

近 50 年中国地面气候变化基本特征^{* 1}

任国玉

(中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京, 100081)

郭 军

徐铭志

(天津市气象局气候服务中心, 天津, 300074) (江苏省气象局苏州市气象台, 苏州, 215021)

初子莹 张 莉 邹旭凯

(中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京, 100081)

李庆祥 刘小宁

(中国气象局国家气象信息中心气候资料室, 北京, 100081)

摘 要

采用国家基准气候站和基本气象站的地面资料, 系统地分析了中国大陆地区 1951 年以来近地表主要气候要素演化的时间和空间特征。结果表明, 中国近 50 a 来年平均地表气温变暖幅度约为 1.1°C , 增温速率接近 $0.22^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$, 比全球或半球同期平均增温速率明显偏高。地表气温增暖主要发生在最近的 20 余年, 其季节和空间特征与前人分析结论基本一致。降水量变化趋势对所取时间段和区域范围敏感。1951 年以来全国平均降水量变化趋势不明显, 但 1956 年以来略有增加。降水变化的空间特征明显而相对稳定, 东北北部、包括长江中下游的东南部地区和西部广大地区降水增加, 而华北地区以及东北东南部和西北东部地区降水明显减少。分析还发现, 近 50 a 来全国平均的日照时数、平均风速、水面蒸发等气候要素均呈显著下降趋势, 但积雪地带的最大积雪深度却有所增加。中国日照时间和水面蒸发量变化的空间特征很相似, 减少最明显的地区均发生在华北和华东, 新疆次之。影响中国年代以上尺度气候变化的因子错综复杂, 人类活动引起的大气中温室气体浓度增高可能在一定程度上影响了中国近 50 a 来的气候, 但考虑到尚存的不确定性, 目前仍不能给出明确结论。中国东部大部分地区日照时间和水面蒸发量减少可能均起源于人为排放的气溶胶影响, 平均风速减弱也有利于水面蒸发量下降, 而在西部地区云量和降水量的变化可能更重要。

关键词: 气温, 降水量, 日照, 水面蒸发, 风速, 积雪深, 气候变化。

1 引 言

区域气候变化的检测和原因识别要求对过去尽可能长的气候要素时间序列进行研究。为此, 器测资料应该有至少 100 多年的记录。但是, 中国近地面气候观测在 1950 年以后才具有比较好的空间覆盖和时间连续性。考虑到 20 世纪后期的全球气候

增暖是过去至少 140 a 中最明显的, 而且多数学者认为近 50 a 的增暖主要是由人为引起的大气温室气体浓度增加造成的^[1], 选择 1951 年以来的地面观测资料, 系统分析中国大陆地区在这一时期主要气候要素变化的基本特征, 仍然具有重要意义。

20 世纪 80 年代以来, 国内学者对近百年中国器测时期的气候变化进行了很多研究, 取得了大量

* 初稿时间: 2004 年 5 月 20 日; 修改稿时间: 2005 年 5 月 17 日。

资助课题: 科技部“十五”科技攻关项目“全球与中国气候变化的检测和预测(2001BA611B-01)”课题和水利部“全国水资源综合规划”研究专题。

作者简介: 任国玉, 男, 1958 年生, 汉族, 博士, 研究员, 主要研究方向为气候变化、古气候和古生态学。

成果^[2~12]。这些工作表明,中国近百年温度变化与全球或北半球比较相似,均显示出 20 世纪 30~40 年代和 80 年代以来两个显著增温期,但相对于北半球平均,中国 30~40 年代的温暖期更为明显,同时中国一些地区的夏季平均气温具有不同程度的变凉趋势。对近 50 年气候变化分析同样已经开展了很多工作^[13~25]。这些研究增进了对中国器测时期气候变化规律的认识,为深入理解气候变化的原因和影响奠定了基础。

对近 50 年气候变化的研究还需要不断深化。例如,在现有的中国温度序列中,资料的非均一性问题仍比较突出,但在全国或区域性近地面平均气温序列的建立过程中,多数研究还没有给予妥善处理;另外,中国近地面气候要素变化的分析工作多数还没有遵循经过严格检验的计算方法,没有合理考虑资料的标准化、空间内插、格点化和面积加权平均等问题,需要在研究中加以改进。

本文应用国家基准气候站和基本气象站观测网资料,对中国大陆地区近 50 a 来近地面气温、大气降水、日照时间、水面蒸发、平均风速和最大积雪深度等气候要素进行了分析。这项工作更新了原有的

气候要素时间序列。由于使用了比较密集的台站观测资料,而且在资料的质量检验、均一性处理以及区域平均的统计方法等方面做了更细致的考虑,使得新气候序列的可靠性得到了提高。

2 资 料

资料来源于中国气象局国家气象信息中心资料室提供的中国 740 个测站 1951~2002 年的逐年平均和逐月平均资料,这些站绝大部分属于国家基准气候站和基本气象站,个别为一般气象站。

在所用资料中,20 世纪 50 年代初站点较少,如温度资料在 1951 年只有 128 个(表 1)。但是,整个 50 年代中国站点数量增长迅速,到 1960 年,站点数量已经接近 650 个,之后直到现在,各年的站点数量变化不大,基本上维持 650~700。降水以外的其他要素早期站点也较少,1951 年仅有 77 个;但到 1956 年,站点数量已经达到 428 个。本文的温度序列从 1951 年开始,但其他要素序列均始自 1956 年。温度和降水资料分别采用总共 726 个台站和 683 个台站的记录,其他要素资料所用台站总量略少,但最少年份台站数量也在 400 个以上。

表 1 不同时间各气候要素的台站数量

Table 1 Number of stations for climate elements and varied times

气候要素	1951 年台 站数	1956 年台 站数	1956~2002 年无缺 测台站数	1971~2000 年无缺 测台站数
气温	128	433	361(1956~2001)	617
降水	143	436	373	618
日照	77	428	291	574
蒸发	77	428	222(1956~2000)	466
最大积雪深度	77	428	378	613
风速	77	428	323	593

1956~2002 年,不同气候要素月值的缺测台站数存在一定差别。温度和降水资料的缺测记录较少,但其他要素记录缺失较多,其中蒸发量缺测最多。在温度资料中,具有 30 a 以上连续记录的台站数有 666 个,40 a 以上连续记录的台站数有 625 个,45 a 以上连续记录的台站数为 492 个,而具有连续 51 a 温度记录的台站数仅有 98 个站。

就大部分气候要素而言,20 世纪 50 年代初期站点数量不仅少,而且空间分布也很不均匀,西部地区除了新疆有少量台站外,其他地区没有记录;50 年代中期以后站点数量迅速增加,西部的站点也逐渐增多,至 1956 年中国西部所有省区都有了观测站,但其数量相对偏少的局面始终没有改变。至今

西藏自治区的中北部仍缺少观测。作为一个例子,图 1 给出了统计日照时数所用台站分布情况。温度和降水资料比日照时数资料略好。

在现有的地面气象资料中,另一个突出的问题就是各种人为因素引起的非均一性现象。这个问题对近地面气温变化分析的影响尤其重要。引起温度资料非均一性的一个主要原因是观测地点的迁移。在提供月平均温度记录的全部 726 个台站中,只有 28% 没有发生过迁移,且多数台站迁移次数在 2 次以上。台站的迁移对气温序列的均一性具有明显的影响。此外,全国气象观测站观测时次曾在 1960 年发生过改变,观测仪器和观测高度也曾有变化,这可能在温度序列中引起额外的非均一性问题。

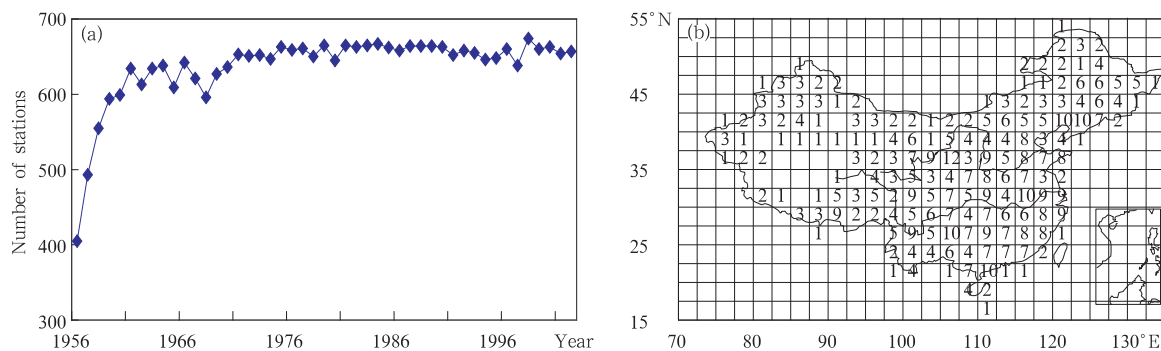


图 1 建立全国平均年日照时数时间序列所用台站个数的逐年变化(a)和 2000 年每个经纬度网格内的台站数(b)

