

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.02.010

海流兔河流域径流变化的周期和趋势分析

陈玉壮, 管仪庆, 谢悦波, 张丹蓉, 陈 玥

(河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要:以荒沙草滩区典型河流海流兔河为例,利用连续小波变换、多时相趋势分析,并联合利用离散小波变换和 Mann-Kendall 秩次检验法对 1957—2011 年的年均径流分别进行周期、趋势以及趋势结构分析。结果表明:①海流兔河年均径流量在时间序列上主要存在着 12~21 a 周期变化,第一主周期为 17 a,且径流量偏少阶段将从 2010 年持续至 2016 年左右,之后将进入偏多阶段。②海流兔河流域径流量呈现显著下降趋势,与整个黄河中游总体径流量减少趋势相一致。③联合利用离散小波变换和 Mann-Kendall 秩次检验法可以很好地解释趋势的基本结构,8~16 a 的周期性事件对海流兔河径流趋势影响最大。水文时间序列周期部分的周期性越强,其对序列趋势的影响越大。④序列趋势的显著性和方向取决于其长度以及在整个序列中的位置,主要是因为序列中长周期丰枯交替的存在,多时相趋势分析一定程度上解决了由于序列长周期丰枯交替的存在造成的序列趋势判断的不确定性问题。

关键词:小波变换; Mann-Kendall 秩次检验; 多时相趋势分析; 周期分析; 海流兔河

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2016)02-0045-07

Period and trend analysis of streamflow change of Hailiutu River Basin

CHEN Yuzhuang, GUAN Yiqing, XIE Yuebo, ZHANG Danrong, CHEN Yue

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In this study, the Hailiutu River Basin was chosen as a typical case of a semi-arid sand and grass land area, and the methods of continuous wavelet transform, multi-temporal trend analysis, and discrete wavelet transform and Mann-Kendall test were jointly used to investigate the periods, trends, and basic structure of the trends of the annual mean streamflow in the basin during the period from 1957 to 2011. The results are as follows: (1) There is a main period change in the process of the annual mean streamflow, with a period varying from 12 to 21 years. The first main period is 17 years and the dry period will last from 2010 to 2016 or so, and then the Hailiutu River Basin will enter a wet period. (2) The streamflow of the Hailiutu River Basin exhibits a significantly downward trend, which is consistent with the overall trend of streamflow in the middle reaches of the Yellow River. (3) The results of joint utilization of the discrete wavelet transform and Mann-Kendall test, which can explain the basic structure of the trends, suggest that 8 to 16 years of periodic events account for the observed trend of the annual mean streamflow in the Hailiutu River Basin. The stronger the periods presented in the hydrologic time series are, the greater the influence that the period components exert on the trends observed in the series will be. (4) The trend magnitude and direction depend on the length of the time series and the position of the sub-series within the whole series, because of the existence of the long-term alternating dry and wet periods that probably lead the trend test toward misleading results, and the multi-temporal trend test provides a good way to solve that problem.

Key words: wavelet transform; Mann-Kendall test; multi-temporal trend analysis; period analysis; Hailiutu River

- basin of Taihu Lake Region [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 95-98. (in Chinese)
- [13] 陈崇希. 地下水动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- [14] 曹剑锋, 迟宝明, 王文科, 等. 专门水文地质学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2006.
- [15] 齐蕊. 都思兔河流域三维地下水流场的数值模拟研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- [16] 陈润桥, 温伟光, 何绪升, 等. 降水头注水试验在天津地区的应用分析[J]. 山西建筑, 2013, 39(11): 45-46. (CHEN Runqiao, WEN Weiguang, HE Xusheng, et al. An application analysis of precipitation water injection test in Tianjin [J]. Shanxi Architecture, 2013, 39(11): 45-46. (in Chinese))
- [17] 沈日庚. 上海地区钻孔降水头注水试验公式应用探讨[J]. 上海地质, 2010, 3(3): 51-53. (SHEN Rigeng. An application analysis of precipitation water injection test in Shanghai [J]. Shanghai Geology, 2010, 3(3): 51-53. (in Chinese))
- [18] 杨青春, 卢文喜, 马洪云. Visual Modflow 在吉林省西部地下水数值模拟中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005(3): 67-69. (YANG Qingchun, LU Wenxi, MA Hongyun. The application of Visual Modflow in groundwater numerical simulation in the west of Jilin Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(3): 67-69. (in Chinese))
- [19] 余维, 王博, 陈真林. MODFLOW 在井灌区地下水数值模拟中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2006(11): 17-21. (YU Wei, WANG Bo, CHEN Zhenlin. The application of modflow in groundwater numerical simulation in well irrigation [J]. China Rural Water and Hydropower, 2006(11): 17-21. (in Chinese))

(收稿日期: 2015-12-28 编辑: 徐娟)

(上接第 50 页)

