

# 无锡站年际降雨趋势、特征与预报分析

秦建国<sup>1,2</sup>, 洪国喜<sup>1</sup>, 张涛<sup>3</sup>, 孙磊<sup>4</sup>, 张彦杰<sup>5</sup>, 沈顺中<sup>1</sup>, 吴朝明<sup>1</sup>

(1.江苏省水文水资源勘测局无锡分局, 江苏 无锡 214031; 2.河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;  
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.中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

**摘要:**针对近年极端灾害性气候频发的现状,对暖冬影响下无锡站降雨年际变化趋势、历史演变特征和近几年水文预报情况进行了分析。结果表明:在暖冬影响下,无锡站降雨年际间呈现出干旱—湿润周期性变化的特征,具有水文旋回的性质,在太湖地区有代表性,可作为该时段的降雨预报模型;该模型打破了年际降雨无规律的传统思维定式,与历史演变法相结合,能提高预报效率与精度;水文旋回的发现和降雨预报模型的建立,可推动水文气象长期预报与气候展望研究。

**关键词:**暖冬;无锡站;年际降雨;水文旋回;预报;模型;干旱

中图分类号:S161

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)04-0092-05

进入 21 世纪以来,极端灾害性气候频发,特别是 2003 年至今,世界各地频繁遭遇干旱灾害,水资源短缺现象日趋严重。在过去 3 年中,我国长江流域出现了严重旱情,大部分地区干旱灾害都达到超百年一遇的程度。截至 2012 年 1 月末,西南部分地区三年降雨量仅相当于过去两年的平均水平,已达到超历史特大干旱级别;鄱阳湖、洞庭湖地区自 2010 年入夏以来持续干旱,目前干旱程度超历史(1952 年建站);太湖地区 2010 年 5 月以来持续干旱,其中 2011 年早春至初夏灾情达到特大干旱级别,据上海徐家汇气象站测得数据显示,2011 年 1~5 月总降雨量为 1873 年建站以来历史同期最少值(132.9mm);洪泽湖地区 2010 年秋季至 2011 年初夏干旱程度超 300 年一遇,标志是 330 年以前沉入湖底的泗洲城和明祖陵首次露出水面。分析我国南方地区旱灾严重的原因,主要问题是降雨稀少。因此,开展区域降雨年际变化趋势与预测研究,已成为政府和学术界高度重视的热点问题,且具有重大现实意义。

## 1 无锡站降雨年际变化趋势分析

降雨年际变化无规律是水文、气象工作者传统的思维定式,对此展开研究的人很少。曾小凡<sup>[1]</sup>、杜富慧<sup>[2]</sup>等人曾进行过一些分析。而且太湖流域在 2000 年

前后实施了“引江济太”项目,沿长江各口门都建造节制闸进行控制,进出水量完全受人为因素影响,引长江水量远多于排水量,造成很多水文基础资料无法延续,前后没有可比性。由于“引江济太”对湖区流量、水量的人为干扰,导致水量规律的研究难以继续,而从降雨入手开展分析就成为必然选择。

### 1.1 研究对象的选择

根据江苏省气象局 1988 年对太湖地区设立较早(解放前)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,常州、上海、江阴三站略低一些,但是仍然具有一定的代表性(见表 1)<sup>[3]</sup>。1978~1980 年是太湖地区气候变化的转折年,之前是冷冬气候所控制,此后是暖冬气候控制,两者的形成机理不同,所以本文选择的研究

表1 1951~1987年汛期(5~9月)八站降雨量与流域降雨量的相关性

Table1 The correlation between the rainfall at the 8 stations and the rainfall in the whole basin in the flood periods from 1951 to 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

收稿日期:2012-07-09

作者简介:秦建国(1970-),男,江苏无锡人,工程师,从事水文勘测和预报工作。E-mail:843216854@qq.com

研究对象是无锡站 1977~2011 年的年际降雨量。所用数据都经过江苏省水文部门审核,资料真实可靠。

### 1.2 分析方法

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地区,多年平均降雨量略高于 1 100mm<sup>[4]</sup>。分析方法是笔者提出的分段法中的“归类合并”,即根据本段的特点:把年降雨量<900mm 的年景称为缺雨年,900~1 200mm 之间的称为平雨年,>1 200mm 的称为丰雨年;把时间连续、特征类似年景的集合体称为降雨期,按降雨年际变化情况对应分成三类降雨期,即缺雨期、平雨期和丰雨期<sup>[5]</sup>。并总结了三条合并原则:①缺雨期:年降雨量<900mm,一般为一年,气候转折期可连续出现;②平雨期:一般年降雨量在 900~1 200mm 之间,允许包含个别缺雨年,平均值在 1 050mm 左右;③丰雨期:一般年降雨量>1 200mm,允许包含个别平雨年,平均值>1 250mm。

