

20 世纪两次全球增暖事件的比较*

曾昭美 严中伟 叶笃正

(中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室, 中国科学院大气物理研究所全球变化东亚中心, 北京 100029)

摘 要 20 世纪 20 年代和 70 年代全球出现了两次突变增暖, 本文分析比较了这两次全球增暖的起源地, 空间分布特点, 影响范围, 以及北半球增温和降温最大地区的气温变化与其相对应的大气环流变化的联系等。发现, 第一次全球增暖始于北半球新地岛西北、冰岛及以北的极地地区, 主要增暖区在北大西洋、格陵兰岛、冰岛和北半球中、高纬大陆地区, 主要增暖季节是夏季。第二次全球增暖最早可能始于南半球南印度洋海盆及南极大陆地区, 增暖中心有明显向北半球方向移动的倾向并广泛影响到全球热带、副热带海洋, 没有明显的区域和季节增暖差异; 北半球第二次增暖比南半球约晚 10 年, 主要增暖区在东亚大陆和北美西部, 主要增暖季节在冬季。分析还发现, 20 世纪北半球增暖最强的东亚大陆、北美西北部和降温显著的冰岛、格陵兰岛、北大西洋以及中北太平洋等地的气温变化与其相应的大气环流系统的异常变化关系密切。

关键词: 全球增暖; 大气环流; 增暖源地; 增暖过程

1 前言

20 世纪全球气候变暖已成定论, 从 19 世纪末到 20 世纪末全球平均气温上升了大约 0.6°C ^[1]。自 20 世纪 80 年代以来气候变暖的趋势愈来愈明显, 以致 90 年代成为近 1000 年来最暖的 10 年^[2,3]。20 世纪全球平均气温经历了两次突变性的增加过程^[4,5], 第一次主要发生在 20 年代至 40 年代中, 增暖率为 $0.14^{\circ}\text{C}/10$ 年; 第二次从 70 年代后期开始至今仍在持续, 增暖率为 $0.17^{\circ}\text{C}/10$ 年^[1,5-7]。两次增暖过程之间的 1946~1977 年和第一次全球突变增暖之前的几十年, 全球气温相对偏低, 变化比较平缓, 但第二次平稳期 (1946~1977 年) 全球平均气温距平 (大约为 -0.1°C) 明显比第一次 (1896~1920 年) 平均气温距平 -0.4°C 要高 (见图 1^[1])。两次冷、暖过程之间的间隔都是数十年, 这可能是气候的年代际变率起了一定作用。本文为了解 20 世纪这两次全球增暖过程的异同, 用近百年全球格点气温资料着重分析了这两次全球增暖的最初增暖源地, 空间分布特征, 增暖强度及主要增暖区域和增暖季节等方面的特点及差异, 同时分析了北半球几个主要增温和降温区的温度变化与其相应大气环流系统变化的联系。了解这些对认识过去的气候变化、形成的原因, 以及预测未来气候变化的趋势应有所裨益。

2002-07-11 收到, 2003-05-29 收到再改稿

* 国家科技部 973 项目 G999043400 资助

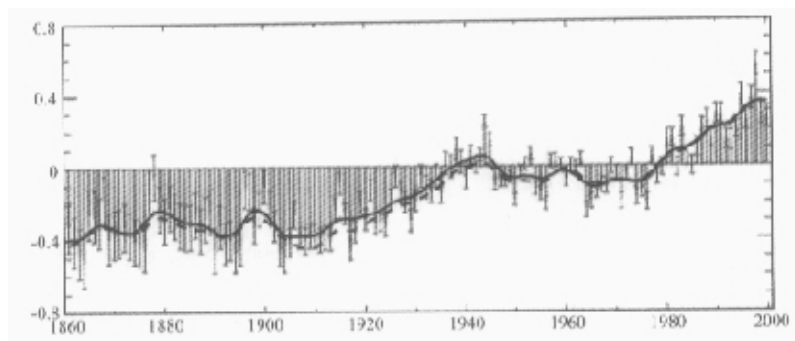


图1 1861~1999年相对于1961~1990年综合全球陆地和海面温度后的全球年平均温度距平(单位: $^{\circ}\text{C}$)^[1]。
实曲线是最佳平均; 虚线是面积权重平均

2 资料及处理方法

本文所用基本资料是由美国西雅图华盛顿大学 Wallace^[1]提供的全球 1854~1995 年相对于 1950~1979 年的 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 格点月平均气温距平序列, 以及 Jones 等人^[8]的全球年平均气温距平序列(相对于 1950~1979 年)。考虑早期资料缺测太多, 分析仅用 1896~1995 年的 100 年资料。计算中对各个时段资料的要求至少达到该时段长度的 60%, 不足者舍弃。在对每 5 个经圈或 3 个纬圈作经带或纬带平均时, 只要 3 个经圈或 2 个纬圈有资料计算的经带或纬带即有值, 否则作缺测处理。区域平均序列为该区域内所有有资料格点的平均。个别年份如 1945 年全部无资料时, 划分阶段时跳过。此外, 因早期资料缺测太多, 特别是海上, 所以在绘图时为了等值线的连续、光滑而作了空间 5 点权重(中心点权重系数为 4, 其他 4 点均为 1)滑动平均处理, 其结果与未经处理的进行比较, 从大尺度分布上看, 滑动与未滑动的结果基本一致。1899~1998 年北半球 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 格点海平面气压 (SLP) 及 1948~2000 年北半球 500 hPa 格点 u 、 v 风场资料均来自 NCEP/NCAR 再分析资料。