Fig. 1 Number of stations for establishing region averaged time series of sunshine duration (a) and number of stations for grids with data for 2000 (b)

为了解决这个问题,对 1951~2001 年的月平均气温资料进行了均一性检验和订正。在调研国内外有关气候资料均一性检验方法和技术及其中国基本气象观测台站的变迁、仪器换型等历史沿革的基础上,选取 Easterling 等^[26]气候资料均一性检验和订正方法,对全部基准站和基本站的月平均气温序列中的明显断点进行了排查,并根据排查结果进行了订正。订正就是将检测出的断点或不连续点去除,使包含不连续点的时间序列变得“相对均一”。但是,由于城市化和增强的城市热岛效应引起的非均一性不存在明显的断点,在这项研究中没有给予订正。

通过订正,使得包括台站迁移、仪器换型、观测方法改变、计算方法变化甚至台站周围环境的变化对资料均一性的影响尽可能减少到最小。有关温度资料均一性检验、订正方法和效果的分析已另文发表^[27]。总体来说,台站迁移对中国地表气温序列均一性的影响最明显,订正后主要由于台站迁移引起的温度资料非均一性问题获得了比较好的解决。本文最近 50 a 地表气温序列的建立就是依据这套经过订正的资料集。

对于温度以外的气候要素资料,包括降水资料,没有进行严格的均一性检验和订正。降水等要素资料的时间序列对于台站位置变动等影响没有温度那么敏感,本文只利用统计方法对于明显错误数据进行了检测,删除或用多年平均值取代错误数据。另外,在建立日照时数、水面蒸发、平均风速和最大积雪深度等要素时间序列时,考虑到各要素近 50 a 无缺测的台站个数较少,采用连续缺测小于或等于 2 a

的所有台站资料,并用 1971~2000 年 30 a 标准气候期平均值代替缺测年的数据,这样可以保证台站数量维持在较高的水平上。

从 2000 年开始,中国北方台站冬半年使用小型蒸发皿观测蒸发量,其余时间使用大型蒸发池观测。由于一年内使用不同的观测仪器,无法计算年蒸发量。因此,年平均蒸发量资料分析时期截止到 2000 年。小型蒸发皿观测的蒸发量虽然不能确切的代表真实水体的蒸发,特别在干燥地区和干燥季节,更不能代表陆地表面的真实蒸散发,但对于了解潜在蒸发量的时间变化规律和趋势是有价值的。

3 方 法

在建立各要素全国平均时间序列时,采用 Jones 等^[28]提出的计算区域平均气候时间序列的方法。首先把中国整个区域按经纬度划分网格,网格尺寸一般为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ (图 1)。然后将每个网格内所有站点的数据做算术平均,得到各网格的平均值。最后应用面积加权法计算所有网格点的平均值,获得全国平均的各要素时间序列。计算所有气候要素距平值的标准气候期是 1971~2000 年。以地表气温序列为例,首先求各站温度距平值,然后划分 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 等经纬度的网格,再求每一个网格内所有台站温度距平的算术平均值;最后按网格面积求所有网格平均温度距平的加权平均值。

分别建立了 1951~2001 年全国平均的年、四季(春、夏、秋、冬)温度、降水量、日照时数、蒸发量、风速、最大积雪深度等要素的时间序列。季节采用气象季节划分方法,即上年 12 月至当年 2 月为冬季、3

~5 月为春季,6~8 月为夏季,9~11 月为秋季。年平均值为当年 12 个月值的算术平均。

气候变化趋势的性质和幅度可以用各要素变化趋势系数、变化速率以及新、旧两段时期平均值的差来表示。气候要素趋势系数实际上为逐年的气候要素值(如温度)与年份序列数的相关系数。趋势系数为正(负)时,表示气候要素在所统计的时间内有线性增加(减少)的趋势。分别计算了年和四季气温与降水量的趋势系数,气温趋势系数计算选择有连续 35 a 以上记录的 647 个站点资料,降水量趋势系数计算则采用 1956 年以来有连续记录的 357 个站点资料。变化速率就是采用最小二乘法获得的气候要素值与时间的线性回归系数,其 10 的倍数称该要素的变化速率,单位为要素单位/(10 a)(例如,温度的单位为 $^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,降水量和蒸发量的单位为 $\text{mm}/$

(10 a))。对所有分析的气候要素,均计算了其变化速率,其中一些在本文中给予描述和说明。对于降水量变化趋势,也采用 1980~2002 年与 1956~1979 年两段时期全国面积平均的降水量之差来表示。

4 温度变化

图 2 给出了全国年平均气温距平序列。从 1951 年到 2001 年,中国年平均气温整体的上升趋势非常明显,温度变化速率达 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$;51 a 平均气温上升了约 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。增温主要是从 80 年代中期开始的。80 年代中期以前,中国气温始终在较小的范围内上下波动,以后气温就一直呈明显的上升趋势。因此,近 50 a 中国近地面气温的增暖主要是发生在最近的 20 余年内。

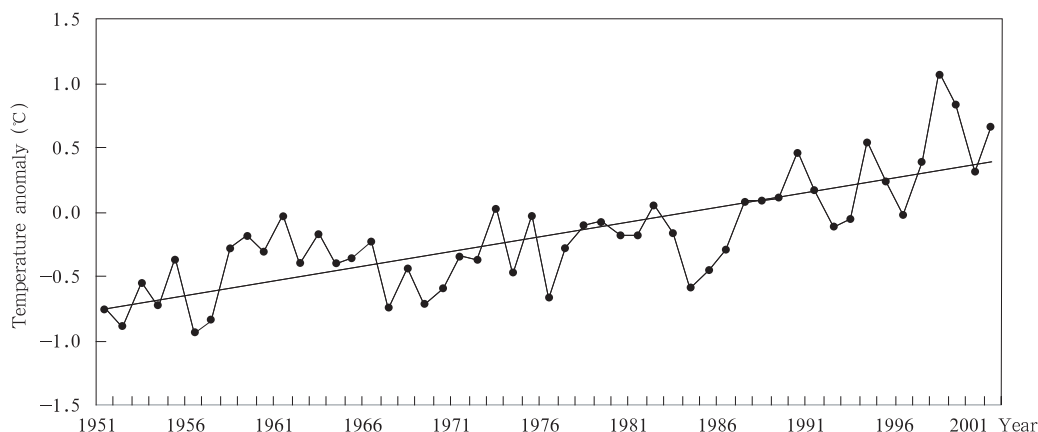


图 2 1951~2001 年中国大陆年平均气温距平

Fig. 2 Anomalies of annual mean temperature ($^{\circ}\text{C}$) for China from 1951 to 2001

从偏暖年份看,20 世纪 80 年代中期以后的数量也明显增多。80 年代中期以前,只有两年(1973, 1982 年)全国平均温度距平值为正,且其绝对值很小,不超过 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$;而以后却出现了 13 个偏暖年份,而且温暖的程度也越来越大。记录中最暖的 1998 年全国平均温度距平值达 $1.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。90 年代是中国 20 世纪后半叶最暖的 10 a,1998 年是最暖的 1 a。中国四季平均气温整体上都呈上升趋势,但增温幅度有所不同(图略)。在近 51 a 中,冬季平均气温上升了 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,春季上升了 $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,秋季上升了 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季上升了 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。全国冬季温度上升趋势最为明显,增温速率高达 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$;春季次之,增温速率为 $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$;秋季增暖趋势较小,增温速率为 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;夏季变暖最不明显,

增温速率仅为 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 。

从波动形式来看,四季平均气温的变化也各有千秋。秋季和冬季的变化比较相似,两个季节从 80 年代初开始都呈现出明显的变暖趋势,1987 年以后,两者的上升趋势都有加快的迹象。春季和夏季的变化较相似,两个季节在 20 世纪后半叶相当长的时间里,气温波动的幅度和变化趋势都很小,但从 1997 年开始,两者都有一个比较明显的跳跃,季节平均气温开始上升。从波动幅度上看,春季、夏季、秋季的波动均较平稳,冬季波动幅度较大。

