

长江上游全新世特大洪水对西南季风变化的响应

葛兆帅

(徐州师范大学城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 利用 24 次全新世特大洪水序列与川渝地区近两千年的洪灾史料, 对长江上游特大洪水事件和气候变化的响应机制进行了分析。从长江上游特大洪水序列与阿拉伯海记录的西南季风气候变化对比分析来看, 特大洪水事件与西南季风变化具有很好的响应关系, 特大洪水事件多发生于西南季风较弱的阶段, 这些阶段以西南季风气候快速变化为特征, 是气候剧烈波动期或气候的转型期。与北大西洋、贵州董歌洞石笋所记录的气候变化比较, 特大洪水有的与全新世气候突变一致, 有的则不一致, 可能特大洪水事件更多表现为地方事件。与文献记载的历史洪灾事件相比, 长江上游低频高量级的特大洪水事件对西南季风的变化具有更好的响应关系, 而高频低量级的洪灾事件具有更高的随机性, 由于历史文献记载的洪水量级差异较大, 如果将他们笼统地放在一起分析, 可能会掩盖洪水事件对气候变化响应机制。

关键词: 特大洪水; 西南季风; 全新世; 长江上游

文章编号: 1000-0585(2009)03-0592-09

2006 年长江上游的川渝地区遭受特大旱灾, 2007 年该地区又遭遇特大暴雨洪灾, 接连出现的特大水旱灾害给长江上游地区造成了重大损失。水旱灾害是水文过程异常的直接表现, 而气候过程是水文系统的基本驱动力, 探讨水文系统异常与气候变化的关系对减轻、预防区域水旱灾害具有重要意义^[1], 揭示洪水与气候变化的关系也成为学术研究的热点^[2-7]。传统的气候模型多以长时间尺度的气候要素的平均变化为研究目标, 对于事件尺度的特大洪水与气候变化之关系的认识还远远不够^[8,9]。特大洪水作为某种气候背景下强降水事件的产物, 是水文过程对气候事件的即时响应, 本身不能反映气候要素的平均变化。但由于特大暴雨洪水事件是气候要素异常波动的结果, 因此利用定量特大洪水信息, 可以揭示特大洪水对区域气候变化的响应机制^[4,10,11]。

1 研究区概况

长江上游流域面积 100.5 万 km², 平均年径流量 4510 亿 m³。由于秦岭、大巴山的阻挡, 长江上游受冬季冷空气影响较弱, 但流域地势总体上西北高, 东南低, 有利于夏季暖湿季风气流的长驱直入, 为长江流域提供了丰富的水汽来源, 暴雨洪水成为长江上游主要的洪水类型。受地形控制, 长江上游形成川西汉王镇-峨眉山和大巴山西南侧两个暴雨多雨中心, 年降雨量超过 2000mm, 年暴雨日数超过 5 天^[12], 前者是金沙江下段、岷江、沱

收稿日期: 2008-06-15; 修订日期: 2009-03-09

基金项目: 高等学校博士点专项科研项目(20060284028); 徐州师范大学科研启动基金资助(KY2005001)

作者简介: 葛兆帅(1971-), 男, 副教授。主要从事自然地理教学与科研。

E-mail: gezhaoshuai@163.com

江和嘉陵江暴雨洪水的主要来源，后者是嘉陵江上游支流渠江、三峡间暴雨洪水的主要来源。三峡河段是长江上游洪水的唯一出口，宜昌水文站古洪水、历史洪水与实测洪水系列可以很好地反应长江上游洪水变化特征，是研究特大洪水事件对气候波动响应的理想区域。

2 资料来源

2.1 长江上游特大古洪水、历史洪水与实测洪水

宜昌水文站自 1877 年开始有水位观测记录以来的百余年中，年最大洪峰流量的多年平均值为 $51500\text{ m}^3/\text{s}^{[13]}$ ，1896 年是实测洪水系列中的首项洪水，宜昌水文站洪峰流量为 $71000\text{ m}^3/\text{s}$ ，1998 年长江发生全流域性大洪水，是近十年来造成灾害损失最大的洪水事件，宜昌水文站最大洪峰流量达到 $63300\text{ m}^3/\text{s}$ 。选择长江上游洪峰流量超过 1998 年的洪水事件，组成实测特大洪水系列。根据洪痕题刻、历史文献记载等已确定水位高程和洪峰流量的主要历史洪水年份有 1153 年、1227 年、1560 年、1613 年、1788 年、1796 年、1849 年、1860 年、1870 年，这些洪水事件在三峡河段文献记载资料丰富，造成的灾害损失重大，其中 1870 年长江上游最大历史洪水，宜昌站最高洪水位 59.14m，推测洪峰流量 $105000\text{ m}^3/\text{s}^{[14]}$ 。根据三峡河段洪水沉积恢复并重建了长江上游 10 次典型古洪水过程^[15]。历史洪水与古洪水事件的洪峰流量均超过了最大实测洪峰流量，它们与实测特大洪水事件一起构成了长江上游特大洪水系列（表 1）。

