

近百年中国年气温序列的建立*

王绍武 叶瑾琳 龚道溢 朱锦红

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

姚檀栋

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

提 要

该文根据气温观测, 并利用敦德及古里雅冰芯资料及有关史料、树木年轮资料, 得到了东北、华北、华东、华南、台湾、华中、西南、西北、新疆、西藏 10 个区 1880~1996 年的年平均气温序列。然后根据每个区的面积加权平均得到代表中国的气温序列。根据这个序列, 1880~1996 年增温为 $0.44 / 100a$, 显著高于过去对中国气候变暖的估计值 $0.09 / 100a$ 。这主要是因为新计算的中国气温包括了我国西部地区, 而那里在上世纪末到本世纪初气温显著偏低, 另外本世纪 90 年代的迅速增暖也加强了这一趋势。

关键词: 气温序列 气候变化 气候增暖

引 言

现代全球气候变暖是当前国内外广泛关注的一个热门问题。为了确定中国气候变暖的趋势, 就要建立一个有代表性的中国气温序列。1990 年王绍武首先给出了 1880 年以来的中国年平均气温序列^[1]。后来又根据这个序列研究了近百年中国的气温变化, 并与全球气温变化作了比较^[2-5]。从这些分析来看, 近百年中国气候虽有变暖, 但比全球增暖的幅度要小, 全球平均在 $0.5 \sim 0.6 / 100a$, 而中国则不足 $0.1 / 100a$ 。而且, 中国气温的年代际变化显著, 尤其 20 世纪 50~70 年代的变冷, 使 40 年代气温上升到一个高点之后又回到了上世纪末到本世纪初的水平, 以致用 1880~1990 年资料计算, 增暖幅度很小。80 年代是近百年来全球最暖的 10 年, 但中国 70~80 年代增温幅度不到全球平均的一半。

在 1990 年建立中国的气温序列时, 1880~1990 年期间只用了哈尔滨、北京、上海、广州 4 个测站, 在 1911~1950 年期间缺少新疆、西藏及台湾的资料, 1951 年以后缺少西藏及台湾的资料, 因此过去的序列主要代表了中国东部大陆地区。另外, 从分析方法来看, 过去的作法也比较简单, 1911 年之前仅用了 4 个站平均, 1911 年之后也只是把 6 个区或 7 个区的气温级别平均, 没有考虑各区代表的地理范围大小。总之, 1990 年的序列存在 3 个方面的问题: 资料覆盖面不完全, 未能代表整个中国地区; 不同时期选用测站数目不

* 本项工作得到国家自然科学基金《20 世纪中国与全球气候变率研究》(49635190) 支持。在前两年收集资料过程中得到了中国国家气候委员会的支持。

1997-11-03 收到, 1997-12-11 收到修改稿

同, 从而影响了序列的均一性; 计算中国平均时未考虑各区的权重

本文的目的是尽量克服上面提到的 3 个缺点, 建立一个覆盖面较完整, 且前后均匀的中国气温序列。其基本思想是先建立 10 个区的气温序列, 每个区的序列均从 1880 年开始, 并将早期单站资料按区平均标准差订正, 使序列均一化。然后按每个区的序列对 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度格点的影响确定其影响范围, 再按所在纬度加权以考虑实际面积的大小。最后得到一个新的中国年平均气温序列。

1 资料及分析方法

中国气象局国家气候中心气候预测室(原中央气象台长期预报科)建立了中国 160 个站的月平均气温序列。这个序列自 1951 年 1 月到 1996 年 12 月完整无缺, 但其中未包括台湾。所以加上台湾的台北、台中、台南、澎湖及恒春, 共 165 个站均用月平均气温观测计算年平均温度。这是整个工作的基础。

王绍武 1990 年建立的中国气温序列^[1]采用的是原中央气象局气象科学研究所及中央气象台联合编制的 1911~1980 年中国气温等级图^[6]。所谓气温等级, 是对中国 139 个站, 包括 137 个大陆站及台北、恒春两个站的月平均气温逐月按概率划分等级。1~5 级的概率分别为 $1/8$ 、 $1/4$ 、 $1/4$ 、 $1/4$ 及 $1/8$ 表示暖、偏暖、正常、偏冷及冷。例如对某个站某个月, 如 1 月有 40 年观测资料, 则这 40 个 1 月之中最暖的 5 个 1 月为 1 级, 最冷的 5 个 1 月为 5 级, 其余依此类推。目前国家气候中心气候预测室仍然按原标准继续划定逐年逐月各站的气温等级。在 1951~1996 年期间即有气温观测也有气温等级。因此, 可以用来确定气温等级与气温距平的关系, 从而推算 1911~1950 年气温距平。

