

中国各省级行政区未来气候耗能变化可能情景

任玉玉¹, 任国玉¹, 千怀遂²

(1 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081; 2 广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要: 利用 7 个全球耦合气候模式的集成结果, 得到我国 2020~2029 和 2050~2059 年气温和度日变化的可能情景。结合社会经济发展的影响, 计算得到我国各省级行政区未来气候耗能变化的可能情景。结果表明: 我国未来平均年总度日有显著的降低, 总度日的变化有明显的地域性, 西部和北方地区降低, 南方地区有所增加; 取暖度日普遍降低, 降温度日有不同程度的增加; 2020~2029 年和 2050~2059 年度日变化空间格局相似, 2050~2059 年的变化幅度大于 2020~2029 年; 未来我国南方沿海大部分地区的气候耗能有所增加, 气候耗能下降区主要分布在北方、中部和西部地区; 气候耗能变化空间格局有度日变化的作用, 也受社会经济发展水平的影响, 同一地区的各省(区、市)具体气候耗能变化值也有较大差异。

关键词: 气候变化; 度日; 气候耗能; 未来情景

文章编号: 1000-0585(2009)01-0036-09

1 引言

能源消费和气候变化之间的关系是相互的, 能源消费被认为是引起全球变化的主要原因之一, 全球变化反过来也会对能源消费产生一定的影响。许多研究发现气候因子与能源消耗(包括天然气、电、燃油等各种能源)之间有显著的相关关系^[1~8], 大气 CO₂ 浓度增加可能引发的气候变化会对能源消费带来明显影响^[9]。在美国^[10~12]、香港^[13]、地中海^[9, 14~16]和中国大陆^[17~22]等地区展开的气候变化对能源消费的影响研究也证实能源消费和气候之间有密切的关系, 气候变化会引发能源消费变化。袁顺全等^[19~21]对中国大陆能源消耗和气候关系的研究, 得到过去几十年我国能源消耗与气候的关系随时间增强的变化情况。Qian 等^[22]研究了中国过去几十年气候对能源消费的影响, 但没有分析未来气候和社会经济情景下的情况。目前, 气候学界一般认为, 大气中 CO₂ 等温室气体浓度增加将导致未来气候进一步变暖, 同时随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 未来中国能源消费对气候变化的敏感性必然会增加, 作为人口和能源消费大国, 未来气候情境下中国气候因子耗能(气候耗能)可能会有较大的变化。

本文利用 IPCC 推荐的 7 个模式的模拟结果, 尝试分析未来人为因素引起的气候情景下, 中国各省级行政区能源消费中气候因子耗能的变化情况。首先依据模式预测结果计算度日, 然后利用 Robinson^[23]的方法计算中国各省(区、市)能源消费中的气候耗能, 对其可能变化趋势进行分析, 希望可以为国际谈判、制定能源战略和指导节能减排提供参考。

收稿日期: 2008-02-22; 修订日期: 2008-11-24

基金项目: 国家科技支撑项目课题 (2007BAC29B02)

作者简介: 任玉玉 (1981-), 女, 山东德州人, 博士。主要从事气候变化及其影响研究。

E-mail: renyuyu@126.com

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

中国 676 个国家基准、基本站 1951~ 2000 年月平均温度数据和省会城市站 1971~ 2000 年日平均温度数据来源于中国气象局国家气象信息中心，站点分布见图 1。各省（区、市）能源相关数据来源于中国统计年鉴。由于数据缺失，台湾、西藏、香港和澳门没有纳入气候耗能分析中，重庆市并入四川省进行分析。



图 1 中国国家级气象站分布图

Fig 1 Distribution of meteorological stations in China

2.2 度日计算方法

Thom^[24~ 26] 在 20 世纪 50 年代初首次提出了度日（degree-day, DD）的概念，作为表征环境调节需求的重要指标之一，国内外学者利用度日方法进行了许多气候与能源方面的分析^[8, 15~ 17]。某日的度日就是该日平均温度与规定的舒适/基础温度的偏差，偏差越大环境调节的需求越强烈。根据不同的目的可以分为取暖度日和降温度日。取暖度日（heating degree-day, HDD）是日平均温度低于基础温度的值，降温度日（cooling degree-day, CDD）是日平均温度高于基础温度的值。

$$\begin{aligned} HDD &= T_{b1} - T_i & T_i &\leq T_d \\ CDD &= T_i - T_{b2} & T_i &\geq T_{b2} \end{aligned}$$

