

# 广州市城市电力消费对气候变化的响应<sup>\* 1</sup>

段海来 千怀遂

(广州大学地理科学学院, 广州 510006)

## 摘 要

低纬度地区的城市电力消费对气候变化有较为敏感的反应。该文引入了气候变化对农业产量和能源影响的研究方法,分别建立了气候变化对电力消费影响强度的动态评估模型和降温度日模型,对广州市城市电力消费对气候变化的响应作了深入分析。结果表明:广州市城市电力消费量主要受到气温、湿度、风速等气象因子的影响,其中气温为关键性因子;综合考虑各气候因子和气候变化的稳定性,1956—2005 年的近 50 年,广州市气候变化对城市电力消费影响强度是持续稳定增加的,正强度出现的概率呈现出增大趋势,以 10%/10 a 的速度增长;通过对广州市降温度日的分析可知,5—10 月为主要的降温时期,其气温的升高对降温度日强度变化影响很大,达到 46.6%/℃,同时,广州市的降温期长度变率也呈递增趋势,因此,气温的升高引发的降温度日的增加对广州市城市电力消费有深刻影响;在未来气候变暖情景下,夏季平均最高气温每升高 1℃,广州市全年单位工业产值耗电将增加 2.02%,5—10 月的平均气温每升高 1℃,居民生活用电量的百分比将增加 1.25%。在未来,气候变暖将使城市用电压力有继续增大的趋势。

**关键词:** 气候变化; 电力消费; 广州市

## 引 言

全球气候变暖是目前人类共同关注的问题之一。由于大气中温室气体浓度的增加,过去的 100 年里全球平均气温上升了 0.74℃(0.56~0.92℃),尤其在最近 50 年(1956—2005 年)全球气温以 0.13℃(0.10~0.16℃)/10 a 的速度上升,根据 IPCC 第四次评估报告预测,未来 100 年,全球地表温度可能会升高 1.6~6.4℃<sup>[1]</sup>。气温等一系列气候变化已影响到了人类社会的各方面。气候变化对电力消费的影响早就引起人们的注意,特别是当前随着我国经济的迅猛发展,人民生活水平的日益提高,气候变暖对电力消费产生了重大而又深远的影响。关于气候变化对电力消费的影响已有相关研究工作<sup>[2-5]</sup>,为供电量的合理调度、充分保证社会用电、提高用电效率、节约能源方面提供了一定的科学依据。但多数侧重于静态的气候要素影响分析,而定量动态分析气候变化对电力消费影响强度的研究较少。本文建立了以相对气象电量为指标的气候变化对电力消费影响强度

的动态评估模型,它既能表征历年气候变化对电力消费的影响,又能表现气候变化对电力消费影响强度水平的分布;同时,气温作为影响电力消费最重要的要素,本文通过建立降温度日模型分析了高温季节气温对电力消费的影响,并预测了未来气候变暖情景下广州市电力消费量的变化趋势。

广州地处南亚热带,属南亚热带典型的季风海洋气候。广州濒临南海,地势东北高、西南低,北部与东部是山区,中部为丘陵盆地,南部是珠江三角洲平原。由于背山面海,海洋性气候特别显著,具有温暖多雨、温差较小、夏季长、霜期短等气候特征。根据广州市 1956—2005 年历年的逐日日平均气温资料统计显示,其全年平均气温为 22.03℃,7 月平均气温为 28.57℃,1 月平均气温为 13.50℃。全球气候变暖引起了广州市城市电力消费量的增加,同时高温期的电力消费量也出现了不同速度和形式的趋势性变化。

## 1 资料与方法

本文选取了广州市 1956—2005 年历年逐日日

\* 中日合作项目“全球变化对中国的影响(AIM-China)”和广州市哲学社会科学“十一五”规划课题“广州市资源消费的动力因素分析与节约性评估”(07Z22)共同资助。

2008-01-22 收到,2008-07-21 收到再改稿。

平均气温、日最高气温、日最低气温、相对湿度、风速资料,这些资料来源于国家气象信息中心。电力消费方面的数据主要包括广州市城市 1956—2005 年历年的电力消费总量、居民生活用电量和工业用电量以及广州市工业产值数据,这些数据主要来源于文献[6]及文献[7]。数据的处理主要是运用 SPSS 统计软件和 Microsoft Excel 软件。

