

1766年以来黄河上中游汛期径流量变化的同步性

潘 威¹, 闫芳芳¹, 郑景云², 勾晓华³

(1. 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 依据清代陕县万锦滩志桩水位记录和阿尼玛卿山祁连圆柏树轮, 分别重建器测资料之前的三门峡和唐乃亥黄河汛期径流量, 得到1766~2000年河源与中游年际分辨率的汛期径流量序列。中游与河源段流量都存在着具有明显阶段性的4~6 a周期和50 a周期, 前一周期在1820年代前后与1960年代前后一致, 而后一周期则基本贯穿两流量序列的置信区间之内。交叉小波分析显示, 两者在年代际尺度上相关性最好, 而在年际尺度上, 则有非常明显的中游变化滞后于河源3~5 a的现象。年代际规模上黄河上中游的枯流首先是自然变化的结果。

关 键 词: 黄河; 径流量; 气候变化

中图分类号: K928.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)09-1145-05

气候变化对地表水资源总量造成的影响是国际“全球变化”领域非常关注的问题, 由于各河流具有相异的气候环境背景, 因此区域性的研究成为探讨全球性“气候-水”关系的支撑。黄河上中游气候年变率较大, 温度变化造成的冰川融水量和季风进退造成的降雨量变化和雨带分布等因素皆会对黄河径流量产生影响^[1,2], 黄河上中游径流量的丰枯变化是否具有同步性指征了流域内的降雨变化, 对正确认识本段黄河的水文变化规律具有重要意义^[3,4]。在目前全球气候产生显著波动的背景下, 黄河上中游径流量变动规律的揭示不仅具有重要的科学意义, 也具有迫切的现实意义。

在揭示径流量的长时间段变化规律方面, 树木年轮和历史文献是被学界使用较多的资料。史辅成等基于清代青铜峡峡口志桩的涨水尺寸记录恢复清代部分年份的青铜峡断面汛期径流量^[5]。树轮的使用则更为广泛, 特别是近10 a来海内外学界已经重建众多河流径流量的长期变化^[6-17]。但对于黄河各时段长时段的流量变化比较仍非常缺乏, 制约了气候变化对河流流量影响方式的深入认识。

1 资料与处理

阿尼玛卿山为黄河上游主要产流区(图1), 其中唐乃亥以上流域产流量为黄河流量的40%左右, 因此, 能够很好地反映上游河源区的径流量变化趋势。勾晓华等利用阿尼玛卿山祁连圆柏树轮分别重建近593 a和近1 234 a唐乃亥断面径流量, 提出了轮宽-径流量转换方程的方差解释量为43%^[7,12], 很好地反映黄河上游流量的总体变化情况。本研究截取其1766~2000年数据。

黄河中游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^[18], 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 a汛期内黄河中游5站雨量与三门峡水文站径流量之间的关系;

收稿日期: 2012-11-03; 修订日期: 2013-01-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973计划)项目(2010CB950100)、中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-01)资助。

作者信息: 潘 威(1981-), 男, 上海宝山人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为历史自然地理与历史地理信息化。E-mail: pan-wei@snnu.edu.cn

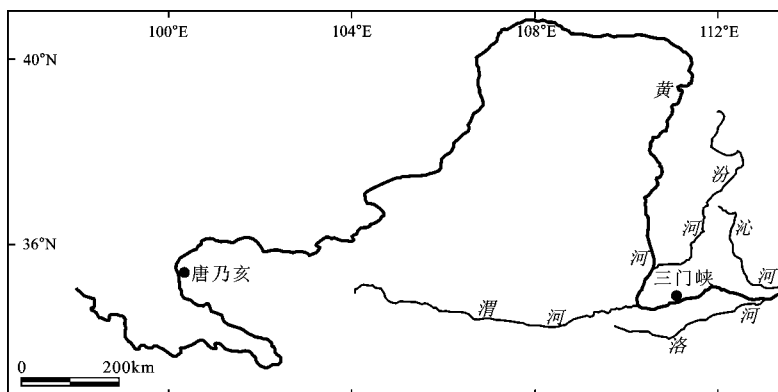


Fig.1 研究区域

Fig.1 Research Area

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5点(西安、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5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近520 a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^[9],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。图3是使用本方法得出的模拟值与实测值之间的比较,两者重合程度达到95%以上,充分证明了本方法的准确性。

