

1766年以来黄河中游与永定河汛期径流量的变化

潘威^{1,2}, 郑景云², 萧凌波², 闫芳芳¹

(1. 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院, 西安 710062;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 利用清代志桩涨水尺寸和雨分寸记录、近现代器测水文与降雨数据等多种资料, 重建/修正了永定河卢沟桥断面和黄河三门峡断面1766-2004年的汛期径流量 (m^3/s), 其在夏秋汛期的多年平均径流量分别为 $109.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $5121.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。并依据多年径流量平均值 ± 1 个标准差值得出了新的丰—枯水发生年表。小波分析显示两者具有较为明显的30~40年周期, 1920年之后, 永定河持续性的枯流使河流水量变化周期消失, 黄河中游的高频周期则更加发育。两者在1780-1900年存在20年尺度上的变化同步性现象, 而1840-1860年代和1890-1910年代两者出现了明显的反相位现象。从1766年以来的情况分析, 中国东部季风区进入20世纪暖期之后, 黄河中游与永定河卢沟桥以上流域的汛期降雨基本为反相关关系。

关键词: 黄河; 永定河; 径流量; 气候变化

1 引言

重建区域性水文变化过程是“全球变化”研究领域非常重要的研究内容^[1-5]。黄河与海河水系是华北地区最重要的两大地表水系统(图1), 目前都出现了长时段的下游断流现象, 对于黄河断流学界目前普遍认为这一现象首先是全球/半球尺度上气候变暖的后果^[6-9], 但缺乏从更长时间尺度上认识过去河流水文的变化事实, 这限制了学界揭示华北地区河流流量对全球性升(降)温响应方式的认识。最近一些对东部夏季风雨带推移过程的研究成果已经显示出, 小冰期末期向现代暖期的转换过程中(即1860-1930年代), 与急速升温现象相伴随的是华北地区的雨季时间明显缩短^[10]。那么, 这一现象对黄河、海河两大水系的影响是否一致? 这一问题正是认识华北地区地表水资源基本特征的关键, 而其基础正是河流径流量长时间变化序列的建立。以往研究针对黄河上中游径流量序列已经取得了一些成果^[8-15], 但针对上游河段较多, 中游流量的已有数据在重建方法上存在不足, 需要重新计算; 除黄河外, 华北地区其他河流的径流量数据尚十分缺乏, 因此, 长时段径流量数据的重建是华北地区水环境变迁研究的基础。

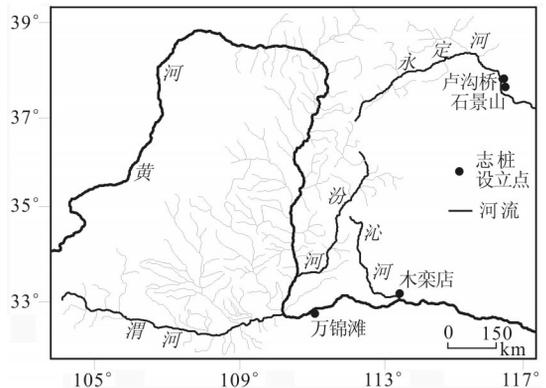


图1 研究区域

Fig. 1 Research area

收稿日期: 2012-07-26; 修订日期: 2013-03-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2010CB950100); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-01) [Foundation: National Basic Research Program of China (973 Project), No.2010CB950100; The Key Research Program of CAS, No.KZZD-EW-04-01]

作者简介: 潘威(1981-), 男, 上海宝山人, 博士, 中国地理学会会员(S110008506M), 主要研究方向为历史自然地理与历史地理信息化。E-mail: panwei@snnu.edu.cn