既然气温等级是由气温观测来决定的, 为什么我们建立序列时不直接用气温观测呢? 皆因在 1911~1950 年这段时期中国气温记录残缺不全, 除少数几个站外, 几乎没有那一个站有完整的序列, 逐个站进行插补也十分困难。但划成级别后, 空间连续性好, 对于一个地区如果这一年有这几个站, 另一年有另几个站, 气温级别也可以比较。中央气象台曾经根据气候区及气温变化的一致性, 划分出 7 个区, 即东北、华北、长江、华南、西南、西北及新疆, 但是缺少西藏及台湾。文献^[6]给出 7 个区 1911~1980 年区平均气温级别的年平均值。其中新疆仅有 1951~1980 年, 各区平均一般取 5 个站, 个别有 6 个或 7 个站。由于长江区包括南京、上海、汉口、宜昌、长沙、芷江、温州等 7 个站范围过大, 我们补充了杭州、九江、常德 3 个站, 把它分为华东及华中两个区, 每个区包括 5 个站, 并重新计算了这两个区 1911~1996 年的气温等级。又补充了西藏地区及台湾地区。这样共计 10 个区, 每个区有 5 个代表站, 5 个代表站中又有一个为中心站, 站名如表 1。

1911 年之前, 只能主要依靠中心站气温观测资料^[7], 有一些区中心站也没有资料, 则采用近年来我国拥有的冰芯资料^[8,9], 分析表明可以在一定程度上反映西北及新疆的气温变化。西藏地区树木年轮资料对气温变化反映也很好^[10]。因此, 有可能建立一个资料覆盖面比较完整的近百年中国气温序列。图 1 给出所用资料站点分布, 共有 165 个气温观测站, 分析气温等级所用 137 个站均包括在 165 个站之中。

表1 气温分区及代表站(*为中心站)

分区	代表站				
	1	2	3	4	5
东北	齐齐哈尔	佳木斯	哈尔滨*	长春	沈阳
华北	北京*	太原	济南	郑州	徐州
华东	南京	上海*	杭州	九江	温州
华南	南宁	广州*	汕头	厦门	湛江
台湾	台北*	台中	台南	澎湖	恒春
华中	汉口*	宜昌	长沙	常德	芷江
西南	成都	重庆	西昌	贵阳	昆明*
西北	延安	西安	兰州	西宁	酒泉*
新疆	阿勒泰	乌鲁木齐	哈密	喀什	和田*
西藏	拉萨*	昌都	玉树	玛多	甘孜

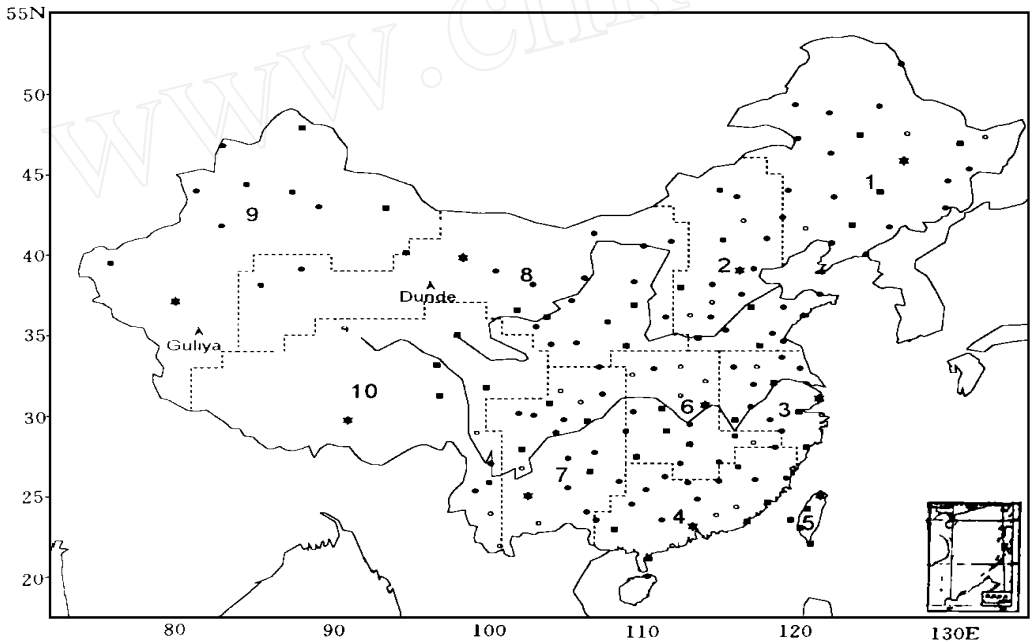


图1 近百年中国气温序列所用资料站点分布

(Dunde 与 Guliya 分别为敦德和古里雅冰芯位置, □: 气温等级站, ○: 等级站以外的气温观测站, □: 代表站, *: 中心站, 虚线: 分区界线, 数字为区号)