3 分析结果

3.1 20 世纪两次全球增暖过程

3.1.1 第一次全球增暖源地、空间分布及影响范围

由图 1 可见, 100 多年来全球温度变化最剧烈的时段大约是 1910~1945 年和 70 年代中至现在。这两个时段突出表现为全球持续增温, 增幅约为 0.5°C 左右; 第一次突变增温前(突变时间取为 1921 年^[4])及 1946~1977 年这两个时期气温变化相对平稳, 气温上升或下降幅度为 0.2°C 左右(见图 1)。为考察 20 世纪两次全球增温过程的起源地和影响范围及空间分布特征等, 下面给出了全球格点年平均温度距平的时间-经度和

1) file: <http://C/tp/climdata.htm>, climate data. htm

时间-纬度剖面 (图 2)。图 2a 中各经圈平均温度距平是 5 个经圈温度距平滑动平均, 即图中 10°E 的温度距平值是由 $0\sim 20^{\circ}\text{E}$ 5 个经圈的温度距平平均得到; 20°E 的温度距平值是 $10\sim 30^{\circ}\text{E}$ 5 个经圈的温度距平平均, 依此类推。纬圈 (图 2b) 平均温度距平是由 3 个相邻纬圈的温度距平平均得到, 如 82.5°N 的温度是由 87.5°N 、 82.5°N 和 77.5°N 3 个纬圈的温度平均而得, 依此类推。为消除中高纬度带温度大的年际变化, 我们对各纬带平均温度距平时间序列又作了 5 年滑动平均处理。

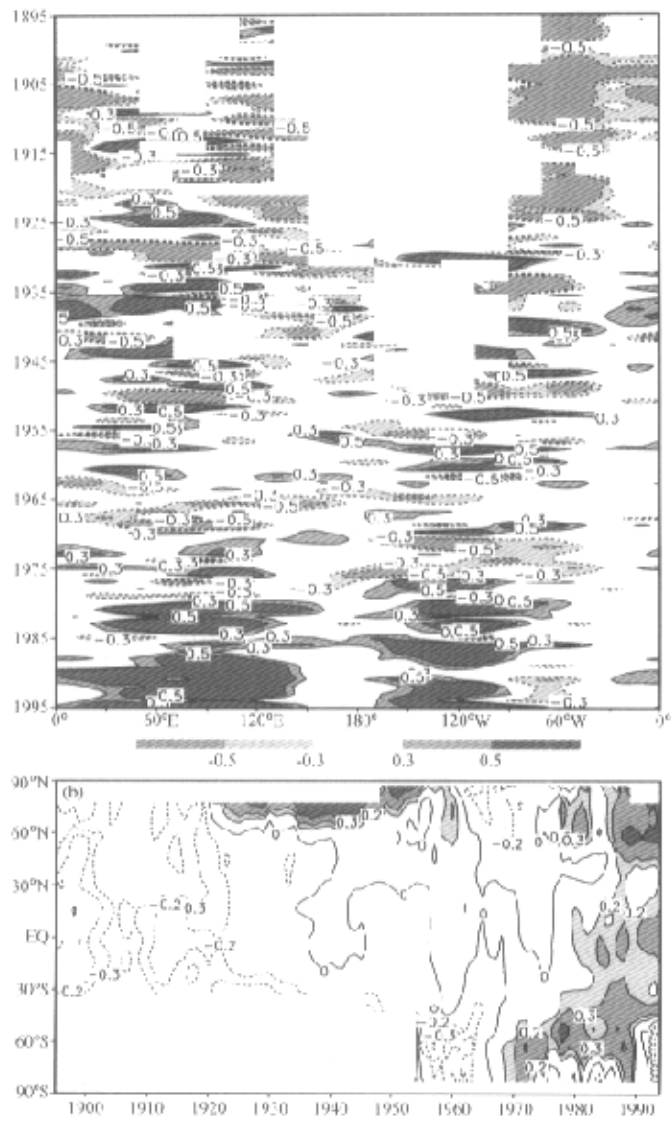


图 2 1896~1995 年平均温度距平的时间-经度剖面 (a) 和时间-纬度剖面 (b) (单位: $^{\circ}\text{C}$)