### 1.3 降雨年际变化趋势分析

根据合并原则和该时段的特点,笔者按缺雨期、平雨期、丰雨期的顺序划分,共合并为 11 个降雨期,可组成 4 个干旱—湿润周期(见图 1)。各周期时间跨度不是固定的,在地学研究中称为旋回<sup>[6]</sup>。旋回是比周期更高一级、更为复杂的自然节律。在自然界中,地质旋回和气候旋回早已获得认同,是旋回性节律的典型范例。水文旋回的研究成果还比较少见,因此不为大家所熟知。

### 1.4 统计分析

从图 1 中可以看出,无锡地区 1978 年以来共经历

了 3 次干旱—湿润周期的完整变化,它们的趋势特征是:每个干旱—湿润周期的时间跨度、与各周期中湿润期的时间跨度,都呈势物线型( $y=x^2$ )周期性递减之势(见表 2),且振幅呈递减趋势。因此,笔者认为这些都具有指向作用,预示着无锡地区 2010 年秋至 2011 年初夏发生的秋冬春连旱局面的到来。

表2 暖冬气象格局下无锡地区干旱与湿润周期性变化时间跨度统计表

Table2 The statistics of periodic change time span of drought and humid in Wuxi region in the condition of warm winter

周期分布	类别	时段	跨度/a
第一周期 (1978~1993 年) 时间跨度 16a	缺雨期	1978~1979	2
	平雨期	1980~1984	5
	丰雨期	1985~1993	9(3 <sup>2</sup> )
第二周期 (1994~2002 年) 时间跨度 9a	缺雨期	1994	1
	平雨期	1995~1998	4
	丰雨期	1999~2002	4(2 <sup>2</sup> )
第三周期 (2003~2009 年) 时间跨度 7a	缺雨期	2003	1
	平雨期	2004~2008	5
	丰雨期	2009	1(1 <sup>2</sup> )
第四周期 (2010~X 年) 时间跨度 Y <sub>a</sub>	缺雨期	2010	1
	平雨期	2011~(2014)	预测值 4~5
	丰雨期		

## 2 历史演变法特征分析

历史演变法是气象学家杨鉴初先生 1951 年提出的。该方法曾经风靡全国,20 世纪 80 年代随着计算机和信息技术的普及逐渐被淘汰。但是历史演变法提出

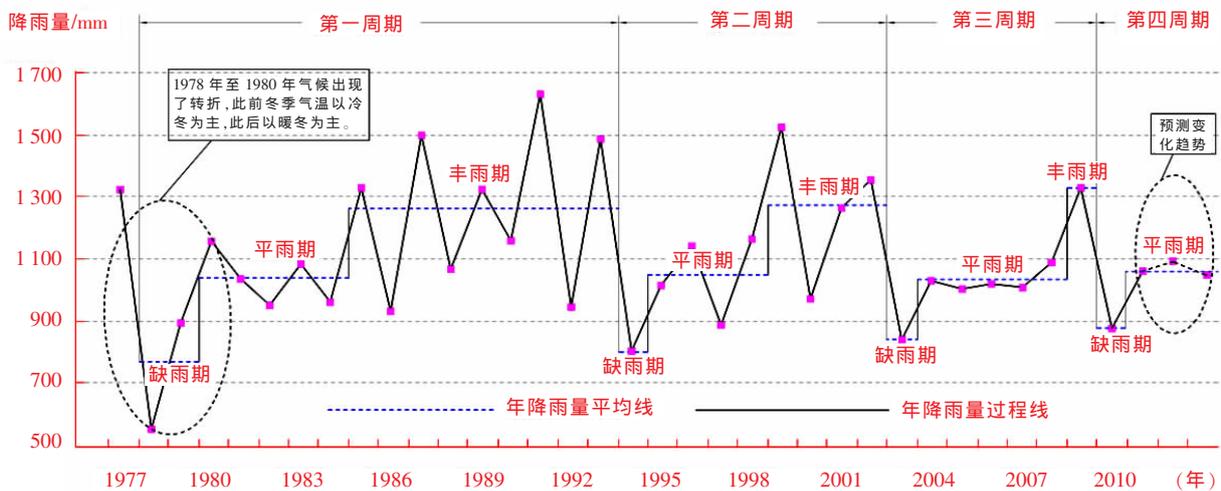


图 1 暖冬气候格局下无锡站年际降雨过程线

Fig.1 The interannual rainfall process curve of the Wuxi station in the condition of warm winter

