# 温度变化对城市冬夏季取暖和降温能耗的影响

张昕璇[1] 张海东[2] 刘寿东[3]

（1. 北京华风气象影视信息集团有限责任公司，100081；
2. 中国气象局办公室；3. 南京信息工程大学）

**提 要**：利用常规气象资料和能源消费资料，对北京、哈尔滨、西安、南京、上海、武汉、成都和广州八个重要城市的取暖期长度、取暖和降温度日及其变率进行计算，并详细分析温度变化对取暖和降温能耗的影响。分析表明，近20年来各城市的取暖度日均有所减少，而降温度日呈上升趋势。着重分析北京和上海温度要素与实际能耗的关系，并建立了温度变化对能源影响的相关方程。

**关键词**：温度变化 取暖度日 降温度日 能源需求

## 引 言

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在2001年和2007年分别发布第三次及第四次气候评估报告中指出，据1860年以来的气温观测记录，近百年全球表面平均温度上升了0.4～0.8℃，而最近20年是最暖时期[1]。能源是经济基础，气候变化将导致能源需求改变。近30年，我国人均能源消费水平也随着工业化和城市化进程而逐步提高。因此，我国坚持把节约能源放在首位，推进科技进步，提高能源利用率是转变我国经济增长方式的一项重要内容；而且也是保护环境、减少温室气体排放的重要手段。

能源消费与温度变化密切相关，而关于温度变化对冬季取暖和夏季降温影响的研究较少。1952年，Thom首次用度日法分析能源消费与温度变化的关系[2-4]。近几十年来，许多学者都用度日法研究温度和能源的关系。Mikdat Kadioglu等人以土耳其50年逐日气温资料为基础，用Mann-Kendall统计方法讨论降温和取暖度日是否存在趋势性变化发现，近年来土耳其西南沿海用于降温的能源呈减少趋势，东北地区取暖能源需求明显上升。Ahmet Durmayaz等用度时法估算土耳其大城市中心地区取暖能源消费量，并详细算出在一个公寓楼中季节取暖实际能源需求[5]。I. Yildiz等计算了以18℃和20℃、18℃和24℃、7℃和13℃为基础温度时，为土耳其不同地区建筑之间的能量效率比较提供基础。

在国内，吴息等分析气候因素对长江三角洲电力消耗影响指出，气温升高造成夏季降温耗能增加量要明显大于冬季取暖耗电的减少量；气温升高使居民生活耗电增加[6]。

陈峪等认为我国夏季降温度日分布形势

大致由南向北减少，不同月份其量值及高值中心的位置均有所不同，以7月为最大；温度与降温能耗的相关程度随气温升高而增加；降温耗能的1℃效应量，北方大于南方，还利用气温距平与降温度日变率建立了夏季降温耗能评估模型[7]。

张小玲等利用1998年和1999年北京市夏季逐日用电量和气象要素资料进行逐步回归建立统计关系，表明每天实际用电量与天气条件有密切关系[8]。

袁顺全等用统计分析方法探讨气候耗能量与气候因子之间的关系，发现温度变化对气候耗能量的影响逐渐增加[9]，并回顾了在研究气候变化与能源消费的关系方面取得的成果和尚待研究的问题[10]。

郑艳、潘家华等用格兰杰因果性检验和协整检验的方法，对气候因子与城市化因子进行了分析，认为北京市供热面积的增长与采暖度日指数等气候因子有较好的协整关系，北京冷季燃煤取暖是造成城市增温和冬季热岛效应一个重要因素[11]。

本文采用目前国际上广泛应用的度日分析法，着重分析温度变化对我国北京等八个城市冬季取暖和夏季降温的影响，以了解我国南北方取暖和降温耗能的需求量。

## 1 资料来源及研究方法

本文所采用的气象资料来源于中国气象局国家气候中心，包括全国31个省会城市气象台站1951—2006年日平均气温、日最高和最低温度、风向风速、降水量。能源消费数据主要从《中国能源统计年鉴》、《中国电力统计年鉴》、《中国统计年鉴》及各省市统计年鉴中获得，包括各地区的逐年能源消费总量、用电量和煤炭消耗量等。

度日是计算热状况的一种单位，系指日平均气温与规定基础温度的离差。度日可分为两种类型，取暖度日（Heating Degree-day，HDD）和降温度日（Cooling Degree-day，CDD）。取暖度日即一段时间内日平均气温低于基础温度的累积度数，取暖度日值越大，表示温度越低，如果日平均气温高于该基础温度，那么这一天的取暖度日为零。降温度日是指日平均气温高于基础温度的累积度数，降温度日值越大，表示温度越高，若日平均气温低于基础温度，则无降温度日。度日值由如下公式求得：

$$D_h = T_b - T$$

$$D_c = T - T_b$$

式中，$T$为日平均温度，$T_b$为基础温度，$D_h$和$D_c$分别为取暖和降温度日值。

我国规定计算取暖度日的基础温度是5℃。一般情况下，当室外气温为5℃时，室内温度可保持在10～12℃之间。对于降温度日的基础温度，我国在近期针对公共建筑做出了相关规定为26℃。