- [15] SU H, LIU Q, LI J. Alleviating border effects in wavelet transforms for nonlinear time-varying signal analysis [J]. Advances in Electrical & Computer Engineering, 2011, 11(3): 55-60.
- [16] KHARITONENKO I, ZHANG X, TWELVES S. A wavelet transform with point-symmetric extension at tile boundaries [J]. IEEE Trans Image Process, 2002, 11(12): 1357-1364.
- [17] 刘萍, 许卓首, 王玲, 等. 气候变化对黄河流域水资源影响研究进展[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(增刊1): 275-278. (LIU Ping, XU Zhuoshou, WANG Ling, et al. Research on climate impact on water resource of Yellow River Basin [J]. Meteorological and Environment Sciences, 2009, 32(sup1): 275-278. (in Chinese))
- [18] CONG Z, YANG D, GAO B, et al. Hydrological trend analysis in the Yellow River Basin using a distributed hydrological model. [J]. Water Resources Research, 2009, 45(7): 335-345. (收稿日期: 2015-12-28 编辑: 彭桃英)

编委风采

魏源送博士,《水资源保护》第8届编辑委员会委员,中国科学院生态环境研究中心研究员,博士生导师。魏源送研究员目前担任中国科学院发展中国家科学院水与环境卓越中心副主任、中国科学院生态环境研究中心鄂尔多斯固体废弃物资源化工程技术研究所所长、江西省科学院能源研究所副所长(挂职)、国际水协会(IWA)非传统水源中国工作组成员、北京生态修复学会副理事长。

魏源送研究员1990年7月毕业于江西工业大学(现南昌大学)精细化工专业,获工学学士学位;1995年7月毕业于大连理工大学环境工程专业,获工学硕士学位;2000年7月毕业于中国科学院生态环境研究中心环境工程专业,获理学博士学位;2002年3月在荷兰应用科学研究院环境、能源和过程创新研究所做博士后;2009年3月以访问学者的身份在瑞士联邦水科学与技术研究所从事科研工作。

魏源送研究员的主要研究领域为污水处理与再生利用、污泥减量与资源化、有机固体废弃物处理与资源化、河流生态治理与修复。自2003年以来,魏源送博士主持与参加多项国家水体污染控制与治理科技重大专项(水专项)、国家“863计划”、国家科技支撑、国家自然科学基金、公益性行业(农业)科研专项、地方政府和企业的科研与应用项目,在国内外核心刊物发表学术论文140余篇,国际会议论文30余篇,获授权发明专利15项和计算机软件著作权1项,获得2010年度北京市科学技术奖三等奖(排名第二),2012年度中国科学院北京分院科研团队科技成果转化奖一等奖(排名第一),2013年度鄂尔多斯市科学技术奖一等奖。

魏源送研究员担任《水资源保护》第8届编辑委员会委员以来,大力支持编辑部工作,为杂志的发展建言献策,积极审稿、投稿,在《水资源保护》2016年第1期上发表文章《地表微生物溯源技术的开发与应用进展》,该文发表后点击率、下载率日益攀升,显示了较好的影响力。

气候变化和人类活动加剧了水文循环,造成了频繁而又严重的洪涝和干旱,对水资源可持续利用造成影响,这点在干旱地区和半干旱地区尤为明显^[1-3]。在普遍的水资源供需矛盾日益突出的现状下,对河流径流变化特性进行分析,有利于水资源的合理开发、规划和管理以及流域的可持续发展。

通常采用对径流序列进行分析的方法来探讨径流变化特征,其中 Mann-Kendall(以下简称 M-K)秩次检验法是分析水文时间序列趋势的一种广泛应用的非参数检验方法^[4]。张建云等^[5]使用 M-K 秩次检验法与线性回归方法对黄河中游河川径流进行了趋势分析;Birsan 等^[6]应用 M-K 秩次检验法对瑞士的径流趋势进行了分析;张丹蓉等^[7]运用 M-K 秩次检验法、情势变化指数(RSI)等方法对海流兔河流域的径流和降水变化进行了分析。目前常用的水文时间序列趋势分析,都是从可用记录的起始年到结束年进行分析,但是研究发现,序列长度的变化会导致径流趋势检测结果发生变化^[8]。序列长短不同是如何影响趋势检测的结果,以及如何避免这种不确定性,都是值得深入研究的问题。多时相趋势分析法^[9]是一种供选择的趋势评价方法,它可以对记录序列包含的不同次序列进行趋势分析,一定程度上避免了由于序列长度变化对趋势检测结果的影响,Hannaford 等^[2]曾尝试用多时相分析法分析欧洲大量小流域长序列径流的变化趋势。小波变换是目前水文时间序列进行周期识别和趋势分析常用的一种方法,如汤成友等^[10]基于小波变换分析了长江寸滩站日平均流量和年最大流量序列的周期变化。然而单独的小波分析无法对水文时间序列的趋势结构进行深入分析,近年来有学者^[11]联合运用离散小波变化和 M-K 秩次检验法对径流变化的趋势及趋势结构进行分析。

海流兔河是黄河的一条二级支流,海流兔河流域位于鄂尔多斯盆地中部,是典型的半干旱风沙草滩区域^[12]。由于气候变化、覆被、种植方式和水利工程等的综合影响,近年来河流流量减小,对当地脆弱的生态环境构成潜在的威胁。目前,已有一些学者对海流兔河流域的径流、降水和蒸散发量进行了研究^[7,12-14],但是较少有对海流兔河径流变化周期及趋势结构的分析。

