

张海东,张昕璇,孙照渤,等. 中国近50 a来度日变化的研究[J]. 大气科学学报,2010,33(5):593-599.

Zhang Hai-dong, Zhang Xin-xuan, Sun Zhao-bo, et al. A study on degree-day's change in China in the past fifty years[J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33(5):593-599.

## 中国近50 a来度日变化的研究

张海东<sup>1,2</sup>, 张昕璇<sup>3</sup>, 孙照渤<sup>1</sup>, 唐国利<sup>4</sup>

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象局, 北京 100081;

3. 华风影视集团, 北京 100081; 4. 中国气象局 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:**采用中国1951—2006年的气象观测资料,在运用度日分析法分析全国、各省及省会城市近50 a的平均温度变化的基础上,系统分析全国的度日变化情况;研究了中国六大区省会城市热度日(Heating Degree-day, HDD)和冷度日(Cooling Degree-day, CDD)的变化情况;分析了典型城市北京、上海、广州CDD的上升趋势和上升率,并求得相关方程。结果表明,北京、上海、广州CDD的长期变化都呈上升趋势,上升率分别为11.7 °C/(10 a)、10.4 °C/(10 a)、25.1 °C/(10 a)。

**关键词:**度日;温度;中国

中图分类号:P423 文献标识码:A 文章编号:1674-7097(2010)05-0593-07

## A Study on Degree-day's Change in China in the Past Fifty Years

ZHANG Hai-dong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xin-xuan<sup>3</sup>, SUN Zhao-bo<sup>1</sup>, TANG Guo-li<sup>4</sup>

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

3. China Meteorological Administration Huafeng Group of Meteorological Audio & Video Information, Beijing 100081, China;

4. National Climate Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the weather observation data from 1951 to 2006, the paper analyzed the degree-day's change in the whole country by calculating mean temperature changes in the past 50 years in China, all the provinces and the capital cities. The paper studied changes of HDD (Heating Degree-day) and CDD (Cooling Degree-day) in capital cities of China, especially the CDD Change in typical cities, namely, Beijing in the north, Shanghai in the east and Guangzhou in the south of China, and finally brought in an equation. The result shows that there is an increasing trend in CDD in all the three cities of Beijing, Shanghai and Guangzhou, at the rates of 11.7 °C, 10.4 °C and 25.1 °C per decade, respectively.

**Key words:** degree days; temperature; China

## 0 引言

温度是人类活动和植物生长的关键指标。城市取暖耗能和降温耗能与温度关系密切。随着经济的发展,常规的温度表征形式往往不能满足需求,从而各种与温度有关的参数应运而生,其中度日分析法是目前国际上广泛采用的分析方法。度日是计算热状况的一种单位,指日平均温度与规定基础温度的

离差。度日是一个基本的设计参数,在很多能源应用领域,如电力部门、供暖部门、保险业和军事部门等,均被广泛使用<sup>[1]</sup>。国外开展度日的研究较早,国际上最早应用度日公式进行研究的是 Thom<sup>[2]</sup>,他认为日气温理论上服从高斯独立正态分布。Thom<sup>[3-4]</sup>进一步解释了平均气温和基础温度为65 F (18.3 °C)与平均度日数的关系,并研究了通过月平均温度标准差得到月平均度日数的方程。Dur-

收稿日期:2009-01-05; 改回日期:2009-02-26

基金项目:2007 国家软科学研究计划(2007GX3B050); 2008 年度江苏省气象灾害重点实验室开放课题; 2008 年度城市气象科学研究基金资助项目

作者简介:张海东(1972—),男,内蒙古丰镇人,博士,高级工程师,研究方向为气候变化、战略研究、气象灾害对经济建设的影响、评估, zhanghd@cma.gov.cn.

