

气候变化条件下中国典型城市未来天气参数与建筑能源需求预测

朱明亚, 潘毅群, 沙华晶, 许鹏, 黄治钟

(同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804)

摘要: 20 世纪以来, 全球气候变暖趋势已得到证实, 对生态系统和人居环境造成的影响备受瞩目, 气候变化无疑将对建筑能源需求产生重大影响。本文基于 IPCC 最新预测结果, 选择我国 3 个典型气候区代表城市 - 北京、上海和广州, 采用统计降尺度方法-Morphing, 在现有典型气象年 (TMY) 的基础上, 结合地球气候模式 (GCM) 在气候变化中间稳定路径 (RCP4.5) 和高端路径 (RCP8.5) 下的大尺度预测结果, 进行未来天气参数预测。针对每个城市、每个气候变化路径各生成 5 个未来时间段 (2000-2017、2018-2035、2036-2053、2054-2071 和 2072-2089 年) 的 TMY 逐时天气参数文件, 用于典型建筑模型 (Prototype building model) 进行全年能耗模拟, 预估典型城市建筑能源需求在未来 100 年里的变化趋势。

关键字: 气候变化, 典型气象年, 建筑能源需求, 能耗模拟

中图分类号: P423.3; TK01 + 8 **文献标志码:** A

Prediction of Future Weather Data and Building Energy Demand for Representative Cities in China under Climate Change

ZHU Ming-ya, PAN Yi-qun, SHA Hua-jing, XU Peng, HUANG Zhi-zhong

(School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Concerned by tremendous effects on ecosystem and environment, global warming trend has been proved since the turn of 20th century. Undoubtedly climate change could have significant influence on building energy demand. Based on the latest predictions by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), this paper describes the integration of predictive climate change calculated by selected global climate model (GCM) under future climate scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) into existing Typical Meteorological Year (TMY) for future weather data prediction. Future hourly weather files for three representative cities in China (Beijing, Shanghai and Guangzhou) and five future periods (2000-2017, 2018-2035, 2036-2053, 2054-2071 and 2072-2089) are generated by a statistical downscaling method - Morphing. These future TMY weather files are used in different prototype building models for annual energy consumption simulation, predicting future trends of building energy demand in different typical city by 2100.

Key words: climate change; TMY; building energy demand; energy consumption simulation

0 引言

在 IPCC 第四次综合报告 (AR4) [1] 中指出, 从 1970 年至 2004 年, 全球温度普遍升高。预计未来 20 年将 以 0.2°C/10 年的速率变暖。即使温室气体浓度实现稳定, 人为变暖和海平面上升仍会持续若干个世纪。已有观测表明, 20 世纪 90 年代是近千年来北半球最暖的 10 年。气候变暖的趋势几乎不可逆转, 如何减少温室气体排放, 降低气候变化的速率和幅度, 同时应对和适应气候变化可能带来的影响, 已经成为全球最受关注的问题之一。2009 年, 我国在哥本哈根国际气候峰会上确定的减排目标是: 至 2020 年, 全国单位 GDP 的 CO₂ 排放比 2005 年下降 40~45%。AR4[1] 中预计到 2030 年, 建筑业对于减缓全球温室气体排放的经济潜力均显著高于其他行业。在发达国家中, 建筑能耗一般占总能耗的 30%~40%。目前, 我国建筑能耗已占到全社会终端能耗的 27.5%。其中, 采暖和空调能耗占建筑总能耗的 50%~60% [2]。“十五”期间, 我国每年新建的建筑高达 16 亿~20 亿 m², 是世界上最大的建筑市场 [3]。我国建筑业正处于发展的鼎盛时期, 建筑面积大幅上升, 建筑使用者对室内热环境的舒适性、功能性要求也越来越高, 行业面临的挑战与机遇同在。随着建筑能耗在社会总能耗中的比例日趋提高, 当节能减排已然成为国家责任时, 建筑节能更是行业发展的重中之重。面对全球变暖, 建筑行业需认清行业现状, 理性应对, 而应对的前提则是正确估计气候变化条件下建筑能源需求的发展趋势, 如此才能从长远出发, 提出合理的应对策略和发展方针。

