近千年中国温度序列的建立

王绍武[①②] 闻新宇[①] 罗 勇[②③] 董文杰[②③] 赵宗慈[②③] 杨 保[④]

(① 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; ② 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; ③ 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; ④ 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000. E-mail: swwang@pku.edu.cn)

摘要 根据各种代用资料建立了近千年中国 10 个区的温度序列, 时间分辨率为 10 a. 10 个区是: 东北、华北、华东、华南、台湾、华中、西南、西北、新疆及青藏. 采用的代用资料包括: 冰芯、石笋、树轮、泥炭、湖泊沉积、孢粉、史料等. 然后按 10 个区的面积加权平均得到中国平均温度序列. 根据这个序列分析了中国近千年的温度变化, 特别是中世纪暖期、小冰期及现代暖期的特征.

关键词 近千年 中国 温度变化 中世纪暖期 小冰期 现代暖期

近千年温度变化是目前国际上争议较大的热门问题[1]. 讨论的焦点是: 20 世纪是不是近千年来最暖的一个世纪, 或者 20 世纪的变暖是否是近千年来最强的. 事实上, 一个中心问题即: 中世纪暖期和 20 世纪现代暖期相比较究竟何者更暖? 20 世纪的温度有比较系统的观测, 分析方法较为成熟. 所以, 要比较这两个时期关键是对中世纪暖期的温度做出估计. 在将近千年前, 显然没有任何直接温度观测资料可以利用. 因此, 所有的估计都是以代用资料为基础. 国内外不同作者分别建立了自己的北半球或全球平均温度序列[2~9]. 以 Mann 等人[3]为代表的学者认为不存在中世纪暖期, 至少可以不用这个名词. 而另外一些学者[4~9], 尽管对中世纪暖期的强度与出现时间的估计彼此也有分歧, 但却一致认为从全球或北半球平均温度来看中世纪也是一个相对暖期, 有的学者认为其强度可能与 20 世纪属同一量级.

2006 年美国国家科学院国家研究理事会(National Research Council of The National Academies)组织有关科学家编写了一个报告: “近两千年地面温度的重建”[10](以下简称“报告”). 由资深气象与海洋学家 North G R 任组长, 共 12 位科学家组成编写组. “报告”引用了 401 篇文献, 其中有一半以上发表于 21 世纪, 有 1/4 发表于 2004~2006 年, 充分反映了国际上的最新研究. “报告”从代用资料, 重建方法及模式模拟角度综合分析了近千年温度重建的各种问题. 这充分显示了近千年温度变化研究的重要性.

然而, 由于资料的不足, 特别是高分辨率的、达到千年以上的温度代用序列的不足, 上述学者一般仅用 10~30 个区域或局地的序列平均得到全球平均温度. 显然, 代表性是不够的. 高原、沙漠, 特别占地球面积约 2/3 的海洋资料很少. 在这种情况下, 建立有代表性的区域温度序列成为研究全球温度变化一个重要的环节. 中国包括了世界上最高的高原和广袤的沙漠, 因此研究中国的温度变化对认识全球温度变化有重要的意义.

杨保等人[11], 葛全胜等人[12], 郑景云等人[13] 曾综合分析了中国青藏高原, 或东部的温度变化. 但是仍缺少对近千年中国温度变化的研究. 本文的目的就是建立一个覆盖面比较完整的温度序列. 鉴于代用资料的性质, 分辨率取为 10 a, 即 1000’s (AD1000~1009, 下同), 1010’s, …, 1990’s. 同时, 重点比较分析中世纪暖期、小冰期和 20 世纪现代暖期.

1 研究基础

研究的基础可以分两个方面: 分析方法与资料来源. 王绍武等人[14,15]在建立近百年和小冰期中国温度序列时把中国分为 10 个区, 然后再根据区的面积加权计算中国平均温度. 这种方法的好处是能够在空间上有较好的代表性. 这里仍然采用这种分析方法, 先建立 10 个区的温度序列, 然后再求中国平均.

近来不同学者陆续发表了一些高分辨率的中国区域温度代用序列. 如: 北京石花洞的石笋[16,17], 青藏高原的冰芯[18~22], 祁连山[23]、青海[24]树木年轮等. 对中国东部[25]、高原[26,27]还专门进行了分析. 这些序列均含盖了过去千年以上的时期, 时间分辨率也达到了年到年代, 可以用来研究中国不同地区的温度

2006-11-07 收稿, 2007-03-19 接受
国家自然科学基金资助项目(批准号: 40331010)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

变化.

