科学通报 2010 年 第 55 卷 第 6 期：522 ~ 525
快 讯 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

工业革命以来人类活动对北京地区温度变化的可能影响

秦利[①②], 周鑫[①②]

① 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;
② 中国科学院研究生院, 北京 100049
E-mail: inol@mail.iggcas.ac.cn

2009-08-13 收稿, 2009-10-28 接受
国家自然科学基金(批准号: 40730104)和中国科学院知识创新工程(编号: KZCX2-YW-117)资助项目

摘要 自工业革命以来, 全球温度总体呈上升趋势. 在这个过程中人类活动和自然因素均起到作用, 但各自的可能贡献量及温度变化的区域差异等问题仍有待进一步深入研究. 基于北京石花洞石笋重建的过去 2650 年 5~8 月平均温度的时间序列, 用奇异谱方法(SSA)探讨工业革命以来人类活动对北京地区 5~8 月温度变化的可能影响. 分析结果显示, 在自然因素驱动下, 150 年来北京 5~8 月温度应为总体降低趋势, 估计 1870~2000 AD 期间的线性降幅为(0.45 ± 0.84)℃, 石笋和器测记录显示的实际线性增长幅度约为 1.08℃. 结果同时显示, 从约 1870 AD 起, 人类活动开始对北京地区温度产生较明显的影响, 并在 1915 AD 前后进一步加强. 估计到 2000 AD, 人类活动导致北京地区的暖季温度比应有的自然变化趋势高出约(1.53 ± 0.84)℃.

关键词
全球变暖
石笋
奇异谱分析
人类活动

1906~2005 AD 期间, 全球平均地表温度增加了约 0.74 ℃ (0.56~0.92℃)[1]. 人类活动导致的大气温室气体浓度增加[1~4]和太阳活动[5,6]等均可能对近百年来的全球增温起到作用. 然而, 对各自的贡献量的估计仍然有不同看法, 需要不同途径获得的结果相互印证.

中国同期平均气温变化与全球的总体趋势具有一致性. 1908~2007 AD 期间, 中国地表平均气温升高了约 1.1℃[7], 但空间上存在较大差异和不均一性. 东北、华北、西北和青藏高原北部升温较为明显, 而长江流域和西南各省温度则有所下降[8]. 例如, 沈阳在 1906~2002 AD 期间年均地表温度升高约 1.7℃[9], 而南京近 44 年来(1957~2000 AD)冬季增暖, 夏季变凉, 年均温度呈增加趋势[10]. 四川盆地东北部和西南部的气温存在明显的下降趋势, 似乎与全球变暖并不同步[11].

因此, 区分工业革命以来人类活动和自然因素对全球增温的贡献, 查明不同地区、不同季节的温度变化历史及其与自然因素和人类活动的关系, 对理解全球增温的原因和适应对策研究均有重要意义. 该方面研究的一个重要目标是如何在观测数据中分离自然变化和人类影响的信号. 目前, 该类研究主要采用数值模拟[1], 但从当前数值模式的发展程度来看, 基于实测记录的分析研究, 并与数值模拟结果进行相互对比验证, 仍不失为一种有效的研究手段.

北京石花洞石笋重建的过去 2650 年 5~8 月平均温度(又称暖季温度)为研究全球变暖的区域响应提供了一套较好的数据. 近年来, 一些古气候时间序列分析方法取得长足进展, 为记录中信号的分解提供了强有力的工具, 并在实践中得到成功应用. 本文基于已发表的北京石笋暖季温度记录[12], 借助奇异谱分析(Singular Spectrum Analysis, 简称 SSA)方法[13]中的预报功能, 来探讨工业革命以来人类活动对北京地区温度变化的影响.

我们采用的温度记录来自北京石花洞 (39°47′N, 115°56′E) 的石笋[12]. 由于自有器测记录以来该石笋年层的厚度与北京暖季(5~8 月)的温度具有很好的一致性, 所获得的 2650 年(665 BC~1985 AD)的、具有年际分辨率的序列被认为是北京地区暖季温度变化的自然记录(数据来自世界数据中心网站: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/datalist.html). 这套数据与北半球其他温度记录的良好可对比性进一步支持

英文版见: Qin L, Zhou X. Estimating possible impact of human activity on the warm season temperature in Beijing since the industrial era. Chinese Sci Bull, 2010, 55, doi: 10.1007/s11434-010-0049-y

这一解释.

奇异谱分析[13]是一种在古气候研究中广泛使用的时间序列分析方法[14~17]. 它可以根据数据的自适应性, 将时间序列正交分解为多个分量, 获得其中包含的周期性成分、非周期性的“趋势”和“噪音”, 并给出各个分量在序列中的权重, 前提是序列足够长, 对信号的“记忆”足够强. 该方法对气候信号的预测始于 20 世纪 80 年代末 90 年代初, 主要为研究和模拟厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)的动力机制, 之后常被用来进行序列的重建和基于时间序列的预报, 且预报结果和检验区间的相关性明显优于其他一些时间序列预报方法[18,19].