2 资料与方法

2.1 资料简介

2.1.1 志桩水报 1738年(乾隆三年)在今北京卢沟桥永定河与小清河分流处设置了卢沟桥志桩, 1766年(乾隆三十一年)在今河南三门峡陕县老县城北门外设置了万锦滩志桩(此地现已没入三门峡水库), 每年汛期记录涨水高度, 此类记录保留在清代河道总督及地方督抚奏报中, 成为重建过去河流水文的宝贵资料^[11]。目前, 水位志桩的原始记录已经难以获得, 所能见的记录主要保留在清代河道总督、直隶总督、两江总督以及河南、山东、江苏等地方官员的奏报中。本研究所用资料主要为: 1) 水利水电科学研究院1964年将部分黄河志桩水位记录汇编为《黄河万锦滩、碛口、沁河木栾店和伊洛河巩县清代历史洪水水情摘录(内参)》(资料1), 保留有1736-1911年的志桩水位记录, 其中万锦滩记录缺27个年份, 另有30个左右年份记录不全; 2) 黄河水利委员会在上世纪70年代末从故宫博物院复印了一批有关清代黄河防洪的奏折和上谕, 目前这批资料已经被制成卡片(资料2); 3) 《清代海河滦河洪涝档案史料》(资料3)和《清代黄河流域洪涝档案史料》(资料4), 分别保留了1736-1911年和1766-1911年有关黄河、海河流域洪涝、降水的奏折, 其中万锦滩水位记录为109个年份, 卢沟桥和石景山志桩记录为158个年份; 4) 《清实录》、《上谕档》、《朱批奏折汇编》中的相关奏报, 用以核对资料1/2/3, 另整理出21个年份; 5) 《行水金鉴》、《续行水金鉴》、《豫河志》、《豫河续志》、《南河成案》、《南河成案续编》、《永定河志》、《永定河续志》等河工档案资料整理出了15个年份。利用以上5个来源的资料整理出万锦滩(今三门峡市)1766-1911年的汛期涨水记录年表, 在Access环境下建立了数据库。

2.1.2 雨分寸 “雨分寸”是清代记载了雨水在农田中的入渗深度, 由地方官员测量后通过奏折上报中央政府。记录覆盖时段从康熙三十二年(1693年)至宣统三年(1911年), 其中1736年(乾隆元年)之后的记录最为系统。本区“雨分寸”以西安、太原、运城、临汾、洛阳5点的资料最为理想, 可以支持较为精细的降雨量序列重建工作。2005年, 郑景云等提出了黄河中下游地区“入渗深度—降雨量”的关系^[12], 得出了1736年以来黄河中下游地区的逐年降水量序列。本文对黄河中游的“雨分寸”进行了进一步的区分, 6-10月是华北各河流的主汛期时间, 流域内雨量的多寡将直接影响到黄河中游流量的丰枯状况。

2.1.3 近代器测水文记录 1912年和1918年在海河工程局和顺直水利委员会分别在永定河卢沟桥和黄河陕县(今河南三门峡市)站点设置了近代水文站, 保留下的民国时期器测数据成为重建清代径流量和1736年以来径流量序列的主要材料。1950年代, 海河流域管理委员会将清末以来天津英租界当局、永定河河务局、民国顺直水利委员会、华北水利委员会、海河管理委员会、伪华北建设总署和华北水利工程总局等多家机构的近代水文测量数据汇编为《海河流域永定河水系水文气象资料(内参)》和《黄河流域水文气象资料(内参)》。1902年海河工程局启用大沽口高程作为地区性海拔起算面标准, 称为“大沽零点”, 直到1950年代仍旧在被使用; 大沽零点比今天作为国家标准海拔

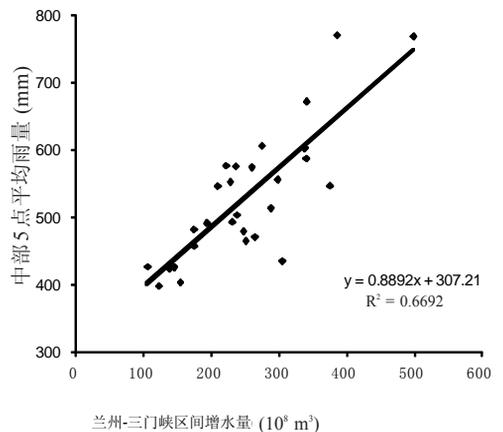


图2 1957-2004年黄河兰州—三门峡区间增水量与中游降雨量关系

Fig. 2 Correlation of Lanzhou-Sanmenxia runoff generation and precipitation over the middle reaches of Yellow River during 1957-2004

起算面的“黄海高程”高了1.163米。根据这一标准对水位数据进行了换算。

2.2 黄河三门峡断面流量修正

黄河中游的汛期径流量目前最重要的成果是王国安等人1999年重建的结果,但已有序列在重建方法和资料使用上都存在着一些问题,如王国安等利用《中国五百年旱涝图集》中的旱涝灾害模拟降雨量插补径流量^[13],这种对旱涝灾害等同于降雨量丰歉变化的理解是值得商榷的,这一做法很可能导致最后得到的径流量序列存在问题。更重要的是王国安等人所建立的“涨水高度—径流量”模型对4 m以下的涨水高度解释能力较差,其所得出的径流量数值需要修正。