其中： T_i 为日平均温度； T_{b1} 为取暖的舒适温度； T_d 为取暖的界限温度； T_{b2} 为降温的舒适温度。

根据《采暖通风与空气调节设计规范》^[27] 的规定和相关研究^[21]，本文设定的取暖界限温度为 5℃，舒适温度为 18℃，降温的舒适温度设定为夏季开始的界限温度 22℃。

年度日为一年度日值的直接加和，还可以利用月均温通过统计方法获得近似值^[28~ 30]。这里选择 Wendland^[29] 提出的月平均温度直接算法计算年总度日。

$$DD_y = \sum_{m=1}^{12} DD_m = \sum_{m=1}^{12} |T_m - T_b| n$$

其中， DD_y 为年总度日值； DD_m 为月度日值； T_m 为月平均温度； T_b 为基础温度； n 为每月天数。

为检验月平均温度计算年度日方法的可行性，对 29 个省会城市 1970~ 2000 年逐日和月平均温度计算的结果进行了比较，结果的相关系数为 0.999，通过 0.01 的显著检验，相对误差 0.0576，可以满足本研究的精度要求。

2.3 未来气候情景

本文采用 IPCC 推荐的 7 个全球气候模式（CCCMA_3, CSIRO_MK3, GFDL_CM2_0, MIROC3, MPI_ECHAM5, NCAR_CCSM, UKMO_HADCM）模拟结果预测未来气候情景。关于 7 个模式的参数细节和模式对中国区域的模拟能力等，可参考相关文献^[31~ 34]。计算在 A1B 温室气体排放情景下 1990~ 1999 年、2020~ 2029 年和 2050~ 2059 年 7 个模式平均的温度值。A1B 情景是一种设定的未来温室气体中等排放情景。在这种情景下，大气

中 CO_2 浓度将在 21 世纪末或 22 世纪初比工业化前提高 1 倍。对能源消费的研究, 站点数据比格点数据更能表现环境调节的需求, 所以我们利用三次内插将气候模式的输出结果插值到 676 个站点上^[31]。利用 7 个模式输出结果的算术平均值以及 Wendland 方法计算各气象台站未来气候变化情景下的年度日值。

2.4 能源消耗模型

能源消费总量的变化受到社会经济因子和气候因子的共同影响, 其构成可用下式表示:

$$y = y_t + y_w + y_c$$

式中, y 为实际能源消费量, y_t 为能源消费趋势量 (社会经济耗能量), y_w 为波动量 (气候耗能量), y_c 为随机量。趋势量是假设在气象等因子正常的情况下, 由于社会经济发展产生的能源消费量, 是逐渐上升的, 在时间序列上是个变化比较平稳的过程。气候耗能量是指由于气象因子 (温度、降水、气象灾害等) 的季节、年际波动而产生的能源消费量, 是造成能源消费量围绕社会经济耗能量波动的主要因素, 有随经济发展的趋势量和受气候波动影响的分量, 其中后者又可以分为受气象灾害影响的部分和室内环境调节用的部分。气象灾害的影响一般隐含于农业耗能中, 随着快速的工业化进程, 气象灾害耗能的影响越来越微弱。自 20 世纪 80 年代以来, 中国能源消耗和气象灾害的相关性越来越低。另一方面, 随着中国经济发展和空调使用量的增加, 能源消费和温度的相关性将越来越显著。1990~1999 年取暖度日与取暖煤炭消耗量的相关性通过了 0.05 的信度检验, 同时 1986~1998 年降温度日和降温电力消耗量的相关性也通过了 0.05 水平的信度检验^[19, 20]。此外, 在现阶段气象灾害情景的预测非常困难, 因此, 本文只讨论温度变化对气候耗能的影响, 不涉及气象灾害对气候耗能的影响。式中随机量是指由于其他随机因素而产生的那部分能源消费量, 一般所占的比例较小, 且不易分离, 通常忽略。

