

喀喇昆仑山克亚吉尔冰川湖监测预警设计与应用

彭亮¹, 敖志刚², 陈建江³, 姜卉芳¹

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆维吾尔自治区防汛抗旱总指挥部办公室, 乌鲁木齐市 830000; 3. 新疆喀什水文水资源勘测局, 喀什 844000)

摘要: 针对喀喇昆仑山克亚吉尔冰川湖历史上发生多次溃决洪水问题, 通过在克亚吉尔冰川湖区选点布设地面监测站, 实时监测冰川湖图像、逐日气象、湖水位等7项气象水文要素数据, 获得了克亚吉尔冰川湖区地面实测资料, 直观地分析冰川湖是否形成及排泄, 提前向叶尔羌河下游发出防洪预警警报。目前, 冰川湖监测系统运行良好, 各项技术指标均满足要求。

关键词: 克亚吉尔冰川湖; 气象; 水文; 监测; 预警设计

中图分类号: TV697.2+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2014)05-0124-03

Design and application of monitoring and early warning to Kyagar glacier lake in the Karakorum mountain

PENG Liang¹, AO Zhigang², CHEN Jianjiang³, JIANG Huifang¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Office for Flood Control, Urumqi 830000;

3. Xinjiang Kashgar Hydrographic and Water Resources Survey Bureau, Kashgar 844000. China)

Abstract: Pointed at the problem of Kyagar glacial lake outburst floods (GLOF) occurred frequently in the Karakoram Mountains, the paper installed the observation stations at the Kyagar Glacier Lake which can monitor the local meteorology data, the images and Water level of the Kyagar Glacier Lake, etc. It analyzed the local climate data and images daily to know whether the Kyagar Glacier Lake forms and drains. Thus, a flood warning can early alerts to Yarkant River flood plain. The monitoring system runs well and every technical indicator meets the requirement.

Key words: Kyagar glacier lake; meteorology; hydrology; monitoring; early warning design

1 研究背景

冰川湖是由冰川挖蚀成的洼地(即冰斗 cirque)和冰碛物堵塞冰川槽谷积水而成的一类湖泊。在全球变暖背景下, 冰冻圈各类自然灾害频发, 其中冰川湖突发洪水灾害具有突发性、难预测性和规模大、危害广等特征, 严重影响着承灾区居民的生命财产安全以及交通运输、基础设施、农牧业发展乃至国防安全, 现已成为制约寒区经济社会可持续发展的重要因素之一^[1]。冰川湖分布的海拔一般较高, 全球范围内, 阿尔卑斯山区、安第斯山脉、加拿大落基山脉、喀喇昆仑山、天山和喜马拉雅山在内的许多高山区

往往是冰川湖溃决灾害的频发区和重灾区^[2-5]。喀喇昆仑山北坡叶尔羌河上游的冰川阻塞湖及其突发洪水就是典型代表, 历史上发生多次溃决洪水^[6-9]。

在近10 a里, 中国新疆维吾尔自治区叶尔羌河沿岸前后发生了5次冰川湖突发洪水(GLOF), 它损坏了基础设施, 并夺去了许多人的生命。冰川湖突发洪水威胁着生活在叶尔羌河两岸的一百多万居民, 造成的经济损失约为10亿元。2011年中国水利部(MWRC)和瑞士发展署(SDC)、联邦环境办公室(FOEN)决定启动中瑞叶尔羌河山区冰川湖洪水监测预警系统项目, 本文主要介绍旨在运用各种监测技术和实践经验来提高气候变化环境下防洪风险评估及

收稿日期: 2014-05-20; 修回日期: 2014-07-21

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2012DFA20520); 新疆自治区水文学及水资源重点学科基金项目(xjswszzydxk20101202)

作者简介: 彭亮(1978-), 男, 湖北武汉人, 硕士, 讲师, 主要从事水文学及水资源教学和研究。

通讯作者: 姜卉芳(1957-), 女, 浙江金华人, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文学及水资源教学和研究。

减灾。

2 研究区概况

叶尔羌河发源于喀喇昆仑山脉,流域集水面积为 50 248 km²,是新疆洪灾损失最多的一条河流。1999 年冰川湖突发洪水的洪峰流量超过 6 000 m³/s,形成于叶尔羌河上游约 560 km 的克亚吉尔冰川湖。由于克亚吉尔冰川拦截了河床,形成冰川湖的容积大约为 2 亿 m³。

