

新疆高山地区冰川阻塞湖引起的突发性洪水灾害*

程功弼

(南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 我国新疆地区经常发生冰川阻塞湖引起的突发性洪水灾害。通过对叶尔羌河、昆马力克河和四棵树河三条典型河流的研究, 发现可预报洪水序列与阻塞湖库容量有正相关关系。结合分析阿尔泰山、祁连山和西藏地区的地理环境特点, 认为塔里木盆地周边地区是冰湖洪水的突发区。

关键词: 新疆高山地区; 冰川阻塞湖; 突发性洪水; 混沌; 分形

中图分类号: P343.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2005)01-0045-05

中国西部整体上属于干旱区, 但也经常发生洪水灾害, 其中昆仑山地区和天山地区^[1]最为典型。在喀喇昆仑山北坡克亚吉尔特索湖下游叶尔羌河, 施维林等对冰川阻塞湖库容测量及最大洪水流量进行过计算分析^[2], 王景荣对洪水成因进行过调查与分析^[3]; 在天山南坡麦茨巴赫湖下游昆马力克河, 刘时银等对突发洪水特征及其与气候关系进行过研究^[4], 刘景时对洪水预报做过深入研究^[5]; 陈亚宁对西部地区的洪水灾害, 尤其是天山北坡的暂时性湖泊溃泄引起的洪水灾害做过多项研究^[6-10]。

西部整体地势较高, 我国 90% 以上的冰川集中分布在该地区。新疆地区总体的地形特点可以归纳为“三山夹两盆”, 其中的“三山”分别指阿尔泰山、天山、昆仑山, “两盆”指塔里木盆地和准格尔盆地。新疆地区的冰川主要分布于“三山”, 其雪线高度平均在海拔 3 000m 以上, 纬度越高雪线越低。从表 1 和图 1 可见中国西部山系和雪线分布的情况。从实地调查结果和收集的资料显示, 冰湖洪水灾害起因都在这些山系的高海拔处, 在这些地区都有季节性湖泊的遗迹或者大型湖泊的存在。只有在中国西部地区这种特殊的自然环境下, 才会产生冰湖洪水这种地区性特点很强的自然灾害。

1 冰川分布

第四纪以来, 青藏高原不断抬升, 受其影响中国

表 1 中国各山系的冰川数量分布^[12]

山系	最高峰 海拔/m	冰川条数		冰川面积		冰储量		平均面 积/km ²	冰川覆 盖度/%
		条数	%	km ²	%	km ³	%		
阿尔泰山	4 374	403	0.87	280	0.47	16	0.28	0.68	0.97
萨吾尔山	3 835	21	0.05	12	0.03	1	0.01	0.80	0.38
天 山	7 435	9 081	19.61	9 236	15.55	1 012	18.10	1.02	4.36
帕米尔	7 649	1 289	2.78	2 629	4.54	248	4.45	2.09	11.33
喀喇昆仑山	8 611	3 454	7.46	6 231	10.49	686	12.28	1.80	23.42
昆仑山	7 167	7 694	16.62	12 266	20.65	1 283	22.95	1.59	2.57
阿尔金山	6 295	235	0.51	275	0.46	16	0.28	1.17	0.49
祁连山	5 827	2 815	6.08	1 931	3.25	93	1.67	0.69	1.46
羌塘高原	6 822	958	2.07	1 802	3.03	162	2.90	1.88	0.41
唐古拉山	6 621	1 530	3.30	2 213	3.73	184	3.29	1.45	1.57
冈底斯山	7 095	3 538	7.64	1 766	2.97	81	1.45	0.50	1.16
念青唐古拉山	7 162	7 080	15.29	10 701	18.01	1 002	17.92	1.51	9.68
横断山	7 541	1 725	3.73	1 580	2.66	97	1.74	0.92	0.44
喜马拉雅山	8 848	6 475	13.99	8 412	14.16	709	12.68	1.30	4.15
合 计		46 298	100.00	59 406	100.00	5 590	100.00	1.28	2.50