2 区气温序列的建立

各区在 1951~ 1996 年期间均用 5 个站气温观测平均减去 1961~ 1990 年平均得到区气温距平, 1911~ 1950 年一般用气温等级转换为气温距平, 1880~ 1910 年大部分用单站气温标准化乘以区气温标准差得到气温距平, 但各区情况稍有不同

(1) 东北区 表 2 给出 1961~ 1990 年各区平均序列与该区 5 个代表站序列的相关系

数,可以看出相关是很高的 10 个区 50 个相关系数之中相关系数大于 0.7 的占 82%。当然区域平均之中包括代表站,两者并不独立。但是如果其余 4 个站均与平均无关则相关系数至多只有 0.2 因此,目前的相关东北地区最高。这说明东北区 5 个站的气温变化是相当一致的。但是哈尔滨的气温记录仅开始于 1909 年,此年之前的资料需要靠其它站来插补。过去人们多用海参崴来插补,后来发现海参崴站由于测站高度有变化不宜应用,所以改用日本根室,目前插补到 1880 年。作者把根室气温标准化,然后乘以哈尔滨的标准差,这样就得到插补的 1880~1908 年的哈尔滨气温距平。本文所有距平均为对 1961~1990 年平均的偏差(下同)。

表 2 1961~1990 年各区平均气温与代表站平均气温的相关系数

	代 表 站				
	1	2	3	4	5
东北	0.95	0.96	0.97	0.93	0.87
华北	0.78	0.78	0.83	0.79	0.81
华东	0.95	0.92	0.96	0.87	0.88
华南	0.89	0.89	0.90	0.53	0.92
台湾	0.69	0.85	0.82	0.69	0.71
华中	0.88	0.91	0.90	0.96	0.93
西南	0.81	0.86	0.69	0.81	0.49
西北	0.89	0.69	0.91	0.89	0.91
新疆	0.86	0.77	0.79	0.52	0.54
西藏	0.74	0.69	0.92	0.82	0.85

表 3 各区平均气温和中心站气温标准差()及其比值

	区平均	中心站气温	比 值
	气温()	标准差()	
东北	0.67	0.75	0.90
华北	0.44	0.52	0.84
华东	0.33	0.41	0.81
华南	0.30	0.40	0.76
台湾	0.26	0.39	0.66
华中	0.35	0.39	0.90
西南	0.30	0.37	0.82
西北	0.41	0.53	0.77
新疆	0.49	0.49	1.00
西藏	0.43	0.47	0.90

不过单站的气温标准差一般高于区平均的标准差,表 3 给出 10 个区平均气温和中心站气温标准差及其比值。为了保证序列的均匀性,对 1880~1910 年的哈尔滨气温距平乘以这个比值,这样与下面区域的平均气温相衔接。这里顺便指出,1911~1950 年气温等级序列也是用 1961~1990 年资料标准化,然后乘以区气温标准差,转换为气温距平序列。

(2) 华北区 北京自 1841 年起即有气温观测,不过其后仍有不少间断,经北京市气象台插补得到一个完整的序列*。我们采用 1880~1910 年的年平均气温。需要指出,近期 1965~1980 年的气温值与国家气候中心的 160 个站中的值不同。国家气候中心的值是根据电报得到的,而北京台对台址变化的影响作了订正,对北京气温距平乘以表 3 的比值,得到代表华北区的序列。用等级转换为气温距平的作法一如东北区,其它区亦然。

(3) 华东区 中心站上海有完整的 1873 年以来的观测记录。因此,仍用与以上两个区类似的方法得到代表华东区的序列。

(4) 华南区 其中心站为广州,但广州的气温观测开始于 1908 年,用香港记录向前插补到 1884 年,再用上海记录插补 1880~1883 年。然后,也用与以上类似的方法得到代表华南区的序列。

(5) 台湾区 台湾的观测资料始于 1897 年,但这 5 个代表站均处于岛的西部。不过据

* 北京市气象局气候资料室 北京气象台 1724~1990 年气温序列 1991 年 7 月 油印本

研究,台湾不同站的变暖趋势还是比较一致的,而且受观测环境改变的影响不很大 1897年之前用史料插补.