通过对比分析发现我国各省 (区、市) 国内生产总值的对数形式 ($y_t = b_0 + b_1 \ln x$) 可以很好地拟合能源消耗中的社会经济分量, 拟合值与实际值的相关系数均超过 0.01 的显著水平 (附表 1)。统计分析各省 (区、市) GDP 与社会经济耗能的关系, 拟合各省 (区、市) 逐年社会经济耗能量, 计算各省 (区、市) 逐年实际能源消耗量与社会经济耗能的差值, 得到气候耗能量。

空调、暖气等环境调节活动需要一定的社会经济支撑, 随着经济发展、人民生活水平提高, 空调、暖气等将大量使用, 用于室内环境调节的能源必将不断增加, 此外, 还有人口、技术进步等因素的影响, 因此对气候耗能的研究不能脱离社会经济发展, 尤其是我国目前的社会经济水平不能完全满足环境调节用能需求, 简单的使用度日对气候耗能进行回归不能恰当拟合未来气候耗能。为综合社会经济和气候变化的影响, 本文在模拟气候耗能情景时借鉴了 Robinson 的方法^[23], 假定对特定的温度, 气候耗能可用由非气候因素组成的公式决定:

$$y_w = y_t \times w_t$$

则:

$$y = y_t + y_t \times w_t$$

式中, y 为总能耗, y_t 为社会经济耗能, y_w 为气候耗能, w_t 为气候敏感系数。为计算方便设定 $w = 1 + w_t$, 即:

$$y = y_t \times w$$

$$w = y / y_t$$

由此得到剔除社会经济等因素影响后的气候耗能因子 w 。分析 1961~1999 年各省 (区、市) 气候敏感系数和气候因子之间的关系。各省 (区、市) 经济和社会发展水平以及消费水平不同, 气候耗能与气候因子之间的关系有很大的差异^[16], 各省 (区、市) 气

候敏感系数与气候因子之间的关系也存在着较大的差异。计算各气候因子与气候敏感系数的回归方程，并比较回归结果与实际值之间的相关性，最终确定各省（区、市）气候因子（温度/度日）对气候敏感系数的回归方程（附表 2）。

假设：1）当达到 2020~ 2029 和 2050~ 2059 年的经济目标时，我国总的能源消耗情况与美国达到同样国民生产总值时相同；2）在 1990~ 2059 年，我国各省（区、市）能源消耗格局没有大的变化。

预计到 2020~ 2029 年，我国年平均 GDP 相当于美国 1982~ 1991 年的水平，约 5.22×10^{12} \$。美国 1982~ 1991 年每年平均能源消耗为 2.381×10^5 万吨标准煤。假设我国 2020~ 2029 年消耗的能源与之相同，各省（区、市）的能源消耗在全国消耗中所占比例与 1990~ 1999 年一致，可以推算出届时我国各省（区、市）能源消耗情况。同样可以推测我国 2050~ 2059 年每年约消耗 14.12×10^5 万吨标准煤。

利用各省（区、市）气候因子（温度/度日）对气候敏感系数的回归方程计算气候敏感因子，结合总的能源消耗量，通过 Robinson 的方程以及对未来温度和度日的估计值，计算得到 2020~ 2029 年和 2050~ 2059 年两个时段的平均气候耗能情景。

3 结果与分析

3.1 度日变化

图 2 所示为模式平均的我国 1961~ 2060 年平均年总度日。在未来人为气候情景下我国平均年度日有明显的下降趋势，特别是 2000 年以后，度日的线性趋势达到 $-7.7^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。另外，模式平均的度日变化情况在我国不同的地区有不同的表现。图 3 所示为以 1990~ 1999 年为基准的各省（区、市）未来总度日变化情况。

可见，在人为气候变化情景下，我国未来总度日的变化有明显的地域性。西部大部分地区降低；中东部地区总度日一般随纬度降低而增加，可以淮河为界分为南北两类，北部降低，南部增加，中原地区总度日变化不明显。

到 2020~ 2029 年，西部地区 and 北方地区（淮河以北）的总度日将经历显著的降低过程，降低最多的是青藏高原的西藏自治区和青海省，其次为内蒙古自治区和吉林省；南

