

Huan Dongtinghuqu
Qihou Bianhua Yanjiu



环洞庭湖区 气候变化研究

廖玉芳 彭嘉栋 罗伯良 黄菊梅 吴贤云 杜东升 等 编著



气象出版社
China Meteorological Press

环洞庭湖区气候变化研究

廖玉芳 彭嘉栋 罗伯良 等 编著
黄菊梅 吴贤云 杜东升

内 容 简 介

本书以数据分析结果和国内相关研究成果作支撑,揭示了环洞庭湖区气候变化事实,分析了气候变化对环洞庭湖区的影响,并结合“洞庭湖生态经济区规划”提出了应对策略。

本书图文并茂,可供相关行业和地方管理部门使用,也可供气象、气候、农业、林业、水资源、能源、旅游、人体健康等领域科研与教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环洞庭湖区气候变化研究/廖玉芳等编著. —北京:
气象出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-5029-5728-5

I. ①环… II. ①廖… III. ①洞庭湖-湖区-气候变
化-研究 IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 117253 号

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑: 陈 红

封面设计: 博雅思企划

责任校对: 华 鲁

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 224 千字

版 次: 2013 年 6 月第 1 版

定 价: 50.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 黄润恒

责任技编: 吴庭芳

印 张: 9

印 次: 2013 年 6 月第 1 次印刷

前言

气候变化问题是 21 世纪各国、各地可持续发展中面临的重大问题。IPCC 报告指出,在人类社会各个经济领域未来气候变化的主要影响是负面的,其强度随采取的减缓和适应对策的不同而不同。

洞庭湖是我国第二大淡水湖,跨湘鄂两省,目前湖泊总面积约 2625 km²,它是长江最重要的调蓄性湖泊,担负着调蓄长江、湘、资、沅、澧四水洪峰和调节气候、降解污染等重要任务,也直接关系到洞庭湖周边乃至长江中下游地区的用水安全和生命财产安全。洞庭湖湿地是我国最大的淡水湿地,面积达 61.2 万 hm²,它作为首批代表中国加入《国际湿地公约》的六大自然保护区之一,在国际上占有非常重要的地位,被誉为“拯救世界濒危珍稀鸟类的主要希望地”,已载入《世界重要湿地名录》。环洞庭湖区是我国粮食安全的重要保障基地,素有“湖广熟、天下足”和“鱼米之乡”的美誉,是我国最大的水稻种植区和重要的商品粮、棉、油、麻、渔主产、加工区。它也是我国中部的战略要区,北接武汉城市圈,南连长株潭城市群,位于长江产业带与华南经济圈、长三角、珠三角和成渝经济区的交汇中心,交通枢纽优势明显,京广铁路、武广客运专线、京珠高速公路和 107 国道平行穿越,长江黄金水道通江达海。因此,环洞庭湖区对于维护我国中部腹地生态平衡有着极其重要的作用。

环洞庭湖区具有自然资源的同构性、环境功能的整体性、产业结构的相似性和社会文化的同源性。湖南省委、省政府作出了加快推进环洞庭湖生态经济区建设的决策部署,充分体现了党的十八大关于推进生态文明建设和积极应对全球气候变化的战略要求,体现了保障国家粮食安全、生态安全、民生安全和水资源安全的现实要求,体现了完善区域发展战略的内在要求。

气候变化已对环洞庭湖区农业、生态、水资源、人体健康、旅游等产生不同程度的影响,有些影响还未显现或有加剧之势,因此,对环洞庭湖区开展气候变化及其应对研究极具现实意义。

《环洞庭湖区气候变化研究》共分 6 章,第 1 章相关定义,由廖玉芳编写;第 2 章气候资料序列构建,由彭嘉栋编写;第 3 章气候变化观测事实及变化趋势预估,由彭嘉栋、廖玉芳编写;第 4 章气候变化成因,由罗伯良、杜东升、彭莉莉等编写;第 5 章气候变化的影响,由黄菊梅、廖玉芳、彭嘉栋、吴贤云等编写;第 6 章,气候变化应对策略,由廖玉芳编写。全书由廖玉芳统稿。

本书在编写过程中得到了中国气象局科技与气候变化司、湖南省发展和改革委员会的高度重视和支持,得到了众多气候变化领域专家的指导,在此一并致谢。由于编写者水平有限,书中的不足和错误在所难免,恳请读者批评指正;另外,引用文献会有疏忽遗漏之处,敬请谅解和指教。

