

## 黄河流域天然径流量突变性与周期性特征

杨志峰, 李春晖

(北京师范大学环境学院, 北京 100875)

**摘要:** 突变性和周期性是水文时间序列的两个重要特征。黄河流域面积广阔, 各区域水文水资源系统演变规律各不相同, 它们的突变和周期变化及其形成的物理机制迥异, 因此系统分析各区域水资源突变性和周期性特征及其影响机制具有重要意义。把黄河流域划分为 15 个区域, 计算出各区域 1951-1998 年的年天然径流量系列。利用 Mann-Kendall 非参数检验方法检测黄河流域各区域年天然径流量的突变年份, 结果表明各区域的突变年份不完全一致, 主要在 1953-1955 年、1979-1983 年、1991-1993 年等发生了突变, 这些突变与北半球气候突变具有一致性, 且由于下垫面改变、人类活动等影响而复杂化。利用 Morlet 小波分析各区域年天然径流量的变化周期, 发现主要存在 3~4 a、7~9 a、11 a 的周期, 形成这些周期的物理因子有太阳黑子、海-气相互作用和下垫面因素等。通过分析黄河流域主要产流区不同时段小波系数变化, 发现 20 世纪 80 年代之后年径流量主要以短周期变化。

**关键词:** 天然径流量; 突变; 周期; 黄河流域

**中图分类号:** P332.4

**文献标识码:** A

水文现象在时间变化上具有周期性和随机性的特征, 其中天然径流量的突变性和周期性一直是水文学研究的主要内容<sup>[1-3]</sup>。黄河流域水资源相对短缺, 且由于地表水资源的年际变化大、年内分布集中、空间分配不均匀性等特点更加剧了水资源紧张情势。近年来由于自然因素和人为因素的影响, 黄河下游频频断流, 已造成巨大的经济和生态环境损失<sup>[4,5]</sup>。对黄河流域水资源演变规律进行深入评价, 特别是研究天然径流量的突变性和周期性演变规律是合理利用黄河水资源的基础。

目前关于黄河流域天然径流量突变性和周期性的分析多是基于干流主要控制站点的天然径流量系列进行的, 如王正发<sup>[6]</sup>利用最大熵谱分析得到陕县(三门峡)站年径流量存在准 3 a、20 a 和 60 a 的周期; 李栋梁等<sup>[3]</sup>对唐乃亥径流量进行了波谱分析, 得到准 7 a 周期; 钮本良<sup>[7]</sup>得到主要干流站点径流量有准 3 a 的周期变化; 郑红星<sup>[8]</sup>采用 Mann-Kendall 法和墨西哥帽小波变换, 对干流部分站点年

径流量进行了详细的突变和周期分析, 这些研究初步揭示了黄河流域径流量的突变和周期性规律。但是黄河流域面积广袤, 各区域水资源系统演变不同, 而且兰州站天然径流量超过黄河天然径流量的 50%, 下游干流站点天然径流量往往出现与其相同的突变性和周期性, 显然仅从干流站点径流量系列分析体现不出突变性与周期性的区域差异, 而且更深入的揭示形成这些突变与周期的物理机制还鲜有研究, 因此, 详细分析黄河流域各区域径流量突变性和周期性, 以及形成这些变化的物理机制具有重要的理论意义和现实意义。

本文把黄河流域(不含内流区)划分 15 个评价区域, 求出各区天然径流量 1951-1998 年时间系列, 然后利用 Mann-Kendall 非参数检验法和 Morlet 小波分析方法分别对黄河流域及其各分区天然径流量系列的突变性和周期性特征进行分析, 研究其形成物理机制。最后对主要产水区域不同时段年径流量周期变化特征进行分析。

收稿日期(Received date): 2003-12-01; 改回日期(Accepted): 2004-02-18。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究规划项目(G1999043605)资助[Founded by the National Key Research Program of Basic Science (G1999043605)]

作者简介(Biography): 杨志峰(1963-), 男, 河北辛集人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源与水环境、生态环境规划与管理等研究。E-mail: zfyang@bnu.edu.cn [Yang Zhifeng(1963-), male, born in Xinji, Hebei Province, Professor and tutors of doctor students, main researches on water environment and water resources, eco-environment plan and management and so on.]

