

叶尔羌河冰湖溃坝洪水早期预警 系统参数的确定方法

袁波波, 彭亮, 姜卉芳

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:近10a叶尔羌河下游洪泛区社会系统风险在上升,因此在叶尔羌河上建立了EWS。从叶尔羌河EWS自动地面监测站预警过程来看EWS是一种能有效地降低冰湖溃坝洪水灾害风险的措施。文中结合叶尔羌河历史洪水资料和调查的洪水引起的下游洪泛区的经济损失提出了一种确定EWS预警参数的方法,具有一定的精度。同时针对当前叶尔羌河下游洪泛区社会系统的脆弱性,确定出合理的预警参数。

关键词:冰湖溃坝洪水; EWS; 自动地面监测站; 预警参数; 社会系统风险

中图分类号:P343.6

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2014)06-0082-04

Method of parameter determination for early warning system (EWS) of outburst flood in glacial lake of Yarkant River

YUAN Bobo, PENG Liang, JIANG Huifang

(Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The social systems risk flood plain in downstream of Yarkant River has increased in recent years, so EWS was set up on the Yarkant river. From the warning process of EWS automatic monitoring stations on Yarkant River, EWS is an effective measure to reduce the risk of glacial lake outburst floods. Combined historical data and economic losses resulted from flood, the proposed a method to determine the warning parameters of EWS. The method has certain accuracy. However, the current vulnerability of social system in Yarkant River flood plain must also be taken into account so as to determine reasonable warning parameters.

Key words: glacial lake outburst floods; EWS; automatic monitoring station; warning parameter; risk of social system

1 研究背景

叶尔羌河冰湖溃坝洪水是由喀喇昆仑山山区冰湖的突然排泄引起的,因其难预测和流量大,对下游洪泛区造成巨大的威胁。近10a来叶尔羌河防洪受到重视,兴建和规划了许多防洪工程;同时伴随着气候变暖,叶尔羌河上游冰湖的容积一直在减少,看似叶尔羌河冰湖溃坝洪水灾害风险有降低的趋势。然而冰湖溃坝洪水灾害风险包括自然系统和社会系统的风险^[1-2]。自然系统的风险由于修建堤坝河道受到保护,相比以往确实在降低,而过去十几年叶尔羌河下游洪泛区人口密度增加了好几倍,经济产值越来越集中,社会系统的风险却在上升,因此叶尔羌河

冰湖溃坝洪水灾害风险依然存在,风险的大小变得不能确定。在此背景下,冰湖溃坝洪水早期预警系统(early warning system,简称EWS)在叶尔羌河上建立起来。

冰湖溃坝洪水早期预警系统(EWS)的研究,最早始于国外^[3-6]并且由于其预警的有效性和实用性,近几年来国内开始了初步研究^[1]。EWS一般包含两大部分,即多时段的卫星遥感监测和自动地面监测站。通过多时段的卫星遥感,定期监测冰湖的动态变化,确定冰湖潜在的风险等级。自动地面监测站可以在冰湖发生溃坝时,利用电磁波比洪水波传播快的优点,提前将预警信号发送到下游,这样就可以达到早期预警(early warning)。为了实现早期

收稿日期:2014-09-29; 修回日期:2014-10-16

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(xjswszyzdxk20101202);新疆农业大学校前期(XJAU201006)

作者简介:袁波波(1988-),男,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,研究方向:水文水资源。

通讯作者:姜卉芳(1957-),女,浙江金华人,教授,博士生导师,研究方向:水文水资源。

预警,EWS 自动地面监测站需要确定预警参数。预警参数包括预警值 Q_w 、预警流量 Q_0 和预警时间 T 。只有提前确定这些参数,EWS 才能正常启用。本文从叶尔羌河 EWS 自动地面监测站出发,首先简述其预警过程,然后结合叶尔羌河历史洪水资料和调查的洪水引起的下游洪泛区的经济损失提出了确定叶尔羌河 EWS 预警参数的一种方法。