的以五方面规律来做预报还是考虑得比较全面,方法也简单易行,至今还具有现实意义。因此,笔者重新利用该方法进行预报分析,并根据无锡站的实际情况做了一定的修正和整理。

## 2.1 历史演变法及其机理

历史演变法是利用某一站点某一水文气象要素历史演变曲线(即水文上的过程线)的外形特征,分析它的统计规律来做预报的方法。这种方法的基本出发点是:任何一个水文气象要素的历史记录都反映了这个要素全面的历史变化。尽管影响这一要素的一切外界因子与内部要素我们目前还不能一一辨认,也还不能确定各个因素的影响程度,但是这些因素的综合影响却都已经毫无遗漏地反映在这个要素的历史记录之中。因此,只要我们能够找出这一要素历史变化的统计规律,我们就可以利用这些规律来进行预报<sup>[7]</sup>。

## 2.2 特征分析

在实际工作中,杨鉴初先生根据历史演变曲线的变化情况,归纳出了5种规律,即:持续性、相似性、(似)周期性、最小可能性与最大可能性、(特征)转折点。

### 2.2.1 持续性

所谓持续性是指气象或水文要素在历史变化中升降的持久程度。可分为两个方面:

(1)如果当某一水文或气象要素的数值超过某一特定数值时,则第二年必然下降。根据无锡站实际情况可修正为:在1977~2011年期间,如果当某一水文或气象要素的数值超过或者低于某一特定数值时,则第二年的趋势走向必然反转。从图1中可以看出:①当年降雨量 $>1\ 300\text{mm}$ 时,第二年降雨量必然回调至 $1\ 200\text{mm}$ 以下;②当年降雨量 $<900\text{mm}$ 时,第二年降雨量都是增加的,且其趋势持续时间是一至二年。在图1中第一种情况出现了9次,第二种情况出现了5次,无一例外。

(2)如果第一年下降,第二年继续下降,则第三年必然上升。可修正为:如果某一水文气象要素的趋势连续两年上升或下降,则第三年必然反转。在图1中连续两年上升再下降的情况发生过5次,连续两年下降再上升的情况发生过1次,也无一例外。

### 2.2.2 相似性

相似性是指历史演变曲线在某一段时期的变化趋势在外形上有很相似的地方。如图1中我们可以看到:①1982~1988年与1988~1994年的变化趋势是非常相

似的,它们的表现都是升—降—升—降—升—降的形状,而且都是第一个波峰较低、波谷浅,后面两个波峰高、波谷深;②1993~1998年与1999~2004年的变化趋势是非常相似的,它们的表现都是降—升—升—降—升—升的形状。

### 2.2.3 (似)周期性

首先要说明的是这里所指的周期并不是严格意义上的周期,而是指水文气象要素的某些变化情况经过一定的时间间隔以后又出现类似的变化。从图1上可以看出:①1978~1994年期间的趋势变化都是轴对称图像,其表现为升—升—降—降或升—降—升—降的形状;②1994~2003年期间每隔三年就会出现一次峰谷,而且它们的表现都是升—升—降—降的形状;③2003~2010年期间,则是第一种与第二种情况的综合体。为区别于前面的周期性变化,笔者称为(似)周期性。

### 2.2.4 最小可能性与最大可能性

任何要素的历史变化,它的数值在一定时期内均有一定的变化范围。注意变动范围对预报有很大的帮助。要素未来的数值超出它历史变化的范围不是不可能的,但是可能性较小。历史记录的年代越长,超出这种范围的可能性也越小,因此称预报数值超出历史变化范围的可能性为最小可能性。同时把历史变化中经常出现的数值范围称为最大可能性。

应用原最小可能性和最大可能性来做预报,优点是预报的准确性高,往往是所有可能性都计算在内,缺点是预报的范围过大,与实际情况有较大的出入,弄不好就会产生方向性错误,可利用性较差。利用已经发现的水文旋回,其中各降雨期都有固定的范围,这样就缩小了最小可能性与最大可能性的范围,能提高预报精度,增加可利用性。