具体修正方法是首先得出近50年夏秋汛期内黄河中游6站雨量与三门峡水文站径流量之间的关系;再利用文献[12]中郑景云等提出的“入渗深度—降雨量”模型计算中游6点(西安、延安、太原、临汾、运城、洛阳)1736年以来的面平均汛期降雨量;将降雨量与中游流量建立关系,在实际操作中我们发现,1957年以来中游6点的汛期雨量与兰州—三门峡区间增水量存在着较为明显的线性关系(图2)。因此,本文利用王金花等以唐乃亥断面为基流,将唐乃亥基流加上湟水流域和大红原地区树轮和兰州以上历史旱涝记录重建出了近520年来黄河兰州断面的径流量作为三门峡以上汛期流量的基流^[14-15],而兰州—三门峡区间内的增水量可以根据降雨量进行重建,这样就能获得三门峡断面的汛期径流量,如公式[1]。

$$R_{\text{三门峡}} = R_{\text{兰州}} + R_{\text{兰州—三门峡}} \quad (1)$$

这一方法能够有效得弥补原模型对累积涨水高度4 m以下处理不力的缺陷,本研究利用以上方法对原黄河三门峡断面1766年以来的汛期径流量进行了修正,主要是在王国安序列基础上将累积涨水高度不足4 m或志桩缺载数据进行插补和修正。图3是1957-2004年实测值和使用本方法求算所得模拟值的比较,两者相似度非常高,通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。修正前后的序列如图4所示。

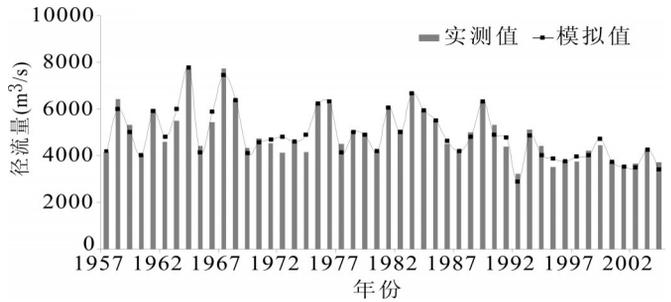


图3 1957-2004黄河三门峡断面年径流量实测值与模拟值

Fig. 3 The annual runoff of observation and simulation values at the Sanmenxia cross-section during 1957-2004

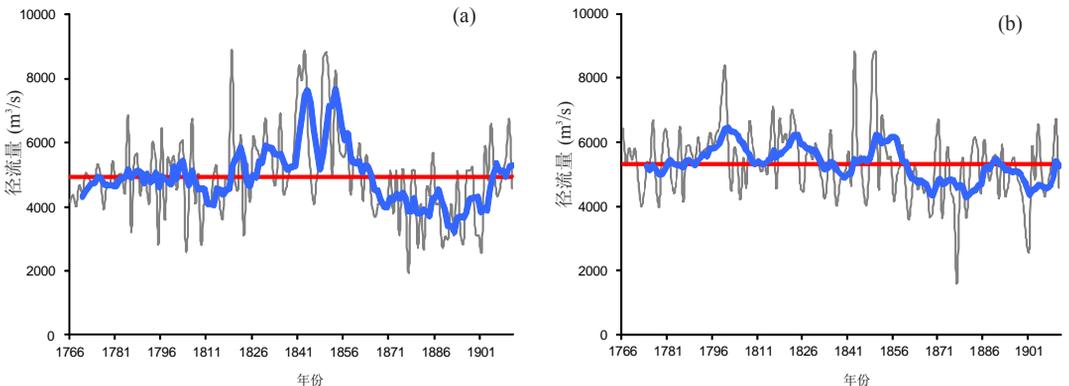


图4 三门峡断面1766-1911年汛期径流量的新旧序列(a.原序列;b.本文修正后序列。灰色线条为逐年汛期径流量,蓝色线条为其5a滑动平均,红色线条为平均流量。)

Fig. 4 The new and old runoff series at Sanmenxia station, 1766-1911 (a. The old series; b. The new series in this article. Grey line is the annual runoff, blue line is the 5a moving average, red line is inter-annual average)

