

# 黄河三花间年径流量变化规律<sup>\*</sup>

朱业玉<sup>1\*</sup> 李群山<sup>2</sup> 白会民<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 河南省气候中心, 郑州 450003; <sup>2</sup> 许昌市气象局, 河南许昌 461000; <sup>3</sup> 洛阳市气象局, 河南洛阳 471000)

**摘 要** 利用 1956—2007 年黄河中游三门峡-花园口区间(简称“三花间”区)4 个水文站的实测年径流量资料,采用趋势分析、小波分析等统计方法,探讨了三花间区年径流量的变化特征。结果表明:三花间年径流量的总体变化呈减少趋势;年径流量大体上经历了 2 个丰水阶段和 2 个枯水阶段的交替变化,转折点出现在 1969、1982 和 1987 年;年径流量的时频变化则以 25 a 或 2~8 a 的周期变化为主。

**关键词** 三花间区;径流变化;趋势分析

中图分类号 TV121 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)12-2503-05

**Variation patterns of annual runoff in Sanhuajian basin of Yellow River.** ZHU Ye-yu<sup>1</sup>, LI Qun-shan<sup>2</sup>, BAI Hui-min<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Climate Center of Henan Province, Zhengzhou 45003, China; <sup>2</sup>Xuchang Meteorological Bureau, Xuchang 461000, Henan, China; <sup>3</sup>Luoyang Meteorological Bureau, Luoyang 471000, Henan, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(12): 2503–2507.

**Abstract**: Based the 1956–2007 annual runoff data from four hydrological stations in the middle reaches of Yellow River from Sanmenxia to Huayuankou (Sanhuajian basin), and by using the statistical methods of trend analysis and wavelet transform, this paper studied the variation characteristics of annual runoff in the basin. There was a distinct decreasing trend of the annual runoff in the basin. On the whole, the annual runoff experienced an alternation of two wet and two dry periods, whose turn points occurred at 1969, 1982, and 1987. The time-frequency variation of the annual runoff was mainly a 25-year cycle or a 2–8-year cycle.

**Key words**: Sanhuajian Basin; runoff variation; trend analysis.

全球气候变化对区域水资源具有重要影响(傅国斌和刘昌明,1991;沈大军和刘昌明,1998;Menzel & Burger 2002;Muzik 2002),而地处中纬度的黄河流域也对此十分敏感(杨志刚等,2000;王国庆,2006;张光辉,2006;张建云和王国庆,2007)。事实表明,近 50 年来黄河中游地区的水文、气象干旱化趋势比上游地区更显著,而且这种变化开始于 20 世纪的 80 年代中期,早于黄河上游(黄河流域及西北片水旱灾害编委会,1996;史辅成等,1996;卢敬华等,2002)。随着黄河中上游干旱化趋势的加剧,使黄河中上游来水量剧降,河道水流挟沙能力大减,造成中游干支流乃至下游干流河道的主槽萎缩,行洪能力大幅度降低。因此,给黄河下游的防洪带来很大困难,常常出现小水(即较小的洪水)大灾的严重

局面,对黄河大堤和沿岸人民的安全构成威胁,给广大滩区群众造成很大的经济损失和生产、生活困难。

针对上述黄河干旱化趋势加剧及其对于包括水资源在内的影响问题,科研人员开展了多方面的研究(王维第等,1991;席家治,1996;黄嘉佑和张谭,1996;蒋晓辉等,2008;杨敏等,2008)。这些研究多集中于黄河中上游或黄河中游地区,对于三花间径流量特征及其影响因子和气候变化对区间径流量影响等方面的研究较少。在黄河流域三花间内,地形起伏较大,北、西、南三面为 1000~1500 m 高程山脉环绕,朝东开口,呈西南、西北高,中部低凹的喇叭口状,三花间境内主要支流有伊河、洛河和沁河。该区间受西太平洋副热带高压与西风带的影响,加上本身特殊的地形,易于形成洪涝和干旱。该区间水资源量的丰枯主要取决于径流量的多少。因此,研究此区间径流量时空分布规律及其变化规律,寻找并