20 世纪 20 年代初大约在 40~90°E (图 2a 实线阴影区) 和 60°N 以北 (图 2b 阴影区) 可见到 0.2~0.5℃的正距平, 这个范围大致在新地岛及以北的北冰洋极地地区。图 2b 上还看到 1940 年之前正距平主要维持在 60°N 以北, 南、北半球热带、副热带及中纬地区仍有 0.1~0.3℃的负距平, 表明这些地区在第一次全球变暖中, 增暖强度小或增温速率慢于极地高纬地带。大约在 30 年代中后期 30°S 以北的纬圈平均才转为弱的正距平, 但南半球中、高纬仍是负距平, 这说明南半球广大海洋在第一次全球变暖中增暖迟缓而增暖强度远小于北半球高纬地带。图 3a 是 1921~1945 年减 1896~1920 年全球格点年平均温度距平差, 可看出第一次全球变暖最大增暖区是在新地岛—格陵兰岛至北美大陆东北部, 相对于 1896~1920 年, 平均增温 1℃以上, 北半球高纬其他陆地地区普遍增温 0.3~0.5℃; 热带、副热带增温 0.1~0.2℃, 东南太平洋—南美东北部及南美东南的海洋是明显降温的。从图上或我们曾作过的动化演示图上都无法清楚的看到增暖中心的移动或传播方向。

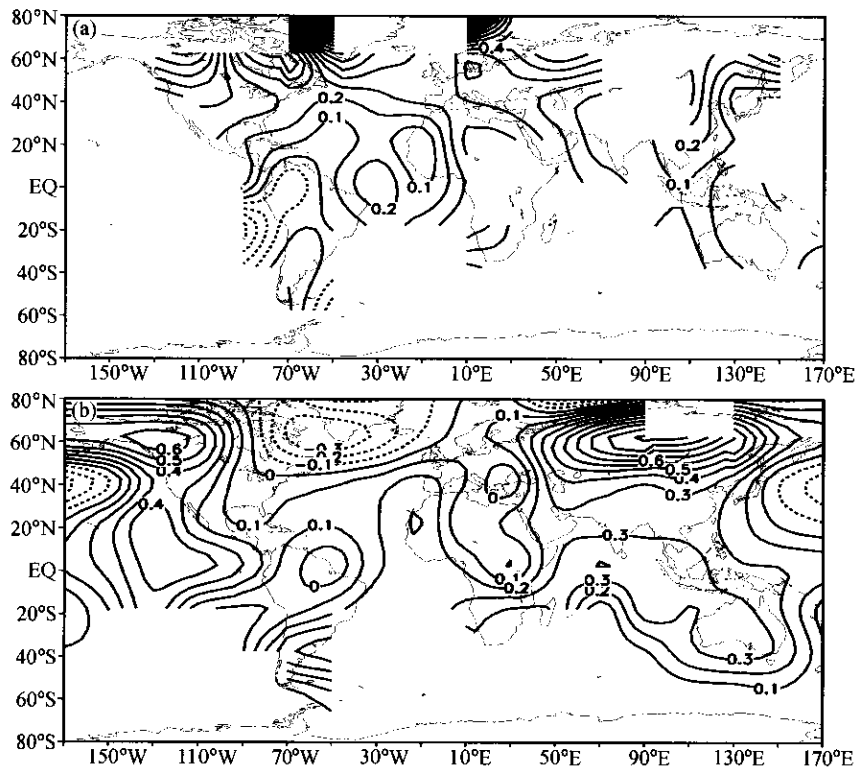


图 3 20 世纪两次全球变暖期的年平均温度变化分布 (单位:℃)
(a) (1921~1945 年) — (1896~1920 年); (b) (1978~1995) — (1946~1977)
实线为增暖区, 虚线为降温区

3.1.2 第二次全球变暖的源地及空间分布和影响范围

从文献 [1] 的图 2.7b 上看到, 南半球从 60 年代中期就开始了持续的升温过程。对照本文中的图 2 可看到, 60 年代后期 75°E~150°W 南半球中、高纬度带已转为正距平, 在图 2b 上 0.2 和 0.3℃的增暖中心随时间明显向北半球方向移动扩展, 大约于 20 世纪 80 年代中期跨过赤道 (图上较深色的闭合等值线)。与此同时, 北半球 60 年代初

到 70 年代中正在经历一次强烈的降温过程, 导致北半球年平均气温下降了大约 $0.1 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ ^[7,9] (见图 2), 北中纬带负距平一直持续到 80 年代中期, 这说明第二次全球增暖可能首先是从南半球开始的, 北半球大约晚了近 10 年左右。第二次全球增温最早出现正距平的经度和纬度范围应是南半球南印度洋海盆、南太平洋及南极大陆等地 (图 2)。由图 2b 和我们曾对近百年全球格点的月、季及年平均温度的动画显示来看, 南半球这支增暖清楚的向北移动到北半球热带、副热带地区, 与 70 年代末发生在 $80 \sim 160^{\circ}\text{W}$ (见图 2a) 北半球高纬地区 (大约是北美大陆西北的加拿大海盆、北冰洋—北极地带) 的迅速增温并随时间加强向印度洋等方向发展的—支增暖于 80 年代中期融为一体, 使全球进入了 20 世纪最暖时期。根据图 2b 和动画演示, 可见北半球这支增暖主要影响 30°N 以北的中、高纬带, 图中 0.3°C 和 0.5°C (深色阴影区) 的增暖中心, 从 80 年代到 90 年代中也一直维持在 40°N 以北地区。