# 1 分区天然径流量获得

基于黄河流域水资源利用特点,把黄河流域分为 15 个子区域(不含内流区)(图 1)。支流区域天然径流量来源于黄河水利委员会天然径流量统计资料,干流区间天然径流量由“相关-延长”法得到<sup>[9]</sup>,系列长度为 1951-1998 年。

# 2 各分区天然径流量突变性特征

突变是自然界一种正常的现象,即:描述某自然现象的时间系列从一种稳定态(或稳定持续的变化趋势)跳跃式地转变到另一种稳定态(或稳定持续的变化趋势)的现象,它表现为该系列在从一个统计特征到另一个统计特征的急剧变化<sup>[10]</sup>。受降水突变和下垫面因素的影响,天然径流量也可能发生突变。常见的突变检测方法有低通滤波法、滑动的 t-检验法(Mtt)、Cramer 法、Yamamoto 法、Mann-Kendall 法。不同的方法检验的灵敏度不同,结果略有差异<sup>[11]</sup>。本文采用 Mann-Kendall 突变分析方法。

## 2.1 分析方法

Mann-Kendall 法最初由 Mann 于 1945 年提出,用于检测时间序列的变化趋势<sup>[12-14]</sup>。Kendall 与 Sneyers 等进一步完善了这种方法<sup>[15,16]</sup>,它能大体测定各种变化趋势的起始位置。Goossens 等把这一方法应用到反序列中,从而发展了能检测时间序列突变的新方法<sup>[17]</sup>。由于它检测能力强,因而在各种

研究领域广泛应用,如检验气温、降水和径流量突变等<sup>[18]</sup>。方法描述见相关文献。

## 2.2 计算结果与分析

利用 Mann-Kendall 法检测黄河流域各分区天然径流系列的突变年份,得到具体的突变年见表 1。可见近 50 年来黄河流域各区域天然径流量突变年并不完全一致,湟水流域、北洛河流域和黄河下游径流量突变较复杂。总体上,黄河流域各区域年径流量突变年主要发生在 1953-1955 年、1979-1983 年、1991-1993 年,部分区域还在 1994-1996 年发生突变。黄河流域(利津站)天然径流量突变发生在上世纪 90 年代初期。

## 2.3 突变原因分析

径流量突变主要是气候突变引起的,而气候突变影响因素是天文因子和地球因子,前者包括太阳辐射强度;地球轨道参数;地球自转速率。后者主要是人类活动。

不少学者研究北半球和我国的气候变化后认为,在上世纪 20 年代、60 年代中和 80 年代初发生 3 次突变<sup>[10,11]</sup>。尤卫红<sup>[19]</sup>也认为近百年来(1900-1990 年)全球和北半球的气温突变主要在 1919 年之前为偏冷期,1920-1978 年为偏暖期,1979 年以后为更暖期,即较明显突变年在 1920 和 1979 年。汤懋苍等<sup>[20]</sup>等发现青藏高原气候也在上世纪 20 年代、50-60 年代和 80 年代初发生 3 次突变,而且还揭示这些气候突变与太阳黑子的周期长度和地球自转在上世纪初期、20 年代、60 年代和 80 年代发生的突变有很好的相关性。黄河流域天然径流量的突变