笔者根据海流兔河 1957—2011 年的日流量资料,尝试运用连续小波变换、多时相分析法,并联合运用离散小波变换和 M-K 秩次检验法,分别对海流兔河径流变化周期、趋势和趋势结构进行分析,并探索序列长度和序列在整个序列中的位置对趋势检测结果的影响以及趋势和周期的关系。

1 研究区概况

海流兔河是黄河一级支流无定河的一条较大支流,河流长度 45.2 km(图 1)。海流兔河流域地理坐标为东经 108°17'36"~109°40'22"和北纬 37°38'54"~39°23'50",流域面积约 2 600 km²,属于温带大陆性季风气候,年降雨量在 334~364.7 mm,流域年平均气温 8.1℃,年平均蒸发量达 1 883.4~2 186 mm,夏季降水量(7—9 月)占全年降水量的 65%~70%,具有降水稀少、蒸发强烈、温差大等特点,是典型的干旱、半干旱草原气候环境。研究区地处陕北黄土高原与毛乌素沙漠之过渡地带,地形以滩地和沙地为主,地形平缓,地表多为风积沙,岩性以中、细砂为主,透水性强,有利于降雨入渗;下部为萨拉乌素组含水层,岩性以中、细砂为主,储水能力较好。因此,该流域降雨大部分入渗,地表产流较少^[13]。

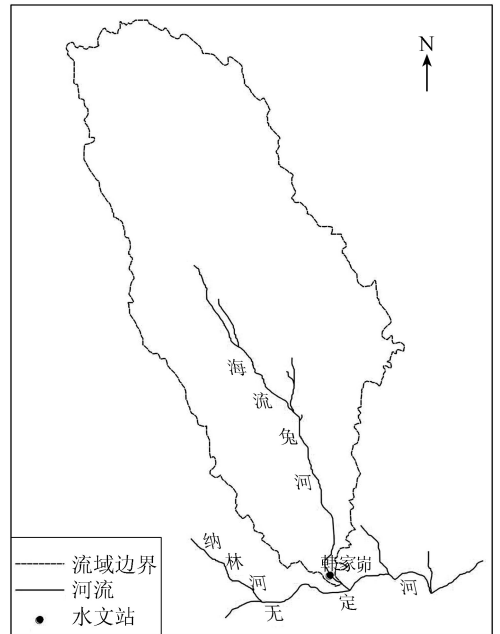


图 1 海流兔河流域位置

2 数据和方法

根据海流兔河流域出水口韩家崄水文站多年(1957—2011 年)逐日实测径流资料,运用连续小波变换、多时相趋势分析法,联合离散小波变换和 M-K 趋势检验法对海流兔河年均径流进行研究。

2.1 Mann-Kendall 秩次检验法

M-K 秩次检验法以适用范围广、人为影响少、定量化程度高等优势,在检验水文时间序列趋势方面得到了广泛应用^[4-6]。在应用 M-K 秩次检验法进行趋势检验时,统计检验值 Z 为正值表示序列呈上升趋势,负值表示序列呈下降趋势, $|Z| > 1.96$ 表示序列增加或减少趋势显著。

2.2 小波变换

连续和离散小波变换^[10-11]均在 MATLAB 中实现,其中连续小波变换的母函数选用常用的 Morlet 小波,离散小波变换的母函数采用 db10 小波。由于边界效应的存在^[15],在小波变化中需要对信号进行拓延,Kharitonenko 等^[16]认为对称拓延方法较其他拓延方法的效果好,故本研究采用对称拓延方式对数据边界进行拓延。

2.3 多时相趋势分析法

多时相趋势分析法^[2,9]是一种供选择的趋势评价方法,可以对整个序列中的一系列次序列分别进行趋势分析。其基本思路是通过移动窗口的方法,考虑整个序列中所有可能的起始和结束组合的次序列,然后使用 M-K 秩次检验法对所有序列进行趋势分析,得到表征趋势变化的统计检验值 Z ,再以图形或图像的方式直观地呈现出来,供趋势分析和评价。在应用 M-K 秩次检验法进行趋势分析时,因为较短序列趋势分析得到的结果不可靠,因此一般推荐的最短的序列长度至少为 10。为了分析更多较短序列的特性,本文选用最短的窗口长度为 10。

3 结果与讨论

3.1 年均径流周期分析

连续小波变换用于分析年均径流序列的周期性结构,连续小波变换量图(即小波系数的模值图,见图 2)是不同时间尺度变化周期所对应的能量密度在时间域中分布的反映,图中区域愈亮(即系数模值愈大),表明其所对应时段或尺度的周期性就愈强;小波方差图(图 3)能反映径流时间序列的波动能量随尺度年的分布情况,可用来确定径流演化过程中存在的主周期。由图 2~3 可以看出,对于年均径流,周期部分按照强度由强到弱,依次为 12~21 a 尺度周期、7~11 a 尺度周期和 3~6 a 尺度周期。其中 12~21 a 的周期部分不仅震荡强烈(即周期性强),且具有全局性,其中第一峰值对应的周期