图 3b 是 1978~1995 年减 1946~1977 年全球格点年平均温度距平差, 可以看出第二次全球增暖北半球最大增温区在东亚大陆北部和北美大陆西北部, 相对 1946~1977 年平均增温 $0.5 \sim 1^{\circ}\text{C}$ 左右; 南半球最大增暖区在南印度洋—南大西洋及东南太平洋等地 (见图 4b、d), 最大增温为 $0.5 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 。南、北半球热带、副热带海洋, 特别是东太平洋和南印度洋地区普遍增温 $0.3 \sim 0.4^{\circ}\text{C}$; 而冰岛、格陵兰岛、部分北大西洋和北美东北部、中北太平洋等地气温则下降了 0.3°C 左右^[9]。

上述分析可知, 20 世纪全球第一次和第二次增暖相对于各自增暖前的平稳期其绝对增温大约都是 0.5°C 左右。从文献 [1] 中图 2.7a 和 2.7b 的南、北半球温度曲线的变化看, 北半球两次增温过程都比南半球陡峭, 增温绝对值也略大于南半球, 且两次增暖的增暖中心移动变化都不甚清楚; 而南半球第二次增暖的增暖中心向北半球方向移动的倾向是很明显的 (见图 2b)。这种差异可能是北半球多为陆地, 地型复杂, 而南半球以海洋为主, 海陆本身的物理性质不同对温度变化的响应快慢及增暖信号的传递有所不同造成。

3.2 两次全球增暖的季节差异

3.2.1 北半球中、高纬度带 (这里定义为 30°N 以北的地区)

冬季: 图 4a、b 分别是 1921~1945 年减 1896~1920 年和 1978~1995 年减 1946~1977 年全球格点冬季平均温度距平场之差, 可以看到第一次全球增温 (图 4a) 的主要区域在新地岛、北大西洋、格陵兰岛和北美大陆等地, 最高增温超过 1°C ; 而欧亚大陆和亚洲东部是降温区, 降温 $0.1 \sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 。第二次全球增暖期 (图 4b) 的主要增温区是整个欧亚大陆和北美大陆, 增暖中心在欧亚大陆北部和北美西北部, 最高增温在 2°C 以上; 北大西洋、冰岛、格陵兰岛、北美东北部是主要的降温区, 降温达 1°C 左右, 中北太平洋降温约为 0.3°C 。比较图 4a 和 4b 可发现, 第一和第二次全球增暖区域差异最大的是冰岛、北大西洋、格陵兰岛和欧亚大陆。在两次增暖过程中这些地区变温是完全反相的, 第一次增暖期间欧亚大陆为降温区, 第二次增暖期欧亚大陆是最强的增温区; 冰岛、北大西洋、格陵兰岛等地的变化与欧亚大陆恰好相反。这一事实表明, 北半球中、高纬陆地和海洋冬季气温的年代际变率非常大, 以致近几十年中, 尽管这些地区增暖的绝对值很大, 但百年尺度上这些地区冬季增暖趋势的显著性却不高^[10]。