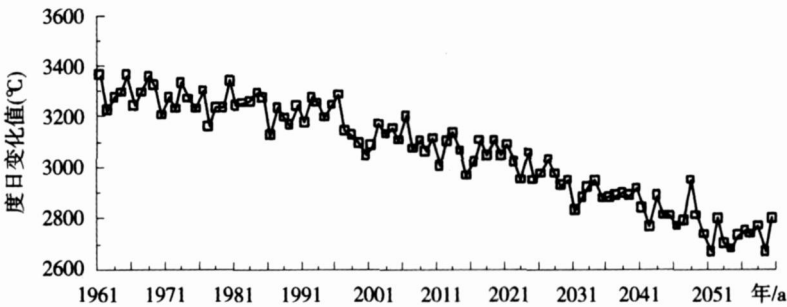


图 2 模式平均的我国年总度日

Fig 2 The model-average annual degree day

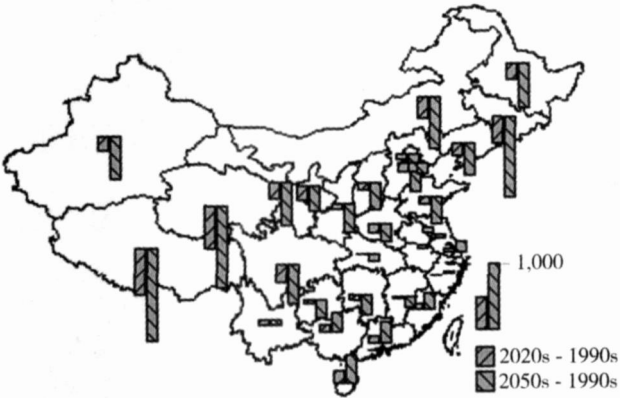


图 3 未来我国各省(区、市)总度日可能变化情景 (°C)

Fig 3 The possible provincial degree-day change in future (°C)

方地区各省(区、市)可能有不同程度的增加,其中海南省的增加最为强烈,其次为广东省和广西壮族自治区。

除去江苏、安徽和浙江三个省外,2050~2059年总度日可能变化情景的地理分布特征与2020~2029年类似,只是变化的幅度要更大一些。总度日增加的省份仍主要分布在南方沿海省份。增加最多的省(区、市)仍然是海南,其次为广东、广西、福建和上海;总度日减少仍以青藏高原和东北地区最多,减少最多的省(区、市)为西藏,其次是吉林和青海。

分别计算各省(区、市)未来年取暖度日和降温度日的变化情况(图4)。受人类活动导致的全球变暖影响,我国各省(区、市)未来年平均温度均将上升,增温幅度北方大于南方,冬季大于夏季;各省(区、市)取暖度日降低,降温度日则有所增加;北方各省(区、市)降温度日的增加明显低于南方,但取暖度日的降低则远大于南方。从全国来看取暖度日的变化强度也大于降温度日,例如,海南省降温度日的增幅分别为209.3和452.0℃,小于吉林省取暖度日413.4和1236.4℃的降低幅度。

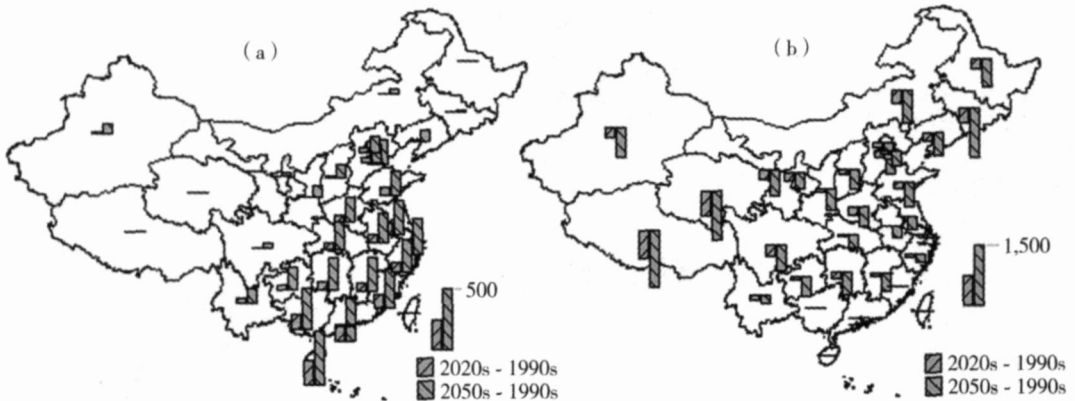


图4 未来我国降温度日(a)和取暖度日(b)的变化(℃)