作者

2013 年 3 月于长沙

目 录

前言	
1 定义及方法	(1)
1.1 环洞庭湖区地域范围	(1)
1.2 气候变化相关定义	(2)
1.3 气候变化检测方法	(3)
2 气候资料序列构建	(5)
2.1 资料收集与整理	(5)
2.2 气象观测资料的均一化处理	(8)
2.3 资料插补	(13)
2.4 气候资料序列构建	(20)
3 气候变化观测事实及变化趋势预估	(24)
3.1 气候变化观测事实	(24)
3.2 气候变化趋势预估	(69)
4 气候变化成因	(80)
4.1 全球气候变暖的影响	(80)
4.2 与大气环流异常有关	(80)
4.3 与外强迫影响因子有关	(86)
4.4 与本土下垫面性质的改变有关	(97)
5 气候变化的影响	(104)
5.1 对农业的影响	(104)
5.2 对湿地生态系统的影响	(106)
5.3 对水资源的影响	(109)
5.4 对人体健康的影响	(110)
5.5 对洞庭湖旱涝强度的影响	(112)
6 气候变化应对策略	(124)
6.1 加强环洞庭湖区发展综合管理	(124)
6.2 创建全国现代农业引领区	(125)
6.3 加大湿地生态系统恢复保护力度	(126)
6.4 健全综合防灾减灾体系	(127)
6.5 强化血防和除鼠工作	(127)
6.6 大力发展环洞庭湖区旅游产业	(128)
6.7 推动生物质能和风能太阳能资源的开发利用	(129)
参考文献	(130)



定义及方法

1.1 环洞庭湖区地域范围

长期以来,围绕洞庭湖所特指的地域名称繁多,如洞庭、洞庭湖、洞庭湖区、洞庭平原、纯湖区等等。1985年12月湖南省国土委员会办公室和湖南省经济研究中心编《洞庭湖区整治开发综合考察研究专题报告》,湖南只有19个县(市),湖北未明确范围,长沙市区、宁乡县,益阳市桃江县,湘潭市区和湘潭县,株洲市区和株洲县未包括在内,所谓纯湖区。湖南省水利水电厅1993年编印《湖南省洞庭湖区1994—2000年防洪治涝规划报告》(即“湖南省洞庭湖区近期治理二期工程规划的报告”)中,洞庭湖区指纯湖区和洞庭湖洪水顶托国水尾间所致范围,湖南省包括长沙、湘潭、株洲、岳阳、常德、益阳6市所属37个县(区、市)和15个省地、市属国营农场和省属劳改农场。其中纯湖区含18县(区、市)和15个国营农场。即常德市的武陵区、鼎城区、汉寿县、安乡县、澧县、津市;岳阳市的岳阳楼区、云溪区、君山区、岳阳县、临湘市、湘阴县、华容县;益阳市的资阳区、赫山区、沅江市、南县;长沙市的望城县;原15个农场已改设为建制镇并相应设立西湖、西洞庭湖、大通湖和屈原4个县级农场管理区,南湾湖农场改湖南省军区副食品生产基地。四水尾间区含19县(区、市),即常德市桃源县、临澧县,岳阳市汨罗市,益阳市桃江县,长沙市芙蓉区、天心区、开福区、雨花区、岳麓区、长沙县、宁乡县,湘潭市雨湖区、岳塘区、湘潭县,株洲市天元区、石峰区、芦淞区、荷塘区、株洲县。湖北省包括荆州市的松滋市、石首市、公安县。洞庭湖区共计有7市所属40个县(区、市)、4个县级农场管理区、2个农场和1个生产基地。总面积(堤垸面积)为18 780 km²,其中湖南15 200 km²,占总面积的80.9%。1996年版《湖南省地图集》“洞庭湖区”的范围是“以洞庭湖为中心”的11县7市和15个农场,未包括长沙市、长沙县、宁乡县、湘潭市区、湘潭县、株洲市区、株洲县、桃江县和湖北荆南三县(市)。2001年版则增加了“湖北省的松滋、公安、石首等县市”的说明。王克项主编《洞庭湖治理与开发》(湖南人民出版社,1998年)其区域范围基本同此,唯缺桃江一县。

“环洞庭湖经济圈”的概念最早由湖南省人民政府参事、著名经济学家、湖南商学院教授柳思维1996年提出,湖南省第十次党代会报告中明确指出要加快建设洞庭湖生态经济区,2012年11月27日《洞庭湖生态经济区规划》通过专家组评审。环洞庭湖生态经济圈包括湖南省的

岳阳、常德、益阳三市,长沙市望城区以及湖北省的松滋、公安、石首等县市,总面积约 5.23 万 km²,人口近 2000 万。

基于环洞庭湖生态经济圈定义,结合洞庭湖区已有的相关定义,确定本书所指的环境洞庭湖区地域范围为:湖南省长沙、湘潭、株洲、岳阳、常德、益阳 6 市所属 37 个县(区、市)和 15 个省地、市属国营农场和省属劳改农场,湖北省荆州市的松滋市、石首市及公安县。在该区域内,对应的地面气象观测台站有:松滋、石首、公安、岳阳、临湘、湘阴、华容、汨罗、常德、汉寿、安乡、澧县、桃源、临澧、赫山区、沅江、南县、桃江、望城坡、马坡岭、宁乡县、湘潭、株洲等 23 个(图 1.1)。