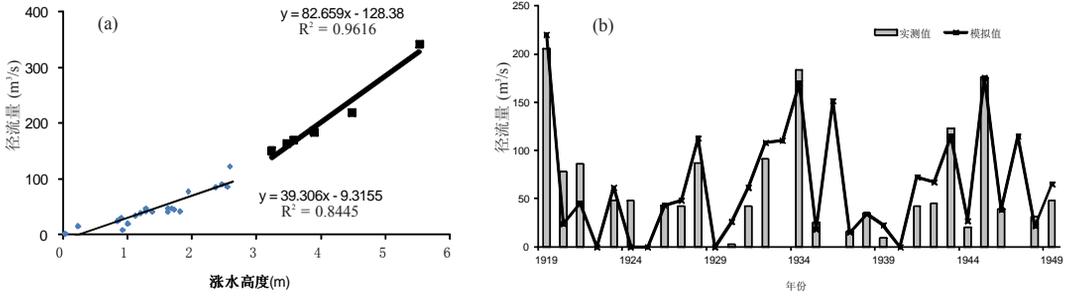


图5 永定河卢沟桥断面民国时期累计涨水高度—径流量关系及模拟结果
(a. 1919-1949年涨水高度与径流量关系; b. 1919-1949年径流量实测值与模拟值)

Fig. 5 Correlation of Lugouqiao Bridge runoff and height over Yongding River, and the observation-simulation values during 1918-1949 (a. Correlation of Lugouqiao Bridge runoff and height during 1918-1949; b. The observation-simulation values during 1918-1949)

2.3 永定河卢沟桥断面流量计算

但径流量仅保留了17个年份的数据，需要对缺失数据进行插补。涨水高度与流量存在着较为明显的线性关系，图5-a所示是3 m以上和以下累计涨水高度分别对应的径流量，模拟结果与实测结果比对如图5-b所示，通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。图5-b中显示的1916和1918年枯流现象与《中国近五百年旱涝分布图集》中反映的永定河流域严重旱灾情况相一致^[16]，进一步证明了本方法的正确性，利用图5-a中提出的“累计涨水高度—径流量”关系处理清代卢沟桥志桩数据是可行的。

3 结果与分析

图6是1766-2004年黄河三门峡断面与永定河卢沟桥断面的汛期径流量，其9年滑动平均展现了两者在多年际尺度上的波动特征，1840-1860年代和1900-1950年代两者的反相位

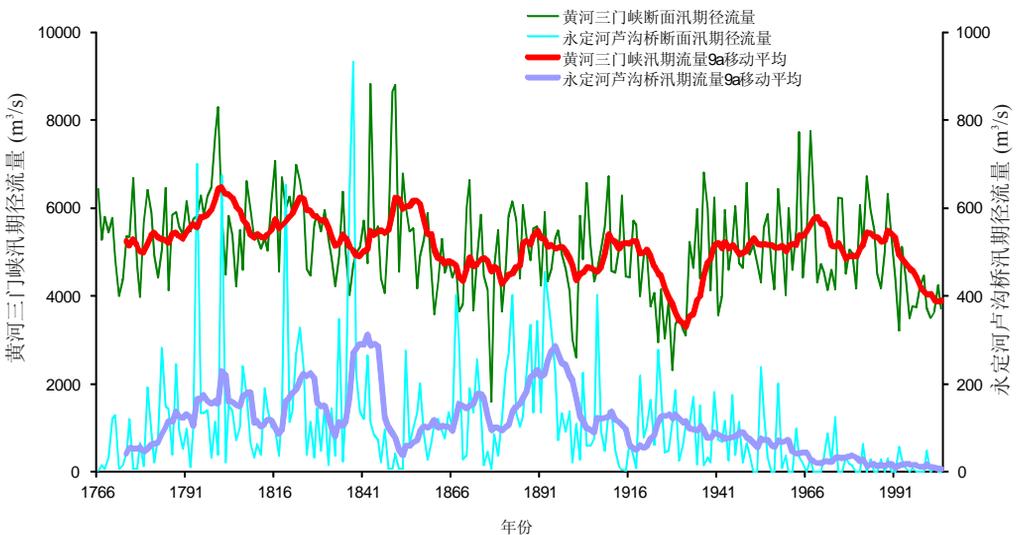


图6 1766-2004年黄河三门峡断面与永定河卢沟桥断面汛期径流量序列及9年滑动平均
Fig. 6 The annual runoff of Yellow River (Sanmenxia) and Yongding River (Lugouqiao Bridge) and the 9a moving average during 1766-2004