* 收稿日期: 2004-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40271016)资助

作者简介: 程功弼(1980-), 男, 江苏苏州人, 硕士研究生, 从事自然地理方向研究。

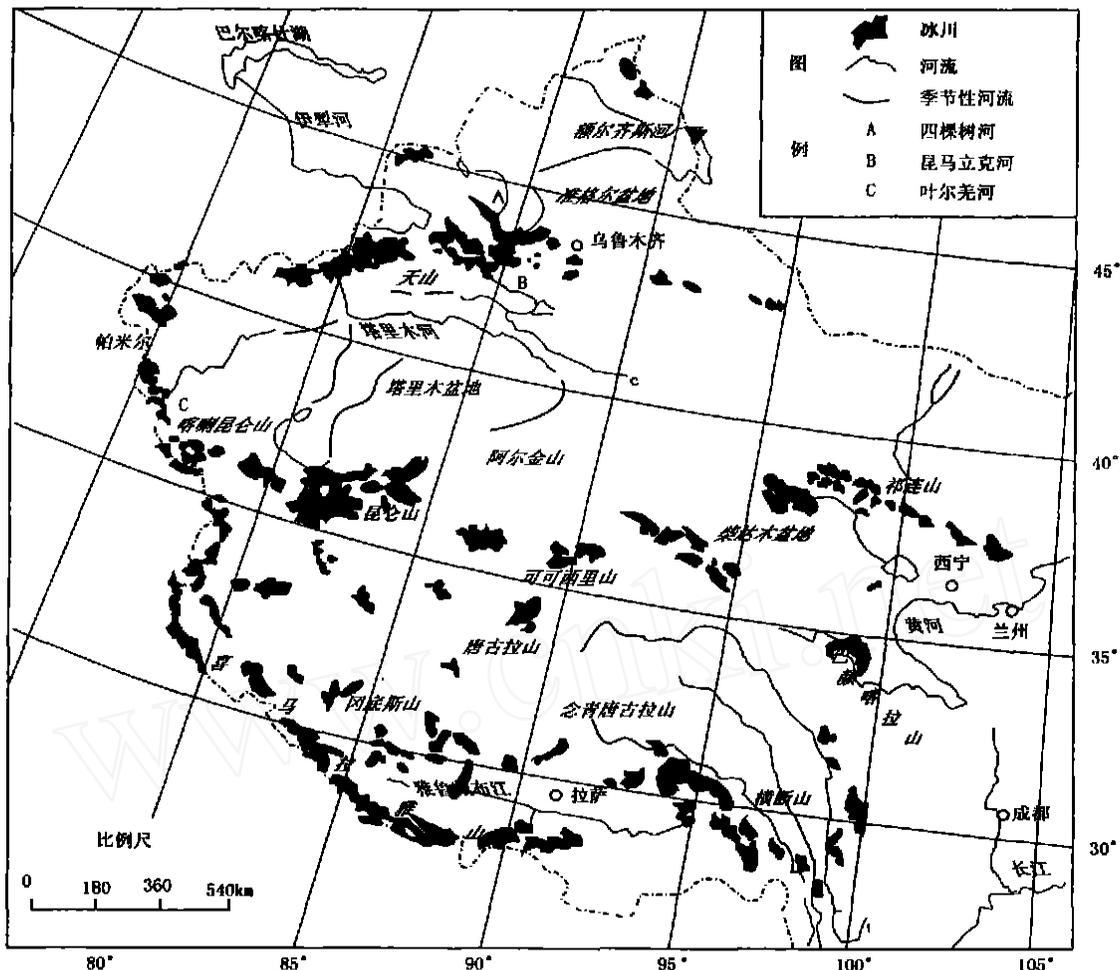


图1 中国西部山系和雪线分布图(据文献[11]改绘)