需要指出，利用代用资料重建古温度序列是有局限性的: (ⅰ) 不同的资料可能反映不同季节，如树轮反映生长季温度，冰芯则反映降水集中季节的温度. (ⅱ) 时间分辨率也不同，年轮、冰芯可以达到年，石笋、湖泊沉积、孢粉则至多只有几十年. (ⅲ) 代用资料可能并不仅只反映温度的变化，有时降水也有影响，如石笋、下树线树轮、低纬冰芯. 因此，在“报告”[10]中强调要加强对降水量变化的研究，并认为这对认识温度变化有重要意义. 不过，无论如何，这些代用资料还是包含了温度变化的重要信息. 因此包括 IPCC 报告[28]或美国的“报告”[10]依然引用石笋、冰芯等代用资料来说明温度变化.

2 近千年中国温度序列的建立

图 1 给出中国 10 个区中心气象站(黑点)及所用代用资料(圆圈)的地理位置. 下面就逐一介绍每个区代用序列的资料来源及同化方法:

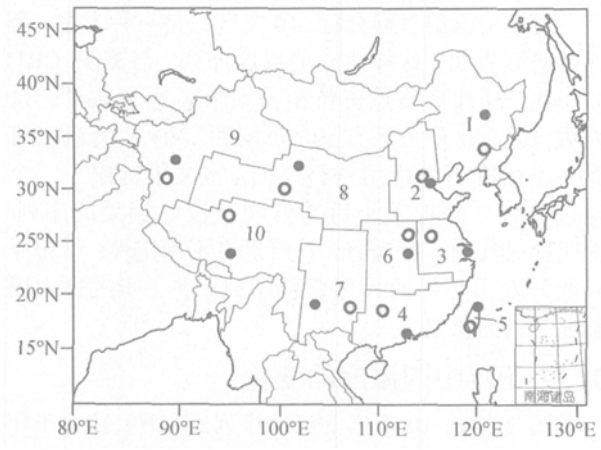

图 1 中国 10 个区的分区(数字为区号)及每个区中心气象站(黑点)和代用资料(圆圈)的地理位置

(ⅰ) 东北. 在文献[15]中，1600’s～1870’s 东北用的是根据树木年轮建立的序列. Hong 等人[29]利用金川泥炭资料给出反映温度的代用资料序列. Yang 等人[26]做出近 2000 a 的标准化温度序列. 把这个序列 1700’s~1940’s 与文献[15]中东北的序列比较，相关系数达到 0.57. 由于这是两个性质完全不同的序列. 因此，说明有较好的代表性. 两个序列的同化分以下几步: (1) 文献[15]序列与泥炭序列标准差之比约为 1.5. 所以把文献[26]的泥炭序列×1.5. (2) 文献[15]序列的平均近于 0，泥炭序列的平均为–0.43，所以把距平加 0.43℃. (3) 考虑到早期树木年轮资料可靠性较差，原来用树轮的 1600’s~1690’s 也改用泥炭序列，这样 1700’s 之前一律用泥炭序列.

(ⅱ) 华北. 文献[15]中华北有 1380’s 以来的 10 a 平均温度距平. 因此，主要问题是如何补充 1000’s ~1370’s 的温度距平. Tan 等人[30]有北京石花洞石笋 δ^{18}O 的记录，负值大反映温度高. 1400’s~1950’s 两个序列之间的相关系数达到 0.78，超过了 99%信度. 况且，这也是两个完全独立的序列，不仅资料不同. 分析方法也完全不一样，能有这样的相关，只能说明资料有较高的可信度. 因此用石花洞的序列补足华北的气温距平. 作法是: (1) 把石花洞石笋序列标准化，然后乘以文献[15]华北序列的标准差，这样就得到了振幅与文献[15]一致的序列. (2) 由于两个序列的平均值差别较大，因此不能直接订正平均值. 1500’s~1650’s δ^{18}O 增加 0.9‰，同期温度下降 0.8℃. 1000’s ~1490’s 比 1550’s~1640’s δ^{18}O 低 0.6‰，相当气温高 0.5℃，而文献[15]中 1550’s~1640’s 平均温度距平在 –0.4℃左右，所以 1000’s~1390’s 平均温度距平应为 0.1℃左右，据此来确定石笋序列的平均值. (3) 考虑到石笋序列连续性好，而早期史料不确定性大. 所以，1380’s~1490’s 不用原来文献[15]中根据史料建立的序列，而改用石笋序列. 这样 1500’s 之前即全用石笋序列.

