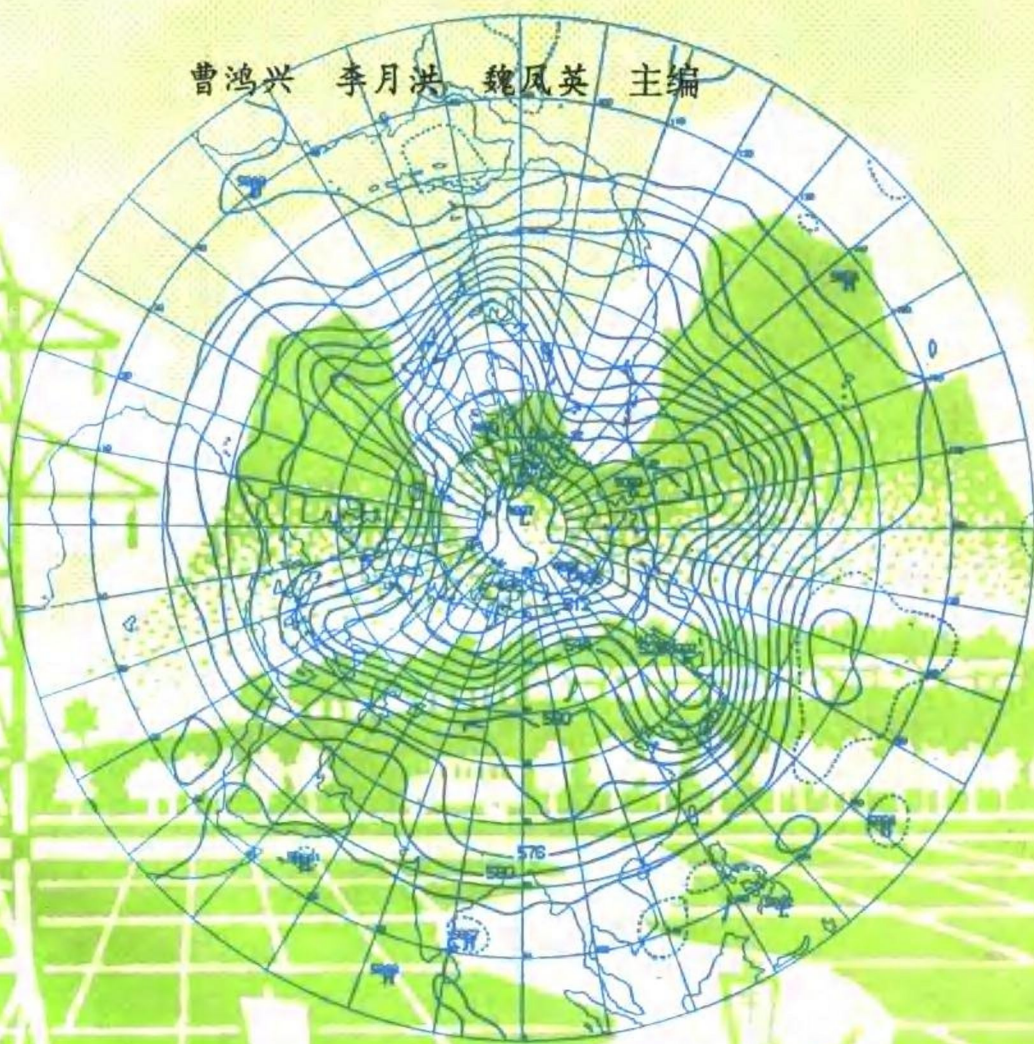


中国气象局“八五”重点项目
——短期气候预测理论和方法研究

我国短期气候变化及成因研究

曹鸿兴 李月洪 魏凤英 主编



气象出版社

中国气象局“八五”重点项目
——短期气候预测理论和方法研究

我国短期气候变化及成因研究

曹鸿兴 李月洪 魏凤英 主编

气象出版社

(京)新登字 046 号

内 容 简 介

全球增暖是一个毋庸置疑的观测事实,在这样的全球性气候变化背景下中国气候会怎样变化?这是人人都关心的问题。本书阐述了作者们近年来潜心研究的结果,对诸如近百年来,近 40 余年来中国气候变化规律、厄尔尼诺、海温、陆地气温、极冰异常等都有详细而透彻的研究,还给出了利用机制模式、全球和区域气候模式的模拟结果以及气候诊断和预测程序集的说明。

本书所述内容新颖又富实用,可供气象、环境、灾害、地理、海洋、农业、林业、生物、工程等领域的工作者和高等院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

我国短期气候变化及成因研究/曹鸿兴等主编. —北京
:气象出版社, 1996. 5

ISBN 7-5029-2158-3

I. 我… II. 曹… III. 气候变化, 短期-中国-研究 IV.
P468. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 07887 号

我国短期气候变化及成因研究

主编 曹鸿兴 李月洪 魏凤英

责任编辑:韩履英 殷钰 终审:周诗健

封面设计:曾金星 责任技编:席大光 责任校对:李兰

* * *

气象出版社出版

(北京市海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:8.375 字数:205 千字

1996 年 7 月第一版 1996 年 7 月第一次印刷

印数:1~600 定价:10.00 元

ISBN 7-5029-2158-3/P · 0796

序

短期气候变化是指月、季和年际时间长度的气候变率和气候异常；短期气候预测则是根据现代气候动力学与统计学等方法，利用大型计算机对上述气候变率和异常的变化趋势进行科学的预测。短期气候预测目前已愈来愈受到各国政府和有关部门的重视，因为它直接关系到各国的社会和经济的发展以及防灾减灾对策。旱涝、高温、冷害等灾害性气候都直接与短期气候异常密切相关。