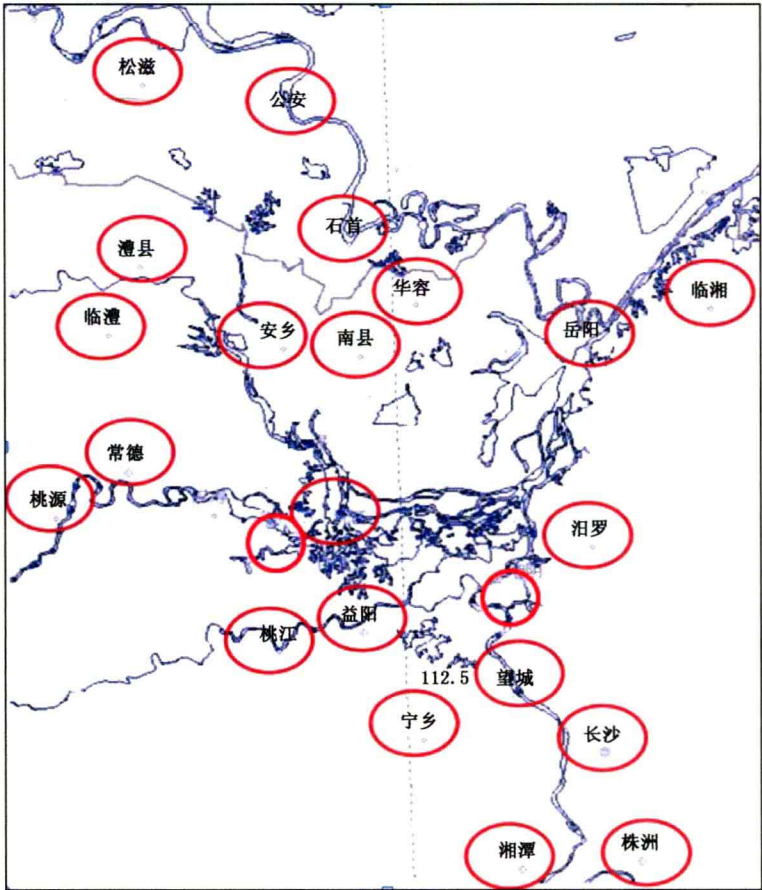


图 1.1 环洞庭湖区气象观测站分布图

1.2 气候变化相关定义

气候变化是指气候平均值和气候离差值出现了统计意义上的显著变化。本书中,变化趋势未通过 $\alpha=0.10$ 显著性检验的描述为无明显趋势变化或变化趋势不显著,对通过 0.10、0.05、0.01 显著性检验的,其变化趋势分别描述为较显著、显著、极显著。

对不同气候要素变化描述用语统一规定为:气温变化用“升高或降低”,降水、日照变化用

“增多或减少”，风速、日较差用“增大或减小”等。

为与 IPCC4 评估报告中的气温、降水检测标准相对应，选定 1961—1990 年气象要素平均值作为本书的气候基准值。

气候变化观测事实分析过程中，受观测要素、观测起始时间的影响，采用的时间尺度依据资料的时间完整性和空间完整性而定。

1.3 气候变化检测方法

1.3.1 线性回归

线性回归是研究气候变化的最常用方法，它可以估计气候变化的趋势。在一元线性回归分析中用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量， t_i 表示对应的时间， x_i 与 t_i 之间的一元线性回归模型为：

$$x_i = a_0 + a_1 t_i \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (1.1)$$

式中， a_0 为回归常数， a_1 为回归系数，它们可用最小二乘法进行估计：

$$a_0 = \bar{x} - a_1 \bar{t} \quad (1.2)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (1.3)$$

$$\text{其中} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (1.4)$$

时间 t_i 与变量 x_i 之间的相关系数为 r 。计算公式为：

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}} \quad (1.5)$$

取 $b = a_1 \times 10$ 作为气候要素倾向率。当 $b > 0$ 时，说明气候变量随时间 t 呈上升的趋势， $b < 0$ 时说明气候变量随时间 t 呈下降的趋势。相关系数 r 的取值在 $-1.0 \sim +1.0$ 之间。当 $r > 0$ 时，表明两变量呈正相关，越接近 1.0，正相关越显著；当 $r < 0$ 时，表明两变量呈负相关，越接近 -1.0 ，负相关越显著；当 $r = 0$ 时，则表示两变量相互独立。

