

王春红, 张讲社, 延晓东, 等. 2009. 1961~2004年漠河年均温与持续极端气温频数的变化分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (5): 546-552. Wang Chunhong, Zhang Jianshe, Yan Xiaodong, et al. 2009. Variations of annual mean temperature and durative extreme temperature frequency at Mohe during 1961-2004 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (5): 546-552.

## 1961~2004年漠河年均温与持续极端气温频数的变化分析

王春红<sup>1</sup> 张讲社<sup>1</sup> 延晓东<sup>2</sup> 秦旭<sup>1</sup>

1 西安交通大学理学院, 西安 710049

2 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029

**摘要** 利用漠河站点 1961~2004 年逐日平均、最高和最低气温资料计算得到的年均温、年变化和季节变化的持续暖日和冷夜频数, 分析了它们的线性趋势、增量、显著性和平稳性。其中年均温升高了约 1.61 °C, 年持续暖日频数增加了约 4 次, 冬季持续暖日频数和夏季持续冷夜频数都呈显著增加趋势。分别对年均温和年持续频数的线性回归关系, 以及年均温和季持续频数的线性回归关系进行了显著性检验。在线性回归关系显著的情况下, 分别就各频数序列对年均温的影响逐一进行显著性检验, 从而揭示了年均温与各频数序列的变化关系。研究结果表明: 从按年变化的角度来分析, 年均温的升高是由年持续暖日频数的增加和年持续冷夜频数的减少共同显著影响的; 从按季变化的角度来分析, 年均温的升高主要由春、夏季持续暖日频数的增加和春、秋季持续冷夜频数的减少共同显著影响的。

**关键词** 年均温 持续暖日频数 持续冷夜频数

**文章编号** 1006-9585 (2009) 05-0546-07 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

### Variations of Annual Mean Temperature and Durative Extreme Temperature Frequency at Mohe During 1961 - 2004

WANG Chunhong<sup>1</sup>, ZHANG Jianshe<sup>1</sup>, YAN Xiaodong<sup>2</sup>, and QIN Xu<sup>1</sup>

1 School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049

2 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

**Abstract** Annual mean temperature, frequency of annual durative warm days and cold nights, and frequency of seasonal durative warm days and cold nights were calculated based on the daily mean, maximum and minimum temperature at Mohe during 1961-2004. Linear trends, increments, significance tests and stationarity test were analyzed. Annual mean temperature increased by 1.61 °C and the frequency of annual durative warm days rose by four times. There were significant increasing trends in both frequency of winter durative warm days and summer durative cold nights. Significance tests were made on linear regression relationship between annual mean temperature and frequency of annual durative series, and frequency of seasonal durative series. As the linear regression relationship was

**收稿日期** 2008-11-08 收到, 2009-09-22 收到修定稿

**资助项目** 国家重点基础研究发展计划 973 项目 2006CB400500、2007CB311002

**作者简介** 王春红, 女, 1981 年出生, 博士研究生, 主要从事极端气候变化的统计研究。E-mail: haitian@stu.xjtu.edu.cn;

statistically significant, significance tests were made on every frequency series to the annual mean temperature individually, to indicate the correlation among them. The results were as follows: From annual aspect, the increase in the annual mean temperature was significantly influenced by the increase of annual durative warm day frequency and the decrease of annual durative cold night frequency; from seasonal aspect, the increase in annual mean temperature was significantly influenced by the increase of spring and summer durative warm day frequency, together with the decrease of spring and autumn durative cold night frequency.

**Key words** annual mean temperature, frequency of durative warm days, frequency of durative cold nights

## 1 引言

20 世纪以来, 由于全球气候变暖 (IPCC, 2001), 极端气温事件频繁发生, 对人类社会经济和环境产生了巨大影响。近年来国内外学者利用多种方法从不同空间和时间角度对全球变暖背景下的极端气温变化进行了一系列的研究 (Karl et al., 1996; 任福民等, 1998; Jones et al., 1999; Zhai et al., 1999; 严中伟等, 2000; 潘晓华等, 2002a, 2002b; 翟盘茂等, 2003; Klein et al., 2003; 唐红玉等, 2005; 张宁等, 2008), 并取得了许多重要研究成果。任福民等 (1998) 研究认为, 中国在 1951~1990 年里极端最低温度和平均最低温度都趋于增高, 但是季极端温度的变化趋势存在较大的季节性差异; 潘晓华 (2002a) 指出, 我国极端温度事件频率呈 10 年左右的年代际振荡, 冬季全国增温趋势最大并且最明显; Klein et al. (2003) 采用极端气候指数研究了欧洲日极端气温的变化趋势; 唐红玉等 (2005) 分析认为, 无论是年还是季, 平均最低气温增暖幅度明显大于平均最高气温的幅度。