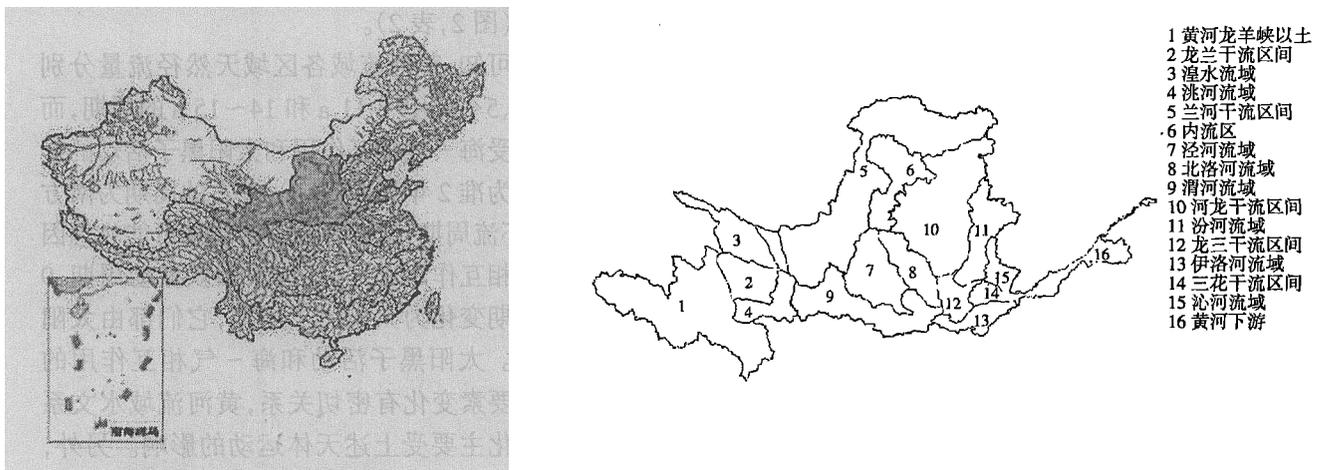


图 1 黄河流域水资源评价分区

Fig.1 Subregions of the Yellow River Basin for water resources assessment

表1 黄河流域各区域年天然径流量突变年份

Table 1 Abrupt change years of annual runoff in subregions of the Yellow River Basin

区域	突变年份	区域	突变年份
龙羊峡以上	1995	北洛河流域	1953, 1958-1960, 1970, 1975, 1979
龙兰干流区间	1979	汾河流域	1984
湟水流域	1955, 1983-1984, 1991, 1994-1996	龙三千流区间	1968, 1981, 1985-1987
洮河流域	1996	三花干流区间	1979, 1982-1983
兰河干流区间	1992	伊洛河流域	1969
河龙干流区间	1974, 1978	沁河流域	1972
泾河流域	1952-1953, 1991-1993	黄河下游	1956-1958, 1966, 1994-1996
渭河流域	1994	黄河流域*	1991-1993

\* 黄河流域按黄河入海口控制站(利津站)的天然径流量计算,后表也如此

与这些气候突变具有很好的一致性,显然气候突变是导致黄河流域天然径流量突变的直接原因,其中太阳黑子和地球自转周期突变是导致黄河流域天然径流量突变的根本原因。

部分区域径流量突变趋势复杂,究其原因可能是这些流域年天然径流量较小,年天然径流量变化对暴雨影响较敏感,径流量年际相对变化大,导致径流变化规律性较差,突变性复杂。如北洛河流域和黄河下游,其径流量往往受暴雨影响较大,表现出突变无明显规律。而对径流量较大的区域,小幅度径流变化相对于整个径流量变化来说较小,因此大径流量可以弱化这种影响。如黄河流域、兰州以上和渭河流域突变比较显著。

另外,在目前天然径流量还原计算中,仅考虑人类工农业取水耗水和水库蓄变量,而不考虑人类活动(如水土保持工程、植树造林、梯田建设等)导致的流域产流条件变化而引起的径流量改变,显然传统天然径流量统计计算中存在一定的误差。因此,这种人类活动的影响也是径流量突变复杂性的重要原因。

### 3 各分区天然径流量周期性特征

常用的周期分析方法有最大熵谱分析、逐步回归周期分析、小波分析等,本文采用 Morlet 小波函数进行分析。

#### 3.1 Morlet 小波分析方法

小波的概念最早由 Morlet<sup>[21]</sup>提出。小波变换基于仿射群的不变性,即平移和伸缩的不变性,从而允许把信号分解为时间和频率(空间和尺度)的贡献。经过多年的发展,小波变换成为比较成熟的数学分析工具,在地质科学、大气、水文和非线性等领域应用,取得丰硕的成果<sup>[22,23]</sup>。Morlet 函数有多种