1.3.2 突变分析

曼-肯德尔法 (Mann-Kendall Analysis) 是一种非参数检验方法，其优点是不需要样本遵循一定的分布，也不受少数异常值的干扰。对于具有 n 个样本量的时间序列 x ，构造一秩序列：

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1.6)$$

秩序列是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下，定义统计量：

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \tag{1.7}$$

其中

$$E(S_k) = k(k + 1)/4 \tag{1.8}$$

$$\text{var}(S_k) = k(k - 1)(2k + 5)/72 \tag{1.9}$$

这里 UF_i 是标准正态分布,它是按时间序列 x 顺序 $x_1, x_2, \cdots, x_n$, 计算出的统计量序列, 给定显著性水平 α , 查正态分布表, 若 $|UF_i| > U_\alpha$, 则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列 x 逆序 $x_n, x_{n-1}, \cdots, x_1$, 重复上述过程, 同时使 $UB_k = -UF_k, k = n, n - 1, \cdots, 1, UB_1 = 0$ 。给定显著性水平: $\alpha = 0.05$, 临界线为 ± 1.96 (两条虚线)。若 UF 或 UB 值大于 0, 则表明序列呈上升的趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势。当统计曲线超过临界线时, 表明上升或下降趋势显著。如果统计曲线在临界线之间出现交点, 则交点对应的时刻就是突变开始的时间。

1.3.3 周期分析

小波分析 (Wavelet Analysis) 具有以下优点: 它在时域和频域同时具有良好的局部性质; 它能将信号或图像等分解成交织在一起的多尺度成分, 并对各种不同尺度成分采用相应粗细的时域或空域取同样步长, 从而能够不断地聚焦到所研究对象的任意微小细节; 具有数学意义上的严格的突变点诊断能力。另外, 小波变换一方面给出气候序列变化的尺度, 另一方面显示变化的时间位置, 后者则对气候预测有着重要意义。

在数理上 Mexh 小波和 Morlet 小波的系数零点均对应于卷积函数的拐点, 其位置正好能够反映气候突变点位置所在, 这样上述两种小波就能检测出多时间尺度上的气候突变点。本书采用气候研究中常用的 Morlet 小波分析气温、降水的周期性, 具体算法见相关文献 (魏凤英, 2007)。



气候资料序列构建

2.1 资料收集与整理

2.1.1 1909—1950 年气象观测资料

我国大规模气象观测台站建设始于 1951 年。1951 年之前环洞庭湖区仅长沙、岳阳、常德有气温、降水观测资料,其中长沙、岳阳气温、降水观测资料始于 1909 年,常德始于 1932 年。由于战事等原因,长沙、岳阳、常德的气温、降水观测资料缺测均较多,为此,收集整理了洞庭湖区周边沅陵、芷江、郴州、邵阳、衡阳、汉口的气温、降水观测资料作为环洞庭湖区缺测资料插补的参考资料。表 2.1 和表 2.2 分别给出了长沙、岳阳、汉口、常德、沅陵、芷江、邵阳、衡阳、郴州 1909—1950 年有气温、降水观测记录的时间表。

表 2.1 长沙、岳阳、汉口、常德、沅陵、芷江、邵阳、衡阳、郴州气温资料记录时间表(月)

年	长沙	岳阳	汉口	常德	沅陵	芷江	邵阳	衡阳	郴州
1909	5-12	12	1-12						
1910	1-3,10-12	1-12	1-12						
1911	1-12	1-12	1-12						
1912	1-12	1-12	1-12						
1913	1-12	1-12	1-12						
1914	1-12	1-12	1-12						
1915	1-12	1-12	1-12						
1916	1-12	1-12	1-12						
1917	1-12	1-12	1-12						
1918	1-12	1-12	1-12						
1919	1-12	1-12	1-12						
1920	1-12	1-2	1-12						
1921	1-12	8-11	1-12						

续表

年	长沙	岳阳	汉口	常德	沅陵	芷江	邵阳	衡阳	郴州
1922	1-12	6-12	1-12						
1923	2-12	1-12	1-12						
1924	1-9,11-12	1-12	1-12						
1925	1-12	1-12	1-12						
1926	1-12	1-12	1-12						
1927	1-12	1-12	1-3,5-12						
1928	1-12	1-12	1-12						
1929	1-12	1-12	1-12						
1930	1-12	1-12	1-12						
1931	1-12	1-12	1-12						
1932	1-12	1-12	1-12	8-12					
1933	1-12	1-12	1-12	1-12				1-12	
1934	1-12	1-12	1-12	1-11				1-12	
1935	1-12	1-12	1-12	1-12				1-12	
1936	1-12	1-12	1-12	1-12			9-12	1-12	12
1937	1-12	1-12		1-12		1-12	1-12	1-12	1-12
1938	1-10	1-4		1-10		1-2,6-12	1-12	1-12	1-12
1939	4-8,11-12		1-12			1-12	1-12		1-12
1940	1-12		1-12			1-12	1-12	1-12	1-12
1941	1-9,11					1-12	1-12	1-9,12	1-10,12
1942	4-12				7-12	1-12	1-12	1-12	1-12
1943	1-12				1-12	1-12	1-12	1-12	1-12
1944	1-4				1-12	1-12	1-5		1-5
1945					1-12	1-12			
1946	4-12			4-12	1-12	1-12		7-12	8-12
1947	1,3-12		1-12	1-12	1-12	1-12		1-12	1-12
1948	1-12		1-12	1-12	1-12	1-12			1-12
1949	1-4,9-12		1-12	1-5	1	1-9			1-6
1950	1-12		1-12	1-12		6-12		1-12	

