

50 年来东北地区增温趋势及原因探讨

董前林¹, 余志伟², 毕思文¹

1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

2. 中国矿业大学资源与安全工程学院资源与地球科学系, 北京 100083

[摘要] 20 世纪 50 年代以来, 我国重工业基地——东北地区气温明显出现增长趋势。为了研究东北地区气温增长原因, 首先运用梯森多边形 (Thiessen Polygon Program) 方法将东北地区划分为相应的 29 个区域, 以每个采样点年均气温值代表相应区域的气温值; 然后分析了这 29 个区域 50 年来的气温增长规律, 并且通过最小二乘法计算出其气温的线性增长速率值; 最后根据此 29 个采样点气温增长速率值, 利用 MapInfo 软件制作了东北各地气温变化斜率专题图。通过观察专题图可以发现, 东北地区各地气温增长速度明显存在差异。结合当地实际发展情况分析后认为, 区域内人类活动越剧烈、排放的温室气体越多、当地工业化的程度越高, 则增温越快, 但明显受海洋气候影响的地区增温则相对较慢。

[关键词] 空间分析; 地理信息系统; 梯森多边形; MapInfo

[中图分类号] TP311, X16

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)17-0055-06

On the Warming Trend in Northeast China During the Past 50 Years and an Analysis on Its Causes

DONG Qianlin^{1,2}, YU Zhiwei², BI Siwen¹

1. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Department of Earth Science, School of Safety and Resource Engineering, China University of Mining Technology, Beijing 100083, China

Abstract: The air temperature in Northeast China Region, the base of China's heavy industry, has raised significantly since the 50's of the 20th century. For an analysis on the causes, Northeast China Region is divided into 29 districts by Thiessen Polygon Program. At the same time, the mean annual temperature in each sampling position is taken to represent the temperature of each district. Then the variation of the mean annual temperature of each sampling position is analyzed from 1951 to 1998 and the increasing rate of air temperature in the 29 districts is obtained through least squares method. Finally, a special subject diagram is created, which reflects different prospective increasing rate of mean annual temperature in the 29 districts. It is shown that the increasing rate of air temperature in some districts is significantly different from those of the others, and that the more human activities there are, more greenhouse gas that mankind has released and more industrialized the region is, the more significantly the temperature of the region is raised. However, the increasing rate of the regional air temperature is much reduced near the ocean.

Key Words: spatial analysis; GIS; Thiessen polygon; MapInfo

CLC Numbers: TP311, X16

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)17-0055-06

1 研究概论

全球变暖是目前科学界关注的热点之一, 气候环境与地球上整个生物圈息息相关, 它的丝毫变化必将对我们产生深远的影响并理所当然地时刻为我们所关

注。概括来说, 气候环境变化所带来的影响主要包括气候带移动、海平面上升、臭氧层产生空洞破坏等许多重要方面。因此, 气候环境变化对地球带来的影响十分重大。

收稿日期: 2007-07-10

作者简介: 董前林, 北京市朝阳区大屯路 3 号中国科学院遥感应用研究所, 研究方向为遥感与地理信息系统; E-mail: dql2008@126.com
毕思文(通讯作者), 北京市朝阳区大屯路 3 号中国科学院遥感应用研究所, 研究员, 研究方向为地球系统科学;
E-mail: bisw@irsa.ac.cn

研究气候变化影响的方法通常有 3 类^[1]:① 实验室模拟或现场观测实验方法,这类方法包括建立和发展了各种实验模拟装置和技术及发展了各种野外观测技术以便于进行野外观测;② 历史相似或类比法;③ 在计算机上进行的数值模拟和预测的方法。其中使用计算机进行数值模拟和预测研究,近年来得到了迅速发展,这类方法为气候变化及其影响研究的定量化提供了最科学、最有效和最理想的方法。