我国位于世界气候的脆弱带，受季风进退异常和明显的年际变化及其它气候因子的影响，气候灾害频繁发生，并且近年来还有加剧的趋势。这些气候灾害对国计民生构成了严重的威胁，而且随着国民经济的持续发展，造成的损失越来越大。1991年江淮持续性特大洪涝灾害造成的经济损失为1024亿元，1994年我国的旱涝、台风等自然灾害造成的经济损失达1779亿元。尽早预测气候异常的发生和影响，防御和减缓气候灾害的威胁，不仅是气象界义不容辞的职责，也是国家和人民的当务之急，每年的汛期预报不仅国家十分重视，而且牵动着全国人民的心。但是我国目前短期气候预测的水平还不是很高，预测业务主要是经验的、统计的，还没有可用于制作月、季、年气候预测的业务动力气候模式，特别是还没有建立经验、统计与动力相结合的综合业务预测系统。为了满足我国迅速发展的国民经济的需求，尤其是农业的需要，应迅速集中力量加快研究有理论依据的短期气候预测方法和系统。

为了争取在“九五”计划期间，将短期气候预测系统项目列入国家攻关项目，必须从科学与技术上作好准备和储备，中国气象局科教司在国家科委社会发展司的支持下，建立了“短期气候预测的理论和预测方法的研究”项目。这是中国气象局的重点研究项目，为期三年（1992～1995），实际上是为争取“九五”国家攻关项目所进行的预研究。整个项目包括四方面的内容：第一是研究中国近百年来气候变化的事实与规律及成因；第二是气候模式的研究，它包括大气模式、海洋模式和区域的气候模式以及气候诊断；第三是气候变化对农业和水资源的影响；第四是短期气候预测方法的研究。通过三年的努力，全体参与项目工作的同志完成了预定的目标和任务。我们将研究的主要成果分课题汇集成四本专集。由于篇幅和经费所限，这四本专集不可能包括所有的成果，尤其是一些资料、图集、程序软件等无法列入。

在三年的研究工作中，中国气象科学研究院科研管理处的同志做了大量组织工作，尤其是项目管理人员彭开秀同志付出的劳动和时间最多，她除了积极完成此项工作外，还参与编辑了三本《气候研究通讯》，在此对她的工作表示深切的谢意。另外也感谢科教司对我们工作的大力支持。

丁一汇
于国家气候中心
1995年10月

前 言

本书的目的一方面是总结“八五”《我国气候异常成因及变化规律研究》课题的成果,另一方面是为关心气候变化的人士提供关于气候变化的最新动向。近年来,有关气候各个方面的书籍陆续出版,从气候动力学到气候应用,从教科书到专著,应有尽有,但本书仍不失为一本承前启后富有价值的书籍,因为它刊出了研究者们辛勤劳动而得到的最新结果。

在有限经费的资助下,在短短不到四年时间内,本课题取得了丰硕成果,除本书刊载的 21 篇文章外,还在期刊或会议文集上发表了或将发表 42 篇学术论文,其中学报级 17 篇,国外期刊 2 篇,国际会议文集 2 篇。这无疑是对我国气候变化规律与成因研究的新奉献。

本书分四部分:第一部分论述近百年来我国气候变化,其中对我国 20 至 40 年代和 70 至 90 年代两次增暖作了深入对比分析。第二部分近 40 年来我国气候变化,运用翔实资料分析了全国降水、温度年际变率和年代际变化、我国干旱和半干旱区的气候特征与成因。第三部分叙述海表温度、陆地气温变化及其与我国气候的关系,其中全球陆地气温是我们首先引入用于短期气候研究的。研究表明陆地气温与海表温度对研究我国气候变化和预测有着同等重要性。第四部分为极冰、厄尔尼诺与气候变化的关系,我们发现南北极海冰几乎都在收缩,与气候增暖相协调,对厄尔尼诺和 ENSO 事件的变化特征以及与我国气候的关系也进行了研究,对厄尔尼诺与拉尼娜响应的数值模拟研究表明,两者对我国气候影响有明显差异。第五部分给出了气候诊断和预测程序集的说明以及四川、江淮地区、北京等地区气候变化以及模拟结果。程序集编写和汇集了对气候变化研究十分有用的计算机程序。北京近 30 年来气候变化的事实为:地面增温高空降温,与气候数值模拟已有结果相一致。

本书中的清绘图是由王淑凤女士完成的,朱淑兰、狄新武、吴其勋、高翔等在编辑中做了许多工作,在此一并感谢。本书的编委为:丁裕国、马天健、王永中、米季德、何素兰、李月洪、李维亮、张先恭、周秀骥、施能、屠其璞、曹鸿兴、谢庄、魏凤英。

曹鸿兴

中国气象科学研究院

1995 年 11 月

目 录

序

前言

第一部分 近百年我国气候变化与成因

- 1.1 中国近百年气候变化研究进展..... 屠其璞等(1)
- 1.2 中国近百年气候变化趋势转折点的研究..... 丁裕国等(7)
- 1.3 我国气温变化对北半球增暖的响应..... 莫振光等(11)
- 1.4 近百年中国气温场两次增暖期对比分析及其成因探讨..... 江志红等(18)

第二部分 近四十年我国气候变化与成因

- 2.1 近 40 年我国降水及变率的分布特征 何素兰等(25)
- 2.2 近 40 年我国东部地区旱涝变化特征 马天健等(33)
- 2.3 我国干旱半干旱区降水变异的成因分析..... 李月洪(43)
- 2.4 近 42 年我国冬季气温、降水趋势及年代际变化的成因分析..... 施能等(49)
- 2.5 近 60 年长江中下游大水和环流特征 张家诚等(55)

