

联合气象地温资料分析北京地区的气候变化

姜 晓, 魏东平

中国科学院研究生院计算地球动力学实验室, 北京 100049

摘要 利用 1954—2006 年北京地区 0.8、1.6、3.2m 深度的逐月平均地温资料, 得到其年平均地温并与相应的气温数据进行对比, 分析其变化规律。通过气候倾向率对比分析, 初步给出了该地区 50 年来平均地温和气温的变化趋势, 发现该地区的浅层地温和气温均有所增加, 近年来增加幅度增大。小波分析发现, 该地区浅层地温和气温同时存在约 10 年和 15 年多重周期变化特征, 且均在 20 世纪 70 年代初和 80 年代末发生温度突变。利用世界气象组织判断气候异常的标准得到浅层地温和气温的温度异常年份。这些结果有助于从新的角度(气温联合浅层地温)分析北京地区的气候变化。

关键词 北京地区; 浅层地温; 气温; 气候倾向率; 小波分析

中图分类号 P468

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)07-0022-06

The Climate Analysis Based on Ground Temperature Data in Beijing

JIANG Xiao, WEI Dongping

Computational Geodynamics Laboratory, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The global climate is getting warmer during the 20th century, which has caused a great concern. This study analyzes the relationship and the changing rhythm of ground temperatures at depths of 0.8, 1.6 and 3.2m and the corresponding air temperature during 1954—2006 in Beijing. From the climate change rates, it is shown that the ground temperature and the air temperature are increased in the 51 years, with the increasing rates of 0.05, 0.18, 0.08°C/10a in the 0.8, 1.6, 3.2m for the ground temperature and 0.25°C/10a for the air temperature, and the increasing range is increased in recent years. The wavelet analysis shows a multiple periodic changing trend of either 10 or 15 years, and the temperature saw mutations in the beginning of the 1970's and the end of the 1980's. Before the 1970's, it is in the climatic warm period; during 1972 and 1989, it is in the climate cold period; in the years from 1990 to 2006, it is again in the climate warm period. And based on the results, it is expected that the next 15 or 16 years will see colder climate. But the general trend in the large scale is on the warmer side. Based on the standard established by World Meteorological Organization, the climate abnormal year is determined. The climate abnormal warm year with respect to the ground temperature is around 1963 and 2000, and the climate abnormal cold year is around 1957 and 1970. The abnormal cold year with respect to the air temperature has not been found, but the abnormal warm year is the year of 2006. The results provide a new angle to study the climate change in Beijing.

Keywords Beijing region; ground temperature; air temperature; climate change rate; wavelet analysis

0 引言

人类赖以生存的地球气候日益变暖, 如今已成为世界十大环境问题之首。过去的 30 年中, 地球表面温度平均每 10

年上升约 0.2°C^[1]; 政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 4 次气候变化评估报告^[2]中指出: 近 100 年全球平均地表温度上升了 0.74°C, 1850 年以来最暖的 12 个年有 11 个出现在

收稿日期: 2010-02-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40874047)

作者简介: 姜晓, 硕士研究生, 研究方向为地球动力学, 电子信箱: jiangxiao07@mails.gucas.ac.cn; 魏东平(通信作者), 教授, 研究方向为地震学与地球动力学, 电子信箱: dongping@gucas.ac.cn