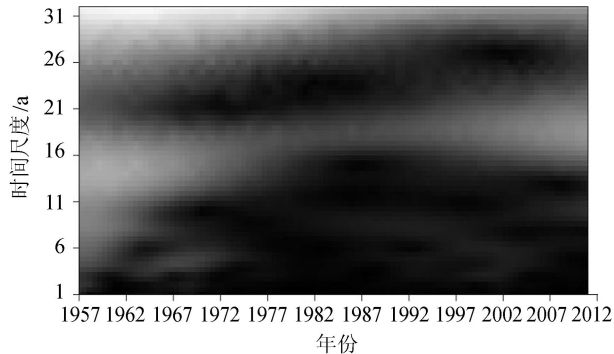


图 2 年均径流(1957—2011 年)的连续小波变换量图

为 17 a;7~11 a 尺度和 3~6 a 尺度周期性强度较弱,且不具有全局性,分别出现在 1957—1967 年和 1957—1972 年。其主要原因可能是 20 世纪 70 年代前,流域受人类活动的影响较小,径流偏丰^[7]。

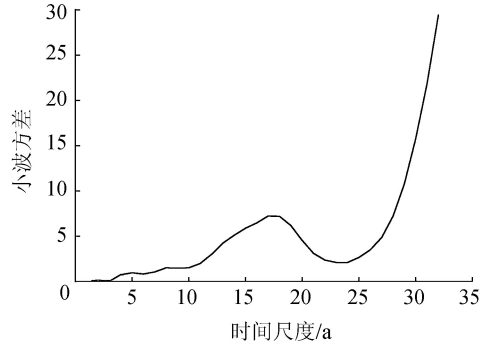


图 3 年均径流的小波方差

主周期趋势图可以分析不同时间尺度下流域径流存在的平均周期及丰枯变化特征,其中,小波系数为正,说明径流量处于偏多期;反之,则表示径流量处于偏少期。由图 4 可知,海流兔河年均径流在 17 a 尺度上,大约经历了 5 次丰枯交替,平均交替周期约为 11 a,其中 1957—1961 年,1967—1972 年,1978—1984 年,1991—1996 年和 2004—2009 年处于径流量偏多期,1962—1966 年,1973—1977 年,1985—1990 年,1997—2003 年和 2010—2011 年处于径流量偏少期。可以预测,海流兔河径流量偏少阶段将持续至 2016 年左右,之后将进入径流量偏多阶段。

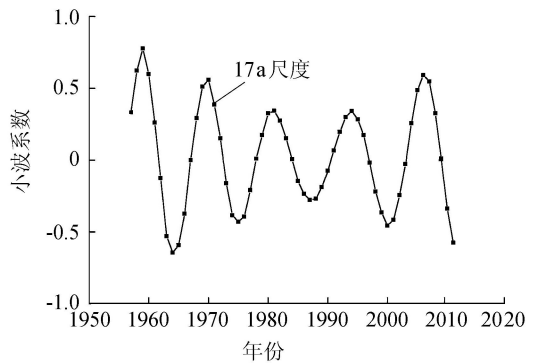


图 4 年均径流主周期趋势

3.2 年均径流趋势分析

笔者对序列的长度及其在整个序列中的位置对趋势检测结果的影响进行探索。表 1 所示为相同起点不同长度的序列和相同长度不同起始点的序列的几个示例。相同起点不同长度的序列,即使长度变化不大,其趋势的显著性和方向(上升或下降)可能完全不同,如 1957—1968 年序列为增加的趋势,而 1957—1973 年序列为显著减少的趋势;相同长度不同起始点的序列,即使起始点位移很小,其趋势的显著性和方向也可能是不同的,说明序列趋势的显著性和方向不仅与其长度有关,还与其在整个序列中

表 1 不同序列的 M-K 秩次趋势检验结果

序列	相同起点,不同长度				不同起点,相同长度			
	1957—1968 年	1957—1969 年	1957—1972 年	1957—1973 年	1958—1967 年	1959—1968 年	1958—1971 年	1959—1972 年
Z	0.75	-0.18	-1.85	-2.02*	0.89	-0.89	-1.75	-2.85*