\* 河南省重点科技攻关资助项目(072102320006,092102310045)。

\* \* 通讯作者 E-mail: zhuyyhej@163.com

收稿日期:2009-03-20 接受日期:2009-07-25



表 2 三花间年径流量统计特征  
Tab.2 Statistical characteristics of annual runoff in Sanhuajian Basin

年代	三门峡		花园口		武 陟		黑石关	
	均值 ( 亿 m <sup>3</sup> )	百分率 ( % )	均值 ( 亿 m <sup>3</sup> )	百分率 ( % )	均值 ( 亿 m <sup>3</sup> )	百分率 ( % )	均值 ( 亿 m <sup>3</sup> )	百分率 ( % )
1956—1960	386.0	14.9	410.6	10.9	15.0	85.2	40.8	61.3
1961—1970	464.6	38.3	522.8	41.1	14.6	80.2	33.2	31.2
1971—1980	350.6	4.3	373.8	0.9	5.9	-27.2	20.2	-20.2
1981—1990	376.9	12.2	419.0	13.1	5.6	-30.9	30.3	19.8
1991—2000	225.4	-32.9	237.0	-36.0	3.8	-53.1	13.8	-45.5
2001—2007	195.1	-41.9	240.3	-35.1	6.7	-17.3	19.7	-22.1
1956—2007	336.0	-	370.4	-	8.1	-	25.3	-
变差系数	0.3856		0.4014		0.9168		0.6592	

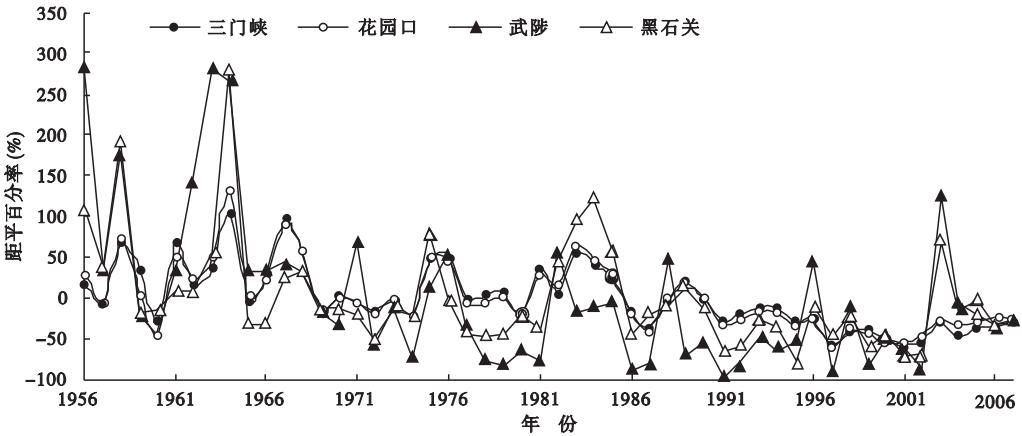


图 2 1956—2007 年三花间各站实测径流量距平百分率  
Fig.2 Anomaly percentage of annual runoff from 1956 to 2007 in Suanhuajian Basin

90 年代 ,其年代平均的年径流量较多年平均值偏少近 5 成。支流武陟和黑石关 2 站与干流 2 站变化趋势基本一致 ,但年际变化较大 ,振幅也较大。

2.2 年丰枯变化

径流量的年际变化在图 2 反映出 50 年来这种变化还有一定的阶段性 ,利用丰、枯水年的划分标准 (表 1) ,对三花间各站历年年实测径流量进行丰、平、枯水年的划分 (表 3) 。

从图 2 和表 3 可见 ,近 50 年来 ,三花间年径流量的丰枯水阶段变化的转折点分别出现在 1969 年、1982 年和 1987 年 ,1959—1968 年、1982—1986 年为 2 个丰水阶段 ;1969—1981 年、1987—2002 年为 2 个

枯水阶段 ;各站年实测径流量枯水年出现的概率较平水年和丰水年高 ,特别是 80 年代中后期以来枯水年份较多 ,近年来个别年份 (2003 年 )有所缓解。

2.3 趋势检验

采用 Kandell 秩次相关法对三花间各站年径流序列进行趋势检验 ,结果见表 4 (当取显著性水平  $\alpha =0.05$  时 ,临界值为 1.96 )。