### 1.1 电力消费量分解模型的构建

参考气候变化对农业产量影响的理论与方法<sup>[8-9]</sup>,根据电力消费影响因子与作物产量影响因子极为相似的特点,将农作物产量分离的方法引入到该领域。电力消费量是随着社会经济水平和生活水平的提高而逐步增长的,它的变化受到社会经济因子、气象因子等因素的影响。电力消费量的构成可用式(1)表示:

$$y = y_i + y_w + y_e \quad (1)$$

式(1)中, $y$  为实际电力消费量, $y_i$  为电力消费趋势

量(即社会经济耗电量), $y_w$  为波动量(即气象耗电量,简称气象电量,下同), $y_e$  为随机量。趋势量是假设在气象等因子正常的情况下,由于社会经济发展、人民生活水平的提高而影响的那部分电力消费量,因而它是逐渐变化的,通常表现为时间的正函数,在时间序列上是变化比较平稳的过程,趋势线较为平滑。气象电量是指由于气象因子的波动而影响的那部分电力消费量,它是造成电力消费量年际波动的主要因素。随机量是指由于其他方面的随机因素而影响的那部分,这一部分电力消费量所占比例一般较小,而又不易分离,通常忽略。故式(1)可简化为:

$$y = y_i + y_w \quad (2)$$

$$y_w = y - y_i \quad (3)$$

本文采用正交多项式法把电力消费量分解为社会经济耗电量(趋势量)和气象电量(波动量)两部分。广州城市电力消费总量的趋势模型如图 1。

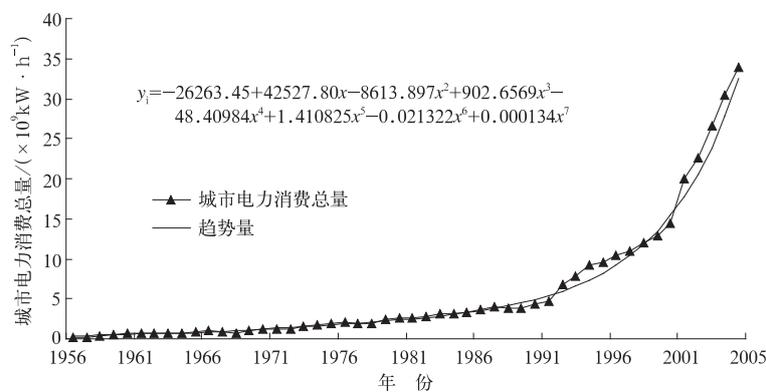


图 1 广州市城市实际电力消费总量与趋势量的年际变化

Fig. 1 Inter-annual change of the electric power consumption and the trend quantity in Guangzhou City

图 1 的趋势量方程中  $x$  为时间,本文取  $x = t - 1956 + 1$ ,  $t$  为年份, $y_i$  为电力消费趋势量。

进一步作相对化变换<sup>[10]</sup>:

$$X = \frac{y_w}{y_i} \quad (4)$$

式(4)中, $X$  为相对气象电量。此时,气象电量就变成一个相对比值,不受历史时期不同社会经济水平和生活水平的的影响,称为相对气象电量。其物理意义表明电力消费波动的幅值,它不受时间和空间影响,具有可比性,能较好地描述以气象要素为主的短期变动的因子对用电量的影响。由于相对气象电量是一个比值,表明实际用电量偏离趋势电量的波动幅值。为研究方便,本文作如下定义:实际电力消费

低于当时趋势量的比值称为“负强度”(即相对气象电量为负值);高于趋势量的比值称为“正强度”(即相对气象电量为正值)。

### 1.2 气候变化对电力消费影响强度的动态评估模型及其计算方法

为了更好地说明气候变化对电力消费的影响强度,本文参考农业灾害风险研究的方法<sup>[11]</sup>,并加以改进,建立了气候变化对电力消费影响强度的动态评估模型。在 1956—2005 年的相对气象电量序列中每隔 5 年选取 30 年的数据作为一个样本,利用峰度-偏度检验法对这些样本序列进行正态性检验,结果表明,其相对气象电量序列符合正态分布。因此可以用样本的  $\mu$  均值和  $\sigma$  均方差来建立概率密度函

数  $f(X)$ :

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

其概率分布函数为:

$$F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} dX \quad (6)$$

$$P(X > X_0) = 1 - \Phi\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right) \quad (7)$$

式中,  $X$  为相对气象电量值,  $\sigma$  为样本标准差,  $\mu$  为样本平均值。这样就可以根据正态分布的概率方法计算出不同时期影响强度出现的概率。