从上述研究看, 众多学者多以逐月气温资料中的绝对极端值或全年逐日序列的百分位阈值作为研究对象, 并且关于持续极端气温频数的变化鲜有研究。与 Zhai et al. (2003) 定义的以 1961~1990 年同日百分位数平均值为阈值的暖日 (冷夜) 不同, 本文采用了 Jones et al. (1999) 提出的方法, 基于 1961~2004 年同日百分位数字序列定义了暖日指数和冷夜指数, 然后将至少连续三天 (中间间隔不超过两天也认为是连续的) 出现暖日 (冷夜) 定义为出现一次持续暖日 (冷夜), 从而得到按年变化和按季节变化的持续暖日 (冷夜) 频数。本文之所以选取具有“神州北极”之称的

漠河站点进行研究, 是为了与谈建国等 (2004) 采用的以绝对值阈值定义的热浪进行区分, 在这个国内最冷的地方会出现持续暖日, 但却不会出现热浪天气。本文通过对持续暖日和持续冷夜的年频数和季节频数变化情况的分析, 可以得出持续极端气温的历史变化情形, 有利于从一个新的角度揭示和解释漠河地区的气候变化。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源及预处理

本文所用资料为中国气象局国家气象信息中心提供的黑龙江省漠河站点的逐日平均气温、最高气温和最低气温资料, 资料长度为 1961~2004 年, 另外还包括 2005 年 1~2 月资料。气候变化研究必须建立在可靠的资料基础上, 由于漠河站点从未迁站, 本文便省去了非均一性校订的工作, 只对缺测进行了处理。其中逐日最高气温资料没有缺测, 逐日平均气温资料共缺测 6 天, 逐日最低气温资料共缺测 7 天, 它们的月缺测数据都没有超过 3 天, 并且都无连续缺测。对于缺测值本文采用线性插值的方法补齐。

### 2.2 年均温、暖日和冷夜的确定

本文的年均温是通过每年的逐日平均气温求平均值而得的, 记为  $T_m$ 。类似 Jones et al. (1999) 采用的相对的极端高温和低温指数, 将漠河站点 1961~2004 年中同日的最高 (低) 气温资料按升序排列, 得到该日第 90 (10) 个最高 (低) 气温的百分位值, 照此方法可得到 366 个最高 (低) 气温的第 90 (10) 个百分位值, 将之作为极端高 (低) 温的上 (下) 阈值, 即国际上通用的暖日指数 ( $T_{x90P}$ ) 和冷夜指数 ( $T_{n10P}$ )。如果某日的最高气温高于该日暖日指数, 则认为该日出现了暖日; 同理如果某日的最低气温低于该日

冷夜指数,则认为该日出现了冷夜。如此便可以判断每一天是否出现暖日和冷夜。在关于百分位数的具体编程中采用的是梅长林等(2006)编写的《数据分析方法》一书中定义的分位数方法。

### 2.3 持续暖日、冷夜频数的确定

若至少连续三天出现暖日(两次暖日中间间隔不超过2天都认为是连续出现),本文将其定义为出现一次持续暖日,由此便得到1961~2004年各年的持续暖日出现的频数。同理可得1961~2004年各年的持续冷夜出现的频数,1961~2004年各年的四个季节的持续暖日和冷夜频数。在求取按季节变化持续暖日和冷夜频数过程中,遵循惯例,认为春季包含3、4、5月,夏季包含6、7、8月,秋季包含9、10、11月,而冬季则包含当年12月与次年1、2月。值得注意的是,求冬季的持续暖日和冷夜频数时还要用到2005年1、2月份的气温资料。年持续暖日、冷夜频数序列简记为 $F_w$ 、 $F_c$ ;春、夏、秋、冬季持续暖日频数分别简记为 $F_{spw}$ 、 $F_{suw}$ 、 $F_{auw}$ 、 $F_{wiw}$ ;春、夏、秋、冬季持续冷夜频数分别简记为 $F_{spc}$ 、 $F_{suc}$ 、 $F_{auc}$ 、 $F_{wic}$ 。