第三部分 海表温度、陆地气温与短期气候异常

- 3.1 1991~1995 年期间 ENSO 事件及其对中国汛期旱涝的影响 张先恭等(60)
- 3.2 北太平洋海表温度与中国夏季气温的耦合特征..... 魏凤英等(67)
- 3.3 纬向平均温度的变化趋势和谱特征..... 王永中等(75)

第四部分 极冰、厄尔尼诺与气候变化

- 4.1 厄尔尼诺发生前环流的异常特征..... 施能等(79)
- 4.2 全球冰雪变化趋势及其对全球增暖的蕴示..... 曹鸿兴等(84)
- 4.3 小波分析及其在海冰研究中的应用..... 曹鸿兴等(89)
- 4.4 我国高空气候对厄尔尼诺与拉尼娜响应的模拟研究..... 曹鸿兴等(94)

第五部分 诊断程序及区域气候

- 5.1 现代气候统计诊断和预测程序集——内容、功能和应用实例..... 魏凤英(98)
- 5.2 四川地区近 40 年来的降温及其可能机制分析..... 李晓文等(103)
- 5.3 用改进的 NCAR 区域气候模式模拟我国夏季降水..... 龚威等(110)
- 5.4 北京盛夏降水与环流的气候特征 谢庄等(117)
- 5.5 北京高空温度近 30 年变化特征..... 米季德等(122)

中国近百年气候变化研究进展

屠其璞 丁裕国 江志红

(南京气象学院)

一、引言

关于近百年全球气候变化,早在本世纪 50 年代就已引起各国气候学家的重视,相继开展了许多研究,取得可喜的进展。著名的 Jones(1986,1988);Hansen 与 Lebedeff(1987,1988);Vinnikov 等人(1987,1990)所主持的三个研究小组关于近代全球气温资料序列及其气候变化研究工作就是杰出的代表。^[1~2]研究表明,近百年全球气温总趋势是从 19 世纪末的凉爽期逐步变化为 80 至 90 年代相对温暖期的。

中国区域地处亚欧大陆东南侧,是北半球最重要的气候区域之一。关于中国近百年区域气候变化的观测事实及其成因,早就成为我国学者多年来研究的热点,并已取得丰硕的成果。最近,王绍武、林学椿、陈菊英等又分别对此做了进一步的研究。^[3~7]本文在前人工作基础上,着重总结近几年来本研究小组先后承担有关近百年中国区域气候变化的若干课题所得成果。

二、中国气温场变化的总趋势

许多研究指出^[3~7],中国区域平均气温变化的总趋势大致有下列特点:(i)20 世纪初为冷期,其后逐步回升,1940~1949 年间达到最暖(本世纪第 1 个高温峰值),其后又迅速变冷,50 年代达到最冷,且冷期持续到 70 年代,自 70 年代中后期以来气温出现本世纪以来的再次回升,尽管 80 年代世界气候已成为近 150 年来的最暖期,但中国仍未达到 40 年代高峰,不过近年资料表明,90 年代以来,冬季平均气温已超过 40 年代,而夏季平均气温仍有不少地区未能超过 40 年代。(ii)中国各个子区域气温变化趋势近四十年来并不完全与全球趋势同步。其主要特点是:①地区性差异明显;②35°N 以北升温显著,基本上与北半球同步;③长江中下游区升温不明显,上游区及西南地区则有降温趋势;④华南区升降温位相落后于全国且幅度偏小^[5]。

由于观测资料的限制,80 年代以前的研究,侧重于我国东部地区,且仅采用某些代表测站的个别资料序列,在某种程度上对全国大范围气温场变化趋势的地区分布特点估计有一定的误差。80 年代中期以来,作者相继提出了考虑大范围测站的气温场序列订正方法,建立了我国及其邻近地区月平均气温场延长插补模式,从而获得代表我国不同气候区域内的均匀散布的 42 个测站近百年(1881~1992)月平均气温场资料序列。在此基础上对中国气温场变化趋势和各种变率特征进行了系统的研究^[8~9]。

• 本文执笔人丁裕国。

三、中国气温场变化的准周期性与阶段性

(一) 准周期性

文献[9]对年、季平均气温主成分序列进行谱分析的结果表明,各主成分的显著周期相对集中地出现在 18.4~28.9 年,2.9~3.0 年和 2.2~2.3 年三个波段。在这三个波段内,显著周期出现频数或方差谱的平均值均达到信度 $\alpha=0.01$ 的水平。

文献[10]则采用移动最大熵谱分析对我国近百年年平均气温主成分各不同阶段提取周期信息。结果表明 3 年移动平均和 11 年移动平均序列,第 1 主成分主要周期分别集中于 3.6 年、6.2 年、10 年、20 年频带上,第 2 主成分则主要为 7.2 年和 32 年,第 3 主成分为 16 年周期。30 年移动谱与 50 年移动谱所对应的显著周期第 1 主成分主要集中在 2.2,2.7~4.8,6.0~8.0 年三个频带,第 2 主成分集中在 2.4~2.7,6.0 年,第 3 主成分集中于 10.0~13.3 年。由此可见,文献[9]与[10]的结果比较吻合。

(二) 阶段性

文献[10]还指出,我国近百年年平均气温场第 1 主成分及冬季气温场第 1 主成分的变化大致具有两个明显的阶段。利用 t 检验和方差的 F 检验定量考察的结果表明,1920 年前后,年平均气温场第 1 主成分或冬季平均气温场第 1 主成分,其前后两个历史时期均值差异十分显著,信度可达 $\alpha=0.01$,且 F 检验证明冬季方差在 1920 年前后也有最明显的差异。