形式,应用 Math Works 公司的数学软件 Matlab6.1 提供的 Morlet 小波函数,其形式为

$$\Psi(t) = Ce^{-\frac{t^2}{2}} \cos(5t) \quad (1)$$

式中  $\Psi(t)$  为基本小波或母小波 (Mother Wavelet),  $t$  为时间,  $C$  为常数。

利用小波方差确定时间序列的主要周期<sup>[24,25]</sup>。小波方差为

$$\text{Var}(a) = \sum (W_f)^2(a, b) \quad (2)$$

它反映了波动的能量随尺度的分布,故可以确定一定时间系列中存在的主要时间尺度,即主周期。其中  $\text{Var}(a)$  是小波方差,  $W_f$  为小波变化函数,  $a$  为频率参数,即伸缩因子;  $b$  是时间参数,即平移因子,表示波动在时间上的平移。

#### 3.2 计算结果与分析

利用上述方法对黄河流域各区域天然径流量 1951-1998 年系列小波分析,其中  $b = 1 \sim 20$  a, 求得小波系数,并计算小波方差得到各区域天然径流量主要周期(图 2,表 2)。

由表 2 可知,黄河流域各区域天然径流量分别存在 3~4 a、5~8 a、9~11 a 和 14~15 a 的周期,而这些周期多受海-气相互作用和太阳黑子活动的影响。2~3 a 为准 2 年周期,3.5 a 左右的周期为南方涛动/瓦克环流周期,这 2 种尺度的周期可能物理因子为海-气相互作用;5~6 a 为太阳双振动周期,9~11 a 的周期变化为太阳黑子周期,它们都由太阳活动引起<sup>[1]</sup>。太阳黑子活动和海-气相互作用的过程与气候要素变化有密切关系,黄河流域水文系列的周期变化主要受上述天体运动的影响。另外,3 a 及 6~8 a 的变化周期与副高脊线位置的准 3 a 周期及地极移动振幅变化的 7 a 左右的周期也是一致的,它们均是影响中国西部地区降水的重要系

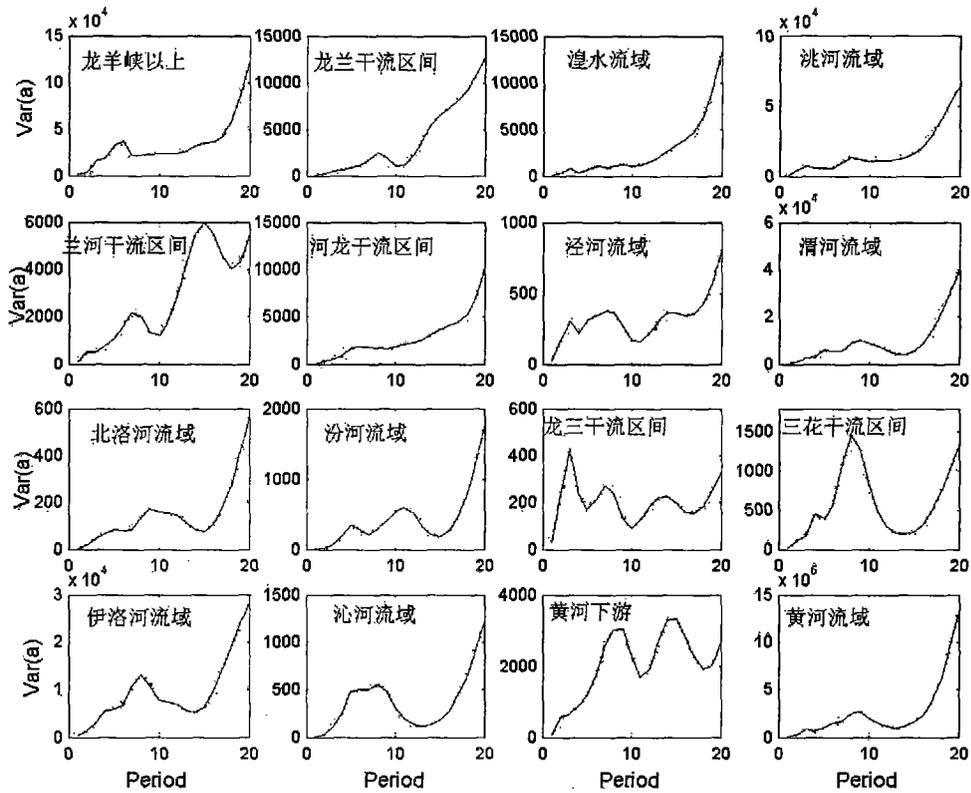


图 2 黄河流域各区域年天然径流量小波方差图(1951-1998 年)