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

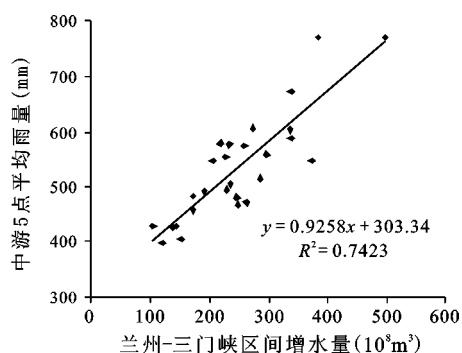


图2 1957~2004年黄河兰州-三门峡区间增水量与中游降雨量关系

Fig.2 Correlation between Lanzhou-Sanmenxia runoff generation and precipitation over middle reaches of the Huanghe River in 1957-2004

2 结果与分析

图4是唐乃亥和三门峡断面1766年以来的径流量曲线,其多年平均流量分别为 $19.94 \times 10^9 \text{m}^3$ 和 $50.78 \times 10^9 \text{m}^3$ 。这表明从多年尺度上来看,黄河河源段水量演进至三门峡断面时,所在黄土高原地区的汛期降雨量仍旧是三门峡断面流量形成的最重要因素,中游所在区域也是造成下游水患的洪峰的主要产生区域。图1发现,唐乃亥-河口段缺乏大型河流汇入黄河,因此,秦晋两省的黄河流域地区成为三门峡断面径流量的主要来源,特别是其夏秋两季的降雨量成为三门峡断面流量的决定性因素,也是黄河下游径流量的最重要组成部分。两者标准差分别为43.73(唐乃亥)和126.76(三门峡),显示出河源段流量具有更大的稳定性,这一方面是由于黄土高原地带的降雨具有极大的年际和年代际变率,另一方面也是由于扎陵、鄂陵两湖泊对河源段流量的调节。

图4的阴影部位是比较明显的反相关时段,其中,18世纪中后期至19世纪最初20 a是这种反相关现象最为明显的时期,1970年代前后这种现象也曾短期出现过,但在研究时段内,其持续时间和幅度都没有18世纪中后期至19世纪初期那么明显。在此期间内,河源区的丰水并没有造成中游断面的流量增大,而河源段流量转枯时却在这种现象只能用中游整体气候偏干,黄河干流在中游缺乏有效补给来解释,反之亦然。

图5、6发现,虽然1820年代以来黄河上中游径流量变化具有基本一致的趋势,但在周期分布上却没有表现出较为明显的一致性。两者共同具

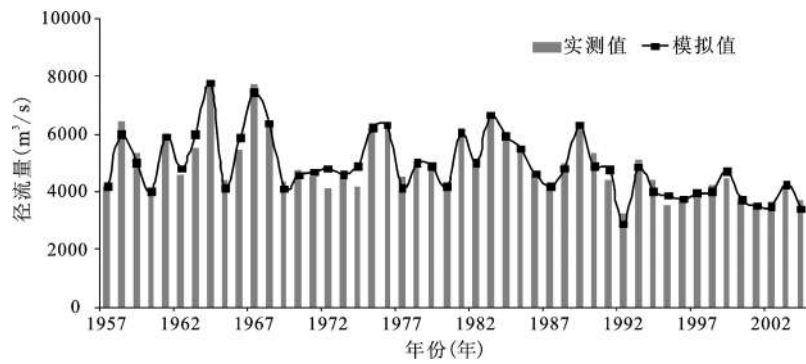


Fig.3 黄河三门峡断面 1957~2004 年径流量实测值与模拟值

Fig.3 The annual runoff of observation and simulation values of Sanmenxia section in 1957-2004