(6)华中区 在1911年之前此区几乎没有多少气温观测记录,但是史料丰富 叶愈源等*曾确定了每年四季的寒冷指数,即特别严寒-3、严寒-2、寒冷-1及弱冷-0.5,根据气温等级的定义大约相当气温等级5、4.5、4.0及3.5.但是并不能由此直接平均得到年气温等级.因为除了特暖(寒冷指数+1.5)之外,并没有一般暖的记录.这是受史料性质限制,所以在寒冷指数为0的季度内可能有正常(气温等级为3级),也可能有暖或偏暖(气温等级为2级或1级).因此,经过试验把寒冷指数为零的季的气温等级定为2.8.在同时有气温等级及寒冷指数期间(20世纪10~80年代),两者的每10年相关变化为0.6~0.8.因此,根据史料得到1880~1910年华中区气温等级,同样用1961~1990年的气温观测与气温等级的关系转换为气温距平.

(7)西南区 其中心站为昆明,1911年之前用史料插补.

(8)西北区 这个区早期气温观测很少,所以用敦德冰芯插补.图2给出用1951年以后资料计算的敦德冰芯 $\delta^{18}O$ 与160站气温相关系数,其中与酒泉的相关系数达到0.37.并对整个西北有相当大的代表性.因此西北区1880~1910年用敦德冰芯计算气温距平,不过这里没有用一般的 $\delta^{18}O$ 与气温的关系直接换算气温,因为这样无法与全区气温序列连接.因此,仍采取以上的思想,承认冰芯的偏差,但把它标准化乘以西北区气温的标准差,得到重建的代表西北区的序列.

(9)新疆区 这个区的乌鲁木齐记录稍长,但是经检验分析表明,由于新疆区域较大,南疆与北疆经常变化不一致.而且古里雅冰芯接近和田,所以取和田为中心站.新疆区的气温等级序列开始于1951年,1880~1950年则全部用古里雅冰芯来计算区的气温距平,同样也是采用标准化的方法,而不是直接用 $\delta^{18}O$ 来换算气温.图3给出用1951年以后资料计算的古里雅冰芯与160站气温的相关系数,可见其对新疆还是有代表性的.

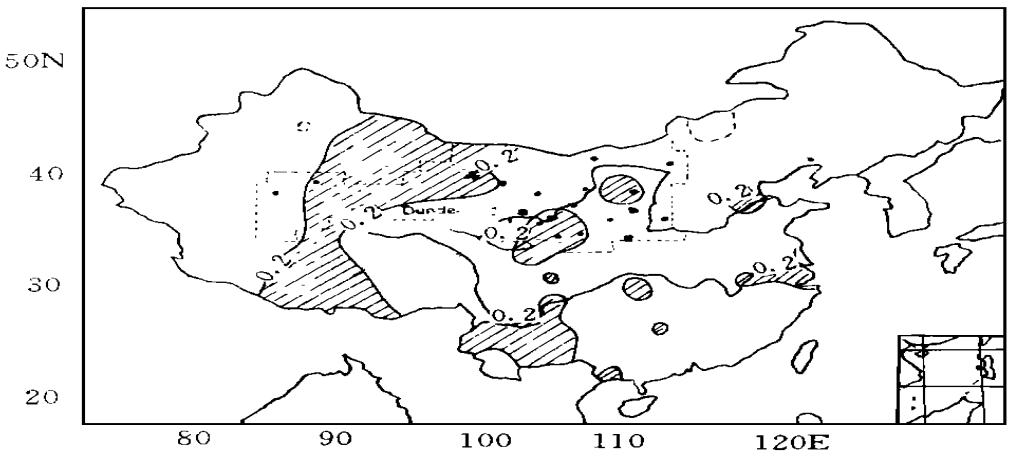
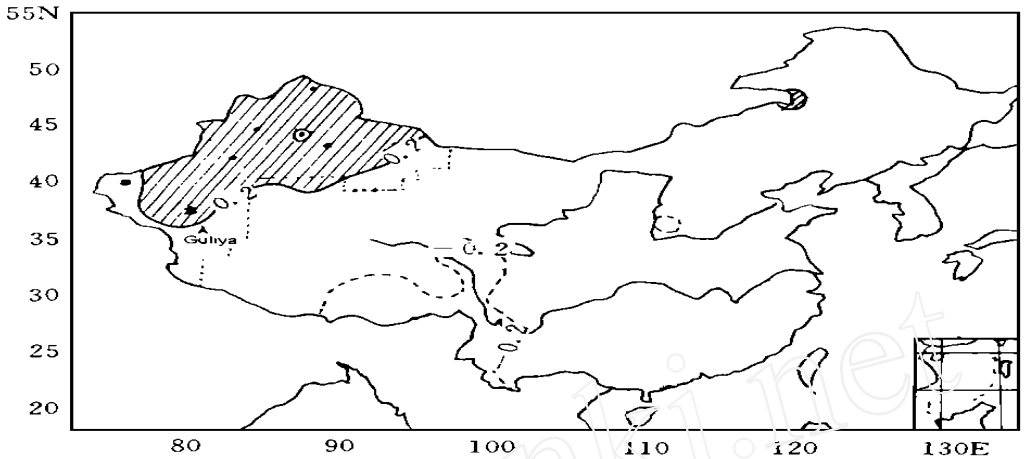


