 of CAS]

作者简介 (Biography): 陈晓清 (1974-), 男, 四川遂宁人, 博士, 副研究员。主要从事山地灾害防治理论研究。[Chen Xiaqing (1974-), male, born in Suining of Sichuan, P. R. China, majoring on research on mountain hazard mitigation.] E-mail: xqchen@imde.ac.cn

里在总结唐家山堰塞湖泄洪排险的经验和不足, 并提出改进措施, 为以后类似的工程处置提供参考。

1 唐家山堰塞湖环境背景与基本特征

环境背景

唐家山堰塞坝位于北川县的东南部, 距离北川县城上游 6 km 的湍江(通口河)上, 见图 1。

北川县境内基本为山地, 峰峦起伏, 沟壑纵横, 西北部属岷山山脉, 东南部属龙门山脉, 境内插旗山的最高峰海拔 4 769 m, 最低点香水渡海拔 540 m, 相对高度 4 229 m。全县地势西北高, 东南低, 由西北向东南平均每公里海拔递降 46 m。唐家山堰塞坝的东南向山峰海拔 1 568.0 m, 下方湍江河谷的海拔 640.0 m, 相对高度 928 m。其对面位于元河坝的小山头海拔 882.0 m。堰塞坝处的湍江为不对称的 V 型河谷, 右岸较陡, 坡度 60°左右; 左岸坡较缓, 坡度约为 30°。

唐家山位于龙门山断裂带的北段。龙门山断裂带由一系列压性、压扭性断裂及褶皱组成。断裂以

青川—茂汶断裂、北川—映秀断裂、江油—都江堰断裂规模较大, 断裂总体走向 NE40°左右, 倾向 NW, 倾角 50°~80°, 还有 SN 向断裂。断裂发育历史悠久且具有多期活动, 新生代以来又有新的活动。通过对该地区岩石样品的裂变径迹和镜质体反射率的测定以及计算机模拟得出, 龙门山地区 10 Ma 以来至少升了 5~6 km, 隆升速率为 0.5~0.6 mm/a^[10]。北川县内以映秀—北川断裂为界, 东南面属龙门山褶断带; 西北面属松潘—甘孜地槽褶皱系巴颜喀喇地槽褶皱带东缘的茂汶—丹巴地背斜(即后龙门山褶皱带)。唐家山就位于东南面的龙门山褶皱带上, 处于映秀—北川断裂的上盘, 且距该断裂垂直距离约 2.8 km。

北川地处川西高原与四川盆地之间, 即四川盆地向川西北高原的过渡地带, 属中国东部亚热带湿润季风气候区的西部边缘与高原干热河谷气候交汇地带。县城所在地曲山镇, 多年年平均气温 15.6℃, 平均降水量 1 287.5 mm, 极端最高温度 37.2℃, 最低温度 -4.5℃。由于唐家山距县城的直线距离仅 3 km, 其气象条件与县城相近。