### 2.2.5 (特征)转折点

这里所说的转折点是指某一水文气象要素在历史变化中的某一时期很明显的特征,在后一时期中发生了改变并且出现了新的特征,称两个时期之间的转折期为转折点。因此,转折点就是两种历史变化特征的分界线。在短期历史变化中,转折点不是经常出现的。为区别于干旱—湿润周期的转折点,笔者称为(特征)转折点。它与干旱—湿润周期转折点有时可以重合,如图1中:①1978、1994、2003和2007年都是历史演变曲线的趋势(特征)转折点,其中1978、1994、2003也是干旱—湿润周期的转折点;②2010年是干旱—湿

润期的转折点,但不是历史演变曲线的趋势(特征)转折点。

### 3 在无锡站水文预报中的应用

每年的气候和年际降雨情况,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。目前短期天气预报(24~48h)的准确率可以超过80%,中期天气预报(3~15d)的成功率达到60%就可以算合格了,而长期气候预报(1~12个月)<sup>[8]</sup>的成功率更低。但是在笔者将降雨年际变化的水文旋回与历史演变法相配合以后,无锡站年际降雨长期预报准确率偏低的情况马上发生了改变,部分年份预报的相对误差能控制在5%以下。下面是无锡站2009年以来的预报情况。

#### 3.1 2009年预报分析

预报依据如下:①根据第三周期平雨期已经持续5年的情况,按统计分析和水文旋回周期性原理,笔者判断2009年是丰雨年;②丰雨年降雨量的波动范围在1200~1630mm(1991年降雨量)之间;③根据年际降雨振幅逐渐变小的趋势,笔者把已经出现的8个丰雨年均值和两个丰雨期均值分别作为最大可能性的上限和下限(见表3);④用上限和下限的算数平均值作为预报值;⑤无锡地区2009年的气候发展趋势与1999年、2001年情况类似。

表3 无锡站近年降雨年际预测结果统计

Table3 The statistics of the forecasted results of the interannual rainfall at the Wuxi station

年份	预报 上限 /mm	预报 下限 /mm	预报值 /mm	允许 误差 /%	实测值 /mm	相对 误差 /%	预报 精度
2009	1426	1265	1346	±20	1327.9	+1.4	优秀 <sup>[8]</sup>
2010	900	800	850	±20	878.9	-3.3	优秀
2011	1082	964	1023	±20	1056.6	-3.2	优秀
2012	1200	900	1050	±20			
2013	1200	900	1050	±20			

#### 3.2 2010年预报分析

预报依据如下:①根据持续性分析2009年降雨量超过1300mm的上限,且是连续两年上升,所以2010年趋势必然下降;②根据统计分析和旋回的周期性原理,笔者判定第三周期丰雨期仅为1a,因此2010年是转折期,又是缺雨年;③缺雨年降雨量的波动范围在900~553mm(1978年降雨量)之间;④因为已经出

现的缺雨年只有4次(1978年是特殊的气候转折年,不在本次统计之内,下同),且波动范围较小(801~892mm),所以就用它们出现的区间适当外延后作为最大可能性的上限和下限(见表3);⑤预报值计算同上;⑥无锡地区2010年的气候发展趋势与1979、1994、1998、2003年情况类似。

#### 3.3 2011年预报分析

预报依据如下:①根据统计分析和旋回的周期性原理,且持续性分析2010年为缺雨年、降雨量低于900mm的下限,判定2011年趋势必然是上升的——即为平雨年;②平雨年降雨量的波动范围在900~1200mm之间;③根据年际降雨振幅变小的趋势,把已经出现的3个平雨期中的5个谷值年平均值作为最大可能性的下限,7个峰值年平均后作为最大可能性的上限(见表3);④预报值计算同上;⑤无锡地区2011年的气候发展趋势比较特殊,早春至初夏是特大干旱,梅雨季节时旱涝急转,解放后从未有过,历史上与其类似的情况也十分少见。

#### 3.4 2012年预报分析

预报依据如下:①根据统计分析和旋回的周期性原理,且2011年已进入平雨期,可以推定2012年是平雨期的第二年——即平雨年(仅当前一年实测降雨量接近平雨期的波动上限时,才考虑是否有缺雨年的情况发生);②根据平雨年的特征,平雨年降雨量的波动范围在900~1200mm之间;③因平雨年的波动范围不大,可以将年降雨量范围最大可能性的上限定为1200mm、下限为900mm;④预报值计算同上(见表3);⑤无锡地区2012年的气候演变趋势是与2010年类似的偏旱年景,夏秋两季均为旱情多发季节,但2012年度7、8月间受夏季台风影响降雨较多,阻碍了干旱的持续发展。