图2 敦德冰芯 $\delta^{18}O$ 与气温的相关系数

* 叶愈源, 赵文兰 1470年以来我国华中4季与年平均气温序列的重建 尚未发表

图3 古里雅冰芯 $\delta^{\circ}\text{C}$ 与气温的相关系数

(10) 西藏区 这是一个非常重要的地区, 面积广阔, 气候变化激烈, 但在 1951 年之前只有拉萨有十来年的观测记录, 所以 1880~1950 年除拉萨的部分气温观测资料以外, 其余均采用树木年轮分析的结果^[10]。

表 4 概括了 10 个区 1880~1996 年年平均气温序列的资料来源

表 4 各区气温序列资料来源

	1880~1910 年	1911~1950 年	1951~1996 年
东北	哈尔滨、根室气温观测	气温等级图	代表站气温观测
华北	北京气温观测	气温等级图	代表站气温观测
华东	上海气温观测	气温等级图	代表站气温观测
华南	广州、香港气温观测	气温等级图	代表站气温观测
台湾	代表站气温观测、1897 年前用史料	代表站气温观测	代表站气温观测
华中	史料	气温等级图	代表站气温观测
西南	史料	气温等级图	代表站气温观测
西北	敦德冰芯	气温等级图	代表站气温观测
新疆	古里雅冰芯	古里雅冰芯	代表站气温观测
西藏	树木年轮	拉萨气温观测、树木年轮	代表站气温观测

3 中国气温序列的建立

建立中国气温序列首先对 10 个区的平均气温序列与全国 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 经纬度气温序列(由中国气象局气象科学研究院提供)求相关, 这样就可以判断每个 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 格点与哪一个序列相关最好, 由此来划定 10 个区范围(见图 1), 即得到每个区所代表的格点数, 全国共 966 个格点, 一个格点约相当 100万 km^2 。但是, 考虑到纬度不同每个格点代表的面积不同, 所以又对每个区所有的格点乘以该格点所在纬度余弦, 然后每个区再被全国 966 个格点纬度余弦总和除, 得到各区在中国气温变化中的权重

把各区 1880~1996 年历年气温距平乘以权重求和, 即得到中国的气温序列

4 近百年中国的气温变化趋势

图4及图5给出1880~1996年10个区及中国气温变化曲线 一律对1961~1990年平均求距平 图中光滑曲线为低通滤波值 表5给出10个区及中国10年平均距平(90年