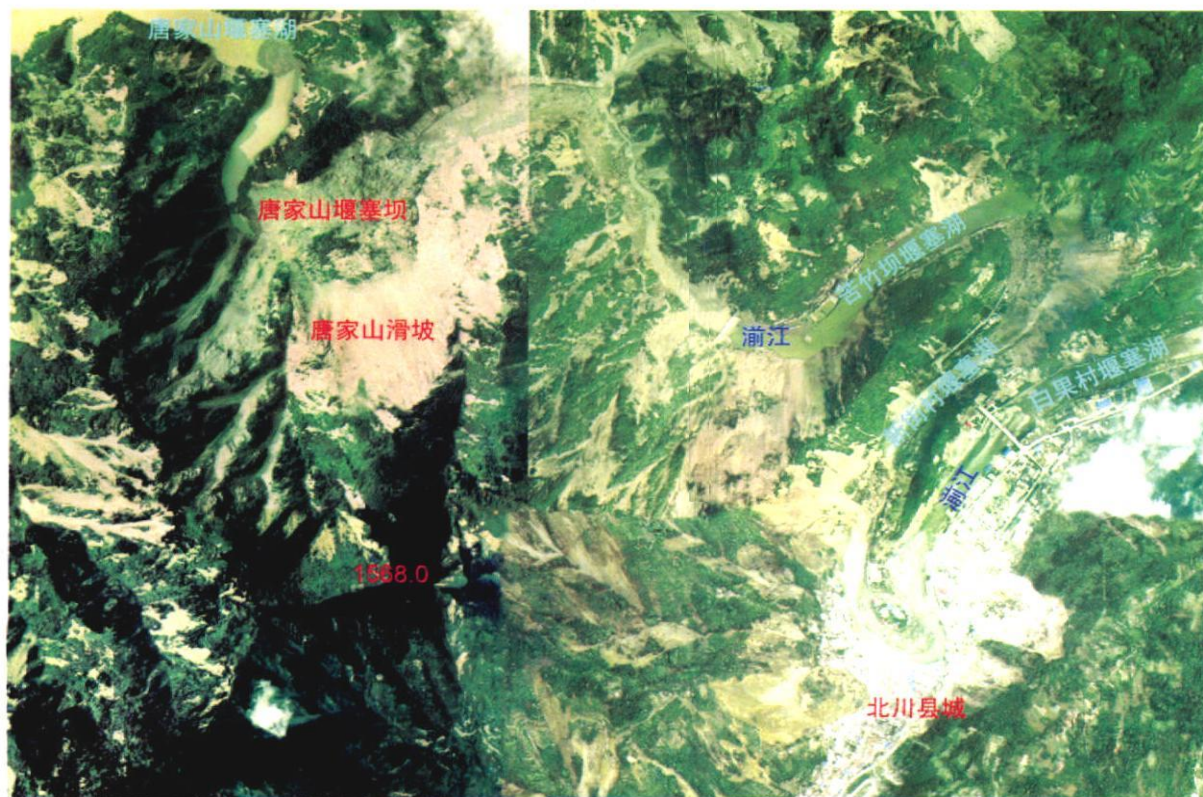


图 1 唐家山堰塞湖位置

Fig 1 Location of Tangjashan dammed lake

从唐家山流经的湔江,下游段又叫通口河,是涪江的支流。湔江在唐家山以上的汇流面积 $3\,550\text{ km}^2$, 50 a一遇、20 a一遇、10 a一遇、5 a一遇的洪峰流量分别为 $5\,120\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3\,920\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3\,040\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1\,900\text{ m}^3/\text{s}$,多年平均洪峰流量 $1\,600\text{ m}^3/\text{s}$ 。

堰塞湖基本特征

唐家山堰塞坝的坝体顺河流方向长 803.4 m ,垂直河流方向宽 611.8 m ,水平投影面积 $30.72\times 10^4\text{ m}^2$,坝体堆积体方量 $2\,037\times 10^4\text{ m}^3$ 。堰塞坝最高点高程 793.9 m ,坝底高程 669.5 m ,基岩弱风化顶板高程 638.0 m ,最大坝高 124.4 m ,坝口处坝高 82.6 m 。堰塞坝地形起伏差较大。坡体右侧、中部和左侧分布 3 条沟槽(图 2),右侧沟槽最高点高程 752.2 m ,宽 $20\sim 40\text{ m}$,贯通上下游。中部和左侧沟槽分布于下游坝坡,长约 400 m ,宽 $10\sim 20\text{ m}$ 。上游坝坡较缓,坡度约为 20° 。下游坝坡上部 and 下部为陡坡,中部为缓坡,上部陡坡坡高约 50 m ,坡比约 $1:0.7$,中部缓坡坡比约 $1:2.5$,下部陡坡高约 20 m ,坡比 $1:0.5$ 。

坝区两岸基岩为寒武系下统清平组薄层硅质岩、砂岩、泥灰岩、泥岩组成,岩层软硬相间,产状 $N60^\circ E/NW\angle 60^\circ$ 。左岸为逆向坡,右岸为顺向坡。基岩裂隙较发育,岩体较破碎,强风化带厚度 $5\sim 10\text{ m}$ 。

