气候转折期前后无锡站年际旱涝周期水文特性的对比分析

秦建国[1,2],张 涛[3],孙 磊[4],徐日勇[5]

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.江苏省水文水资源勘测局无锡分局,江苏 无锡 214031;
3.中国地质大学工程学院,湖北 武汉 430074;4.江苏省地质调查研究院,江苏 南京 210018;
5.江苏省有色金属华东地质勘查局,江苏 南京 210007)

摘 要:在人类影响不断加剧的大背景下,通过对气候转折期前后无锡站年际降雨序列水文特性的对比分析,探索旱涝周期演化的自然规律。研究表明,无锡站年际降雨过程线的外观和内在特征,在1978年前后发生了突变,证实了笔者"气候成因不同特征不同"的猜想,也是气候转折期存在的有力证据;无锡站年际旱涝周期性特征是水文自然演化规律的一部分,其时间序列的一致性,并未因人类活动的影响而改变;分段法的提出打破了旱涝无规律的传统思维定势,国家气候中心对气候转折期的研究成果是其存在的理论基础;本次研究解决了无锡站年际旱涝周期性分析的难题,首次实现了旱涝趋势预测模拟,可推进太湖地区中长期水文预报和气候预测研究。

关键词:旱涝;周期;趋势;预测模拟;分段法;气候转折期;无锡站
中图分类号:P426.616 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2017)06-0051-07

中长期水文预报是根据前期水文要素,使用成因分析与数理统计的方法,对未来较长时间的水文要素进行科学的预测。该学科是介于水文学、气象学与其他学科之间的一门边缘学科。随着社会的不断发展,国民经济各个部门对水文预报提出的要求越来越高,如防汛抗旱的指挥,大中型水利、水电、水运工程的兴建及管理运行等,都要求水文部门能提供预见期长、准确性高的中期和长期预报。由于影响因素的复杂与目前科学水平的限制,中长期水文预报还处于探索、发展阶段[1-5]。

2010年以来,长江中下游地区又进入了一个严重干旱周期之中[6],分别在2011年春季至初夏和2013年夏季出现了两次特大干旱事件。对太湖地区的降雨情况进行探讨,找到旱涝转化的规律,具有极其重要的现实意义。

1 我国旱涝周期的研究历史及现状

旱涝(即干湿)与冷热一样,是地球气候变化最基本的组成部分之一。对旱涝转化机制的研究古已有之,在我国殷商时期的甲骨文中就有关于旱涝的占卜记录,而且在先秦时期就曾取得重大突破。《史记·货殖列传》中就有关于旱涝周期的说法:如"六岁穰,六岁旱,十二岁一大饥。"的记载,意思就是"在十二年一轮的旱涝大周期中,有六年湿润、六年干旱(即两年周期特征明显),且会发生一次大饥荒";还有"太阴在卯,穰;明岁衰恶。至午,旱;明岁美。至酉,穰;明岁衰恶。至子,大旱;明岁美。至卯,积著率岁倍。"的记载,意思就是"每三年就有一次小的旱涝波动、每六年一个中等的旱涝变化,十二年一次的大周期,只要掌握自然规律并恰当运用,一轮的财富积累就可达到原始资本的十二倍"[7]。这是我国有文字记录以来,所有旱涝演化规律的研究中最成熟的例子,也是运用最早的成功范例。

在此后的2000多年里,世界各国的科学家做了大量研究工作,特别是近100多年来,随着社会的不

收稿日期:2016-06-12
作者简介:秦建国(1970-),男,江苏无锡人,高级工程师,主要从事水文勘测和中长期预报研究工作。E-mail:843216854@qq.com

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

断进步,各种新方法、新技术不断涌现,旱涝成因问题的研究取得了一定进展,但是对旱涝演化规律(即预报)的研究一直没有突破[8-11]。

在水文领域,年际旱涝分析是长期水文预报研究的一部分。由于受多种气候因素和人为影响,一般认为水文现象具有随机性,因此其时间系列所隐含的震荡周期的识别和判定是一个重要但又较为困难的问题。解决方法从最初的离散周期图、方差周期图、方差分析过渡到谱分析、小波分析,经历了时间域到时频域的发展过程,特别是1965年傅里叶变换(Fourier Transformation)的出现以及20世纪80年代计算机技术的飞速发展,使时频域分析走向实用并且迅速拓展[12-19]。但是这些方法都有一定的局限性,难以实现正确的预测模拟[20-22]。