表 2.2 长沙、岳阳、汉口、常德、沅陵、芷江、邵阳、衡阳、郴州降水资料记录时间表(月)

年	长沙	岳阳	汉口	常德	沅陵	芷江	邵阳	衡阳	郴州
1909	6-12	12	1-12						
1910	1-12	1-12	1-12						
1911	1-12	1-12	1-12						
1912	1-12	1-12	1-12						

续表

年	长沙	岳阳	汉口	常德	沅陵	芷江	邵阳	衡阳	郴州
1913	1-12	1-12	1-12						
1914	1-12	1-12	1-12						
1915	1-12	1-12	1-12						
1916	1-12	1-12	1-12						
1917	1-12	1-12	1-12						
1918	2-12	2-12	1-12						
1919	1-12	1-12	1-12						
1920	1-12	1-12	1-12						
1921	1-12	1-6、8-12	1-12						
1922	1-12	1、5-12	1-12						
1923	1-12	1-12	1-12						
1924	1-12	1-12	1-12						
1925	1-12	1-12	1-12						
1926	1-12	1-12	1-12						
1927	1-12	1-12	1-12						
1928	1-12	1-8、10-12	1-12						
1929	1-12	1-12	1-12						
1930	1-12	1-12	1-12						
1931	1-12	1-9、11-12	1-12						
1932	1-12	1-12	1-12	8-12					
1933	1-12	1-12	1-12	1-12				1-12	
1934	1-12	1-6、8-12	1-12	1-11				1-12	
1935	1-12	1-12	1-12	1-12				1-12	
1936	1-12	1-12	1-12	1-12			9-12	1-12	12
1937	1-12	1-12	1-12	1-12		1-12	1-12	1-12	1-12
1938	1-10	1-4	1-4	1-10		6-12	1-12	1-12	1-12
1939	4-12					1-12	1-12		1-12
1940	1-12					1-12	1-12	1-12	1-12
1941						1-12	1-12	1-9、12	1-12
1942					7-12	1-12	1-12	1-12	1-12
1943					1-12	1-12	1-12	1-12	1-10、12
1944					1-12	1-12	1-5		1-5
1945					1-12	1-12			
1946	4-12			4-12	1-12	1-12		7-12	1-7
1947	1-12		1-12	1-12	1-12	1-12		1-12	1-6、8-12
1948	1-12		1-12	1-12	1-12	1-12			1-12
1949	1-4、10-12		1-12	1-5	1	1-9			1-7
1950	1-12		1-12	1-6、8-12		6-12		1-12	

将长沙、岳阳、汉口、常德、沅陵、芷江、邵阳、衡阳、郴州有气象观测记录的日资料信息化,在进行校核和奇异值检查基础上,将华氏温度转换为摄氏温度,将以英寸为单位的降水量转换为以 mm 为单位的降水量;然后按照地面气象观测规范统计月、季、年值(当某月某气象要素观测缺测 ≥ 7 d 时,则该月该气象要素月值视为缺测)。

由于 1951 年前观测时制与时次(1 天 3 次、4 次、6 次、8 次、24 次观测不等)的不统一,造成日平均值统计方法不一致。为避免由于日平均值计算带来的资料序列非均一性,采用最高、最低气温平均值替代原平均气温。

2.1.2 1951—2010 年气象观测资料

表 2.3 给出了环洞庭湖区 23 个地面气象观测站有连续气象观测资料的起始时间。日平均气温的统计方法同 2.1.1 节。

表 2.3 环洞庭湖区 23 个地面气象观测站有连续观测资料的起始时间

名称	有连续观测资料起始时间	名称	有连续观测资料起始时间
松滋	1957 年 12 月	汉寿	1959 年 7 月
公安	1957 年 3 月	桃江	1956 年 1 月
澧县	1958 年 1 月	沅江	1955 年 1 月
临澧	1959 年 4 月	湘阴	1957 年 11 月
石首	1959 年 10 月	益阳	1959 年 4 月
南县	1959 年 1 月	宁乡	1958 年 12 月
华容	1959 年 7 月	马坡岭	1951 年 1 月
安乡	1959 年 4 月	汨罗	1967 年 1 月
岳阳	1952 年 7 月	望城坡	1970 年 1 月
临湘	1959 年 1 月	湘潭	1956 年 9 月
桃源	1959 年 3 月	株洲	1954 年 5 月
常德	1951 年 1 月		