其下为弱风化。两岸坡分布有残坡积的碎石土,厚度 $0\sim 15\text{ m}$ 。碎石土由粉质壤土、岩屑和块石组成,其中粉质壤土占 60% 左右,岩屑占 $30\%\sim 35\%$,块石占 $5\%\sim 10\%$,粒径 $5\sim 20\text{ mm}$ 。从堰塞坝的滑坡堆积形态的初步勘测来看,唐家山堰塞坝表面许多岩层的结构还保存较为完好,图 3(a)显示了岩体层状结构。从图 3 的两个角度看来,坡面的植被虽然经过滑坡运动,但还保持近于直立状态,表明该滑坡为整体滑动,内部岩体的结构保存较好。



图 2 唐家山堰塞湖的坝体

Fig 2 Dam of Tangjashan dammed lake



(a)堰塞坝保存较为完好的岩体结构



(b)堰塞坝上的巨石,粒径 4 m 左右

图 3 唐家山堰塞坝坝体岩土结构

Fig 3 Rock and soil structure of Tangjashan dam

通过堰塞坝的岩土结构和纵断面形态(图 4),可以初步判断坝体稳定性。参照 1933 年叠溪地震诱发的大海子和小海子堰塞湖,在 1986—06—15 的暴雨山洪作用下发生部分溃决^[11],其后 1992—06—29 小海子在上游洪水作用下再次发生局部溃决,表

明类似的堰塞坝出现瞬时全溃的可能性较小,而出现多期分步溃决的可能性较大。由于唐家山堰塞湖的坝体中含有大量的块石,而且粒径 $3\sim 4\text{ m}$ 的巨石较为常见,堆积体保存原岩体结构较好,在水压力作用下,即使库漫溢流时,出现瞬时坝体全部溃决的可

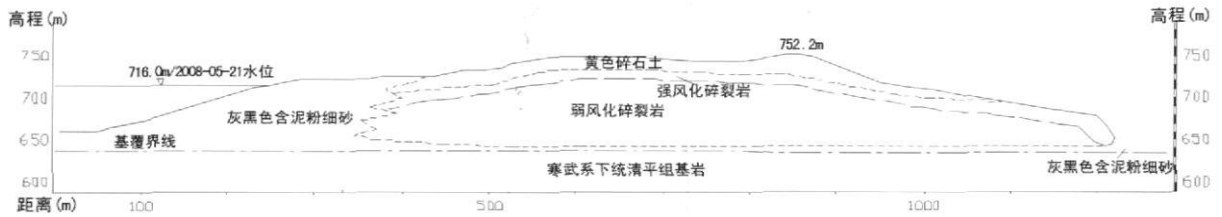


图 4 唐家山堰塞坝顺河向剖面图

Fig 4 Cross section through the Tangjia Shan landslide dam along the Jianjiang River

能性也不大。

2 堰塞湖应急泄洪

当唐家山堰塞湖蓄满溢流时, 最大容积约 $3.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2008—05—19回水已淹没上游治城水位站, 2008—05—23 18:00水位 719.8 m, 水面距堰塞坝体上的最低坝口高差约 32.2 m, 已蓄水 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。为了防止堰塞湖溃决对下游区域产生新的灾害, 对唐家山堰塞坝进行应急工程处置, 排泄堰塞湖水势在必行。

在水利部的组织下, 唐家山堰塞湖经过 2008—05—26~31 应急抢险施工, 形成了一条横断面呈梯形的泄流槽。该泄流槽上方宽约 50 m, 进口段的底部宽 7 m, 出口段的底宽大于 10 m, 最深处约 13 m, 平均深 12 m, 全槽总长 475 m, 槽底部中间段最高海拔高为 740 m, 出口段高程 739 m。共完成土石方开挖 $13.55 \times 10^4 \text{ m}^3$, 钢丝笼护坡 4 200 m², 疏通道路 17 km, 平整场地 14 040 m², 清障树木 35 000 m³, 投入推土机 26 台, 自卸车 4 台^[12]。为了加快泄流, 从 2008—06—06 起, 再次进行泄流抢险施工。首先在已有的泄流槽左岸山坡开辟新的引流槽 (图 5), 以