表 1 长江上游宜昌站特大古洪水历史洪水与实测洪水

Tab 1 Extreme paleoflood, historical flood and gauging flood at Yichang Hydrological Station									
序号	洪水发生年代	洪峰流量(m^3/s)	洪水类型	距今时间(cal yr B.P.)	序号	洪水发生年代	洪峰流量(m^3/s)	洪水类型	距今时间(cal yr B.P.)
1	7810±445aB.P.	94800	古洪水	8650	13	1560AD	93600	历史洪水	448
2	5700±360aB.P.	91800	古洪水	6544	14	1613AD	81000	历史洪水	395
3	4840±465aB.P.	111000	古洪水	5648	15	1788AD	86000	历史洪水	220
4	4778±373aB.P.	85600	古洪水	5639	16	1796AD	82200	历史洪水	212
5	4518±373aB.P.	96500	古洪水	5342	17	1860AD	92500	历史洪水	148
6	3983±483aB.P.	114000	古洪水	4485	18	1870AD	105000	历史洪水	138
7	2581±220aB.P.	90800	古洪水	2799	19	1896AD	71000	实测洪水	112
8	2420±295aB.P.	102000	古洪水	2423	20	1931AD	64600	实测洪水	77
9	2233±263aB.P.	98500	古洪水	2366	21	1945AD	67500	实测洪水	63
10	1937±407aB.P.	87200	古洪水	1940	22	1954AD	66800	实测洪水	54
11	1153AD	92800	历史洪水	855	23	1981AD	70800	实测洪水	27
12	1227 AD	96300	历史洪水	781	24	1998AD	63300	实测洪水	10

注：表中古洪水的发生年代为¹⁴C年代，依据 INTCAL04^[16]，将其校正为距今公历年的时间，如果校准表没有对应的¹⁴C年代值，则利用两个最为接近的年代值，采取插值法计算得出。表中距今时间均采用 2008 年为基准年，下图中与此相同。

2.2 长江上游川渝地区历史洪灾资料

根据历史文献与洪水调查资料，从 277AD 至 1949AD 的近 2000 年时间内，川渝地区的长江干流及其支流共有 165 个年份有洪灾记录，其中，长江干流洪灾 56 个年份，雅砻江 10 个年份，岷江 36 个年份，沱江 18 个年份，嘉陵江共 33 个年份，乌江 12 个年份^[17]。

3 结果分析

3.1 长江上游暴雨洪水的气候条件分析

1981 年洪水是重庆寸滩水文站自 1939 年有观测记录以来的最大洪水, 寸滩站最高洪水水位 191.41m, 洪峰流量 $85700\text{m}^3/\text{s}$, 宜昌站最高洪水水位 55.38m, 洪峰流量 $70800\text{m}^3/\text{s}$ 。形成长江上游 1981 年特大洪水的主要天气原因是 1981 年 7 月 9 日至 14 日, 川渝地区出现历时 6 天的强降水过程。雨区涉及 141 个县(市), 达暴雨标准的有 98 个县, 其过程降雨强度 10 个县超过 300mm, 31 个县(市) 超过 200mm, 28 个县(市) 超过 100mm。这次暴雨形成主要与高空稳定存在两脊一槽环流背景以及频繁生成加强的西南低涡有关, 位于西部的乌拉尔高压脊与亚洲东部高压脊之间的贝加尔湖低压槽发展加深, 孟加拉湾与印度洋的暖湿气流向北输送加强, 为这次大范围暴雨降水的形成提供了充足的水汽来源^[18]。

1998 年长江发生全流域性洪灾, 其中长江上游形成强降水的天气条件与 6~8 月在欧亚上空维持着十分稳定的两脊一槽的环流形式密切相关, 中高纬双阻塞高压形态明显, 长江流域位于宽广的槽区, 孟加拉湾长时间被十分稳定的南支槽所控制, 槽前强盛的暖湿西南季风气流携带大量水汽源源不断地向北输送, 造成长江上游大范围持续性强降水^[19]。