夏季: 北半球中高纬度带与冬季类似, 第一次全球增暖相对于 1896~1920 期间最

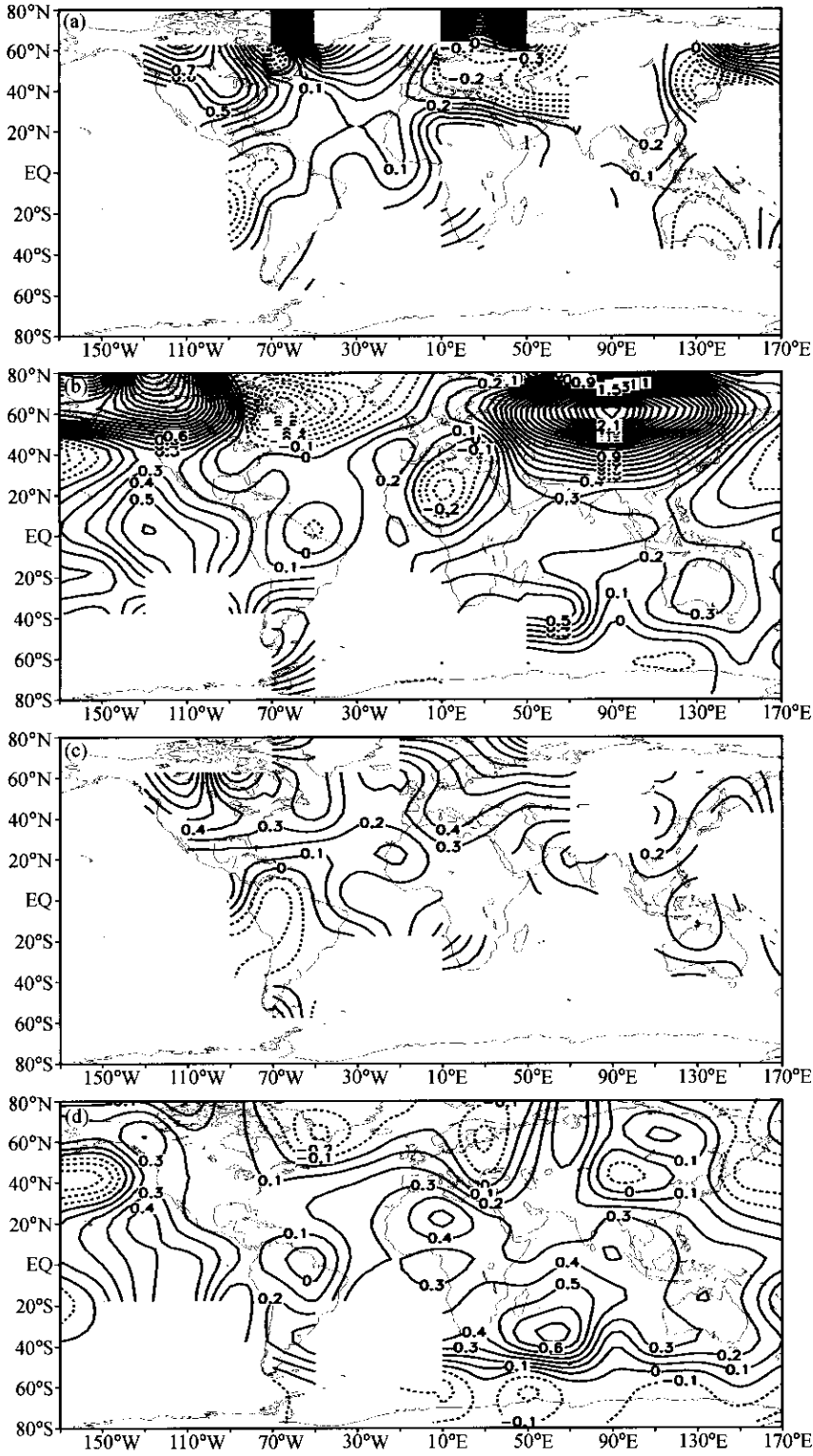


图 4 两次全球增暖期相对于各自增暖前期的平均冬、夏季温度差的分布
(a) (1921~1944 年) - (1896~1920 年) 冬季; (b) (1978~1995 年) - (1946~1977 年) 冬季
(c) (1921~1945 年) - (1896~1920 年) 夏季; (d) (1978~1995 年) - (1946~1977 年) 夏季

大增暖区也在新地岛、北大西洋和格陵兰岛一带, 最大增温 1°C 左右 (见图 4c); 与冬季不同的是整个北半球大陆夏季都是增温的, 正如文献 [11] 指出, 第一次全球增暖主要是北半球夏季大陆地区最明显。第二次全球增暖, 相对于 1946~1977 年北半球中高纬大陆地区夏季增温只有 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$, 最高增温地区在欧亚大陆北部和北美西北部; 中北太平洋、西北欧、格陵兰岛及我国西北等地区降温达 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 左右 (图 4d)。比较图 4a、c 和 4b、d 可发现两次全球增暖中, 季节和区域差异最大的地区都在北半球中高纬度带, 特别是北大西洋、格陵兰岛和欧亚大陆, 这些地区的气温在两次全球增暖过程中变化格局完全相反。我们曾在另文中指出, 第二次全球增暖在北半球中高纬度带是呈明显的双波型变化的^[10], 冬、夏季都有此特点, 这可能说明在全球平均增暖的时期里, 年代际大气环流调整在这些地区的温度变化中也起了重要作用。

3.2.2 南半球中、高纬度带 (此处指 30°S 以南的地区)

冬季: 南半球冬季为北半球夏季 (见图 4c、d)。从图 4c 上看, 第一次全球增暖期, 南半球 40°S 以南较高纬度带资料稀少, 不予细论。在第二次全球增暖中 (见图 4d), 南半球中纬带则是全球最大的增温带, 增暖中心在南印度洋、南大西洋等地 (可能南太平洋上也有增暖中心), 最高增温有资料的为 0.7°C 左右。但 60°S 以南的高纬带和南极大陆相对于 1946~1977 年同期又出现了 $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 的弱降温, 这是否是一次全球性的降温开始信号? 有待密切注视。

夏季: 南半球夏季为北半球冬季 (见图 4a、b)。由图 4a 大致可看出全球第一次增暖期, 南半球夏季中、高纬度带除澳大利亚及澳大利亚海盆和秘鲁海盆相对于 1896~1920 年期间仍是负距平外, 其他地区如南大西洋、南印度洋、非洲大陆和澳大利亚东南部海域都有增温迹象, 不过因资料缺乏难以定论。图 4b 上能较清楚的看出, 第二次全球增暖期除南印度洋海盆稍有降温外 (图中靠近南极大陆的虚线部份), 南半球中、高纬带基本上都是增温带; 增暖中心分别在南印度洋和南美大陆至东南太平洋海盆上; 最大增温大约 $0.5\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 。对比南半球的冬、夏差异远不如北半球的冬、夏差异大, 这可能是南、北半球海陆分布不同所致。