本文在计算取暖和降温度日时，将基础温度分别设定为5℃和26℃。

## 2 取暖和降温度日及能源需求分析

### 2.1 我国近50年平均温度变化

图1给出1951—2006年我国平均气温的变化序列。由图可见，此间我国年平均气温呈明显上升趋势。以1971—2000年气温平均值（8.83℃）为标准，可看出增温主要从1980年代中后期开始，并且有加快的趋势。在1987年前的36年中，只有1973年（8.87℃）和1982年（8.94℃）属于偏暖年份，仅比平均气温高出0.04℃和0.07℃；而在以后20年中，出现了17个偏暖年份，气温偏高幅度也越来越大。其中，2006年全国平均气温9.9℃，较常年偏高1.1℃，是1951年以来最暖的一年。并且四季气温均偏高，夏季和秋季全国平均气温均破

1951年以来同期最高记录。夏季，全国平均气温为1951年以来历史同期最高值，也是1997年以来连续第10年高于常年值。上海、浙江、四川、重庆、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏10个省（市、区）的区域平均气温达历史同期最高值。重庆、四川东部、陕西南部、甘肃南部等地偏高2～4℃。盛夏，重庆、川东遭受罕见的高温热浪袭击[12]。

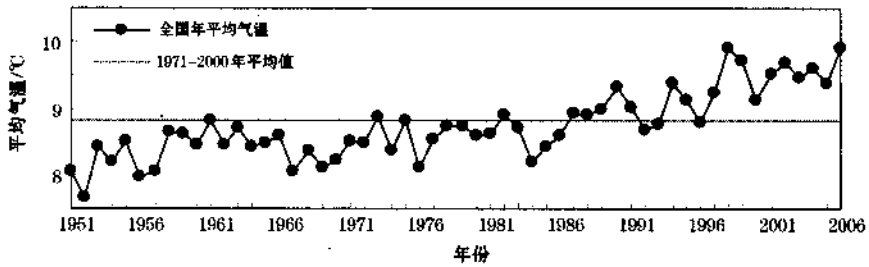



**图1**　1951—2006年全国年平均气温变化

研究表明，近50多年中国四季平均气温都呈上升趋势，其中冬季上升趋势最为明显，变化速率高达0.36℃/10a[13]。这种温度显著升高会给能源消费带来诸多变化，尤其是对冬季取暖和夏季降温能耗的影响，引起人们关注和研究。

### 2.2　北京等八个重要城市取暖和降温度日变化

为了解区域温度分布情况，选取我国7个地区中八个重要城市进行逐年平均温度和度日变化分析，这8个城市分别为北京、哈尔滨、西安、上海、南京、武汉、成都、广州。

从理论上讲，气候变暖以后，冬季取暖能耗将减少，夏季能源尤其是电力消费量则会增加。但由于各地经济发展不均衡，采暖方式或制冷手段不一致等原因，用于环境调节的实际能源消费量难以估算。为了不受上述原因，特别是能源资料限制，采用统一评估指标来对比各地取暖和降温能源需求，在分析温度变化对能源需求的影响时，先采用度日法计算采暖期长度、取暖和降温度日等指标变化，再比较实际能源资料和温度的变化后，进行相关分析。

#### 2.2.1　年平均温度变化

从1955到2005年北京等8个城市平均气温变化（图2）可看出，这8个城市50年平均气温变化趋势与全国气温变化基本相同，1980年代中后期开始气温明显上升。并且，北方城市气温变化大于南方城市。例如，北京、西安和哈尔滨从1980年代至2005年气温变幅均在2.5℃以上，其中哈尔滨达到3.05℃。而南方城市气温升幅在2.5℃以下，最南的广州变幅最小，只有1.71℃。由于城市气温变化的原因较多，可能与城市热岛效应、城市化等有关，但本节侧重度日分析。

#### 2.2.2　取暖度日变化分析

我国集中取暖区域主要分布在长江、汉水以及秦岭以北地区。取暖起止日期各地有所不同，但都是依据1951—1980年资料而确定的。1980年代以后，气候增暖现象显著，冬季取暖能源需求受到很大影响。选取东北哈尔滨、华北北京、西北西安和华东南京4个典型城市，利用1951—2006年逐日平均气温资料，分析取暖度日、取暖期长度和起止日期的变化。

如表1所示，表中全年取暖度日是指本年8月1日到次年7月31日之间所有日平均气温低于5℃的取暖度日之和；冬季取暖度日是每年12月至翌年2月的取暖度日之和。由表1可知，南京全年取暖度日值中，94.4%出现在冬季3个月，而西安、北京、哈尔滨冬季取暖度日分别为全年的91.6%、88%和74.2%。这表明东北地区的寒冷时期远长于冬季，随着纬度降低，冷季取暖日逐渐缩短，到了南京（32°N），绝大部分日平均气温低于5℃时期都出现在冬季。故在分析南京取暖能源需求时，可集中冬季3个月；在分析哈尔滨的取暖能耗时，应根据当年逐日平均温度确定取暖期，然后计算取暖期内的取暖度日数，用以反映该年取暖能源需求量。