增加过水能力。为抢险施工需要, 又在已有泄流槽内做了一道临时的挡水堤, 堤顶高程 740.30~740.40 m, 2008—06—07 12:52 唐家山堰塞湖坝前水位到 740.00 m 的泄流槽设计槽底高程, 未能按原计划泄流, 而推迟到 7:08 才通过泄流槽溢流。

在开始泄流的 2 d 时间里, 由于泄流槽的纵比降较小, 进入泄流槽的水流流量小, 水流下切侵蚀强度较小, 导致下泄流量偏小, 库水水位不断上涨, 溃决危险性不断加大。图 6 显示下游出口巨石阻止下切侵蚀。为了加快泄流槽下切速度, 从 2008—06—08 18:30 开始, 陆续使用 82 无后坐力炮对泄流槽中的巨石进行爆破清障, 并继续采取机械开挖和小规模爆破方式对溢流槽进行扩宽、加深。随着水流流量加大, 下切侵蚀能力增加, 加上阻碍的巨石被清除, 溢流槽强烈下切, 于 2008—06—10 早上流量急剧增加, 在短时间内增至最大 $6 420 \text{ m}^3/\text{s}$ 。堰塞湖泄流过程参见图 7。

由于唐家山的泄洪流量急剧增加, 下泄洪水对下游区域造成了一定的影响, 淹没了部分北川县城。由于唐家山洪水携带大量的崩塌、滑坡及沿途堰塞坝的松散固体物质, 其含沙量极高, 洪水过后, 北川县城淹没范围沉积一层淤泥, 见图 8。



图 5 泄流槽旁新施工的引流槽

Fig 5 New drainage goove



图 6 泄流槽出口的巨石阻止沟道下切

Fig 6 Huge rock prevents channel erosion

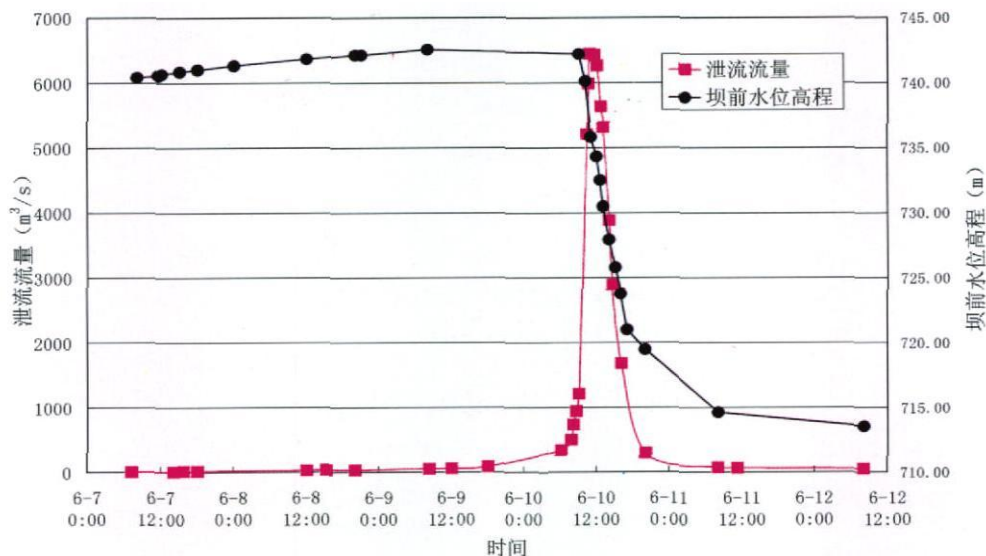


图 7 唐家山堰塞湖泄流过程

Fig 7 The drainage course of Tangjashan dammed lake



图 8 洪水过后北川县城沉积的淤泥

Fig 8 The deposit silt of flood in the Beichuan county

3 应急处置的经验、不足及改进途径

应急处置经验

唐家山堰塞湖下游有一系列城市,包括绵阳、三台、射洪、遂宁、潼南等,还有运输大动脉宝成铁路、能源大动脉兰(州)成(都)渝成品油管线等重要设施,一旦溃决,将威胁下游 130 多万人的生命安全。从唐家山堰塞湖应急处置的结果看,在应急排泄湖水的过程中,未造成新的人员伤亡,确保了人民群众生命安全,因此应急处置总体上是成功的。