在气象领域,年际旱涝分析属中短期气候研究的范畴。目前大多数学者将预测研究的方向瞄准气候成因领域,如太阳活动、大气环流、海温状况和人类影响等,也获得了丰硕的成果。然而这些研究进展对提高气候预测的准确率来说,则显然成效不大[8]。

2 研究对象及方法

2.1 资料的选择

降雨是自然界水循环过程的重要环节,是对气候变化最直接、最敏感的水文气象反应要素之一。因为降雨的时空分布是评价一个地区旱涝形势的主要指标,而且根据中国科学院(CAS)的研究成果,水文序列的周期特性存在区域性规律,且年降雨量序列的区域性规律要比年径流量序列明显[8,23],所以本文的研究目标是太湖地区代表性雨量站的实测资料。

根据江苏省气象局1988年对太湖地区设立较早(1949年前)8个站点的代表性分析:无锡、宜兴、苏州、吴江、常熟五站与太湖地区面平均降雨量的相关性较好,上海、常州、江阴三站略低一些,但是仍然具有一定代表性(见表1)[24]。由于非汛期气候的稳定性远远高于汛期,所以上述站点的年际代表性更高一些。因此,本文选择的研究对象是无锡站的年降雨量,时间序列是1951~2014年。所用原始数据都经过江苏省水文部门审核,资料真实可靠。

2.2 气候转折期

气候转折期就是指气候形势发生明显转变的紧要关头所处的一个特殊时段。国家气候中心(NCC)对近现代气候年代际变化的最新研究成果表明,20世纪70年代末期我国发生了一次气候转折[8]。图1由江苏省气候中心提供。

表1 8个站点1951~1987年汛期(5~9月)降雨量与流域降雨量的相关性

Table 1 The correlation between the rainfall at the stations and the rainfall in the whole basin in the flood periods (May-September) during 1951-1987

站名	无锡	宜兴	吴江	苏州	常熟	常州	上海	江阴
相关系数	0.88	0.86	0.83	0.87	0.81	0.77	0.73	0.78

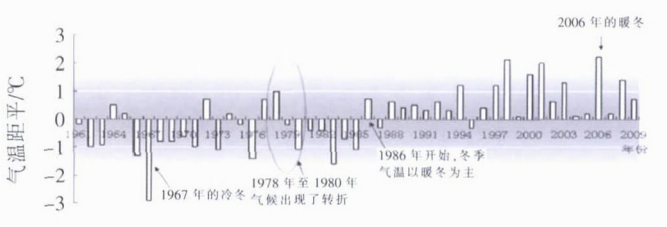

图1 江苏省冬季平均气温距平

Fig. 1 The winter average temperature anomaly in Jiangsu province

2.3 研究方法

由于气候研究的复杂性,旱涝无规律是水文气象工作者的传统思维定势,大多数学者忽视了这方面的研究。2009年夏季,笔者在分析无锡地区年际降雨过程线时发现,1978年前后的水文气象特征明显不同[25-26]。根据江苏省气候中心的研究成果,1978~1980年是江苏地区气候变化的转折期,此前冬季气温以冷冬为主,此后以暖冬为主。由此笔者萌生了"气候成因不同特征不同"的设想,并且在文献[6]和文献[27-28]中采取分段研究的办法,逐步解决了暖冬气候控制期间无锡站降雨年际变化无规律的难题。虽然取得了一些进展,但是要想证明该猜想是否成立,仍然面临着许多困难。因此,如何突破传统观念束缚,解决现实中遇到的困难,达到证明该设想的目的,就需要重新思考研究方法。

然而在水文气象要素研究领域,不但对年际趋势变化研究的较少,而且大多采用五年滑动或者十年滑动的方法来做未来趋势的远景展望[29-30]。由于存在气候转折期等等原因,在实际工作中若将有限的观测数据再进行压缩处理,用来做中短期气候(即近景)预测,则易造成信息丢失,实际效果并不理想。因此,笔者在分段法的基础上,又提出了细部特征分析法,即在继续使用分段法研究的同时,反

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

其道行之,采用“放大镜”或者“显微镜”技术,逐段进行水文时间序列的细部特征分析,以寻找潜在的规律。

3　气候转折期前后无锡站年际旱涝周期水文特性的对比分析

由于人类活动的巨大影响,水文的自然属性几乎消失殆尽。为此,许多科学家认为地球历史的发展演变已经进入了“人类世”,而且各国政府部门也投入了大量的人力、物力对人类活动影响环境的问题进行研究。然而人类社会对自然环境的索取已经接近了阶段性的极限,重新思考地球环境的自然变化规律(对人类的影响)就成为必然。