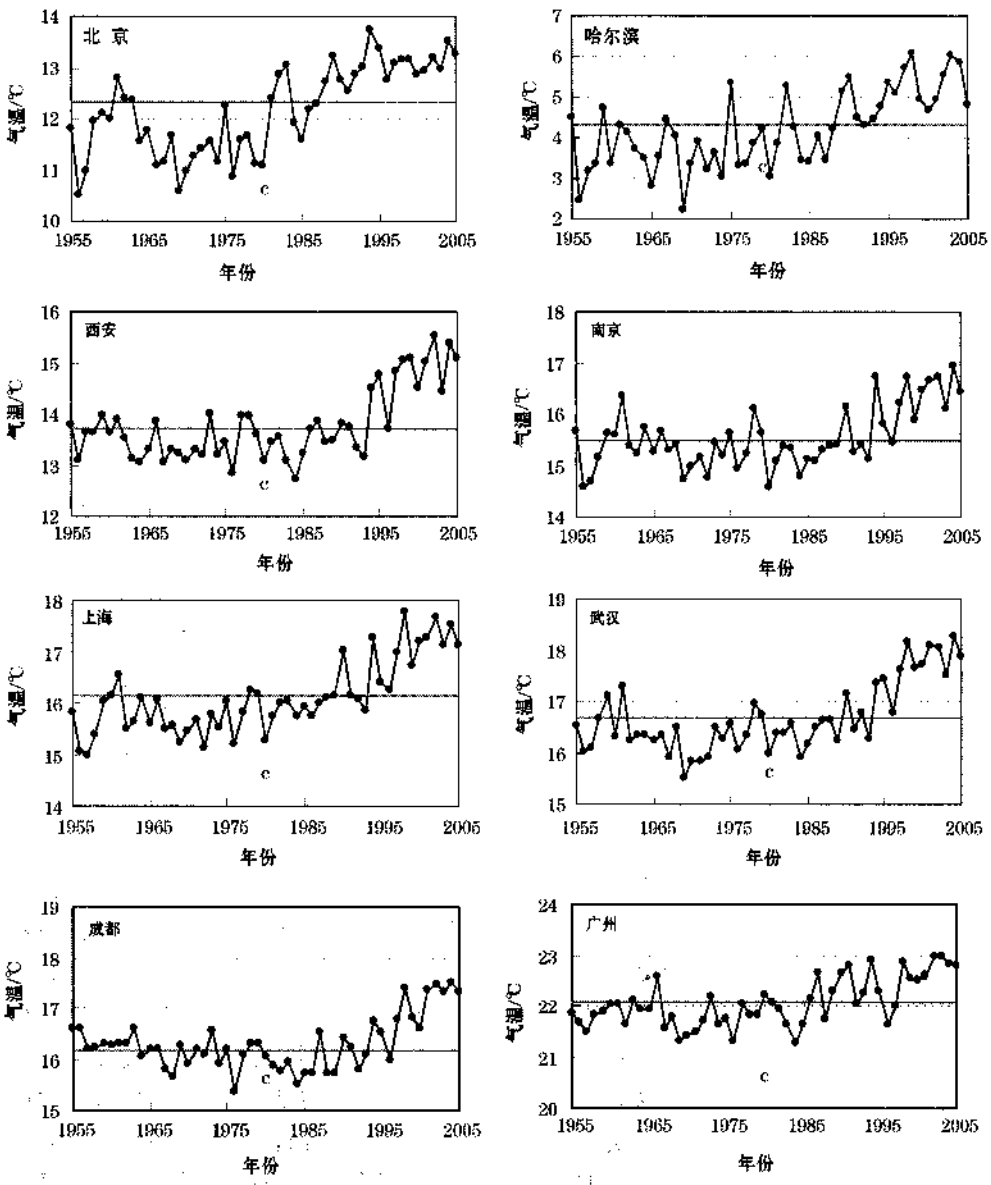



**图2** 1955—2005年北京等8个城市年平均气温

**表 1**　冬季取暖度日和全年取暖度日的关系

| | 城市 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 哈尔滨 | 北京 | 西安 | 南京 |
| 全年取暖度日（1971—2000 年）平均值/℃ | 2521 | 718 | 379 | 201 |
| 冬季取暖度日（1971—2000 年）平均值/℃ | 1870 | 632 | 347 | 190 |
| 冬季在全年取暖度日中所占比例/% | 74.2 | 88.0 | 91.6 | 94.4 |