mayaz 和 Kadioglu<sup>[5]</sup>、Heller<sup>[6]</sup>、Bulut 等<sup>[7]</sup>、Sarak 和 Satman<sup>[8]</sup>、Büyükalaca 等<sup>[9]</sup>进行了有关当地度日值的统计分析。目前美国气象部门也在有些网站上公布逐日的度日值,有关部门及个人可根据发布的各地度日值,统计某一时期,如 10 d、一个月或一年的度日总和及相应消耗的总能源,来预测未来能源的消耗变化情况,或比较不同城市能源消耗情况。根据度日值还可以比较使用不同种类能源如煤、天然气、电的经费消耗情况或不同的加热灶具(或制冷空调)的节能情况等。当然统计时间越长,所得出的结论就越精确。

中国学者吴息等<sup>[10]</sup>、陈峪和黄潮迎<sup>[11]</sup>、付光轩<sup>[12]</sup>、袁顺全和千怀遂<sup>[13]</sup>、庞文保等<sup>[14]</sup>进行了不少相关研究。但总体而言,已有的研究比较零散,目前国内尚未系统开展这项研究,但是随着中国经济的快速发展,生活水平的提高,对能源需求日益增加。能源等部门将会更多的使用度日资料,来分析比较国内外用于冬季供暖和空调制冷的能源需求状况和预测未来趋势。

## 1 研究资料和方法

### 1.1 资料来源

气象资料来自中国气象局气象信息中心提供的中国所有基本基准站 1951—2006 年的日最高温度、最低温度、极端最高温度、极端最低温度等。

### 1.2 度日分析法

本文应用的度日分析法。度日可分为两种类型:热度日(heating degree-day, HDD)和冷度日(cooling degree-day, CDD)。热度日即一段时间内日平均温度低于基础温度的累积度数,热度日值越大,表示温度越低,如果日平均温度高于该基础温度,那么这一天的热度日为零。冷度日与热度日相反,指日平均温度高于基础温度的累积度数,冷度日值越大,表示温度越高,若日平均温度低于基础温度,则无冷度日。

某一年的度日数定义如下<sup>[15]</sup>:

$$H_{DD} = \sum_{i=1}^{N_d} (1 - \gamma_d)(T_b - T_i),$$

$$C_{DD} = \sum_{i=1}^{N_d} \gamma_d(T_i - T_b).$$

其中: $N_d$ 为某一年的天数; $T_i$ 为日平均温度; $T_b$ 为基础温度;如果日平均温度高于基础温度,则 $\gamma_d$ 为 1,否则为 0; $H_{DD}$ 表示热度日值 HDD; $C_{DD}$ 表示冷度日值 CDD。

中国规定计算热度日的基础温度是 5℃。一般情况下,当室外温度为 5℃时,室内温度可保持在 10~12℃。对于冷度日的基础温度,本文根据 2007 年 6 月《国务院办公厅关于严格执行公共建筑空调温度控制标准的通知》中针对公共建筑做出了相关规定,要求夏季室内空调温度设置不得低于 26℃。因此,本文在计算取暖和冷度日时,将基础温度分别设定为 5℃和 26℃。

HDD 是冷季取暖耗能的一个定量指标。年 HDD 一般定义每年冷季(10 月—次年 4 月)各月 HDD 之和<sup>[16]</sup>。考虑其他行业与 HDD 的关系密切,加之中国国情特点,将年 HDD 定义为年内 1—4 月和 10—12 月 HDD 之和。月冷度日 CDD 为月内各日 CDD 之和,年 CDD 则定义为年内 5—9 月 CDD 之和,即 CDD 是暖季高温程度的一种描述,也是夏季降温耗能的一个定量估计。综上所述,HDD 和 CDD 实际上是一种客观反映能源需求状态的热量单位<sup>[17]</sup>。

由于气象部门往往只发布日最高和日最低温度,根据 Zalom 等<sup>[18]</sup>所提供的算法,用日最高温度与日最低温度的平均值来代替日平均温度,与基础温度代入前面公式计算就可以得到该日的 HDD 或 CDD。