在 20 世纪 80 年代初以前的 30 a 中,春季有 7 个偏暖年份(最大距平值为 1964 年的 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$),夏季有 5 个偏暖年份(最大距平值为 1961 年的 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}$),秋季有 6 个偏暖年份(最大距平值为 1975

年的 0.41°C), 冬季有 4 个偏暖年份(最大距平值为 1979 年的 0.88°C); 在以后的 21 a 中, 春季有 11 个偏暖年份(最大距平值为 1998 年的 1.19°C), 夏季有 11 个偏暖年份(最大距平值为 2001 年的 0.81°C), 秋季有 12 个偏暖年份(最大距平值为 1998 年的 1.42°C), 冬季有 14 个偏暖年份(最大距平值为 1999 年的 1.93°C)。可见, 80 年代初以来, 中国 4 个季节都有显著的增暖表现, 冬季偏暖的年份最多, 增温速率也最快。

图 3 给出了 1951~2001 年中国年平均气温的趋势系数等值线。全国范围内, 除四川盆地和川、滇交界地区有较小的气温下降趋势外, 其他地方均表现为增暖。北方和青藏高原的广大地区、海南、云南南部、东南沿海地带以及江淮地区, 年平均气温的趋势系数都超过了 0.4, 增温趋势显著(信度在 0.01 以上)。其中新疆东南、青海西北、西藏中部、内蒙大部、黑龙江大部、辽宁、河北北部、北京、以及海南和云南南部, 年平均气温的趋势系数更大于 0.6, 增温趋势非常显著。

西南地区北部, 包括四川盆地东部和云贵高原北部, 年平均气温呈下降趋势, 但并不是很显著。这个区域的降温现象早在多年前就已发现^[13,17,20,21], 90 年代中开始略有回暖, 但在所分析的时段内仍然表现为弱的降温趋势。

中国北方和青藏高原, 除了塔里木盆地, 其他地区一年四季气温普遍上升(图略)。东北地区, 除秋季外的其他季节增温均较明显; 内蒙古各个季节的增温也都比较明显; 新疆冬季增温明显, 南疆地区的春、夏、秋季平均气温有下降趋势; 青藏高原秋、冬季的增温最为显著, 其中青海西北部是全国秋、冬季增温最快的地区。

包括华东和华中的长江中下游地区、淮河流域夏季平均气温有一定下降趋势, 但春、秋、冬季都存在增温趋势, 特别是在江北、苏南和上海地区, 增温趋势更明显。华南地区, 除了广西和福建部分地区在春季有一定降温趋势外, 其他地区一年四季呈微弱增温趋势, 其中珠江三角洲地区夏、秋季增温明显, 海南四季的增温都较明显。西南地区 and 四川盆地四季平均气温都有一定下降, 春季降温幅度更大。云南南部一年四季的增温都很显著。

因此, 中国四季增暖在北方最为显著, 其中春季的增暖主要在东北地区, 秋、冬季的增暖主要在华北和西北地区。从春季经夏、秋到冬季, 主要增暖区域

有自东向西转移并扩展的趋势; 全国季节性的降温区域主要发生在南方, 春季和夏季的变凉较明显, 其中春季的降温主要出现在西南地区, 而夏季的变凉主要发生在长江中下游。由春至夏, 中国南方的降温地区有从西向东迁移趋势。

5 降水变化

降水量变化分析对所关注的时间区段和所用的统计方法比较敏感。采用标准化距平方法与采用面积加权平均降水量或降水百分率距平的方法也有差别。一般情况下, 降水量标准化距平方法能够更好地指示降水变化在不同地区的实际意义^[28]。

从全国平均来看, 近 47 a 来全国平均年降水量标准化距平呈现小幅增加趋势(图 4)。但是, 如果分析时段取 1951~2000 年, 则全国平均计算年降水量标准化距平的几乎没有趋势变化。另一方面, 从 20 世纪 70 年代中期开始, 全国平均降水量的标准化值具有更为明显的上升趋势。1956~2002 年, 降水最多的年份是 1998 年, 最少的年份是 1986 年。20 世纪 90 年代初以来, 大部分年份的降水量均高于常年, 而 60 年代则一般低于常年值。

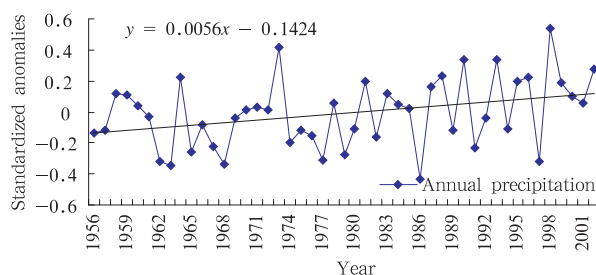


图 4 1956~2002 年期间全国平均年降水量标准化距平

Fig. 4 Standardized anomalies of annual precipitation for China from 1956 to 2002

1956~2002 年, 中国四季平均的降水量标准化距平值均呈不同程度的增加趋势(图略)。冬季和春季上升趋势比夏、秋季明显, 但降水的年代际变化在冬季和夏季更相似, 均表现为 20 世纪 50 年代降水丰沛, 60 年代初至 80 年代中偏少, 而 80 年代中期以来进入一个新的丰水期。

全国平均降水量标准化距平变化没有表现出地区差异。就年降水量趋势系数来看(彩图 5), 近 47 a 来中国东北东南部、华北中南部的黄淮海平原和山东半岛、黄土高原东南部和四川盆地中西部等地

区年降水量出现不同程度的下降趋势,其中山东半岛和晋、陕交界地区的负趋势最显著。在全国的其余地区,包括西部大部分地区、东北北部、西南西部、长江中下游和江南地区,年降水量均呈现不同程度的增加,其中长江中下游、华南沿海、青藏高原北部和南疆部分地区增加比较显著。最近十几年来黄河中下游流域和华北平原的干旱少水以及长江中下游的洪水均有其直接的长期变化背景因素在起作用。

各个季节的降水量趋势系数分布表明,冬季趋于变干的区域包括内蒙古、华北、东北南部和新疆东部,其他地区变化不明显或趋向变湿(图略);春季降水量在西南地区、青藏高原东部、东北南部有较明显

的增多,但华中和华东大部分地区降水量有所减少;夏季降水变化趋势空间分布与年降水量非常相似,但西南西部夏季趋于变干,青藏高原的高值区域向西迁移,长江中下游降水增加趋势更为明显;秋季中国东部多数地区降水量趋于减少或变化不明显,而西部降水量一般呈增加趋势。

6 其他要素

6.1 日照时数

1956~2002 年,全国平均年日照时数具有明显的下降趋势,其变化速率为 $-37.6 \text{ h}/(10 \text{ a})$ (图 6)。1981 年以前一般在多年平均值以上,此后距平转为

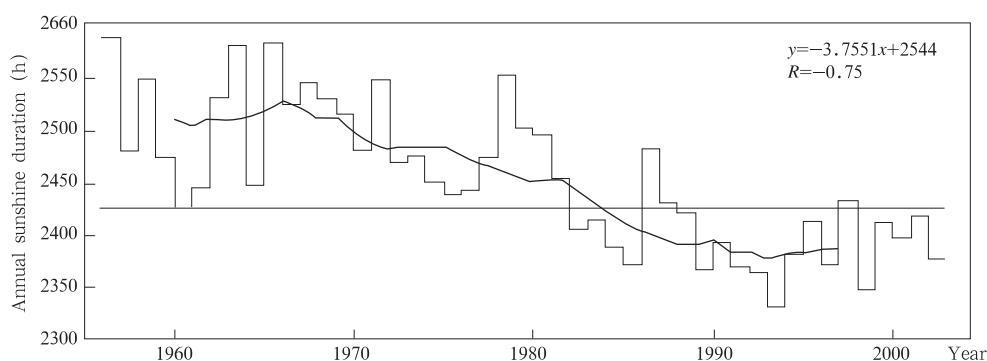


图 6 1956~2002 年全国平均年日照时数变化

Fig. 6 Change in annual sunshine duration (hours) for China from 1956 to 2002

负值。20 世纪 60 年代全国平均年日照时数距平值为 93 h;至 70 年代下降到 59 h;80 年代为 -14 h ,90 年代则降至 -45 h 。1993 年达到有记录以来的最低值,全国平均年日照时数比常年少 96 h。以后全国年平均日照时数略有回升。