2 冰湖洪水灾害特点

冰川阻塞湖引起的突发性洪水灾害在新疆地区的发生区域比较集中。主要包括东天山-中天山-西天山整条山脉,还有阿尔金山-昆仑山-喀喇昆仑山-帕米尔高原一线,都是呈东西走向的高大山脉。发生灾害最典型的河流,有喀喇昆仑山北坡克亚吉尔特索湖下游的叶尔羌河、天山南坡麦茨巴赫湖下游的昆马力克河以及天山北坡的四棵树河。本文以此三条河流为例,根据历年的统计数据绘制在洪水暴发期间的洪峰流量对照图(图2)。

冰川阻塞湖引起突发性洪水是一种特殊类型的自然灾害。根据实地考察的结果,结合获得的资料,综合分析后发现冰湖洪水具有以下特点:

(1) 洪水时间的多变性 冰湖洪水发生时间的年际变化比较大,统计资料显示间隔时间长者达5年,短者为一年,甚至一年两次。在统计作图时,当年没有发生洪水的年份按空值记入,发生多次洪水则将数据相加之和记入。

(2) 洪水出现的突发性 根据现场目击者的描述以及新疆生态地理所工作同志的介绍,发现冰湖洪水具有发生比较突然,变化极快且历时短暂,破坏力强,洪水涨率大等特点。

(3) 洪峰流量的变异性 比较年内的洪水出现时间和洪峰流量关系,可发现洪峰流量随洪水出现季节不同而变化很大。一般情况下,发生在8~9月初的洪水,其洪峰量远高于发生在这之后的洪水。

(4) 洪水速度的差异性 以四棵树河为例,1970

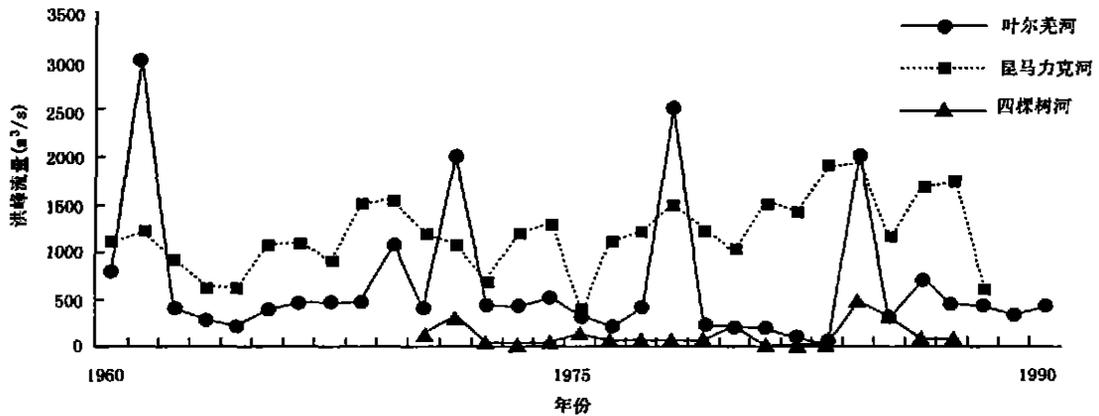


图2 三条河流冰湖洪水洪峰流量时序分布图(1960~ 1990)

~ 1987 年发生的 14 次洪水流速变化在 $1.5 \sim 5 \text{ m/s}$ 之间, 最快最慢相差 3 倍。比较洪峰流量和流速, 一般流量较大的洪水, 在河槽中的流速亦较快, 均超过 3 m/s 。但也有特殊情况, 1975 年 12 月 8 日和 1984 年 12 月 27 日两次洪水, 洪峰流量虽都较高, 而洪水流速仅为 2.5 m/s ; 1976 年 11 月 23 日洪水, 流量仅 $56.6 \text{ m}^3/\text{s}$, 而流速却超过了 3 m/s 。