长江水利委员会对长江上游 100 余场暴雨事件的气候背景分析亦显示, 形成长江上游暴雨的天气系统主要是两脊一槽型环流格局与频繁活动的西南低涡^[13]。西南季风的暖湿气流源源不断的水汽输送为暴雨的维持提供了物质保证, 是长江上游大暴雨形成的主要水文气象原因。长江上游暴雨事件与活跃的西南季风之间有很好的相关性, 长江上游一定的暴雨频发期也是西南季风较为强盛的时期, 长江上游特大洪水事件是西南季风气候跃动的直接结果。

3.2 关于全新世长江上游特大古洪水

在长江上游 24 次特大洪水序列中(图 1D), 有 10 次特大古洪水事件, 将其与北大西洋气候记录(图 1A)^[20]、贵州董歌洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 所记录的全新世气候变化序列(图 1B)^[21]、阿拉伯海 *G. bulloides* 所记录的西南季风变化序列(图 1C)^[22] 进行对比分析。

8650cal yr B. P. 古洪水是长江上游全新世已知最早的特大古洪水事件, 该时期属于全新世早期升温期向全新世大暖期(8500~3000a B. P.) 的过渡阶段, 以不稳定的暖冷的温度波动为特征^[23]。这次古洪水事件发生于 Bond 事件 5、6 之间, 是大规模浮冰事件的间歇期, 董歌洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录也显示这是相对暖湿的时期, 但阿拉伯海 *G. bulloides* 所记录的西南季风处于减弱过程中一个低谷阶段(图 1), 台湾地区湖泊沉积显示 8.6ka B. P. 是东亚季风的一个重要的转型阶段, 东亚季风从一个较冷干的时期进入全新世气候暖湿的最适宜期^[24]。敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录显示, 在 8.7~8.4ka B. P. 的 300a 时间内, 气候特征表现为大幅度升温, 是气候快速跃变的过程^[25]。洱海湖泊沉积则显示了这一时期的气候向暖湿的波动^[26]。

6544cal yr B. P. 古洪水发生于 Bond 事件 4、5 之间, 董歌洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录显示这一时期是相对强度较弱的暖湿阶段, 而阿拉伯海的有孔虫数量显示西南季风处于减弱的低谷时期。青藏高原东部泥炭记录显示 6ka(6.2 cal ka B. P.) 的干冷事件是非常显著的寒冷气候突变事件^[27]。

5648cal yr B. P.、5639cal yr B. P.、5342cal yr B. P. 古洪水发生于 Bond 事件 4 时期, 北大西洋、贵州董歌洞、阿拉伯海气候记录显示, 这一时期是全球同步的气候突变事件,