四、中国气温场变化趋势转折点与跃变特征

(一) 趋势转折

文献[11]采用双位相二次曲线趋势模式检测中国气温场的趋势转折点表明,近百年内中国气温场变化趋势的转折点,以 30~40 年代最为显著。除西北、东北和西南地区外,绝大部分地区由升温趋势转为降温趋势都发生在 30~40 年代内。虽然不同的检测模式由于性能不同检测得的转折点(年份)不同。但主要集中于三个峰值年代:①20 年代以前;②30 至 40 年代;③本世纪初。不过,近年,当我们将资料延长到 1994 年时,已经发现 70 年代末是一个新的转折点,全国几乎一致地由降温阶段转为升温阶段,平均气温呈大幅度上升趋势。

从气温趋势转折点的时空分布来看,年平均气温转折点有自西北向东南推迟的倾向,西北地区转折点出现在 1920 年前后,而西南则为 1930 年前后,但内陆中东部则在 40 年代左右。与此相异,东北则偏早在本世纪初至 20 年代这段时期。图 1 为年平均气温趋势转折点空间分布状况。由图可见,全国

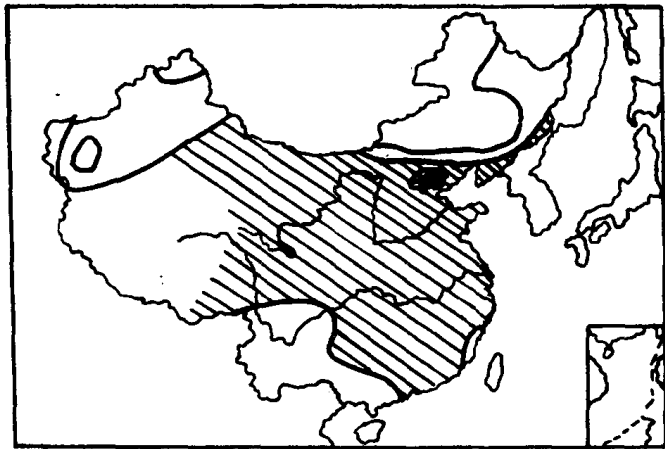


图 1 平均气温趋势转折点的空间分布

(粗线区为 20 年代前,斜线区为 40 年代,
斜格区为 60 年代,空白区为 20~30 年代)

大部分区域气温趋势转折于 40 年代;西北、东北、内蒙古部分地区则偏早于 20~30 年代或 20 年代以前,除此以外,西南地区也偏早于 20~30 年代。

(二) 跃变特征

虽然,目前对于“突变”或“跃变”普遍存在于气候系统中,已无可置疑,但迄今还没有关于气候突变或跃变的严格定义。文献[12]和[13]根据 Yamamoto 提出的简单方法,对全国 40 个均匀分布的测站检测结果表明,本世纪中国气温发生过两次大的突变:一次始于世纪初,另一次在 40 年代前后(表 1 为各大区代表站强跃变年份)。这一结果与文献[14]采用滑动 t 检验分层次对中国气温场检测的结果比较一致,即中国气温到 80 年代以前的近百年中,有两次大的突变,可归纳如下:

(1) 时间尺度为 10 年时,在本世纪 10 年代发生一次突变性增暖(过渡期为 1913~1918 年);时间尺度为 30 年时,则在 1904 年左右为突变点,此为第一次突变。

(2) 时间尺度 10 年,在本世纪 40 年代发生另一次突变性降温(过渡期为 1946~1949 年);时间尺度为 30 年时,则在 1942 年左右发生,此为第二次突变,这就是持续到 70 年代中的降温过程,目前看来,70 年代中后期似为第三次突变,近 20 年来的增暖期始于该年代。

表 1 我国各大区代表站气温强跃变年份

哈尔滨	1907(变冷)	1918(变暖)	1951(变冷)	1980(变暖)		
北 京	1908(变冷)	1920(变暖)	1937(变暖)	1950(变冷)	1977(变暖)	
兰 州	1896(变暖)	1928(变暖)	1937(变暖)	1950(变冷)	1955(变冷)	1977(变暖)
乌鲁木齐	1912(变暖)	1928(变冷)	1936(变暖)	1950(变冷)	1975(变暖)	
上 海	1890(变暖)	1912(变暖)	1928(变暖)	1935(变暖)	1951(变冷)	1964(变冷)
汉 口	1895(变冷)	1919(变暖)	1936(变暖)	1951(变冷)	1964(变冷)	
昌 都	1929(变暖)	1050(变冷)	1962(变冷)			
昆 明	1920(变暖)	1931(变暖)	1948(变冷)	1966(变冷)		

五、气温场的分区变化特征

(一) 客观区划

文献[15]采用 REOF 方法对我国近 40 年(1951~1989)160 个站月平均气温场序列资料分型区划。结果表明,年平均气温和夏季平均气温以分为 7 个区域为最佳;而冬季平均气温场则宜分成 4 个区域。研究表明,由于主成分的正交性,分区的客观性是很清晰的。

(二) 近 40 年各区年际变化特征

(1) 年平均气温(以第 1 主成分为指标,方差贡献 57%~60%以上)。

近 40 年各区变化趋势有如下特点:东北、华北(I 区)和长江中下游(Ⅱ区)以及华南(Ⅲ区)与北半球的变化趋势比较一致(其相关系数分别达到 $R_{IN}=0.5911$, $R_{IN}=0.4203$, $R_{IN}=0.4595$)。40 年来都具有总的升温趋势,其中 60 年代前后和 80 年代前后是两个温暖期,50 年代中期,70 年代前后为两次寒冷期,尤以后者低温持续时间较长。50 年代末气温达到第一次高峰,是近 40 年来的最暖时期之一。该时期增温幅度较大,短短 4~5 年间,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区第 1 主成