日照时数的减少现象主要发生在中国东南部,减少最明显的地区是华北和华东地区(彩图 7)。在 110°E 以东 40°N 以南的广大平原地区年日照时数减少速率超过 $80 \text{ h}/(10 \text{ a})$,河北北部、山东西部和河南北部下降速率则超过 $100 \text{ h}/(10 \text{ a})$,为全国日照减少趋势最大区域,其中河南商丘的年日照时数在 20 世纪 60、70 年代一般在 2450 h 以上,到 90 年代下降到 1950 h,减少了约 500 h,变化速率达到 $-172.6 \text{ h}/(10 \text{ a})$ 。青藏高原北部、新疆大部分地区的年日照时数也有显著的减少,减少速率超过 $80 \text{ h}/(10 \text{ a})$ 。中国日照时数微弱增加区域主要出现在青藏高原东部、内蒙古西部和东北北部,其增加速率均不超过 $20 \text{ h}/(10 \text{ a})$ 。

6.2 水面蒸发

1956~2000 年,全国平均年水面蒸发量减少迅速,其变化速率为 $-34.5 \text{ mm}/(10 \text{ a})$ (图 8)。20 世纪 60、70 年代蒸发量在多年均值以上,80 年代降到均值以下。与日照时数变化一样,蒸发量在 1993 年达到有记录以来最低值,比常年减少 86 mm。此后,中国年蒸发量略有上升,20 世纪 90 年代末已接近多年平均值。年蒸发量的年际和年代际变化与日照时数变化非常相似,表明两者之间可能存在密切联系。蒸发量变化趋势的空间分布特点(图略)也同日照时数近似,除东北地区北部、内蒙古部分地区、甘肃南部、青藏高原东部和西部为较弱的增加趋势外,全国其余地区均呈减少趋势。减少明显的地区包括华北、华东、西南和新疆东部。

一些研究者^[29~31]也发现中国大范围水面蒸发减少的现象。这一现象在全球其他大陆也比较普遍。

6.3 最大积雪深度

1956~2002 年,中国有积雪地区平均最大积雪

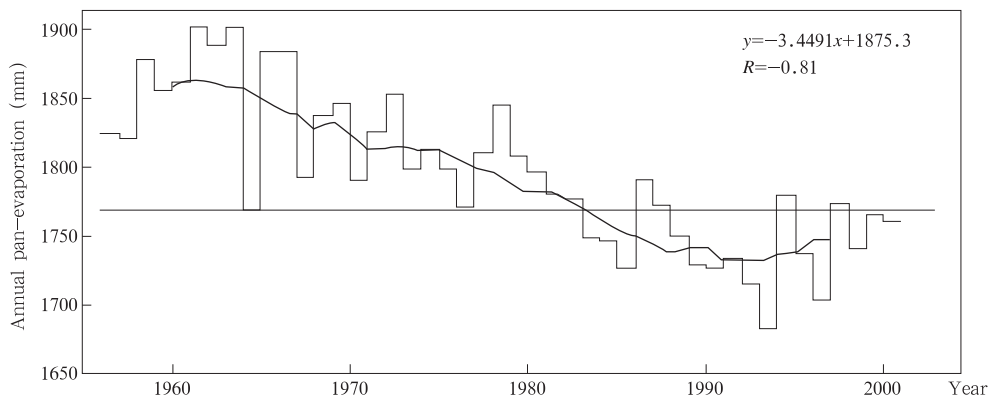


图 8 1956~2000 年全国平均年蒸发量变化

Fig. 8 Change in annual pan-evaporation (mm) for China from 1956 to 2002

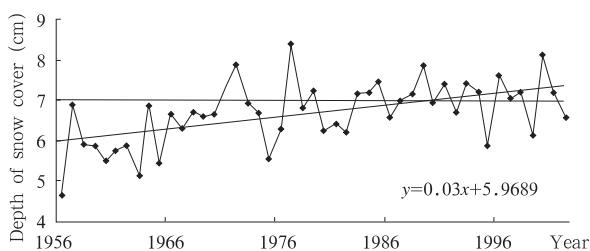


图 9 1956~2002 年中国有积雪地区平均

最大积雪深度变化

Fig. 9 Change in maximum depth of snow cover (cm) for China from 1956 to 2002

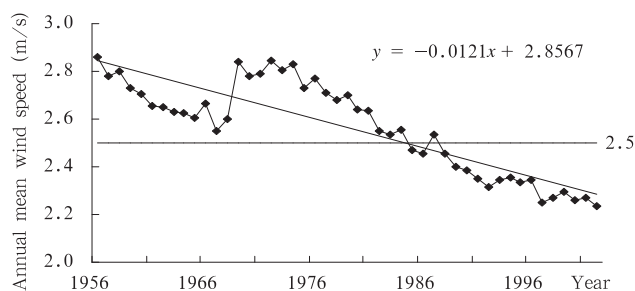


图 10 1956~2002 年全国年平均风速变化

Fig. 10 Change in annual mean wind speed (m/s) for China from 1956 to 2002

深度表现出微弱的增加趋势(图 9),其变化速率为 $0.17 \text{ cm}/(10 \text{ a})$ 。20 世纪 60 年代中以前,全国平均最大积雪深度较小,而后缓慢增加,1976~2002 年最大积雪深度变化速率为 $0.25 \text{ cm}/(10 \text{ a})$ 。20 世纪 80 年代中以后,中国有积雪地区最大积雪深度维持在较高的水平上。最大积雪深度的变化与中国冬季降水量变化有相似之处,特别是 80 年代中期以来的增加趋势,二者显示了明显的一致性。但在大部分地区最大积雪深度常常与一次降雪事件有关,而冬季降水量是整个季节降水事件的累加,二者不可能完全一致。

6.4 平均风速

近 47 a 来全国年平均风速经历了明显的减弱趋势,减少速率大于 $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/(10 \text{ a})$ (图 10)。平均风速在 20 世纪 60 年代末以前变化不大;1969 年风速显著增强,较高的风速维持到 70 年代中期。自 1974 年开始,中国年平均风速呈现十分明显的持续性下降趋势,由 2.8 m/s 下降到目前的 2.2 m/s 。1969~2002 年期间平均风速的变化速率达 $-0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/(10 \text{ a})$ 。

从年平均风速变化趋势的地理分布来看,除在云南西部有一微弱正值区外,其余地区均为负值(彩图 11)。西北东部、西南大部 and 东北北部平均风速变化较小,变化速率不足 $-0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/(10 \text{ a})$ 。西北大部分地区、内蒙古、东北中南部和华中部分地区平均风速减小趋势较明显,变化速率可达 $-0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/(10 \text{ a})$ 。塔里木盆地、阿拉善地区和柴达木盆地风速减小趋势最显著,变化速率可达 $-0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/(10 \text{ a})$ 。

7 讨论与结论

7.1 温度变化原因

本文进一步证实了中国现代气候的明显变暖过程。对于中国近百年、特别是近 50 a 的增暖,一般认为可能主要与增强的温室效应有关^[32,33]。古气候资料分析给出了不一致的温度变化史。中国东部 20 世纪冬季增暖在近 2000 a 历史气候序列中可能不是独特的,过去有比目前还温暖的时期^[34];秦岭地区近 50 a 春季温度在过去 300 多年里也是较低的^[35]。但是,青海祁连山地区的树轮资料分析表