非常明显,而在1760-1830年代和1860-1890年代,两者呈现的却是同相位的变化。永定河上游来水除了黄土高原东北部的桑干河外,还受到京西山地暴雨的影响,这些都会对序列的解释造成一定影响,当然,从长时段来看,桑干河、洋河来水还是永定河流量丰歉的最主要因素。这反映出黄土高原中南部和西北部夏秋雨季的空间格局存在着多年代际的南北摆动和渐次北进相结合的现象。而线性趋势则清晰反映出近240年来两者总体趋于减少的现象。研究时段内,黄河(三门峡)和永定河(卢沟桥)在夏秋汛期的多年平均径流量分别为 $5121.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $109.0 \text{ m}^3/\text{s}$,标准差则分别为861.2和88.8。而近50年来两地径流量的多年平均值分别为 $R_{\text{三门峡}} = 4925.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $R_{\text{卢沟桥}} = 27.5 \text{ m}^3/\text{s}$,这直接导致了黄河进入下游河道的水量和永定河进入京津一带的水量分别减少了4.9%和79.1%,1990年代之后,这一减少现象更趋显著,黄河和永定河进入华北平原地带的水量分别减少了20.5%和90.1%。近50年来,由华北地区西部山区进入平原地区的水量平均每年减少大约2.4亿 m^3 。

Morlet小波分析显示出黄河中游与永定河径流量变化的周期性波动特征(图7),18世纪末开始,永定河径流量开始出现10年周期,这一周期延续到了1840年代;与此周期大致同时出现的是30年周期,这一周期在1860年代被40年周期代替,进入20世纪后消失;而在1880-1920年代出现的15~30年周期之后,永定河的径流量再没有出现周期性的变化,这应该是1930年代之后永定河水量持续减少以致断流的结果。而黄河中游的10年周期则稍早于永定河15年左右开始出现,两者一致的是都是在19世纪中期之前有明显的10年周期,之后这个周期便消失了,但与永定河不同的是黄河中游的10年周期在19世纪末和20世纪初以及1970-1980年代再次出现。10年周期可能是对太阳黑子活动11年准周期的响应,在世界其他河流径流量的长时段变动中也曾发现类似的现象,如南美洲的帕拉纳河和北美洲的科罗拉多河,都存在着与太阳黑子活动相一致的现象,由太阳黑子活动引起的热量变化导致的降雨多寡变化可能具有全球性特征^[17]。而黄河中游的40年周期则基本从18世纪中期持续至20世纪中期,这是黄河中游最为明显的周期性变动,这一周期可能是对太平洋年代际震荡(PDO)的响应^[18]。不同时间尺度的周期在径流量序列中交替出现的现象可能表示了太阳黑子、PDO等环境背景对黄河上中游和永定河卢沟桥以上流域的降雨格局影响具有阶段性特征。

交叉小波能够展现多序列在不同时间尺度和时间轴位置上的相关性,相对于交叉谱方法,其更能展现研究时段内黄河中游与永定河相互关系的时间性差异^[9]。按图8交叉小波则反映出1860-1900年间,二者在40年周期尺度上相互作用最为强烈,也就是说黄河中游汛期流量与永定河卢沟桥断面汛期流量存在着变化的同步性;在1780-1900年间,20年尺度的强相互作用始终存在。在更大时间尺度上(60~80a尺度上),两者并未呈现出明显的相关性,60~80a尺度上呈现的关系应该是边缘效应。黄河中游的径流量变化要早于永定河流域。在较小的30年尺度上,这一现象在1860年代之后非常明显,但1950年代后便消失了。