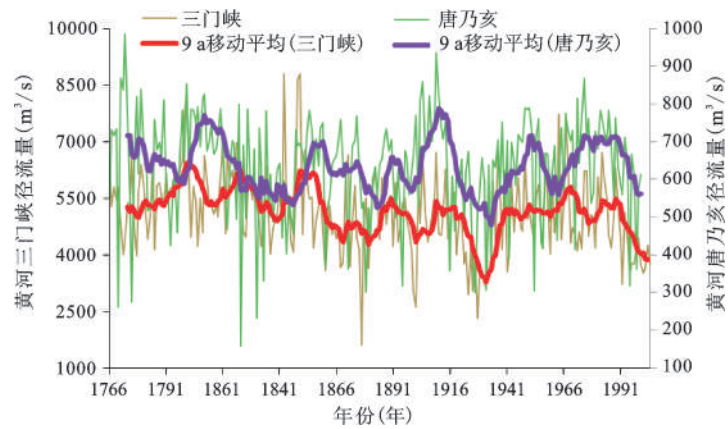


Fig.4 黄河三门峡和唐乃亥断面 1766~2000 年汛期径流量

Fig.4 The runoff (June-October) in Sanmenxia and Tangnaihai section in 1766-2000

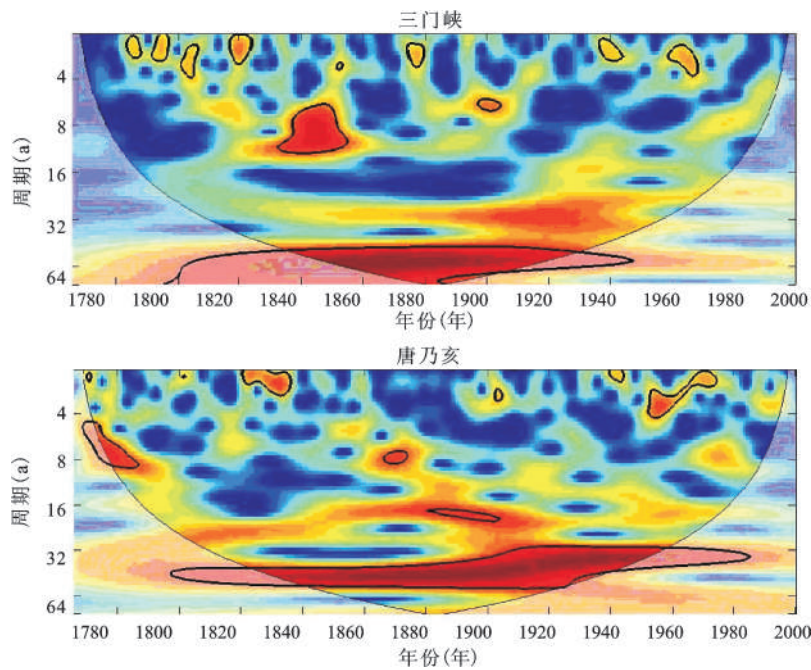


Fig.5 唐乃亥与三门峡断面 1766~2000 年径流量小波分析结果

Fig.5 Wavelet analysis of the runoff in Tangnaihai and Sanmenxia sections in 1766-2000