### 2.4 方法

本文在计算线性趋势系数,判断其显著性的检验,判断线性回归关系的显著性检验以及对每个自变量关于因变量逐一做显著性检验时都采用的梅长林等(2006)编写的《数据分析方法》一书中的方法,在此不一一赘述。平稳性的判断采用游程检验(巩永丽,2007)的方法。

## 3 应用分析与结论

漠河年均温如图1所示,年持续暖日、冷夜

频数如图2所示,图中虚线代表线性拟合,方程为线性拟合方程。从图1、2中可以看出,1961~2004年漠河年均温呈不断升高的趋势(共升高了 $1.61\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),年持续暖日频数也呈不断增长的趋势(增加了约4次),而年持续冷夜频数却在呈不断减少的趋势。这与Zhai et al.(2003)得到的1951~1999年中国北方暖日次数增加和冷夜次数减少的结论是一致的。

按季节变化的持续暖日、冷夜频数分别如图3和图4所示。

表1给出了上述11个序列的线性趋势估计值、1961~2004年间的增量和平稳性。应用双尾 $t$ 检验判断各线性趋势的显著性,取显著性水平为0.05(下同)。平稳性采用游程检验(巩永丽,2007)的方法判断。

表1表明漠河的年均温和年持续暖日频数呈显著上升趋势,年持续冷夜频数呈轻微下降趋势。冬季持续暖日频数的显著上升对年持续暖日频数的增加起到了主要贡献作用。而年持续冷夜频数却在呈显著上升趋势的夏季持续冷夜频数、呈显著下降趋势的冬季持续冷夜频数和轻微下降趋势的春秋季节持续冷夜频数的相互作用下呈轻微下降趋势。此处需要指出的是冬季持续暖日频数和夏季持续冷夜频数都呈显著增加趋势,这与传统意义上的热浪更易出现在夏季,寒潮更易出现在冬季的观念刚好不同。从相对意义上来看,这表明1961~2004漠河冬季出现较高的最高温度的次数越来越多了,夏季出现较低的最低温度的次数也越来越多了,这与任福民等(1998)和潘晓华(2002a)中相关结论是一致的,也从一个新的

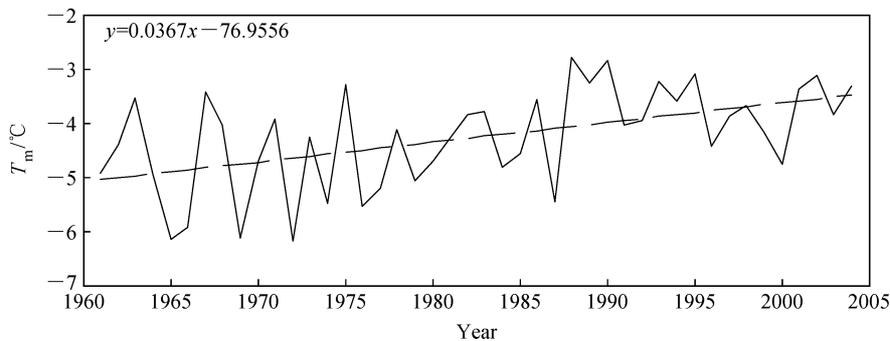


图1 1961~2004年漠河的年均温

Fig. 1 Annual mean temperature at Mohe during 1961-2004

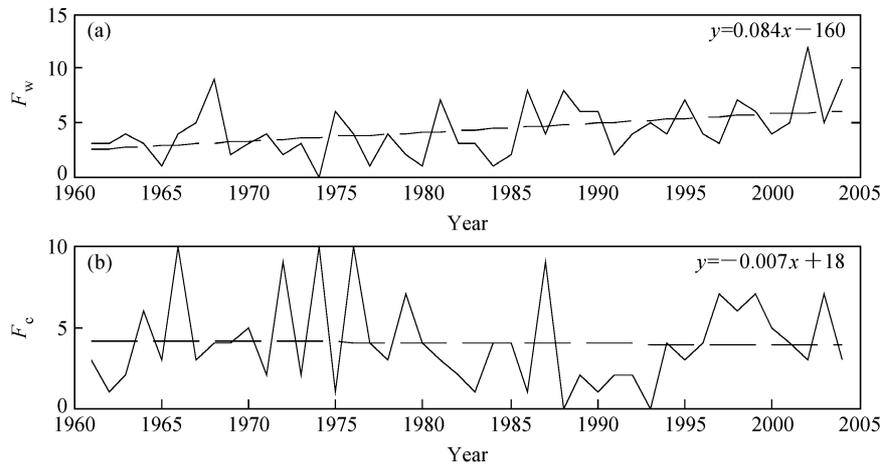


图 2 1961~2004 年漠河年持续 (a) 暖日频数、(b) 冷夜频数  
Fig. 2 Frequency of annual durative (a) warm days, (b) cold nights at Mohe during 1961-2004