(ⅲ) 华东. 文献[15]中华东根据史料建立了 1380’s~1870’s 的 10 a 平均温度序列. 目前华东地区高分辨率的古温度代用资料很少，仅有少数孢粉序列[31,32]揭示了 1000’s~1370’s 的温度变化趋势. 但是，分辨率仍然很低，一般在 50 a 以上，而且需要重新标定. 具体做法是: (1) 用文献[32]的曲线定出每 50 a 一个的标准化距平值. (2) 乘以文献[15]中华东序列 1700’s~1990’s 的标准差，再内插出每 10 a 平均值. (3) 根据两个序列 16 世纪的平均值确定孢粉序列的平均值.

(ⅳ) 华南. 文献[15]中华南仅给出 1520’s 以来的温度距平. 前 500 a 主要证据是石笋 δ^{18}O[30]. 插补的做法是: (1) 把桂林的序列[30]标准化. (2) 乘以文献[15]中华南序列 1700’s~1990’s 的标准差. (3) 根据两个序列 16 世纪的平均值确定石笋序列的平均值. 此外，深海沉积 δ^{18}O[33,34]的 SST 变化也支持了这个结果.

(ⅴ) 台湾. 文献[15]中台湾 1500’s 以来的 10 a

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

平均温度距平是根据台湾和福建的史料重建的. 罗建育等人[35,36]根据大鬼湖及嘉明湖的有机碳总量(TOC)及 C/N 比研究了台湾的温度变化. 杨保等人[11]据此建立了大鬼湖及嘉明湖两条标准化温度曲线 1600's~1890's 湖泊沉积和史料 50 a 平均值之间的相关系数达到 0.37. 插补步骤如下: (1) 把文献[11]中的两个标准化曲线读出 10 a 距平作平均, (2) 乘以文献[15]中台湾 1600's~1890's 的标准差. (3) 根据文献[15]台湾序列 1600's~1890's 的平均, 订正湖泊序列.

(vi) 华中. 文献[15]中华中主要根据史料给出 1470's 以来的温度距平. 这个区早期几乎没有什么年轮、冰芯之类的资料可以参考, 主要依靠史料. 宋朝建立于 960 年, 元朝建立于 1271 年, 明朝建立于 1368 年. 所以, 研究的这 1000 a 的前 500 a 处于宋、元、明三个朝代. 这一时期中原地区有关气候的记载比较多. 施雅风等人[37]曾给出 960's~1100's 的温度距平. 利用最近公布的《中国三千年气象纪录总集》[38], 根据文献[15]的方法, 建立了 1000's~1460's 的温度距平. 做法是: (1) 根据文献[15]的方法确认寒冷事件: 分 –0.5, –1.0 及–2.0 等 3 级. 暖事件为 0.5. (2) 按每 10 a 寒冷事件指数总和与施雅风等人[37]的序列比较, 960's~1100's 相关系数达到 0.58. (3) 对施雅风等人[37]的序列作标定, 寒冷指数 1, 相当于 0.22℃, 十分接近过去文献[15]采用的一个单位指数相当 0.2℃的标准. (4) 对 1000's~1460's 确定每 10 a 的寒冷指数, 并转换为温度距平.

(vii) 西南. 文献[15]中西南仅给出 1500's 以后的序列. 目前有董哥的石笋δ^{18}O 序列[30]. 具体做法是: (1) 把 1000's~1590's 的石笋序列标准化, 内插得到 10 a 的距平值. (2) 乘以文献[15]中西南序列 1700's~1890's 的标准差. (3) 用 16 世纪两个序列重叠部分估算平均值, 使两个序列衔接. 此外, 川鄂交界的神农架大九湖孢粉序列[39]也可以参考.

(viii) 西北. 仍然用文献[15]中根据敦德的冰芯δ^{18}O 建立的序列.

(ix) 新疆. 仍然用文献[15]中根据古里雅冰芯δ^{18}O 建立的序列.

(x) 青藏. 文献[15]中用青海的树木年轮代表青藏高原, 因为当时还没有适合的冰芯资料. 现在改用普若岗日与达索普的δ^{18}O 平均[22]. 1880's~1990's 10 a 平均温度距平观测及冰芯序列的相关系数为 0.66. 因此用冰芯序列代替过去的树木年轮. 具体做法是: (1) 把两个站平均δ^{18}O 序列对 1880's~1970's 观测序列[14]作标准化. (2) 1880's 之前用标定后的冰芯序列, 从 1880's 开始用温度观测序列[15].