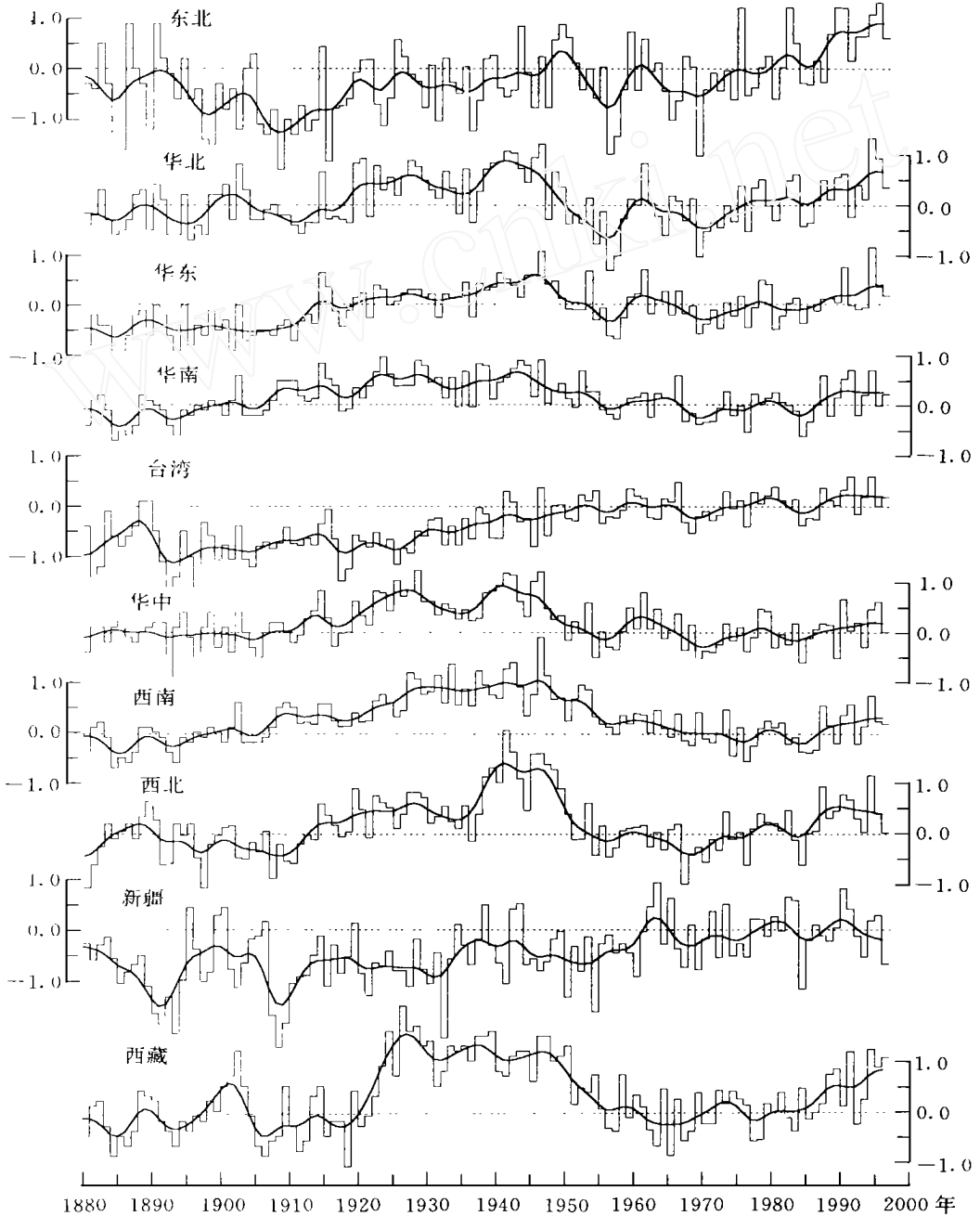


图4 1880~1996年10个区气温距平(纵坐标表示,单位:)