本文研究基于地理信息系统,在计算机上对东北地区各地 20 世纪 50 年代以来的年平均气温数据进行数值模拟,并且对该地区未来一段时间的气温发展趋势进行预测。地理信息系统是一种 20 世纪 60 年代发展起来的集数据采集、存储、分析于一体,对地球表面(含大气层)、地球内部和空间、地理分布等情况进行描述、管理的空间信息系统。它是一门集计算机科学、地理学、信息学等的边缘科学。地理信息系统与地理空间数据库的主要区别是其有强大的空间分析功能^[2-3]。

本文采用梯森多边形(Thiessen polygon)方法,首先将东北地区的点气温数据扩展到整个东北地区,即将东北地区划分成一系列的多边形,用多边形包含的点数据作为该多边形的气温数据;然后分析各个多边形代表的地区的气温变化情况,在 MapInfo 系统中显示这些变化情况;最后,根据变化差异探讨产生差异的原因。

2 Thiessen 多边形的定义及其构建

2.1 Thiessen 多边形的定义

梯森多边形或泰森多边形,又称 Voronoi 图(Voronoi Diagram),是计算几何中被广泛研究的问题,其具体定义如下。

设 $p_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为二维欧氏空间(平面)上的 n 个点,将由

$$V(p_i) = \{p | d(p, p_i) \leq d(p, p_j) \text{ for } j \neq i\}$$

给出的对平面的分割,称为以 $p_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为母点的 Voronoi Diagram,通常简称为 Voronoi 图;称 $V(p_i)$ 为母点 p_i 的 p_i 多边形 ($i=1, 2, \dots, n$);多边形的交点称为节点。其中, $d(p, p_i)$ 为 p 和 p_i 间的欧式距离^[4]。

由上述定义可知,所谓 Voronoi 图,简单地说,就是对平面上任意给定的 n 个点,根据这些点的位置,将平面分割成 n 部分,得到一种由各个母点的 Voronoi 多边形所构成的对平面的分割图。它具有以下的几何特性:① 在一个 Voronoi 多边形内的所有点与此多边形内的母点距离比到其他任一母点的距离都近;② 只有与 Voronoi 多边形内母点距离较近的母点之间才能形成该多边形的边;③ 多边形的边为距其最近的两母点间的垂直平分线。

梯森多边形是对空间的一种分割方式,也可以理解为对空间的一种内插方式,即平面空间中的任何一个未知点的值都可以由距离它最近的已知点(采样点)的值来替代^[5]。

2.2 Thiessen 多边形的构建及其应用

根据 Thiessen 多边形的性质运用 VB 语言编写实现 Thiessen 多边形的程序。此时,读入采样点的坐标文件(txt 文件)后生成 Thiessen 多边形。这里需要指出的是,此程序中生成的有界 Thiessen 多边形的边界线是由采样点中最小横坐标值、最小纵坐标值、最大横坐标值、最大纵坐标值界定的。这种边界线并不是我们实际研究区域的真正边界线。所以我们需要对上述程序中生成的 Thiessen 多边形的边界线做一定的修改,以使其更符合实际的研究区域。

此次研究的是东北地区 20 世纪 50 年代以来的气温变化规律。为此,使用了中国气象局气候中心提供的该地区 29 个采样点及 1951-1998 年每年的年平均气温记录。29 个点的分布情况见图 1。