这样就建立了中国 10 个区, 每个区自 1000's~1990's 的 10 a 分辨率序列, 每个序列 100 个值. 需要指出 1998 年文献[15]发表时, 1990's 的值只用 1990~1996 年平均, 现在均改为 1990~1999 年平均. 有了 10 个区的温度序列, 按各区面积加权平均, 就得到中国平均温度序列. 这个序列与以往发表的各序列不同之处, 就是有统一的时间分辨率和完整的覆盖面.

需要说明: 本文引用的各种代用资料, 时间分辨率和精度各有不同. 2~5 区在 1500 a 之前年代际变化较弱, 仅显示出百年尺度的变化. 这自然和应用的代用资料性质有关. 8~10 区应用冰芯资料, 所以, 年代际变化较强. 在这种情况下很难给出一个统一的误差范围. 可能由于同样原因, 美国"报告"[10]也没有给出误差范围, 而仅把温度变化的背景颜色随时间向前而调深, 用以说明越往前误差越大.

对于中国的气候分区, 10 个区只是一种方案. 最近的研究表明: 这样建立的温度序列, 与英国 CRU 0.5°×0.5°经纬度格点资料相关系数高达 0.84[40]. 这表明 10 个区的分区方案是可取的. 另外, 有的区可能并不仅有一个代用资料序列, 本文仅选用了一个与过去建立的近千年后期温度有较好相关的序列, 说明这只代表一种选择, 自然也有不确定性. 希望今后能开发出更好的代用资料序列, 进一步改进中国温度序列的重建.

3 近千年中国温度的变化

图 2 给出 10 个区的温度序列, 以下一律对千年平均求距平. 从图 2 可以看出, 中国东部与西部温度变化的趋势有很大的不同. 东部在 1000 年~1300 年之间大多有一个气温超过近千年平均的暖期, 短的 30~50 a, 长的可达 100 a 以上, 大部分距平在 0.3~0.5℃, 有的达到 1℃以上. 而西部在 1000 年~1300 年之间没有明显的暖期. 东部小冰期(16~19 世纪)明显, 而西部则不突出, 或时间不集中. 这种特点在中国东部(1~7 区)和西部(8~10 区)平均的气温变化曲线(图 3)上看得很清楚.

表 1 给出中国东部、西部及全国每个世纪的平均气温距平. 可见东部 11~14 世纪都是正距平. 15~19 世纪均为负距平, 20 世纪才转为正距平. 但是西部则变化趋势不同, 11~17 世纪为负距平, 18~20 世纪为正