3.1　制作无锡站年际降雨过程线

无锡地区地势低洼,北受长江高潮位威胁,南受太湖洪水侵袭,历来是洪涝灾害频繁发生的区域。无锡站位于锡城南侧的大运河畔,多年平均降雨量略高于 1 100 mm[31]。该站始建于 1922 年初,但是在 1932 年和 1937 年 10 月~1950 年 6 月停测,此外还有 3 年(1922、1927 和 1934 年)个别月份有中断现象,实际完成全年观测的仅有 11 年。图 2 是无锡站年际降雨过程线。

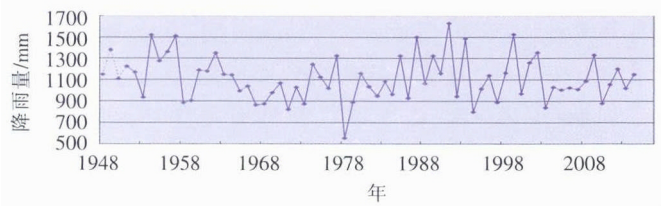

图 2　无锡站年际降雨过程线(1948~2014 年)

Fig.2　The interannual rainfall hydrograph of the Wuxi station from 1948 to 2014

3.2　年际旱涝周期的细部特征分析

从图 2 上可以看出,若将从“上升”至“下降”的一次完整过程看做一个年际旱涝周期性变化的基本单元,那么无锡站年际降雨过程线是由 2a 周期、3a 周期和 4a 周期组成的。根据每个基本单元上升期与下降期历时的不同,又可总结出三种时间趋势特性,即以每个基本单元的顶点为轴线,将上升期历时长、下降期历时短的图形称为具有“顺”的时间趋势特性,反之则称为具有“逆”的时间趋势特性,两边历时等长的则称为具有“正”的时间趋势特性。根据时间趋势特性的不同,就可将这些基本单元划分为具有“正”、“顺”和“逆”三种时间趋势特性的周期。将不同时长的旱涝周期和时间趋势特性组合在一起,还可形成 6 种类型的基本单元(见表 2)。

表2　无锡站年际旱涝周期类型的基本单元

Table2　The interannual variation of flood and drought cycle of the Wuxi station

气候分类	序号	持续时间区间/a	旱涝周期基本单元的类型	次数	特性	序号	持续时间区间/a	旱涝周期基本单元的类型	次数	特性
气候转折期前	1	1948~1950	(升)~(降)	1	正	6	1965~1967	升~降	1	正
	2	1950~1953	(升)~降~降	1	逆	7	1967~1971	升~升~升~降	1	顺
	3	1953~1955	升~降	1	正	8	1971~1973	升~降	1	正
	4	1955~1961	升~升~降	2	顺	9	1973~1976	升~降~降	1	逆
	5	1961~1965	升~降~降~降	1	逆	10	1976~1978	升~降	1	正
气候转折期后	1	1978~1982	升~升~降~降	1	正	4	2003~2007	升~降	2	正
	2	1982~1994	升~降	6	正	5	2007~2013	升~升~降	2	顺
	3	1994~2003	升~升~降	3	顺	6				

注:表中统计的是每个基本单元出现的次数,对相同类型的基本单元进行了合并;表中括号内的部分均为根据历史资料推测。

3.3　对比分析

从图 2 和表 2 中可以看出,在气候转折期前后,不仅无锡站年际降雨过程线的外形特征不同,其内在的水文特征也明显不同,存在突变现象。这些规律即证实了笔者“气候成因不同特征不同”的猜想,也是气候转折期存在的有力证据。

3.3.1　气候转折期之前

无锡站年际降雨过程线在 1950~1978 年期间的特征是:每个基本单元的上升期和下降期的历时最多是 3a;旱涝周期类型的基本单元是由“升~升~升~降”型、“升~降~降~降”型、“升~升~降”型、“升~降~降”型和“升~降”型等 5 种类型构成;仅有“升~升~降”型连