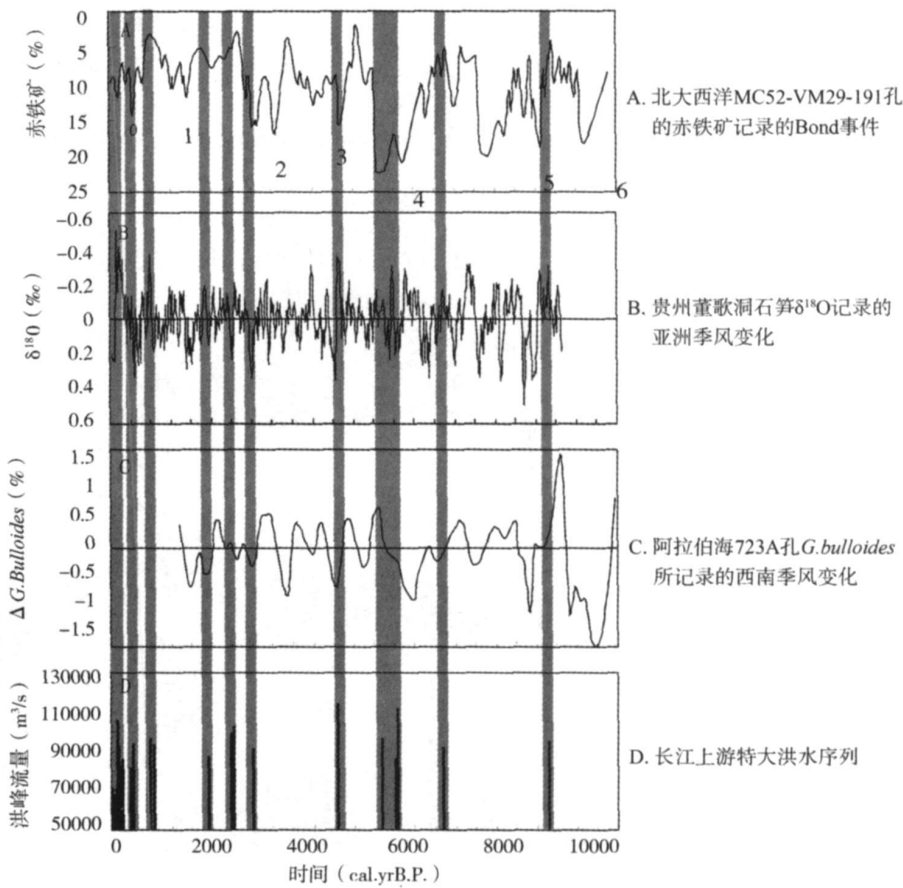


图1 长江上游全新世特大洪水与气候变化对比

Fig 1 Response of extreme floods of the Upper Changjiang Valley to the Holocene climate change

西南季风处于相对较弱的阶段。贵州白骨洞、七星洞石笋记录显示，在 5.8kaB.P. 左右， $\delta^{18}\text{O}$ 含量迅速正偏 0.4‰，亚洲季风全面衰退，气候突变特征显著^[28,29]。兹格塘错湖泊沉积物记录的 5600cal aB.P. 和错鄂湖泊沉积物记录的 5750cal aB.P. 是青藏高原中部气候由暖湿向干旱转型的阶段^[30,31]。敦德冰芯显示，6.0~5.0kaB.P. 之间，冷暖交替频繁，气温很不稳定^[24]。青藏高原东部泥炭记录显示，5.5cal kaB.P. 是气候开始变冷变干的转型阶段^[27]。

4485cal yr B.P. 古洪水是全新世长江上游已知的最大洪水事件，这是全球气候突变时期，发生于 Bond 事件 3，董歌洞石笋记录了亚洲季风较弱的低谷，阿拉伯海记录的西南季风处于弱的低谷。湖北神农架山宝洞 SB10 石笋气候变化记录显示 4.4kaB.P. 是降雨丰沛的湿润期向降水较少的干旱期的转型阶段^[32]。5000~3000aB.P. 全新世大暖期临近结束，是气候波动加剧的时期^[33]。黄土高原经历了一次较为明显的气候波动，是仰韶文化最暖期向龙山-夏-商温暖期的转型阶段^[34]。四川螺髻山与青海湖的孢粉记录亦显示了一次显著的气候降温事件^[23]。云南洱海的沉积记录指示为一个由全新世大暖期鼎盛期向冷干气候的一个转型期^[26]。

2799cal yrB.P. 古洪水发生于 Bond 事件 2 阶段, 石笋记录的亚洲季风与阿拉伯海记录的西南季风均处于弱的低谷。2423cal yrB.P.、2366cal yrB.P. 古洪水发生于 Bond 事件 1、2 之间, 而石笋记录的亚洲季风与阿拉伯海的 *G. bulloides* 记录的西南季风均是一个相对较弱的低谷。色林错沉积物揭示 2400aB.P. 是青藏高原从湿润向干旱期的一个转型阶段^[35]。

1940cal yrB.P. 古洪水也是发生于亚洲季风与西南季风较弱的阶段。该时期黄土高原的气候记录显示这一时期是春秋战国暖期向东汉南朝冷期转型的时期^[34], 公元 23 年以前, 气候以温暖为特征, 之后转而进入东汉-魏晋的寒冷期^[36, 37]。

3.3 关于长江上游特大历史洪水与实测洪水

从历史洪灾频率分布来看 (图 2C), 长江上游洪灾存在 5 个高发时期: 近 200 年左右、距今 800 年左右、距今 1100 年左右、距今 1300 年左右和距今 1800 年左右。从图 2 可以看出, 长江上游洪灾与阿拉伯海 *G. bulloides* 所揭示的西南季风强度比较, 距今 1800 年左右与近距今 200 年左右的洪灾发生在有孔虫数量较多的时期, 当时的西南季风较为强盛。而距今 800 年左右、距今 1100 年左右的洪灾高发阶段则对应西南季风的低谷。与历史文献记载的中国东部历史气候变化曲线对比, 洪灾与气温变化的对应关系也不同步, 有时高发于相对温暖的时期, 有时高发于相对寒冷时期。