Fig. 4 The future cooling (a) degree-day and heating; (b) degree-day change (℃)

3.2 气候耗能的变化

由相比于1990~1999年我国2020~2029年和2050~2059年气候耗能的可能变化情景可以看出,未来我国南方沿海大部分地区气候耗能量将呈上升趋势,气候耗能的下降省(区、市)主要分布在北方、中部和西部地区。这与我国总度日变化的地理分布大致一致。

就各省(区、市)和未来不同时期来看,我国2020~2029年的气候耗能(图5)增长以广东、福建和云南最高;气候耗能降低最显著的省(区、市)为青海和四川,其次为吉林和内蒙古;中部地区变化较小。但由于大部分省(区、市)气候耗能增加,全国总的气候耗能也呈增加趋势。

2050~2059年,气候耗能变化的空间分布情况与2020~2029年类似,但变化的量值明显增加。(图6)

从气候耗能的变化中可以看到度日的影响。总度日增加的省(区、市)一般气候耗能也有所增长,且度日增加越大能耗的增加也越大。例如广东和福建总度日增加的幅度较大,两省气候耗能的增量也较大;内蒙和四川总度日减少的幅度较大,其气候耗能的减少也较其他省(区、市)显著。但是,度日变化相近的省(区、市)气候耗能也可能有较大的差异,这当归结为社会经济因子的影响。例如在2020~2029年气候耗能的情景中,福建总度日的增长略小于广西,但是气候耗能的生长值却大于后者,分别为556和340万吨标准煤。

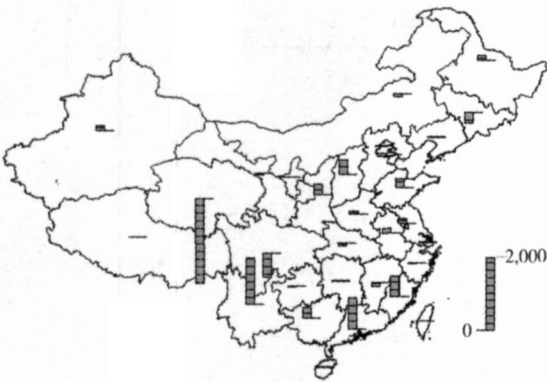


图 5 我国 2020~2029 年气候耗能的变化
(万吨标准煤)

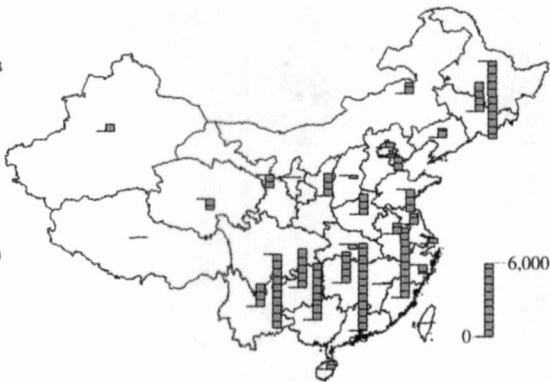


图 6 我国 2050~2059 年气候耗能的变化
(万吨标准煤)

Fig. 5 The changes in climate-sensitive components of energy consumption (difference between 2020-2029 and 1990-1999)

Fig. 6 The changes in climate-sensitive components of energy consumption (difference between 2050~2059 and 1990~1999)

在 2050~ 2059 年气候耗能的情景中也存在这种现象。例如吉林和青海在 2050~ 2059 年总度日的变化幅度相近，分别为- 586.6℃和- 563.8℃，但气候耗能的变化值有较大的差异，分别为 2339 和- 962 万吨标准煤。福建、广西、北京、河北和宁夏等省(区、市)也有相似的现象。