中瑞叶尔羌河冰川湖洪水监测预警项目研究对象是冰川湖洪水,研究区域位于叶尔羌河最上游克勒青河冰川谷地,位于高海拔高寒地区,气象条件复杂,交通通达性极差,人际罕至,见图 1(3)。研究区域对于设备性能和人员要求非常高,项目难度高,风险大。

3 冰川湖监测预警站

3.1 冰川湖监测预警设计原理

在喀喇昆仑山克亚吉尔冰川湖布设监测预警站,能够实时地监测逐日气象、湖水位、图像数据,通过卫星传送到喀什水文局水情中心的叶尔羌河冰川湖监测预警平台,见图 1。根据冰川湖水位的动态变化,监视冰川湖的发生、发展、排泄全过程,智能判别溃决与否,利用溃坝洪水计算软件,推求不同溃决条件下的溃决洪水,为叶尔羌河下游洪泛区提前发出防洪预警警报。



图 1 克亚吉尔冰川湖监测站示意图^[10]

3.2 冰川湖监测设备

冰川湖监测设备主要包括气象传感器组件、两个监测摄像头、压力传感器、数据记录器、卫星调制解调器、卫星接收与发射面板、太阳能电池板及电池、避雷针、支架等,见图 1。目前冰川湖监测研究在欧洲、美国等属前沿研究领域,技术手段尚未成熟。高寒高海拔对监测设备和技术手段要求高,难度大。

本项目采用国际先进技术,在设备和模型方面与

位于前沿的瑞士合作。高海拔监测设备性能选择和测试、改进、应用以及模型引进、参数率定、结构升级实现了一体化和应用方面本土化。冰川湖监测设备其特点是监测项目的范围宽、设备多、功能较全、无人值守,可远程采集数据,但造价和后期维护费用较高。

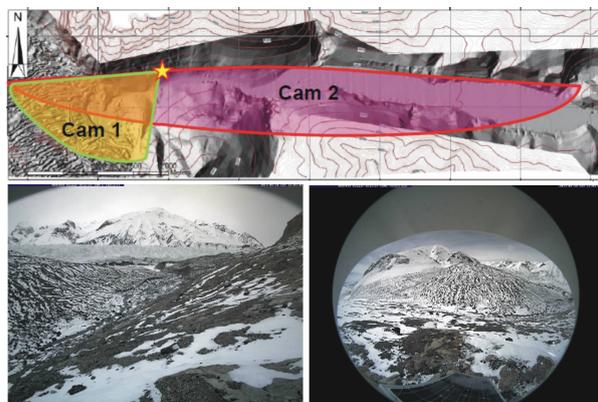
3.3 冰川湖监测设备安装

2011-2012 年中瑞考察队进行了 3 次克亚吉尔冰川路线实地考察,于 2012-08-25-09-23,中瑞克亚吉尔冰川湖考察队完成叶尔羌河上游克亚吉尔冰川湖考察和监测设备安装调试工作。冰川湖监测站安装位置在北纬 N 35°40′36.20″,东经 E77°10′56.60″,海拔高度约 4 800 m,位于冰川湖盆底以上 40 m。

冰川湖监测站布设的原则是:能监测冰川湖动态,满足冰川湖溃决洪水预报的要求,便于系统的建设和管理。安装位置选择的有利条件:①两个摄像头能拍摄到冰川湖盆地和上游河谷足够的视图;②暴露于阳光(重要的是给电池充电),雪也会融化相当快;③存在坚固的岩石固定支架;④暴露于自然灾害(崩塌,落石,泥石流)是可以承受的。

3.4 冰川湖设备监测项目

开展的监测项目主要为气温、湿度、降水、风、气压、太阳辐射、湖水位 7 项气象水文要素,监测实现对冰川湖的实时、动态、立体监测,监视冰川湖的发生、发展、排泄全过程。每个摄像机日常拍摄两张冰川湖盆地照片,读取地面水位标记,数据采集的次数可根据危险度进行调整,见图 2。气象传感器被广泛应用于世界各地,通过自动监测和实验室监测的评价结果的对比分析,两种评价结果之间误差在 10% 以内。



图中五角星为摄像头位置

图 2 两个摄像头监控视图范围

4 冰川湖监测设备的应用

从喀喇昆仑山克亚吉尔冰川湖监测预警站的运

行情况来看,可以每日自动采集气温、湿度、降水、风、气压、太阳辐射、湖水位等7项气象水文要素,系统设备可靠,监测运行的稳定性好,各项技术指标均满足要求。以2012-11-01-2014-04-30克亚吉尔冰川监测站光辐射强度、温度和湿度监测数据为例,见图3。