图 1 采样点在地图上的分布情况

Fig. 1 The distribution of sample points on the map

将此 29 个采样点的经纬度坐标读入程序中后得到的 Thiessen 多边形区域见图 2。

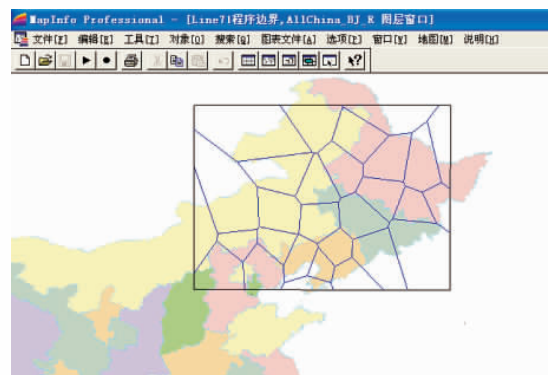


图 2 程序生成的 Thiessen 多边形

Fig. 2 Thiessen polygons produced by programming

3.2 吉林、内蒙东南部地区气温分析

吉林、内蒙东南部地区气温分析见表 2。

延吉、通化、长春、通辽、林东 5 个站点的年均气温在 1970 年后有线性升高的趋势, 其中通化 1971–1998 年间年均气温比 1951–1970 年间升高 0.75℃, 长春则增加了近 0.9℃。上述 5 个站点的线性预测方程为 (X 以 1970 年为原点):

$$\text{延吉 } T=0.037906X+4.8178$$

$$\text{通化 } T=0.055817X+4.7720$$

$$\text{长春 } T=0.064852X+4.6967$$

$$\text{通辽 } T=0.047268X+5.8273$$

$$\text{林东 } T=0.044461X+4.6571$$

锡林浩特、赤峰、多伦、温都尔庙 4 个站点的年均气温则在 1959 年前后即有线性升高的趋势。从表 3 可以看出, 锡林浩特 1959–1998 年间年均气温比 1951–1958 年间升高了 1.5℃, 赤峰、多伦、温都尔庙都在 1℃以上, 而锡林浩特 1959–1970 年间年均气温比 1951–1958 年间升高 1℃, 赤峰、温都尔庙升高 0.7℃以上, 多伦也超过了 0.5℃。

表 2 黑龙江、内蒙东北部地区气温分析

Table 2 Temperature analysis of Heilongjiang and Northeast of Inner Mongolia

地点	经度/°E	纬度/°N	1951–1998 年 平均/°C	1951–1998 年 最小值/°C	1951–1998 年 最大值/°C	1951–1998 年 标准差	1951–1970 年 平均/°C	1971–1998 年 平均/°C
延吉	129.47 E	42.88 N	5.17	4.04	6.48	0.58	4.90	5.37
通化	125.90 E	41.68 N	5.26	3.33	7.42	0.77	4.83	5.58
长春	125.22 E	43.90 N	5.28	3.38	7.36	0.86	4.78	5.64
通辽	122.25 E	43.67 N	6.26	4.63	7.99	0.74	5.91	6.51
林东	119.20 E	44.00 N	5.04	3.39	6.55	0.73	4.66	5.31
锡林浩特	116.08 E	43.85 N	2.06	-0.50	4.19	1.00	1.37	2.55
赤峰	118.90 E	42.27 N	7.10	4.98	8.63	0.75	6.63	7.43
多伦	116.22 E	42.25 N	1.95	-0.53	4.25	0.93	1.40	2.34
温都尔庙	112.83 E	42.62 N	4.67	2.56	6.95	0.89	7.51	8.69

表 3 赤峰、多伦等地地区气温分析

Table 3 Temperature analysis of Chifeng, Duolun, etc.

地 点	1951–1958 年 平均/°C	1959–1970 年 平均/°C	1951–1970 年 平均/°C	1971–1998 年 平均/°C	1959–1998 年 平均/°C
锡林浩特	0.77	1.77	1.37	2.55	2.32
赤峰	6.17	6.94	6.63	7.43	7.28
多伦	1.06	1.62	1.40	2.34	2.12
温都尔庙	3.71	4.43	7.51	8.69	4.86