为了进一步明确研究对象在长时段上的丰枯现象本文采用平均值 ± 1 个标准差来划分

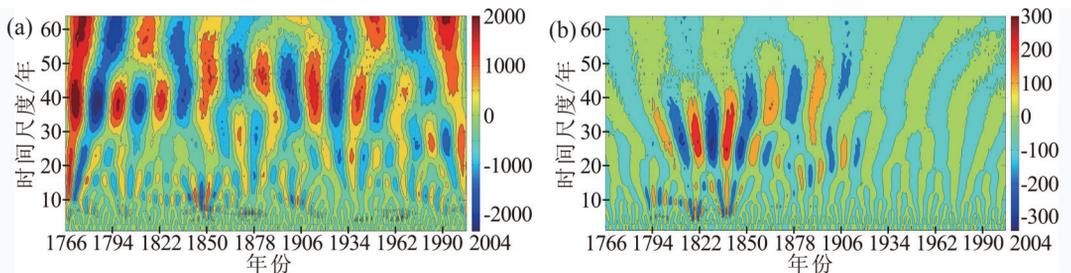


图7 1766-2004年汛期径流量的小波分析(a. 黄河三门峡段面; b. 永定河卢沟桥断面)

Fig. 7 Wavelet analysis (a. Sanmenxia station, Yellow River; b. Lugouqiao Bridge, Yongding River)

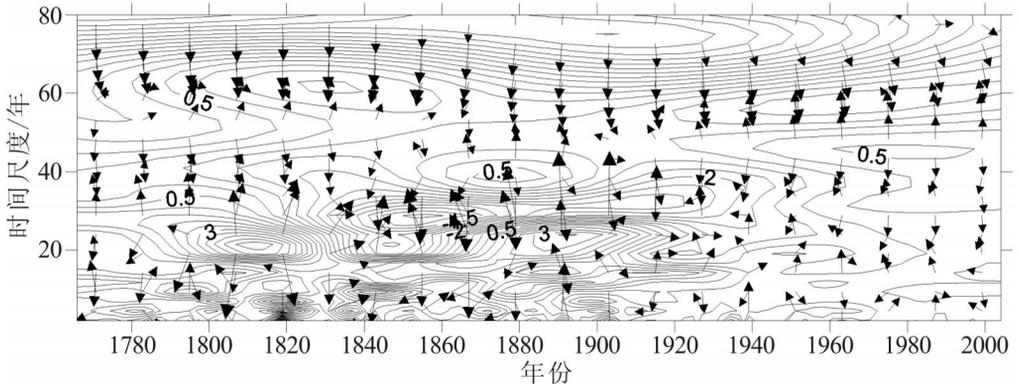


图8 1766-2004年黄河三门峡与永定河卢沟桥汛期径流量交叉小波分析

Fig. 8 Cross-wavelet analysis for the runoff of Yellow River (Sanmenxia) and Yongding River (Lugouqiao Bridge) during 1766-2004

1766-2004年黄河中游和永定河的丰—枯时段,这一方法曾经在勾晓华等针对近1234年来黄河河源段的丰枯周期划分中被使用^[8],能够清晰展现年代际尺度上的丰枯格局,划分后的丰—枯时段如表1所示。

两者反相位关系比较典型的是1840年代,此时是黄河中游的显著丰水时段,而此时却是

永定河流量偏枯的时期,从此时东部夏季风雨带自长江中下游至半湿润区北缘的情况看,此时长江中下游的梅雨持续时间缩短了2~3天^[20],黄河中游入汛时间提前了15天^[21],而半湿润区北缘的大同夏季雨季持续时间因为雨季结束时间提前而缩短了10~20天^[10]。1880年代则正好相反,永定河处于明显的丰水时段,黄河中游虽然与其变化趋势一致,但流量却没有超出丰水标准,1880年甚至出现了明显的枯水现象。

4 结论与展望

(1) 1766年以来,黄河中游三门峡断面与永定河卢沟桥断面的汛期径流量在1840-1860年代和1910-1980年代后表现出了比较明显的反相关现象,进入20世纪暖期之后,很可能副热带高压在夏季的强度增大或范围扩大至黄河中游地区,引起了黄河中游降雨量减少,而在边缘区的降雨却出现增加。这说明黄河中游流域与永定河卢沟桥以上流域的雨带分布具有明显的反相位特征,在目前及可见未来增温日益明显的气候情景下,中国东部季风区雨带一方面存在着明显的南退现象,另一方面很可能半湿润区北缘的降雨会有所增加。

(2) 近240多年来,由黄土高原进入华北平原的永定河和黄河都出现了径流量明显减少的现象,18世纪末至19世纪最初的5年,是两河同时出现丰水的时段,其余时段则都呈现了比较明显的反相关现象,在更大时间尺度上,黄河中游的降雨—径流变化要早于永