注: * 为通过 5% 的显著性水平检验。

的位置有很大关系,这一点同样可以从多时相趋势分析图(图 5)中看出。

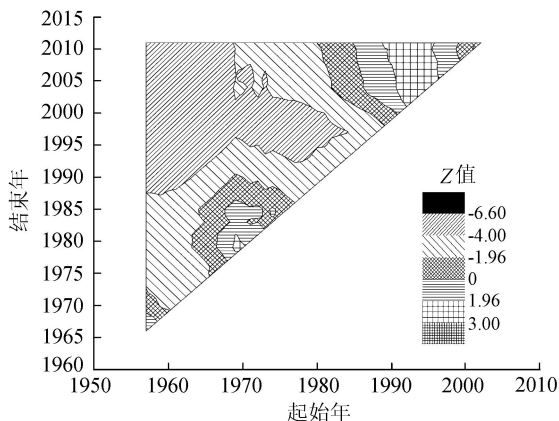


图 5 1957—2011 年年均径流多时相趋势分析

由图 5 可知,海流兔河年均径流整体呈下降趋势,且下降趋势显著,这与刘萍等^[17-18]发现的整个黄河中游总体径流量呈减少趋势的结论相一致。海流兔河径流序列也存在上升和显著上升趋势的时期,如 1957—1966 年 ($Z = 1.79$, 呈上升趋势), 1969—1979 年 ($Z = 2.34$, 呈显著上升趋势) 和 1993—2003 年 ($Z = 2.96$, 呈显著上升趋势), 与主周期趋势图分析的结果对比,发现趋势检测上升和显著上升的序列包含较多的处于径流偏多期的年份,说明长周期丰枯交替(如 17 a 尺度的丰枯交替)的存在对序列趋势的显著性和方向具有很大的影响,序列长度以及在整个序列中的位置对趋势显著性和方向的影响,主要是因为长周期丰枯交替的存在。序列长周期丰枯交替的存在可能造成趋势检验得到误导性的结果,多时相趋势分析一定程度上避免了这个问题,且随着序列记录的不断延长,采用多时相趋势分析法对水文时间序列进行趋势分析会变得越发必要。另外由于多时相趋势分析是通过移动窗口的方法对不同长度的序列进行趋势分析,分析序列的长度由小到大(图 5),故已有记录年限的趋势分析结果不会随着记录年限的延长而发生变化。

3.3 年均径流的分解和趋势结构分析

选用 db10 小波,分解水平为 4,通过离散小波变换,将年均径流序列分解成 1 个近似部分和 4 个细节部分(图 6)。细节部分分别代表 2 a 周期(D1)、4 a 周期(D2)、8 a 周期(D3)和 16 a 周期;A4 表示分解水平为 4 的情况下对应的近似部分。可以看出,低分辨率对应着年均径流中的高频部分或快

速变化部分(如 D1 和 D2),高分辨率对应着序列中的低频率部分或慢速变化部分(如 D4 和 A4),其中 A4 对应着年均径流中变化最慢的部分。

表 2 给出了年均径流、其小波分解部分以及各分解部分组合的趋势分析结果。从表 2 可以看出,每个单独细节部分趋势均不显著,但是当添加了近似部分(A4)后,所有的组合均呈现显著下降趋势,显然近似部分包含了原始序列的大部分趋势。另外细节部分应该也携带了原始序列的部分趋势,因为只有细节部分和近似部分组合时,其与原始序列的趋势值才变得较接近。分析发现,各细节部分与近似部分的组合能更好地诠释那些细节部分(或周期部分)对原始序列的趋势作用最大,故本研究通过对比各细节部分和近似部分组合(Ds+A4)的趋势与原始序列趋势的接近程度,来确定对原始序列趋势影响最大的周期部分。

表 2 年均径流及其小波分解部分趋势和相关系数 C_0 分析结果

类型	Z	C_0
原始序列	-6.36*	
A4	-7.36*	0.81
D1	0.57	0.28
D2	-0.12	0.16
D3	-0.60	0.42
D4	1.23	0.22
D1+A4	-6.65*	0.85
D2+A4	-6.88*	0.82
D3+A4	-6.45*	0.89
D4+A4	-5.78*	0.86

注: * 为通过 5% 的显著性水平检验。

由表 2 可知,各细节部分和近似部分组合与原始序列的趋势值都较接近,这一点从其与原始序列的相关系数也可以看出,故除了对比各细节部分和近似部分组合与原始序列的趋势值,还需对比其连续 M-K 秩次趋势检验值趋势图(图 7)。

由图 7 可以看出,D3+A4 和 D4+A4 的趋势线与原始序列的趋势线较接近,故 D3 和 D4 是对原始序列趋势影响最大的周期部分,也就是说 8 ~ 16 a 的周期部分对海流兔河年均径流的趋势贡献最大。之前的连续小波变换周期分析,发现海流兔河年均径流 12 ~ 21 a 的周期部分周期性最强,且具有全局性,其中第一主周期为 17 a。对比分析发现,对序列趋势贡献较大的周期部分周期性也较强。也就是说,水文时间序列周期部分的周期性越强,其对序列趋势的影响越大。