因此可以推断, 上述 4 地的年均气温线性增高趋势从 20 世纪 50 年代末即开始, 其线性预测方程为 (X 以 1959 年为原点):

$$\text{锡林浩特 } T=0.040297X+1.4987$$

$$\text{赤峰 } T=0.023433X+6.8023$$

$$\text{温都尔庙 } T=0.032274X+4.2088$$

$$\text{多伦 } T=0.040693X+1.2937$$

3.3 辽宁、河北东北部地区气温分析

辽宁、河北东北部地区气温分析见表 4。

表 4 辽宁、河北东北部地区气温分析

Table 4 Temperature analysis of Liaoning and Northeast of Hebei

地点	经度/°E	纬度/°N	1951–1998 年 平均/°C	1951–1998 年 最小值/°C	1951–1998 年 最大值/°C	1951–1998 年 标准差	1951–1970 年 平均/°C	1971–1998 年 平均/°C
丹东	124.33	40.05	8.71	7.24	10.03	0.60	8.46	8.89
沈阳	123.43	41.77	8.09	6.18	9.84	0.73	7.67	8.40
锦州	121.12	41.13	8.75	6.95	10.48	0.79	8.35	9.03
大连	121.72	39.02	10.56	9.26	11.83	0.67	10.14	10.85
营口	122.20	40.67	9.15	7.63	10.79	0.68	8.82	9.38
承德	117.83	40.97	8.99	7.23	10.23	0.65	8.83	9.10
张家口	115.18	40.83	8.20	6.00	10.31	0.88	7.13	8.69

除张家口外, 丹东、沈阳、锦州、大连、营口、承德 6 个站点的年均气温在 1970 年后都有线性升高的趋势, 其中沈阳、锦州、大连 1971–1998 年间年均气温比 1951–1970 年间升高了约 0.7℃。上述 6 个站点的线性预测方程为(X 以 1970 年为原点):

$$\text{丹东 } T=0.039138X+8.3196$$

$$\text{沈阳 } T=0.031805X+7.9257$$

$$\text{锦州 } T=0.064231X+8.0996$$

$$\text{大连 } T=0.050299X+10.1225$$

$$\text{营口 } T=0.040935X+8.7855$$

$$\text{承德 } T=0.024104X+8.7444$$

张家口的年均气温在 1959 年前后即有线性升高的趋势。从表 5 可以看出, 张家口 1959–1998 年间年均气温比 1951–1958 年间升高了 1.3℃, 其中 1959–1970 年间年均气温比 1951–1958 年间升高 0.6℃。

表 5 张家口地区气温分析
Table 5 Temperature analysis of Zhangjiakou area

地点	1951–1958 年 平均/℃	1959–1970 年 平均/℃	1951–1970 年 平均/℃	1971–1998 年 平均/℃	1959–1998 年 平均/℃
张家口	7.13	7.77	7.51	8.69	8.41

因此可以推断, 张家口与锡林浩特、赤峰、多伦、温都尔庙一样, 年均气温线性增高趋势从 20 世纪 50 年代末即开始, 其线性预测方程为(X 以 1959 年为原点):

$$T=0.047349X+7.4423$$

综上所述, 东北地区 29 个采样点绝大部分是从 20 世纪 70 年代以后开始增温, 但锡林浩特、赤峰、多伦、温都尔庙、张家口地区是从 20 世纪 60 年代以后开始增温的。

4 东北地区增温率差异及原因探讨

4.1 东北各地区的增温率差异图

根据以上数据可知, 东北大部分地区从 1970 年开始年均气温出现线性增加的趋势。我们将气温线性变化的斜率作为属性值, 添加到相应表中。图 5、图 6 为东北地区气温线性变化斜率专题图。

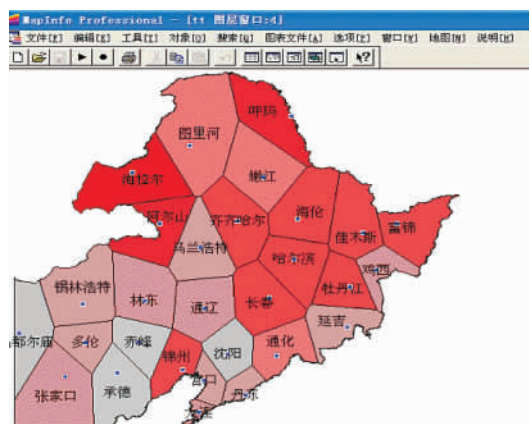


图 5 东北各地气温变化速率专题图
Fig. 5 Temperature change rate thematic map(a) of Northeast areas