本文的研究借助了该方法中的预报功能. 基本思路是: (1) 在工业革命前的时间序列中, 随机去除 100 年的数据, 然后用之前的序列预报该 100 年的变化, 并与所去除的实测数据对比, 如果预报结果与实测数据具有一致, 则说明方法对该时间序列的预报有效; (2) 由于工业革命之前人类活动的影响较小, 可认为温度变化主要为自然因素所控制, 而之后的序列包含了自然和人为因素效应的叠加; (3) 在时间序列中去除工业革命以来的序列, 运用 SSA 方法对工业革命以来的时段进行预报, 所获得的结果可认为是自然因素应该导致的变化; (4) 把预报结果与工业革命以来的实测数据进行对比, 二者的差别可大致理解为人类活动的效应.

作为对方法有效性的检验, 我们分别截取 665 BC~1135 AD 和 665 BC~1600 AD 的石笋温度数据, 来预报 1136~1235 AD 和 1601~ 1700 AD 的温度变化(图 1), 预报结果在误差范围内与原数据变化趋势具有较好的一致性(图 1), 说明所用的方法能够尝试对北京地区自然状态下温度的变化趋势进行预报.

人类活动释放大量的温室气体主要是工业革命以后发生的, 此前的全球温度变化可大致看作是气候变化的自然趋势. 因此, 我们在石笋温度序列中去除 1850 AD 以来的序列, 保留 665 BC~1850 AD 的数据, 并据此用 SSA 方法预报 150 年以来(1851~2000 AD)北京地区的暖季温度变化趋势.

由图 2 可见, 预报获得的 1870 AD 前的温度变化在误差范围内与石笋温度记录较为一致, 而 1870 AD 后两者变化趋势开始出现较明显的差异. 这种现象可解释为, 自然因素驱动下的北京地区暖季温度在近 150 年来应该为逐渐降低趋势; 而预报结果与实测数据的差异反映了自约 1870 AD 起, 人类活动开始对北京地区的暖季温度产生较明显的影响.

预报结果与石笋温度记录的变化趋势自 1915 AD 后出现更为显著的分异. 该时间以后, SSA 重建的暖季温度呈逐渐降低趋势, 而石笋记录显示了一个逐步上升的趋势(图 2). 二者的明显不一致性表明, 人类活动对北京地区气温的影响从约 1915 AD 开始变得更为显著.

从 1870 AD 至 2000 AD 的 130 年间, 石笋记录显示北京地区暖季温度的线性上升幅度为约 1.08℃, 而石笋记录与 SSA 重建的自然变化趋势相比, 则显示了(1.53±0.84)℃的差别(图 2). 这个差别可理解为人类活动对北京地区暖季温度影响的“净效应”.

一些学者用特定时段内温度的线性增长来描述近百年来的增温幅度.

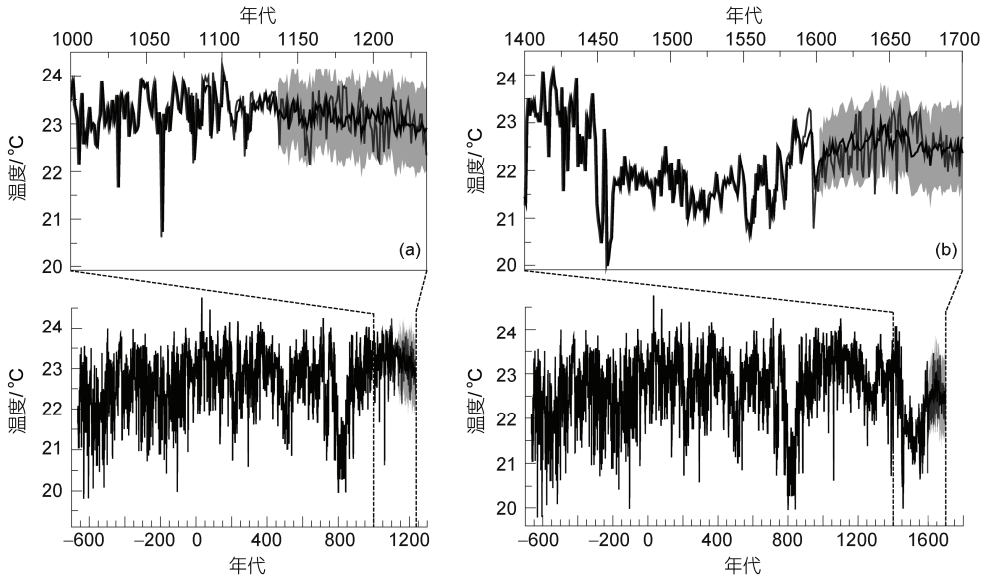

图 1 SSA 方法对自然状态下北京地区暖季温度预报的适用性检验

(a) 1136~1235 AD 的预报结果, (b) 1601~1700 AD 的预报结果. 灰线为石花洞石笋记录的北京暖季温度[12], 黑线为 SSA 方法重建和预报的温度, 阴影为预报的误差区间. 横坐标年代的负值表示公元前(BC), 正值表示公元(AD), 余同