(5) 洪水地区的特殊性 冰川突发性洪水发生于高山地带的冰川作用区。如叶尔羌河洪水源于其上游的克亚吉尔特索湖, 该湖是由克亚吉尔冰川阻塞与其走向垂直的克勒青河谷形成。又如昆马力克河上游的麦茨巴赫湖(位于苏联境内)是其灾害性突发洪水的主要策源地。

(6) 洪水流域的规律性 一般情况下, 在河流上源的洪水发生地, 洪水强度最大, 洪峰流量最高, 而顺河道下行, 洪水波逐渐展开, 洪峰流量随即衰减。

3 混沌和分形理论在冰湖洪水数据分析中的应用

从前面总结出的规律看, 冰湖洪水的特点突出表现在一个“变”字。这是由于高山区冰湖洪水是一种特殊而复杂的水文过程, 其具有典型的自然系统无序现象的特点。

笔者在这里应用了混沌和分形理论, 这是研究处理无序现象的一种方法。对收集的叶尔羌河、四棵河和昆马力克河的洪水数据进行分析, 计算混沌和分形特性的主要定量指标, 得出了饱和关联维数 D_2 , 最小相空间维数 m 和柯尔莫奇诺夫 (Kolmogorov) 熵的结果。

具体过程是首先重构相空间, Rodrigue -

Iruibe^[14]提出用离散的时间序列 $x(t)$ 和它的连续漂移 $x(t + \tau), x(t + 2\tau), \dots, x(t + (n - 1)\tau)$ (其中, τ 为滞时) 构建一个新的 n 维相空间(即嵌入相空间), 以代替反映系统的状态空间, 而且所构相空间的维数 m 至少应大于其状态空间的拓扑维数 d 的 2 倍, 即

$$m > 2d \quad (1)$$

为构建 m 维嵌入相空间, 可设某系统状态空间中的离散时间序列为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 若其拓扑维数 d 等于 1, 则嵌入相空间的维数 m 应至少大于 2。例如取 $m = 8$, 将 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$ 作为 8 维相空间中的第一个向量 y_1 , 然后右移一步, 将 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_9$ 作为 8 维相空间中的第二个向量 y_2 这样类推下去, 便可得到嵌入相空间的一个序列 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$ 达到构建的目的。

在所构嵌入相空间的序列 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$ 中, 设 r_{ij} 为任意两向量之差的绝对值, 即

$$r_{ij} = |y_i - y_j| \quad (2)$$

然后, 给定一个数 r_0 , r_0 的取值大小必须介于 r_{ij} 中的最大值与最小值之间, 否则便失去统计意义。适当调整 r_0 的取值大小, 可算出一组关于 $\ln r_0, \ln C(r)$ 的值。至比, 便可计算关联维数。关联维数定义为

$$D_2 = \lim_{r \rightarrow 0} \ln C(r) / \ln(r_0) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} C(r) &= \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} H(r_0 - |y_i - y_j|) \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} H(r_0 - r_{ij}) \end{aligned} \quad (4)$$

式中,

$$H(r_0 - r_{ij}) = \begin{cases} 1; & \text{当 } (r_0 - r_{ij}) \geq 0 \\ 0; & \text{当 } (r_0 - r_{ij}) < 0 \end{cases}$$

是海维赛德(Heaviside)函数。

Grassberger - Procaccia^[15]提出计算系统混沌程度的计算式为

$$K_2 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_m(r)}{C_{m+1}(r)} \quad (5)$$

τ 为滞时, $C_m(r)$ 为嵌入相空间维数为 m 时的 $C(r)$ 值; $C_{m+1}(r)$ 为嵌入相空间维数为 $m+1$ 时的 $C(r)$ 值。从理论上讲, 当 m 时, $K_2 \rightarrow K$ 。实际上, 当 m 一定大时, K_2 便趋于稳定, 可将此相对稳定值作为 K 的估计值。随着 m 的增大, 关联维数 D_2 逐渐趋于平缓; 当 m 取某个值时, 可得到饱和关联维数 D_2 。此时即为最小嵌入维数 m , 表示冰湖洪水潜在动力系统的有效自由度数目。