从图 5、图 6 可以看出, 将东北地区的气温变化速率分为 9 级, 按照气温变化速率从小到大的顺序分别

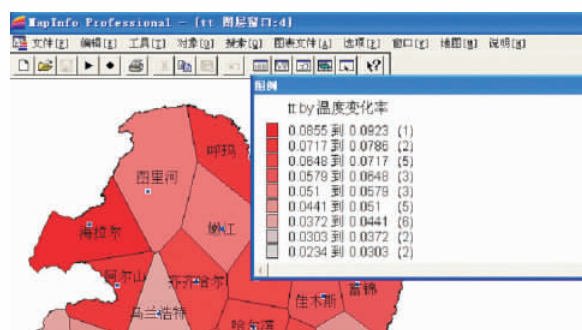


图 6 东北各地气温变化速率专题图
Fig. 6 Temperature change rate thematic map(b) of Northeast areas

在各地区填充由浅而深的颜色, 颜色越鲜艳, 则表示该地区的气温增长速度越快; 反之, 则表示该地区的气温增长速度越慢。年均气温变化速率大体分为两类: ① 年均增温率比较快的, 它们在 0.064 8~0.092 3℃之间, 有海拉尔、阿尔山、齐齐哈尔、海伦、哈尔滨、长春、佳木斯、富锦、牡丹江、锦州、呼玛地区; ② 年均增温率低于 0.064 8℃的, 为其余 18 个地区。另外年均增温率比较快的地区并不是连在一起的, 西部有海拉尔、阿尔山, 中东部地区有齐齐哈尔、哈尔滨、长春、海伦、佳木斯、牡丹江、富锦。还有一个有趣的现象, 在北部有呼玛地区和南部地区锦州遥相呼应。

4.2 东北各地区的增温率差异原因探讨

图 5、6 表明, 东北地区的年均增温率很不均匀。东北地区最为重要的两大工业城市——哈尔滨、长春的气温增长速度比较快。这两地 50 年来气温的快速增长, 很有可能主要是人类活动排放的温室气体造成的^[6]。由于这两大城市工业发展历史悠久, 已经并还在继续向大气中排放大量的 CO₂、CH₄ 等温室气体, 这些温室气体可以透过太阳短波辐射, 使地球表面升温, 并且可以阻挡地球表面向宇宙空间发射长波辐射, 从而再次使大气

增温。但是通过观察又可以发现,东北地区的另一重要工业城市——沈阳,其气温增长速率相对而言却并不明显,这可能与沈阳所处的地理位置有关。观察地图可知,沈阳相对于其他两大城市,其更接近于渤海,所以相对而言,它的气候变化受海洋气候影响多一点,这可能是导致其气温增长速率相对其他两大城市小许多的原因。再通过观察,可以发现东北地区北部的呼玛、海拉尔和阿尔山地区的气温增长势头很强,尤其是海拉尔地区,它的气温增长速度是整个研究区域里面最大的。这些区域都处于中国的最北部,即中国最寒冷的地区。它们的年均气温最大都不超过 1°C , 有的甚至在 -2°C 以下。这里的工业水平并不是太发达,之所以气温增长势头这么强,也可能是受到整个大区域人类活动加剧、排放的温室气体增多的影响。

由于区域气温变化的影响因素很多,除受当地辐射收支状况影响,还受海陆分布、地形起伏、大气环流和洋流等一系列因素的影响,而很多因素是处于动态变化之中的,其他年均增温率快的地区如锦州地区,增温快的原因还不清楚。本文认为必须进行更深入的工作,一方面,应加强对气温变化影响因素的研究,确定各因素在气温变化中所做出的贡献值;另一方面,随着时间的推移和研究区域的气温资料的积累,不断地对所做的预测方程进行修改。只有这样,才能使其更趋于合理,符合实际。