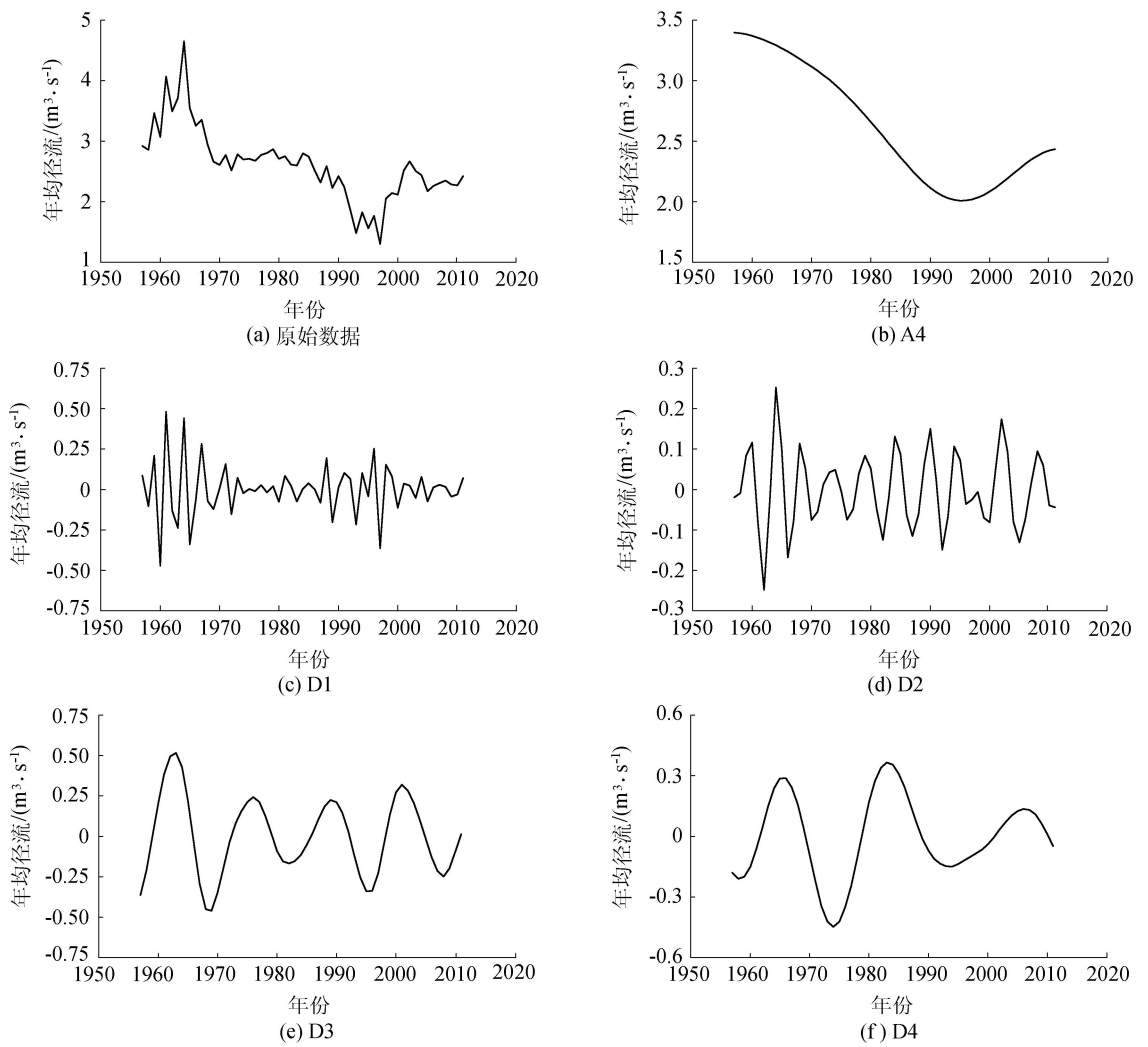


图 6 年均径流序列和它的离散小波分解部分

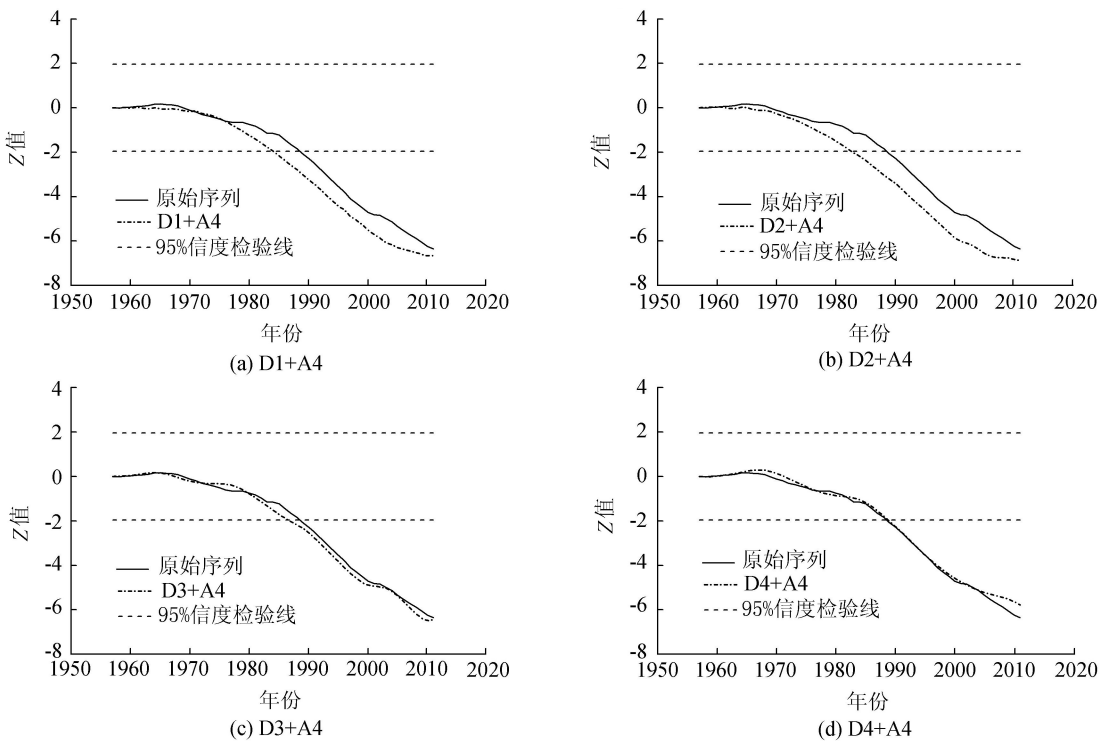


图 7 年均径流连续 M-K 秩次趋势检验值趋势

4 结 论

a. 海流兔河年均径流 12~21 a 的周期性最强, 且具有全局性, 其中第一主周期为 17 a, 17 a 尺度的小波系数变化趋势预测海流兔河径流量偏少阶段将从 2010 年持续至 2016 年左右, 之后将进入径流量偏多阶段。