分值分别高达 1.5、1.8、0.8 左右。60 年代末到 70 年代末的近 10 年时间均为波动式升温过程。在此期间,北半球也有多次小波动,相对而言,Ⅳ区与Ⅴ区(西南地区)气温变化趋势与北半球略有相反,其中Ⅳ区 40 年来虽然 70 年代前的几次高低温出现时段与北半球位相相似,但 70 年代以来,却处于波动下降趋势,尽管有短期回暖波动,但总趋势明显下降,Ⅴ区除 50 年代初为高温年份外,从 50 年代中期为持续的低温时期。

此外,Ⅵ区(西北南部)与北半球平均气温相关系数仅为 0.3811,可以看到,该区 40 年来的升降趋势并不明显。Ⅵ(青藏高原)的变化位相与北半球有所不同,60 年代初为低温期,70 年代前后为高温期。

(2) 冬季和夏季平均气温(从略)

(三) 近百年各区年际变化特征

(1) 年(季)平均气温代表序列重建

为了研究长期气候变化,文献[13]根据本区及邻近区域长资料测站与该区第 1 主成分所建立的多元回归方程,延长区域主成分资料序列,从而得到各区域近百年平均气温变化的代表性序列。

一般说来,由于各区内及邻近区内长资料代表测站与各区主成分序列相关性较好(大都达 0.8 以上),而区内第 1 主成分具有相当高的方差贡献(57%以上),所以,用各区长资料序列为基础延长后的第 1 主成分序列可作为区域长期变化序列的代表。

(2) 近百年各区气温变化特征

就年平均气温而言,各区的变化趋势与近 40 年有所不同,我国东部地区(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区)都有明显的增温趋势,与北半球平均气温趋势基本一致。(相关系数 $R_{IN}=0.3967$, $R_{I,N}=0.5325$, $R_{II,N}=0.5586$)全国范围内从 40 年代到 50 年代为明显的高温期,70 年代前后为低温期。Ⅳ区和Ⅴ区虽与北半球平均气温有显著相关($R_{VN}=0.4485$, $R_{V,N}=0.3368$),趋势为增温,但是,近百年来,其温度变化位相比Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ区提前,升温幅度较大,尤其是Ⅴ区近 40 年来持续为低温过程,仅在 20 至 50 年代为长期的高温过程。冬季则与年平均气温大致相似,但夏季(以Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ区为例)Ⅱ、Ⅲ区(华北、长江中下游)总趋势与北半球一致,具有增温倾向,20 世纪 40 年代为温暖期,70 年代为寒冷期。70 年代末以来的再次升温过程以Ⅱ区幅度较大,Ⅲ区与北半球变化幅度相当。但Ⅳ区(华南、西南)与Ⅱ、Ⅲ区略有不同,40 年代高温期提前,且幅度较大。

六、中国气温场对北半球平均增暖的响应特征

文献[16~17],分别采用主分量分析与回归分析相结合的方法,探讨我国平均气温场与北半球平均气温的统计联系,由此在建立北半球增暖背景下,推算中国各区气温变化幅度的统计估计模式。结果表明,我国年平均气温场第 1 主成分与北半球年平均气温的相关明显而稳定,我国大范围气温距平与北半球气温距平存在显著的正相关(见表 2)。当北半球年平均气温偏高时,我国年平均气温(除青藏高原以外),大部分地区也偏高,特别显著地区为新疆北部、内蒙古和华北平原北部,其增温幅度为北半球的 1.3~1.7 倍(表略),当 CO_2 浓度加倍时,这些地区的年平均气温可能上升 4~5℃。文献[17]以冬半年气温资料试验的结果也表明在 CO_2 加倍情景下,各地增暖趋势基本上与北半球同步,但各地增幅不一致,敏感区域在西北、华北和东北,而南方区域部分地区变化趋势有较大的不确定性。文献[16]指出,季平均气温的增温高值区分布大致为:春季在新疆北部、内蒙古中西部、华北北部;夏季在长江中下游;秋季在内蒙古

中西部;冬季在新疆北部、内蒙古西南部和长江中下游(西南地区仍有明显的降温趋势)。

表2 我国平均气温主成分与北半球平均气温的相关系数

(表中▲表示通过了 $\alpha=0.05$ 的相关显著性检验)

月、季、年	春	夏	秋	冬	年
r_{1N}	0.535▲	0.327▲	0.425▲	0.510▲	0.590▲
r_{2N}	-0.367▲	-0.304	-0.051	0.009	-0.267
r_{3N}	0.154	-0.186	-0.301	-0.030	0.050
r_{4N}	-0.085	-0.256	0.017	0.048	-0.038
r_{5N}	0.127	—	-0.149	-0.208	0.054
r_{6N}	—	—	-0.083	-0.146	—
r_{7N}	—	—	0.207	—	—
r_{8N}	—	—	—	—	—

七、近百年气温场变化的可能成因

经统计诊断分析得如下结果:

(1) 在近百年时间尺度上,导致中国气温整体线性上升趋势的主导因子是温室效应,次要因子为太阳活动;而进入80年代后,由于温室气体含量的急剧增加,其主导作用更为显著;火山爆发的主要影响使气温场长期趋势中呈现低频波动变化。

(2) 温室效应对中国气温场变化的影响,其敏感区位于华北北部、东部、西北西部及长江中下游。但80年代以来温室效应加剧后,更为敏感的地区主要集中在中国北方地区,而火山爆发的影响敏感区则遍及西北南部和 35°N 以南的大部分地区,其中心位于西南地区。