### 1.3 降温度日模型的建立

经资料分析表明,气温是影响广州市电力消费量波动的主要气候因子。气温高时,人体感觉热,需要启动空调、风扇等降温设备,因此,在高温条件下用电量急剧攀升。分析能源消费与温度因子的关系,国外经常使用度日法<sup>[12-15]</sup>,因此本文在研究电力消费与气温因子关系时也引入度日模型。研究表明广州市的电力消耗与冬季气温相关性不高,与高温季节(5—10月)的气温呈正相关,因此引入降温度日模型来研究城市电力消费需求与温度的关系。降温度日值采用如下公式求得:

$$T_{ci} = T_i - T_b \quad (8)$$

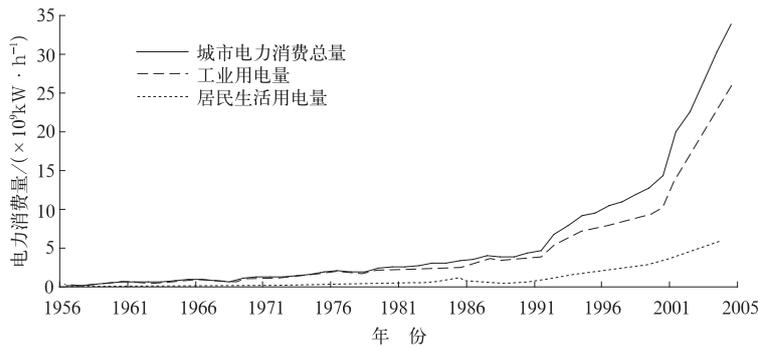


图2 广州市城市电力消费量年际变化

Fig. 2 Inter-annual change of the electric power consumption in Guangzhou City

广州市城市电力消费量主要受到气温、湿度、风速等气象因子的影响,并与各气象因子在变化规律方面存在某种相关性。本文利用广州市 1956—2005 年城市电力消费总量、工业用电量和居民生活用电量的气象电量与每个气象因子进行了相关分析,发现它们与各季节的平均气温、平均最高气温、平均最低气温、相对湿度和风速具有较显著的相关性,分析结果如表 1。

由表 1 可知,广州市城市电力消费量与春季、夏

$$D_c = \sum T_{ci} \quad (9)$$

式中,  $T_i$  为第  $i$  天的日平均气温,  $T_b$  为基础温度,  $T_{ci}$  为第  $i$  天的降温度日值,  $D_c$  为全年降温度日总值。降温度日的基础温度有的文献取夏季人体适宜温度 22 °C<sup>[12]</sup>,而国内外文献常见取 25 °C<sup>[16]</sup>。本文综合考虑电力消费与气温变化的关系,通过对比计算与分析表明当广州市日平均气温大于 25 °C 时,电力负荷对气温变化的敏感性增强;同时,为了响应国家“节能”号召、建设节约型社会的思想理念,本文降温度日的基础温度采用 25 °C。

## 2 结果与分析

### 2.1 广州市城市电力消费量及其与气候因子的相关性分析

广州市城市电力消费可分为工业用电和居民生活用电两部分,其中居民生活用电受外界影响较大,受气候影响较明显。广州市 1956—2005 年城市电力消费量如图 2,电力消费总量、工业用电量和居民生活用电量均明显呈上升趋势,城市居民生活用电量呈稳定上升趋势,20 世纪 90 年代以后城市电力消费总量和工业用电量波动较大。

季、秋季的温度相关性较好,与夏季平均最高气温的相关系数最高,如电力消费总量、工业用电量、居民用电量与夏季平均最高气温的相关系数达 0.524, 0.513, 0.607,这说明高温季节对城市电力消费的影响较大;在冬季,电力消费总量和工业用电与平均气温相关性不高,居民用电量与冬季平均气温呈弱负相关,电力消费总量、工业用电量、居民用电量与冬季平均最高气温呈负相关,与平均最低气温的相关性不显著,这说明冬季温度对城市电力消费的影响