## 2 各省平均温度变化

为了更加形象简洁地描述各省的平均温度变化。根据《中华人民共和国行政区划》,本文按照华北区:北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区;东北区:辽宁省、吉林省、黑龙江省;华东区:上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省、江西省、山东省;中南区:河南省、湖北省、湖南省、广东省、广西壮族自治区、海南省;西南区:重庆市、四川省、贵州省、云南省、西藏自治区;西北区:陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区,共 6 个区来分类。

分析全国 6 大区 1961—2006 年各省平均温度变化,以华东区为例,近 50 a 中国各省平均温度总体呈现上升的趋势<sup>[19]</sup>,在 1987 年以后增加明显。

## 3 度日变化分析

### 3.1 站点分布

如果按以往基本、基准站的资料来分析,虽然站点多,可是稠密不均,不能较好的反映全国情况。根据空间分布尽可能均匀的原则,在全国范围共选出 106 个站,利用 1961—2006 年各站逐日平均气温资料来计算冷度日和热度日,多年平均值采用 1971—2000 年 30 a 平均。各区站点如图 1 所示,可知除西

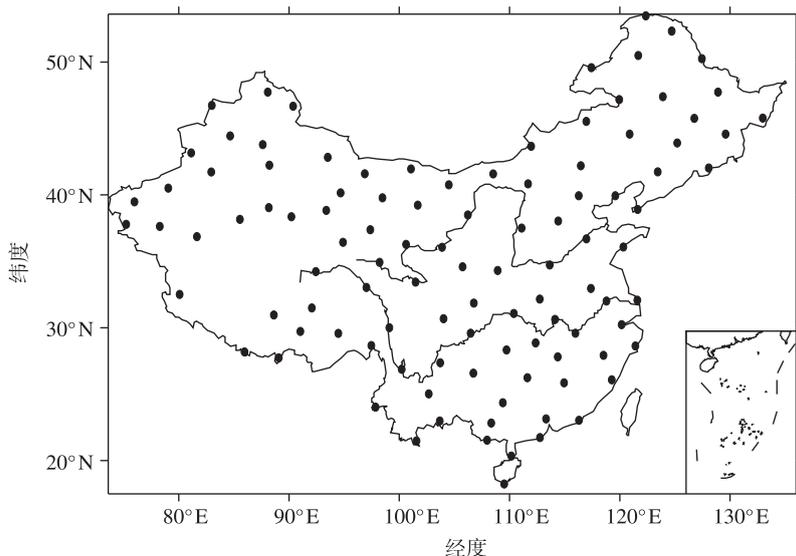


图1 中国106站分布

Fig. 1 106 AWS distribution map of China

藏西部站点较少外,分布基本比较均匀。

### 3.2 冷度日

就全国的冷度日变化而言,呈现明显上升趋势(图2)。在1961—2006年的46 a间,由77.43℃增加为88.53℃,每10 a上升3.47℃。

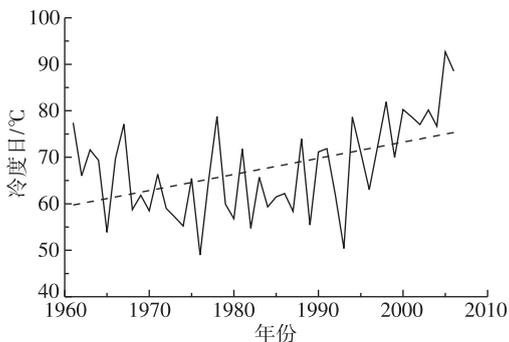


图2 1961—2006年全国平均冷度日变化

Fig. 2 Mean CDD change in China from 1961 to 2006

### 3.3 热度日

就全国的热度日变化而言(图3),呈现更为明显的下降趋势。在1961—2006年的46 a间,由1337.38℃减少为1196.80℃,每10 a下降58.47℃。