(3) 20~40年代的增暖是由于温室效应、火山活动和太阳活动多种因子综合作用的结果,而70年代以来的增暖则主要与温室效应加剧有关。

(4) 气候系统的自身振荡(含海-气影响)主要对年际短期振动有较大贡献。

参 考 文 献

- [1] WMO, UNEP (IPCC), Science Assessment of Climate Change, Report prepared for IPCC by working group 1, (1990).
- [2] Jones, P. D., Wigley, T. M. L., Kelly, P. M., Variations in surface air temperature part 1: northern hemisphere, 1881~1980, Mon. Wea. Rev., 110, 59~70 (1982).
- [3] 张先恭、李小泉, 本世纪我国气温变化的某些特征, 气象学报, 40(2), (1982).
- [4] 丁裕国、屠其璜, 气候变化及其研究方法, (试用教材), 南气院编印, (1994).
- [5] 王绍武、叶瑾琳, 近百年全球气候变暖的分析, 大气科学, 19(5), 545~553 (1995).
- [6] 林学椿等, 中国近百年温度序列, 大气科学, 19, (5), 525~534 (1995).
- [7] 陈菊英, 全球变暖中国也变暖了吗? 科技日报, 1995年6月29日, 第2版。
- [8] 屠其璜, 一种气温场序列的延长插补方法, 南气院学报, 1, 19~30 (1986).
- [9] 屠其璜, 近百年我国气温变化的趋势和周期, 南气院学报, (2), (1984).

- [10] 丁裕国、余军,我国近百年气温变化的周期特性与成因探讨,气候学研究,第1辑(天、地、生相互影响问题),气象出版社,(1989)。
- [11] Ding Yuguo, Tu Qipu, Wen Min, A Statistical model for investigating climatic trend turning points, A. A. S. 12(1)47~56, 1995.
- [12] 缪启龙、刘雅芳,南京大学学报(增刊),自然灾害专辑,216~220(1994)。
- [13] 刘雅芳、缪启龙,全国气候变化诊断分析学术会议文集,气象出版社,22~24(1991)。
- [14] 李建平、史久恩,一百年来全球气候突变的检测与分析,大气科学,17(增刊),(1993)。
- [15] 屠其璞、辛若桂,我国气温长期变化的区域特征(待发表)。
- [16] 屠其璞、莫振光,北半球增暖与我国气温变化,本文集,(1996)。
- [17] 丁裕国、唐鑫,中国冬半年局地气温对北半球平均增暖的响应特征(待发表)。

中国近百年气候变化趋势转折点的研究

丁裕国 温敏

(南京气象学院)

一、引言

气温的长期变化是一个缓慢的渐变过程,往往叠加着不同尺度的准周期振动或不同长度的升降短趋势,以致使长年观测记录中所反映的变化掩盖了更长时期气温变化的倾向。目前,关于气候变化的观测研究,有两种不同的分析概念,一种是所谓“突变”分析,另一种是所谓“渐变”分析。关于前者,研究已相当普遍^[2],但对后者及其与前者的关系,研究尚不多见^[1]。本文利用一种改进的检测模式^[3],研究我国近百年气温场序列的转折性变化,分析大范围地区各季变化趋势的转折时期及其空间和时间上的分布规律。

二、资料与方法

采用均匀散布在我国境内的40个测站近百年平均气温资料(1881~1980)^[4],借助于文献[3]改进的双位相二次曲线模式及滑动的线性模式,检测大范围气温变化趋势转折。

设有气候时间序列 $\{Y_t\}, t=1, \dots, n$,对其建立趋势模式

$$Y_t = \begin{cases} a_0 + b_0 t + c_0 t^2 + e_t & t = 1, \dots, a \\ a_1 + b_1 t + c_1 t^2 + e_t & t = a + 1, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

这里, e_t 为白噪声, $e_t \sim N(0, \sigma^2)$, $a_0, b_0, c_0, a_1, \dots, b_1, c_1$ 分别为待定参数。由文献[3],对给定的样本记录 $Y_t, t=1, \dots, n$,可建立相应于(1)的模式

$$Y_t = a_0 + b_0 t + c_0 t^2 + b(t-d)IND(t) + c(t^2 - d^2)IND(t) + e_t \quad (2)$$

其中 $b=b_1-b_0, c=c_1-c_0$,而

$$IND(t) = \begin{cases} 0 & t \leq d \\ 1 & t > d \end{cases} \quad (3)$$

模式(2)的意义在于寻求残差平方和(RSS)极小情况下的转折点估计 $d=\hat{d}$,它等价于确定 a_0, b_0, c_0 及 a_1, b_1, c_1 参数,使得实现下列统计检验:

对 $H_0: b=c=0$ 与备择 $H_1: b \neq 0, c \neq 0$,有统计量

$$U_1 = [(Q_0 - Q)/5]/[Q/(n-6)] \quad (4)$$

这里 U_1 服从自由度(5, $n-6$)的 F 分布。 Q_0 表示在 H_0 下拟合模式的 RSS , Q 为对应于给定的 $d=\hat{d}$ 时,拟合模式(2)的 RSS 。显然,若给定置信水平 $1-\alpha$,就可有 F 分布的临界值 $F_{\alpha}(5, n-6)$,若

$$U_{\text{实}} \geq F_{\alpha}(5, n-6) \quad (5)$$

则拒绝 H_0 ,表示序列 $\{Y_t\}$ 在 $d=\hat{d}$ 处具有显著趋势转折点,否则,表明序列 Y_t 并无显著趋势转折。利用逐个时间点的滑动搜索法(running search method),并结合多元回归建模步骤和算

法,就可实现上述统计推断,以确定显著转折点。可以证明,转折点的置信区间满足

$$Q' = Q[1 + \frac{2}{n-6}F_{\alpha}(2, n-6)]$$

这里, Q' 所对应的 d_L 和 d_H 正是置信下限和上限(年份)。

三、气温趋势转折点的时空分布

图 1 是采用 Solow 模式以年均值序列估计的全国 40 个测站百年最显著转折点空间分布图。由图 1 可见,气温年均值转折点有自西北向东南推迟的倾向,西北地区转折点约在 1920 年前后;但在西南地区则为 1930 年前后;在内陆中东部气温转折点约在 40 年代左右;但东北地区偏早,约在本世纪初至 20 年代。