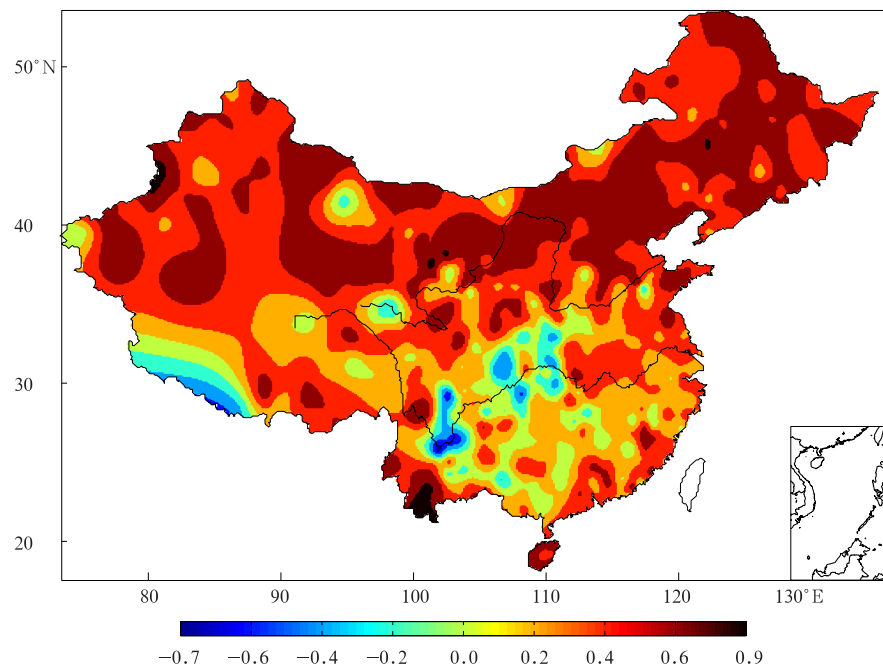


图3 1951~2001年中国年平均气温的趋势

Fig.3 Tendency of annual mean temperature for China from 1951 to 2001

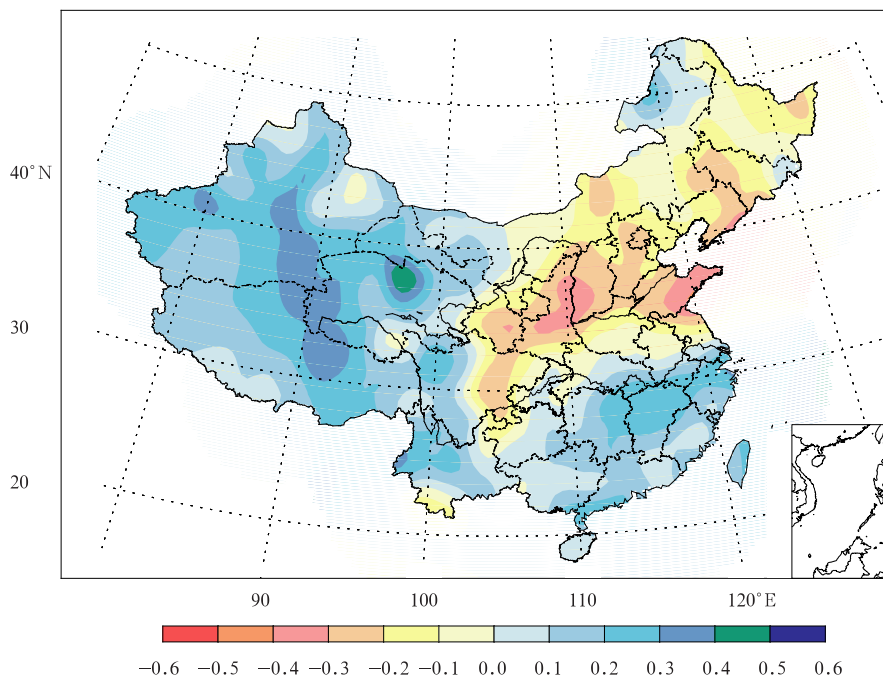


图5 1956~2002年全国年降水量趋势系数

Fig.5 Tendency of annual temperature for China from 1956 to 2002

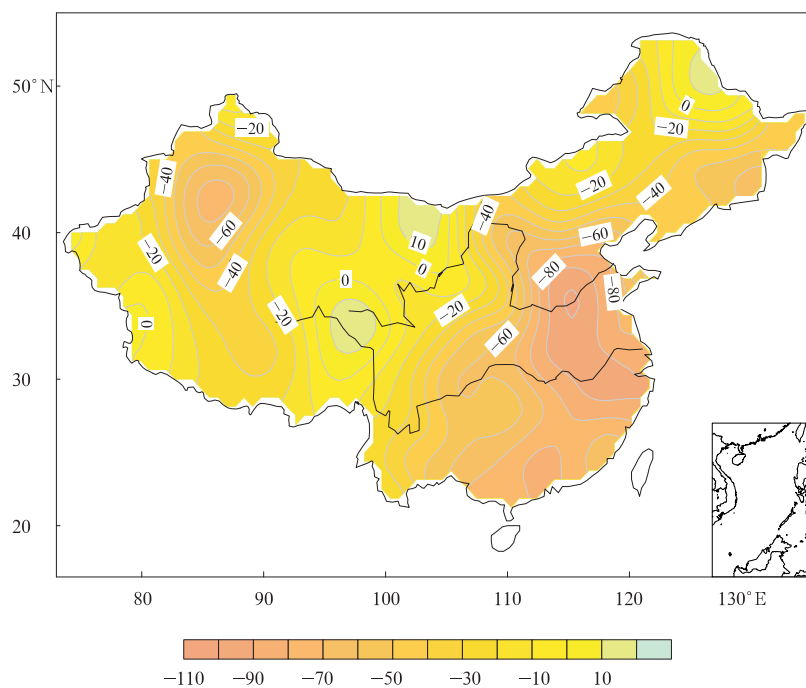


图7 1956~2002年全国年平均日照时数变化趋势

Fig. 7 Tendency of annual sunshine duration for China from 1956 to 2002

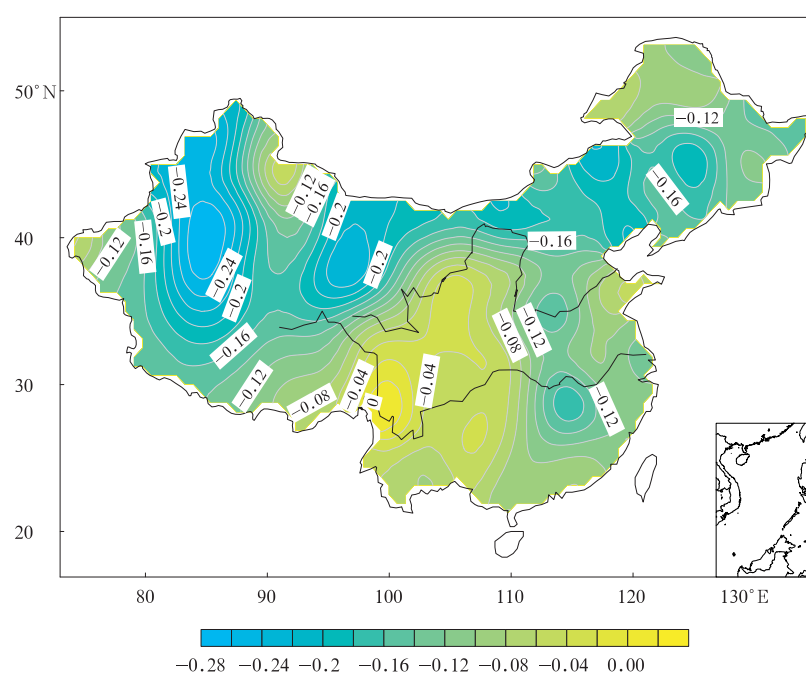


图11 1956~2002年全国年平均风速变化趋势分布

Fig. 11 Tendency of annual mean wind speed for China from 1956 to 2002

明,20 世纪特别是近 50 a 来的增暖可能确实是过去 1000 a 内所没有的^[36],因此祁连山地区近期的变暖不大可能完全由自然的气候因子引起。国内开展的气候模式模拟工作也表明,当考虑了大气中温室气体、气溶胶、太阳辐射和火山活动等辐射强迫因子变化时,模式模拟的 20 世纪中国近地面平均气温与观测的变化比较一致,说明增强的大气温室效应可能是中国气候变暖的主要原因^[37~40]。

当然,在气候变化的检测方面还有其他重要问题有待解决。其中之一是,城镇热岛效应增强的影响究竟在多大程度上还保留在目前的地面气温序列中。研究指出,中国城镇化过程对地面气温记录的影响是比较显著的^[41~43]。最近,针对华北、湖北和甘肃等地区的分析表明,在国家基准气候站和基本气象站的记录中,近 40~50 a 由于城镇化影响引起的地面气温上升对区域平均气温增加趋势的贡献非常明显,北京和湖北地区甚至超过 70%^[44,45],华北地区平均也有近 40%。全国其他城镇测站在不同程度上存在这个问题。在长江三角洲地区,由于城市化迅速,甚至形成了“区域热岛”现象^[46]。显然,剔除城镇化对国家基准、基本站地面气温记录的影响,本文得到的近 50 a 全国平均地面气温上升速率将明显减少。另一个重要问题是海洋-大气系统年代际以上尺度的低频振动及其对中国地面气温的影响。这种低频振动已得到观测资料分析的证实,但现在还不清楚它对中国地面气温变化究竟产生了多大影响。有一种观点认为,增强的温室效应可能已经改变了海-气系统涛动的正常模态^[1,47,48]。这种可能性是存在的,但目前对古海洋和古气候代用资料的分析似乎不支持这一观点。一些代用资料分析表明,类似目前这样的海-气系统涛动模态在过去并不罕见,因而现在至少还不能排除当前的地面气温变化是低频自然振动一部分的可能性。