此外, 通观图 4 可发现, 南半球中、高纬海洋在两次全球增暖过程中, 都未曾出现像北半球中、高纬度带那样强烈的、大范围的年际和年代际区域和季节气温变化完全相反的现象。因此, 20 世纪以来南半球中、高纬地区相对于北半球中、高纬地带的增暖更为稳定和持续, 这主要是南半球以海洋为主, 水的感热、潜热和热容量都比陆地大得多, 气温变化也相应平稳缓慢。北半球海陆分明, 地型复杂, 大气环流多变, 以致形成北中、高纬地区气候的年际和年代际变率都很强烈。当然, 也有可能在百年或更长时间尺度上, 南半球的变化大于北半球, 气候模式的长期积分输出结果或许能证明这个想法正确与否。

3.2.3 全球热带、副热带 ($30^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 以内地区)

我们曾提出, 南、北半球的热带和副热带在近百年的全球增温过程中有其独特的平稳性^[10], 下面对此进行讨论。

冬季: (这里按北半球冬、夏季的划分来讨论) 从图 4a、b 看, 两次全球增暖中, 南、北半球热带、副热带基本上都是增温的, 特别是热带、副热带大西洋和印度洋一直呈现为正距平。但南、北半球热带、副热带的某些陆地地区, 如北非大陆中部、整

个澳洲大陆以及南美大陆西北部,在两次全球增暖中也有变温反相的现象存在,但比北中、高纬带要弱得多。在第一次增暖期的图中可见,最大增暖地可能在北非中部或东南大西洋上,最高增温可能超过 0.5°C ,由于太平洋等地完全无资料,因此很难定论。第二次全球增暖最大增暖区可能在赤道太平洋上,最大增温 0.6°C 左右(见图4b)。可以看出在两次全球增暖中,全球热带、副热带增温量值大约是相等的,都为 0.5°C 左右。

夏季:在第一次增暖期中,除南美大陆和秘鲁海盆有 0.2°C 左右降温外,全球热带、副热带(太平洋无资料)均约增暖 0.3°C (图4c)。第二次增暖期,全球热带、副热带整个带增温均衡为 $0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$;最大增温中心在赤道东太平洋和北非大陆中部(图4d)。

上述分析看出,全球热带、副热带海洋在两次增暖过程中,相对于它们的前期都是稳定增温的,除小部分陆地区域存有较小的年代际变化,也就是两次增暖期的气温变化反相外,没有明显的区域和季节差异;广大海洋特别是印度洋地区,20世纪以来一直在稳定增温,尽管增温绝对值不及北半球中、高纬度某些陆地区域大,但增暖趋势却比那些地区显著,与全球年平均温度变化的相关系数也远比那些地区高^[10]。南半球中、高纬度带与全球热带、副热带类似,20世纪来一直处于稳定增暖中。全球海洋约占全球面积的 $3/4$,热容量比陆地大得多,广大海洋持续稳定的增暖,无疑对全球气候影响是巨大的。

3.3 20世纪两次全球增暖期间区域增温不均衡与大气环流的关系

前述分析可知,20世纪无论是第一次或第二次全球增暖,北半球区域增温都是不均衡的(南半球资料较少不予以细论)。以冬季为例,第一次全球增暖的主要增温区在新地岛、东北大西洋和北美大陆中西部;西北大西洋、欧洲和亚洲东北部明显降温。第二次全球增暖主要在欧亚大陆和北美大陆西北部及其以北极地地区。这种增暖区域不均衡现象的内在结构是与大气环流变化分不开的^[6],这可从两次全球增暖过程期间北半球平均海平面气压距平场的分布(图5)得到很好的解释。如第一次全球增暖期间(图5a),欧洲及欧洲大西洋沿岸的海平面气压升高,表明这时期欧洲冷高压强,冷空气活动频繁是有利于欧洲大陆降温的;另一方面冰岛低压和阿留申低压加深,欧亚大陆地区高压加强,使北半球中、高纬度带在大西洋、欧亚大陆、北太平洋一带呈两槽一脊型,环流经向度很大,这种环流型有利强寒潮爆发南下,这可能是第一次全球增暖期间亚洲东北部强降温的原因之一。第二次全球增暖期间(图5b)北半球大约在 55°N 以北都是负变压区,最大减压区在欧亚大陆北部,SLP(海平面气压)平均下降了4 hPa,这意味着控制东亚大陆冬季气温的西伯利亚冷高压或乌拉尔山高压(脊)强度减弱,极地南下的冷涌势力减弱,有利东亚大陆的冬季增暖。此外,冰岛低压和阿留申低压中心SLP平均下降了3 hPa,两低压加强使极地冷空气沿其后部南下势力增强,这对格林兰岛、西北大西洋、北美东北及中北太平洋地区在近几十年来全球变暖过程中出现的显著降温有重要影响。

另外,因阿留申低压加强,其前部暖湿气流顺北美西部的高压后部偏南气流北上,造成北美大陆中、高纬地区的强烈增暖。图5b上还可看到冰岛低压加深的同时北大西洋副热带高压增强(实线区),因而北大西洋涛动(NAO)随之加强^[12]。Hurrell等