表 1 气象电量与气象要素的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between weather electricity quantity and weather factors

| 电量      | 要素        | 冬季      | 春季      | 夏季      | 秋季      |
|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| 电力消费总量  | $T_{pj}$  | 0.084   | 0.316*  | 0.453☆  | 0.327☆  |
|         | $T_{max}$ | -0.191* | 0.39☆   | 0.524☆  | 0.507☆  |
|         | $T_{min}$ | 0.099   | 0.422☆  | 0.479☆  | 0.456☆  |
|         | $S$       | -0.084  | -0.677☆ | -0.557☆ | -0.407☆ |
|         | $F$       | 0.396☆  | 0.243   | -0.089  | -0.295* |
| 工业用电量   | $T_{pj}$  | 0.088   | 0.329*  | 0.457☆  | 0.326☆  |
|         | $T_{max}$ | -0.12   | 0.402☆  | 0.513☆  | 0.492☆  |
|         | $T_{min}$ | 0.103   | 0.433☆  | 0.478☆  | 0.456☆  |
|         | $S$       | -0.095  | -0.684☆ | -0.554☆ | -0.401☆ |
|         | $F$       | 0.388☆  | 0.229   | -0.289* | -0.373☆ |
| 居民生活用电量 | $T_{pj}$  | -0.067  | 0.375☆  | 0.458☆  | 0.427☆  |
|         | $T_{max}$ | -0.243* | 0.447☆  | 0.607☆  | 0.504☆  |
|         | $T_{min}$ | -0.111  | 0.369☆  | 0.488☆  | 0.359*  |
|         | $S$       | -0.085  | -0.275  | -0.665☆ | -0.559☆ |
|         | $F$       | 0.381☆  | 0.23    | -0.385☆ | -0.369☆ |

注: \* 显著性水平达 0.05, ☆ 显著性水平达 0.01;  $T_{pj}$  是平均气温,  $T_{max}$  是平均最高气温,  $T_{min}$  是平均最低气温,  $S$  是相对湿度,  $F$  是风速。

较弱。相对湿度与用电量基本呈负相关; 风速与用电量随季节有明显变化, 冬、春季呈正相关, 夏、秋季呈负相关。

## 2.2 气候变化对广州市城市电力消费的影响强度及其变化趋势分析

通过对 1956—2005 年的相对气象电量序列的概率分布模型(式(10))的综合分析可知, 气候变化对广州市电力消费的影响强度 72.5% 集中在 -0.15 ~ 0.15 之间, 其中正强度出现的概率为 53%, 而影响强度值大于 0.3 出现的概率为 2%。这说明气候变化对广州市电力消费的影响强度是稳定增长的, 出现高强度的概率较少。

$$F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{0.274\pi}} e^{-\frac{(X-0.01)}{2 \times 0.137^2}} dX \quad (10)$$

为了动态分析广州市气候变化对电力消费的影响强度, 本文将广州市 1956—2005 年的相对气象电量序列划分为 1956—1985 年、1961—1990 年、1966—1995 年、1971—2000 年、1976—2005 年这 5 个 30 年的相对气象电量序列, 分别分析它们的概率分布函数, 通过对比分析可知(表 2), 其影响强度为正强度出现的概率后 30 年比前 30 年高出了 20.7%, 以 10%/10 a 的速度增长, 这说明气候变化引起电力消费强度正变化的概率呈现出增大趋势; 同时对 5 个样本的平均值( $\mu$ )分析可知, 平均值由

表 2 气候变化对广州市城市电力消费影响强度的动态评估模型及其正强度出现概率的动态变化

Table 2 The dynamic assessment model of influence intensity of the climatic change to electric power consumption and the change of probability of positive influence intensity in Guangzhou City

| 年份          | 概率密度分布函数   | 正强度出现的概率/% | 5—10 月平均气温/°C |
|-------------|--|------------|---------------|
| 1956—1985 年 | $F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{0.294\pi}} e^{-\frac{(X+0.013)}{2 \times 0.147^2}} dX$ | 46.5       | 26.60         |
| 1961—1990 年 | $F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{0.234\pi}} e^{-\frac{(X-0.007)}{2 \times 0.117^2}} dX$ | 52.4       | 26.73         |
| 1966—1995 年 | $F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{0.256\pi}} e^{-\frac{(X-0.013)}{2 \times 0.128^2}} dX$ | 54.1       | 26.82         |
| 1971—2000 年 | $F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{0.196\pi}} e^{-\frac{(X-0.025)}{2 \times 0.098^2}} dX$ | 60.1       | 26.87         |
| 1976—2005 年 | $F(X) = \int_a^X \frac{1}{\sqrt{0.194\pi}} e^{-\frac{(X-0.043)}{2 \times 0.097^2}} dX$ | 67.2       | 27.03         |