建筑能耗模拟软件是进行能源需求预测的有效工具, 但目前用于建筑全年能耗模拟的逐时天气参数是基于历史观测数据生成的典型气象年, 不适用于未来气候条件下的建筑能源需求预测。因此, 未来建筑能源需求预测的重要前提就是生成一系列结合了气候变化预估的未来逐时天气参数文件, 这也是探讨未来气候变化对能源需求影响的关键。

目前, 国内针对气候变化的研究多关注已发生的气候变化, 且研究方法单一 (度日数法 [4~9]), 较少的涉及气候变化的预测研究 [10] 局限于气象学研究人员对于典型月的平均温度变化趋势预测和预测方法的探索, 而国外针对未来气象参数的预测研究已经有近 20 年的发展。已出现的预测方法主要有 4 种 - 1) 气候模式方法, 基于

*基金项目: 国际科技合作计划课题 (2010DFB73870-3) 住房城乡建设系统应对气候变化的低碳技术研发与应用合作研究-中国低碳建筑技术的应用研究

大气环流与陆地、海洋和冰圈之间的能量传递机制建立地球气候模式 (GCM), 大气环境系统非常复杂, 一般只有气象学研究人员才能使用该方法, 同时现阶段 GCM 分辨率水平均较低, 对区域气候的模拟存在局限性和较大的不确定性; 2) 随机天气模型方法[11~13], 针对每个天气参数建立随机模型, 利用历史观测数据校验模型, 该方法要求研究人员熟悉各个气象参数的变化机制, 专业性要求高; 3) 统计趋势外推法, 如日数外推[14], 基于统计学外推方法, 相对简单但准确度较低; 4) 时间序列调整方法, 在已有典型气象年 (TMY) 或参考年 (TRY) 的基础上, 结合 GCM 预测结果的降尺度处理, 修正现有 TMY/TRY。该方法已在美国[15]、英国[16,17]、澳大利亚[18,19]和香港[20,21]得到广泛应用。

基于 IPCC 最新预测结果, 本文选择我国 3 个典型气候区代表城市 - 北京、上海和广州(分别代表寒冷地区、夏热冬冷地区和夏热冬暖地区), 在已有 TMY 基础上进行未来气象参数预测。建筑全年能耗计算的重要前提是输入全年逐时天气参数, 因此, 本文采用统计降尺度方法-Morphing 对地球气候模式 (GCM) 在不同气候变化情景 (RCP4.5 和 RCP8.5) 下输出的逐月预测结果进行降尺度处理, 在未来 100 年里的 5 个时间段 (2000-2017、2018-2035、2036-2053、2054-2071 和 2072-2089 年), 针对每个城市、每个气候变化路径分别生成 TMY 逐时天气参数文件, 用于典型建筑模型 (Prototype building model), 预估 21 世纪典型城市建筑能源需求的变化趋势。

1 中国典型城市建筑能耗模拟用气象参数预测

1.1 历史基准气象参数

能耗模拟中常常使用的逐时天气参数是典型气象年 (TMY)。产生 TMY 的基本方法由美国 Sandia 国家实验室于 1978 年提出[22], 由 12 个具有代表性的典型月组成一个“假想”气象年。典型月的选择需要考虑各气象要素在热环境分析中所占的权重。被分析的主要参数是干球温度、露点温度、风速和水平面总辐射。分析方法采用 Finkelstein-Schafer 统计方法, 即通过对比所选月份的逐年累积分布函数与长期 (30 年) 累积分布函数的接近程度来确定。

1.2 未来气候变化情景

预估未来全球和区域气候变化需要构建未来社会经济变化的情景, 由此衍生出温室气体排放情景。未来温室气体排放情景是全球气候模式对未来人类活动引起的气候变化进行预估的基础数据。