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续出现过一次，可组成一个顺 6a 周期，其余各基本单元都是孤立的，但是可两两组合形成新的 5a 周期或者 6a 周期（见表 3）。由于本段资料不完整，期间未发现“升~升~降+升~降”型的顺 5a 周期和“升~降~降+升~降~降”型的逆 6a 周期，但是根据发现的规律推断，这两种类型存在的可能性很大（今后会专门讨论）。在探讨 5a、6a 周期的时间趋势特性时，需要注意：正周期的基本单元由于两侧历时等长，时间趋势是中性的，在分析过程中可以隐去；顺与逆周期基本单元的特征则是显性的，更能代表它们自然的原始水文属性。

表3 无锡站年际旱涝周期类型基本单元的组合

Table 3 The annual drought and flood cycle type combination of the Wuxi station

分类	段号	时间区间/a	各段的结构及组成	新周期	特性
气候转折期前	1	1945~1950	（一个顺 3a 周期+一个正 2a 周期）	（5a 周期）	（顺）
	2	1950~1955	一个逆 3a 周期+一个正 2a 周期	5a 周期	逆
	3	1955~1961	两个顺 3a 周期	6a 周期	顺
	4	1961~1967	一个逆 4a 周期+一个正 2a 周期	6a 周期	逆
	5	1967~1973	一个顺 4a 周期+一个正 2a 周期	6a 周期	顺
	6	1973~1978	一个逆 3a 周期+一个正 2a 周期	5a 周期	逆
气候转折期后	1	1978~1994	一个正 4a 周期+六个正 2a 周期	不明显	正
	2	1994~2003	三个顺 3a 周期	不明显	顺
	3	2003~2007	两个正 2a 周期	不明显	正
	4	2007~2013	两个顺 3a 周期	不明显	顺

3.3.2 气候转折期之后

无锡站年际降雨过程线在 1978~2013 年期间的特征是：每个基本单元的上升期和下降期的历时最多是 2a；旱涝周期类型的基本单元是由“升~升~降~降”型、“升~升~降”型和“升~降”型等三种类型构成的，期间可分为 5 个部分，其中“升~升~降~降”型仅在气候转折期出现过一次，其实质也是特殊的“升~降”型，分析时可并入后者；另外，“升~升~降”型和“升~降”型从不单独出现，而且都不能组成新的周期。

4 方法（模型）验证[32-33]

每年的气候和旱涝情况，气象部门都会做出预测分析，但是由于预测偏差，可能与实际有较大差异。目前，气候和旱涝预测的准确率较低，还不能达到预报的要求，仅供政府部门参考。但是在分段法应用在无锡站的旱涝规律研究之后，无锡地区年际旱涝趋势预测准确率长期偏低的局面马上发生了改变。根据无锡地区旱涝变化的特点，笔者分别选择气候转折期之前的 1948~1950 年和气候转折期之后的 2010~2013 年，共两个时段进行细部特征分析方法（模型）验证。

4.1 1948~1950 年期间

4.1.1 细部特征法分析

分析过程如下：①根据无锡地区 1950 年 1~6 月无洪涝记录和无锡站 7~12 月实测降雨量（仅为 420.8 mm，约为历史同期多年平均值的 78.2%）较少的情况，可以推定无锡站 1950 年的降雨量比 1951 年（年降雨量为 1 224.1 mm，约是多年平均值的 1.1 倍）低得多，所以 1950~1953 年的旱涝趋势是“升~降~降”型；②根据气候转折期之前无锡站旱涝趋势 5a 周期、6a 周期的特点，可以确定 1950~1955 年是一个逆 5a 周期，并且推定 1950 年以前存在一个顺 5a 周期或者顺 6a 周期；③顺 5a 周期只有一种情况，即“升~升~降+升~降”型，顺 6a 周期则存在两种情况，即“升~升~升~降+升~降”型和“升~升~降+升~升~降”型；④根据历史资料和已经发现的规律判断，第一种情况——即顺 5a 周期的可能性较大；⑤不管哪种情况，1948~1950 年的旱涝趋势都为“升~降”（型）。

4.1.2 方法（模型）验证

验证依据如下：①根据《无锡市水利志》的记载，1949 年汛期，长江、太湖同发大水，无锡地区江堤溃决、圩堤破口，低洼地区大面积受灾，造成了重大经济损失；②1948、1950 年则没有洪涝的记录[34]。无锡站 1948~1950 年细部特征法分析的结果与事实完全吻合。