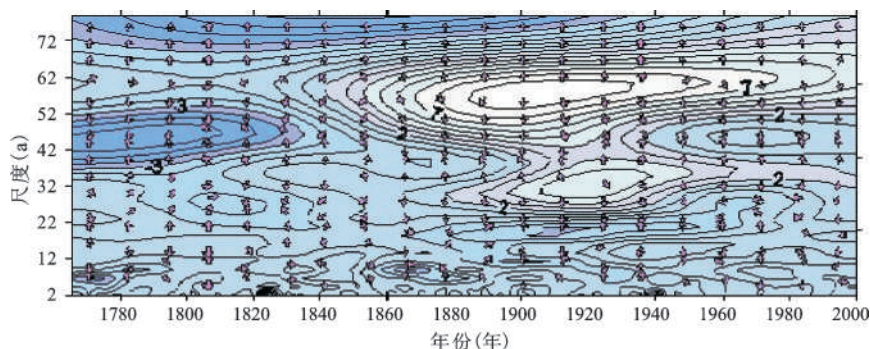


图6 针对1766~2000年唐乃亥与三门峡断面汛期径流量交叉小波分析

Fig.6 Cross-wavelet analysis of the runoff in Tangnaihai and Sanmenxia sections in 1766-2000

备的4~6 a周期在时间分布上并不完全相同,其中只有1810~1820年代和1950~1960年代两者同时表现出4~6 a周期,这表明黄河上中游流域受EN-SO现象影响可能具有阶段性特征。

交叉谱分析已经发现两者在2 a尺度上存在相关性。交叉小波能够有效分析两组数据的相关程度随时间变化情况,本研究中将唐乃亥与三门峡断面的径流量进行交叉小波分析(图6),在60~70 a尺度上,河源段流量变化领先1766~1850年,两者在40~50 a尺度上存在着比较明显的反相关现象,而1860年代开始,两者在更小的时间尺度上呈现出相关现象。交叉小波分析显示,两者在年代际尺度上相关性最好,而在年际尺度上,则有非常明显的中游变化滞后于河源3~5 a现象。

3 结 论

通过清代水位记录、雨分寸记录和树木年轮等多源资料修正学界目前存在的近300 a来黄河中游汛期径流量序列。较于之前序列,本研究结果在三门峡断面19世纪中后期纠正了流量处于长期枯水期观点。研究时段内,黄河(三门峡)在夏秋汛期多年平均径流量为 $5\,121.1\text{ m}^3/\text{s}$,标准差为861.2。而近50 a来中游径流量的多年平均值分别为 $R_{\text{三门峡}}=4\,925.4\text{ m}^3/\text{s}$,这直接导致了黄河进入下游河道的水量减少4.9%,20世纪90年代之后,这一减少现象更趋显著,黄河进入华北平原地带的水量减少20.5%左右。在此基础上发现,黄河三门峡以上区段径流量变化一致性的历史可追溯到1820年代,由此可以推断,上世纪末出现的黄河下游断流现象具有河源—中游河段流量同时大量减少的自然背景,黄河下游断流首先是气候变化的结

果。在此之前的1766~1820年河源段和中游段径流量变化呈现明显的反相关现象,这只能用当时流域内夏秋降雨量分布不均衡来解释。曾经出现的黄河产流区产流能力在较长时间段上变化不一致现象在未来气候情景下是否会再次出现,关系到流域内地表水资源分布和人工调水方式,对此现象的研究仍亟待深入。

参考文献:

- [1] 李道峰,刘昌明.分布式流域水文模型水量过程模拟——以黄河河源区为例[J].地理科学,2005,25(3):299~304.
- [2] 王国庆,王云璋,康玲玲.黄河上中游径流对气候变化的敏感性分析[J].应用气象学报,2002,13(1):117~121.
- [3] 刘晓东,安芷生,方建刚.全球气候变暖条件下黄河流域降水的变化[J].地理科学,2002,22(5):513~519.
- [4] 靳立亚,符娇兰,陈发虎.近44年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J].地理科学,2005,25(5):567~572.
- [5] 史辅成,慕平,高治定.清代青铜峡志桩考证及历年水量估算[J].人民黄河,1990,4(3):27~30.
- [6] Meko D M,Therrell M D,Baisan C H,et al.Sacramento River flow reconstructed to AD 869 from tree rings[J].J Am Water Resour Assoc,2001,37(6):1029-1040.
- [7] 李林,王振宇,汪青春.黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究[J].地理科学,2006,26(1):40~47.
- [8] Gou X,Chen F,Cook E,et al.Streamflow variations of the Yellow River over the past 593 years in western China reconstructed from tree-rings[J].Water Resour Res,2007,43(5):W6434.
- [9] Axelsson J N,Saichyn D J,Barichivich J.New reconstructions of streamflow variability in the South Saskatchewan River Basin from a network of tree ring chronologies,Alberta,Canada[J].Water Resour Res,2009,45(3):W9422.
- [10] 赵景波,蔡晓薇,王长燕.西安高陵渭河近120年来的洪水演变[J].地理科学,2007,27(2):225~231.
- [11] 秦宁生,靳立亚,时兴合,等.利用树轮资料重建通天河流域518