1995—2006 年, 过去的 50 年升温率几乎是过去 100 年的 2 倍。近百年来, 中国的气候变化和全球趋势基本一致, 平均气温升高了 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$, 与全球平均增温幅度相近, 并且出现了两个明显的“暖期”: 20 世纪 20 年代至 40 年代以及 80 年代以后。1950 年以来, 无论是年平均气温还是冬季气温, 中国大部分地区都有明显的升高趋势。特别是 2006 年, 中国年平均气温达到 9.92°C , 成为 1951 年以来创纪录的“暖年”^[3]。在中国大陆气候变化的研究中, 人们的注意力主要集中在气温变化方面, 张先恭^[4]利用中国 137 个台站的逐月平均气温划分为 5 个等级, 绘制了全国范围的历年逐月温度等级分布图; 陈隆勋等^[5]于 1991 年利用 160 个台站的每 10 年气温平均值, 对中国气候变化做了统计分析, 发现全球增暖在中国只反映在东北、华北和西北西部地区, 南岭以北, 青藏高原以东地区是变冷区, 在全球温室效应下, 中国气候变化的特点与全球增暖趋势有许多不一致, 他又在 1998 年研究了中国 45 年来的气候变化, 得出近似的结论^[6]; 宋连春^[7]根据全国 336 个台站的逐旬地面气温资料, 利用 EOF 分析、周期图等统计方法, 揭示了中国气温时空变化的特征; 缪后龙等^[8]、史岚等^[9]和王翠花等^[10]分别就近半个世纪最高气温变化特征、日最低气温的时间演变特征做了相关研究; 2008 年高峰等^[11]利用东北地区 52 年的气温资料分析了东北地区平均气温年和各季的气温变化等, 类似的气温研究还有很多, 而对地温的分析并不多见。近 50 年北京气候有一定的变暖趋势^[12], 本文运用气候统计学分析方法和小波分析方法, 对半个世纪以来北京地区浅层地温和气温进行分析, 探究两者的相互关系, 以及二者 50 年来的变化情况, 有助于从另外一个角度得出对于北京地区气候变暖新的认识。

1 资料与方法

1.1 资料

本文选取北京地区 1954—2006 年 0.8、1.6、3.2m 深度年平均地温数据^[13]及相应的年平均气温数据 (来源于中国气象科学数据共享服务网) 研究, 由于 1998 和 1999 年数据缺失, 故在计算中略去这两年, 时间跨度共计 51 年。利用计算气候倾向率和小波系数等值线方法, 分析半个多世纪以来北京地区浅层地温和气温的关系、变化趋势、突变年份以及温度变化的多尺度特征; 选取年最高温度和最低温度, 利用小波系数等值线方法研究其突变年份; 采用距平大于标准差的 2 倍作为异常标准, 分析浅层地温和气温的异常特征^[14]。

1.2 方法

1.2.1 气候倾向率

1983 年, Jones 和 Kelly^[15]提出了“线性趋势”(linear trend) 的概念, 描述某一气象要素 (例如气温) 随时间的变化情况; 此后相关研究将此扩展到降水等随时间的变化, 并将此统称为气温或者降水的气候倾向率^[16-17]。对于某一气象要素的趋势变化, 一般可用如下线性方程表示:

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \quad (1)$$

式中, $\hat{x}_t$ 为年平均温度 (气温和地温), t 为时间 (年), 系数 a_0 和 a_1 可用最小二乘法确定。 $a_1 \times 10$ 为该气象要素的气候倾向率, 表示该气象要素每 10 年的时间变化率。

本文主要关注温度这一气象要素, 包括浅层地温和气温。在这种情况下, 温度随时间的变化关系可以写为

$$T = a_0 + a_1 t \quad (2)$$

式中, T 为所描述的浅层地温和气温, $a_1 \times 10$ 为其气候倾向率, 即每 10 年时间段浅层地温和气温的变化趋势。

1.2.2 小波分析

小波分析的主要思想是将信号分解成时间和频率的独立贡献, 同时又不失原有信号的信息, 是一种信号分解的有效方法。本文采用 Morlet 小波, 因为 Morlet 小波在揭示气候资料的奇异性 (突变点) 方面表现出良好的性能^[18]。对于时间序列 $f(x)$, 小波变换定义为

$$W_f(a, b) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi^* \left(\frac{x-b}{a} \right) dx \quad (3)$$

式中, $W_f(a, b)$ 为小波系数, a 为伸缩因子, 决定小波的宽度, $b \in R$ 为平移因子, 是反映小波位置移动的参数; ψ^* 为小波母函数 ψ 的共轭函数。

Morlet 小波母函数为

$$\psi(x) = C e^{\frac{x^2}{2}} \cos 5x \quad (4)$$

式中, C 为重构时的归一化常数。

小波变换适用于气候变化的多层次时间尺度结构、局部突变特征, 以及正常气候变化中所附带的瞬态反常现象的分析^[19]。本文做出年平均温度 (浅层地温和气温) 小波系数等值线图, 以分析其不同时间尺度下温度的变化情况。