1956—1985年的-0.013上升到了1976—2005年的0.043,增加了3.3倍,这说明气候变化对电力消费的影响强度是持续增加的;对5个样本的方差( $\sigma^2$ )分析可知,它们的方差是减少的,说明其与平均值的偏离程度是减少的,这说明气候变化对电力消费的影响强度的波动性有减小的趋势,其稳定性增强了。所以总体来说,气候变化对广州市电力消费的影响强度有稳定增大的趋势,并且以最近20年最为显著,这与广州市的气温变化规律是一致的。

### 2.3 广州市降温度日变化对城市电力消费的影响

气候因子对电力消费的驱动作用随经济发展而不断变动,在不同经济发展阶段,驱动电力消费的主导气候因子有显著差别,即气象电量之中还隐含有社会经济因子的间接影响。目前对气象电量影响较大的气候因子主要包括气候灾害和温度<sup>[14]</sup>,而影响广州市城市电力消费的气候因子则主要是温度。广州地处亚热带,夏季长,气温高,冬季温和,降温用电为主要的用电行为。而降温用电是一种人为行为,与人对舒适度的要求有关。气温是影响人舒适度的主要因子之一,气温高,人的舒适度低,必然引发降温用电,所以高温季节对电力消费影响是最大的。因此,本文引入了降温度日来分析广州市高温季节温度变化对城市电力消费的影响。

降温期降温度日总量大小反映了降温期温度的高低。降温度日值大,说明降温温度高,降温强度大,也即降温需求大。降温度日的变化,直接反映了降温需求的变化。对广州市全年的降温度日分析可

以得出,广州市的降温时间大致为5—10月。因此,本文计算了广州市降温度日变率与5—10月的平均气温及各月平均气温的相关系数,发现降温度日与气温之间相关密切,其中以降温度日变率与5—10月的平均气温的关系最为密切,相关系数达到0.957,通过了0.01的显著性检验。降温度日变率与5—10月各月平均气温的相关系数在0.56以上,均通过0.01的显著性检验。其中与9月平均气温的关系较其他各月密切。

因此,通过建立降温度日变率与5—10月平均气温的相关方程(式(11))可以估算出广州市每年高温季节降温需求的变率。并且利用它们的相关方程可以进一步探讨温度变化对降温需求的影响,广州市降温主要采用的能源是电力,其降温度日与城市电力消费总量间的相关系数为0.65,通过了0.01的显著性检验,进而可以得出气温变化对广州市城市电力消费的影响。从该相关方程可以得出气温升高1℃,广州市城市降温度日强度变化为46.6%。所以气温的升高对广州市城市电力消费的影响比较大。

$$y = -12.508 + 0.466x \quad (11)$$

式(11)中, $y$ 为降温度日强度变率, $x$ 为5—10月平均气温,相关方程在显著性 $\alpha=0.001$ 、相关系数为0.957下通过显著性检验。

从图3可知,广州市的降温期长度变率呈递增趋势,说明随着全球气候的变暖,广州市的高温日数在增加,降温期长度增长,人们为了追求生活的舒适,城市电力消费量将会呈现逐年增加的趋势。

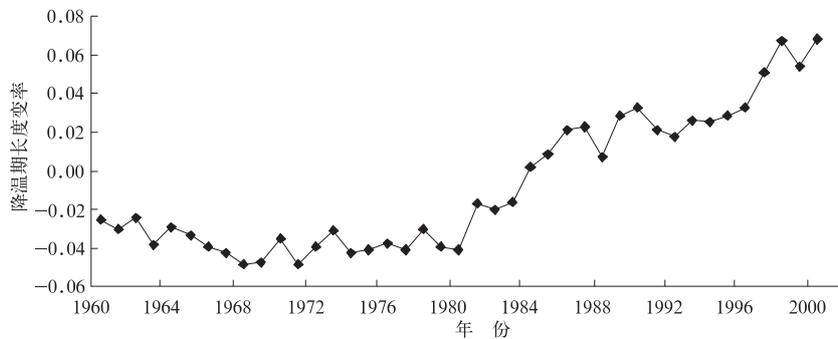


图3 广州市降温期长度变率10年滑动平均变化趋势

Fig. 3 Change trend of running mean variability of cooling time length over 10 years in Guangzhou City