此外,目前对其他自然和人类辐射强迫因子的历史和作用还缺乏深入了解。这些因子包括火山喷发产生的气溶胶、太阳活动及其太阳辐射、人类活动产生的大气气溶胶等。这种状况增加了中国地面气温变化原因识别的难度。

7.2 其他要素变化原因

中国大陆地区降水的年代尺度变化引起国内外学者的关注。海-气涛动、季风演变、高原积雪、陆面过程等均可能对长期降水变化造成影响^[49~51]。人类活动对中国降水的可能影响问题也颇引人瞩目。

可能的人类活动影响来自增强的温室效应及全球变暖、区域性土地利用和土地覆盖变化、大气中人为气溶胶浓度增加等。可能由人为因素引起的全球变暖也可能通过干预海-气涛动等自然过程影响中国的降水。

根据中国东部历史文献资料分析结果,无论是华北的干旱还是长江中下游的洪涝,从近 1000 a 气候史上看似乎都不是很反常的。华北地区过去发生过更为严重的长期干旱^[52]。但是,最近的树轮分析表明,青海西部 20 世纪 90 年代以来的降水量可能是过去 1000 余年最高的,多水年份比 16 世纪中后期还要湿润^[53],这一结果似乎有利于支持增强的温室效应影响的推断。当考虑了大气中温室气体、气溶胶、太阳辐射和火山活动等辐射强迫因子变化时,气候模拟也给出了若干与观测变化一致的结果。例如全国降水量的增加趋势,以及西部和长江中下游地区降水量的增加等,多数模式能够模拟出来,说明增强的温室效应可能对中国大范围降水变化时空分布型产生了影响^[38,39]。当然,与气温变化模拟比较,降水变化的数值模拟问题更多。

近 50 a 中国日照时间、水面蒸发量和风速等气候要素均呈明显下降趋势。日照时数与水面蒸发变化的时间和空间特征颇相似,说明太阳辐射的减少可能是影响观测到的水面蒸发下降的重要因素^[31]。同站年蒸发量与日照时数相关分析表明,在大部分地区二者均呈显著的负相关,其中海河流域、淮河流域、黄河中下游、长江中下游以及东南沿海等地区的相关程度更高,新疆北部相关也很好。这些地区正是水面蒸发量减少最明显的区域,进一步说明日照时数或太阳辐射对于水面蒸发变化的关键影响。

对于日照时数减少的原因,一般认为可能主要与人为排放的气溶胶浓度增加有关^[54~56]。分析表明,中国日照时间减少最多的区域主要在人口密集、经济活动强烈的华北和华东等东部地区(图 7),说明人类活动引起的气溶胶(特别是硫酸盐气溶胶和黑碳气溶胶)增多可能是主要因素。观测分析还表明,过去的 40~50 a 中国华北的雾日和低层云量呈增多趋势,这可能是大气低层气溶胶浓度增加的另一表现形式。此外,华北地区日照时间的变化发生在降水量和云量减少的背景之下,说明中高云量变化不是主要原因,气溶胶及其伴生的轻雾和低云影响可能是主导因素;在长江中下游地区,近 50 a 来降水量和云量也是增加的,尽管气溶胶仍起作用,但

云量变化的影响不容忽视;新疆地区日照时数的减少可能主要与降水和云量增多有关,因为那里人为排放的气溶胶数量及其随时间变化远较东部小。

在水面蒸发量明显减少的地区,平均风速一般也表现为降低,水面蒸发与平均风速之间存在显著的正相关关系。这说明,中国大范围平均风速的减弱可能是水面蒸发量下降的另一重要影响因子。至于平均风速减弱的直接原因,可能与城镇化的影响、大陆冷性高压和气旋活动趋弱、夏季风减弱等有关。风速减弱的其他后果包括沙尘天气事件发生频次的减少^[57],以及潜在风能资源蕴藏量的降低。

8 结 论

(1) 根据对经过均一性检验和订正的国家基准/基本站气温资料分析,中国 1951~2001 年年平均地面气温升高 1.1°C , 增温速率为 $0.22^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$, 比全球或半球同期平均增温速率明显大。北方和青藏高原地区增温最明显;四川盆地及其西南地区仍维持着一个降温区域。冬、春季增暖更明显,夏季增温最弱。从 20 世纪 80 年代中后期开始,全国平均增温速率有加大趋势,并有以冷季增暖为主向全年性增暖转变的迹象。

(2) 面积平均的年降水量变化趋势对所取时间段和区域范围敏感。1951 年以来全国平均年降水量趋势不明显;但 1956 年以来有微弱增多趋势,且四季降水量均呈不同程度的增加,冬季和春季上升略为明显。近 50 年来降水量变化的空间特征非常清晰,而且比较稳定,其中东北北部、包括长江中下游的东南地区和西部地区降水表现出增加,而华北地区、东北东南部和西北东部降水减少,减少最明显的区域在环渤海地带。

(3) 近 50 年全国平均的日照时间、平均风速和水面蒸发量均呈显著下降趋势,而最大积雪深度有所增加。日照时间减少主要发生在东南部,特别是华北和华东地区,新疆也比较明显;水面蒸发量减少最明显的地区包括华北、华东和新疆东部;平均风速下降主要发生在西北大部、内蒙古、东北中南部和华北部分地区;最大积雪深度增加在一定程度上是中国北方和青藏高原冬季降水量增多的反映。

(4) 观测资料分析与模式模拟的比较表明,中国 20 世纪温度和降水变化空间分布型与模拟的全球变化情景下中国区域气候变化空间特点有一定相似性,说明过去 50 a 的气候变化可能是对增强的温

室效应的响应。但这个问题非常复杂,自然的外部强迫因子和其他人类活动的影响可能也很重要,气候系统内部低频自然振动也会对中国年代以上尺度气温和降水变化造成影响。

(5) 近 50 年中国东部日照时间和水面蒸发量的明显减少可能起源于人为气溶胶影响。大气中气溶胶含量的增加引起日照时数减少,太阳辐射减弱,低层云和雾日增多,水面蒸发量下降。中国大部分地区平均风速减弱也有利于水面蒸发减少,而前者可能主要与东亚季风环流系统的演化有联系。

参考文献

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: The Press Syndicate of Cambridge University 2001.
- [2] 王绍武. 近百年中国及全球气温变化趋势. 气象, 1990, 16(2): 11~15
Wang Shaowu. China and global temperature change trends in recent 100 years. Meteorology Monthly (in Chinese), 1990, 16(2): 11~15
- [3] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢等. 近百年中国年气温序列的建立. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392~401
Wang Shaowu, Ye Jilin, Gong Daoyi, et al. Construction of annual mean temperature series of the last 100 years over China. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 1998, 9(4): 392~401
- [4] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变. 见: 秦大河主编. 中国西部环境演变评估(第一卷). 北京: 科学出版社, 2002. 29~70
Wang Shaowu, Dong Guangrong. Features and evolution of environment in western China. In: Qin D H ed. Assessment of Environmental Change of Western China, Vol 1. Beijing: Science Press, 2002. 29~70
- [5] 唐国利, 林学椿. 1921~1990 年我国气温序列及变化趋势. 气象, 1992, 18(7): 3~6
Tang Guoli, Lin Xuechun. Temperature series and change trend of 1921~1990 over China. Meteorology Monthly (in Chinese), 1992, 18(7): 3~6
- [6] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化. 气象, 1994, 20(12): 19~26
Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature change during the recent 100 years over China. Meteorology Monthly (in Chinese), 1994, 20(12): 19~26
- [7] 任国玉, 周薇. 辽东半岛本世纪气温变化的初步研究. 气象学报, 1994, 52(4): 493~498
Ren Guoyu, Zhou Wei. A preliminary study of 20th century temperature change on the Liaodong Peninsula, China. Acta Meteo Sinica (in Chinese), 1994, 52(4): 493~498