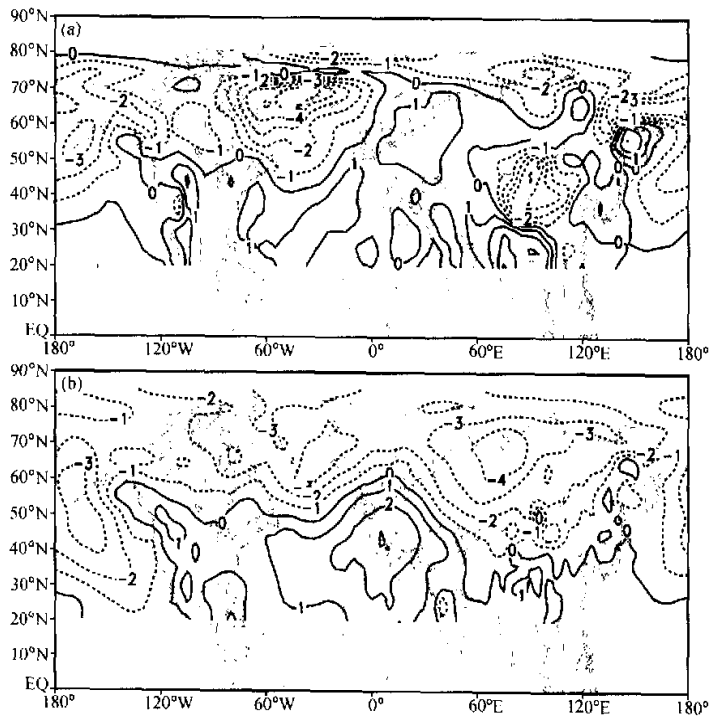


图 5 冬季平均海平面气压距平分布
(a) 1921~1944 年; (b) 1978~1997 年

人^[13,14]指出最近北大西洋海温的变冷及欧亚大陆的变暖几乎全可以由 NAO 的变化来解释, Wallace 等人^[15,16]也认为 IPCC 第三次评估报告中所指出的最近 20 多年全球加速增暖部分几乎全都是由 ENSO 和 NAO 的年代际变化分量所造成。所以, 环流的异常与区域增(降)温的不均衡是密切相关联的。

由于 20 世纪前 50 年没有高空资料, 这里仅以 1980~1999 年减 1950~1979 年(参考期)北半球冬季 500 hPa 距平风场(如图 6 所示)来看全球加速增暖期大气环流变化与区域温度变化的关系。图 6 上, 东北太平洋 50°N 附近、北美大陆西部 50~60°N、格陵兰岛西南、30~40°N 的中北大西洋到西南欧沿海一带、贝加尔湖附近等分别有距平风的气旋和反气旋存在, 这些变化可以很好的解释图 4 上最近几十年西北大西洋、北美东北部、格陵兰岛等地的降温 and 北美西北部、阿拉斯加等地的强烈增温。如北美西海岸和东北太平洋上出现强的距平偏南风, 是携带大量暖湿气流进入北美西北部和阿拉斯加等地的源泉, 它十分有利于这些地区增暖多雨; 格陵兰岛西南角的强气旋环流, 其后部增强的偏北气流将大量极地冷空气带向了北美东部、西北大西洋等地, 使这些地区海温、气温下降; 大西洋、西欧一带偏西风加强也是欧亚大陆近 20 多年来增暖的重要因素。东半球 60°E 附近乌拉尔山高压脊的位置上出现明显的气旋和距平风槽, 表明乌山高脊或乌山阻塞高压近年来大大减弱。因此, 冬季强寒潮暴发的机率大

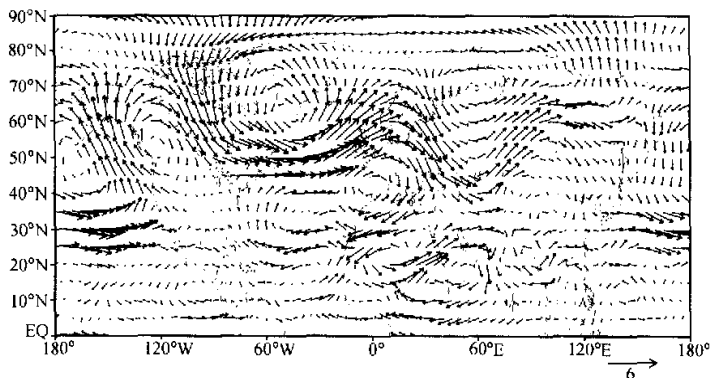


图6 冬季北半球500 hPa (1980~1999年) - (1950~1979年)距平风场

大减少,有利于东亚地区增暖。此外,图6中亚洲西北部有很强的距平偏南气流,它不仅表明东亚地区冬季风减弱,同时也表明南来的暖空气北上,这都是近年来东亚大陆北部强烈增暖的重要因素。由此看出,高、低层大气环流的变化是直接控制和影响局地天气和气候变化的重要因子。