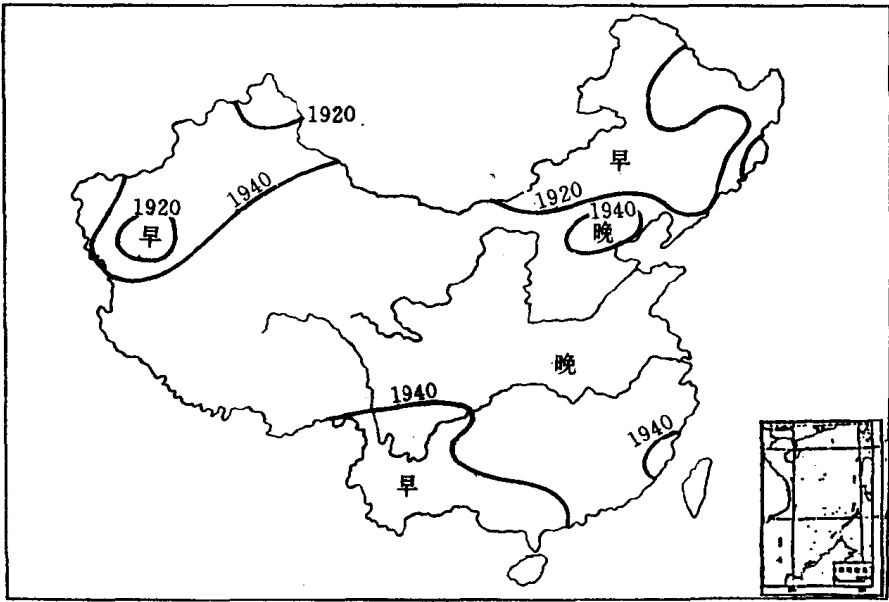


图 1 中国年均温转折点分布

图 2 为经过滑动平均后的年资料序列所求得的转折点。由图可见,从总体上看,转折点较明显地从西北向东南逐渐推迟呈带状分布。以年均值为例,西北最早约在 20~30 年代转折,东南沿海则大多在 40~50 年代,而广大中原地区则多数为 30~40 年代,东北北部和内蒙北部也有偏早于 20 年代左右。

表 1 a, b 为按南北纬带和东西向经度大概划分几个区域所得的各年代转折点出现频率。由表可见,自北向南, 40°N 以北在 20 年代以前出现转折点的机会较多(0.54),而在 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间的黄河,长江流域大多转折点出现在 40 年代,但在华南(25°N 以南)却以 30 年代机会最多。从东部与西部地区来看,转折点主要以 30~40 年代为主,西部 20 年代以前也有较多测站有转折。综上可见,西北地区转折点多在 20~30 年代,北方地区则在 20 年代有转折。而广大中原及长江流域大多出现转折时间在 40 年代,但华南有部分测站 30 年代就有显著转折。

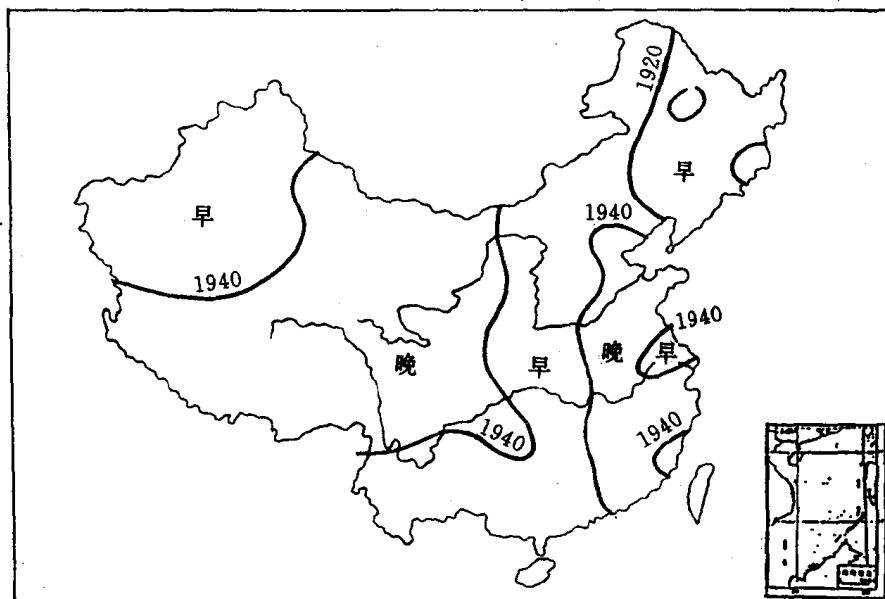


图 2 模式 II 检测的全国年平均气温趋势转折点分布

表 1a 各区(纬带)转折点出现的频率

转折 年代	河套以北 (40°N 以北)	黄河流域 (35°N~40°N)	长江流域 (25°N~35°N)	华 南 (25°N 以南)
20 年代以前	0.54	0.10	0.00	0.00
30 年代	0.15	0.20	0.18	0.83
40 年代	0.31	0.50	0.73	0.17
50 年代以后	0.00	0.20	0.09	0.00

表 1b 东西部区域转折点出现的频率

转折年代	西 部	东 部
20 年代以前	0.31	0.09
30 年代	0.23	0.35
40 年代	0.46	0.39
50 年代以后	0.00	0.17

众所周知,区域平均气温是各站点气温的平均值,由于各站变化趋势的转折点在时间上的推迟与提前,导致区域平均气温序列的总变化趋势转折点时间位相适中且转折趋势差异不如单站明显。不难想象,北半球平均气温变化正是各地不同位相和振幅的波动叠加而成,因而其转折点和振幅与各地均有差异。北半球自上世纪末开始到本世纪 30 年代末为增暖期,其中 20 年代后有一段突然增温,到 40 年代初以后至 60 年代中期为下降趋势,但 70 年代初直到目前呈大幅度升温趋势。因此,北半球的气温平均转折点为 30 年代至 40 年代初,其次为 70 年代初。