纵观整个处置过程,值得今后借鉴的主要经验有:

1. 制定了正确的处置原则,即安全、科学、快

速。在有限的时间内同步实施了应急工程措施和非工程措施,非工程措施主要是在风险分析指导下的人员转移。

2. 坚持以人为本的原则,确保灾区人民和施工人员的安全。建立了雨情预测预报体系、堰塞坝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,以及专家会商机制等,确保施工安全,一旦出现险情,快速转移下游受威胁群众。

3. 采取开挖泄流槽主动降低堰塞湖水位、减小溃决风险。基于对堰塞坝体岩土结构的分析,充分利用坝体右侧以碎石土为主、抗冲刷能力弱的特点,引流实现泄流槽的溯源侵蚀,快速排泄湖水,达到降低风险的目的。

应急处置的不足

从应急施工的安排、泄洪时处置、泄洪溢流过程曲线来看,唐家山堰塞湖的应急处置还存在一些不足,有待于进一步完善。从泄洪曲线来看,表现为排泄初期溢流效率偏低,导致水位不断上涨,增加堰塞湖溃决风险,而溢流后期溢流水体的溯源侵蚀太强烈导致排泄流量增长过快,超出了设计预期,增大了下游的淹没风险。

针对应急排泄设计和应急处置分析,主要不足有:

1. 泄流槽的横断面不尽合理

从水力学角度看,泄流槽的梯形断面由于润周大、糙率大,在过流初期的流量很小^[13],不利于排泄

初期溢流效率的提高, 这是溢流初期排泄效率偏低的主要因素之一。从尽量降低堰塞湖风险角度看, 应采取一种溢流最低口尽量低的槽型, 梯形断面也不是最佳断面。在同样的开挖土方量的前提下, 三角形断面、复式三角形断面应该更优。从施工角度考虑, 复式三角形断面可能比三角形断面更有优势。因此若在目前梯形断面的基础上, 再从下方开挖小梯形断面(图 10), 可减小过流初期的润周和糙率, 提升过流能力。而且开挖工程量小, 在较短时间内可以完工。

2. 泄流槽纵断面的比降偏低

堰塞湖溢流初期排泄效率偏低的另外一个因素是槽的纵断面比降偏小。在唐家山处湔江段的河流纵比降较小, 约在 6% 左右。施工后形成的槽长 475 m, 进口段 0+025.0 m 处高程 740.0 m, 中间比降转折处 0+326.0 m 高程 739.0 m, 槽底纵比降仅为 3.3‰, 低于原河流沟床纵比降。由于唐家山堰塞坝体内含有大量的巨石, 相应在 10 a 一遇洪水作用下, 达到平衡的沟床纵比降应远高于原河流纵比降。泄流槽的纵比降应不低于原始河床的 6‰ 的水平, 如果可能可以参照山区的山洪泥石流河道标准, 即 3‰ 左右来考虑。

只有通过增大泄流槽纵比降, 才能有效提升溢流初期沟槽的过流能力, 加快溢流初期沟槽的下切侵蚀能力, 有利于加快泄洪, 降低堰塞湖风险。正是由于纵比降偏低, 排泄初期的水流下切侵蚀能力弱, 导致了槽体中的个别大石块大大延缓了沟槽下切、排泄能力的快速提升, 才在应急处置中采用迫击炮清除巨石。

3. 排泄后期控制沟槽下切侵蚀的工程措施缺失

由于堰塞坝体为滑坡松散堆积体, 岩土体的均一性非常差, 出现一些层位大块石多, 而一些层位的大块石太少。对于大块石多的层位, 控制下切作用太大, 下切慢, 过流流量增加慢; 对于大块石少的层位, 控制下切作用太小, 以致出现强烈下切侵蚀和侧蚀, 泄流流量增加太快, 而最后无法人工控制, 超出下游能承受能力的最大洪峰流量。