Fig.2 Wavelet variances of annual runoff of subregions in the Yellow River Basin(1951-1998)

表 2 黄河流域各分区年天然径流量主要变化周期 (a)

Table 2 Periods of annual runoff in subregions of the Yellow River Basin

区间	周期
龙羊峡以上	6,11
龙兰区间	8
湟水流域	3,6,9
洮河流域	3,8
兰河区间	7,15
河龙区间	6
泾河流域	3,7,15
渭河流域	5,9
北洛河流域	5,9
汾河流域	5,11
龙三区	3,7,14
三花区间	4,8
伊洛河流域	8
沁河流域	8
黄河下游	9,15
黄河流域*	3,9

统<sup>[26-30]</sup>,并且其变化将会引起地球离心力系统的变化,从而造成大气环流及空气质量、水分输送的变化,进而影响水文要素的变化。

径流量周期变化主要受海-气相互作用和太阳黑子活动等全球变化的影响,而随机变化则主要受偶然事件的影响,同时这种变化还受下垫面因素的影响,也就是说水文序列的变化主要是在一定的下垫面条件下对外界变化的响应,而且不同的尺度下垫面影响大小不同。因此黄河流域各区域年天然径流系列的周期各不相同,除了受气候变化为主外,下垫面也是影响周期变化的重要因素。

### 3.3 主要产水区域不同时间段的周期性特征

以上得到的是 1951-1998 年的平均周期,实际上受各种因素影响,不同时段表现的主要周期可能不同。下面详细分析黄河流域主要产流区龙羊峡以上、渭河流域、河龙干流区间以及黄河流域利津站天然径流量的近 50 年不同时间段的周期变化。图 3 是它们的小波系数二维等值线图,从图可以看出:龙羊峡以上 1985 年之前主要振荡周期在 7 a 左右,1985 年之后,振荡周期在 3~4 a 震动剧烈。1980 年之后 11 a 周期也比较强烈。渭河流域 1975 年之前主要振荡周期为 9 a,1975-1990 年为 7 a,1990 年之后转为 3 a。河龙干流区间 1951-1960 年为 3~4 a 周期,1960-1998 年为 8-9 a 周期。黄河流