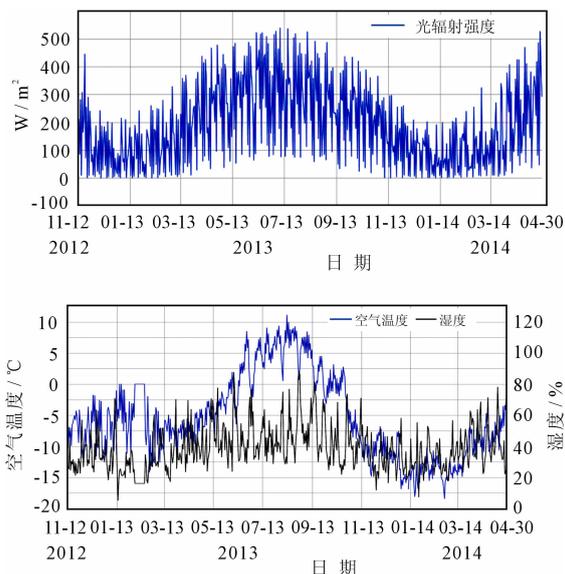


图3 2012年11月1日至2014年4月30日克亚吉尔冰川监测站光辐射强度、温度和湿度监测数据

4.1 数据传输和处理

考虑到冰川湖监测站高海拔偏远的位置和安全传输过程,监测站实时地自动通过数据采集器 Logger Data 采集数据,通过 INMARSAT BGAN 卫星传送到 GEOPRAEVENT 服务器,再传送到喀什水文局水情中心的叶尔羌河冰川湖监测预警平台,根据冰川水位的动态变化,智能判别溃决与否,利用溃坝洪水计算软件,推求不同溃决条件下的溃决洪水,从而进行溃决洪水预报。估计不同水位下的冰川湖容积,见表1。

表1 估计不同水位下潜在的冰川湖容积 m, m^3

湖水位	湖容积	湖水位	湖容积
4765	0.8	4790	7.6
4770	1.6	4795	10.2
4775	2.6	4800	13.4
4780	3.9	4805	17.2
4785	5.5	4810	21.8

气候数据和监测图像可以从服务器直接下载,决策者可以根据监测气象数据和冰川湖容积的变化启动预警方案。

4.2 监测设备维护

正常工况下,电池需要每隔3~4a更换。然而,在极端的气候条件下(气温低等)的电池寿命预计小于3a。太阳辐射传感器通常很少需要维护,长时间使用玻璃锥需要清洁和干燥剂(硅胶)需要更换。

监测站建设完成后,距离山高路远,若想持续获得监测数据发挥效益,后期需要加强运行维护费用投入。

5 结 语

通过喀喇昆仑山克亚吉尔冰川湖区监测预警设备的成功安装和监测运行,已经持续获取海拔4800m的冰川湖区约一年半的逐日气象、冰川湖水位等气象水文要素数据,监测系统设备可靠,运行良好,各项技术指标均满足要求。决策者可以根据监测气象数据和冰川湖水位的动态变化,监视冰川湖的发生、发展、排泄全过程,判断冰川湖是否形成及排泄,提前向下游发出防洪预警警报,为叶尔羌河下游洪泛区防灾减灾决策指挥提供科学依据和咨询意见。

由于冰川湖自动监测站尚处于起步阶段,及时总结冰川湖自动监测站设计与应用的经验与不足,为国内高寒山区冰川湖自动监测技术的应用提供指导与参考。今后需要进一步的工作:①引进国外最新的自动采集和传输系统,进行消化吸收,加强国产化自动监测仪的研制;②提高运行管理人员素质,了解仪器的原理、构造,掌握仪器使用、维护、保养的方法及故障排除,还应熟悉计算机,能辨别冰川湖形成及排泄等;③分析冰川湖区气温、湿度、降水、风、气压、太阳辐射、湖水位变化规律;④自动监测站距离偏远,运行维护费用高,建设单位难以负担,后期需要加强运行维护费用投入,维持自动监测站建设的良性循环。

致谢:本项目由国家国际合作专项资助,新疆水利厅防汛抗旱总指挥部办公室、新疆喀什水文水资源勘测局、塔里木河流域喀什管理局等单位协同完成。瑞士发展署(SDC)、联邦环境办公室(FOEN)也资助了本项目,Geotest公司和University of Fribourg 严谨地工作并提供了资料。对审稿专家提出的宝贵意见、编辑的辛勤工作,在此一并感谢。

(下转第131页)