2 叶尔羌河 EWS 自动地面监测站的预警过程

冰湖溃坝洪水具有陡涨陡落、洪峰流量大的特点。据统计叶尔羌河上的溃坝洪水洪峰流量是一般性的融雪洪水洪峰流量的 2~4.5 倍^[7],洪水涨水历时大概在 1 小时且涨水时流量会成倍的增加。正因为溃坝洪水这样的特点,当河道流量陡增,超过了一定的阈值,就可以判断出发生了冰湖溃坝洪水,这个阈值就是预警值 Q_w 。安装在河道上空的雷达获取雷达距水面距离 h ,然后通过雷达距水面距离和流量的转化关系,计算 Q_0 ,如果 Q_0 大于或等于已提前输入到监测站中的 Q_w 时,预警信号就会自动发出。预警流量 Q_0 和预警时间 T 统称为预警信号,即溃坝洪水流量和洪水到达下游洪泛区的时间。叶尔羌河自动地面监测站包含两个,分别是岔河口监测站(距离下游洪泛区 360 km)和库鲁克栏杆监测站(距离下游洪泛区 150 km)。

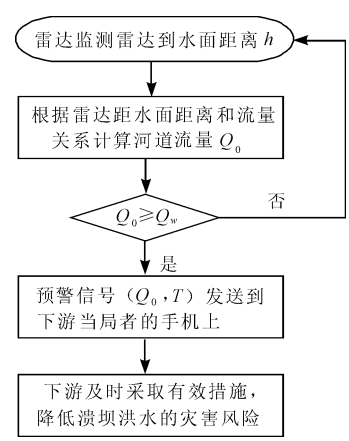


图 1 叶尔羌河 EWS 自动地面监测站预警流程图

3 叶尔羌河 EWS 预警参数的确定

3.1 预警值 Q_w 的确定

根据 2011-2012 年雷达实测的雷达到水面的距离和实测的流量数据分别做出岔河口站和库鲁克栏杆站雷达距水面距离和流量关系曲线,见图 2、3 所示。

从图 2、3 可以看出岔河口站和库鲁克栏杆站雷

达距水面距离和流量在 $Q > 1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,都满足很好的线性关系。

岔河口雷达距水面距离和流量关系式:

$$h = -0.0016Q + 23.23 \quad (1)$$

库鲁克栏杆站雷达距水面距离和流量关系式:

$$h = -0.0012Q + 11.58 \quad (2)$$

(1)、(2) 式中: h 为雷达距水面距离, m; Q 为断面流量, m^3/s 。

当雷达测出雷达距水面距离后带到(1)或(2)中可以求出河道流量。这两个转化关系要提前输入到各自的监测站中,这样转化的过程才能由监测站自动完成。

预警值 Q_w 的确定结合叶尔羌河历年的洪水资料和叶尔羌河洪水所造成的下游洪泛区经济损失。由 1961-1999 年调查的下游下游洪泛区经济损失和库鲁克栏杆站洪峰流量数据可以发现,这些数据大致可以分为两类,见图 4。图上数据点大致落在两个区域,即 I 区和 II 区。I 区流量 $Q < 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 经济损失小于 6 000 万元; II 区流量 $Q > 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 经济损失大于 6 000 万元。这里的库鲁克栏杆站的洪峰流量包含融雪和溃坝的洪峰流量,由于叶尔羌河上溃坝洪水洪峰流量大概是融雪洪水洪峰流量的 2~4.5 倍,因此 I 区代表融雪洪水, II 区代表溃坝洪水。同时也可以从图 4 看出溃坝洪水造成的经济损失和洪峰流量有很大关系,洪峰流量越大下游经济损失越大,而融雪洪水即使洪峰流量不大,当持续的时间较长时造成的经济损失可能也很大,比如 1994 年 8 月初,叶尔羌河连续 8 d 发生洪峰流量 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的融雪洪水,下游经济损失惨重。因此流量 $2\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 可以作为一个溃坝洪水和融雪洪水的分界线,库鲁克栏杆站的预警值 Q_w 取 $2\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 。