改进途径

堰塞湖应急排泄工程处置的理想目标是平稳泄洪、快速安全泄洪, 将最大排泄流量控制在 20 a 一遇洪水流量左右, 最多不超过 50 a 一遇洪峰流量。按照这一理想目标, 针对唐家山堰塞湖的应急处置

中存在的不足, 经过初步分析, 唐家山堰塞湖应急处置的改进途径可以通过以下 4 个方面来完善。

1. 泄流槽的横断面采用复式三角形

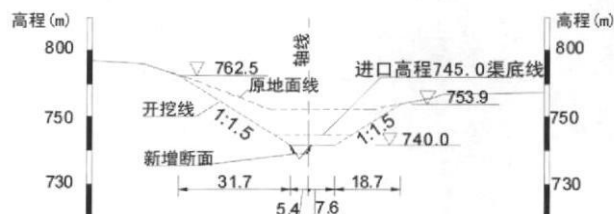


图 10 典型断面的改进示意图

Figure 10 The sketch map of improved design

基于目前梯形横断面, 在其中一侧再开挖一个三角形断面, 形成复式三角形的横断面槽型。由于在 5 月下旬期间, 唐家山处湔江入库流量在 $75 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右, 若考虑初期过流 1/3 需要过流断面面积 15 m^2 左右, 对新增三角形槽体, 其上顶宽 6 m 高 5 m, 整个槽体新增开挖方量约 7125 m^3 , 即比已施工方量增加约 5%。这样可以提高泄流初期的排泄效率, 同时大大降低堰塞湖的风险。

2. 增大泄流槽的纵比降

如果泄流槽的纵比降按照 3‰ 考虑, 中间转折处 0+326.0 m 需下降至 730.97 m 高程, 则新增开挖土石方量约 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 即比已施工方量增加约 15%。

3. 保护泄流槽的进、出口, 控制沟道下切速度

泄流槽的进、出口的稳定对于平稳泄流至关重要, 可在进、出口增加铅丝笼等防护措施。沟床中的巨石在控制水流下切侵蚀方面起着一定作用, 通过爆破巨石方式, 可以快速提升溢流初期的过流能力, 加快沟床下切速度, 但是失去巨石对下游沟床的保护, 使后期下切侵蚀控制失去支撑, 而出现超过预期的快速下切、流量暴涨。由于巨石保护, 沟床下切侵蚀速度较慢, 当流量达到一定量后, 其搬运能力许可, 可以通过机械辅助扩宽沟床, 增大侵蚀能力, 来提升过流能力。

4. 抛掷人工结构体控制沟床泄流后期下切速度

通过监测泄流流量, 一旦发现流量增速超过警戒值时, 可以借用水电工程截流的相关技术^[10-11], 向沟床中抛掷一定的人工结构, 如混凝土块体、加糙块石、高强度铁丝编织的铅丝笼等, 增加沟床中能稳

定沟床的结构体,控制沟床下切。对于唐家山这样的应急泄洪工程,可以采用施工速度快的加糙块石和铅丝笼,而对于一般的堰塞湖泄洪工程,还可以采用预制混凝土块。

上述的4点改进措施是相互关联的,单独采取其中某一个,其效果不会明显。

4 结论与讨论

结论

采取主动措施降低唐家山堰塞湖水位,减小溃决风险,按照安全、科学、快速的要求,成功地处理了堰塞湖险情,消除了汶川地震次生灾害的一个特大威胁,确保了人民群众生命安全,避免了大的损失,而成为堰塞湖成功处置的典范。唐家山堰塞湖应急处置值得今后借鉴的主要经验有:1. 制定了正确的处置原则;2. 坚持以人为本的原则,确保灾区人民和施工人员的安全;3. 采取开挖泄流槽主动降低堰塞湖水位、减小溃决风险。