2 统计结果与分析

2.1 浅层地温和气温的相互关系

从 1954—2006 年年平均温度的地气温差 (图 1) 看, 半个世纪以来, 地气温差呈现出“降—增—降”的变化趋势, 总体

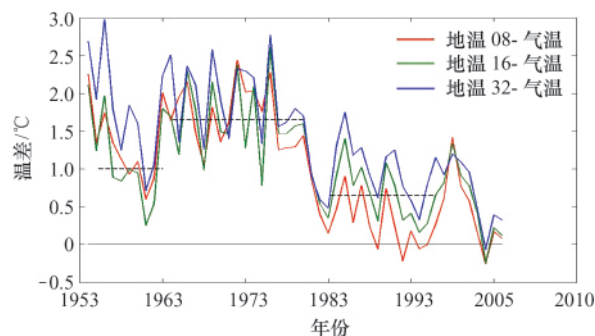


图 1 北京地区 0.8、1.6、3.2m 年平均浅层地温和年平均气温温差

Fig. 1 Temperature difference between the yearly mean ground temperature at depths of 0.8, 1.6 and 3.2m and the air temperature in Beijing

的增幅最小,分别为每 10 年 0.12℃和每 10 年 0.08℃。不过,最高温度气候倾向率则表明 3.2m 处温度增温最大,1.6m 次之,分别为 0.06 和 0.05℃/10a;0.8m 深度下地温却呈降低趋势,平均为-0.02℃/10a。此外,气温呈显著的增加趋势,且幅值远远高于各深度地温相应气候倾向率,气温倾向率基本上都比地温倾向率高出 3 倍以上。

表 2 为不同时间段下 3 个深度地温和气温的气候倾向率。可以看出,随着时间的推移,不同深度下地温大部分仍然呈上升趋势,但 1.6 和 3.2m 深度的地温倾向率明显高于气温和 0.8m 深度的地温倾向率,而在 1964—1994 年间,0.8m 的地温倾向率为-0.06℃/10a,表明该时间段内 0.8m 地温持续降低。结果也显示,1964—1994 年温度的气候倾向率明显高于 1954—1984 年气候倾向率 (0.8m 地温除外);1974—2006 年地温的气候倾向率又明显高于 1964—1994 年气候倾向率。进一步说明近年温度增加的幅度有所上升,而且增加速度有所变大。同样也可以看出,相应的气温气候倾向率要比地温气候倾向率大很多,结合上一段的结果似乎表明在气候变暖前提下,气温比地温的响应更快、更强烈。

2.3 浅层地温和气温的多尺度变化和突变

为了更好地分析北京地区地温和气温变化规律和特征,对年平均地温、年平均气温分别进行 Morlet 小波分析,绘出

其小波系数等值线图,结果如图 3 所示。

表 2 北京地区 0.8、1.6、3.2m 深度地温和气温不同时间阶段的气候倾向率 (单位:℃/10a)

Table 2 Climate trend rate of 0.8, 1.6, 3.2m ground temperature and the air temperature in different periods in Beijing (unit: ℃/10a)

时段	地温			气温
	0.8m	1.6m	3.2m	
1954—1984	0.02	0.02	-0.12	0.11
1964—1994	-0.06	0.19	0.20	0.70
1974—2006	0.20	0.27	0.25	0.70

图 3 显示,北京地区年平均地温和年平均气温具有明显的周期性特征,地温和气温变化存在明显的年代际尺度变化,年际小尺度的周期震荡波数多、频率高,年代际较大尺度的周期震荡波数少、频率低。年代际变化以 40~50 年和 25~35 年尺度的周期信号最明显,在 40~50 年尺度上北京地区 51 年来地温和气温变化均表现为一个冷期和两个暖期,周期约为 15 年;25~35 年尺度上周期信号相对较弱,地温和气温均表现为 2 个冷期和 3 个暖期,周期约为 10 年;在 10~20 年小