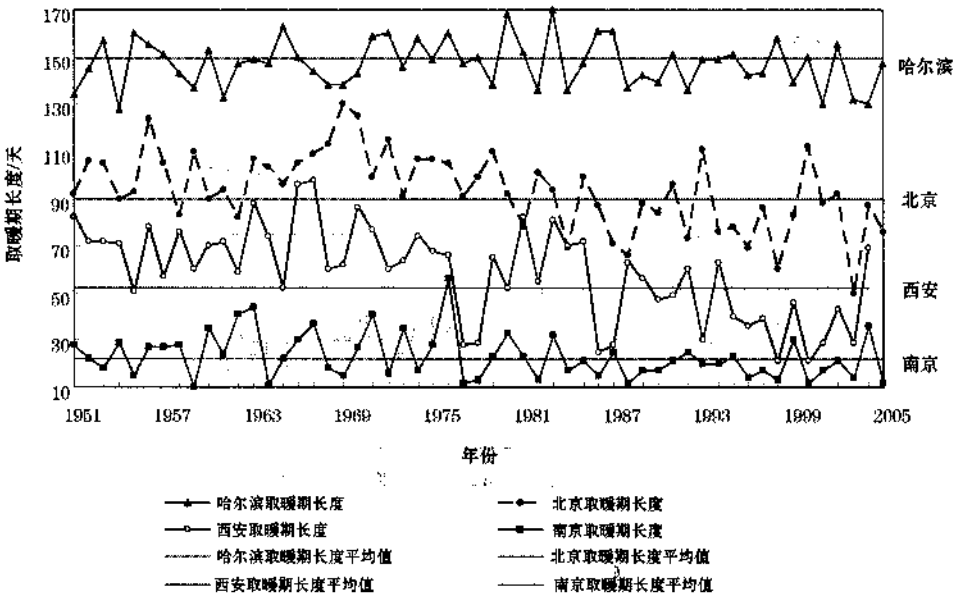



**图 3**　1951—2005 年哈尔滨、北京、西安、南京取暖期长度

计算结果表明，取暖开始日期由北向南推迟，哈尔滨一般在 10 月末至 11 月初，南京日平均气温在元旦前后才能稳定低于 5℃；而采暖结束日期自南向北推迟。由图 3 可看到，从 1951—2005 年，虽上述 4 个城市取暖期长度都有较大年际波动，但城市间每年取暖期的相对长度总是由北向南逐渐缩短。

图 4 是 4 个城市取暖期长度和取暖期内取暖度日的距平百分率，就哈尔滨而言，1951 年以来取暖期长度和取暖度日的变化趋势非常相似，但是二者的变化幅度有显著差异。首先，取暖度日变率比取暖期长度变率的波动范围大。取暖度日变率波动的峰值可达 26.1%和－24.6%，而取暖期长度变率仅在 17.3%和－14.4%范围内变化。其次，取暖期长度与取暖期内取暖度日变化不存在明显正比关系。如 2001 年和 2004 年取暖期长度变率都为－13%，而从取暖期内取暖度日变率来看，2001 年取暖度日变率是－24.6%，2004 年取暖度日变率却只有－5.2%。按照取暖情况的变化趋势来划分，1987 年之前，哈尔滨的取暖期长度没有明显的增加或减少趋势，正负距平的数量基本持平；不过，大部分年份的取暖度日较平均值偏多，特别是有些年份，如 1967—1969 年，取暖期长度虽然比平均值短，取暖度日却明显大于平均值，说明在这些年份中，冬季日平均气温相对较低，非常寒冷，能源需求量很大。而在 1987 年以后，取暖期长度

呈明显缩短趋势，在18年中只有5年取暖期长度大于平均值，仅出现微弱正距平。与此同时，取暖度日减少的趋势比取暖期长度更加明显，从1988到2005年，有16年的度日值低于平均值，而且大部分取暖度日变率低于－10%。这反映了1987年之后，哈尔滨市不但取暖期缩短，而且取暖期内的气温也比以前高一些。