际酸污染环境中的化学反应要比这持久的多,所以,酸腐蚀对冻融循环影响不大的结论仅适用于本实验,实际工程中还需进行更细致、长久的考虑。

4 结 语

通过水浸泡、酸浸泡及不浸泡处理情况下,不同冻融循环次数的不补水冻融循环试验,可以得出以下结论:

(1)酸浸泡和水浸泡后白砂岩冻融循环后峰值应力、纵波波速、相对弹性模量等力学性能都出现下降,且其力学性能的损伤在冻融循环的前期随着冻融循环次数的增加而增加,到了50次之后趋于稳定,不浸泡进行冻融循环后白砂岩的峰值应力、纵波波速、相对弹性模量等都无明显变化;

(2)不同的浸泡处理、不同循环冻融次数下白砂岩试块的应力-应变曲线在未放置垫板的情况下大致可分为压密、弹性、剪切破坏、弹性、应力软化五个阶段,在浸泡过后,试块的应变有所变大;

(3)酸侵蚀能在一定程度上加剧白砂岩的破坏,但引起白砂岩冻融破坏的主要因素为水的冻胀作用,即在干燥的环境下,试块不受冻融循环的破坏作用;

(4)本试验对寒区及酸侵蚀地区岩石工程的建设提供了一定的试验和理论依据。

参考文献:

- [1] 杨针娘,曾群柱. 冰川水文学[M]. 重庆:重庆出版社,2001.
- [2] 杨更社,蒲毅彬,马 巍. 寒区冻融环境条件下岩石损伤扩展研究探讨[J]. 实验力学,2002,17(2):220-226.
- [3] Bagde M N, Petros V. Fatigue properties of intact samples subjected to dynamic uniaxial cyclical loading[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2005,42(2):237-250.
- [4] 蒋立浩,陈有亮,刘明亮. 高低温冻融循环条件下花岗岩力学性能试验研究[J]. 岩土力学,2011,32(2):319-323.
- [5] 陈四利,冯夏庭,李邵军. 岩石单轴抗压强度与破裂特征的化学腐蚀效应[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(4):547-551.
- [6] 王 朋,陈有亮,周雪莲,等. 水中快速冷却对花岗岩高温残余力学性能的影响[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(3):54-57+63.
- [7] 李兆霞. 损伤力学及其应用[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [8] 徐光苗,刘泉声. 岩石冻融破坏机理分析及冻融力学试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(17):3076-3082.
- [9] 张慧梅,杨更社. 冻融荷载耦合作用下岩石损伤力学特性[J]. 工程力学,2011,28(5):161-165.
- [10] 丁梧秀,冯夏庭. 灰岩细观结构的化学损伤效应及化学损伤定量研究方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(8):1283-1288.

(上接第126页)

参考文献:

- [1] 刘皓国. 叶尔羌河冰川阻塞性洪水发生的气象因素[J]. 新疆气象,2005,28(2):13-15.
- [2] 孙本国,毛炜峰,冯燕茹,等. 叶尔羌河流域气温、降水及径流变化特征分析[J]. 干旱区研究,2006,23(2):203-209.
- [3] 中瑞叶尔羌河项目组. 中瑞叶尔羌河冰川湖洪水监测预警项目实施方案[R]. 喀什:项目实施报告,2012.
- [4] 张祥松,李念杰,由希尧,等. 新疆叶尔羌河冰川湖突发洪水研究[J]. 中国科学 B 辑,1989(11):1197-1204.
- [5] Hewitt K. The Karakoram anomaly Glacier expansion and the 'elevation effect', Karakoram Himalaya[J]. Mountain Research and Development, 2005, 25(4): 332-340.
- [6] 罗菊花,古力巴尔·麦提. 叶尔羌河流域水文特性分析[J]. 水文,2005,25(3):58-62.
- [7] 孙桂丽,陈亚宁,李卫红,等. 新疆叶尔羌河冰川湖突发洪水对气候变化的响应[J]. 冰川冻土,2010,32(3):580-586.
- [8] 王 迪,刘景时,胡林金,等. 近期喀喇昆仑山叶尔羌河冰川阻塞湖突发洪水及冰川变化监测分析[J]. 冰川冻土,2009,31(5):808-814.
- [9] 沈永平,丁永建,刘时银,等. 近期气温变暖叶尔羌河冰湖溃决洪水增加[J]. 冰川冻土,2004,26(2):234.
- [10] Ch. Haemmig, H. R. Keusen et al. Installation of the observation and alarming station at Kyagar Glacier Lake [R]. Swiss: Report of the field mission, 2012.