4 结论

利用 7 个全球耦合模式的输出结果得到未来我国各省(区、市)地面温度和度日的可能变化趋势，然后计算得到了我国未来气候耗能的可能变化情景。得出结论如下：

- 1) 受未来气候变暖的影响，我国未来平均取暖度日明显降低，降温度日有所增加，总度日将显著降低，但总度日的变化有明显的地域性，西部和北方地区降低，南方地区有所增加。各省取暖度日将普遍降低，降温度日将有不同程度的增加。北方和西部地区取暖度日的减少大于降温度日的增加，南方地区降温度日的增加占优势，但总体来看取暖度日的变化幅度要大于降温度日。2020~ 2029 年和 2050~ 2059 年度日的空间变化格局相似，但是 2050~ 2059 年的变化幅度要大于 2020~ 2029 年。
- 2) 受度日变化的影响，未来我国南方大部分地区的气候耗能有所增加，而下降区主要分布在北方和西部地区。此外，由于各省社会经济发展水平不同，气候耗能的具体变化值也有所不同。全国总的气候耗能在两个时段中均有所上升，这可能会增加我国未来节能减排的压力。
- 3) 目前我国取暖/降温度日的基础温度设定与发达国家差别显著，考虑取暖/降温基础温度的修订和自然灾害影响，未来气候耗能很可能会大于本文给出的情景。另外，未来温室气体排放情景和社会经济情景的不确定性造成了未来气候变化情景的不确定性，相对于 1961~ 1990 年，到 2030 年和 2060 年中国气温可能增温 1.5~ 2.8℃和 2.8~ 3.7℃，模式平均分别为 1.9℃和 3.0℃^[35]，由此可能造成预测未来气候变化影响评估的不确定性。

致谢：感谢中国气象局国家气候中心徐影博士提供 7 个全球气候模式的模拟结果。

附表 1 各省（区、市）能源消耗拟合系数

省（区、市）	<i>b</i>	constant	省（区、市）	<i>b</i>	constant
安徽	1254 766	- 5283. 71	江西	323 1125	- 207. 638
北京	786 0339	- 2104. 09	辽宁	1620 097	- 4025 13
福建	505 9818	- 1605. 69	内蒙古	734 5518	- 1958 64
甘肃	519 6269	- 668. 682	宁夏	202 7489	- 245 79
广东	2336 49	- 12745. 3	青海	195 2835	- 317. 892
广西	678 9466	- 2708. 09	山东	1673 649	- 5612 73
贵州	1135 637	- 4056. 16	山西	1514 808	- 3993 56
海南	181 5621	- 725. 062	陕西	669 9996	- 1734 38
河北	1846 748	- 6144. 32	上海	1085 237	- 4120 74
河南	1162 622	- 2685. 7	四川	1811 843	- 6233 44
黑龙江	755 2841	147 1255	天津	376 5957	- 161 435
湖北	1173 275	- 3950. 62	新疆	631 9435	- 1506 47
湖南	945 6314	- 2511. 03	云南	837 2309	- 3077 55
吉林	962 1532	- 2683. 61	浙江	1444 315	- 7118 82
江苏	1656 52	- 6448. 61			