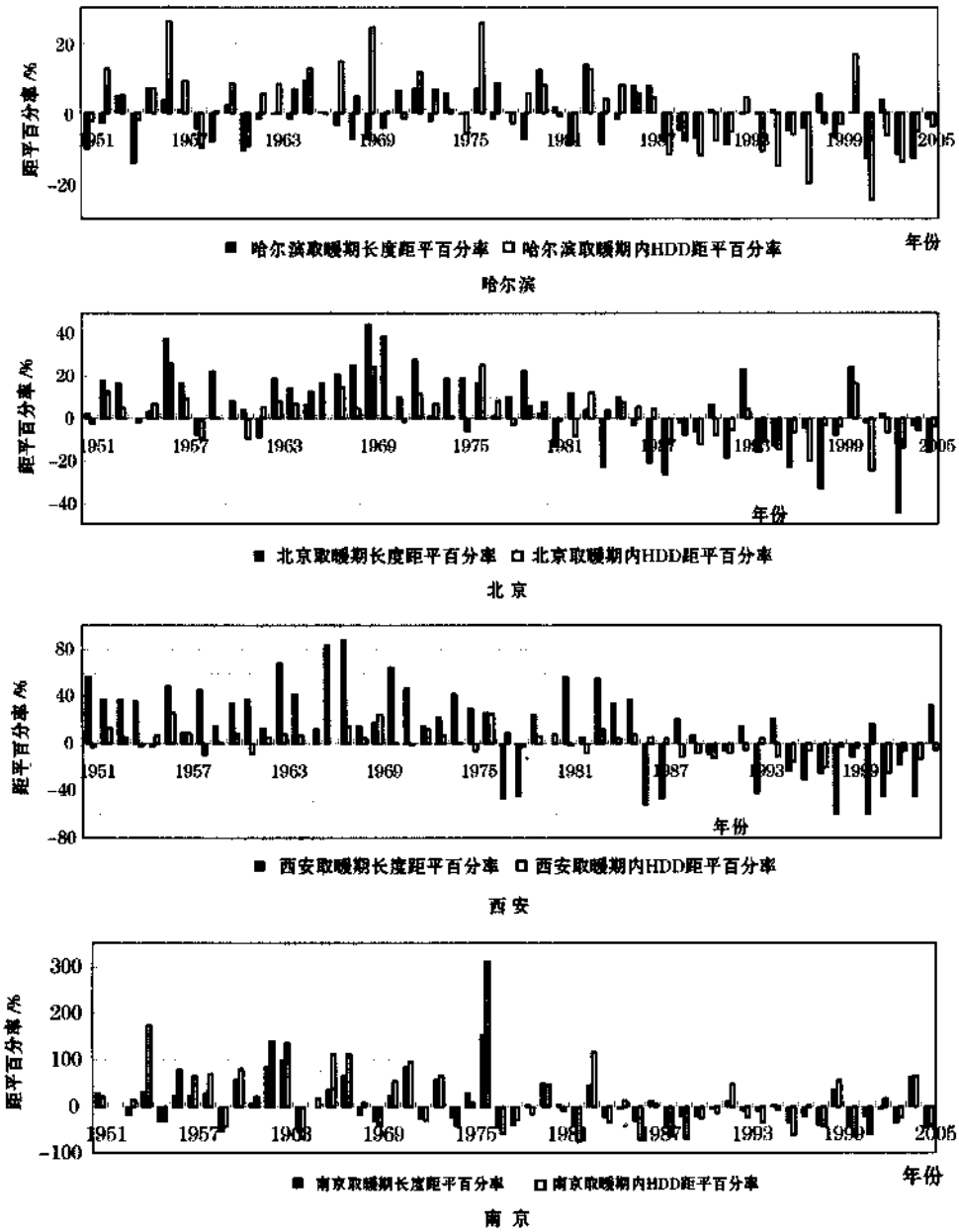



**图4** 1951—2005年哈尔滨、北京、西安、南京的冬季取暖期长度和取暖度日距平百分率变化

北京市取暖期变化同哈尔滨一样，也可分为两个阶段。在1987年之前，其取暖期长度变率一般为正，说明北京日平均气温连续低于5℃的时段比较长；1987年之后，取

暖期长度急剧缩短，取暖度日也随之减少，仅在1993年和2000年明显高于平均值。与哈尔滨不同的是，北京市取暖期长度变幅比取暖度日大，极值可达44%和－44%；而取暖度日变率在26.1%和－24.6%之间变动。

西安取暖期的变化趋势与北京非常相似，同样可以1987年作为取暖期由长变短的大致分界线，取暖度日变率的变化范围也与北京基本相同。不过，西安取暖期长度的变化幅度远大于北京，其变率的最大值可达到87.6%和－59.8%。

将哈尔滨、北京和西安横向比较，发现1987年是它们取暖期变化的共同分界线，从1987年至今，增暖现象是冬季温度变化的主题，取暖度日为减少的趋势。这一结论与图1中我国年平均气温从1980年代中后期开始明显升高一致。另外，从3个城市取暖期长度以及取暖期内取暖度日的变化幅度来看，哈尔滨变幅最小，其次是北京，变化最剧烈的是西安，这在一定程度上说明温度变化对取暖能源需求的影响随纬度增加有减少之趋势。

南京的取暖期长度和取暖期内度日变化非常剧烈，规律性不如上述3城市显著。这是因为取暖期是通过某一固定温度来确定的，一次冷空气过程往往可以决定其开始或结束日期，从而使得取暖期长度变化具有一定随机性。对南京来说，其冬季平均气温和取暖基础温度（5℃）非常接近，很容易受到个别天气过程影响，取暖期长度对气温变化的响应比哈尔滨、北京和西安更加敏感，年际波动很大。