从泄洪曲线来看,表现为排泄初期溢流效率偏低,而溢流后期溢流水体的溯源侵蚀太强烈导致排泄流量增长过快,增大了下游的淹没风险。主要不足有:1. 泄流槽的横断面不尽合理;2. 泄流槽纵断面的比降偏低;3. 排泄后期控制沟槽下切侵蚀的工程措施缺失。

针对唐家山堰塞湖的应急处置中存在的不足,经过初步分析,唐家山堰塞湖应急处置的改进途径包括:1. 泄流槽的横断面采用复式三角形断面;2. 增大泄流槽的纵比降;3. 保护泄流槽的进、出口,控制沟道下切速度;4. 抛掷人工结构体控制沟床泄流后期下切速度。

讨论

地震堰塞湖由于其库水回淤,造成上游的淹没危害,过于快速溃决产生溃决洪水会对下游沿途造成危害。为了减轻堰塞湖对上下游造成的危害,尽快实施人工排泄,可以最小化堰塞湖风险。人工排泄须遵循“快速排泄、安全排泄”的原则。快速排泄可以减轻对上游的危害,安全排泄是要将排泄洪峰流量控制在下游区域危害最小时所能承受的范围

内。为了避免类似唐家山堰塞湖应急排泄出现的“初期排泄效率低、后期排泄太快”的结果,可以参照河流泥沙输移理论和水电工程截流^[14-15]的相关

技术来进行设计和施工,让堰塞湖的排泄过程在人工可控范围内,实现“人工可控排泄”。

“人工可控排泄”可通过3步来实现,即:1. 通过排泄纵断面和横断面的优化,设计出工程量最小、初期过流和下切能力最大为目标排泄槽形式;2. 在排泄中期,一旦出现由于巨石影响下切侵蚀发展时,可以采取人工爆破、机械清除等方法进行清障,保证泄流流量的稳定增长;3. 在排泄后期,一旦出现由于沟槽的下切侵蚀和侧蚀偏离设计、流量超过设定阈值时,可以采取抛掷人工结构体的方式稳定沟床、控制沟床的下切侵蚀,人工结构体可以为混凝土块体、加糙块石、高强度铅丝编织的铅丝笼等。

“人工可控排泄”的阈值根据上下游的社会、经济情况以及下游能承受最大流量来确定。根据目前我国防洪标准^[16],可以按照20 a一遇的洪水流量来设计,按照50 a一遇洪峰流量来校核。

“人工可控排泄”的实现需要广大科研和设计人员共同努力,可望尽快提出一套符合堰塞湖排泄处置的设计、施工规范。

参考文献 (References)

- [1] Seismological Bureau of Sichuan Province. Dìxì Earthquake in 1933 [M]. Chengdu: Science and Technology Press of Sichuan, 1983 [四川省地震局. 1933年叠溪地震 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1983]
- [2] Dai F C, Lee C F, Deng J H and Tham L G. The 1786 earthquake triggered landslide dam and subsequent dam break flood on the Dadu River, southwestern China [J]. Geomorphology, 2005, 65: 205 ~ 221
- [3] Cui Peng, Zhu Yingyan, Han Yongshun, et al. The 12 May Wenchuan earthquake induced landslide lakes: distribution and preliminary risk evaluation [J]. Landslides, 2009, 6: 209 ~ 223
- [4] Chen Xiaojing, Cui Peng, Cheng Zunlan, et al. Emergency risk assessment of dammed lakes caused by the Wenchuan earthquake on May 12, 2008 [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 244 ~ 249 [陈晓清, 崔鹏, 程尊兰, 等. 5.12汶川地震堰塞湖危险性应急评估 [J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 244 ~ 249]
- [5] Ma Guisheng, Luo Xiaojie. Forming mechanism of Tangjia Shan landslide and geologic characteristics of barrier lake dam [J]. Yangtze River, 2008, 39(22): 46 ~ 48 [马贵生, 罗小杰. 唐家山滑坡形成机制与堰塞坝工程地质特征 [J]. 人民长江, 2008, 39(22): 46 ~ 48]
- [6] Xie Zuotao, Chen Sulij. Preliminary analysis of probability of Tangjia Shan barrier dam break and scoring formation [J]. Yangtze River, 2008, 39(22): 71 ~ 73 [谢作涛, 陈肃利. 唐家山堰塞坝溃坝可能性及冲刷形式初步分析 [J]. 人民长江, 2008, 39(22): 71 ~ 73]
- [7] Liu Ning, Zhang Jianxin, Lin Wei, et al. Draining Tangjia Shan Bar