b. 海流兔河年均径流整体呈下降趋势, 且下降趋势显著, 这与整个黄河中游总体径流量减少趋势相一致。

c. 多时相趋势分析不仅可以对时间序列总体趋势进行直观的描述, 还可以对局部趋势的变化特征进行描述, 能更好地分析水文时间序列的趋势, 且已有记录年限的趋势分析结果不会随着记录年限的延长而发生变化。海流兔河流量变化趋势的显著性和方向主要取决于时间序列的长度及其在整个序列中的位置, 这主要是因为序列中长周期丰枯交替的存在。多时相趋势分析一定程度上解决了由于序列长周期丰枯交替的存在造成序列趋势检测结果的不确定问题。

d. 8~16 a 的周期部分对海流兔河年均径流的变化影响最大, 且水文时间序列周期部分的周期性越强, 对序列趋势的影响越大。

参考文献:

[1] ZANG C, LIU J, JIANG L, et al. Impacts of human activities and climate variability on green and blue water flows in the Heihe River Basin in Northwest China [J]. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 2013, 10 (7): 9477-9504.

[2] HANNAFORD J, BUYS G, STAHL K, et al. The influence of decadal-scale variability on trends in long European streamflow records [J]. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 2013, 17(7): 2717-2733.

[3] 郝振纯, 侯艳茹, 张余庆, 等. 基于 SWAT 模型的皇甫川流域径流模拟研究 [J]. *中国农村水利水电*, 2013 (5): 6-10. (HAO Zhenchun, HOU Yanru, ZHANG Yuqing, et al. Runoff simulation of Huangfuchuan Watershed based on SWAT mode [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2013 (5): 6-10. (in Chinese))

[4] DOUGLAS E M, VOGEL R M, KROLL C N. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 240(1): 90-105.

[5] 张建云, 王国庆, 贺瑞敏, 等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应 [J]. *水科学进展*, 2009, 20(2): 153-158. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, HE Ruimin, et al. Variation trends of runoffs in the middle Yellow River Basin and its response to climate change

[J]. *Advances in Water Science*, 2009, 20(2): 153-158. (in Chinese))

[6] BIRSAN M V, MOLNAR P, BURLANDO P, et al. Streamflow trends in Switzerland [J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 314(1-4): 312-329.

[7] 张丹蓉, 郭勉辰, 夏冬梅, 等. 海流兔河径流量年内分配及变化趋势分析 [J]. *水文*, 2013, 33(3): 85-90. (ZHANG Danrong, GUO Mianchen, XIA Dongmei, et al. Annual runoff distribution of Hailiutu River and its change trend [J]. *Journal of China Hydrology*, 2013, 33(3): 85-90. (in Chinese))

[8] 于延胜, 陈兴伟, 徐宗学. 基于线性分解时序方法的径流序列长度影响研究 [J]. *水土保持通报*, 2009(4): 106-109. (YU Yansheng, CHEN Xingwei, XU Zongxue. Effects of time series length on runoff characteristics by using linear decomposition method [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009(4): 106-109. (in Chinese))

[9] STOJKOVIĆ M, ILIĆ A, PROHASKA S, et al. Multi-temporal analysis of mean annual and seasonal stream flow trends, including periodicity and multiple non-linear regression [J]. *Water Resources Management*, 2014, 28(12): 4319-4335.

[10] 汤成友, 缈韧. 基于小波变换的水文时间序列分解及周期识别 [J]. *人民长江*, 2006, 37(12): 32-34. (TANG Chengyou, MIAO Ren. Hydrologic time series resolution and cycle recognition based on wave-let transformation theory [J]. *Yangtze River*, 2006, 37(12): 32-34. (in Chinese))

[11] NALLEY D, ADAMOWSKI J, KHALIL B. Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario (1954—2008) [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 475(26): 204-228.