表1 1766-2004年黄河中游与永定河丰—枯年表

Tab. 1 The extreme years of the middle Yellow River and Yongding River during 1766-2004

河流	丰水时段	枯水时段
黄河	1766, 1776, 1780, 1785, 1795-1801	1861, 1868, 1869, 1872, 1877, 1880
(三门峡)	1808, 1815-1823, 1835, 1843, 1849-1852	1900, 1901, 1919, 1922-1932, 1941
	1871, 1904, 1914, 1937, 1940, 1949	1942, 1992, 1995-2004
	1958, 1964, 1967, 1968, 1975-1976	
	1983, 1989	
永定河	1784, 1788, 1794, 1801, 1819	1766-1767, 1772, 1776-1777
(卢沟桥)	1822-1824, 1834, 1837-1839, 1842	1792, 1848-1852, 1877, 1914-1916
	1853, 1867-1868, 1873, 1881-1895	1918, 1937, 1951-1952, 1956-1957
	1907, 1924, 1953	1961-1962, 1968-1970, 1975-1981
		1981-2004

定河流域,这表明在对全球/半球性的气候变化响应上,黄河流域可能更为敏感且相对易受环境影响。

(3) 本研究的径流量本身还存在着一定的不确定性,导致对“径流量—气候”关系的认识也存在着较大的不确定性。主要在于本研究方法受制于对上游来水基流和中游降雨量的长时段复原的成果,继续修正序列将是一个比较长期的工作。

参考文献 (References)

- [1] Deng Huiping, Tang Laihua. Impacts of climatic changes on hydrologic balance in Tuojiang basin, Sichuan Province, China. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(1): 42-48. [邓慧平, 唐来华. 沱江流域水文对全球气候变化的响应. *地理学报*, 1998, 53(1): 42-48.]
- [2] An Z. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19: 171-187.
- [3] IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. 2001.
- [4] Xia Jun, Tan Ge. Hydrological science towards global change: Progress and challenge. *Resources Science*, 2002, 24(3): 1-7. [夏军, 谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战. *资源科学*, 2002, 24(3): 1-7.]
- [5] Xia Jun, Liu Chunzhen, Ren Guoyu. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China. *Advances in Earth Science*, 2010, 26(1): 1-12. [夏军, 刘春霖, 任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战. *地球科学进展*, 2010, 26(1): 1-12.]
- [6] Wang Guoqing, Wang Yunzhang, Shi Zhonghai et al. Analysis on water resources variation tendency in the Yellow River. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 25(5): 396-400. [王国庆, 王云璋, 史忠海 等. 黄河流域水资源未来变化趋势分析. *地理科学*, 2001, 25(5): 396-400.]
- [7] Liu Xiaodong, An Zhisheng, Fang Jiangang et al. Possible variations of precipitation over the Yellow River Valley under the global-warming conditions. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(5): 513-519. [刘晓东, 安芷生, 方建刚 等. 全球气候变暖条件下黄河流域降水的可能变化. *地理科学*, 2002, 22(5): 513-519.]
- [8] Gou Xiaohua, Deng Yang, Chen Fahu et al. The reconstruction based on tree-rings and analysis of runoffs in the upper reaches of the Yellow River during the past 1234 years. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55: 3236-3243. [勾晓华, 邓洋, 陈发虎 等. 黄河上游过去1234年流量的树轮重建与变化特征分析. *科学通报*, 2010, 55: 3236-3243.]
- [9] Piao S, Ciais P, Huang Y et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 2010, 467: 43-51.
- [10] Ge Quansheng, Hao Zhixin, Tian Yanyu et al. The rainy season in the northwestern part of the East Asian summer monsoon in the 18th and 19th centuries. *Quaternary International*, 2011, 229: 16-23.
- [11] Pan Wei, Zhuang Hongzhong, Li Zhuolun. The flood-season hydrological change over the middle reaches of the Yellow River, 1766-1911AD. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(1): 94-100. [潘威, 庄宏忠, 李卓仑. 1766-1911年黄河中游汛期水情变化特征研究. *地理科学*, 2012, 32(1): 94-100.]
- [12] Zheng Jingyun, Hao Zhixin, Ge Quansheng. The changes of precipitation over the middle and lower reaches of the Yellow River during the past 300 years. *Science in China: Series D*, 2005, 35(8): 765-774. [郑景云, 郝志新, 葛全胜. 黄河中下游地区过去300年降水变化. *中国科学: D辑*, 2005, 35(8): 765-774.]
- [13] Wang Guo'an, Shi Fucheng, Zheng Xiuyua et al. Natural annual runoff estimation from 1470 to 1918 for Sanmenxia gauge station of Yellow River. *Advances in Water Science*, 1999, 10(2): 170-176. [王国安, 史辅成, 郑秀亚 等. 黄河三门峡水文站1470-1918年年径流量的推求. *水科学进展*, 1999, 10(2): 170-176.]
- [14] Kang Lingling, Niu Yuexian, Wang Jinhua et al. Rebuilding the natural runoff series in the nearly 500 years at the Lanzhou Station in up stream of Yellow River. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2007, 18(4): 5-8. [康玲玲, 牛越先, 王金花 等. 黄河上游兰州站近500年天然径流量序列重建. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(4): 5-8.]
- [15] Wang Jinhua, Su Fuyan, Kang Lingling et al. The changing characters and predating of the runoff over the upstream of the Yellow River at Lanzhou Station in the nearly 520 years. *Yellow River*, 2009, 31(10): 71-73. [王金花, 苏富岩, 康玲玲 等. 黄河兰州站520年汛期径流变化规律及预测. *人民黄河*, 2009, 31(10): 71-73.]
- [16] Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration. *Atlas with Yearly Charts of Dryness/Wetness in China for the Last 500 Years*. Beijing: Cartographic Publishing House, 1981. [中央气象局气象科学研究所. *中国近五百年旱涝分布图集*. 北京: 地图出版社, 1981.]
- [17] Gates W I, Boyle J S, Covey C C et al. An overview of results from the AMIP. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1999, 73: 1962-1970.