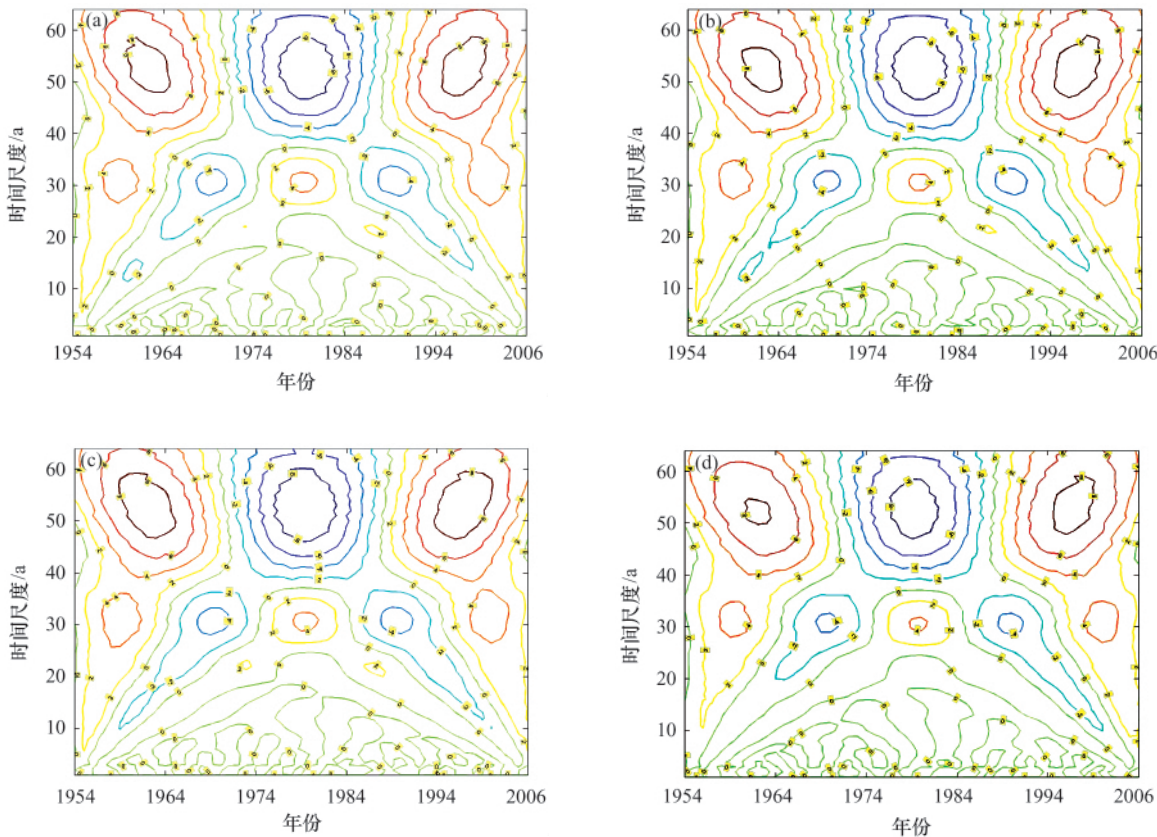


图 3 北京地区 0.8m(a), 1.6m(b), 3.2m(c)地温和气温(d)变化的小波系数等值线图

Fig. 3 Wavelet coefficient contour map of 0.8m (a), 1.6m (b), 3.2m (c) ground temperature and the air temperature (d) in Beijing



尺度上也存在着温度的周期变化,表现为4个暖期和3个冷期,因其幅度较小,在此不做考虑。不同尺度下到了2006年均为暖期闭合阶段。上述结果表明,北京地区存在大约10年和15年为周期的多重时间尺度结构的变化特征,目前北京地区地温和气温正处于一个温度偏高的阶段,据此推测,接下来的一个时期可能为温度下降期。同时,数据显示各层温度在1972年前后和1990年前后均发生突变(表3)。其中,1972年之前为温度偏冷期,1972—1990年为温度偏暖期,1990年以后又是一个温度偏冷期。温度暖期为20世纪70年代末和整个80年代。这与北半球气温20世纪中期开始增温,80年代最暖的结论相符^[3]。以上是用小波变换分析半个世纪以来温度变化的趋势,这又从另外一个角度验证了本文的第二部分的结果。

表3 北京地区0.8、1.6、3.2m地温和气温的突变时间
Table 3 Mutation year of 0.8, 1.6, 3.2m ground temperature and the air temperature in Beijing

	地温			气温
	0.8m	1.6m	3.2m	
最高温突变年	1973,1989	1972,1990	1972,1990	1972,1989
最低温突变年	1973,1990	1972,1989	1972,1989	1972,1989
年平均温度突变年	1972,1990	1972,1990	1972,1990	1972,1990