- [8] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列. 大气科学, 1995; 19(5): 525~534
Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. Temperature series of the past 100 years for China. Atmospheric Sciences(in Chinese), 1995, 19 (5): 525—534
- [9] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431~439
Shi Neng, Chen Jiaqi, Tu Qipu. Decadal variation of climate during the past 100 years over China. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 1995, 53 (4): 431—439
- [10] 谢庄, 曹鸿兴, 李慧等. 近百余年北京气候变化的小波特征. 气象学报, 2000, 58(3): 362~369
Xie Zhuang, Cao Hongxing, Li Hui, et al. Wavelet analysis of climate series of the past 100 years for Beijing station. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2000, 58 (3): 362—369
- [11] Zeng Z, Yan Z, Ye D. Regions of most significant temperature trend during the last century. Adv Atmos Science, 2001, 18 (4): 481—496
- [12] 魏凤英, 曹鸿兴, 王丽萍. 20 世纪 80~90 年代我国气候增暖进程的统计事实. 应用气象学报, 2003, 14(1): 79~86
Wei Fengying, Cao Hongxing, Wang Liping. Climatic warming process during 1980 s-1990 s in China. Applied Meteor Sci(in Chinese), 2003, 14 (1): 79—86
- [13] 张兰生, 方修琦. 中国气温变化的区域分布规律. 北京师范大学学报(自然科学版), 1988, 3: 78~85
Zhang Lansheng, Fang Xiuqi. Regional difference of surface air temperature change in China. Journal of Beijing Normal Univer (natural version) (in Chinese), 1988 (3): 78—85
- [14] 曲建和, 孙安健. 黄淮海地区近 40 年来温度变化特征的研究. 应用气象学报, 1991, 2(4): 423~428
Qu Jianhe, Sun Anjian. Characteristic of temperature change of the past 40 years in the Huang-Huai-Hai Plain. Quarterly Journal of Applied Meteorology(in Chinese), 1991, 2 (4): 423—428
- [15] 李克让, 林贤超. 近 40 年来我国降水的长期变化趋势. 见: 施雅风等. 中国气候与海平面变化研究进展(二). 北京: 海洋出版社, 1992. 44~45
Li Kerang, Lin Xianchao. Long-term trend of precipitation change of China over the last 40 years. In: Shi Y F, et al. eds. Research Progress in Climate and Sea Level Changes in China (2). Beijing: China Oceanic Press, 1992. 44—45
- [16] 李栋梁, 彭素琴. 兰州温度变化的气候特征. 高原气象, 1993, 12(1): 18~26
Li Dongliang, Peng Suqin. Climate feature of temperature change at Lanzhou, China. Plateau Meteorology (in Chinese), 1993, 12 (1): 18—26
- [17] 宋连春. 近 40 年我国气温时空变化特征. 应用气象学报, 1994, 5(1): 119~124
Song Liangchun. Spatial and temporal change of China surface air temperature over the past 40 years. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 1994, 5 (1): 119—124
- [18] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. 气象学报, 1997, 55(4): 418~429
Zhai Panmao, Ren Fumin. Changes in maximum and minimum temperatures of the past 40 years over China. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 1997, 55 (4): 418—429
- [19] 张顺利, 黄晓清. 拉萨 40 余年温度变化的气候特征. 高原气象, 1997, 16(3): 312~318
Zhang Shunli, Huang Xiaqing. Climate feature of temperature change of the past 40 years at Lasha, China. Plateau Meteorology(in Chinese), 1997, 16 (3): 312—318
- [20] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬等. 近四十年我国气候变化的初步分析. 应用气象学报, 1991, 2 (2): 164~173
Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qingfen, et al. A preliminary analysis of climate change of China over the last 40 years. Quarterly Journal of Applied Meteorology(in Chinese), 1991, 2 (2): 164—173
- [21] 陈隆勋, 朱文琴. 中国近 45 年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 257~271
Chen Longxun, Zhu Wenqin. Study on climate change of China over the past 45 years. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 1998, 56 (3): 257—271
- [22] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国气温异常的区域特征研究. 气象学报, 2000 58(3): 288~296
Tu Qipu, Deng Ziwan, Zhou Xiaolan. Study on regional feature of China temperature variation Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2000, 58 (3): 288—296
- [23] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 中国降水变化趋势的空间特征. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322~330
Ren Guoyu, Wu Hong, Chen Zhenghong. Spatial difference of China precipitation change trend. Quarterly Journal of Applied Meteorology(in Chinese), 2000, 11 (3): 322—330
- [24] 杜军. 西藏高原近 40 年的气温变化. 地理学报, 2001, 56 (6): 682~690
Du Jun. Temperature change of the Tibetan Plateau over the past 40 years. Acta Geographica Sinica(in Chinese), 2001, 56 (6): 682—690
- [25] 沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响. 中国科学(D), 2002, 32(4): 317~326
Sha Wanying, Shao Xuemei, Huang Mei. Climate warming and its impact on natural geographical boundaries since 1980's. Sci in China (D) (in Chinese), 2002, 32 (4): 317—326
- [26] Easterling D R, Peterson T C. A new method for detecting and adjusting for undocumented discontinuities in climatological time series. Int J Climatol, 1995, 15: 369—377
- [27] Li Q X, et al. Detecting and adjusting temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature data. Adv Atmos Sci, 2004, 21 (2): 260—268
- [28] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. Int J Climatol, 1996, 16: 361—377

- [29] 邱新法, 刘昌明, 曾燕. 黄河流域近 40 年蒸发皿蒸发量的气候变化特征. 自然资源学报, 2003, 18(4): 437~442
Qiu Xinfu, Liu Changming, Zeng Yan. Climate change of pan-evaporation of the Yellow River basin over the past 40 years. J Natural Resources(in Chinese), 2003, 18 (4): 437—442
- [30] Liu B, Xu M, Henderson M, et al. A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955—2000. J Geophys Res, 2004, 109 D:15102, doi:10.1029/2004JD004511
- [31] 郭军, 任国玉. 黄、淮、海河流域蒸发量变化特征及其可能原因. 水科学进展, 2005, 16(5): 666~672
Guo Jun, Ren Guoyu. Characteristics and possible causes of pan-evaporation change of the Huang-Huai-Hai Plain, China. Advance in Water Sciences(in Chinese), 2005, 16(5): 666—672
- [32] 丁一汇, 张锦, 徐影等. 气候系统的演变及其预测. 北京: 气象出版社, 2003. 137pp
Ding Yihui, Zhang Jin, Xu Ying, et al. Climate System Change and Its Projection. Beijing: China Meteorological Press, 2003
- [33] Zhao Zongci, Xu Ying. Detection and projection of temperature change in East Asia for the 20th and 21st centuries. Review of World Resources (USA), 2003, 9: 223—234
- [34] Ge Q S, Zheng Jingyun, Fang Xiuqi, et al. Winter half-year temperature reconstruction for the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, China during the past 2000 years. The Holocene, 2003, 13: 995—1002
- [35] 刘洪滨, 邵雪梅. 采用树轮年表重建秦岭地区历史初春温度变化. 地理学报, 2003, 58 (6): 879~884
Liu Hongbin, Shao Xuemei. A reconstruction of early spring mean temperature of history time over the Qinling Mountains. Acta Geographica Sinica(in Chinese), 2003, 58 (6): 879—884
- [36] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅等. 祁连山中部过去千年温度变化的树轮记录. 中国科学(D), 2004 31(1): 89~95
Liu Xiaohong, Qin Dahe, Shao Xuemei, et al. Tree-ring based reconstruction of the past 1000 year temperature change over the Qilian Mountains. Sciences in China (D) (in Chinese), 2004, 31(1): 89—95
- [37] 马晓燕. 外部强迫因子对气候变化影响的数值试验研究: [博士论文]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2002. 137pp
Ma Xiaoyan. Modeling study on effect of extra forcings on climate change: [PhD thesis]. Beijing: Institute of Atmospheric Physics, CAS, 2002. 137pp
- [38] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟. 第二部分: 中国区域气候的可能变化. 气象学报, 2003, 61(1): 29~38
Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui, et al. Modeling of regional climate change of China induced by greenhouse gases. Part 2: Possible change in climate of China. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2003, 61 (1): 29—38
- [39] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 人类活动引起的我国西北地区 21 世纪温度和降水变化情景分析. 冰川与冻土, 2003, 25(3): 327~330
Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci. Projection of temperature and precipitation change in 21st century induced by human activities over Northwest China. Journal Glaciology and Geocryology(in Chinese), 2003, 25(3): 327—330
- [40] 赵宗慈, 王绍武, 徐影等. 近 100 年我国地表气温趋势变化的可能原因分析. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 808~817
Zhao Zongci, Wang Shaowu, Xu Ying, et al. An analysis of possible causes of China surface air temperature change in the past 100 years. Climate and Environmental Research (in Chinese), 2005, 10 (4) 808—817.
- [41] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响. 气象, 1991, 17(4): 14~17
Zhao Zongci. Temperature change of the past 39 years and the impact of urbanization on it. Meteorology Monthly(in Chinese), 1991, 17 (4): 14—17
- [42] 陈沈斌, 潘莉卿. 城市化对北京平均气温的影响. 地理学报, 1997, 52(1): 27~36
Chen Shenbin, Pan Liqing. Effect of urbanization on Beijing surface mean temperature. Acta Geographica Sinica(in Chinese), 1997, 52 (1): 27—36
- [43] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2003, 48(1): 39~45
Lin Xuechun, Yu Shuqiu. Decadal variation of surface air temperature and heat island effect. J Geophysics(in Chinese), 2003, 48(1): 39—45
- [44] 初子莹, 任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响. 气象学报, 2005, 63 (4): 534~540
Chu Ziying, Ren Guoyu. Effect of enhanced urban heat island magnitude on average surface air temperature series in Beijing region. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2005, 63 (4): 534—540
- [45] 陈正洪, 王海军, 薛铃等. 湖北省城市热岛强度变化对区域气温序列的影响. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 771~779
Chen Zhenhong, Wang Haijun, Xue Ling, et al. Effect of enhanced urban heat island magnitude on average surface air temperature series in Hubei Province, China. Climate and Environmental Research(in Chinese), 2005, 10 (4): 771—779.
- [46] Chen Longxun, Zhu Wenqin, Zhou Xiuji. Characteristics of the heat Island effect in Shanghai and its possible Mechanism. Adv in Atmos Sci, 2003, 20 (6): 991—1001
- [47] Shindell D T, Miller R L, Schmidt G A, et al. Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse gas forcing. Nature, 1999, 399: 452—455
- [48] Timmermann A, Oberhuber J M, Bacher A, et al. Increased El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. Nature, 1999, 398: 694—696