- [18] Danielle C Verdon, Stewart W Franks. Long-term behaviour of ENSO: Interactions with the PDO over the past 400 years inferred from paleoclimate records. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33, L06712, doi: 10.1029/2005GL025052.
- [19] Grinsted A, Moore J C, Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2004, 5(11): 561-566.
- [20] Ge Quansheng, Guo Xifeng, Zheng Jingyun. The changes of the plum rain over the middle and lower reaches of the Yangtze River Valley since 1736AD. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(23): 2792-2797. [葛全胜, 郭熙凤, 郑景云. 1736年以来长江中下游梅雨变化. *科学通报*, 2007, 52(23): 2792-2797.]
- [21] Pan Wei, Liu Nan, Zhuang Hongzhong. Study on the beginning time of flood season in the middle reaches of Yellow River, 1766-1911. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(5): 41-45. [潘威, 刘楠, 庄宏忠. 1766-1911年黄河中游汛期建立时间研究. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(5): 41-45.]

The relationship of nature runoff changes in flood-season of middle Yellow River and Yongding River, 1766–2004

PAN Wei^{1,2}, ZHENG Jingyun², XIAO Lingbo², YAN Fangfang¹

(1. Center for Historical Environment and Socio-Economic Development in Northwest China of Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Reconstruction of river runoff has been an important component of paleo-climatology and paleo-hydrology. The Yellow River and Yongding River are two major surface drainage systems in North China. In this paper, both of them were studied to reconstruct annual flood-season runoff from 1766 to 2004 at Sanmenxia station (Yellow River) and Lugouqiao station (Yongding River) using the water level records and Yu-Fen-Cun records in the Qing Dynasty documents and modern hydrological records. We reconstructed the annual flood-season runoff of Yellow River (Sanmenxia station) and Yongding River (Lugouqiao station), with the average of 109.0 m³/s (Yongding River) and 5121.1 m³/s (Yellow River), respectively. In this article, the extreme flood/dry years are reconstructed based on a new method. Based on the two runoff series, we find that the synchronization of the Yellow River and Yongding River existed in a specific period, and during 1840-1860s and 1890-1910s, the synchronization disappeared, and the inverse correlation was very obvious. The wavelet shows that there was a 30-year cycle in both of the rivers; however, after the 1920s the cycle disappeared in the Yongding River. On a 60-80a scale, the changing runoff of the Yellow River was earlier than that of the Yongding River. In MWP, the inverse correlation in the trend of the two rivers was more obvious. Warm period, PDO and sunspot number have affected the changes of river runoffs in North China.

Key words: Yellow River; Yongding River; runoff; climatic change