附表 2 各省区（市）气候敏感因子拟合系数

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>constant</i>	<i>r</i>
甘肃		4 0E- 04	- 4 0E- 06	0 19	0 408*
广东	- 5 5E- 01	0 0E+ 00	3 8E- 06	81. 60	0 412*
海南	1 4E- 02	0 0E+ 00	0 0E+ 00	- 2 51	0 768**
黑龙江	- 6 0E- 02	2 9E- 03	- 4 0E- 05	1 35	0 607**
吉林	- 5 3E- 01	1 7E- 03	- 2 0E- 05	1 40	0 253
辽宁		9 0E- 05	- 7 0E- 07	0 81	0 694**
青海	8 0E- 04	- 1 1E- 03	4 4E- 05	1 05	0 375*
山西		4 0E- 04	- 3 0E- 06	0 04	0 398
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>constant</i>	<i>r</i>
安徽	0 0E+ 00	- 8 0E- 08	4 7E- 11	1 02	0 437**
广西	1 3E- 03	0 0E+ 00	0 0E+ 00	- 0 02	0 209
贵州	2 2E- 03	- 4 0E- 06	1 9E- 09	0 80	0 289
江苏		3 7E- 07	- 2 0E- 10	7 68	0 694**
江西		2 0E- 06	- 2 0E- 09	0 66	0 469*
湖北	- 8 0E- 04	7 3E- 07	- 2 0E- 10	1 30	0 208
湖南	4 8E- 03	- 5 0E- 06	1 4E- 09	- 0 46	0 374
河南	- 1 1E- 03	3 3E- 07		1 82	0 43**
陕西	3 0E- 04	- 1 0E- 08		0 46	0 564**
四川		- 7 0E- 05		1 09	0 027
山东	1 2E- 03		- 9 0E- 11	- 0 60	0 746**
云南	1 9E- 01	- 2 0E- 05		- 2 89	0 517*
浙江	- 6 0E- 04	0 0E+ 00	4 1E- 10	1 25	0 678**
	<i>H</i>	<i>C</i>	<i>constant</i>	<i>r</i>	
北京	3 9E- 05	1 9E- 04	0 86	0 717*	
福建	- 2 4E- 04	9 1E- 04	0 68	0 695**	
上海	- 3 2E- 05	- 1 1E+ 04	1 07	0 367	
天津	- 6 2E- 05	- 2 9E- 04	1 22	0 559*	
新疆	1 0E- 04	- 4 2E- 04	0 68	0 153	
河北	1 6E- 05	- 8 8E- 05	0 98	0 351	
内蒙古	2 5E- 05	2 2E- 03	0 79	0 611**	
宁夏	- 1 6E- 04	- 6 7E- 04	1 53	0 347	

注：第一个表中各省（区、市）气候敏感因子 $W = a \times T + b \times T^2 + c \times T^3 + constant$ ；第二个表中 $w = a \times DD + b \times DD^2 + c \times DD^3 + constant$ ；第三个表中 $w = H \times HDD + C \times CDD + constant$ ，式中， T 为年平均温度（℃）； DD 为年总度日（℃）； HDD 为年总取暖度日（℃）； CDD 为年总降温度日（℃）。**：超过 0.05 的显著检验，*：超过 0.1 的显著检验。

参考文献:

- [1] Le, C D M, Warren H E. Modeling the impact of summer temperatures on national electricity consumption. *J Appl Meteor*, 1981, 20: 1415~ 1419
- [2] Karl T R, Quayle R G. The 1980 summer heat wave and drought in historical perspective. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, 109: 2055~ 2073
- [3] Quayle R G, Diaz H F. Heating degree day data applied to residential heating energy consumption. *J. Appl Meteor*, 1980, 19: 241~ 246
- [4] Thompson R P. Weather sensitive electric demand and energy analysis on a large geographically diverse power system- Application to short term hourly electric demand forecasting. *IEEE Trans. Power Sys*, PA5~ 95, 1976: 385~ 399
- [5] Warren H E, S K Le Duc. Impact of climate on energy sector in economic analysis. *J. Appl Meteor*, 1981, 20: 1431~ 1439
- [6] 陈正洪, 洪斌. 华中电网四省日用电量与气温关系的评估. *地理学报*, 2000, 55(11): 34~ 38
- [7] 胡江林, 陈正洪, 洪斌, 等. 华中电网日负荷与气象因子的关系. *气象*, 2002, 28(3): 14~ 18
- [8] Heller A J. Heating-load modelling for large systems. *Applies Energy*, 2002, 72: 371~ 387
- [9] Segal M, H Shafir, M Mandel P. Alpert and Y. Balmor. Climate related Evaluations of the Summer Peak-Hours' Electric Load in Israel. *J Appl Meteor*, 1992, 31: 1492~ 1498
- [10] Linder K P, Gibbs M J, Inglis M R. Potential Impacts of Climate Change on Electric Utilities Report for New York State Energy Research and Development Authority, ICF Incorporated, Washington D. C., 88- 2, 1987
- [11] Rosenthal D H, Gruenspecht H K, Moran E A. Effects of Global Warming on Energy Use for Space Heating and Cooling in the United States. *The Energy Journal*, 1996, 16(2): 77~ 96
- [12] Belzer D B, Scott M J, Sands R D. Climate Change Impacts on U. S. Commercial building energy consumption: An analysis using sample survey data. *Energy Sources*, 1996, 18(2): 177~ 201
- [13] Yan Y Y. Climate and residential electricity consumption in Hong Kong. *Energy*, 1998, 23: 17~ 20
- [14] Cartalis C, Synodinou A, Proedrou M, *et al*. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management*, 2001, 42: 1647~ 1656
- [15] Bulut H, Buyukalaca O, Yilmaz T. New outdoor heating design data for Turkey. *Energy*, 2003, 28: 1133~ 1150
- [16] Sarak H, Satman A. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: A case study. *Energy*, 2003, 28: 929~ 939
- [17] 陈峪, 黄朝迎. 气候变化对能源需求的影响. *地理学报*, 2000, 55(11): 11~ 19
- [18] 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): 97~ 104
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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. 2004, 26(6): 125~ 130
- [22] Qian H S, Yuan S Q, Sun J L, *et al*. Relationships of energy consumption to climate and their changes in china. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, (14): 87~ 93
- [23] Robinson P J. Modeling utility load and temperature relationship for use with long-load forecasts. *J Appl Meteor*, 1997, 36: 591~ 598
- [24] Thom H C S. Seasonal degree day statistics for the United States. *Monthly Weather Review*, 1952, 80(9): 143~ 147
- [25] Thom H C S. The rational relationship between heating degree days and temperature. *Monthly Weather Review*, 1954, 82(1): 1~ 6
- [26] Thom H C S. Normal degree-days above any base by the universal truncation coefficient. *Monthly Weather Review*, 1966, 94(7): 461~ 465
- [27] 中华人民共和国建设部. 采暖通风与空气调节设计规范(GB50019- 2003). 北京: 中国计划出版社, 2003
- [28] Downton M W, Stewart T R, Miller K A. Estimating historical heating and cooling needs: Per capita degree days