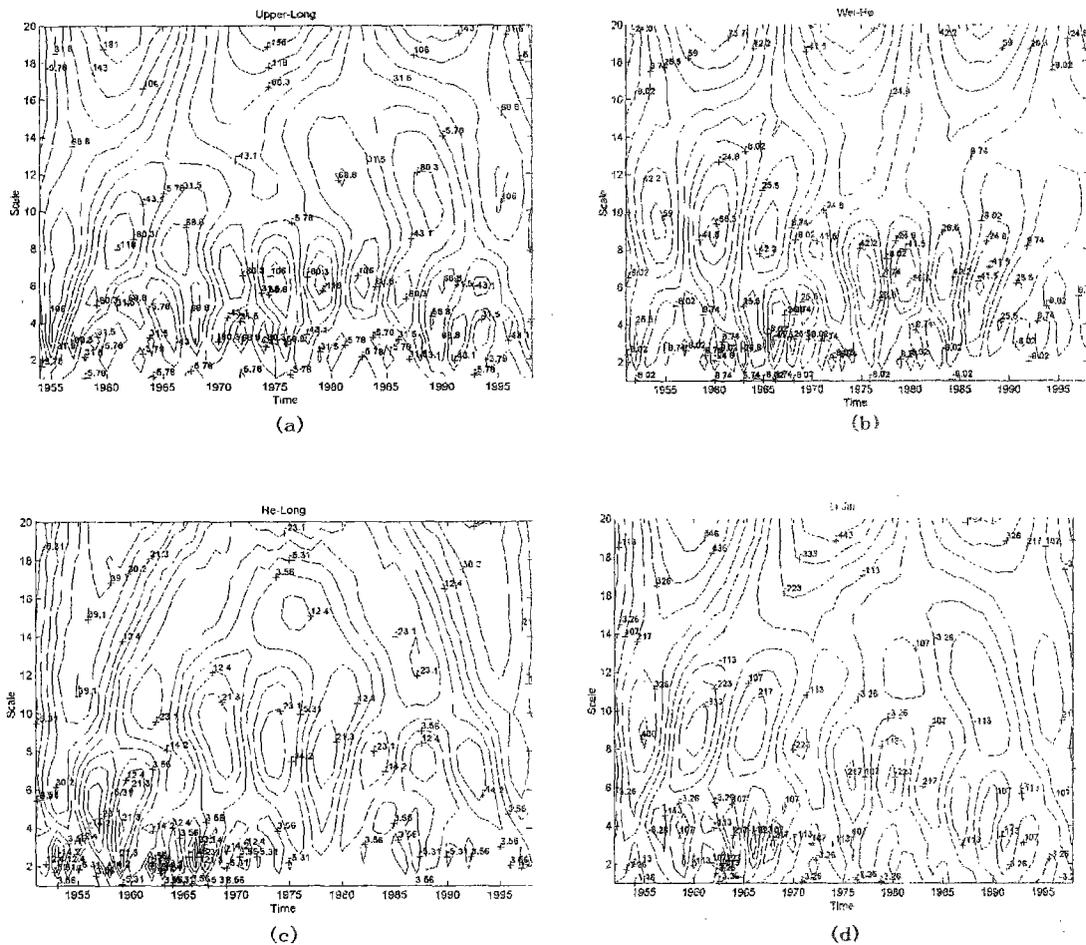


图3 龙羊峡以上(a)、渭河流域(b)、河龙区间(c)和黄河流域(d)天然径流量小波系数等值线图(1951-1998)

Fig.3 Wavelet coefficient contour of annual runoff in Up-long, Wei-he and He-long subregions and the Yellow River Basin(1951-1998)

域(利津站)1951-1975年为9 a周期振荡,1975-1990年为7 a周期,1990年之后,周期主要为2~3 a的弱振荡,1980年之后存在11~12 a周期振荡。可见黄河流域主要产流区振荡周期为3~4 a、7~9 a和11 a。而且上世纪80年代之后,主要以短周期变化为主。

#### 4 结论

天然径流量在时间变化上具有周期性和随机性的特征。黄河流域面积广阔,各区域地理环境差别很大,天然径流量的突变性和周期性特征及其形成的物理机制也不尽相同。本文将黄河流域(不含内流区)划分为15个区域,利用Mann-Kendall非参数检验方法和Morlet小波分析方法,首次分析黄河流域各区域年天然径流量1951-1998年的突变性与

周期性特征,并探讨了其影响机制,主要结论为:

1. 黄河流域各区域天然径流量的突变发生的时间不完全一致,突变年主要发生在1953-1955年、1979-1983年、1991-1993年和1994-1996年左右。影响径流突变的直接原因是气候突变,根本原因是太阳活动突变和地球自转突变;下垫面环境变化和洪水影响对年径流量较小区域的突变趋势影响较大。

2. 黄河流域各区域天然径流量以3~4 a、5~8 a、9~11 a和14~15 a的主要周期变化,这些周期与海-气相互作用、太阳黑子等因素有关,而且由于下垫面条件的影响,各区域天然径流量的周期并不完全一致。