岔河口站在 2011 年之前没有实测洪水资料,采用被广泛应用的 Clague-Matthews 关系式^[1,2,8-10]对岔河口站洪峰流量进行还原。Clague-Matthews 关系式:

$$Q = c(V/10^6)^b \quad (3)$$

式中: Q 为溃坝洪峰流量, m^3/s ; V 为冰湖的容积, m^3 ; c 和 b 为常数,不同地区取值不同,叶尔羌河冰湖地区 c 的取值为 160, b 的取值为 $2/3$ ^[1,2]。Clague-Matthews 关系式是溃坝洪水洪峰流量和冰湖容积的关系,冰湖的容积 V 可以用库鲁克栏杆站的实测洪水流量计算出来, Q 就是溃坝发生地区的洪峰流量,而岔河口站位于冰湖下游,洪水波在往下游传播时会有坦化的作用^[11-12]。Clague-Matthews 关系

式能不能还原岔河口站溃坝洪水洪峰流量,可以从图 5 检验。图 5 是 Clague - Matthews 关系式计算的溃坝洪峰流量和同时期的库鲁克栏杆站溃坝洪峰流量在 1997 - 2012 年间变化曲线,从图上可以看出两条曲线变化一致,在洪峰流量大于 2 000 m³/s 时,两

条曲线差别很小,差别在 3% ~ 8%,也就是洪水波在冰湖到库鲁克栏杆站之间坦化作用很小,而冰湖到岔河口站距离更短,洪水坦化作用更小,因此 Clague - Matthews 关系式计算的溃坝洪峰流量能代表岔河口站洪峰流量。

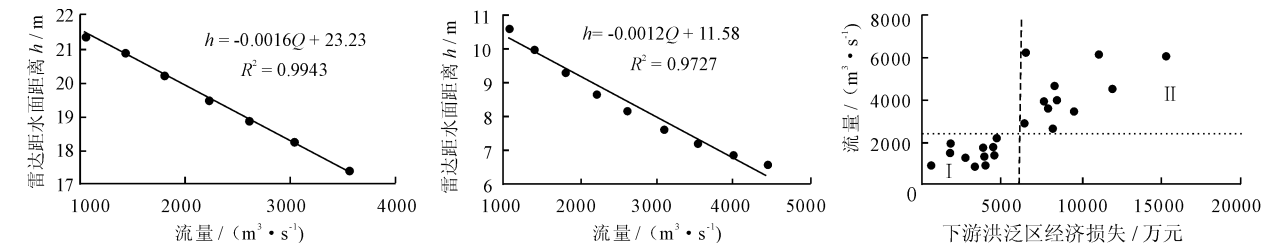


图 2 岔河口站雷达距水面距离和流量关系

图 3 库鲁克栏杆站雷达距水面距离和流量关系

图 4 下游洪泛区经济损失和库鲁克栏杆站洪峰流量关系

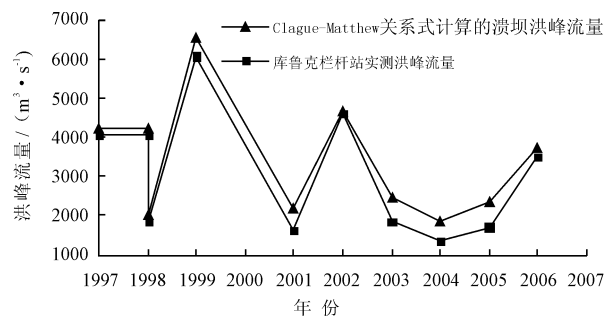


图 5 1997 - 2012 年库鲁克栏杆站溃坝洪峰流量和 Clague - Matthews 关系式计算的溃坝洪峰流量变化曲线

岔河口站预警值 Q_w 的确定采用和库鲁克栏杆站一样的方法,用 Clague - Matthews 关系式还原出岔河口站 1961 - 1999 年的溃坝洪水洪峰流量,然后结合下游经济损失就可以得出岔河口站预警值 Q_w ,岔河口站 Q_w 为 2 800 m³/s。