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

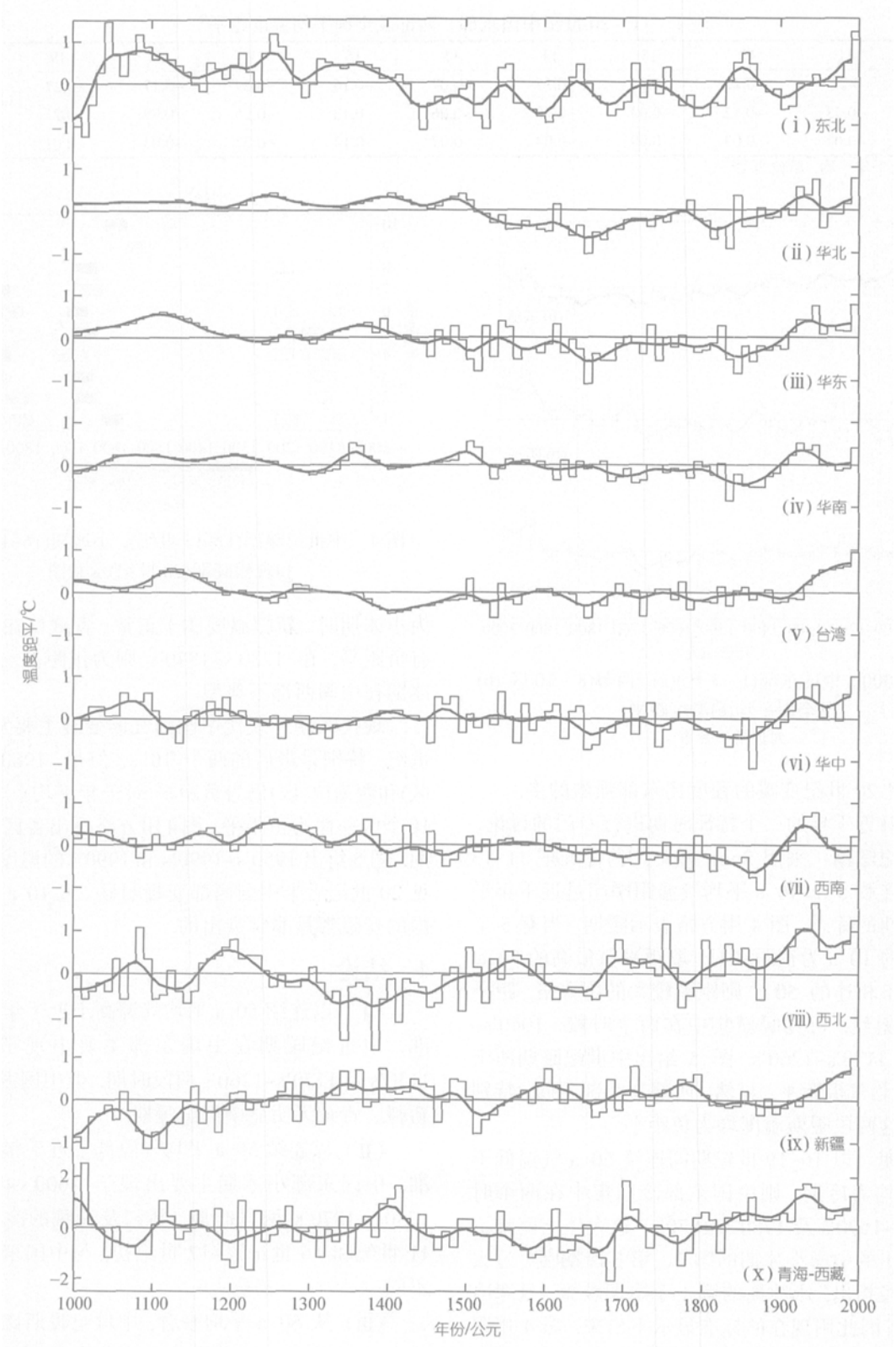

图 2 近 1000 a 中国 10 个区温度距平
对近千年平均

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 11～20 世纪中国东部、西部及全国平均温度距平 a)

世纪	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
东部	0.21	0.20	0.21	0.15	−0.07	−0.16	−0.29	−0.17	−0.27	0.19
西部	−0.23	−0.12	−0.03	−0.20	−0.06	−0.13	−0.25	0.09	0.21	0.72
全国	−0.02	0.03	0.09	−0.04	−0.07	−0.14	−0.27	−0.03	−0.01	0.47

a) 对近千年平均, 单位为℃

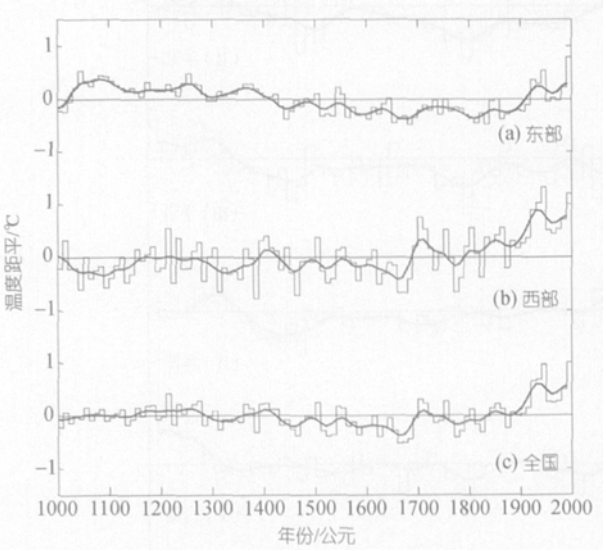

图 3 近 1000 a 中国东部(1～7 区)(a), 西部(8～10 区)(b)及全国平均(c)温度距平
对近千年平均

距平, 并且 20 世纪变暖的程度比东部强烈的多.

下面对近千年的三个特征时期进行专门的讨论:

中世纪暖期 采用 Soon 等人[41]的标准把 11~13 世纪期间连续 5 个 10 a 平均气温距平超过近千年平均做为暖期的标志. 图 4 用方格表示暖期, 当有 5 个以上连续的 10 a 为正距平时, 取距平值最高的 50 a. 如有两个不相连的 50 a 则距平较大的用方格, 距平较小的用斜线. 可见暖期集中在两个时段: 1040's~1130's 及 1170's~1260's. 图 5 给出中世纪暖期两个 100 a 的平均气温距平. 显然, 西部与东部不同, 特别是青藏在这两段暖期温度均为负距平.