3. 黄河流域主要产水区域天然径流量变化周期为3~4 a、7~9 a和11 a。而且上世纪80年代之后,主要以短周期变化为主。

## 参考文献(References):

- [1] Chen Rensheng, Kang Ersi, Zhang Jishi. Application of wavelet transform on annual runoff, yearly average air temperature and annual precipitation periodic variations in Hexi region[J]. *Advance Earth Sciences*, 2001, 16(3): 339~345. [陈仁升, 康尔泗, 张济世. 小波变换在河西地区水文和气候周期变化分析中的应用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(3): 339~345.]
- [2] Wang Dong, Zhu Yuanshen. Research on cryptic period of hydrological time series based on MEMI spectral analysis[J]. *Hydrology*, 2002, 22(2): 19~23. [王栋, 朱元胜. 基于MEMI谱分析的水文时间序列隐含周期特性研究[J]. 水文, 2002, 22(2): 19~23.]
- [3] Li Dongliang, Zhang Jiali, Quan Jinrui, et al. A study on the feature and cause of runoff in the Upper reaches of the Yellow River[J]. *Advance in Water Resource*. 1998, 9(1): 22~28. [李栋梁, 张佳丽, 全建瑞, 等. 黄河上游径流量演变特征及成因研究[J]. 水科学进展, 1998, 9(1): 22~28.]
- [4] Pang Jin. The perniciousness, cause of formation and mitigation countermeasure of current cessation in Huanghe River[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2001, (1): 83~84. [庞进. 黄河断流的成因、危害和缓解对策[J]. 海洋湖沼通报, 2001, (1): 83~84.]
- [5] Qian Zhenghan, Ni Jinren. The no-flow of the Yellow River and its ecological effect[A]. In: Liu Changming, Chen Xiaoguo. *Evolving Law and Maintaining of Renewable Capacity of Water Resources in the Yellow River Basin* [C]. Zhengzhou: Huanghe Water Conservancy Press, 2001, 215~223. [钱征寒, 倪晋仁. 黄河断流及其生态环境影响[A]. 见: 刘昌明, 陈效国. 黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究与进展[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001, 215~223.]
- [6] Wang Zhengfa. Hydrological period of the upper and middle reaches in the Yellow River[J]. *Water and Electricity in West China*, 1998, (2): 1~5. [王正发. 黄河中上游水文周期分析[J]. 西北水电. 1998, (2): 1~5.]
- [7] Niu Benliang. Analysis of natural runoff series during 1919-1997 in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute*, 2002, 14(1): 22~24. [钮本良. 黄河流域1919-1997年天然径流量系列特性分析[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2002, 14(1): 22~24.]
- [8] Zheng Hongxing. Special and temporal evolvement law of hydrological cycle in the Yellow River Basin based on GIS[D]. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, P.R.China, 2001. 71~81. [郑红星. GIS支持下黄河流域水文循环时空演化规律研究(博士学位论文)[D]. 中国科学院地理科学与资源研究所. 2001. 71~81.]
- [9] Li Chunhui, Yang Zhifeng. Net water natural loss in the main channels of the Yellow River[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 527~533. [李春晖, 杨志峰. 黄河干流河道水量补损分析[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 527~533.]
- [10] Fu Zongbin, Wang Qiang. Abrupt change of climate and its check method[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1992, 16(4): 483~493. [符宗斌, 王强. 气候突变的定义和检验方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 483~493.]
- [11] Wei Fengying, Cao Hongxing. Abrupt change of air temperature and its trend in China, the Northern Hemisphere and the Earth[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1995, 19(2): 140~148. [魏凤英, 曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究[J]. 大气科学, 1995, 19(2): 140~148.]
- [12] Mann, H. B. Non-parametric Test of Randomness against Trend[J]. *Econometrica*, 1945, 13: 245~259.
- [13] Ellen, M. Douglas. Trends in flood and low flows in the United States[J]. *Journal of Hydrology*, 240, 2000, (1~2): 90~105.
- [14] Donald, H. Burn, Mohamed A. Hag Elnur. Detection of hydrological trend and variability[J]. *Journal of Hydrology*, 2002, (255): 107~122.
- [15] Kendall, M. G. *Rank Correlation Methods* [M]. London: Charles Griffin, 1975, 202.
- [16] Sneyers, R. On the statistical analysis of series of observations [R], 1990, Tech. Note 143, WMO No. 415, Geneva: 192.
- [17] Goossens, C. H. and Berger, A. Annual and seasonal climatic variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last Century[J]. *Ann. Geophys*, 1986, (4): 385~400.
- [18] Jiang, J. M. and You, X. T. Where and when did an abrupt climatic change occur in China during the last 43 years? [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 1996, 55(1~4): 33~39.
- [19] You Weihong. Multi-scale Diagnosis of Climatic Change and Some Technologies and Methods for Its Forecast[M]. Beijing: Meteorology Press, 1998, 1~17. [尤卫红. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998, 1~17.]
- [20] Tang Maocang, Bai Chongyuan, Feng Song, et al. Climate abrupt change in the Qinghai-Xizang Plateau in recent century and its relation to astronomical factors[J]. *Plateau meteorology*, 1998, 17(3): 250~257. [汤懋苍, 白重瑗, 冯松, 等. 本世纪青藏高原气候的三次突变及与天文因素的相关[J]. 高原气象, 1998, 17(3): 250~257.]
- [21] Morlet, J. Sampling Theory and wave propagation[Z]. *Proc. 51st Ann. Meeting of the Soc. of Explor. Geophys*, Los Angeles, USA. 1981.
- [22] Smith, L. C., Turcotte, D. L. and Isacks, B. C. Stream flow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform[J]. *Hydrological Processes*, 1998, (12): 233~249.
- [23] Kulkarni, J. R. Wavelet analysis of the association between the Southern Oscillation and the Indian summer monsoon[J]. *International Journal of Climatology*. 2000, (20): 89~104.
- [24] Wei Fengying. *Modern Technology of Statistics, Diagnosis and Forecast for Climate* [M]. Beijing: Meteorology Press, 1999, 106~110. [魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999, 106~110.]
- [25] Heng Tong, Wang Wensheng, Ding Jing. Wavelet characteristics of the change in precipitation time series[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(5): 466~470. [衡彤, 王文圣, 丁晶. 降水量时间序列变化的小波特征[J]. 长江流域资源与环境. 2002, 11(5): 466~470.]
- [26] Chen Xingfang. Analyses of western Pacific Subtropical High