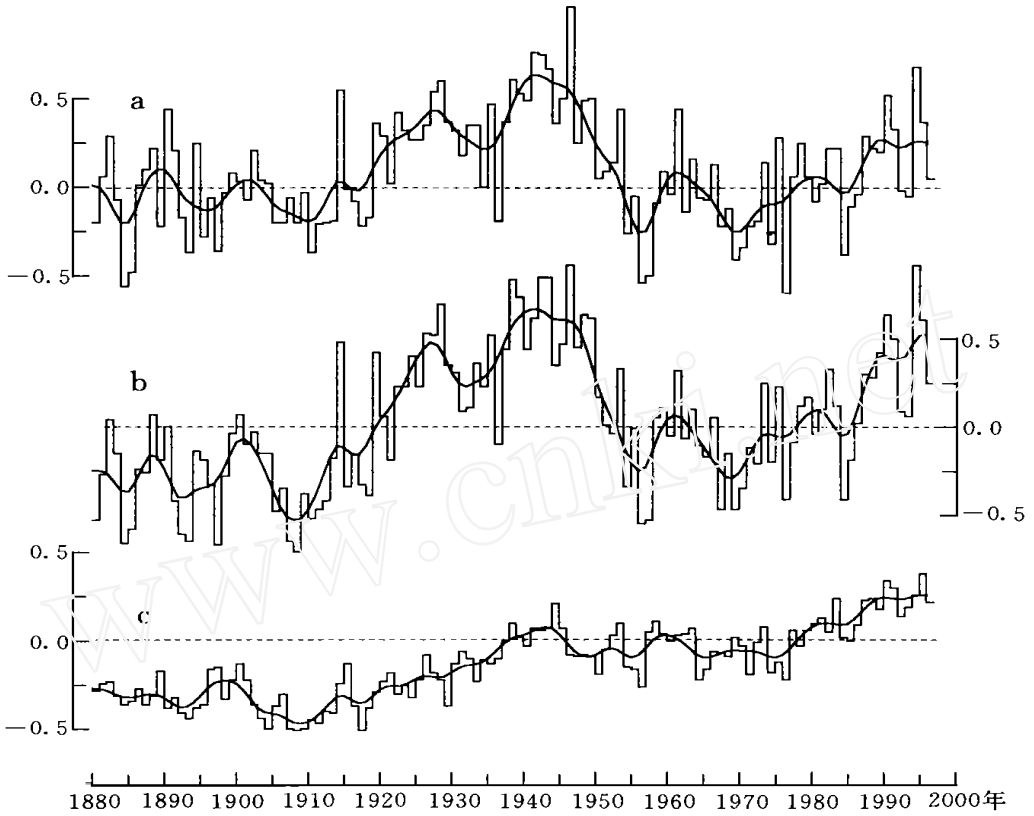


图 5 (a) 1990 年给出的年平均中国气温距平^[1](b) 本文的年平均中国气温距平序列(c) 全球年平均气温距平序列(纵坐标表示, 单位:)

表 5 10 个区和中国 10 年气温平均距平()及 1880~ 1989、1880~ 1996 直线趋势(/100 a)

	东北	华北	华东	华南	台湾	华中	西南	西北	新疆	西藏	中国
1880s	0.43	-0.20	-0.51	-0.21	-0.53	-0.01	-0.22	-0.08	-0.60	-0.23	-0.28
1890s	-0.36	-0.18	-0.41	-0.14	-0.97	-0.04	-0.14	-0.24	-0.94	-0.18	-0.33
1900s	-0.83	0.01	-0.48	0.09	-0.80	-0.03	0.10	-0.29	-0.81	0.06	-0.29
1910s	-0.78	-0.13	-0.10	0.28	-0.73	0.19	0.31	0.10	-0.61	-0.25	-0.19
1920s	-0.24	0.52	0.19	0.57	-0.75	0.70	0.62	0.50	-0.76	0.98	0.31
1930s	-0.29	0.34	0.19	0.41	-0.41	0.49	0.88	0.46	-0.50	1.21	0.35
1940s	-0.04	0.70	0.51	0.54	-0.18	0.75	0.97	1.28	-0.36	1.07	0.62
1950s	-0.29	-0.42	-0.13	0.10	-0.04	0.01	0.38	-0.01	-0.57	0.29	-0.08
1960s	-0.33	-0.09	0.05	0.05	-0.04	0.10	0.15	-0.17	-0.10	-0.14	-0.10
1970s	-0.09	-0.10	-0.05	-0.07	-0.01	-0.05	-0.08	-0.06	-0.08	-0.01	-0.06
1980s	0.24	0.14	0.07	-0.01	0.02	-0.12	-0.07	0.17	0.00	0.19	0.09
1990~ 1996 年	0.81	0.50	0.34	0.31	0.24	0.24	0.27	0.47	0.06	0.64	0.44
1880~ 1989 年	0.63	0.12	0.51	0.07	0.99	-0.04	0.15	0.28	0.83	0.32	0.37
1880~ 1996 年	0.85	0.23	0.54	0.10	1.01	-0.02	0.13	0.32	0.84	0.37	0.44
全球相关	0.46	0.32	0.50	0.19	0.68	0.16	0.21	0.37	0.51	0.31	0.55

代仅代表 1990~1996 年 7 年)及近百年的直线趋势,用 $/100\text{ a}$ 表示 为了与过去的结果比较,同时计算了 1880~1989 年及 1880~1996 年两种趋势

王绍武在 1990 年^[1]指出,近百年中国气温变化与北半球或全球平均的最大不同是最暖时期出现在 20 世纪 20 年代及 40 年代,而全球是 80 年代最暖 图 4 说明,这个特点表现最明显的是华北及华南 过去的序列,特别早期只有东北、华北、华东及华南 4 个区,所以这个特点最突出 但华中、西南、西北及西藏也有这个特点 只有东北、华东、台湾及新疆与此不同 这 4 个区均表现为本世纪初到本世纪末的直线上上升趋势 因此,也是气候变暖最明显的地区