小冰期 以 16~19 世纪期间连续 50 a 气温低于近千年平均为冷期, 则中国东部冷期集中在两个时段: 1600's~1690's 及 1780's~1870's. 这大体上就是不少学者指出的中国小冰期的第 2、第 3 冷期[15]. 过去的研究已经指出, 小冰期的第 1 个冷期较短, 且寒冷程度不强. 因此用现在的标准显示不出来. 图 4 用阴影给出各区的冷期. 同样当有两个 50 a 冷期时, 较冷的用深色, 次冷的用浅色. 从图 5 也可以看出在东部

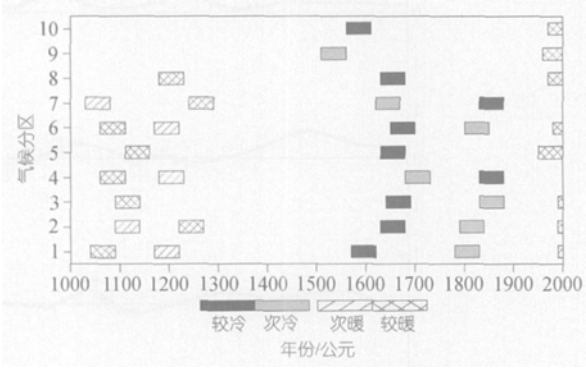

图 4 中世纪暖期(11~13 世纪), 小冰期(16~19 世纪)和现代暖期(20 世纪)示意图

为小冰期时, 新疆温度属于正常. 青藏仅在 17 世纪有负距平, 在 1780's~1870's 则为正距平. 这表明小冰期在中国西部不典型.

现代暖期 现代中国的气候变暖主要发生于 20 世纪, 特别是最后的两个 10 a. 但是, 1980's 华南(4 区)和西南(7 区)仍为负距平(对千年平均). 1990's 才 10 个区一律为正距平. 图 4 用方格标出各区的现代暖期. 图 5 给出 1950's~1990's 和 1990's 的温度距平. 可见 20 世纪后半中国西部变暖明显, 近 10 a 则整个中国的变暖都是非常突出的.

4 结论

(ⅰ) 以连续 50 a 平均气温高于近千年平均为标准, 中世纪暖期在中国东部主要出现于 1040's~1130's 及 1170's~1260's 两段时期. 但中国西部, 特别新疆、青藏无明显中世纪暖期.

(ⅱ) 以连续 50 a 平均气温低于近千年平均为标准, 中国东部小冰期主要出现于 1600's~1690's 及 1780's~1870's 两段时期. 新疆及青藏的冷期分别在 11 世纪和 16 世纪末~17 世纪初, 与中国东部有显著不同.

(ⅲ) 从 50 a 平均来看, 中世纪暖期比近千年平均高 0.4~0.5℃, 小冰期比近千年平均低 0.5~0.7℃, 近千年温度的振幅约 1℃.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