4.2 2010~2013 年期间

4.2.1 细部特征法分析

分析过程如下：①由于无锡站 2007~2009 年的降

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

雨趋势是连续两年上升，根据气候转折期之后无锡站上升期与下降期历时最多 2a 的特点，可以判定 2010 年必然下降;②“升~升~降~降”型仅在气候转折期出现,是特殊的“升~降”型,由于没有发现新的气候转折期露头迹象,故 2011 年必然上升,所以 2007~2010 年只能是“升~升~降”型;③根据气候转折期之后,“升~降”型和“升~升~降”型从不单独出现的情况,可以判定 2010~2013 年的旱涝趋势与 2007~2010 年一样,都是“升~升~降”型。

4.2.2　方法(模型)验证

验证依据是:① 2010 年 1~4 月太湖地区降雨偏多,但是 5~12 月出现了旱情,无锡站年降雨量明显偏少,约为该站多年平均值的 78%;② 2011 年春季至初夏太湖地区发生了特大干旱，但是此后的梅雨季节出现了旱涝急转，无锡站年降雨量仅比多年平均值偏少约 5%;③ 2012 年太湖地区雨情平稳,无锡站年降雨量比多年均值偏多约 7%；④ 2013 年夏季太湖地区发生了特大干旱,降雨量明显偏少,但是 5 月受江淮气旋、10 月受台风影响降雨较多,无锡站年降雨量仅偏少约 9%；⑤ 2014 年太湖地区春夏两季降雨较多、秋冬两季偏少,无锡站年降雨量是正常略多。无锡站 2010~2013 年细部特征法分析的结果与事实完全吻合。

5　结论

(1)无锡站降雨资料在太湖地区具有较高的代表性、可靠性和一致性,其年际过程线的外观和内在特征,在 1978 年前后发生了突变,研究时必须分成两个部分，即证实了笔者此前“气候成因不同特征不同”的猜想,还可作为气候转折期(1978~1980 年)出现的标志。

(2)气候转折期前后,无锡站年际旱涝周期性特征是水文自然演化规律的一部分，虽然近年来受到人类活动的较大影响，但是其时间序列的一致性依然得到了延续,并没有改变的迹象。

(3)若将从“上升”至“下降”的一次完整过程看做一个年际旱涝周期性变化的基本单元，那么无锡站的年际降雨过程线是由 2a 周期、3a 周期和 4a 周期组成的,其时间趋势还具有正、顺、逆三种特性,两者组合可构成六种类型的基本单元。

(4)在气候转折期之前,无锡站年际旱涝趋势变化存在正 2a 周期、顺 3a 周期、逆 3a 周期、顺 4a 周期和逆 4a 周期等五种类型的基本单元，还可归类合并构成顺、逆时间趋势特性相间的 5a 周期或者 6a 周期。

(5)气候转折期之后,无锡站年际旱涝趋势变化存在正 2a 周期、顺 3a 周期和正 4a 周期等三种类型的基本单元,不能组成新的周期,但可归类合并成正、顺时间趋势特性相间的几个部分。

(6)分段法的提出打破了旱涝无规律的传统思维定势,国家气候中心(NCC)对气候转折期的研究成果是其存在的理论基础。

(7)本次研究解决了无锡站年际旱涝周期性分析的难题,首次实现了旱涝趋势预测模拟,可推进太湖流域中长期水文预报和气候预测研究。

6　结语

长期的水文观测和生产实践积累了大量的水文气象资料,这些资料中蕴涵着自然界长期的演变规律和人类活动影响的信息。如何利用地学知识和先进的科技手段，从这些资料中发现隐含的未知水文规律,并获取更多有用的水文信息,已经成为一个重要的研究领域[35]。

本文是在总结我国学者对旱涝变化研究经验的基础上,结合国家气候中心(NCC)关于气候转折期的最新研究成果，对无锡地区年际旱涝的自然变化规律进行了深入探讨。需要注意的是:①本文中的“旱涝周期”并不是严格意义上的周期，而是指带有某些周期性质的旱涝演化趋势类型[36],笔者称其为“非典型性周期”;②本文中所有观点都是笔者在研究无锡站降雨资料的基础上提出的，在国内其他地方具有多少代表性还需要探讨；③本文仅解决了无锡地区旱涝趋势升降方面的一些问题,还不能进行丰、枯水年景的界定,在旱涝预测领域还有许多问题需要解决。

致谢:本文创作期间,水利部水文司林祚顶副司长、水利部水文情报预报中心周国良主任,以及河海大学的李杰友、黄振平、葛朝霞、李国芳、梁忠民等教授提出了不少建设性意见,使本人获益匪浅,特此感谢!