#### 3.5 2013年预报分析

预报依据如下:①根据统计分析和旋回的周期性原理,平雨期持续时间是4~5a,可以推定2013年是第四周期平雨期的第三年——即平雨年;②预报方式与2012年基本相同(见表3);③如2012年降雨量实测值明显大于2011年,则根据持续性的特征,可在2013年原预报值基础上适量减少50或100mm;④预计无锡地区2013年的气候演变趋势是2012年偏旱年景的延续——即为旱情多发年份、但持续性不强。

## 4 结论

在暖冬气象格局影响下,无锡站降雨年际间呈现出干旱-湿润周期性变化的特征,具有水文旋回的性质,在太湖地区有代表性,可作为该时段的降雨预报模型;该模型打破了年际降雨无规律的传统思维定式,与历史演变法相结合,能提高预报效率与精度;该旋回的发现和降雨预报模型的建立,可推动水文气象长期预报与气候展望研究。

## 5 结语

无锡站年际降雨的水文旋回是笔者2009年在研究降雨特征时发现的。因水文旋回看似简单,实际应用也不容易掌握,且该水文旋回发现的时间短、分析的是年际降雨变化特征,而水文气象长期预报的难度很大,所以本文中难免存在考虑不周之处,希望大家多提宝贵意见。今后我们还将认真学习、不断钻研,努力提高认知水平。

### 参考文献:

- [1] 曾小凡,翟建青,姜彤,等.长江流域年降雨量的空间特征和演变规律分析[J].河海大学学报(自然科学版),2008,36(6):727-732. (ZENG Xiaofan, ZHAI Jianqing, JIANG Tong, et al. Spatial characteristics and evolutionary trends of annual precipitation in the Yangtze river basin[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2008,36(6): 727-732.(in Chinese))
- [2] 杜富慧,郝振纯,陈新美,等.邯郸地区年降雨量统计特性[J].水资源保护,2009,25(6):16-20. (DU Fuhui, HAO Zhenchun, CHEN Xinmei, et al. Statistical characteristics of annual precipitation in Handan region [J]. Water Resources Protection, 2009,25(6):16-20.(in Chinese))
- [3] 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 Resources in Taihu Area [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1992.(in Chinese))
- [4] 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,2010,155(7):19-21. (QIN Jianguo, ZHU Ling, REN Xiaolong. Analysis on cause of spring flood in Taihu area[J]. Jiangsu Water Resources, 2010,155(7): 19-21.(in Chinese))
- [5] 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(增刊),2010,41:50-55. (QIN Jianguo. Thinking on wetness periodicity changes in Taihu area [J]. Yangtze River, 2010,41:50-55.(in Chinese))
- [6] 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))
- [7] 周恩济,林镜榆,范钟秀,等.气象学[M].南京:河海大学出版社,1989. (ZHOU Enji, LIN Jingyu, FAN Zhongxiu, et al. Meteorology [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1989.(in Chinese))
- [8] GB/T 22482-2008, 水文情报预报规范 [S]. (GB/T 22482-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting [S]. (in Chinese))

## Trend, Characteristics and Forecasting Analysis of Inter-annual Rainfall at Wuxi Station

QIN Jianguo<sup>1,2</sup>, HONG Guoxi<sup>1</sup>, ZHANG Tao<sup>3</sup>, SUN Lei<sup>4</sup>, ZHANG Yanjie<sup>5</sup>, SHEN Shunzhong<sup>1</sup>, WU Chaoming<sup>1</sup>

(1. Wuxi Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Wuxi 214031, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. China Geological University, Wuhan 430074, China; 4. Geological Survey Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China;

5. Nanjing Center of China Geological Survey Institute, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** This paper analyzed the trend change, characteristics evolution and hydrological forecasting of the interannual rainfall at the Wuxi station under the influence of warm winters. The results show that under the influence of warm winters, there are drought-moist varying periods of the interannual rainfall at the Wuxi Station, with the characteristics of the hydrological cycle. With this characteristics as the representative in the Taihu Lake region, a rainfall prediction model can be developed, which will break the traditional thinking pattern that there is no regular for interannual rainfall, and improve the prediction efficiency and accuracy.

**Key words:** warm winter; Wuxi Station; inter-annual rainfall; hydrological cycle; prediction; model; drought