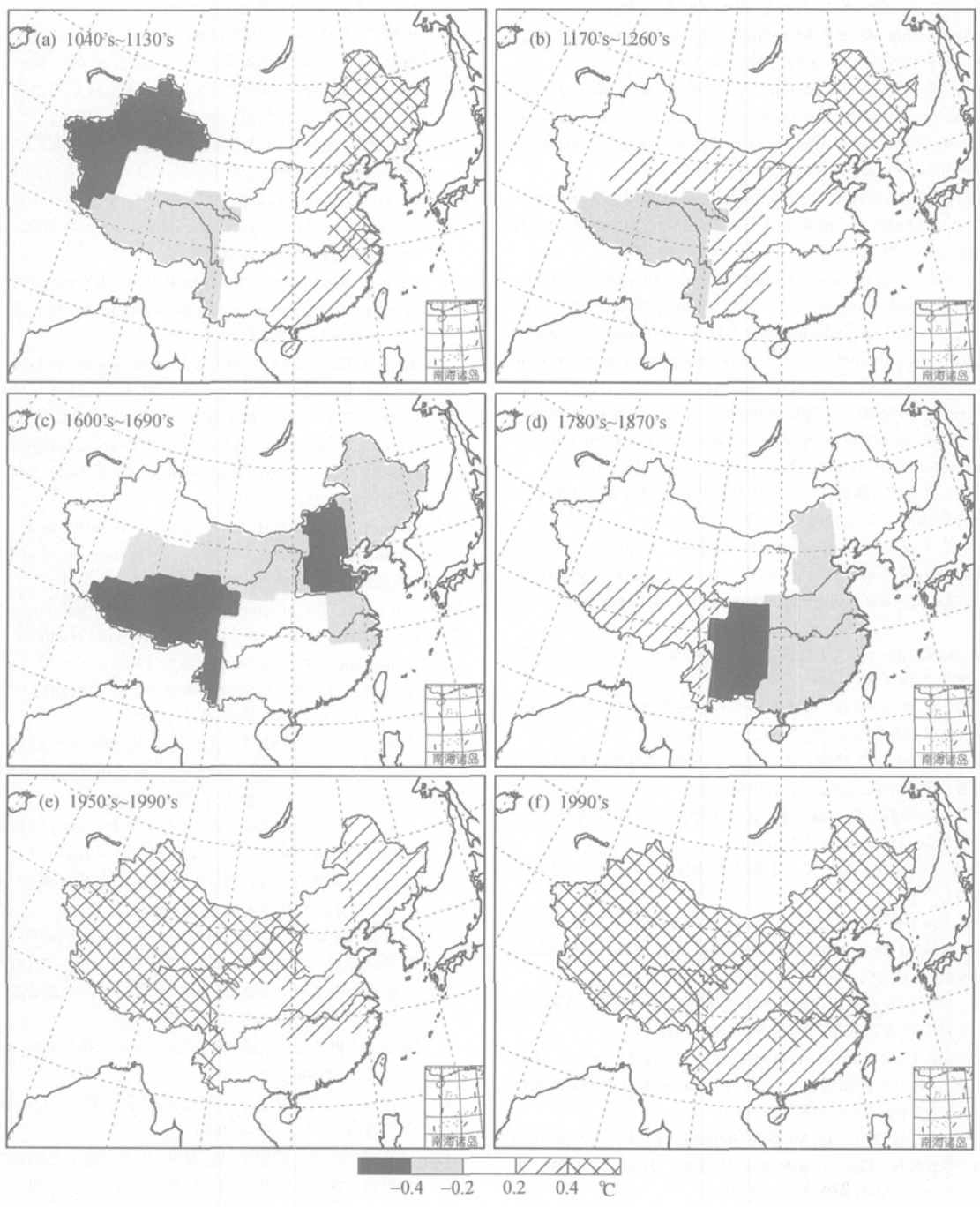

图 5 中世纪暖期(a)和(b), 小冰期(c)和(d), 及现代暖期(e)和(f)平均温度距平

(iv) 无论东部还是全国平均 1990's 的气温均是近千年来最高的, 可以说是近千年来最暖的 10 a. 中国西部 1990's 的温度则低于 1940's, 是千年中第 2 个暖的 10 a. 20 世纪在西部和全国平均都是最暖的 1 个世纪, 东部的温暖程度则和中世纪暖期相当.

参 考 文 献

1 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 关于气候变暖的争议. 自然科学进展, 2005, 15(8): 917—922
2 王绍武, 叶瑾琳, 毕鸣. 近千年全球气温变化. 见: 85~913 项目 02 课题论文编委会, 编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文, 第三集. 北京: 气象出版社, 1996. 137—147