对比我国境内,这种规律在中纬度地区比较明显,例如年平均气温转折点在中西部地区以40年代为主,其他地区由于局部气候差异有提前或推后。总的来说,北半球升温期很长,升温幅度不如单站,从各站转折点出现年份上看,7月份落后于1月份,7月气温到本世纪60年代中期才有明显下降,而1月气温从20年代后持续上升到40年代后即渐降或继续上升。这是由于,年平均值的年际变化正是各月年际变化波动叠加的结果。年均值的年际变化趋势实际上反映了各月年际变化的总特点。表2中列出全国40个测站年平均气温近百年转折点出现年代的频率分布。由表可见,三种模式检测的转折点集中时期并不完全一致。模式I(本文模式)检测的转折点出现频率最集中的年代是上世纪末到本世纪初,其次为本世纪30~40年代;而用模式II(Solow模式)检测到的转折点则主要在本世纪30~40年代,其次为20年代以前和上世纪末。模式III(滑动平均Solow模式),由于滤去了短时间尺度的波动,因而揭示的转折点大多为较长时间尺度的转折,主要集中在上世纪末本世纪初至20年代。中国近百年气温转折点的这3个集中时期在一定程度上反映出二次曲线模式比线性模式检测的转折时间尺度大。

表2 中国近百年转折点出现年代的频率分布(40站)

年	1881	1891	1901	1911	1921	1931	1941	1951	1961	1971
代	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	1890	1990	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980
A	*	*				*	*			
	19	14	11	11	8	14	18	2	1	2
B	*		*	*		*	*			
	14	11	14	14	9	15	21	1	1	0
C		*	*	*						
	6	21	31	21	11	5	5	1	0	0

注: * 为转折点集中时期

参 考 文 献

- [1] Solow, A. R. Testing for climatic change: An application of the two-phase regression model, J. Climate and Applied Meteor. 26, 1401~1405(1987).
- [2] 严中伟, 李劲钧, 叶笃正, 60年代北半球夏季气候突变: I, 降水与温度的变化, 中国科学(B辑), (1), 97~103(1990).
- [3] Ding Yuguo, Tu Qipu and Wen Min, A statistical model for investigating climatic trend turning points, Advances in Atmospheric Sciences, 12(1), 47~56(1995).
- [4] 屠其璩, 一种气温场序列的延长插补方法, 南京气象学院学报, 9(1), 19~31(1986).

我国气温变化对北半球增暖的响应

莫振光* 屠其璞
(上海气候中心) (南京气象学院)

一、引言

在北半球增暖背景下,我国气温将会怎样变化?这个问题已有不少研究成果^[1]。但是由于分析中使用的分析方法和观测资料的限制,有关我国不同气候区域气温多年变化与北半球增暖联系的细节还远远没有得到充分的认识,利用新获得的观测资料,采用不同的分析方法继续研究这一问题仍然是十分必要的。本文试图通过分析 1951~1987 年我国 160 个测站月平均气温资料进一步加深对这一问题的认识。

二、观测事实

在对观测资料作进一步统计分析之前,我们首先考察一下北半球平均气温偏高年份和北半球平均气温偏低年份,我国气温距平的地理分布特征。

根据 Jones^[3]等的北半球平均气温序列,1951~1987 年间,北半球平均气温偏高的 5 年分别为 1981,1983,1987,1953 和 1973,北半球平均气温偏低的 5 年分别为 1956,1972,1976,1964 和 1965。我们分别统计北半球平均气温偏高 5 年内和北半球平均气温偏低 5 年内我国各站气温距平的平均值。结果表明,在北半球平均气温明显偏高(低)的年份,我国出现大范围同号温度距平,即对大部分测站而言,气温距平符号是与北半球气温距平符号一致的。我们进一步计算北半球平均气温偏高 5 年的我国平均气温距平 $\overline{\Delta T}_{j,M}$ 与北半球平均气温偏低 5 年我国平均气温距平 $\overline{\Delta T}_{j,m}$ 的差值

$$\overline{\Delta T}_j = \overline{\Delta T}_{j,M} - \overline{\Delta T}_{j,m} \quad (1)$$

并由此得到北半球气温偏高 1℃时我国各站温度距平的估计值

$$\overline{\Delta T}_j^* = \frac{\overline{\Delta T}_j}{(\overline{T}_{N,M} - \overline{T}_{N,m})} \quad (2)$$

式中 $\overline{T}_{N,M}$ 和 $\overline{T}_{N,m}$ 分别为偏高的 5 个北半球平均气温的平均值和偏低的 5 个北半球平均气温的平均值。图 1 给出 $\overline{\Delta T}_j^*$ 的地理分布。从图 1a 可见,在北半球年平均气温偏高的年份,除青藏高原以外的我国大部分地区年平均气温都明显偏高,气温正距平的中心在华北平原和内蒙地区最大平均气温距平幅度可达北半球平均气温距平的 1.2~1.6 倍以上。春季、秋季和冬季的 $\overline{\Delta T}_j^*$ 的地理分布特征十分相似,在北半球平均气温偏高的年份,我国大部分地区的季平均气温偏高,只是在青藏高原及其邻近地区有一片负距平区。东经 105°以东地区的大部分测站的季平均温度正距平幅度都比同期北半球平均气温距平大,正距平中心位于华北平原到内蒙一带。

* 本文受中国气象局“八五”重点项目基金及气象基金联合资助。