由于两个自动地面监测站预警值 Q_w 都确定了,再结合两个站的雷达距水面距离和流量关系,当雷达监测到水面快速上升,计算出的河道流量 $Q_0 \geq Q_w$ 时,就可以判断发生了溃坝洪水。

3.2 预警时间 T 的确定

预警信号包括两个值,即预警流量 Q_0 和洪水到达下游洪泛区的时间 T 。预警流量可以用式(1)或(2)计算出来。根据以往的研究洪水波在河道中传播的时间,除了和河道的长度有关,还和河道的比降、河床糙率及流量的级别等有关^[13-14]。如果在一段相同的河道中,由于其它影响因素相同,洪水传播时间的主要控制因素就是河道的流量^[12]。

由库鲁克栏杆站的实测洪水资料,可以得出 1997 - 2012 年 10 场溃坝洪水的洪峰流量和相应的洪峰传播到下游洪泛区的时间,见表 1。

表 1 1997 - 2012 年库鲁克栏杆站到下游洪泛区 10 场溃坝洪水洪峰传播时间表		
年份	洪峰流量/(m ³ · s ⁻¹)	传播时间 / h
1997	4040	12.3
1998	4040	12.0
1998	1850	13.0
1999	6070	11.1
2001	1630	12.3
2002	4610	11.0
2003	1860	13.4
2004	1360	12.0
2005	1720	13.5
2006	3510	11.0

对于岔河口站,用 Clague - Matthews 关系式还原出岔河口站 1997 - 2012 年 10 场溃坝洪水的洪峰流量,在确定洪峰从岔河口站传播到下游洪泛区时间时,引入另一个有实测洪水资料的喀群站,喀群站位于库鲁克栏杆站的下游。由于岔河口 - 喀群站处在高山区,且这一段河道没有支流汇入,河道断面没有发生突变,河道比降、河道的糙率等自然因素变化不大,因此在洪峰流量级别相同时,岔河口 - 喀群站洪峰传播时间和河道距喀群站的河长成正比^[13]。设岔河口站 - 库鲁克栏杆站河长为 L_1 ,库鲁克栏杆站 - 喀群站河长为 L_2 ,则岔河口站 - 喀群站洪峰传播时间是库鲁克栏杆站 - 喀群站的 $(L_1 + L_2) / L_2$ 倍。实测 $L_1 = 210$ km, $L_2 = 102$ km,喀群站具有实测洪水资料,因此岔河口站到下游洪泛区的溃坝洪水洪峰传播时间就可以确定出来,见表 2。

结合表 1、2 可以看出洪水传播时间和流量的级别有很密切的关系,在河道长度相同时流量越大,洪水传播的时间越短,反之越长。在确定洪水传播时

间上,采用洪水流量和时间分级的方法,见表 3。

表 2 1997 - 2012 年岔河口站到下游
洪泛区 10 场溃坝洪水洪峰传播时间表

年份	洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	传播时间 / h
1997	4231	30.9
1998	4231	30.3
1998	2024	33.0
1999	6530	27.3
2001	2171	30.9
2002	4460	27.0
2003	2452	34.2
2004	1871	30.0
2005	2342	34.5
2006	3718	27.0

表 3 洪水传播时间分级表

洪水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	岔河口站 传播时间/ h	库鲁克栏杆站 传播时间/ h
1000 ~ 3000	最快:31	最快:12
	最慢:34	最慢:14
3000 ~ 6000	最快:27	最快:11
	最慢:31	最慢:12

从表 3 中可以看出,从岔河口站到下游洪泛区洪水传播时间最快为 27 h,库鲁克栏杆站到下游洪泛区洪水传播时间最快为 11 h,这也就是下游洪泛区在洪水到来之前能采取行动的最短时间。洪水传播时间分级表要提前输入到自动地面监测站中,当预警流量 Q_0 计算出来后,自动地面监测站就会查询洪水传播时间分级表,同时把预警流量 Q_0 和洪水到达下游洪泛区的最快、最慢时间发送出去。