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties and limitations. Geophys Res Lett, 1999, 26: 759—762
4 Jones P D, Briffa K R, Barnett T P, et al. High-resolution paleoclimatic records for the last millennium: Integration, interpretation and comparison with General Circulation Model control run temperatures. Holocene, 1998, 8: 455—471
5 Crowley T J, Lowery T S. How warm was the Medieval Warm Period? A comment on man-made versus natural climate change. Ambio, 2000, 39: 51—54
6 Briffa K R. Annual climate variability in the Holocene: Interpreting the message of ancient trees. Quat Sci Rev, 2000, 19: 87—105
7 Esper J, Cook F R, Schweingruber F H. Low-frequency signals in long tree-ring chronogies for reconstructing past temperature variability. Science, 2002, 295: 2250—2253
8 Moberg A, Sonechkin D M, Holmgren K, et al. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy dada. Nature, 2005, 433: 613—617
9 王绍武, 谢志辉, 蔡静宁, 等. 近千年全球平均气温变化的研究. 自然科学进展, 2002, 12(11): 1145—1149
10 National Research Council of the National Academies. Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 years. Washington D C: The National Academies Press, 2006. 141. http://www. nap. edu.
11 杨保, Braeuning. 近千年青藏高原的温度变化. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 104—107
12 葛全胜, 郑景云, 刘健. 过去2000 a中国东部冬半年温度变化与周期. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 108—112
13 郑景云, 葛全胜, 方修琦. 从中国过去2000年温度变化看20世纪增暖. 地理学报, 2002, 57(6): 631—638
14 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国气温序列的建立. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392—401
15 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国小冰期的气候. 第四纪研究, 1998, (1): 54—64
16 Tan M, Liu T S, Hou J Z, et al. Cyclic rapid warming on centennial scale revealed by a 2650-year stalagmite record of warm season temperature. Geophys Res Lett, 2003, 30: 1617—1620
17 谭明, 邵雪梅, 刘晓宏, 等. 中国近千年石笋-树轮集成温度记录. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 113—116
18 Thompson L G, Mosley-Thompson E, Davis M, et al. Holocene-Pleistocene climate ice core record from Qinghai-Tibetan Plateau. Science, 1989, 246: 474—477
19 Thompson L G, Yao T D, Mosley-Thompson E, et al. Tropical climate instability: The last glacial cycle from Qinghai-Tibetan Plateau. Science, 1997, 276: 1821—1825
20 Thompson L G, Yao T D, Mosley-Thompson E, et al. A high resolution millennial record of the south Asian Monsoon from Himalayan ice cores. Science, 2000, 289: 1916—1919
21 Yao T D, Thompson L G, Mosley-Thompson E, et al. Climatological significance of δ^{18}O in north Tibetan ice corels. J Geophy Res, 1996, 101(D230): 29531—29537
22 姚檀栋, 秦大河, 徐柏青, 等. 冰芯记录的过去1000 a青藏高原温度变化. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 99—103
23 邵雪梅, 方修琦, 刘洪滨, 等. 柴达木盆地东缘山地千年祁连圆柏定年分析. 地理学报, 2003, 58(1): 90—100
24 康兴成, Graumlich L J, Sheppard P. 青海都兰地区1835年来的气候变化——来自树轮资料. 第四纪研究, 1997, (1): 70—75
25 Ge Q S, Zheng J Y, Fang X Q, et al. Temperature changes of winter- half-year in eastern China during the past 2000 years. Holocene, 2003, 13(6): 933—940
26 Yang B, Braeuning A, Johnson K R, et al. General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia. Gephys Res Lett, 2002, 29(9): 38
27 Yang B, Buäeuning A, Shi Y. Late Holocene temperature fluctuation on the Tibetan. Quat Sci Rev, 2003, 22: 2335—2344
28 Folland C K, Karl T R, Christy J R, et al. Observed climate variability and change. In: Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al, eds. Climate Change 2001: The Scientific Basis. New York: Cambridge Univ Press, 2001. 99—181
29 Hong Y T, Jiang H B, Liu T S, et al. Response of climate to solar forcing recorded in a 6000-year δ^{18}O time-series of Chinese peat cellulose. Holocene, 2000, 10(1): 1—7
30 Tan M, Cai B G. Preliminary calibration of stalagmite oxygen isotopes from eastern monsoon China with Northern Hemisphere temperatures. PAGES News, 2005, 13(02): 16—17
31 王永吉, 刘敏厚, 吴世迎. 黄海陆架晚第四纪沉积物中的古土壤. 海洋学报, 1986, 8(4): 466—475
32 李瑞敏, 邵时雄. 蚌埠地区全新世古气候. 见: 85~913 项目 02 课题论文编委会, 编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文, 第一集. 北京: 气象出版社, 1996. 64—68
33 李学杰, 陈芳, 唐荣革, 等. 南海北部HY4-901孔氧同位素与古气候研究. 科学通报, 1996, 41(10): 911—913
34 黄镇国, 张伟强, 等, 著. 中国日本全新世环境演变对比研究. 广州: 广东科技出版社, 2002. 806
35 罗建育, 陈镇东. 台湾高山湖泊沉积记录指示的近4000年气候与环境变化. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1997, 27(4): 366—372
36 罗建育, 陈镇东, 万政康. 台湾大鬼湖之古气候记录. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26(5): 474—480
37 施雅风, 张丕远, 主编. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 297
38 张德二, 主编. 中国三千年气象记录总集. 南京: 凤凰出版社, 江苏教育出版社, 2004. 3666
39 何报寅, 张穗, 蔡述明. 近2600年神农架大九湖泥炭的气候变化纪录. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(2): 109—115
40 闻新宇, 王绍武, 朱锦红, 等. 英国CRU高分辨率格点资料揭示的20世纪中国气候变化. 大气科学, 2006, 30(5): 894—904
41 Soon W, Baliunas S, Idso C, et al. Reconstructing climatic and environmental changes of the past 1000 years: Reappraisal. Energy Environ, 2003, 14(2-3): 233—296

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net