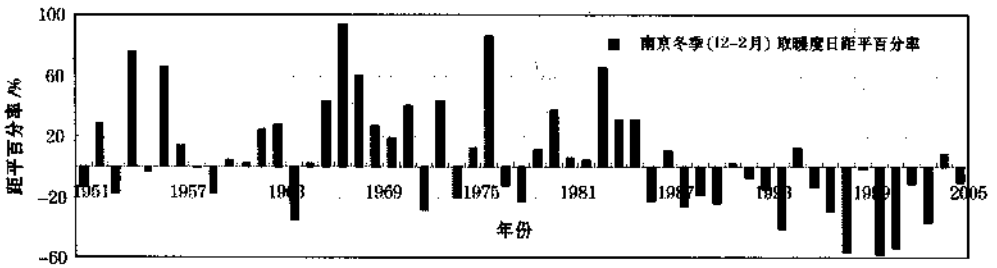



**图5**　1951—2005年南京冬季取暖度日距平百分率变化

在以5℃为基础温度的情况下，南京取暖期长度多年平均值不足30天，因而未施行集中供暖。在寒冷季节，人们一般使用空调供暖，供暖时间和强度有很大自主性。所以，在计算非集中供暖区的取暖能源需求时，以全年或冬季的取暖度日值作为量度指标比使用取暖期长度更合理。从图5可知，1987年以前，南京冬季取暖度日以正距平居多（图5），并且距平值较大。在最近20年，南京冬季取暖度日大多为负距平，即取暖度日减少，平均气温升高。这与哈尔滨、北京、西安冬季取暖能源需求变化趋势一致。

### 2.2.3　降温度日变化

在很长一段时间我国未制定夏季降温的相关标准。近年来，随着气候变暖，夏季降温耗能问题越来越突出。2007年国务院颁布了公共建筑空调温度控制标准，明确提出夏季室内空调温度设置不得低于26℃。这对促进科学使用空调，节约能源，减少温室气体排放，有效保护环境起到了重要作用。

据此，本文以26℃为基础温度，计算北京等8个城市的降温度日值。如表2所示，降温度日平均值自北向南逐渐增加，只

有地处四川盆地的成都，因其特殊地理位置而造成降温度日低于相近纬度的其它城市。

**表2** 北京等8个城市1971—2000年降温度日平均值

| 站名 | 哈尔滨 | 北京 | 西安 | 南京 | 上海 | 武汉 | 成都 | 广州 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CDD平均值/℃ | 6.9 | 59.1 | 99.5 | 148.7 | 145.3 | 217.0 | 29.2 | 283.5 |

从8个城市降温度日分析结果（图6）来看，1980年代之前各城市降温度日变率不尽相同。北京、广州和哈尔滨以负距平居多；而西安、南京、上海、武汉和成都的降温度日距平分布年际变化较大，无有明显规律。1980年代中后期之后，除哈尔滨外，各城市年降温度日变化的基本趋势非常一致，均为正距平。