2.2 气象观测资料的均一化处理

2.2.1 均一化检验与订正方法

(1)二相回归方法

①建立参考序列

降水量序列:
$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^4 \rho_k^2 X_{ki} \bar{Y} / \bar{X}_k}{\sum_{k=1}^4 \rho_k^2}$$

气温序列:
$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^4 \rho_k^2 (X_{ki} - \bar{X}_k + \bar{Y})}{\sum_{k=1}^4 \rho_k^2}$$

$\{Y_i\}_{i=1,\dots,n}$ 是被检验站气候序列; $\{X_{ki}\}_{i=1,\dots,n}$ 是第 k 个邻近站气候序列; n 是时间序列长度; $\bar{X}_k$ 是第 k 个测站平均值; ρ_k 是被检验站与第 k 个邻近站的相关系数, 以被检验站与其他测站的相关系数最高的 4 个站为标准选择邻近站。

②对待检序列和参考序列的比率或差值序列进行 U 变换, 使其成为标准化序列

降水量: $Q_i = Y_i/S_i$

气温: $Q_i = Y_i - S_i$

对 Q_i 进行 U 变换: $Z_i = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\sigma_Q}$

σ_Q 为 Q_i 的标准差

③假设序列 Z_i 的长期趋势、均值有转折性变化, 可以建立如下趋势拟合模式

$$Z_i = a_0 + b_0 i + e_i \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$Z_i = a_1 + b_1 i + e_i \quad i = a + 1, \dots, n$$

式中, a 为序列转折点, e_i 为随机误差。

原假设 H_0 : 序列无不连续点。备选假设 H_1 : 序列存在不连续点, 即 $b_0 = b_1$, 构造似然比统计量:

$$U = [(Q_0 - Q)/3]/[Q/(n-4)]$$

式中, Q_0 , Q 分别为 H_0 , H_1 成立时的残差平方和, 可以证明, 在 H_0 成立时, U 统计量的渐近分布为 F 分布, 其自由度分别为 3 和 $n-4$ 。根据假设检验, 若实测样本在给定的置信水平 $1-\alpha$ 上满足:

$$U \geq F_{3, n-4}(1-\alpha)$$

则拒绝原假设, 否则接受原假设。

④通过台站历史沿革数据对不连续点进行确认

由于二相回归模式是一个冗余的模式, 因此, 对于该模式检验得到的可能不连续点还需要经过进一步判断和确认。这里我们通过查阅台站历史沿革数据对二相回归方法检验得到的可能不连续点进行确认, 得出不连续点的位置。

(2)对检测出的非均一性序列进行订正

对于检测出的不均一断点, 比值的两个均值由下式计算:

$$\bar{q}_1 = \sigma_Q \bar{Z}_1 + \bar{Q}$$

$$\bar{q}_2 = \sigma_Q \bar{Z}_2 + \bar{Q}$$

对于降水, 则 $1 \sim n$ 年的订正量即为 $\bar{q}_2/\bar{q}_1$, 又称为订正系数。

对于气温, 则 $1 \sim n$ 年的订正系数为 $\bar{q}_2 - \bar{q}_1$

对于降水 $P_i = Y_i(\bar{q}_2/\bar{q}_1) \quad i = 1, \dots, n$

对于气温 $P_i = Y_i + (\bar{q}_2 - \bar{q}_1) \quad i = 1, \dots, n$

式中, σ_Q 为序列 Q 的标准差, $\bar{Q}$ 为序列的平均值, Y_i 为订正前的序列, P_i 为订正后的序列, 在应用了上述订正系数后, 序列就可以认为是均一的。对于月值的订正, 则根据各月逐年待检序列和参考序列的差值的线性关系将该补偿值应用到各月序列中, 得出逐月订正值。

2.2.2 气象观测资料的均一化

地面气象观测站因迁站、观测环境改变及仪器更换, 其观测资料均会产生系统性偏差, 进

而影响到气候变化相关研究结果,因此,需进行均一化处理。

(1)均一化检验

通过二相回归方法对环洞庭湖区 23 个气象观测站的观测资料序列进行均一性检验,结果显示年平均最高气温序列有 18 站存在不连续现象,不连续点为 26 个;年平均最低气温序列有 21 个站存在不连续现象,不连续点为 34 个。