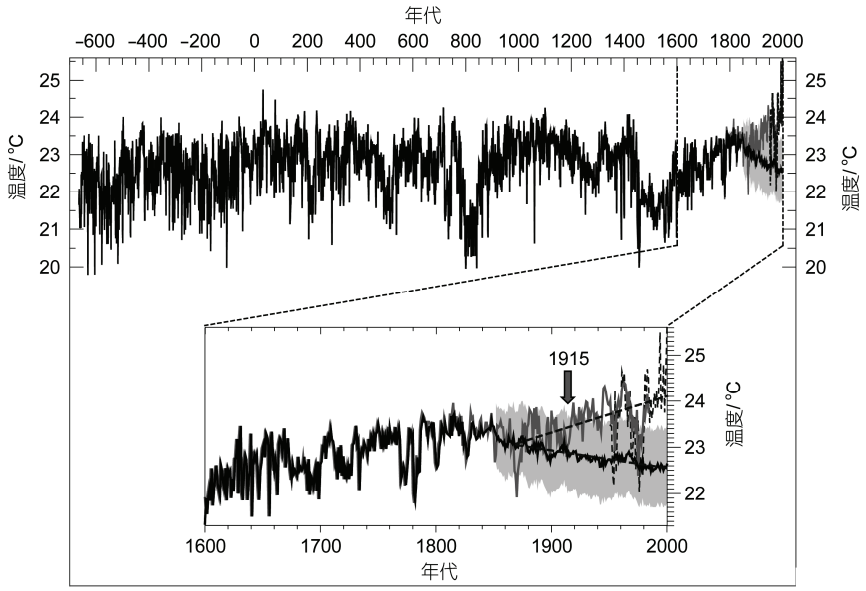

图 2 SSA 方法重建的 150 年来北京地区暖季温度变化与石笋记录的对比

灰色实线为石笋记录的北京地区暖季温度[12], 灰色虚线为北京地区实测温度(1951~2000 AD 5~8 月平均温度)(数据来自国家气象局, 站点位置: 39°48′N, 116°28′E), 黑色实线为去除 1850~1985 AD 的数据后用–665~1850 AD 序列重建并预报的近 150 年的暖季温度, 阴影为预报的误差区间, 虚直线和实直线分别为 1870~2000 AD 年间的北京温度和 SSA 预报温度的线性趋势

如 Jones 等人[20]根据 1915~2000 AD 温度的线性增长幅度, 认为该时期全球夏季温度增加了 0.46℃, 而北半球夏季增温幅度为 0.41℃. 这种方法所描述的幅度是自然和人为因素作用的综合效应, 而不是人类活动导致的净效应.

数值模型能够根据特定的边界条件, 分别模拟自然因素和增加了人为因素条件下温度的变化趋势和幅度, 从而估计出人类活动导致的净升温幅度. 一些模拟[1]显示, 在不考虑人类活动干预的情况下, 亚洲东南部的年平均气温在 20 世纪后半叶应呈下降趋势, 较考虑了人为因素的结果低约 0.89℃, 可认为这一温度变幅是人类活动所致. 本文的研究显示, 在自然状态下, 北京地区 20 世纪以来的温度也应为下降趋势, 与上述模拟结果有一定的一致性.

虽然工业革命以来的人为温室气体排放引起的温室效应被认为是全球增温的主要原因, 但本文基于时间序列分析的估算结果不能理解为纯粹的温室效应, 它也包含了其他人为因素(如气溶胶、土地利用引起的下垫面变化等)的综合效应. 这些因素中, 有的对气温变化可能具有正反馈作用, 有的是负反馈作用, 它们共同作用下导致北京暖季温度比自然状态高大约(1.53±0.84)℃. 这个结果与数值模拟所估计的亚洲东南部的年均温约 0.89℃的差别并不矛盾, 除反映的季节不同外, 也可能与全球气温变化的纬度效应有关. 在各种时间尺度的气候变化中, 高纬地区和高海拔地区的温度变化幅度会显著高于低纬和低海拔地区. 值得指出的是, 由于研究站位距北京城区较近, 石笋温度记录也可能包含一定的城市热岛效应.