作图画出 K 与 m 的对应关系, 根据取得的最小嵌入维数 m 近似的估计出 K ($0 < K < \infty$), 表明冰湖洪水的时间序列具有混沌动力系统的特征, 且 $1/K$ 表示该混沌动力系统可预报洪水序列的平均长度。

将采集得到的具体数据代入以上的公式, 进行计算之后得到表 2:

表 2 三条河流的混沌和分形特性的主要定量指标

	D_2	m	K	d
叶尔羌河	3.57	9	0.040 5	25
昆马力克河	1.47	8	0.019 8	51
四棵树河	1.47	9	0.142	7

注: D_2 是饱和关联维数; m 是最小相空间维数; K 代表 Kolmogorov 熵, 说明系统内部稳定程度; d 是可预报洪水序列, 表示的是可以提前预报洪水的天数。

4 结论与讨论

笔者通过实地考察, 在总结出冰川阻塞湖引起的突发性洪水灾害的规律之后, 分析了冰湖洪水的排水机制: 冰川坝在湖水巨大静水压力作用下浮起而使湖水排出。根据水利工程学原理, 此种情况一般在水深超过冰坝高的 9/10 时发生。同时在静水压力和冰川流动所产生的剪切应力作用下, 湖水使冰产生裂隙和断裂向外扩张而排出。经过夏季冰川消融期的积累, 冰川阻塞湖的蓄水量不断增加, 直至静水压力足够大造成冰川坝的溃决, 引起洪水的暴发。

由表 2 的计算结果看三条河流的可预报洪水序列, 呈现四棵树河小于叶尔羌河小于昆马力克河的状况。分析原因, 发现四棵树流域的冰湖洪水是由上游的季节性临时冰川阻塞湖引起的, 受地形影响较大, 容易受外界因素(如气温、植被、人为因素等)干扰, 而且其蓄水量有限, 所以其可预报天数也偏短。实际调查结果显示, 叶尔羌河上游的克亚吉尔特索湖的库容量比昆马力克河上游的麦茨巴赫湖要小, 也就是说发生冰湖洪水灾害的频率和可能性前者大

于后者, 故其预报天数也来得相对较短。所以可以认为可预报洪水序列与阻塞湖库容量有正相关关系。

结合冰川分布与地区地貌状况, 分析冰川阻塞湖引起突发性洪水灾害的发生可能。笔者认为塔里木盆地周边是冰湖洪水灾害的多发地区, 尤其是天山山脉和昆仑山脉。这些山脉海拔较高, 终年积雪, 在冬季受西伯利亚冷空气影响, 积雪大量囤积; 在夏季受副热带高压的影响, 冰雪融化雪线下降。而且山脉与盆地之间的海拔落差比较大, 能够使洪水有较大的势能暴发性地冲灌到低海拔区形成灾害。从历年的记录可以发现在塔里木盆地周边地区有较多的洪水灾害发生。但在青藏高原、阿尔泰地区和祁连山等地却罕有听闻。根据笔者的分析: 青藏高原整体地势较高, 没有明显的落差, 虽然有规模的湖体较多, 但是要形成有冲击力的洪水, 缺乏大落差的地形条件; 阿尔泰地处高纬, 终年气温较低, 而且整体海拔不是很高, 要形成洪水也有一定难度; 祁连山地区蒸发量大, 冰体体积较小, 也难以形成规模性洪水。

我国西部地区虽然地广人稀, 冰川阻塞湖引起的突发性洪水灾害范围也小, 受灾地区的群众较少, 但是也不能忽视这类危害。在全球变暖的趋势下, 冰川融化速度增快, 雪线和海平面都抬高, 许多自然灾害尤其是洪水灾害的发生频率也相应提高。在西部大开发的关键时期要更加重视研究冰湖洪水灾害, 分析其在当地产生的不良影响, 建立预防和监测机制, 提高预警能力, 这对于国民经济建设有指导作用。