采用二相回归方法及序列图确立月资料逐年序列的可能非均一性点,并与年序列非均一性点进行比较,得出共同非均一点。根据各观测站历史沿革数据对月、年的共同非均一点进行排查,同时,对有过迁址的站通过待检序列与参考序列的差值图进行人工进一步判别以确立产生非均一性的可能,再通过滑动 t 检验给予确认,得出最终不连续点的位置。

最终确认 10 个站年平均最高气温序列存在非均一现象,非均一点 12 个;6 个站年平均最低气温序列存在非均一现象,非均一点 9 个;1 个站年降水量序列存在非均一现象,非均一点 1 个。各观测站观测资料非均一点时间及台站迁址时间分别见表 2.4 至表 2.6。

表 2.4 环洞庭湖区各站年平均最高气温
序列均一性检验的断点

名称	均一性检验断点	
岳阳	1937	
澧县	1962	1974
常德	1953	
汉寿	1971	1980
桃江	1980	
沅江	1968	
益阳	1961	
长沙马坡岭(简称长沙)	1950	1963
长沙望城坡	1974	
湘潭	1982	
株洲	1975	

表 2.5 环洞庭湖区各站年平均最低气温
序列均一性检验的断点

名称	均一性检验断点		
汉寿	1963	1971	1980
桃江	1967	1980	
沅江	1968		
长沙	1932	1950	1963
湘潭	1982		
株洲	1975		

表 2.6 环洞庭湖区各站年降水量
序列均一性检验的断点

名称	均一性检验断点
长沙望城坡	1974

(2)均一化订正

对于检测出的非均一性序列,降水采用均值比进行订正,气温采用均值差进行订正。下面给出的是具有代表性的订正事例。

①湘潭 7 月平均最低气温序列

湘潭站 1983 年 1 月 1 日迁址,迁站前 7 月平均最低气温年序列与参考序列差值在 0.2℃左右振荡,迁站之后变为在-0.2℃左右振荡(图 2.1),说明迁站导致该站 7 月的平均最低气温年序列存在非均一性。通过对该站 1982 年之前的原始序列值进行订正(减去 0.4℃),则得到图 2.2 所示的均一序列。

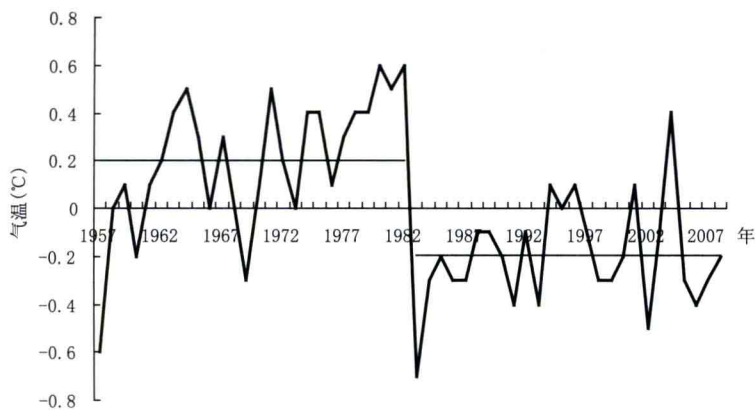


图 2.1 湘潭站 7 月平均最低气温与参考序列的差值序列
(直线为差值序列非均一性断点前后均值)