参考文献:

[1] 范钟秀. 中长期水文预报[M]. 南京: 河海大学出版社,1999. (FAN Zhongxiu. Mid-long Term Hydrological Forecast [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1999. (in Chinese))

[2] 王文, 马骏. 若干水文预报方法综述 [J]. 水利水电科技进展, 2005,25(1): 56-60. (WANG Wen, MA Jun. Review on some methods for hydrological forecasting [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005,25(1):56-60. (in Chinese))

[3] 汤成友, 官学文, 张世明. 现代中长期水文预报方法及其应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (TANG Chengyou, GUAN

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Xuewen, ZHANG Shiming. The Advanced Methods for Mid-long Term Hydrological Forecast and Its Application [M]. Beijing: China Water-Power Press, 2008. (in Chinese))

[4] 葛朝霞, 薛梅, 宋颖玲. 多因子逐步回归周期分析在中长期水文预报中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2009, 37(3):255-257. (GE Chaoxia, XUE Mei, SONG Yingling. Application of multi-factor stepwise regression cycle analysis in medium and mid-long term hydrological forecast[J]. Journal of Hohai University(Natural Science), 2009, 37(3): 255-257. (in Chinese))

[5] 张俊, 程春田, 林剑艺, 等. 中长期水文预报方法研究综述[J].水利水电科技进展, 2010, 30 (S1): 170-176. (ZHANG Jun, CHENG Chuntian, LIN Jianyi, et al. Review of research on methods for mid-long term hydrological forecasting[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010,30(S1):170-176. (in Chinese))

[6] 秦建国, 张泉荣, 洪国喜, 等. 太湖地区2011年春季严重干旱成因与预测 [J]. 水资源保护, 2012, 28 (6): 29-36. (QIN Jianguo, ZHANG Quanrong, HONG Guoxi, et al. Cause of a severe drought in spring of 2011 in Taihu lake area and drought prediction [J]. Water Resources Protection, 2012,28(6): 29-36. (in Chinese))

[7] (西汉)司马迁. 史记[M]. 北京: 中国华侨出版社, 2013. (SI-MA Qian. Redords of the Grand History of China [M]. Beijing: Chinese Overseas Chinese Press, 2013. (in Chinese))

[8] 丁一汇, 王绍武, 郑景云, 等. 中国气候 [M]. 北京: 科学出版社, 2013. (DING Yihui, WANG Shaowu, ZHENG Jingyun, et al. China Climate [M]. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese))

[9] 董前进, 谢平. 水文干旱研究进展 [J]. 水文, 2014, 34 (4): 1-7. (DONG Qianjin, XIE Ping. Advances in hydrological drought research [J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(4): 1-7. (in Chinese))

[10] 张俊, 陈桂亚, 杨文发. 国内外干旱研究进展综述 [J]. 人民长江, 2011, 42(10): 65-69. (ZHANG Jun, CHEN Guiya, YANG Wenfa. Summary of advancement of drought study at home and abroad [J]. Yangtze River, 2011, 42(10): 65-69. (in Chinese))

[11] 杨志勇, 刘琳, 曹永强, 等. 农业干旱灾害风险评价及预测预警研究进展[J]. 水利经济, 2011, 29(2): 12-17. (YANG Zhiyong, LIU Lin, CAO Yongqiang, et al. Progress in the study of evaluation and forecast and early warning of agricultural drought disaster risk [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2011, 29(2): 12-17. (in Chinese))

[12] 陈锡林, 闻余华, 黄利亚, 等. 里下河地区降雨量多时间尺度分析 [J]. 水文, 2008,28 (3): 83-85. (CHEN Xilin, WEN Yuhua, HUANG Liya, et al. Multiple-time scale analysis of precipitation in Lixiahe region [J]. Journal of China Hydrology, 2008, 28(3): 83-85. (in Chinese))

[13] 朱颖洁, 郭纯青, 黄夏坤. 气候变化和人类活动影响下西江梧州站降雨径流演变研究[J].水文, 2010,30(2): 50-55. (ZHU Yingjie, GUO Chunqing, HUANG Xiakun. Change of precipitation and runoff at Wuzhou station on Xijiang river under influence of climate changes and human activities [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30, 30 (2): 50-55. (in Chinese))