自 1992 年以来, IPCC 先后发布了 IS92 和 SRES 系列情景, 并为即将发布的第五次评估报告 (AR5) 提出了新的气候变化情景 - 代表性浓度路径情景 (RCPs)。RCPs 是指“对辐射活性气体和颗粒物排放量、浓度随时间变化一致性预测, 作为一个集合, 它涵盖广泛的人为气候强迫”。[23]现已发布 4 类 RCP, 分别是 RCP8.5、RCP6、RCP4.5 和 RCP3-PD, RCP3-PD 有 RCP2.9 和 RCP2.6 两种选择, 大多数研究者倾向于使用 RCP2.6。其中, RCP8.5 是高端路径, 即: 到 2100 年其辐射强迫达到 $8.5\text{W}/\text{m}^2$, 并将继续上升一段时间; RCP6 和 RCP4.5 都是中间稳定路径, 其辐射强迫在 2100 年之后大约分别稳定在 $6\text{W}/\text{m}^2$ 和 $4.5\text{W}/\text{m}^2$, 且 RCP4.5 的优先性大于 RCP6; RCP3-PD 是低端路径, 其辐射强迫在 2100 年之前达到大约 $3\text{W}/\text{m}^2$ 的峰值, 然后下降。

1.3 气候变化预测方法

现阶段气候变化的预估研究均是借助现有不同复杂程度的 GCM 来模拟不同排放情景下的未来气候变化。现有 GCM 的情景驱动模拟结果 (时间和空间) 分辨率较低, 如果利用 GCM 预估未来排放情景下的区域气候响应, 需要采用区域化技术。降尺度方法[24]是应用较广泛的区域化技术, 分为动力降尺度和统计降尺度方法。动力降尺度方法就是利用与 GCM 耦合的区域气候模式 RCM 来预估区域未来气候变化情景; 统计降尺度方法[25]应用数学统计方法将 GCM 输出的大尺度气候信息与独立的区域观测资料相结合, 从而降尺度预估区域未来的气候参数变化。

时间序列调整 - Morphing 方法是目前国外研究项目中应用较广泛的降尺度方法。该方法是 2005 年由 S.E. Belcher 等提出, 用于生成建筑能耗模拟所需的未来气象参数文件, 2005 年 Belcher [16]基于英国气候影响计划 (UKCIP02) 中由 SRES 系列情景 (IPCC,2000) 驱动气候模型 HadCM3 的模拟结果, 以 1971-1990 年为历史基准年, 采用 Morphing 方法分别生成了英国 3 个代表城市在 2020s、2050s 和 2080s 时间段的 TMY 文件。香港现有 TMY 由历史年 1979-2003 年的气象数据生成, 2011 年 A.L.S. Chan[20]用 Morphing 方法生成了 2011-2030、2046-2065 和 2080-2099 年三个未来时间段的 TMY 文件。该方法通过位移和伸缩, 将已有气象参数时间序列与气候变化相结合, 生成新的气象参数文件, 保留了已有气象参数的物理特征, 未来气候变化对建筑能耗的影响研究领域的许多研究人员都采用了该方法。Morphing 方法包括 3 个计算步骤:

(1) 位移:

$$x = x_0 + \Delta x_m \quad (a)$$

(2) 线性伸缩:

$$x = a_m x_0 \quad (b)$$

$$(3) x = x_0 + \Delta x_m + a_m \times [x_0 - (x_0)_m] \quad (c)$$

式中 x_0 — 已有逐时气象参数;

Δx_m — m 月气象参数月平均变化预测值;

a_m — m 月气象参数预测变化率;

$(x_0)_m$ — m 月已有逐时气象参数月平均值。

针对不同的气象参数,在现有 TMY 文件的基础上,应用 Morphing 方法对 GCM 在未来气候情景下输出的逐月变化预测值进行降尺度处理,生成未来 TMY 参数文件。IPCC 为即将发布的 AR5 进行了国际耦合模式比较计划 (CMIP5),本文将使用最新发布的 CMIP5 试验数据作为逐月变化预测数据。根据已有的气候变化预测研究,暂选取 HadGEM2-CC 模式在 RCP4.5 (中间稳定路径)和 RCP8 (高端路径)情景下的试验输出数据集作为未来不同气候变化情景下气象参数变化量的预测依据。