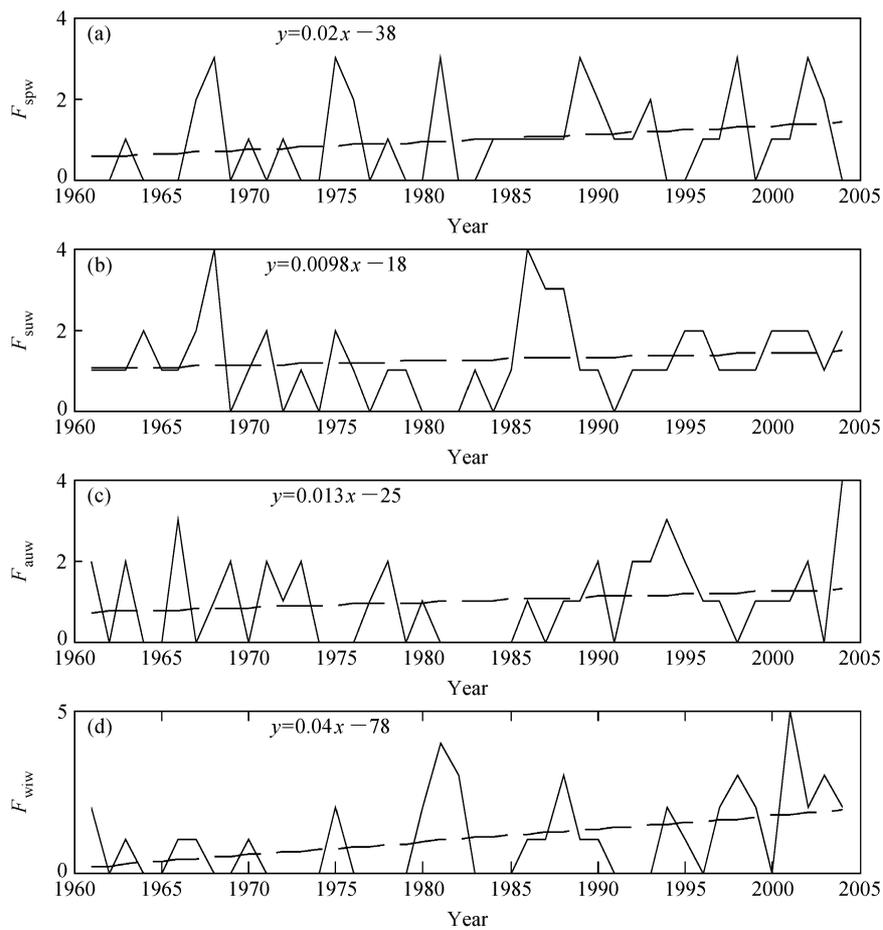


图 3 1961~2004 年漠河 (a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季和 (d) 冬季的持续暖日频数  
Fig. 3 Frequency of (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter durative warm days at Mohe during 1961-2004