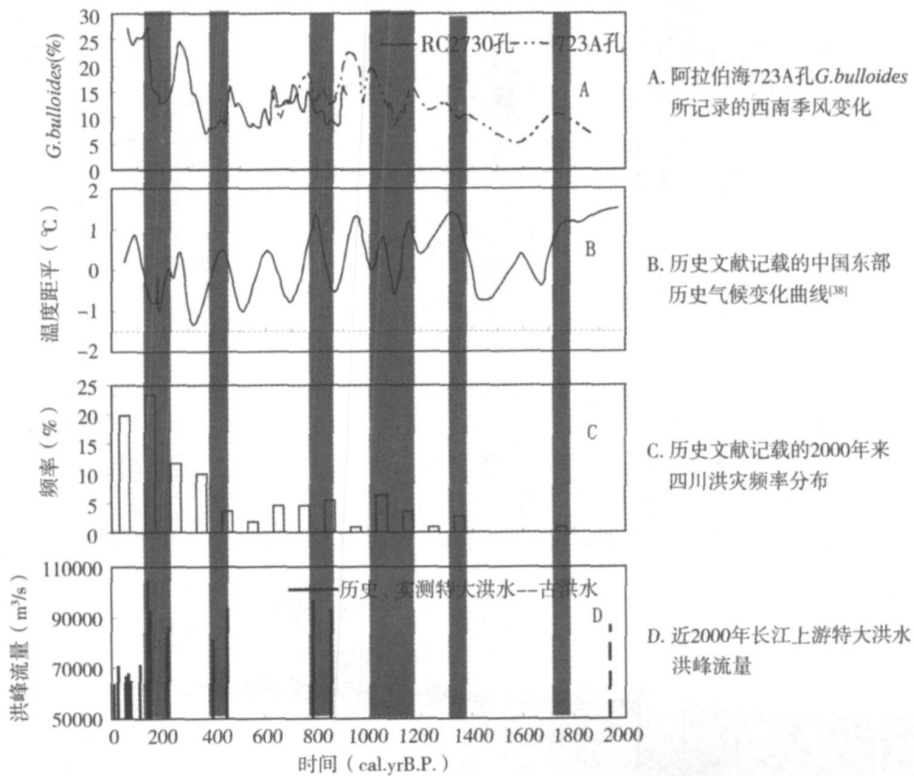


图 2 近 2000 年来长江上游大洪水特征与中国不同区域气候变化对比

Fig 2 Response of large floods features of the Upper Changjiang Valley during 2000 years to the climate change in Chinese different regions

从历史特大洪水与实测特大洪水序列来看 (图 2D), 长江上游实测最大洪水洪峰流量 $71000\text{m}^3/\text{s}$, 远小于历史洪水最低的 $81000\text{m}^3/\text{s}$ 。长江上游特大历史洪水事件主要集中在近 200 年左右 (包括 1870 年、1860 年、1796 年、1788 年的历史洪水事件)、距今 400 年左右 (包括 1613 年、1560 年的历史洪水事件) 和距今 800 年前后 (包括 1153 年、1227 年), 根据阿拉伯海 RC2730 与 723A 孔中 *G. bulloides* 记录的西南季风变化 (图 2A), 这三个时期均为西南季风相对较弱阶段, 是西南季风的突变事件。

1227 年与 1153 年历史洪水发生于五代中期~ 元前期的温暖期。1100 年~ 1300 年是长江上游历史洪水的多发期, 在历史洪灾频率分布图 (图 2C) 上表现为一个峰值。文献资料记载显示, 1230 年~ 1260 年的气候突变是近 2000 年来中国最大的气候转折^[39], 从 1230 年~ 1320 年的近一个世纪时间内, 中国东部冬半年气温下降了 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[40], 13 世纪在多个区域显示了气候干湿状态跃变^[41], 青海都兰树木年轮也清楚地指示了这一气候的转型^[42]。

1560 年、1613 年特大历史洪水事件发生于小冰期, 气温波动剧烈, 以气温波动下降为特征^[37, 38]。从气候特征看, 中国东部的气温波动剧烈, 青藏高原南部的树木年轮显示该时期是一个明显的气温下降阶段^[43], 17 世纪前后, 中国东部干湿序列出现明显跃变^[41]。

1788 年、1796 年特大历史洪水发生于全新世小冰期的鼎盛期, 气候波动剧烈^[42], 从气候对比曲线分析, 这一时期中国大陆处于气温比较低的时期, 东部气温波动下降, 青藏高原也是一个气温的低谷^[38]。贵州荔波石笋记录显示小冰期季风气候表现为由弱到强多次旋回变化, $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为 $-7.92\text{ }_{\text{‰}}$, 变化幅度较大, 特别是弱季风的表征更强^[44]。