4 结 语

冰湖变化的机制非常复杂,加上气候变暖的因素,冰湖的动态变化变得越来越难预测^[1-2]。从叶尔羌河 EWS 自动地面监测站预警过程来看,EWS 是一种很有效,能大大降低冰湖溃坝洪水灾害风险的措施,但是 EWS 的正常启动需要合适的、能反映实际情况的预警参数。本文从实际情况出发,结合叶尔羌河历史洪水和调查历史洪水对下游洪泛区的经济损失数据,确定出来的预警参数能反映叶尔羌河溃坝洪水的特点,具有一定的精度。

目前冰湖溃坝洪水灾害风险中的自然风险在降低,而社会风险由于下游洪泛区面对溃坝洪水时的脆弱性、暴露性越来越突出却在上升。因此在确定 EWS 预警值 Q_w 等参数时,叶尔羌河下游洪泛区的社会系统风险也要考虑到。

由于岔河口站洪水资料的缺乏,本文在确定岔河口站预警值 Q_w 时,采用 Clague - Matthews 关系式时并没有考虑到冰湖到岔河口站洪水波的化作用,因此计算的岔河口站预警值 Q_w 会偏大;洪水波在河道中的传播时间受很多因素影响,而本文只考虑了一种主要因素,所以只给出了洪水波到达下游的最短与最长时间。

参考文献:

[1] 王世金,秦大河,任贾文. 冰湖溃决灾害风险研究进展及其展望[J]. 水科学进展,2012,23(5):735-742.

[2] 铁永波,唐 川. 冰湖溃决评价体系研究进展[J]. 水科学进展,2009,20(3): 448-452.

[3] Mool P K,Wangda D, Bajracharya S R, Inventory of glaciers,glacial lakes and glacial lake outburst floods: Monitoring and early warning systems in the Hindu Kush - Himalayan region,Bhutan[R]. Kathmandu: ICIMOD,2001: 1.

[4] Ives Jack D. Formation of glacial lakes in the Hindu Kush - Himalayas and GLOF risk assessment[M]. Kathmandu: ICIMOD,2010: 1-5.

[5] Bajracharya S R,Mool P K,Shrestha B R. Impact of climate change on Himalayan glaciers and glacial lakes: case studies on GLOF and associated hazards in Nepal and Bhutan [R]. Kathmandu: ICIMOD,2007: 119.

[6] Zaidi A Z,Yasmeen Z,Siddiqui M D. Glacial Lake Outburst Flood (GLOF) risk mapping in Hunza River Basin (Pakistan) using geospatial techniques [C]//. Rcent Advances in Space Technologies (RAST),6th International Conference on, 2013.

[7] 罗菊花,古力巴尔·麦麦提. 叶尔羌河流域水文特性分析 [J]. 水文,2005,25(3):58-62.

[8] Clarke J J, Mathews W H. The magnitude of Jokulhlau ps [J]. Journal of Glaciology,1973,12(66): 501-504.

[9] 王 欣,刘时银. 冰碛湖溃决灾害研究进展[J]. 冰川冻土,2007,29(4): 626-635.

[10] Jansky B, Sobr M,Engel Z. Outburst flood hazard: case studies from the Tien - Shan Mountains, Kyrgyzstan[J]. Limnologica: Ecology and Management of Inland Waters, 2010,40(4):358-364.

[11] 王 均. 叶尔羌河洪峰流量沿程变化分析 [J]. 黑龙江水利科技,2013,41(8):40-41.

[12] 贺 莉,傅旭东. 黄河吴堡 - 潼关河段洪水传播时间的沿程分布 [J]. 南水北调与水利科技,2012,10(1):18-21+26.

[13] 翟 媛. 河道洪水传播时间影响因素分析 [J]. 人民黄河,2007,29(8):27-28.

[14] 杨瑞恒. 河道洪水传播时间的预报方法 [J]. 水科学与工程技术,2012(6):16-19.