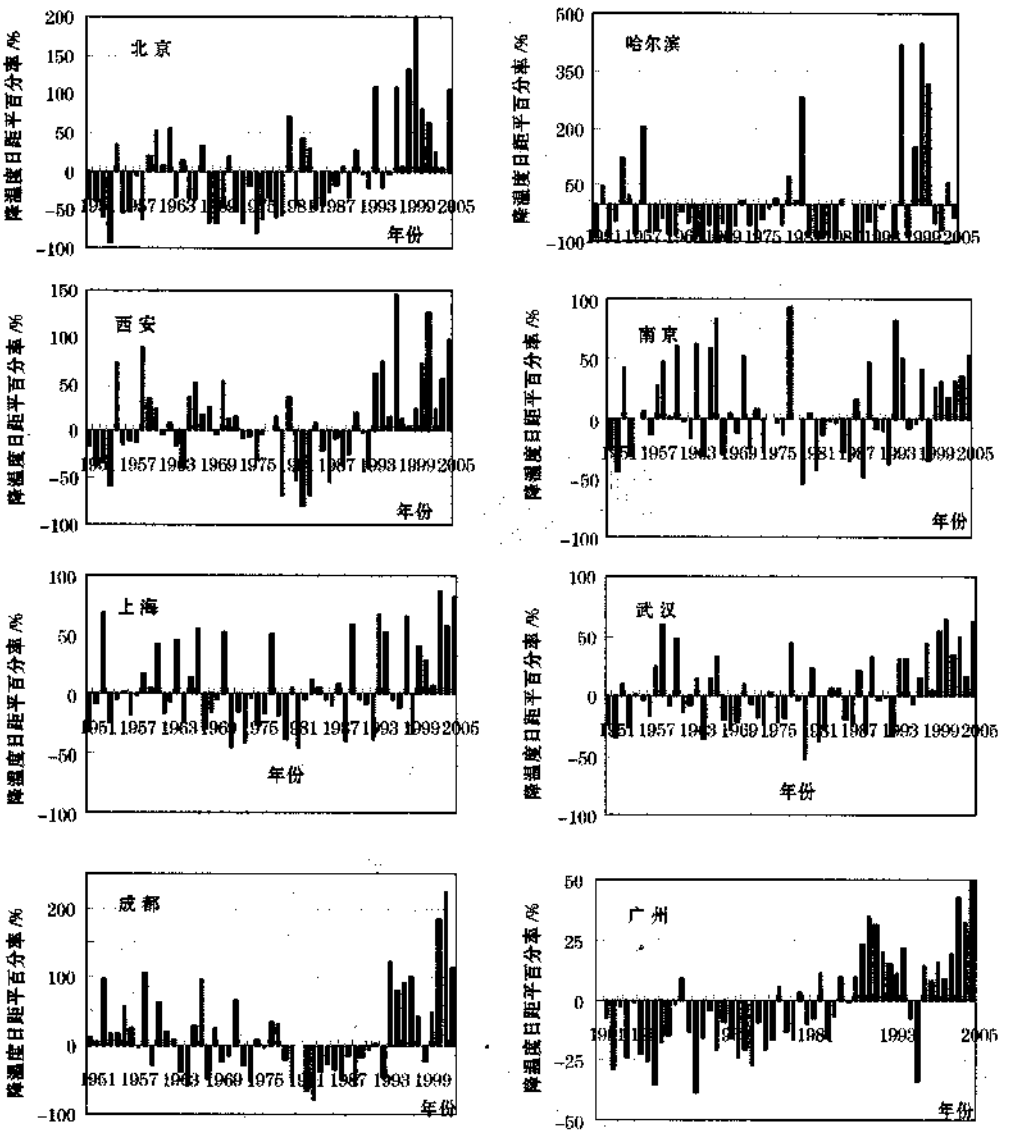



**图6** 1951—2005年北京等8个城市降温度日距平百分率

综合分析图 2 和图 6 可见，近 20 年来，各城市气温均有不同程度上升，气温变化与降温能源需求有很好的同步性，温度对降温耗能的影响随气温升高而增加，尤其是南方城市降温耗能与气温变化有密切关系。

### 2.3 温度变化与实际能源需求的相关分析

近年来，我国人民生活能源消费总量逐步攀升。用于环境调节的能源消费不仅受社会经济制约，而且还受气候温度因子变化影响。下面，别以北京和上海为例进行分析。

#### 2.3.1 北京市取暖销售量变化

北京市取暖销售量逐年上升趋势明显（图 7）。拟合结果表明，取暖销售量随时间呈指数关系增长。由于北京的城市建设处在发展之中，集中供暖面积逐年扩大，取暖销售总量的增长并不能客观地反映温度变化对实际取暖耗能的影响。故以单位面积取暖销售量为指标，来分析温度变化对取暖耗能的影响。

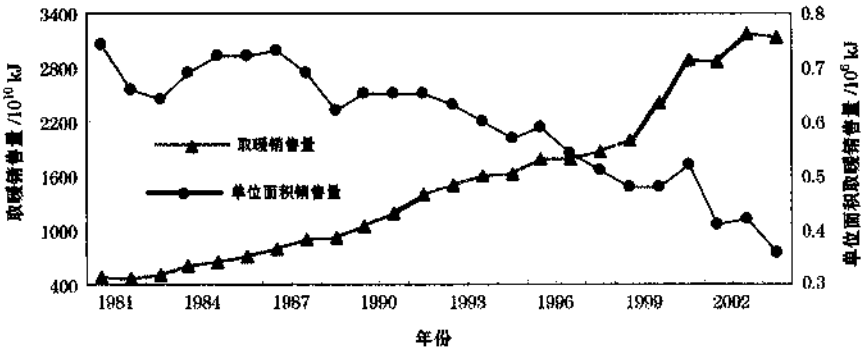



**图 7** 1981—2004 年北京市取暖销售量和单位面积采暖销售量变化

将单位面积取暖销售量与相应年份平均气温进行相关分析[14]，相关系数为 −0.661。对显著水平 $\alpha=0.01$，自由度为 24−2=22，查相关系数检验表得 0.515。因为 $|-0.661|=0.661>0.515$，所以认为单位面积取暖销售量和年平均气温之间存在较好的负相关。相关方程为：

$$y=-0.144x+2.445$$

式中，$x$ 为年平均气温，$y$ 为单位面积取暖销售量。由图 7 可见，自 1981 年以来，单位面积取暖销售量虽时有波动，但是大体上呈减少趋势（图 7），尤其是 1987 年之后，这种减少趋势更为明显，说明气温升高确实使取暖能耗降低了。利用该统计模型，可对每年取暖耗能进行评估。已知某年份的平均气温，可求得该年单位面积采暖销售量。