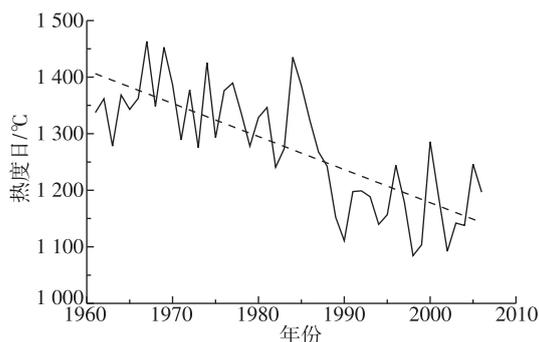


图3 1961—2006年全国平均热度日变化

Fig. 3 Mean HDD change in China from 1961 to 2006

## 4 各省会城市平均温度和冷度日变化

### 4.1 5—9月平均温度变化

为了更好地表征冷度日(CDD)的变化情况,首先求出1956—2005年全国六大区5—9月平均温度变化情况。可知,中国50 a来各省会城市5—9月平均温度变化总体呈现上升的趋势,与全国平均温

度变化基本相同。特别是从20世纪80年代中后期开始,温度明显上升,比全省平均平均温度增幅更大。其中北方城市的温度变化略大于南方城市,如北京、西安、哈尔滨等城市从80年代至今的温度变幅都在2.5℃以上,其中哈尔滨达到了3.05℃。而南方大部分城市的温度升幅在2.5℃以下,如温度变幅较大的武汉、杭州分别为2.1℃,广州的变幅只有1.71℃。当然,影响大城市温度变化的原因有很多,可能与城市热岛、城市化<sup>[20]</sup>等原因有关系,本文侧重于度日分析,其他原因不做过多阐述。

### 4.2 CDD变化

各省会城市相应的CDD变化情况以华东区为例,由图4可见,在1956—2005年的50 a中,CDD呈增加趋势,特别是在80年代中期以后增加明显,这与平均温度从80年代中后期开始明显升高是一致的。每个城市的CDD变幅明显,增幅较大。

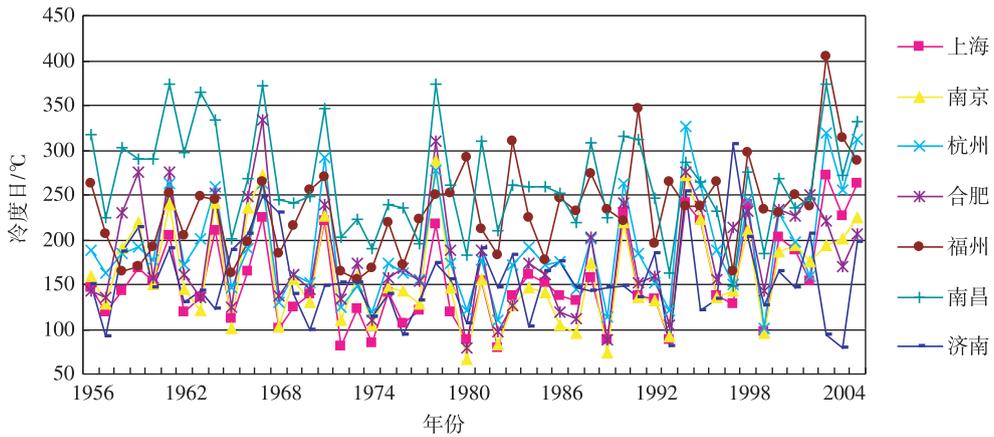


图 4 1956—2005 中国华东区城市 5—9 月 CDD 变化情况

Fig. 4 CDD change in capital cities of some provinces in East China during May and September from 1956 to 2005

## 5 各省会城市平均温度和热度日的变化情况

根据各省会城市 1—4 月和 10—12 月平均温度的变化情况,得到对应区 HDD 的变化情况,以华东区为例,如图 5 所示。

在 1956—2005 年的 50 a 中,中国六大区的热度日呈减少趋势(图略),特别是在 80 年代中期以后减少明显,这与平均温度从 80 年代中后期开始明显升高相一致。各城市的 HDD 的年际变化较大,拉萨的变幅最大,在 298.3 ~ 873.4 °C 之间;变幅最小的是海口、广州等地,基本为 0,这与 HDD 是冷季取暖耗能的定量指标相一致。