本文中对于典型城市未来天气参数的预测,涉及到干球温度、相对湿度和露点温度参数。

1) 对于干球温度 (dbt), Morphing 方法主要通过以下算法实现:

$$dbt = dbt_0 + \Delta TEMP + adbt_m \times [dbt_0 - (dbt_0)_m] \quad (d)$$

式中 dbt_0 — 已有典型气象年的逐时干球温度;

$(dbt_0)_m$ — 已有典型气象年中 m 月月平均干球温度;

$\Delta TEMP$ — m 月月平均干球温度变化预测值;

$adbt_m$ — m 月的降尺度伸缩系数,其计算方法是:

$$adbt_m = \frac{\Delta TMAX_m - \Delta TMIN_m}{(dbt_{0max})_m - (dbt_{0min})_m} \quad (e)$$

其中 $\Delta TMAX_m$ — m 月每日最大干球温度的月平均值的预测变化;

$\Delta TMIN_m$ — m 月每日最小干球温度的月平均值的预测变化;

$(dbt_{0max})_m$ — 已有典型气象年中 m 月每日最大干球温度的月平均值;

$(dbt_{0min})_m$ — 已有典型气象年中 m 月每日最小干球温度的月平均值。

2) 对于相对湿度 (R) 和露点温度 (dpt),由于 R 是湿空气的绝对湿度与同温度下饱和空气的饱和绝对湿度的比值,同时, dpt 是指空气在水蒸气含量和气压不变的条件下冷却到饱和时的温度,即上述两个参数作为相对量,反映了湿空气中水蒸气含量接近饱和的程度,其取值均受干球温度变化的影响,如果直接对 R 或 dpt 采用 Morphing 方法进行预测,无法排除干球温度变化带来的影响,因此需要选取一个绝对量进行预测,之后利用湿空气状态函数关系进行换算,从而得到相对湿度 R 和露点温度 dpt。

含湿量 (S) 表示在含有 1kg 干空气的湿空气中所混有的水蒸气质量,是绝对量参数,因此基于该参数进行相对湿度和露点温度预测。运用 Morphing 方法预测 S 通过以下算法实现:

$$S = \alpha S_m \times S_0 \quad (f)$$

式中 S — 已有典型气象年的逐时含湿量;

αS_m — m 月的降尺度伸缩系数,其计算方法是:

$$\alpha S_m = 1 + \frac{SPHU_m}{100} \quad (g)$$

其中 $SPHU_m$ — m 月含湿量的预测变化百分数。

结合含湿量 S 参数和干球温度 dbt 的预测结果,即可得到相对湿度 R 和露点温度 dpt 的逐时预测值。

1.4 中国典型城市未来气象参数预测

针对北京、上海和广州三个典型城市,在现有 IWEC 版本逐时 TMY 数据的基础上,结合 RCP4.5 和 RCP8.5 发展情景驱动气候模型 HadGEM2-CC 的输出数据集,选取临近典型城市的 CMIP5 试验节点数据,采用 Morphing 方法,将未来天气参数逐月 (monthly) 预测结果降尺度到逐时 (hourly) 精度。

中国典型城市 IWEC 版本气象数据的历史年份是 1982-1999 年,由于预测天气参数时间跨度是 2005-2099 年,为了便于新的逐时 TMY 数据生成,将 2000-2099 年分成 5 个跨度为 18 年的时间段,分别是 2000-2017、2018-2035、2036-2053、2054-2071 和 2072-2089 年,即每个典型城市各生成 5 个未来时间段的逐时 TMY 文件,并转化成 EPW 文件格式,可用于 EnergyPlus、DOE-2 等建筑能耗模拟软件。

表 1 典型城市经纬度与临近节点确定 (Table 1 Latitude and longitude& selected node of typical city)