角度揭示了全球变暖的可能机制。原因有待于进一步思考。除冬季持续暖日频数序列非平稳外，

其它频数序列都是平稳的。

为进一步得到年均温与上述频数序列的变化

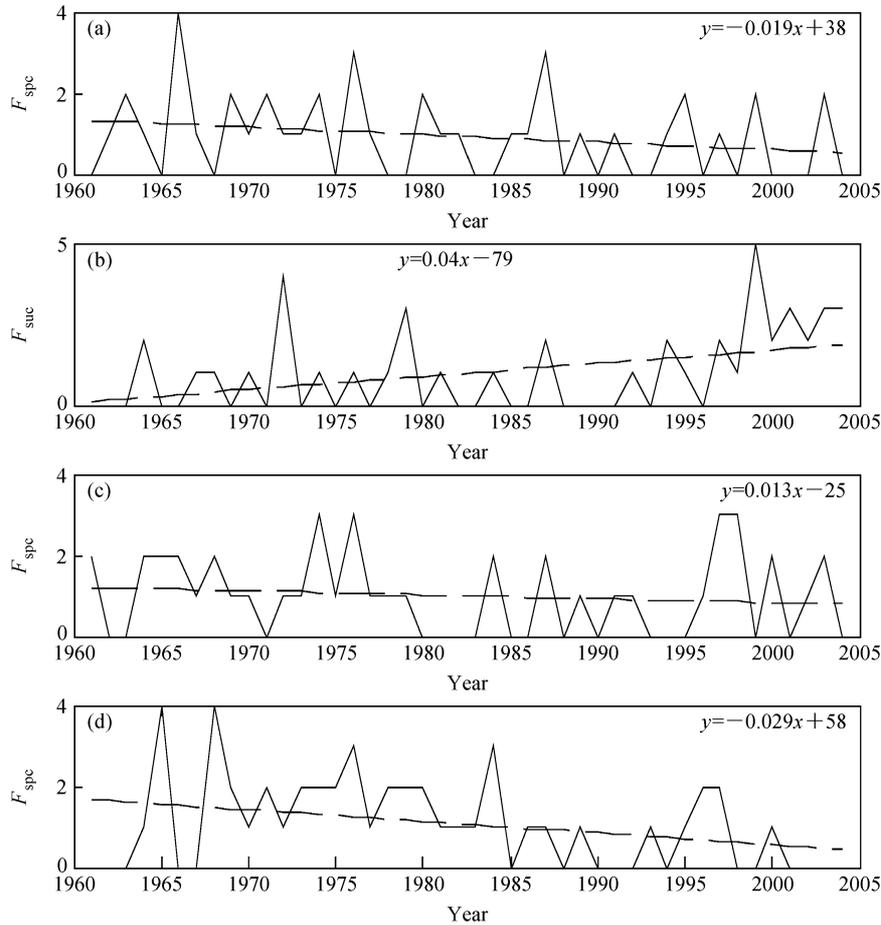


图 4 1961~2004 年漠河 (a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季和 (d) 冬季的持续冷夜频数

Fig. 4 Frequency of (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter durative cold nights at Mohe during 1961 - 2004

表 1 11 个变量序列的线性趋势值、增量和平稳性  
Table 1 Linear trends, increment, and stationarity of the 11 series

变量	线性趋势值	44 年增量	平稳性
$T_m$	0.0367 *	1.6148 *	平稳
$F_w$	0.0837 *	3.6828 *	平稳
$F_c$	-0.0071	-0.3124	平稳
$F_{spw}$	0.0197	0.8668	平稳
$F_{suw}$	0.0098	0.4312	平稳
$F_{auw}$	0.0131	0.5764	平稳
$F_{wiw}$	0.0400 *	1.7600 *	非平稳
$F_{spc}$	-0.0185	-0.8140	平稳
$F_{suc}$	0.0402 *	1.7688 *	平稳
$F_{auc}$	-0.0097	-0.4268	平稳
$F_{wic}$	-0.0285 *	-1.2540 *	平稳

注：线性趋势值， $T_m$  单位为  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$ ，其他变量单位为  $\text{a}^{-1}$ ；44 年增量， $T_m$  单位为  $^{\circ}\text{C}$ ，其他变量无量纲。\* 代表通过 95% 显著性检验

关系，本文选用线性回归模型进行模拟。首先验证  $T_m$  与  $F_w$ 、 $F_c$  之间是否具有线性回归关系，并

使用  $F$  检验判断回归关系是否显著。经检验，它们之间存在显著的线性回归关系，方程为：

$$T_m = -4.3897 + 0.1926F_w - 0.1716F_c.$$

这表明用如上线性回归方程来模拟  $T_m$  与  $F_w$ 、 $F_c$  三者之间的关系是合理的，为了进一步得到每一个自变量对因变量的线性影响是否显著，本文还对  $F_w$ 、 $F_c$  关于  $T_m$  逐一做了显著性检验。

表 2 给出了对  $F_w$ 、 $F_c$  关于  $T_m$  逐一做显著性检验 ( $t$ -test) 的  $p$  值和显著性。其中  $p$  值代表检验统计量的值，若小于 0.05，则认为是显著的，显著性记为 1，表明此自变量对因变量的影响是显著的，否则显著性记为 0，表明此自变量对因变量的影响不显著，甚至可以忽略。由上线性回归方程和表 2 可知，年均温的升高是由年持续暖日频数的增加和年持续冷夜频数的减少共同造成的，并且年持续暖日频数和年持续冷夜频数对年均温的影响都是非常显著的。