参考文献:

- [1] 定邦, 孙成林, 樊晏清, 等. 96 年天山北坡洪水灾害调查研究[J]. 新疆水利, 1996, (5): 5- 11.
- [2] 施维林, 杨长泰, 尤根祥, 等. 叶尔羌河上游冰川阻塞湖库容量及最大洪水流量的计算分析[J]. 干旱区地理, 1991, 14(4): 31- 35.
- [3] 刘景时. 天山南坡昆马力克河冰川阻塞湖洪水研究[J]. 干旱区地理, 1993, 16(3): 70- 74.
- [4] 王景荣. 新疆叶尔羌河冰川突发性洪水成因调查与分析[J]. 水土保持通报, 1990, 10(5): 33- 38.
- [5] 刘时银, 程国栋, 刘景时. 天山麦茨巴赫冰川湖突发洪水特征及其与气候关系的研究[J]. 冰川冻土, 1998, 20(1): 30- 35.
- [6] 陈亚宁. 新疆叶尔羌河突发洪水规律研究[J]. 自然灾害学报, 1994, 3(2): 49- 55.
- [7] 王志超, 陈亚宁. 从冰川发育规律探讨叶尔羌河突发性洪水的可能最大值[J]. 干旱区研究, 1989, 1: 56- 63.
- [8] 陈亚宁. 塔里木盆地周边灾害性洪水类型及特点[J]. 干旱区研究, 1990, 7(1): 45- 52.
- [9] 陈亚宁, 杨思全, 李卫红. 天山麦茨巴赫冰川湖突发性洪水分

- 形特征研究[J]. 冰川冻土, 1999, 21(3): 253- 256.
- [10] 陈亚宁. 天山北坡河冰湖突发洪水初探[A]. 全国山地环境与灾害学术会议论文专辑[C]. 贵阳: 贵州科学出版社, 1992: 29- 33.
- [11] 施雅风. 中国西部地区的冰川地貌[A]. 地理环境与冰川研究[C]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 王宗太, 刘潮海. 中国冰川分布的地理特征[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 231- 237.
- [13] 刘潮海, 等. 中国冰川资源分布及其分布特征——中国冰川目录编制完成[J]. 冰川冻土, 2000, 22(2): 106- 112.
- [14] Rodrigue- Iurbe et al. Chaos in rainfall. Water Resour[J]. Res, 1989, 25(7): 1667- 1675.
- [15] Grassberger P, Prociaccia I. Estimation of the kolomogorov entropy from a chaotic signal [J]. Phys. Rev. A., 1983, 28: 2591- 2593.
- [16] 周金龙. 新疆主要自然灾害的减灾对策[J]. 灾害学, 1993, 8(4): 93- 96.
- [17] 姜逢清. 20 世纪下半叶新疆洪水灾害的新趋向[J]. 灾害学, 2004, 19(2): 29- 35.
- [18] 刘景时. 天山南坡昆马克河冰川阻塞湖暴发洪水及其对河流水情的影响[J]. 干旱区地理, 1993, 16(3): 25- 30.

Rapid Onset Flood Disaster due to Glacier-Dammed Lake in Alpine Area, Xinjiang Province, Western China

CHEN G Gong-bi

(Department of City and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Xinjiang region is prone to rapid onset flood disaster due to glacier-dammed lake. The study on three typical rivers, Ye'erqiang River, Kunm alike River and Four-trees River shows that the predicable flood sequence has a positive correlation with storage capacity of glacier-dammed lake. According to an analysis on the characteristics of geographic environment of A'ertai Mountain, Qilian Mountain and Tibet, it is thought that circumjacent area of Talimu Basin is exposed to rapid onset flood by glacier-dammed lake.

Key words: alpine area in Xinjiang; glacier-dammed lake; rapid onset flood; chaos; fractal