典型城市	实际位置		CMIP5 试验数据临近节点	
	纬度 (°)	经度 (°)	纬度 (°)	经度 (°)
北京	39.933	116.333	40	116.25
上海	31.4	121.467	31.25	121.875
广州	23.167	113.333	23.75	112.5

根据各城市的逐时 TMY 气象数据分析, 相对于历史年 1982-1999 年的温度水平, 北京、上海和广州分别在 RCP4.5 和 RCP8.5 发展路径下的年平均温度增幅情况如图 1~3 所示。21 世纪末, 在 RCP8.5 高端路径下, 北京、上海和广州年平均温度将升高约 5.3℃, 在 RCP4.5 中间路径下, 同比将升高 2.7~3.4℃。从图中可以看出, 在 2036-2053 年之前 RCP8.5 情景下的温升幅度略大于 RCP4.5, 在 2036-2053 年和 2054-2071 年这两个时间段里, RCP8.5 情景下在各城市的温升很小, 而在 2054-2071 年之后有大幅上升趋势, 相对而言, RCP4.5 情景下的温度上升较为平稳。

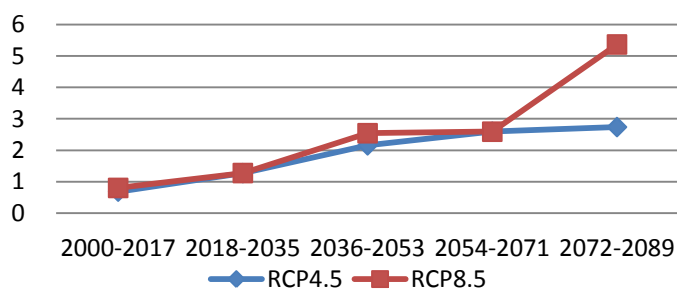


图 1 北京年平均温度增幅变化℃

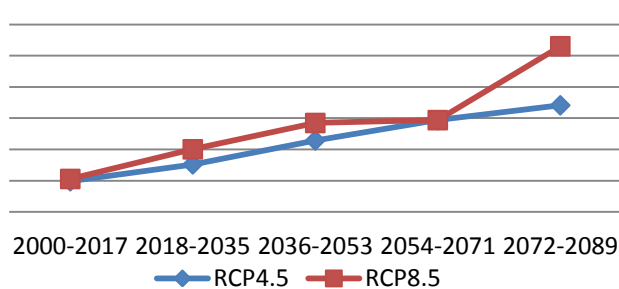


图 2 上海年平均温度增幅变化℃

(Fig. 1 Annual mean temperature increase in Beijing) (Fig. 2 Annual mean temperature increase in Shanghai)

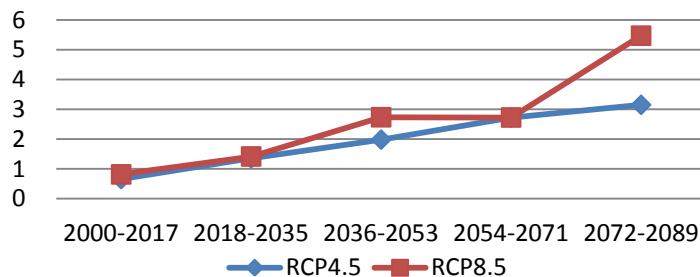


图 3 广州年平均温度增幅变化℃ (Fig. 3 Annual mean temperature increase in Guangzhou)

相对于 1982-1999 年的历史基准温度水平, 北京、上海和广州在两种路径下的逐月平均干球温度增幅分布如图 4~6。一年中 12 个月里, 温度增幅最大的月份大多是冬季 1 月或 12 月, 北京 12 月温度增幅最大达到了 7.6℃, 上海和广州 12 月最大增幅是 6.3℃。温度增幅最小的月份大多出现在过渡季节和夏季, 北京的温度增幅最小月份在 3、4、6、7 和 9 月出现过, 上海则在 2、3、5、10 和 11 月出现过, 广州是在 3、6、7 和 10 月出现过。分析可知, 北京一年中 12 个月的温升幅度差异较大, 相比之下, 上海和广州在一年中的逐月温升走势较为平稳, 趋势较明显 (冬季较大, 夏季和过渡季节较小)。