表 2 对  $F_w$ 、 $F_c$  关于  $T_m$  逐一做显著性检验 ( $t$ -test) 的  $p$  值和显著性

Table 2  $p$ -values and significance tests on  $F_w$  and  $F_c$  to  $T_m$

变量	检验 $p$ 值 ( $\times 10^{-6}$ )	显著性
$F_w$	1.721	1
$F_c$	3.156	1

注: 显著性 1 表示显著, 0 表示不显著

用同样的方法检验  $T_m$  与  $F_{spw}$ 、 $F_{suw}$ 、 $F_{auw}$ 、 $F_{wiw}$ 、 $F_{spc}$ 、 $F_{suc}$ 、 $F_{auc}$ 、 $F_{wic}$  之间的线性回归关系和显著性, 可以得到方程:

$$T_m = -4.2691 + 0.2773F_{spw} + 0.2195F_{suw} + 0.1088F_{auw} + 0.1520F_{wiw} - 0.2223F_{spc} - 0.0943F_{suc} - 0.3071F_{auc} - 0.1761F_{wic}$$

经检验, 此线性回归关系也是显著的。为了进一步得到每一个自变量对因变量的线性影响是否显著, 本文还对  $F_{spw}$ 、 $F_{suw}$ 、 $F_{auw}$ 、 $F_{wiw}$ 、 $F_{spc}$ 、 $F_{suc}$ 、 $F_{auc}$ 、 $F_{wic}$  关于  $T_m$  逐一做了显著性检验。表 3 给出了对  $F_{spw}$ 、 $F_{suw}$ 、 $F_{auw}$ 、 $F_{wiw}$ 、 $F_{spc}$ 、 $F_{suc}$ 、 $F_{auc}$ 、 $F_{wic}$  关于  $T_m$  逐一做显著性检验 ( $t$ -test) 的  $p$  值和显著性。

表 3 对  $F_{spw}$ 、 $F_{suw}$ 、 $F_{auw}$ 、 $F_{wiw}$ 、 $F_{spc}$ 、 $F_{suc}$ 、 $F_{auc}$ 、 $F_{wic}$  关于  $T_m$  逐一做显著性检验 ( $t$ -test) 的  $p$  值和显著性

Table 3  $p$ -values and the significance test on  $F_{spw}$ 、 $F_{suw}$ 、 $F_{auw}$ 、 $F_{wiw}$ 、 $F_{spc}$ 、 $F_{suc}$ 、 $F_{auc}$ 、and  $F_{wic}$  to  $T_m$

变量	检验 $p$ 值	显著性
$F_{spw}$	0.0043	1
$F_{suw}$	0.0156	1
$F_{auw}$	0.2152	0
$F_{wiw}$	0.0535	0
$F_{spc}$	0.0145	1
$F_{suc}$	0.1847	0
$F_{auc}$	0.0034	1
$F_{wic}$	0.0551	0

注: 显著性 1 表示显著, 0 表示不显著

由此可以看出年均温随按季节变化的持续暖日频数的增加而升高, 随按季节变化的持续冷夜频数的增加而下降, 但只有春季、夏季持续暖日频数和春季、秋季持续冷夜频数对年均温的影响是显著的。

## 4 结语

本文的主要结果有:

(1) 先对漠河站点求出了年均温、按年变化和按季节变化的持续暖日、冷夜频数, 并研究了它们的线性趋势值、44 年增量和平稳性。结果表明 1961~2004 年漠河的年均温呈显著上升趋势; 冬季持续暖日频数的显著上升对年持续暖日频数的显著增加起到了主要贡献作用; 而年持续冷夜频数却在呈显著上升趋势的夏季持续冷夜频数、呈显著下降趋势的冬季持续冷夜频数和轻微下降趋势的春秋季节持续冷夜频数的相互作用下呈轻微下降趋势; 1961~2004 年漠河冬季出现较高的日最高温度的次数越来越多, 夏季出现较低的日最低温度的次数也越来越多了,

(2) 分别对年均温和年持续暖日、冷夜频数, 年均温和季持续暖日、冷夜频数的线性回归关系进行了显著性检验。结果显示这两个线性回归关系都是显著的。并且从第一个回归方程中可以看出年均温随年持续暖日频数的增加而上升, 随着年持续冷夜频数的增加而下降, 从第二个回归方程中可以得到年均温随按季节变化的持续暖日频数的增加而上升, 随着按季节变化的持续冷夜频数的增加而下降。