2.4 浅层地温和气温的异常特征

本文采用世界气象组织判断气候异常的标准,即当某年份平均温度与多年平均值的差异超过多年平均温度标准差的两倍以上时,通常认为该年份温度异常^[14]。为此计算3层深度处地温及气温的年平均温度和51年平均值及其标准差(计算过程和结果略),进而得出温度变化的异常年份(表4)。结果显示,51年来,北京地区年平均气温未出现异常偏冷的年份,但在2006年出现异常偏暖。不过,3层深度处年平均地温异常明显,其中在1963年均出现异常偏暖,而0.8和1.6m深度地温在2000年出现了异常偏暖,1.6和3.2m深度地温则在1957年和1970年前后出现异常偏冷现象,但0.8m深度地温51年来未出现异常偏冷。

表4 北京0.8、1.6、3.2m地温和气温的异常年份
Table 4 Anomalous year of 0.8, 1.6, 3.2m ground temperature and the air temperature in Beijing

	0.8m	1.6m	3.2m	气温
异常暖年份	1963,2000	1963,2000	1963	2006
异常冷年份	—	1957,1970	1957,1971	—

3 结论

1) 3个深度下年平均地温和年平均气温的温差整体呈下降趋势,自1979年以来温差显著下降,在2004年地气温差

达到最小。

2) 从气候倾向率来看,北京地区0.8、1.6、3.2m深度下的温度和气温半个世纪以来呈上升趋势,年平均温度增加幅度分别为0.05、0.18、0.08、0.25℃/10a。气温增温率与全球表面增温率量级(约0.2℃/10a)^[11]接近。最高温度和最低温度亦存在同样的变化趋势,但变化幅度略有不同,而以1.6m地温的变化幅度最大。气温变化明显高于地温变化,表明气温对气候变暖响应更快、更强烈。

3) 通过小波系数等值线分析得到的结论为:北京0.8、1.6、3.2m深度处的地温和气温半个世纪以来经历了两次突变,分别是1972年从温度偏冷时期转入温度偏暖时期,80年代为一个气候暖期,1990年从温度偏暖时期又转入温度偏冷期,这与文献[2]中所得气温变化的结果相符合。另外还得出北京地区地温和气温存在大约为10年和15年的周期变化特征。据结果推测,目前北京地区地温和气温正处于一个温度暖期的最后阶段,接下来可能会迎来温度相对较低的气候冷期。

4) 0.8m地温在1963和2000年出现了异常偏暖;1.6m地温和3.2m地温在1963年出现了异常偏暖,在1957和1970年出现了异常偏冷;气温只在2006年表现为异常偏暖。

以上的结论都有助于从地温和气温的角度研究气候变暖前提下北京地区的气候变化,结果显示:北京地区气温增温率与全球表面气温增温率接近,地温增温率幅度较小;利用地温得到的气候冷暖交替期与气温得到的冷暖交替期相符;但是在温度异常方面地温和气温表现出不一致性,这主要是由于地温的变化不仅受到外界气候的影响,还与地表浅层介质的参数有关,在此不做深入探讨。

致谢 本研究得到中国科学院研究生院博士生张克亮,硕士生皇甫海泉和刘迁迁的建议和帮助,特此感谢。

参考文献 (References)

- [1] Hansen J, Sato M, et al. Global temperature change[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006, 103(39): 14288.
- [2] Alley R, Berntsen T, Bindoff N, et al. Summary for policymakers[M]// Solomon S, Qin D, Manning M, et al. ed. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 1-18.
- [3] 秦大河. 中国气候与环境演变[J]. *资源与环境发展*, 2007, 3: 1-4. Qin Dahe. *Resources and Environment Development*, 2007, 3: 1-4.
- [4] 张先恭. 本世纪我国气温变化的某些特征 [J]. *气象学报*, 1982, 40(2): 198-208. Zhang Xiangong. *Acta Meteorologica Sinica*, 1982, 40(2): 198-208.
- [5] 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[J]. *应用气象学报*, 1991, 2(2): 164-174. Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qingfen, et al. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1991, 2(2): 164-174.
- [6] Chen Longxun, Zhu Wenqin, Wang Wen, et al. Studies on climate change in China in recent 45years [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, 12(1): 1-17.
- [7] 宋连春. 近40年我国气温时空变化特征[J]. *应用气象学报*, 1994, 5(1): 119-124.