- 年径流量[J].地理学报,2004,59(4):550~556.
- [12] Yuan Y J, Shao X M, Wei W S, et al. The potential to reconstruct Manasi River streamflow in the northern Tien Shan Mountains [J]. Tree-Ring Res, 2007, 63(1): 81-93.
- [13] 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[J]. 科学通报, 2010, 55(33): 3236~3243.
- [14] 张同文, 王丽丽, 袁玉江, 等. 利用树轮宽度资料重建天山中段南坡巴仑台地区过去 645 年来的降水变化[J]. 地理科学, 2011, 31(2): 251~256.
- [15] 潘 威, 庄宏忠, 李卓仑, 等. 1766~1911 年黄河中游汛期水情变化特征研究[J]. 地理科学, 2012, 32(1): 94~100.
- [16] 梁国付, 丁圣彦. 气候和土地利用变化对径流变化影响研究——以伊洛河流域伊河上游地区为例[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 635~640.
- [17] 李晓刚, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游白河段万年尺度洪水水文学研究[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 971~978.
- [18] 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[J]. 水科学进展, 1999, 10(2): 170~176.
- [19] 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[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(4): 5~8.

The Synchronization of Natural Runoff Chang in Flood-season of Upper and Middle Reaches of the Huanghe River in 1766-2004

PAN Wei¹, YAN Fang-fang¹, ZHENG Jing-yun², GOU Xiao-hua³

(1. Center for Historical Environment and Socio-economic Development in Northwest China, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China; 3. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Climate change and regional development under the background of water resource decreased over the Huanghe River basin, which is under the monsoon climate control. The runoffs during flood season in the Huanghe River are about 60%-70%. Based on the water level records and Yu-Fen-Cun records in Qing dynasty documents and modern hydrological records, we reconstructed the annual flood-season runoff of middle reaches of the Huanghe River (Sanmenxia station) and the upper reaches (Tangnaihai) is based on the tree-ring width. The average of runoff is $19.94 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Tangnaihai) and $50.78 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Sanmenxia). In this article, the extreme flood/dry years are reconstructed based on a new method. Based on the two runoff series, the synchronization of the Huanghe River and the Yongding River is stagabl, and during 1840-1860s, 1890-1910s, the synchronization disappear, the inverse correlation is very obvious. The wavelet shows that there is 4a-6a cycle in both of the 2 stationgs, In MWP, the trend of the Huanghe River inverse relationship is more obvious. Rain-fed agriculture is the most important economy part of China during the past thousands of years, while rainy summer and autumn leads to rivers flood, so in history Chinese government must predominate the flood to avoid the agricultural loss. Wavelet shows that there is a 50 year cycle in the runoff series. The results show that: the runoff in the middle reaches of the Huanghe River has interannual and interdecadal oscillations like 6-8 years, quasi-22 years and 50 years. The determination of the quasi-22 years is linked to the changing of Wolf Sunspot Numbers. The solar activity is significant during the 1830s. ENSO event is negative with the changing of natural runoff at the inter-annual scale. There is a low-flow period in the last 4 eras of LIA, and it has been the longest low-flow period since 1766. The summer is the key reason for the changing of flood season beginning time for the unstable rainband moving from the middle and lower reaches of the Changjiang River to the middle reaches of the Huanghe River.

Key words: the Huanghe River; runoff; climate change