1860 年、1870 年、1896 年都是特大洪水年。最大的洪水事件发生于 1870 年, 洪水量达到 $105000\text{m}^3/\text{s}$ 。这三次特大洪水发生于小冰期 III 冷期^[45], 历史文献记录揭示 1790 年~ 1890 年是小冰期最后的寒冷期, 之后进入小冰期结束后的升温期, 并一直持续至今, 是小冰期结束的转型阶段^[42], 1850 年前后是我国气候波动变化比较频繁的时期^[46]。

从历史特大洪水与历史洪灾关系看, 洪灾频发与特大洪水并不同步, 其中 1560 年、1613 年历史洪水事件则出现于洪灾相对较小的时期, 在距今 1100 年前后, 历史记载的洪灾相对较多, 但在历史洪水调查中没有发现特大洪水记录。

4 结论与讨论

从长江上游特大古洪水与历史洪水序列和气候变化的对比分析来看, 特大洪水事件与阿拉伯海记录的西南季风变化具有很好的响应关系, 特大洪水多发生于西南季风减弱的阶段, 该阶段多以西南季风气候快速变化为特征, 多对应于气候剧烈波动期或气候的转型期。与北大西洋、贵州董歌洞石笋所记录的气候变化比较, 特大洪水有的与全新世气候突变一致, 有的则不一致。这可能是特大洪水事件与区域水文气象过程有关, 更多表现为区域事件, 特大洪水事件对北大西洋气候变化的响应是长江上游水文循环受全球变化趋势影响的结果, 而与董歌洞石笋记录不一致, 可能与董歌洞受东亚季风与西南季风的双重作用有关。

从历史文献记载的洪灾频率分布图看, 除了 3 个特大历史洪水高发的时期外, 还存在 3 个洪灾的频发期, 分别是距今 1100 年、距今 1300 年与距今 1800 年, 而距今 400 年前

则是洪灾发生频率较小的阶段。与气候变化过程比对, 洪灾频发阶段对气候突变事件的响应关系并不显著。在洪灾频发的距今 1000 年、距今 1300 年与距今 1800 年是相对温暖的时期^[39], 可能气候暖期有利于水分的蒸发, 西南季风输送的水汽较多, 形成长江上游较多的降水, 同时可能由于气候相对稳定, 特大洪水形成的机会较少, 因此没有记录到特大洪水事件。长江上游历史文献记载的洪灾频率分布与特大洪水事件对气候变化的响应存在一定的差异, 反映了不同量级的洪水事件对气候的响应机制不同。低频高量级的特大洪水事件对气候变化具有较好的响应性, 而高频低量级的洪水事件具有更高的随机性。由于历史文献记载的洪水量级差异较大, 如果将它们笼统地放在一起分析, 可能导致对洪水事件的气候变化响应机制认识的削弱。

近几十年来, 长江上游相继发生了 1981 年、1982 年、1998 年、2007 年等特大洪水事件, 从特大洪水事件的发生气候背景看, 进入 20 世纪以来, 全球持续快速增温, 气候的不稳定性增强, 特大洪水事件可能与小冰期结束以来全球气候持续快速变暖的转型有关。在全球气候持续变暖的背景下, 长江上游出现更大的洪水事件可能性增加。另外影响洪水事件的因素很多, 特别是特大洪水与 ENSO 的关系还需进一步探讨, 人类活动对洪水的影响还有待于更多的洪水资料来解释。

参考文献:

- [1] 郑斯中. 我国历史时期冷暖年代的干旱型. 地理研究, 1983, 2(4): 32~ 40
- [2] 姚鲁峰. 全新世以来永定河洪水的发生规律. 地理研究, 1991, 10(3): 59~ 67
- [3] Baker V R. A bright future for old flows: origins, status and future of paleoflood hydrology. In Proceedings of the PHEFRA International Workshop, 2002, 13~ 18
- [4] Benito G, Sope ña A, S ñchez-Moya Y, *et al.* Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene. Quaternary Science Reviews 2003, 22(15~ 17): 1737~ 1756
- [5] Yang Dayuan, Yu Ge, Xie Yuebo, *et al.* Sedimentary records of large Holocene floods from the middle reaches of the Yellow River, China. Geomorphology, 2000, 33(1~ 2): 73~ 88
- [6] 朱诚, 于世永, 史威, 等. 南京江北地区全新世沉积与古洪水研究. 地理研究, 1997, 16(4): 41~ 48
- [7] 杨煜达, 满志敏, 郑景云. 1711~ 1911 年昆明雨季降水的分级重建与初步研究. 地理研究, 2006, 25(6): 1041 ~ 1049
- [8] Hayden B P. Flood climates. In: Baker V R, Kochel R C, Patton P C. Flood Geomorphology. New York, Wiley, 1988, 13~ 26
- [9] Knox J C. Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change. Quaternary Science Reviews, 2000, 19(1~ 5): 439~ 457
- [10] Ely L L, Enzel Z, Baker V R, *et al.* A 5000-year record of extreme floods and climate change in the southwestern United States. Science, 1993, 262: 410~ 412
- [11] Ely L L. Response of extreme floods in the southwestern United States to climatic variations in the late Holocene. Geomorphology, 1997, 19(3~ 4): 175~ 201.
- [12] 水利部长江水利委员会. 长江流域水旱灾害. 北京: 中国水利水电出版社, 2002 15
- [13] 长江水利委员会. 三峡工程水文研究. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997 11~ 120
- [14] 胡明恩, 骆承政 主编. 中国历史大洪水(下卷). 中国书店出版, 1988 151~ 203
- [15] 葛兆帅, 杨达源, 李徐生, 等. 晚更新世以来长江上游古洪水记录. 第四纪研究, 2004, 13(2): 555~ 560
- [16] Paula J R, Mike G L B, Edouard B, *et al.* INT CAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26cal kyr B P. Radiocarbon, 2004, 46(3): 1029~ 1058
- [17] 长江水利委员会, 重庆市文化局, 重庆市博物馆, 编. 四川两千年洪灾史料汇编. 北京: 文物出版社, 1993 8~ 45
- [18] 四川自然资源研究所. 1981 年四川暴雨洪灾. 成都: 四川科学技术出版社, 1984 36~ 40