- Song Lianchun. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1994, 5(1): 119-124.
- [8] 缪启龙, 周自江, 殷永元. 中国近半个世纪最高气温变化特征[J]. *气象科学*, 1998, 18(2): 103-112.
Miao Qilong, Zhou Zijiang, Yin Yongyuan. *Scientia Meteorologica Sinica*, 1998, 18(2): 103-112.
- [9] 史岚, 王翠花, 李雄. 中国近 50a 来日最低气温的时间演变特征[J]. *气象科学*, 2003, 23(2): 300-307.
Shi Lan, Wang Cuihua, Li Xiong. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2003, 23(2): 300-307.
- [10] 王翠花, 李雄, 缪启龙. 中国近 50 年来日最低气温变化特征研究[J]. *地理科学*, 2003, 23(4): 441-447.
Wang Cuihua, Li Xiong, Miao Qilong. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(4): 441-447.
- [11] 高峰, 王宝书. 全球变暖与东北地区气温变化研究 [J]. *海洋预报*, 2008, 25(1): 25-30.
Gao Feng, Wang Baoshu. *Marine Forecasts*, 2008, 25(1): 25-30.
- [12] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(4): 1-6.
Zhang Jingjing, Chen Shuang, Zhao Xinyi. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(4): 1-6.
- [13] 中国科学院兰州高原大气物理研究所. 中国月平均地温资料 [R]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 1986.
Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences. The monthly ground temperature in China [R]. Lanzhou: Cold and Arid Regions

- Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 1986.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
Wei Fengying. Modern climate Statistical diagnosis and prediction[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999.
- [15] Jones P D, Kelly P M. The spatial and temporal characteristics of northern hemisphere surface air temperature variations [J]. *Journal of Climatology*, 1983, 3: 243-252.
- [16] 林学椿, 于淑秋. 近 40 年我国气候趋势[J]. *气象*, 1990, 16(10): 16-21.
Lin Xuechun, Yu Shuqiu. *Meteorological Monthly*, 1990, 16(10): 16-21.
- [17] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征 [J]. *应用气象学报*, 2000, 11(3): 322-330.
Ren Guoyu, Wu Hong, Chen Zhenghong. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2000, 11(3): 322-330.
- [18] 马德栗, 缪启龙, 朱公群. 合肥市 53 年气温变化特征分析[J]. *气象与减灾研究*, 2008, 31(3): 35-42.
Ma Deli, Miao Qilong, Zhu Gongqun. *Meteorology and Disaster Reduction Research*, 2008, 31(3): 35-42.
- [19] 阎琦, 崔锦, 吴艳青. 1951—2005 年鞍山冬季气温变化分析 [J]. *气象与环境学报*, 2008, 24(4): 53-55.
Yan Qi, Cui Jin, Wu Yanqing. *Journal of Meteorology and Environment*, 2008, 24(4): 53-55.
- [20] 陈隆勋. 中国近 45 年来气候变化的研究 [J]. *气象学报*, 1998, 56(3): 257-271.
Chen Longxun. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, 56(3): 257-271.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·



“中国密码学会 2010 年会”征文

由中国密码学会主办的“中国密码学会 2010 年会”(ChinaCrypt2010) 将于 10 月 16-18 日在北京举行。

本届年会征文内容涵盖密码学理论和应用的各个分支领域, 论文内容须是未向学术刊物和正式出版会议论文集的学术会议投稿的研究成果。录用论文的 1/3 将推荐到《北京大学学报》发表; 年会论文集将由科学出版社出版。征文截止日期: 2010 年 5 月 15 日。会议网站: <http://chinacrypt2010.cacrnet.org.cn/index/>。

联系方式: 沈得浚, 电话: 13521452380; 电子信箱: sxx@math.pku.edu.cn。

·学术动态·



“中国食品科学技术学会 第七届年会”征文

由中国食品科学技术学会主办的“中国食品科学技术学会第七届年会”将于 2010 年 11 月初在北京举行。

会议征文范围: 食品安全热点问题, 食品检测技术, 食品营养与健康, 功能食品, 食品生物技术与生物化学, 食品化学与食品技术, 感官评价与风味化学, 食品包装与储藏, 食品加工新技术、新产品, 节能减排及其他。征文截止日期: 2010 年 7 月 31 日。会议网站: <http://www.cifst.org.cn/showInfo.asp?id=1781>。

联系方式: 北京市东城区灯市口大街 75 号中科大厦 B201(100006) 席炎; 电话: 010-65265375; 传真: 010-65264731; 电子信箱: cifstam@163.com。