## 6 全国各省会城市平均温度和 CDD、HDD 的相关分析

全国各省会城市 5—9 月平均温度与 CDD 的相关系数如表 1 所示,随着纬度的增加,相关系数呈现减小的趋势,中南区的相关系数最大,海口为 0.993 6;东北区的相关系数最小,哈尔滨为 0.553 9,即南方城市的降温耗能表征更为明显。

全国各省会城市 10 月一次年 4 月平均温度与 HDD 的相关系数如表 2 所示,随着纬度的增加,相关系数呈现增加的趋势,东北区的相关系数最大,哈尔滨为 -0.992 0;中南区的相关系数最小,即北方城市的取暖耗能表征更为明显。

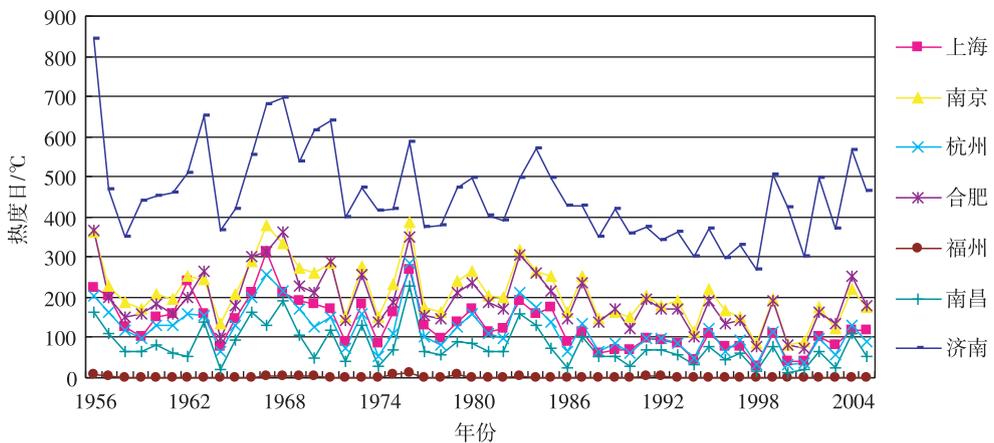


图 5 1956—2005 年中国华东区省会城市 HDD 变化

Fig. 5 HDD change in capital cities of some provinces in East China from 1956 to 2005

表1 全国各省会城市平均温度与CDD的相关系数

Table 1 Coefficient between mean temperature and CDD in capital cities

华北区	相关系数	东北区	相关系数	华东区	相关系数	中南区	相关系数	西南区	相关系数	西北区	相关系数
北京	0.854 3	沈阳	0.718 9	上海	0.881 4	郑州	0.797 7	成都	0.787 9	西安	0.871 9
天津	0.815 2	长春	0.590 3	南京	0.868 0	武汉	0.924 8	重庆	0.898 7	兰州	0.694 5
石家庄	0.888 6	哈尔滨	0.553 9	杭州	0.897 7	长沙	0.904 8	贵阳	0.542 7	西宁 <sup>1)</sup>	
太原	0.741 6			合肥	0.903 1	广州	0.957 4	昆明 <sup>1)</sup>		银川	0.784 9
呼和浩特	0.785 2			福州	0.901 0	南宁	0.967 3	拉萨 <sup>1)</sup>		乌鲁木齐	0.850 0
				南昌	0.887 9	海口	0.993 6				
				济南	0.839 1						

注:1)CDD 常年为0.

表2 全国各省会城市平均温度与HDD的相关系数

Table 2 Coefficient between mean temperature and HDD in capital cities

华北区	相关系数	东北区	相关系数	华东区	相关系数	中南区	相关系数	西南区	相关系数	西北区	相关系数
北京	-0.955 0	沈阳	-0.970 0	上海	-0.801 4	郑州	-0.850 3	成都	-0.606 8	西安	-0.874 1
天津	-0.926 1	长春	-0.986 1	南京	-0.827 8	武汉	-0.7560	重庆	-0.462 6	兰州	-0.970 5
石家庄	-0.920 0	哈尔滨	-0.992 0	杭州	-0.753 0	长沙	-0.559 9	贵阳	-0.720 6	西宁	-0.976 7
太原	-0.961 7			合肥	-0.804 7	广州	-0.353 3	昆明	-0.613 3	银川	-0.970 0
呼和浩特	-0.983 7			福州	-0.542 2	南宁	-0.300 6	拉萨	-0.940 9	乌鲁木齐	-0.968 9
				南昌	-0.688 3	海口 <sup>1)</sup>					
				济南	-0.881 5						

注:1)HDD 常年为0.