- [19] 水利部水文局, 水利部长江水利委员会水文局. 1998 年长江暴雨洪水. 北京: 中国水利水电出版社, 2002 39~ 40
- [20] Bond G, Kromer B, Beer J Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene Science, 2001, 294: 2130~ 2136
- [21] Yongjin Wang, Hai Cheng R. Lawrence Edwards, *et al.* the Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic Climate Science, 2005, 308: 854~ 856
- [22] Gupta A K, Anderson D M, Overpeck J T. Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean Nature, 2003, 421: 354~ 356
- [23] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境. 中国科学(B), 1993, 23(8): 865~ 873
- [24] Selvaraj K, C T A Chen, J Y Lou Holocene East Asian monsoon variability: links to solar and tropical Pacific forcing Geophysical Research Letters, 2007, 34: L01703, doi: 10 1029/ 2006GL028155
- [25] 何元庆, 姚檀栋, 沈永平, 等. 冰芯与其它记录所揭示的中国全新世大暖期变化特征. 冰川冻土, 2003, 25(1): 11 ~ 18
- [26] 周静, 王苏民, 吕静. 洱海地区一万多年以来气候环境演化的湖泊沉积记录. 湖泊科学, 2003, 15(2): 104~ 111
- [27] 于学峰, 周卫健, Lars G. Franzen, 等. 青藏高原东部全新世冬夏季风变化的高分辨率泥炭记录. 中国科学(D), 2006, 36 (2): 182~ 187
- [28] Cai Yanjun, Zhang Meiliang, Peng Zicheng, *et al.* The $\delta^{18}\text{O}$ variation of a stalagmite from Qixing Cave, Guizhou Province and indicated climate change during the Holocene Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (22): 1904~ 1908
- [29] 吴江滢, 汪永进, 孔兴功. 贵州白骨洞石笋记录的全新世季风气候演化与突变. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26 (5): 55~ 60
- [30] 吴艳宏, Andreas L ücke, Bernd W erner, 等. 青藏高原中部全新世气候变化的湖泊沉积地球化学记录. 中国科学(D), 2007, 37(9): 1185~ 1191
- [31] 吴艳宏, 王苏民, 侯新花. 青藏高原中部错鄂全新世湖泊沉积物年代学研究. 中国科学(D), 2006, 36(8): 713 ~ 722
- [32] 邵晓华, 汪永进, 程海, 等. 全新世季风气候演化与干旱事件的湖北神农架石笋记录. 科学通报, 2006, 51(1): 80 ~ 86
- [33] 夏正楷, 王赞红, 赵青春. 我国中原地区 3500 aBP 前后的异常洪水事件及其气候背景. 中国科学(D), 2003, 33 (9): 881~ 888
- [34] 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪. 北京: 科学出版社, 1991 201~ 205
- [35] 顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印, 等. 12000 年青藏高原季风变化——色林错沉积物地球化学证据. 科学通报, 1993, 38 (1): 61~ 64
- [36] 施雅风, 姚檀栋, 杨保. 近 2000a 古里雅冰芯 10a 尺度的气候变化及其与中国东部文献记录的比较. 中国科学(D), 1999, 29(S1): 79~ 86
- [37] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁初步研究. 见: 竺可桢. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979 475~ 498
- [38] 张丕远. 中国历史气候变化. 济南: 山东科技出版社, 1996 435~ 436
- [39] 张丕远, 王铮, 张啸雷, 等. 中国近两千年来气候演变的阶段性. 中国科学(B), 1994, 24(9): 998~ 1008
- [40] Ge Quansheng, Zheng Jingyun, Fang Xiuqi, *et al.* Winter half-year temperature restructure for the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, China, during the past 2000 years The Holocene, 2003, 13 (6): 933~ 940
- [41] 张德二, 刘传志, 江剑民. 中国东部 6 区域近 1000 年干湿序列重建和气候跃变分析. 第四纪研究, 1997, 6(1): 1~ 11
- [42] 杨保, 康兴成, 施雅风. 近 2000 年都兰树轮 10 年尺度的气候变化及其与中国其它地区温度代用资料的比较. 地理科学, 2000, 20(5): 397~ 402
- [43] 吴祥定, 林振耀. 青藏高原近二千年来气候变迁初步探讨. 中央气象科学院天气气候研究所. 全国气候变化学术讨论会文集. 北京: 科学出版社, 1981 18~ 25.
- [44] 覃嘉铭, 袁道先, 林玉石, 等. 公元 8 世纪以来贵州荔波石笋高分辨率的气候变化记录. 中国岩溶, 2008, 27(3): 266~ 272
- [45] E. 布赖恩特著, 刘东生编译. 气候过程和气候变化. 北京: 科学出版社, 2004 230
- [46] 陈家其, 施雅风, 张强, 等. 从长江上游近 500 年历史气候看 1860、1870 年大洪水气候变化背景. 湖泊科学, 2006, 18(5): 476~ 483

The response of Holocene extreme floods in the Upper Changjiang River to changes of southwest monsoon

GE Zhao-shuai

(School of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Exploring the relationship between extreme floods in the Upper Changjiang River (UCR) and the southwest (SW) monsoon is of important theoretical and practical significance by means of the floods peak discharge. The climatic background of the extreme floods in the UCR was analyzed in this paper by recurring to 24 extreme Holocene floods and flood disaster data during the last 2000 years in Sichuan-Chongqing area. Summer SW monsoon is the main sources of precipitation in UCR. The flood caused by violent storm is the major flood type in UCR. The extreme floods in the UCR are related to the abnormal enhancement of SW monsoon. The analogism was employed for exploring the response of extreme floods to the Holocene climate change. The Holocene climate change information recorded in North Atlantic Ocean drilling core, Dongge stalagmite, Arabian sea drilling core and other proxies were used for analyzing the subjects. Based on the analysis of the relationship between the series of extreme floods in the UCR and the SW monsoon change during Holocene recorded by the marine core in the Arabian Sea, the extreme floods were greatly consistent with the SW monsoon change. The extreme floods event period during Holocene, characterized by the rapid climate change, were mostly the stage of strong climatic fluctuation or the climatic transition period. In comparison of the extreme floods to the climate change recorded in the North Atlantic Ocean, all the extreme flood periods are not consistent with the rapid climate change, which is similar to the scenario of the stalagmite in Dongge Cave in Guizhou Province. It is indicated that the flood event affected by the hydrologic-meteorologic process tended to be a local event. Compared with the flood disasters recorded in historical documents, the extreme floods with greater peak discharge and low frequency responded to the climate change very well, whereas the floods with small peak discharge and low frequency were more random. There were great differences in magnitude of historical floods recorded in documents. Therefore we should do analyses to distinguish these events based on the data rather than mix them up. The latter may cover up the true mechanism of the extreme floods and their responses to the climate change.

Key words: extreme floods; southwest monsoon; Holocene; the Upper Changjiang River