4 结论

(1) 第一次全球增暖起源于北半球新地岛至冰岛以北的极地地区,主要影响北半球中、高纬度陆地地区和北大西洋等地,增暖中心的变化不清楚,增暖强度较第二次弱,波及到南、北半球热带、副热带的时间较短。第二次全球增暖最先始于南半球南印度洋海盆至南极大陆地区,增暖范围广、强度大,增暖中心有明显向北半球方向移动的倾向,并强烈地影响到全球热带、副热带,对20世纪全球变暖贡献很大。北半球第二次突变增暖比南半球约晚10年,最早始于北美西北部和欧亚大陆北部高纬地区,增暖强度很大,但只局限于欧亚大陆和北美西北部40°N以北地区,而且增暖主要在冬季。北大西洋、冰岛、格陵兰岛、中北太平洋等地同时出现显著降温。

(2) 第一次全球增暖北半球中、高纬带的主要增暖区在新地岛、北大西洋、格陵兰岛和北美西北部,主要增暖季节是夏季。第二次全球增暖的主要增温地在欧亚大陆和北美西北部,北太平洋和中北太平洋是降温区;主要增温季节在冬季。在两次增暖过程中区域和季节差异非常大。

(3) 南半球中、高纬带和全球热带、副热带20世纪以来一直处于持续稳定增温中,在两次增暖过程中增温量值都约为0.5℃;无明显的季节和区域增温差异。

(4) 东亚大陆、北美西北部、北大西洋、北美东部、中北太平洋等地变温不均衡可能与这些地区大气环流系统变化异常有关,即北美西部高压和西伯利亚高压近几十年来长期减弱,冰岛低压和阿留申低压的异常加强造成NAO和NPO增强所致。

致 谢 感谢J. M. Wallace教授提供了本文所用的全球格点温度序列资料

参 考 文 献

- 1 Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, *Climate Change 2001, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2001, 99~181.
- 2 Jones, P. D., K. R. Briffa, T. P. Barnett, and S. F. B. Tett, High-resolution palaeoclimatic record for the last millennium: interpretation, integration and comparison with GCM control-run temperatures, *The Holocene*, 1998, **8**, 435~471.
- 3 Mann, M. E., R. S. Bradley, and M. K. Hughes, Global-scale temperature pattern and climate forcing over the past six centuries, *Nature*, 1998, **392**, 779~787.
- 4 符淙斌、王强, 气候变化的定义和检测方法, 大气科学, 1992, **16** (4), 482~493.
- 5 符淙斌、王强, 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性, 中国科学 (B 辑), 1990, (6), 666~672.
- 6 王绍武主编, 现代气候学研究进展, 北京: 气象出版社, 2001, 80~95.
- 7 严中伟、曾昭美, 本世纪两次增温跃变的比较分析, 中国气候灾害的分布和变化, 黄荣辉等主编, 北京: 气象出版社, 1996, 277~283.
- 8 Jones, P. D., T. M. L. Wigley, and K. R. Briffa, Trend "93" Acompendium of Data on Global Change, ORNL/CDIAC-65, 1994, 606~607.
- 9 严中伟、季劲钧、叶笃正, 60 年代北半球夏季气候跃变, 降水和温度变化, 中国科学 (B 辑), 1990, (1), 97~103.
- 10 Zeng Zhaomei, Yan Zhongwei, and Ye Duzheng, The regions with the most significant temperature trends during the last century, *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, **18**, 481~496.
- 11 章名立、曾昭美、季劲钧, 全球增暖过程中亚洲区域气候的特点, 地理学报, 1996, **51** (6), 518~526.
- 12 龚道溢, 二十世纪全球大气涛动变率的研究, 北京大学博士学位论文, 1997, 11.
- 13 Hurrell, J. W., and H. Van Loon, Decadal changes in the circulation of the Northern Hemisphere: Relation to surface temperature, Proceedings of the 20th annual climate diagnostics workshop, Seattle, Washington, U. S. A., 1995, 292~295.
- 14 Hurrell, J. W., Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, 1996, **23**, 665~668.
- 15 Wallace, J. M., Y. Zhang, and J. A. Renwick, Dynamical contribution to hemispheric temperature trends, *Science*, 1995, **270**, 780~783.
- 16 Wallace, J. M., Y. Zhang, and L. Bejuk, Interpretation of interdecadal trends in Northern Hemisphere surface air temperature, *J. Climate*, 1996, **9**, 249~259.

Two Global Warming Events in the 20th Century

Zeng Zhaomei, Yan Zhongwei, and Ye Duzheng

(Key Laboratory of Regional Climate-Environment for East Asia, START Regional Center for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract In the last century, two rapid warming events of the globe occurred around the 1920s and the 1970s, respectively. This paper analysis their geographic origins, spatial distribution character, areas of influence and possible relations between the temperature changes in the typical regions and the re-

lated changes in the atmospheric circulation. Results show that (1) the first rapid warming was originated from northern high-latitudes, especially the zone from Novaya Zemlya Archipelago to Iceland; and warming mainly occurred in the North Atlantic and northern continents; and (2) the second warming developed from southern high-latitudes, especially the southern Indian Ocean and Antarctic; and tended to propagate northwards to the subtropics and tropics. Analyses also show that in the 20th century the prominent warming in East Asia and western North America and the cooling in the northern North Atlantic and northern central Pacific are closely related to the changes in atmospheric circulation systems.

Key words: global warming; atmospheric circulation; geographic origin of warming; warming process