## 2.4 未来气候变暖情景下广州市城市电力消费的变化趋势分析

### 2.4.1 工业用电的变化趋势分析

随着经济的增长和人民生活水平的提高,近年来,广州市的电力消耗逐年急速增长,但对工业部门的单位产值电力消耗而言,由于技术水平的提高和设备性能的改进,单位产值电力消耗却是逐步降低。参考电力消费量分解模型,工业单位产值电力消耗序列  $S(t)$  可以表示为:

$$S(t) = H(t) + D(t) \quad (12)$$

式(12)中,  $H(t)$  表示趋势项,  $D(t)$  表示随机项,它表示类似气象条件的随机影响作用。采用时间多项式拟合的方法消去趋势项,得:

$$D(t) = S(t) - H(t) \quad (13)$$

再作相对化变换得到:

$$L(t) = \frac{D(t)}{H(t)} \times 100\% \quad (14)$$

研究表明,影响本地区工业单位产值耗电的是夏季平均最高气温。本文通过建立  $L(t)$  与夏季平均最高气温的统计关系式来分析气候变化对工业用电的影响。

$$L(t) = -66.73 + 2.02T_{\max} \quad (15)$$

式(15)中,  $T_{\max}$  为夏季平均最高气温。方程在  $\alpha = 0.01$ 、相关系数为 0.358 下通过了显著性检验。从式中可以看出夏季平均最高气温每升高  $1^\circ\text{C}$ , 全年单位工业产值耗电将增加 2.02%。

### 2.4.2 城市居民生活用电的变化趋势分析

居民生活用电量是城市系统用电的主要方面之一,研究表明居民生活用电量对气候变化是最敏感

的,因此分析广州市气候变化对城市居民生活用电量的影响是城市用电对气候变化响应的一个重要组成部分。随着社会经济、城市化的发展和人们对生活环境质量要求的不断提高,在整个城市用电量中,居民生活用电量占城市用电量的比例在不断增大。1978—2005年,广州市居民生活用电量占城市总用电量的百分比由 6.6% 增加到 15.9%,增加了 1.4 倍。可见,研究气温升高引发的居民生活用电量的增加对整个城市用电压力的影响具有积极意义。本文采用最小二乘法建立居民生活用电量占城市用电总量的百分比与时间  $t$  的线性拟合:

$$f(t) = 8.04 + 0.11t \quad (16)$$

方程在显著性水平  $\alpha = 0.01$ ,  $F = 8.924$  下通过显著性检验,式(16)中  $f(t)$  为居民生活用电量百分比的线性拟合趋势值,  $t$  为时间。由居民生活用电量百分比实际值  $p(t)$  减去其趋势值  $f(t)$ , 即可得到受气温变化影响的百分比波动值:

$$\epsilon(t) = p(t) - f(t) \quad (17)$$

将  $\epsilon(t)$  定义为居民用电量的气温波动百分比。图 4 给出了广州市居民用电量的气温波动百分比 ( $\epsilon(t)$ ), 同时给出广州市 5—10 月的平均气温距平 ( $\Delta T$ ) 曲线。可以看出居民生活用电量的气温波动百分比与广州市 5—10 月的平均气温距平的变化趋势相当吻合,其在显著性水平  $\alpha = 0.05$ 、相关系数为 0.396 下有较显著的相关性。

从而建立广州市居民生活用电量气温波动百分比  $\epsilon(t)$  与广州市 5—10 月的平均气温距平  $\Delta T$  的相关方程:

$$\epsilon(t) = -0.0153 + 1.25\Delta T \quad (18)$$

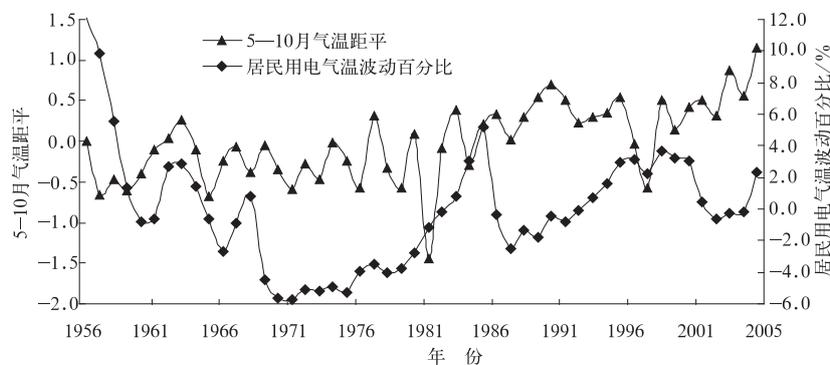


图 4 广州市居民生活用电量气温波动百分比及其 5—10 月的平均温度距平变化

Fig. 4 Variation of the percentage of electric power consumed by townsmen and mean temperature anomaly from May to October