表 4 给出了三花间代表站年实测径流量的 Kandell 秩次相关检验结果 ,从表 4 可以看出 ,各站的 Kendall 统计量均呈现递减趋势 ;各站的 Kendall 统计量均明显大于置信水平为 0.05 的相应临界值。

上述分析结果说明 :1) 4 站径流情势受上游来

表 3 三花间实测径流量的丰枯统计 (a)  
Tab.3 Statistical characteristics of flood/dry of annual runoff in Sanhuajian Basin

	丰	偏丰	正常	偏枯	枯
三门峡	14	3	11	7	17
花园口	15	2	11	3	21
武 陟	17	1	2	5	27
黑石关	13	1	5	8	25

表 4 1956—2007 年三花间各站年实测径流量序列趋势  
Tab.4 Trend of annual runoff series in Sanhuajian Basin during 1956—2007

代表站	M-K 统计量	临界值	趋势性
三门峡	-5.1292	1.96	显著减少
花园口	-5.0187	1.96	显著减少
武 陟	-3.3932	1.96	显著减少
黑石关	-3.2511	1.96	显著减少

水情势影响显著 2)20 世纪 60 年代是黄河流域的丰水期,进入 90 年代以来,水量锐减,其中 21 世纪初减少程度更为显著 3)4 个站年径流序列均有显著的下降趋势。

2.4 周期分析

图 3 是年径流量的小波变换结果,图中的符号反映振荡的位相,正负中心值反映了不同尺度振荡的振幅最大值,其中正值(实线)对应径流偏丰时期,而负值(虚线)对应着径流偏枯的时期。同样波幅中心所在的周期长短对应于径流的偏丰(枯)期。

从图 3 可以看到,三花间各站的各种时间尺度周期变化在时间域中的分布各有差异,50 年代中期以来,各个时期的主要振动周期是变化的。以花园口站为例,最强的几个振动中心,分别在 50 年代中期、60 年代中期、80 年代中前期以及 21 世纪 10 年代,其周期大致为 25 a、2~8 a 左右,即图 3 几个正等值线中心。也就是说,周期在 25 a 左右的振动,在 50 年代中期至 80 年代中期最显著;周期在 2~8 a 左右的振动,在 60 年代中前期至后期、80 年代中前期、70 年代中期以及 21 世纪 10 年代中期最显著。由此可见,不同尺度周期信号的强弱在时-频域中的分布具有较强的局部特征,这可能是由于影响这一区域的气候因子的变化(诸如副热带高压、海温、太阳活动、积雪等因子的信号强弱在不同阶段存在差异)以及气候系统内在的非线性作用所致。其他站类似,不再一一分析。

三花间各站的各种时间尺度周期变化表现出不同的年际及年代际尺度变化。由于小波变换系数的零点对应于变化的拐点,于是小波变换系数的零点位置对应于突变点位置,由此可以诊断出不同时间尺度上变化的突变点位置,从而得出多时间尺度特征和规律。以花园口为例,对应于 25 a 左右时间尺度,主要经历了 2 个较大时间尺度的丰枯更替,它们是 1983 年以前的偏丰期及 1983 年以后的相对偏枯期,很明显地看出 1983 年是突变点。对应于较小时时间尺度的气候演变,相对较为复杂一些。如对 4 年时间尺度来说,主要经历了 6 个变化阶段,其 1962 年以前的偏枯期、1963—1968 年的偏丰期、1969—1981 年的偏枯期、1982—1986 年的偏丰期、1987—2001 年的偏枯期和 2002 年以来的偏丰期,1963 年、1969 年、1982 年、1987 年及 2002 年是突变点。从近几年的变化来看,其较大尺度变化处于减弱的偏枯期,而较小尺度的变化处于弱的偏丰期。

年径流量序列的小波方差图反映了波动能量随尺度的分布,方差值的峰值由大到小对应着径流序列的不同主周期。对三花间 4 站实测年径流序列,应用小波分析法进行周期分析,图 4 是各站年径流量的小波方差。从图 4 可以看出,三门峡、花园口和黑石关以 24 年左右的尺度最为明显,而武陟以 7 年左右的尺度为主,这与上面的分析以及以前有关黄河流域旱涝的演变特征的研究大体一致。