人类活动主要在工业革命之后向大气中排放大量温室气体. 1870~1960 AD 期间大气 CO_2 浓度的增加速率约为 0.33 ppmv/a[21], 1960~2000 AD 期间约为 1.35 ppmv/ a(数据来自世界数据中心网站: ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_annmean_mlo.txt). 本文的研究也显示了另外两个现象: 第一, 一些基于数值模拟结果[1]指示人类活动对气候的显著影响开始于 1960 AD, 之前的影响不太明显; 而本文的研究则显示人类活动从 1870 AD 开始就使北京地区暖季温度偏离应有的自然趋势. 第二, 人类活动更为显著的影响开始于约 1915 AD, 比 1960 AD 早约 45 年的时间. 这个结果在分析温室气体排放的历史和责任方面有一定参考价值, 因为 1870~1960 AD 期间的温室气体排放主要来自于工业发达国家.

本文基于北京地区 2650 年来的石笋温度记录, 借助于时间序列分析中的预报功能来试图分离近 150 年来自然因素和人类活动对北京暖季温度变化的影响. 结果显示, 石笋记录的 150 年来北京地区暖季温度为逐渐上升趋势, 而根据此前约 2500 年的自然记录进行的时间序列预报则显示自然状态下应为降低趋势, 1870~2000 AD 期间的降幅估计为(0.45±0.84)℃, 二者的差别应当指示了人类活动对温度变化的影响.

大约从 1870 AD 开始, 人类活动使北京地区温度变化明显偏离自

然变化趋势, 其影响从 1915 AD 开始再次显著加强, 说明人类活动对气温的影响显著早于一些数值模式所显示的时间. 1870~2000 AD 期间, 石笋记录的暖季温度的线性增长幅度为约 1.08℃, 人类活动可能导致北京地区的暖季温度相对于自然变化趋势增加了约(1.53±0.84)℃. 我们的研究也提示应该从正反两方面去认识温室效应的作用, 因为如果近百年来北京暖季温度按照自然趋势降低(0.45±0.84)℃, 也会带来负面的效果.

参考文献

1 IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
2 Stott P A, Tett S F B, Jones G S, et al. Attribution of twentieth century temperature change to natural and anthropogenic causes. Clim Dyn, 2001, 17: 1—21
3 Cubasch U, Voss R, Hegerl G C, et al. Simulation of the influence of solar radiation variations on the global climate with an ocean-atmosphere general circulation model. Clim Dyn, 1997, 13: 757—767
4 Wigley T M L, Jones P D, Raper S C B. The observed global warming record: What does it tell us? Proc Natl Acad Sci USA, 1997, 94: 8314—8320
5 Robinson A B, Robinson N E, Soon W. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. J Am Phys Surg, 2007, 12: 79—90
6 Soon W. Implications of the secondary role of carbon dioxide and methane forcing in climate change: Past, present, and future. Phys Geogr, 2007, 28: 97—125
7 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国应对气候变化的政策与行动. 见: 中华人民共和国国务院新闻办公室, 编. 中国政府白皮书, 2008
8 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2: 3—8
9 周小珊, 陈力强, 李辑, 等. 全球气候变暖条件下沈阳若干气候特征的变化. 高原气象, 2005, 24: 823—828
10 唐国利, 丁一汇. 近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因的分析. 大气科学, 2006, 30: 56—68
11 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实. 高原气象, 2006, 25: 633—642
12 Tan M, Liu T, Hou J, 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, doi: 10.1029/2003GL017352
13 Ghil M, Allen R M, Dettinger M D, et al. Advanced spectral methods for climatic time series. Rev Geophys, 2002, 40: 1003, doi: 10.1029/2000RG000092
14 Vautard R, Ghil M. Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series. Phys Nonlinear Phenom, 1989, 35: 395—424
15 Schlesinger M E, Ramankutty N. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. Nature, 1994, 367: 723—726
16 Plaut G, Ghil M, Vautard R. Interannual and interdecadal variability in 335 years of Central England temperatures. Science, 1995, 268: 710—713
17 黄磊, 邵雪梅, 梁尔源, 等. 青海沙利克山祁连圆柏千年树轮宽度序列的变化特征. 地理研究, 2004, 23: 365—373
18 Keppenne C L, Ghil M. Adaptive filtering and prediction of the Southern Oscillation Index. J Geophys Res, 1992, 97: 20449—20454
19 Ghil M, Jiang N. Recent forecast skill for the E1 Nino/Southern Oscillation. Geophys Res Lett, 1998, 25: 171—174
20 Jones P D, Osborn T J, Briffa K R, et al. Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series. J Geophys Res, 2001, 106: 3371—3380
21 Etheridge D M, Steele L P, Langenfelds R L, et al. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO_2 over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. J Geophys Res, 1996, 101: 4115—4128