则相对于广州市5—10月平均气温距平 $\Delta T$ 变化的居民生活用电量气温波动百分比的敏感因子 $\lambda$ 可表示为:

$$\lambda = \frac{\partial \epsilon}{\partial \Delta T} = 1.25(\%/^{\circ}\text{C}) \quad (19)$$

这表示5—10月平均气温增加 $1^{\circ}\text{C}$ ,居民生活用电量的百分比将增加1.25%。

按照以上分析结果,可以根据对未来气候变化情景的预测对可能的电力需求做出估计。在广州过去50年中,广州市5—10月最大平均气温距平为 $1.2^{\circ}\text{C}$ ,则城市居民生活用电量百分比将增加约1.5%,若气温距平达到 $2^{\circ}\text{C}$ 以上,则增量可能达到城市用电总量的2.5%。即城市总用电量的2.5%的增量可能由5—10月高温造成。事实上,广州市城市用电量在“十五”期间平均每年递增约8.17%,可以看出,5—10月平均气温升高所造成的城市居民生活用电量的增加在整个广州市城市电力消费中占有相当大的比例。

随着广州市社会经济持续高速发展和人民群众生活质量的进一步改善,城市电力消费量将进一步增加,未来全球变暖和可能出现的高温异常将导致电力需求面临更加严峻的形势,因此,加速发展电力工业的任务十分紧迫。通过开展电力需求与气候变化关系研究,根据气候变化适当调配和利用有限的电力资源,是当前应对“电荒”的重要方法之一。

### 3 结论与讨论

广州地处我国南亚热带,北回归线以南,气温较高,电力消费对气候变化比较敏感,其影响强度对持续性的气候变化有明显的响应,同时高温季节气温的升高对城市电力消费的影响很大。本文引入农业气象产量模型和能源的度日模型,结合广州市实际情况,建立了影响强度的动态评估模型和降温度日模型,分析了广州市气候变化对电力消费的影响强度及高温季节对城市用电的影响,并对未来气候变化情景下广州市城市电力消费的趋势作出了预测。

1) 本文选用以相对气象耗电量为指标的气候变化对电力消费影响强度的动态评估模型和降温度日模型来研究广州市电力消费对气候变化的响应,结果比较理想。在可信度方面,气候变化对电力消费影响强度的动态评估模型综合考虑各个气象要素的影响,即既考虑了正影响因子又考虑了负影响因子,因此它比单因子影响分析更为精确可信。同时为了突出关键因子的贡献,文章又引入度日模型,这

样二者相得益彰;在适用性方面,它是一个综合模型,适用面更为广泛,在缺乏气象观察的区域和时段,使用该模型也能够动态评估气候变化对电力消费的影响强度。

2) 广州市城市电力消费主要受到最高气温、最低气温、平均气温、相对湿度、风速等气象因子的影响,其中气温为关键因子;综合考虑各气候因子,分析得出近50年来广州市气候变化对城市电力消费的影响强度呈持续稳定增长趋势,但出现高强度影响的概率较少;同时通过对广州气候变化对电力消费影响强度的动态变化模型分析可知,正强度出现的概率呈现出增大趋势,以10%/10a的速度增长。

3) 通过对广州市降温度日分析可知:5—10月为广州市主要的降温时期;广州市降温度日变率与5—10月的平均气温的关系最为密切,相关系数达到0.957;降温度日变率与5—10月各月平均气温的相关系数都在0.56以上,其中与9月平均气温的关系较其他各月更为密切;广州市5—10月平均气温升高 $1^{\circ}\text{C}$ 城市降温度日强度将增加46.6%;随着全球气候变暖,广州市降温期长度变率呈递增趋势。所以气温升高引起的降温度日的增加对广州市城市电力消费的影响比较大。

4) 在未来气候变暖情景下,对工业用电而言,夏季平均最高气温每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ,广州市全年单位工业产值耗电将增加2.02%;对居民生活用电而言,5—10月平均气温增加 $1^{\circ}\text{C}$ ,居民生活用电量的百分比将增加1.25%,近50年来,广州市5—10月的最大平均气温距平为 $1.2^{\circ}\text{C}$ ,则居民生活用电量百分比将增加约1.5%。因此,未来广州市城市用电量压力有继续增大的趋势。