[14] 朱志伟, 花振飞. 华北地区冬季降水时空分布特征分析 [J]. 水文, 2010, 30(4):84-87. (ZHU Zhiwei, HUA Zhenfei. Characteristics analysis of winter precipitation in north China [J]. Journal of China Hydrology, 2010,30(4):84-87. (in Chinese))

[15] 张志悦, 陈皓锐, 熊孟琴. 沧州南部地区1970年以来气候变化特征分析[J]. 水资源保护, 2011, 27(4): 42-47. (ZHANG Zhiyue, CHEN Haorui, XIONG Mengqin. Analysis on characteristics of climate change in southern district of Cangzhou since 1970s [J]. Water Resources Protection, 2011,27(4):42-47. (in Chinese))

[16] 杨富程, 夏自强, 黄峰, 等. 额尔齐斯河流域降水变化特征[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012,40(4):432-437. (YANG Fucheng, XIA ZiQiang, HUANG Feng, et al. Variation characteristics of precipitation over Irtysh River basin [J]. Journal of Hohai University(Natural Science), 2012,40(4):432-437. (in Chinese))

[17] 姚治君, 姜丽光, 吴珊珊, 等. 1956~2011年金沙江下游梯级水电开发区降水变化特征分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, 42(4): 289-296. (YAO Zhijun, JIANG Liguang, WU Shanshan, et al. Analysis of characteristics of precipitation variation in cascade hydropower development zone in lower reaches of Jinsha river during period from 1956 to 2011 [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2014,42(4):289-296. (in Chinese))

[18] 易淑珍, 王钊. 水文时间系列周期分析方法探讨 [J]. 水文, 2005, 25(4):26-29. (YI Shuzhen, WANG Zhao. The study of the period method for hydrologic time series [J]. Journal of China Hydrology, 2005, 25(4): 26-29. (in Chinese))

[19] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. (WANG Wensheng, DING Jing, LI Yueqing. Hydrology Wavelet Analysis [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese))

[20] 桑燕芳, 王中根, 刘昌明. 水文时间序列分析方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2013, 32(1):20-30. (SANG Yanfang, WANG Zhonggen, LIU Changming. Research progress on the time series analysis methods in hydrology [J]. Progress in Geography, 2013,32(1): 20-30. (in Chinese))

[21] 桑燕芳, 王中根, 刘昌明. 小波分析方法在水文学研究中的应用现状及展望[J]. 地理科学进展, 2013,32(9):1413-1422. (SANG Yanfang, WANG Zhonggen, LIU Changming. Applications of wavelet analysis to hydrology: Status and prospects [J]. Progress in Geography, 2013, 32(9): 1413-1422. (in Chinese))

[22] 桑燕芳, 王栋, 吴吉春, 等. 水文时间序列复杂特性的研究与定量表征[J]. 水文, 2010,30(5): 1-6. (SANG Yanfang, WANG Dong, WU Jichun, et al. Quantitative characterization of complicated characteristics of hydrologic series [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30 (5): 1-6. (in Chinese))

[23] 赵利红. 水文时间序列周期分析方法的研究[D]. 南京: 河海大学, 2007. (ZHAO Lihong. Study on Analysis Method of Period of Hydrological Time Series [D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))

[24] 吴文富, 陆安娜, 费清培. 太湖地区气候资源研究[M]. 北京: 气象出版社, 1992. (WU Wenfu, LU Anna, FEI Qinpei. Study on Climate

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Resources in Taihu Area [M]. Beijing: Meteorological Press, 1992. (in Chinese))

[25] 秦建国, 朱玲, 任小龙, 等. 无锡地区太湖春汛成因分析 [J]. 江苏水利, 2010, (7): 19-21. (QIN Jianguo, ZHU Ling, REN Xiaolong, et a l. Analysis on cause of spring flood in Taihu area [J]. Jiangsu Water Resources, 2010, (7): 19-21. (in Chinese))

[26] 秦建国. 对无锡地区湿润年景周期性变化的思考 [J]. 人民长江, 2010, 41 (Z1): 50-55. (QIN Jianguo. Reason on wetness periodicity changes in Taihu area [J]. Yangtze River, 2010, 41(Z1): 50-55. (in Chinese))