- [49] 黄荣辉,周连童.我国重大气候灾害特征、形成机理和预测研究.自然灾害学报,2002,11(1):1~9
Huang Ronghui, Zhou Liantong. Characteristics, mechanisms and prediction of major climate disasters in China. Natural Disaster(in Chinese), 2002,11(1):1~9
- [50] 张人禾,刘晶淼等.海洋和陆面过程对中国气候与环境的作用.见:秦大河,丁一汇,苏纪兰主编.中国气候与环境演变(上卷).北京:科学出版社,2005.319~357
Zhang Renhe, Liu Jingmiao, et al. Role of oceanic and land processes in China climate and environment. In: Qin Dahe, Ding Yihui, Su Jilan, eds. Changes of Climate and Environment in China (Vol. 1). Beijing: Science Press, 2005. 319~357
- [51] 丁一汇,董文杰,何金海等.亚洲季风及其与中国气候和环境变化的关系.见:秦大河,丁一汇,苏纪兰主编.中国气候与环境演变(上卷).北京:科学出版社,2005.398~454
Ding Yihui, Dong Wenjie, He Jinhai, et al. Asian monsoon and its effect on China climate and environmental changes. In: Qin Dahe, Ding Yihui, Su Jilan, eds. Changes of Climate and Environment in China (Vol. 1). Beijing: Science Press, 2005. 398~454
- [52] 张德二.中国历史气候记录揭示的千年干湿变化和重大干旱事件.科技导报,2004,22(8):47~50
Zhang De'er. Wetness change and major drying events in the past 1000 years as indicated by Chinese historical documents. Science & Technology Review(in Chinese), 2004, 22(8): 47~50
- [53] 邵雪梅,黄磊,刘洪滨等.柴达木东缘山地若干祁连圆柏树轮第一主成分重建德令哈千年降水量变化.中国科学(D), 2004, 34(2): 145~153
Shao Xuemei, Huang Lei, Liu Hongbin. Annual precipitation change of the past 1000 years as reconstructed from tree-rings on eastern rim of the Caidamu Basin. Sci in China (D)(in Chinese), 2004, 34(2): 145~153
- [54] 王自发,黄美元,高会旺等.关于我国和东亚酸性物质的输送研究:硫化物浓度空间分布特征及季节变化.大气科学, 1998,22(5): 693~700
Wang Zifa, Huang Meiyuan, Gao Huiwang, et al. On transport of sulfate materials of China and eastern Asia: II Spatial distribution and seasonal variation of sulfate. Atmospheric Sciences(in Chinese), 1998, 22(5): 693~700.
- [55] 王喜红,石广玉.东亚地区云和地表反照率对硫酸盐直接辐射强迫的影响.气象学报,2002,60(6): 758~765
Wang Xihong, Shi Guangyu. Effect of clouds and land surface reflectivity on direct radiative forcing of sulfate over East Asia. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2002,60(6): 758~765
- [56] 罗云峰,周秀骥.30年来我国大气气溶胶光学厚度平均分布特征分析.大气科学,2002,26(6): 721~730
Luo Yunfeng, Zhou Xiuji. An analysis of spatial distribution of aerosol optic depth of China over the past 30 years. Atmospheric Sciences(in Chinese), 2002,26(6): 721~730
- [57] 张莉,任国玉.中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析.气象学报,2003,61(6): 744~750
Zhang Li, Ren Guoyu. Change in frequency of dust storm events and the climatologically influential factors. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2003,61(6): 744~750

CLIMATE CHANGES OF CHINA'S MAINLAND OVER THE PAST HALF CENTURY

Ren Guoyu

(National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Guo Jun

(Climate Service Center, Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074)

Xu Mingzhi

(Suzhou Meteorological Bureau, CMA, Suzhou 215021)

Chu Ziyang Zhang Li Zou Xukai

(National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Li Qingxiang Liu Xiaoning

(National Meteorological Information Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract

A data set of mean temperature, precipitation and other climate parameters for 740 stations across China's Mainland was used to analyze climate change in mainland China. The data set has been processed more carefully, and the main in-homogeneities existing in the monthly mean temperature data have been checked and corrected. The widely accepted procedures for creating area-averaged climatic time series and for calculating linear trend have been used. Analyses have been made for annual and monthly mean temperature, precipitation, pan evaporation, sunshine duration, wind speed, and the maximum depth of snow cover.

The analyses show that annual mean surface air temperature in China's Mainland as a whole rose by about 1.1 °C for the last 50 years, with a warming rate of about 0.22 °C/10 a. The warming in the later half 20th century is more rapid than the average values of the world and the Northern Hemisphere. The most evident warming occurred in winter and spring as expected. Northeast China, North China and Northwest China experienced more significant warming in terms of annual mean temperature, while a cooling trend reported in earlier studies is still continuing. Summer mean temperature in the middle and lower reaches of the Yangtze River also decreased in the last 50 years.

No significant long-term change in the country-averaged annual precipitation was seen for both the past 50 years. However, an obvious tendency of drying in the Yellow River Basin and the North China Plain in terms of precipitation has been found, and the largest drop in precipitation occurred in Shandong Province. Meanwhile, an insignificant wetting trend in the Yangtze River Basin and most parts of western China could be detectable. For the Yangtze River Basin, the increased annual precipitation mainly resulted from the significant rising of summer rainfall, though winter precipitation also tended to increase.

Since 1956, the country-averaged pan evaporation has had a significant trend to decrease, with a changing rate of -34.5 mm/10a. The most significant decrease occurred in spring and summer in the North China Plain and the lower reach of the Yangtze River. The largest decrease in Pan-evaporation in terms of absolute values is in north-western China. It is worth to note that average sunshine duration and wind speed are also experiencing a tremendous drop in most regions of the country during the past 50 years, and they usually bear a similarity with pan evaporation in spatial pattern of the tendencies. In parts of the North China Plain, annual sunshine duration in the recent years is almost 500 hours fewer than that of 50 years ago.

We have also tentatively analyzed the possible causes for the observed changes. However, it is premature at this moment to give a definite conclusion.

Key words: Temperature, Precipitation, Sunshine duration, Pan-evaporation, Wind speed, Snow cover, Climate change.