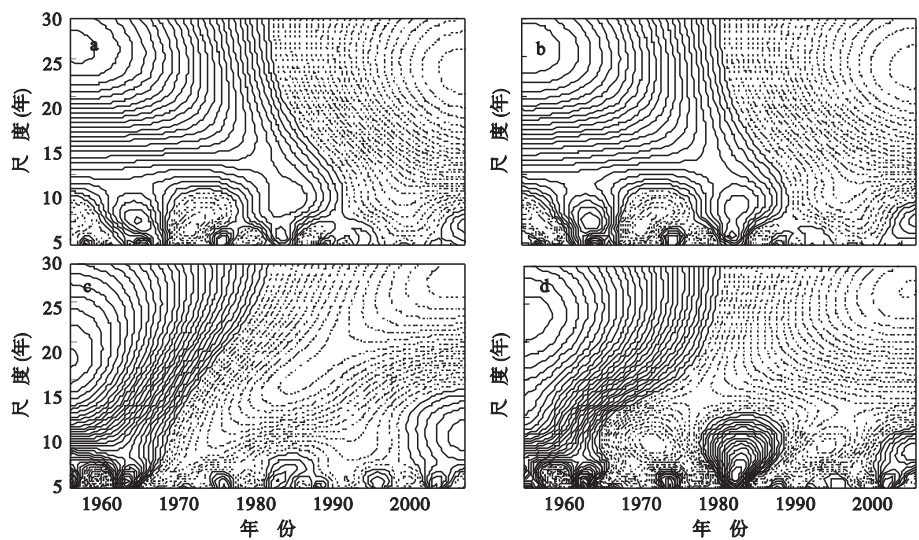


图 3 三花间流域各站实测径流量的小波变换  
Fig. 3 Wavelet transforms of annual runoff in Sanhuajian Basin  
虚线为小于零值的线 a、三门峡 b、花园口 c、武陟 d、黑石关。



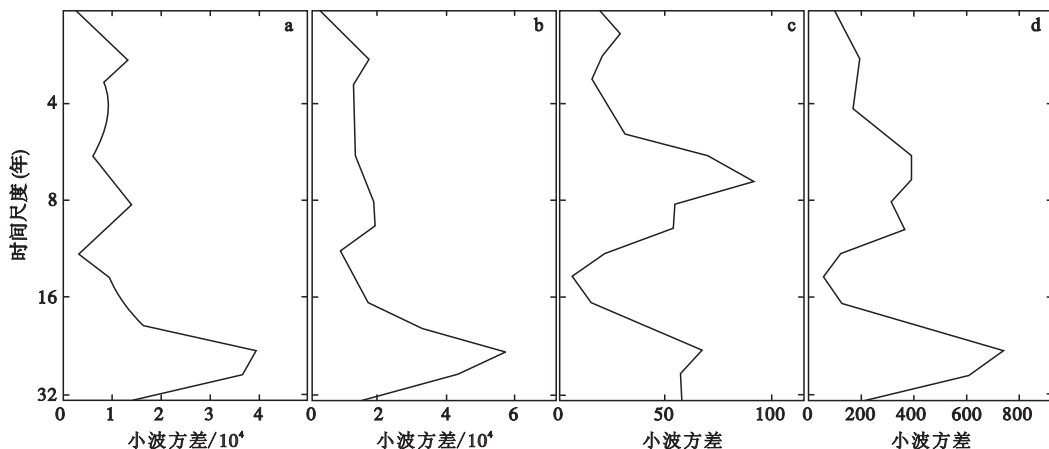


图4 三花间流域各站实测径流量的小波方差图

Fig. 4 Wavelet variance of annual runoff in Sanhuajian Basin

a、三门峡 b、花园口 c、武陟 d、黑石关。

### 3 结 论

全球变暖背景下,黄河中游三花间区干流与支流年径流量的变化均表现为显著减少趋势,但干流年际变化小而支流年际变化相对较大,这可能与支流积水面积较小而降水量的空间变化较大有一定关系。