[27] 秦建国, 洪国喜, 朱骊, 等. 无锡地区降雨年际变化趋势分析与历史演变法的应用[A]. 中国水文科技新发展—2012 中国水文学术讨论会论文集 [C]. 南京: 河海大学出版社, 2012. (QIN Jianguo, HONG Guoxi, ZHU Li, et al. Trend analysis and historical evolution of precipitation in Wuxi [A]. Proceedings of 2012 China Symposium on Hydrology [C]. Nanjing: Hohai University Press, 2012. (in Chinese))

[28] 秦建国, 洪国喜, 张涛, 等. 无锡站年际降雨趋势、特征与预报分析[J]. 水文, 2013, 33(4): 92-96. (QIN Jianguo, HONG Guoxi, ZHANG Tao, et al. Trend, characteristics and forecasting analysis of inter-annual rainfall at Wuxi station [J]. Journal of China Hydrology, 2013, 33(4): 92-96. (in Chinese))

[29] 高鹏, 穆兴民, 王飞, 等. 中国东北地区近百年来降水量变化趋势分析[J]. 水文, 2010, 30(5): 80-84. (GAO Peng, MU Xingmin, WANG Fei, et al. Trend analysis of precipitation in northeast China in recent 100 year [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(5): 80-84. (in Chinese))

[30] 董满宇, 江源, 李俞萍, 等. 近 46 年来东江流域降水变化趋势分析[J]. 水文, 2010, 30(5): 85-90. (DONG Manyu, JIANG Yuan, LI Yuping, et al. Analysis of precipitation change trend over last 46 year in Dongjiang River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30 (5): 85-90. (in Chinese))

[31] 朱骊, 乐峰, 张建平, 等. 城市水利工程对京杭大运河无锡段水位影响分析 [J]. 水文, 2014, 34 (4): 92-96. (ZHU Li, YUE Feng, ZHANG Jianping, et al. Influence of urban water structures on water level in Wuxi reach of Beijing-Hangzhou grand canal [J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(4): 92-96. (in Chinese))

[32] 刘思峰, 党耀国. 预测方法与技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. (LIU Sifeng, DANG Yaoguo. Forecasting Methods and Technology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005. (in Chinese))

[33] GB/T22482-2008, 水文情报预报规范[S]. (GB/T22482-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting [S]. (in Chinese))

[34] 卢伯生, 季永东, 徐道清, 等. 无锡市水利志[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (LU Bosheng, JI Yongdong, XU Daoqing, et al. Wuxi City Water Conservancy Annals [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2006. (in Chinese))

[35] 王继民, 朱跃龙, 李薇, 等. 多度量水文时间序列相似性分析 [J]. 水文, 2014, 34(4): 15-20. (WANG Jimin, ZHU Yuelong, LI Wei, et al. Multi-measure similarity analysis of hydrological time series [J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(4): 15-20. (in Chinese))

[36] 刘南威, 杨士弘, 刘洪杰, 等. 自然地理学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (LIU Nanwei, YANG Shihong, LIU Hongjie, et al. Physical Geography (Second Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))

Hydrological Characteristics of Interannual Drought and Flood Cycle at Wuxi Station before and after Climatic Transition Period

QIN Jianguo[1,2], ZHANG Tao[3], SUN Lei[4], XU Riyong[5]

(1. *Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*; 2. *Wuxi Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province*, *Wuxi* 214031, *China*; 3. *China Geological University*, *Wuhan* 430074, *China*; 4. *Geological Survey Institute of Jiangsu Province*, *Nanjing* 210018, *China*; 5. *East China Mineral Exploration and Development Bureau*, *Nanjing* 210007, *China*)

Abstract: This paper studied the natural law of the drought and flood cycle by comparatively analyzing the hydrological characteristics of interannual rainfall series at the Wuxi Station before and after the climate transition period. The results show that the interannual rainfall process of the Wuxi Station indicates a mutation before and after 1978, which confirms the existence of the climate transition period. The interannual drought and flood periodicity of the Wuxi Station is a part of the natural evolution law of hydrology, of which the consistency of the time series is not changing due to the influence of human activity. The proposed segmentation method breaks the traditional thinking of drought and flood irregular. This study solved the interannual periodicity of drought analysis problem of the Wuxi Station, realized simulation forecast of the drought and flood trend which is a help for mid- and long-term hydrological forecasting and climate prediction in the Taihu Lake area.

Key words: drought and flood; cycle; trend; forecast simulation; segmentation; period of climatic transition; Wuxi Station

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net