### 参考文献

- [1] <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>.
- [2] 李雪铭,葛庆龙,周连义,等.近二十年全球气温变化的居民用电量响应——以大连市为例.干旱区资源与环境,2003,17(5):54-58.
- [3] 刘建,陈星,彭恩志,等.气候变化对江苏省城市系统用电量变化趋势的影响.长江流域资源与环境,2005,14(5):547-550.
- [4] 黄朝迎.北京地区1997年夏季高温及其对供电系统的影响.气象,1999,25(1):21-24.
- [5] 张立祥,陈力强,王明华.城市供电量与气象条件的关系.气象,2000,26(7):27-31.
- [6] 广州市统计局.广州五十年.北京:中国统计出版社,1999.
- [7] 广州市统计局.广州统计年鉴2000~2006.北京:中国统计出版社,2006.
- [8] 千怀遂,石艳蕊,魏东岚.气候对河南省棉花产量的影响及其变化研究.自然资源学报,2000,20(6):1061-1068.
- [9] 任王玉,千怀遂,刘青春.河南省棉花气候适宜度分析.农业现代化研究,2004,25(3):231-235.

- [10] 邓国,王昂生,李世奎,等. 风险分析理论及方法在粮食生产中的应用初探. 自然资源学报, 2001,16(3):221-226.
- [11] 薛昌颖,霍治国,李世奎,等. 北方冬小麦产量灾害风险类型的地理分布. 应用生态学报, 2005,16(4):620-625.
- [12] 袁顺全,千怀遂. 气候对能源消耗影响的测度指标及计算方法. 资源科学, 2004,26(6):125-130.
- [13] 袁顺全,千怀遂. 能源消费与气候关系的中美比较研究. 地理科学, 2003,23(5):629-634.
- [14] 袁顺全,千怀遂. 我国能源消费结构变化与气候特征. 气象科技, 2003,31(1):29-32.
- [15] Qian Huaisui, Yuan Shunquan, Sun Jiulin, et al. Relationships of energy consumption to economy and climate and their changes in China. *J Geographical Sciences*, 2004, 14(1):87-93.
- [16] 陈峪,叶殿秀. 温度变化对夏季降温耗能的影响. 应用气象学报, 2005,16(增刊):97-104.

## Responses of the Electric Power Consumption to Climate Change in Guangzhou City

Duan Hailai Qian Huaisui

(School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006)

### Abstract

The earth's climate is now experiencing significant change characterized by global warming. Profound influence has been or will be brought by the global warming to the world. Exploring and assessing climate change and its impacts are one of the hot issues in the fields of climate change. The electric power consumption of Guangzhou City which lies in the low latitude belt is sensitive to climate change. The trend of the electric power consumption changes with different paces and in different forms in Guangzhou City because of the global climate warming. In order to rationalize the allocation of the electric power resource and save the electric power, it is necessary to study the responses of the electric power consumption to the climate warming. A research method is introduced which is used to study climate change impact on agriculture yield and energy sources, the dynamic assessment model for the influence intensity of the climatic change in the electric power consumption and the model of cooling degree-day are established respectively. The responses of the electric power consumption to climate change in Guangzhou City are analyzed, and the trend of the electric power consumption in Guangzhou City is forecasted. Firstly, the correlation between the electric power consumption of Guangzhou City and weather factors is studied, it is found that the main weather factors which affect the electric power consumption of Guangzhou City are the temperature, humidity and wind speed, but the temperature is the key factor. Secondly, the stability of climate change is a very important factor for the electric power consumption besides weather factors. A dynamic assessment model including mean influence intensity and deviation are established. Considering all the climate factors and the stability of climate change, in the late fifty years, influence intensity of the climatic change to electric power consumption has been increasing steadily, the probability of positive influence intensity has an ascending trend, rising at the speed of 10% every ten years, especially significant in recent twenty years. Thirdly, through the analysis of cooling degree-day of Guangzhou City, it is found that the main cooling time is from May to October. The intensity of cooling degree-day is influenced by the increase of the temperature greatly, reaching up to 46.6%/°C. At the same time, by analyzing the variability of the length of cooling period, it shows that the length of cooling period has a gradual increasing trend in Guangzhou City. Therefore, the increase of cooling degree-day caused by temperature increasing has great effects on the electric power consumption. Finally, in the future scenery of climate warming, when the average maximum temperature increases 1 °C in summer, the unit industrial production value electric power consumption of the whole year will increase 2.02%. When the average temperature from May to October increases 1 °C, the percentage of electric power consumed by residents will increase 1.25%. So in Guangzhou City, the pressure of the electric power consumption will be continuously increasing in the future because of the climate warming.

**Key words:** climate change; the electric power consumption; Guangzhou City