- change[J]. *Meteorology*, 1994, 21(2):3~7[陈兴芳. 西太平洋副高异常变化及成因分析[J]. 气象, 1994, 21(2):3~7.]
- [27] Zhou Ronghong, Zheng Dawei, Yu Huanan, *et al.* Earth rotation, motion and activities of atmosphere and sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(24):2588~2597.[周永宏, 郑大伟, 虞南华, 等. 地球自转移动与大气、海洋活动[J]. 科学通报, 2000, 45(24):2588~2597.]
- [28] Ding Hongwei, Wei Yuguang, Fan Pengfei, *et al.* Trend prediction and characteristics of runoff[J]. *Journal of Desert Research*, 2001(Supp.):38~42.[丁宏伟, 魏余广, 范鹏飞, 等. 党河水库入库径流量变化特征及趋势分析[J]. 中国沙漠, 2001(增刊):38~42.]
- [29] Xu Guochang, Dong Anxiang. Quasi 3 year period of precipitation in West China[J]. *Plateau Meteorology*, 1982, 1(2):11~16.[徐国昌, 董安祥. 我国西部降水量的准三年周期[J]. 高原气象, 1982, 1(2):11~16.]
- [30] Huo Shiqing, Wen Lingye. The relationship of runoff change of the yellow River and the Sun activities[A]. In: *Florilegium of Hydrological Technology and Papers for the Yellow River*[C]. Zhengzhou: Huanghe Water Conservancy Press, 1996. 184~188.[霍世青, 温丽叶. 黄河径流量变化与太阳活动关系初探[A]. 黄河水文科技成果与论文选集[C]. 郑州:黄河水利出版社, 1996. 184~188.]

## Abrupt and Periodic Changes of the Annual Natural Runoff in the Subregions of the Yellow River

YANG Zhifeng, LI Chunhui

(School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Abrupt and periodic changes are two important characters of the hydrological time series. The Yellow River, the second largest river in China with a basin of 752 443 km<sup>2</sup>, includes all kinds of climatic and hydrological regions, and their abrupt and periodic changes are different and the physical mechanisms for them are not same. So it is necessary to research the abrupt and periodic changes of the runoff series for rational water exploitation in the Yellow River subregions. In this paper the Yellow River Basin is divided into 15 subregions and their natural annual runoff time series are calculated from 1951 to 1998. The abrupt changes in these series are analyzed with the method of Mann-Kendall and the results show that some main abrupt changes happened during 1953-1955, 1979-1983 and 1991-1993. These abrupt changes are consistent with the climatic changes in the North Hemisphere and become more complex for the regional environment and human activities. We apply Morlet Wavelet to the periods of annual runoff series of subregions and find they varied with primary periods of 3~4, 7~9 and 11 years. Some physical reasons for the periods are discussed such as the mutual action of sea and atmosphere, the sunspot, human activities and so on. Moreover, the short periods, 3-year for example, become prominent after 1980s in four important water resources subregions.

**Key words:** natural runoff; abrupt change; period; the Yellow River Basin