## 7 典型省会城市 CDD 变化及相关分析

选取华北区北京市、华东区上海市、中南区广州市的 CDD 变化情况进行个例分析,其他城市和 HDD 变化分析限于篇幅不再一一阐述。

图 6 为北京市 1956—2005 年的 CDD 变化情况,由图可见,2000 年的 CDD(176.7 °C)最大,次大值为 127.2 °C(2001 年);最小值出现在 1976 年(11.4 °C),次小值为 19.4 °C(1970 年)。CDD 值越大表明夏季温度越高,开空调制冷需要消耗的能源就越多,与已有的研究一致<sup>[21-23]</sup>。CDD 50 a 的累积和为 2 984.0 °C。另外,其也显示了北京 CDD 的长期变化呈上升趋势,上升率为 11.7 °C/(10 a),与近年来北京温度明显升高的趋势一致<sup>[24]</sup>。同时,得到相关方程  $y = 1.165x + 29.974$ ,这样知道了具体年份就可知道北京的 CDD。

图 7 为上海市 1956—2005 年的 CDD 变化情况,由图可见,2003 年的 CDD(271.9 °C)最大,次大值为 261.9 °C(2005 年);最小值出现在 1982 年(78.9 °C),次小值为 80.6 °C(1972 年)。CDD 的

50 a 累积和为 7 722.7 °C。CDD 的长期变化呈上升趋势,上升率为 10.4 °C/(10 a),与近年来上海温度明显升高的趋势相同。同时,得到相关方程  $y = 1.0393x + 127.95$ 。

图 8 为广州市 1956—2005 年的 CDD 变化情况,由图可见,2003 年的 CDD(385.8 °C)最大,次大值为 385.7 °C(2005 年);最小值出现在 185.4 °C(1997 年),次小值为 170.6 °C(1965 年)。CDD 的 50 a 累积和为 13 517.4 °C。CDD 的长期变化呈明显上升趋势,上升率为 25.1 °C/(10 a),与近年来广州温度明显升高的趋势相同。同时,得到相关方程  $y = 2.5073x + 206.41$ 。

## 8 结论

通过对中国近 50 a 来的度日变化进行系统研究,得出以下结论:

(1)就全国的度日变化而言,热度日呈现下降趋势,冷度日呈现增加趋势。

(2)在分析中国六大区省会城市平均温度变化的基础上,通过对相应的热度日(HDD)和冷度日(CDD)的变化情况进行分析可知,就 HDD 而言,中

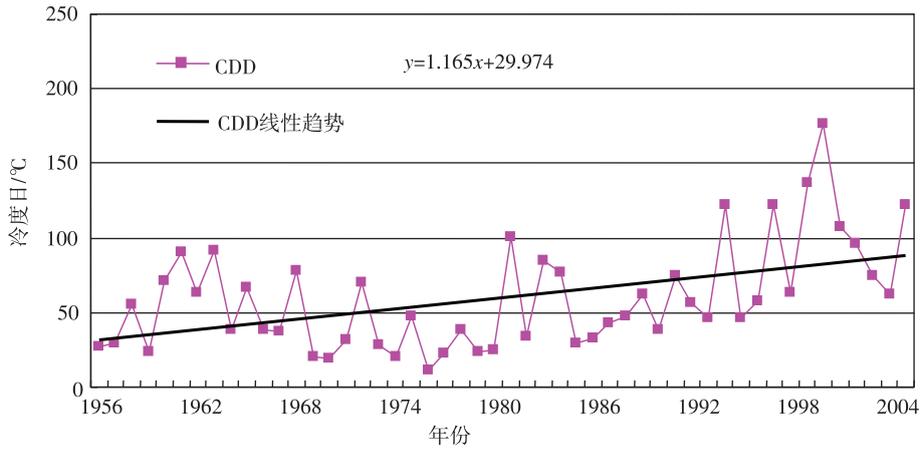


图 6 1956—2005 年北京市 CDD 变化情况

Fig. 6 CDD change in Beijing from 1956 to 2005

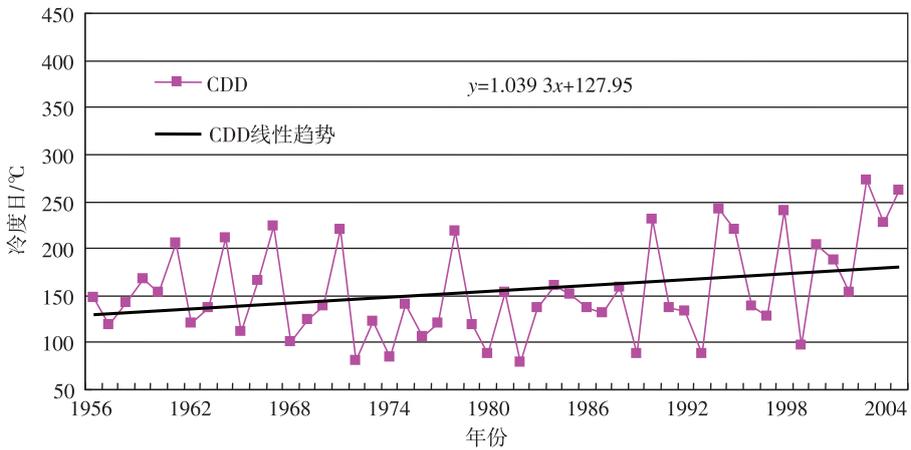


图 7 1956—2005 年上海市 CDD 变化情况

Fig. 7 CDD change in Shanghai from 1956 to 2005

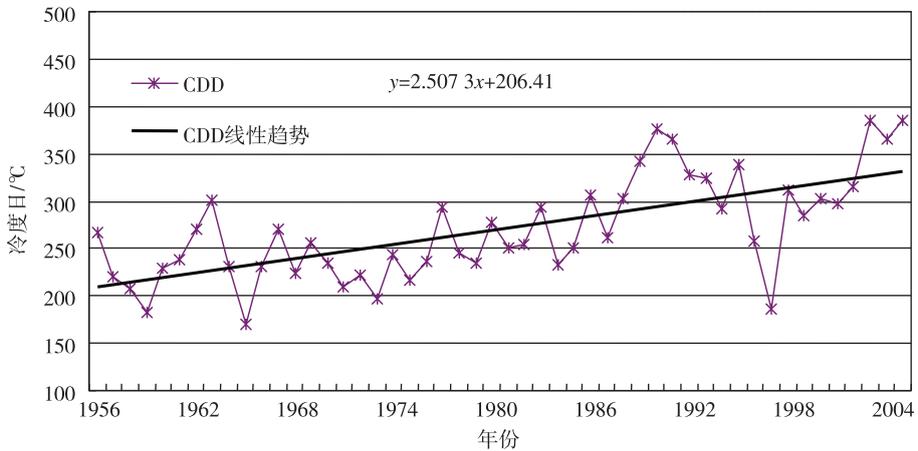


图 8 1956—2005 年广州市 CDD 变化情况

Fig. 8 CDD change in Guangzhou from 1956 to 2005

国北方城市的响应相对较好,南方城市变化响应相对较差,中南区广州、南宁、海口等的 HDD 几乎为 0;就 CDD 而言,南方城市的响应相对较好,北方城

市变化响应相对较差,东北区哈尔滨、长春等的 CDD 接近 0。

(3) 全国各省会城市 5—9 月平均温度与 CDD

的相关系数随着纬度的增加呈现减小的趋势,中南区的相关系数最大,海口为0.993 6;东北区的相关系数最小,哈尔滨为0.553 9。

(4)通过选取典型城市华北区北京市、华东区上海市、中南区广州市的CDD变化情况,分析各城市的上升趋势和上升率,并求得相关方程。

## 参考文献:

- [1] Kadioglu M, Zekai S. Degree-day formulations and application in Turkey[J]. *J Appl Meteor*, 1999, 38(6): 837-846.
- [2] Thom H S C. Seasonal degree day statistics for the United States[J]. *Mon Wea Rev*, 1952, 80: 143-149.
- [3] Thom H S C. The rational relationship between heating degree days and temperature[J]. *Mon Wea Rev*, 1954, 82: 1-6.
- [4] Thom H S C. Normal degree days above any base by the universal truncation coefficient[J]. *Mon Wea Rev*, 1962, 94: 461-465.
- [5] Durmayaz A, Kadioglu M. Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey[J]. *Energy Conversion and Management*, 2003, 44: 1177-1192.
- [6] Heller A J. Heat-load modelling for large systems[J]. *Applied Energy*, 2002, 72: 371-387.
- [7] Bulut H, Büyü kalaca O, Yllmaz T. New outdoor heating design data for Turkey[J]. *Energy*, 2003, 28: 1133-1150.
- [8] Sarak H, Satman A. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: A case study[J]. *Energy*, 2003, 28: 929-939.