黄河三花间区年径流的多时间尺度化特征,主要表现为以25年或2~8年的周期变化为主。在4年左右尺度上,20世纪80年代以来出现的多枯水年状况,在21世纪初有所缓解。

近50年来三花间年径流量的丰、枯水阶段变化具有丰水阶段短于枯水阶段的特点,各站年径流量枯水年出现的频率较平水年和丰水年高。

值得关注的是20世纪80年代中后期以来的枯水阶段和该区域气候变暖、降水减少的一致性较好,暖干化趋势明显,但进入21世纪后年径流量出现了新的变化特点。今后黄河三花间区年径流量在全球持续变暖背景下的变化趋势如何?丰、枯状况会如何?尚待进行深入研究。

### 参考文献

- 崔步礼,常学礼,陈雅琳,等. 2006. 山东半岛丘陵区典型流域河流径流的影响因素分析. 生态学杂志, 25(9): 1056-1060.
- 邓自旺,林振山,周晓兰. 1997. 西安市近50年来气候变化多时间尺度分析. 高原气象, 16(1): 81-93.
- 丁晶,邓育仁. 1988. 随机水文学. 成都: 成都科技大学出版社.
- 傅国斌,刘昌明. 1991. 全球变暖对区域水资源影响的计算分析——以海南岛万泉河为例. 地理学报, 46(3): 277-288.
- 黄河流域及西北片水旱灾害编委会. 1996. 黄河流域水旱灾害. 郑州: 黄河水利出版社.

- 黄河网. 2008. 黄河水资源公报. [EB/OL]. 2009-6-3. <http://www.yellowriver.gov.cn/other/hhgh/>.
- 黄嘉佑,张 镔. 1996. 黄河流域旱涝与水资源分析. 大气科学, 20(6): 673-678.
- 黄嘉佑. 1990. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社.
- 蒋晓辉,刘昌明,黄 强. 2003. 黄河上中游天然径流多时间尺度变化及动因分析. 自然资源学报, 18(2): 142-147.
- 卢敬华,李国平,薛 升. 2002. 长江黄河流域上中下游汛期重旱涝的气候特征. 热带气象学报, 18(3): 262-268.
- 沈大军,刘昌明. 1998. 水文水资源系统对气候变化的响应. 地理研究, 17(4): 435-442.
- 史辅成,易元俊,高治定. 1996. 黄河流域暴雨与洪水. 郑州: 黄河水利出版社.
- 宋开山,张 柏,王宗明,等. 2007. 基于小波分析的大豆叶面积高光谱反演. 生态学杂志, 26(10): 1690-1696.
- 王国庆. 2006. 气候变化对黄河中游水文水资源影响的关键问题研究. 南京: 河海大学.
- 王维第,孙汉贤,施嘉斌. 1991. 黄河上游连续枯水段分析与设计检验. 水科学进展, 2(4): 251-257.
- 席家治. 1996. 黄河水资源. 郑州: 黄河水利出版社.
- 杨 敏,刘世梁,孙 涛,等. 2008. 基于边界特征的黄河三角洲景观变化及空间异质性. 生态学杂志, 27(7): 1149-1155.
- 杨志刚,杨洪昌,谷湘潜,等. 2000. 近年来黄河下游断流的干旱背景分析. 气象学报, 55(6): 751-758.
- 张光辉. 2006. 全球气候变化对黄河流域天然径流量影响的情景分析. 地理研究, 25(2): 268-275.
- 张建云,王国庆. 2007. 气候变化对水文水资源影响研究. 北京: 科学出版社.
- 张学成,潘启民. 2006. 黄河流域水资源调查评价. 郑州: 黄河水利出版社.
- Menzel L, Burger G. 2002. Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). Journal of Hydrology, 267: 53-64.
- Muzik I. 2002. A first-order analysis of the climate change effect on the flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model. Journal of Hydrology, 267: 65-73.

作者简介 朱业玉,男,1971年生,高级工程师。主要从事气候分析与气候变化研究。E-mail: zhuyuyej@163.com  
责任编辑 李凤芹