[12] 金晓媚, 张强, 杨春杰. 海流兔河流域植被分布与地形地貌及地下水位关系研究 [J]. *地学前缘*, 2013, 20(3): 228-233. (JIN Xiaomei, ZHANG Qiang, YANG Chunjie. Research on vegetation distribution and its relationship with topography and groundwater depth in the Hailiutu River Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(3): 228-233. (in Chinese))

[13] 王晓勇, 尹立河, 戴泽兵, 等. 鄂尔多斯盆地海流兔河流域地表蒸散发研究 [J]. *西北地质*, 2014, 47(1): 244-248. (WANG Xiaoyong, YIN Lihe, DAI Zebing, et al. A study of evaporation in Hailiutu River Basin, Ordo [J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(1): 244-248. (in Chinese))

[14] 董佳秋, 常亮. 海流兔河径流特性变化及影响分析 [J]. *水资源与水工程学报*, 2014, 25(1): 144-147. (DONG Jiaqiu, CHANG Liang. Analysis of runoff characteristic change and influence for Hailiutu River [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2014, 25(1): 144-147. (in Chinese))

(下转第 56 页)

- basin of Taihu Lake Region [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 95-98. (in Chinese)
- [13] 陈崇希. 地下水动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- [14] 曹剑锋, 迟宝明, 王文科, 等. 专门水文地质学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2006.
- [15] 齐蕊. 都思兔河流域三维地下水流场的数值模拟研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- [16] 陈润桥, 温伟光, 何绪升, 等. 降水头注水试验在天津地区的应用分析[J]. 山西建筑, 2013, 39(11): 45-46. (CHEN Runqiao, WEN Weiguang, HE Xusheng, et al. An application analysis of precipitation water injection test in Tianjin [J]. Shanxi Architecture, 2013, 39(11): 45-46. (in Chinese))
- [17] 沈日庚. 上海地区钻孔降水头注水试验公式应用探讨[J]. 上海地质, 2010, 3(3): 51-53. (SHEN Rigeng. An application analysis of precipitation water injection test in Shanghai [J]. Shanghai Geology, 2010, 3(3): 51-53. (in Chinese))
- [18] 杨青春, 卢文喜, 马洪云. Visual Modflow 在吉林省西部地下水数值模拟中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005(3): 67-69. (YANG Qingchun, LU Wenxi, MA Hongyun. The application of Visual Modflow in groundwater numerical simulation in the west of Jilin Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(3): 67-69. (in Chinese))
- [19] 余维, 王博, 陈真林. MODFLOW 在井灌区地下水数值模拟中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2006(11): 17-21. (YU Wei, WANG Bo, CHEN Zhenlin. The application of modflow in groundwater numerical simulation in well irrigation [J]. China Rural Water and Hydropower, 2006(11): 17-21. (in Chinese))

(收稿日期: 2015-12-28 编辑: 徐娟)

(上接第 50 页)

- [15] SU H, LIU Q, LI J. Alleviating border effects in wavelet transforms for nonlinear time-varying signal analysis [J]. Advances in Electrical & Computer Engineering, 2011, 11(3): 55-60.
- [16] KHARITONENKO I, ZHANG X, TWELVES S. A wavelet transform with point-symmetric extension at tile boundaries [J]. IEEE Trans Image Process, 2002, 11(12): 1357-1364.
- [17] 刘萍, 许卓首, 王玲, 等. 气候变化对黄河流域水资源影响研究进展[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(增刊1): 275-278. (LIU Ping, XU Zhuoshou, WANG Ling, et al. Research on climate impact on water resource of Yellow River Basin [J]. Meteorological and Environment Sciences, 2009, 32(sup1): 275-278. (in Chinese))
- [18] CONG Z, YANG D, GAO B, et al. Hydrological trend analysis in the Yellow River Basin using a distributed hydrological model. [J]. Water Resources Research, 2009, 45(7): 335-345. (收稿日期: 2015-12-28 编辑: 彭桃英)

编委风采

魏源送博士,《水资源保护》第8届编辑委员会委员,中国科学院生态环境研究中心研究员,博士生导师。魏源送研究员目前担任中国科学院发展中国家科学院水与环境卓越中心副主任、中国科学院生态环境研究中心鄂尔多斯固体废弃物资源化工程技术研究所所长、江西省科学院能源研究所副所长(挂职)、国际水协会(IWA)非传统水源中国工作组成员、北京生态修复学会副理事长。

魏源送研究员1990年7月毕业于江西工业大学(现南昌大学)精细化工专业,获工学学士学位;1995年7月毕业于大连理工大学环境工程专业,获工学硕士学位;2000年7月毕业于中国科学院生态环境研究中心环境工程专业,获理学博士学位;2002年3月在荷兰应用科学研究院环境、能源和过程创新研究所做博士后;2009年3月以访问学者的身份在瑞士联邦水科学与技术研究所从事科研工作。

魏源送研究员的主要研究领域为污水处理与再生利用、污泥减量与资源化、有机固体废弃物处理与资源化、河流生态治理与修复。自2003年以来,魏源送博士主持与参加多项国家水体污染控制与治理科技重大专项(水专项)、国家“863计划”、国家科技支撑、国家自然科学基金、公益性行业(农业)科研专项、地方政府和企业的科研与应用项目,在国内外核心刊物发表学术论文140余篇,国际会议论文30余篇,获授权发明专利15项和计算机软件著作权1项,获得2010年度北京市科学技术奖三等奖(排名第二),2012年度中国科学院北京分院科研团队科技成果转化奖一等奖(排名第一),2013年度鄂尔多斯市科学技术奖一等奖。

魏源送研究员担任《水资源保护》第8届编辑委员会委员以来,大力支持编辑部工作,为杂志的发展建言献策,积极审稿、投稿,在《水资源保护》2016年第1期上发表文章《地表微生物溯源技术的开发与应用进展》,该文发表后点击率、下载率日益攀升,显示了较好的影响力。