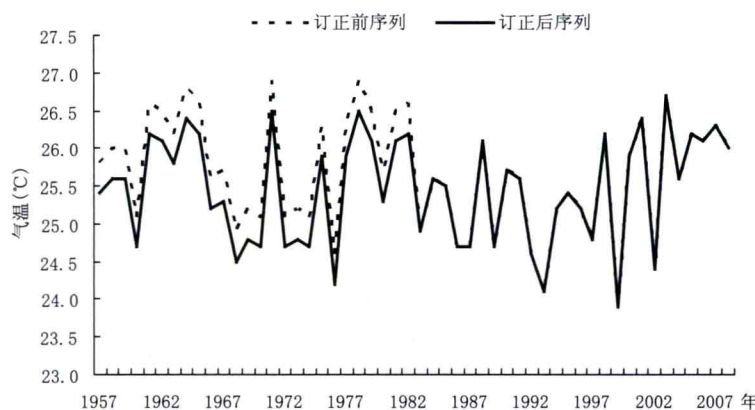


图 2.2 湘潭站 7 月平均最低气温逐年序列订正前后比较

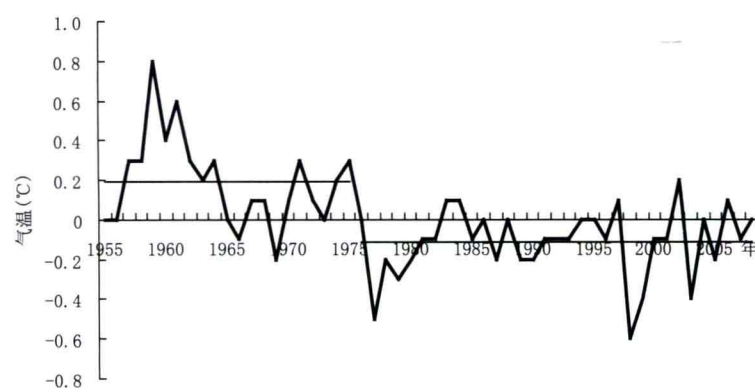


图 2.3 株洲站年平均最高气温与参考序列的差值序列
(直线为差值序列非均一性断点前后均值)

② 株洲年平均最高气温序列

株洲站 1976 年 1 月 1 日迁址,迁站前,年平均最高气温序列与参考序列的差值在 0.2℃左右振荡,迁站之后变为在 -0.1℃左右振荡(图 2.3),说明迁站导致该站年平均最高气温序

列出现非均一性。对该站 1975 年之前的年平均最高气温序列进行订正(减去 0.3℃),得到图 2.4 所示的均一序列。

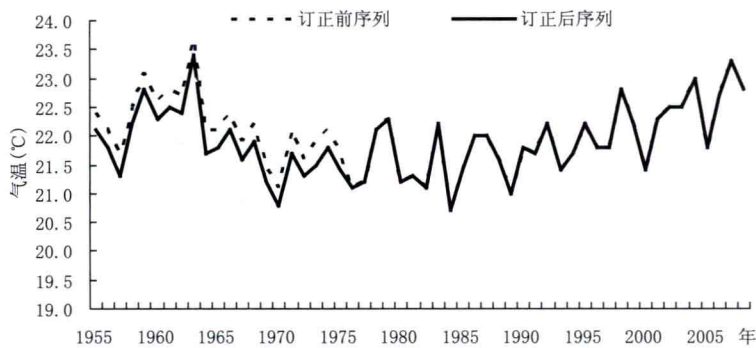


图 2.4 株洲站年平均最高气温序列订正前后比较

③桃江站 5 月平均气温序列

桃江站 1981 年 1 月 1 日迁址,迁址前 5 月平均气温逐年序列与参考序列的差值在 0.15℃左右振荡,迁站之后变为在 -0.12℃左右振荡(图 2.5),说明迁站导致该站 5 月平均气温序列出现了非均一性。将该站 1980 年之前的原始序列值加以订正(减去 0.3℃),则得到图 2.6 所示的均一序列。

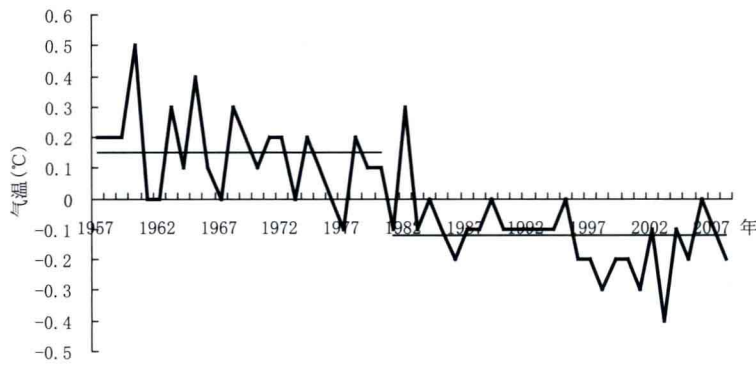


图 2.5 桃江站 5 月平均气温与其参考序列的差值序列
(直线为差值序列非均一性断点前后均值)

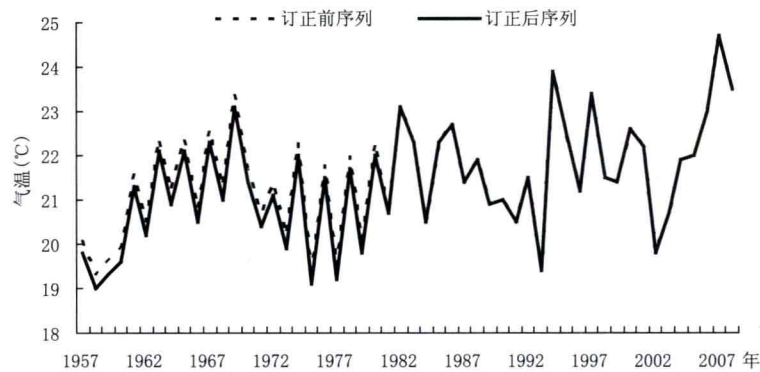


图 2.6 桃江站 5 月平均气温序列订正前后比较