图 5a 是 1990 年王绍武给出的中国气温序列,1991~1996 年用全国 7 个区平均气温等级续补,以保持资料的一致性 图 5b 为新建立的中国气温序列,图 5c 为全球平均气温序列^[1] 新的序列在 1880~1910 年期间平均比过去的序列低 0.25 ,1911~1950 年比过去低 0.01 ,1951~1996 年比过去高 0.02 由于新的序列在上世纪末到本世纪初气温比过去低了 0.25 ,因此气候变暖趋势比过去的估计有明显增强 1990 年王绍武的估计^[1]为 $0.09/100\text{ a}$,而新序列仍用 1880~1989 年的资料计算得到 $0.37/100\text{ a}$,如果用 1880~1996 年得到 $0.44/100\text{ a}$,虽然这个值仍低于全球平均的 $0.5\sim 0.6/100\text{ a}$ ^[5] 但已大为增加 这是建立新序列得到的一个主要结论 表 5 同时列出各区序列及中国序列与全球平均气温序列的相关系数,可见东北、华东、新疆及台湾与全球变化较为一致 但中国气温与全球气温的相关也从过去的 0.34 提高到 0.55

总之可以得到结论,覆盖面更完全的中国气温新序列与全球的变化更为一致,气候变暖的趋势也比过去的估计更明显 不过应该说明,这里还有许多不确定性:冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 、树木年轮以及史料,均不能完全反映一个区的气温变化 代用资料与某个站气温的相关系数可能达到 95% 信度,但对区平均达不到 95% 信度 然而,目前尚未发现更好的代用资料;

如何利用冰芯及年轮等代用资料重建气温序列,也是一个需要探讨的问题; 本文没有排除城市扩展产生的热岛效应,以及其它可能出现的观测误差 因此,本文只能说是一个初步尝试,重点是希望增加资料的覆盖面,希望能进一步收集代用资料,开发新的资料来源,继续改善并延长这个序列

参考文献

- 1 王绍武 近百年我国及全球气温变化趋势 气象, 1990, 16(2): 11~15
- 2 王绍武 全球气候变暖与未来发展趋势 第四纪研究, 1991, (3): 269~276
- 3 衣育红, 王绍武 80 年代全球气候突然变暖 科学通报, 1992, 37(6): 528~531
- 4 王绍武 近百年气候变化与变率的诊断研究 气象学报, 1994, 52(3): 261~273
- 5 王绍武, 叶瑾琳 近百年全球气候变暖的分析 大气科学, 1995, 19(5): 545~553
- 6 气象科学研究所天气气候所, 中央气象台 中国气温等级图, 1911~1980 年 北京: 气象出版社, 1984 443
- 7 中央气象局, 中国科学院地球物理研究所联合资料室 中国气温资料 中央气象局, 1954

- 8 姚檀栋, 谢自楚, 武筱岭, Thompson L G. 敦德冰帽中的小冰期气候记录. 中国科学(B 辑), 1990, (11): 1197~1201.
- 9 姚檀栋, 杨志红, 皇翠兰, 焦克勤, 谢超, Thompson L G. 近 2Ka 来高分辨的连续气候环境变化记录-古里雅冰芯近 2Ka 记录初步研究. 科学通报, 1996, 41(12): 1~ 4.
- 10 林振耀, 吴祥定. 青藏高原历史时期气候变化的探讨. 《气候变迁和超长期预报文集》, 中央气象局研究所编, 1977. 23~ 28.
- 11 Global temperature for 1996, Tiempo 23 March, 1997.

CONSTRUCTION OF MEAN ANNUAL TEMPERATURE SERIES FOR THE LAST ONE HUNDRED YEARS IN CHINA

Wang Shaowu Ye Jinlin Gong Daoyi Zhu Jinhong
(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Yao Tandong

(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

Mean annual temperature series from 1880 to 1996 were constructed for ten regions: Northeast, North, East, South, Taiwan, Southcentral, Southwest, Northwest, Xinjiang and Tibet on the basis of temperature observations, documentary data, ice core data and tree-ring data. A series of temperature in China was obtained by average of the ten regional series in considering area size of the region. The temperature series shows more significant warming trend in the last one hundred years ($0.44 / 100a$), which is much greater than that obtained in 1990 ($0.09 / 100a$). This is because the new series includes Xinjiang and Tibet regions, where the temperature was quite low in the later of last century and early of this century. Furthermore, the trend was also increased by the rapid warming in 1990s.

Key words: Temperature series Climatic variation Warming of climate