参考文献 (References)

- [1] 李旭祥. GIS 在环境科学与工程中的应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
LI Xuxiang. GIS application in environment science and engineering[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2003.
- [2] 张超. 地理信息系统实习教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
ZHANG Chao. GIS practical course [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [3] 陈述彭. 地理系统与地理信息系统 [J]. 地理学报, 1991, 46 (1): 1-7.
CHEN Shupeng. Geographical system and GIS [J]. Journal of Geographical Sciences, 1991, 46(1):1-7.
- [4] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
CHEN Shupeng, LU Xuejun, ZHOU Chenghu. Geographical information system introduction [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [5] 郭仁忠. 空间分析[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
GUO Renzhong. Spatial analysis [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [6] 符淙斌. 地球气候变化及其预测[EB/OL]. 2003-03-03. <http://www.china.com.cn/chinese/zhuanti/286143.htm>
FU Congbin. Earth climate change and its analysis [EB/OL][2003-03-03] <http://www.China.com.cn/Chinese/zhuanti/286143.htm>.

(责任编辑 王 芷)

·学术动态·

中国地球物理学会第二十三届年会

中国地球物理学会第二十三届年会将于 2007 年 10 月 19 日-23 日在山东省青岛市召开。本届年会的主题是: 地球物理与环渤海地区经济可持续发展。年会除大会报告、专题报告外, 还将开设地球物理与环渤海地区经济可持续发展; 地球物理的进展及前沿; 油气田与煤田地球物理勘探; 储层描述与开发地球物理; 基础地质与固体勘查地球物理; 水资源、环境、工程地质与质量检测地球物理; 城市地球物理与工程地球物理; 岩石物理学; 岩石圈结构及大陆动力学; 地球内部结构及其动力学; 空间大地测量、地壳运动与天文地球动力学; 古地磁学、磁性地层学与环境磁学; 地磁与高空物理; 计算地球物理; 重力与地球动力学; 中国大陆块体结构及运动变形; 地球物理观测与实验技术的新进展及应用; 地震预测和地震学研究; 信息技术与地球物理; 地球介质各向异性; 海洋地球物理; 流体与固体相互作用; 中国巨灾综合预测和环境变异; 地球电磁法研究与应用等 28 个学术论文报告讨论会。

年会期间将为各单位、厂商提供条件, 展示、介绍产品及技术成果, 包括各类地球物理及相关仪器设备、计算机软件、方法、技术成果等。

详细信息请登录: <http://www.cgs.org.cn>

·学术动态·

中国细胞生物学学会第九次 会员代表大会暨青年学术大会

中国细胞生物学学会定于 2007 年 11 月 2 日-5 日在广东省广州市举行“中国细胞生物学学会第九次会员代表大会暨青年学术大会”。本次会议由中国细胞生物学学会主办, 广东医学院、中山大学、华南农业大学承办。

本届会议是继 2005 年福建学术大会之后的又一次学术盛会。届时将有全国各地近 100 多家从事生命科学研究的高等院校、科研院所、以及从事生命科学研究的 100 多位专家、教授云集广州, 会议除以大会报告、专题报告、口头报告、墙报的形式进行广泛的学术交流外, 还将组织青年优秀论文评选, 鼓励在细胞生物学领域做出杰出成绩的青年学者。会议将就染色体、基因、蛋白质; 细胞精细结构与功能; 干细胞、细胞分化和发育生物学; 细胞信号转导和细胞通讯; 免疫细胞生物学; 医学细胞生物学; 细胞工程和转基因生物; 细胞生物学教学和普及; 植物细胞生物学等几个专题进行研讨。大会征文的论文摘要将作为《细胞生物学杂志》增刊出版。

详细信息请登录: <http://www.cscb.org.cn/meeting2/index.asp>