- [9] Büyü kalaca O, Bulut H, Yllmaz T. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey[J]. *Applied Energy*, 2001, 69: 269-283.
- [10] 吴息, 缪启龙, 顾显跃, 等. 气候变化对长江三角洲地区工业及能源的影响分析[J]. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 541-546.
- [11] 陈峪, 黄潮迎. 气候变化对能源需求的影响[J]. *地理学报*, 2000, 55(增刊): 11-19.
- [12] 付光轩. 河南采暖气候条件的变化及其节能环保效应[J]. *郑州纺织工学院学报*, 2001, 12(4): 65-78.
- [13] 袁顺全, 千怀遂. 气候对能源消费影响的测度指标及计算方法[J]. *资源科学*, 2004, 26(6): 125-130.
- [14] 庞文保, 刘宇, 张海东. 气候变暖与西安市冬季取暖的能源消耗分析[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(1): 220-223.
- [15] Sailor D J. Relating residential and commercial sector electricity loads to climate-evaluating state level sensitivities and vulnerabilities[J]. *Energy*, 2001, 26: 645-657.
- [16] Wibig J. Heating degree days and cooling degree days variability in Lodz in the period 1931—2000[C]//Fifth International Conference on Urban Climate. Poland Lodz, 2003: 471-474.
- [17] 谢庄, 苏德斌. 北京地区热度日和冷度日的变化特征[J]. *应用气象学报*, 2007, 18(2): 232-237.
- [18] Zalom F G, Goodell P B, Wilson L T. Degree-days: The calculation and use of heat units in pest management[M]. California: Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, 1972: 1-11.
- [19] 丁一汇, 孙颖. 国际气候变化研究新进展[J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2(4): 161-167.
- [20] 张海东, 孙照渤. 浅析我国的可再生能源与国家能源安全[J]. *气象软科学*, 2007(2): 118-122.
- [21] 张尚印, 张海东. 我国东部3城市夏季高温气候特征及原因分析[J]. *高原气象*, 2005, 24(5): 829-835.
- [22] 吴向阳, 张海东. 温度对电力负荷影响的计量经济分析[J]. *应用气象学报*, 2008, 19(5): 531-538.
- [23] 张海东, 孙照渤, 郑艳, 等. 温度变化对南京城市电力负荷的影响研究[J]. *大气科学学报*, 2009, 32(4): 536-542.
- [24] 谢庄, 曹鸿兴, 李慧, 等. 近百年北京气候变化的小波特征[J]. *气象学报*, 2000, 58(3): 362-369.

(责任编辑:刘菲)