#### 2.3.2 上海市用电量变化

研究表明，城市用电量对各种气象要素的变化有不同响应，其中，对温度变化最为敏感，其次是风速、相对湿度和降水。以上海市为例，探讨温度变化对用电量的影响。

将上海市年平均气温和全社会用电量、市政生活用电量进行相关分析，相关系数分别为 0.780、0.717。均存在较好的线性关系。以年平均气温为预报因子，建立年平均气温和全社会用电量、市政生活用电量的一元线性回归方程：

$$y_1=249.57x-3796.8$$

$$y_2=47.052x-725.5$$

式中，$x$ 为年平均气温，$y_1$ 为全社会用电量，$y_2$ 为市政生活用电量。

如图 8，图 9 所示，上海市近 50 年用电量与气温变化具有良好的同步性。1980 年代之前，平均气温不断起伏波动，但没有

明显上升或下降趋势，全社会用电量呈现缓慢增长趋势，市政生活用电量涨幅变化也不明显。从1980年代中后期开始，气温显著上升，全社会用电量以及市政生活用电量也进入了快速增长阶段。

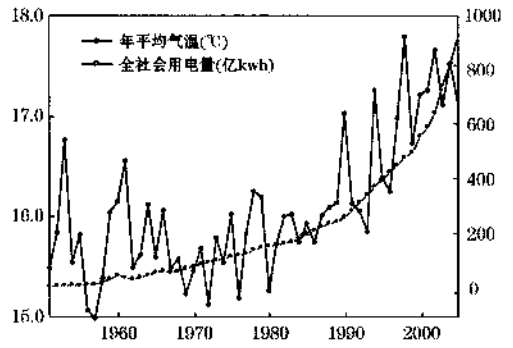



**图8** 1951—2005年上海年平均气温和全社会用电量变化

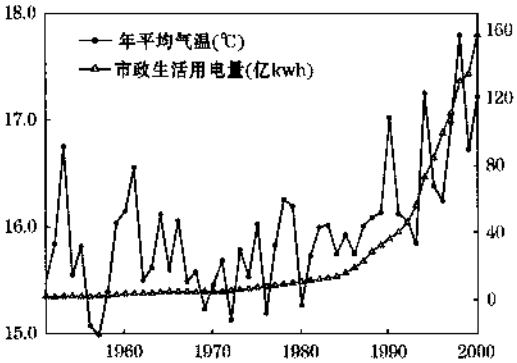



**图9** 1951—2000年上海年平均气温和市政生活用电量变化

## 3 小 结

(1) 从1951年至今，我国年平均气温呈上升趋势，尤其是1980年代中后期以来，温度上升幅度日益显著。北京、上海、哈尔滨、西安、南京、武汉、成都和广州8个重要城市与全国温度变化一致，均出现了不同程度的增温现象。

(2) 取暖度日与温度变化具有良好的相关性。分析哈尔滨、北京、西安和南京的取暖度日，发现1987年是它们取暖度日变化的共同分界线，从1987年至今，增暖现象成为冬季温度变化的主题，取暖度日呈减少趋势。

(3) 从北京等8个城市来看，除成都因其特殊地理因素而使降温度日较低之外，降温度日平均值自北向南逐渐增加。近20年来，各城市年平均气温均有所上升，降温度日增加趋势十分明显。

(4) 北京市取暖销售量自1981年以来明显上升，与取暖面积逐年增长有关；单位面积取暖销售量大体呈减少趋势，表明气温升高确实使取暖能耗降低。单位面积取暖销售量与年平均气温之间存在较好的线性相关。上海近50年平均气温与用电量在1980年代之前无明显趋势性变化，而从1980年代中后期开始进入显著增长期，二者具有良好的线性相关。

## 参考文献

[1] 世界气象组织. 气候变化2001综合报告：44-45.

[2] Thom H. S. C. Seasonal degree day statistics for the United States [J]. Monthly Weather Review, 1952, 80: 143-149.

[3] Thom H. S. C. The rational relationship between Hearing Degree Days and Temperature [J]. Monthly Weather Review, 1954, 82: 1-6.

[4] Thom H. S. C. Normaldegree days above any Base by the universal truncation coefficient [J]. Monthly Weather Review, 1962, 94: 461-465.

[5] Ahmet Durmayaz, Mikdat kadioglu. Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey [J]. Energy Conversion & Management, 2003, 44: 1177-1192.

[6] 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.

[7] 陈 峪，叶殿秀. 温度变化对夏季降温耗能的影响 [J]. 应用气象学报，2005，16（增刊）：97-104.

[8] 张小玲，王迎春. 北京夏季用电量与气象条件的关系及预报 [J]. 气象，28（2）：17-20.

[9] 袁顺全，千怀遂. 我国能源消费结构变化与气候特征 [J]. 气象科技，2003，31 (1)：29-32.

[10] 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.

[11] 郑　艳，潘家华，吴向阳. 影响北京城市增温的主要社会经济因子分析 [J]. 气候变化研究进展，2007，2 (4)：188-192.

[12] 中国气象局. 中国气候公报 [M]. 北京，气象出版社，2007：3-6.

[13] 气候变化国家评估报告 [M]. 北京：气象出版社，2007.

[14] 杨德保. 工科概率统计 [M]. 北京：理工大学出版社，2007.