- J. Appl. Meteor., 1988, 27: 84~ 90
- [29] Wendland W M. A fast method to calculate monthly degree days. Bull. Am. Meteorol. Soc., 1983, 64: 279~ 281
- [30] 龙斯玉, 李怀谨. 中国度日分布特征. 南京大学学报. 1985, 21(4): 719~ 734
- [31] 施小英, 徐祥德, 徐影. 中国 600 个站气温和 IPCC 模式产品气温的比较. 气象, 2005, 31(7): 49~ 53
- [32] 徐影. 人类活动对气候变化影响的数值模拟研究. 中国气象科学研究院博士论文, 2002
- [33] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 II: 中国区域气候的可能变化. 气象学报, 2003, 61(1): 29~ 38
- [34] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 区域气候模式对温室效应引起的中国西北地区气候变化的数值模拟. 冰川冻土, 2003, 25(2): 165~ 169
- [35] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007. 142~ 147.

Change scenarios of China's provincial climate-sensitive components of energy consumption

REN Yu-yu¹, REN Guo-yu¹, QIAN Hua-sui²

(1 Lab for Climate Studies, CMA. National Climate Center, Beijing 100081, China;

2 School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This paper projects future change in provincial climate-sensitive components of energy consumption of China, which resulted from the anthropogenic climate change and socio-economic development. The climate scenarios for 2020-2029 and 2050-2059 are obtained from seven IPCC AOGCMs simulations. The result shows that, by 2021-2030, the degree-days increase, compared with 1990-1999, in the south of China and decrease in the north of China. The situation for 2050-2059 is very similar to 2020-2029 in spatial patterns but the change magnitude is bigger. To climate-sensitive components of energy consumption, for 2020-2029 the increment is the largest in southern China and eastern coastal region, including the lower reaches of the Yangtze River. For the 2050-2059 scenario, the increase occurs in the south of China and the Bohai Sea Rim, while the decrease occurs in the center of China, part of western China and the north of northeast China. The special change value of climate-sensitive components of energy consumption of provinces in the same climatic province is different because the change of climate-sensitive components of energy consumption depends on not only climate change but also socio-economic development. Compared to the 2020-2029 scenario, provinces with a rising trend in climate-sensitive components of energy consumption increase in number in 2050-2059. Future climate-sensitive components of energy consumption still need further study due to the limit of present data and methods.

Key words: climate change; degree-day; energy consumption; future scenarios