(3) 在上述两个线性回归模型中分别对各频数序列对年均温的影响逐一做了显著性检验即  $t$ -test, 结果表明只有年持续暖日频数、年持续冷夜频数、春季、夏季持续暖日频数和春季、秋季持续冷夜频数在相应的线性回归模型里对年均温的影响是显著的。

本文在确定出现一次持续极端气温时采用了至少连续 3 天 (中间间隔不超过两天都认为是连续) 出现极端气温的方法, 但还可对此进一步改进, 比如采用连续五天, 或中间间隔不超过一天出现极端气温的方法。本文只考虑了持续极端气温频数, 对每次的持续时间即强度和两次持续极端气温之间的间隔天数等都值得进一步研究。本文只考虑了线性回归模型, 还可以用非参数回归方法去寻求它们之间更为细致的关系。另外对中国其它站点的分析和与传统热浪寒潮的比较等问题也都值得进一步探讨。

## 参考文献 (References)

巩永丽. 2007. 中国人口增长率的非参数自回归模型 [D]. 西安理

- 工大学硕士学位论文. Gong Yonglin. 2007. Nonparametric autoregressive model of Chinese population rate [D]. M. S. thesis (in Chinese), Xi'an University of Technology.
- IPCC. 2001. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. USA: Cambridge Univ. Press, 155-164.
- Jones P D, Horton E B, Folland C K, et al. 1999. The use of indices to identify change in climatic extremes [J]. *Climatic Change*, 42: 131-149.
- Karl T R, Easterling D R, Quayle R G. 1996. Indices of climate change for the United States [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77: 279-292.
- Klein A M G, Konnen G P. 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe [J]. *J. Climate*, 16 (22): 3665-3680.
- 梅长林, 范金城. 2006. 数据分析方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2: 2-48. Mei Changlin, Fan Jincheng. 2006. *Methodology of Data Analysis* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2: 2-48.
- 潘晓华. 2002a. 近五十年中国极端温度和降水事件变化规律的研究 [D]. 中国气象科学研究院硕士学位论文. Pan Xiaohua. 2002. The spatial and temporal characteristics of change of temperature and precipitation extremes over China during the second half of the 20th century [D]. M. S. thesis (in Chinese), Chinese Academy of Meteorological Science.
- 潘晓华, 翟盘茂. 2002b. 气候极端值的选取和分析 [J]. *气象*, 28 (10): 28-31. Pan Xiaohua, Zhai Panmao. 2002. *Meteorological monthly* (in Chinese), 28 (10): 28-31.
- 任福民, 翟盘茂. 1998. 1951~1990年中国极端气温变化分析 [J]. *大气科学*, 22 (2): 217-226. Ren Fumin, Zhai Panmao. 1998. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951-1990 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 22 (2): 217-226.
- 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 2005. 1951~2002年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 728-735. Tang Hongyu, Zhai Panmao, Wang Zhenning. 2005. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951-2002 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 10 (4): 728-735.
- 谈建国, 黄家鑫. 2004. 热浪对人体健康的影响及研究方法 [J]. *气候与环境研究*, 9 (4): 680-686. Tan Jianguo, Huang Jiaxin. 2004. The impacts of heat waves on human health and its research methods [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 9 (4): 680-686.
- 严中伟, 杨赤. 2000. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. *气候与环境研究*, 5 (3): 267-272. Yan Zhongwei, Yangchi. Geographic pattern of extreme climate changes in China during 1951-1997 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 5 (3): 267-272.
- Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin, et al. 1999. Changes of climate extremes in China [J]. *Climatic Change*, 42 (1): 203-218.
- 翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化 [J]. *地理学报*, 58 (增刊): 1-10. Zhai Panmao, Pan Xiaohua. 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 58 (supplement): 1-10.
- Zhai Panmao, Pan Xiaohua. 2003. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China [J]. *Geophysical Research Letters*, 30 (17): 4-8.
- 张宁, 孙照渤, 曾刚. 2008. 1955~2005年中国极端气温的变化 [J]. *南京气象学院学报*, 31 (1): 123-128. Zhang Ning, Sun Zhaobo, Zeng Gang. 2008. Change of extreme temperatures in China during 1955-2005 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 31 (1): 123-128.