- rier Lake after Wenchuan Earthquake and the flood propagation after the dam break [J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2009, 52(4): 801~809
- [8] Chen Wuyi, Zheng Jiaxiang, Tan Jian, et al. The Proposals of Emergency and Comprehensive Treatment for Tangjia Shan Barrier Lake [J]. Water Power, 34(11): 10~14 [陈五一, 郑家祥, 谭建, 等. 唐家山堰塞湖应急排险设计及综合整治的设想 [J]. 水力发电, 34(11): 10~14]
- [9] Yang Qiufei, Li Qunjun. Technical characteristics and experience of Emergency handling for Tangjia Shan barrier lake [J]. Yangtze River, 2008, 39(22): 1~3 [杨启贵, 李勤军. 唐家山堰塞湖应急处置技术特点与体会 [J]. 人民长江, 2008, 39(22): 1~3]
- [10] Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan, et al. The uplift of the Longmenshan thrust belt and subsidence of the western Sichuan foreland basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69(3): 205~214 [刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降 [J]. 地质学报, 1995, 69(3): 205~214]
- [11] Cheng Cangji. The first study to the burst of the Piled lake on upper reaches of Minjiang river [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 2(2): 58~62 [程昌矩. 岷江上游叠溪海子溃决初析 [J]. 水土保持学报, 1988, 2(2): 58~62]
- [12] Completion of emergency dredging engineering of Tangjia Shan dammed lake [EB/OL]. <http://news.sina.com.cn/c/2008-05-31/235115657669.shtml> [唐家山堰塞湖应急疏通工程建设任务完成 [EB/OL]. <http://news.sina.com.cn/c/2008-05-31/235115657669.shtml>]
- [13] Wu Chong. HYDROLOGY No. 3 edition [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003 [吴持恭. 水力学 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003]
- [14] Zheng Shouyi. Key technical issues in the design of Stage III coffer dam and river closure of TGR [J]. Yangtze River, 2002, 33(1): 7~9 [郑守仁. 三峡工程三期围堰及截流设计关键技术问题 [J]. 人民长江, 2002, 33(1): 7~9]
- [15] Guo Hongbin, Ning Jing, Jiang Wenxiu, et al. Experimental research and engineering practice on river closure by filling up gap s bottom [J]. J. of China Three Gorges Univ. (Natural Sciences), 2007, 29(6): 481~485 [郭红民, 宁晶, 蒋文秀, 等. 大型水利工程截流龙口护 (垫) 底的试验研究及工程实践 [J]. 三峡大学学报 (自然科学版), 2007, 29(6): 481~485]
- [16] National Standard of China. Standard for flood control [S]. GB50201-94, 1994 [中华人民共和国国家标准, 防洪标准 [S]. GB50201-94, 1994]

A Discussion of Emergency Treatment of Dammed Lake Caused by “5·12” Wenchuan Earthquake

CHEN Xiaoping, CUI Peng, ZHAO Wanyu, GAO Quan

(CAS Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: Dammed lake is frequent in the secondary disasters triggered by earthquake. The Tangjia Shan lake is the largest and of the highest risk in those induced by the “5·12” Wenchuan earthquake. Although the danger has been greatly reduced by emergency treatments, it is worth further studies. According to the flood processes, the following improvements can be proposed: 1. using combinative section instead of the trapezes; 2. increasing the vertical gradient of drainage groove; 3. protecting the inlet and outlet to control the incision rate; 4. Control incision rate by artificial structures. In order to avoid the disadvantage of natural drainage, the concept of the artificial control drainage is presented. These opinions are expected to be helpful for further treatment of dammed lakes.

Key words: Wenchuan Earthquake, dammed lake, emergency treatment, Tangjia Shan