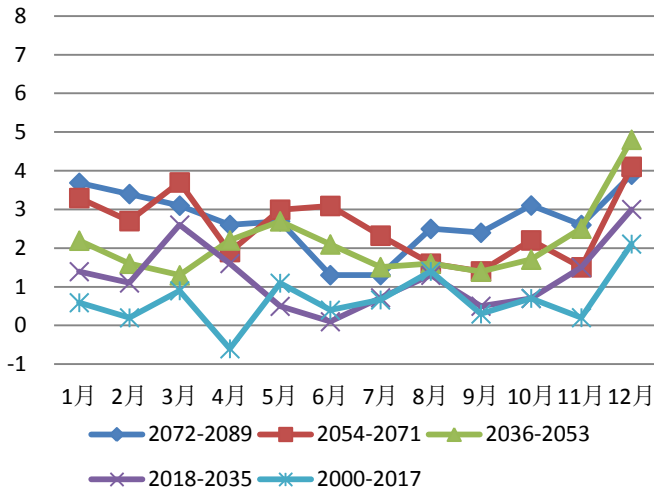


图 4(a) 北京在 RCP4.5 情景下月平均温度增幅 $^{\circ}\text{C}$
(Fig. 4(a) Monthly mean temperature increase under RCP4.5 in Beijing $^{\circ}\text{C}$)

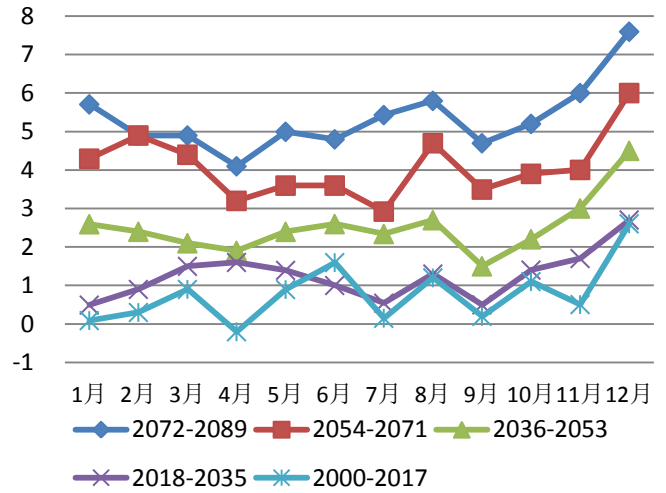


图 4(b) 北京在 RCP8.5 情景下月平均温度增幅 $^{\circ}\text{C}$
(Fig. 4(b) Monthly mean temperature increase under RCP8.5 in Beijing $^{\circ}\text{C}$)

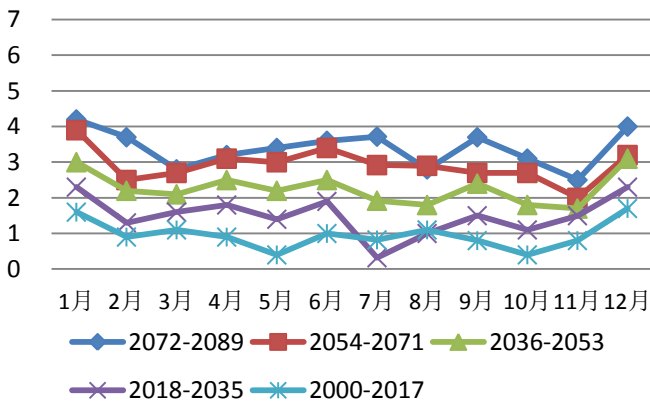


图 5(a) 上海在 RCP4.5 情景下月平均温度增幅 $^{\circ}\text{C}$
(Fig. 5(a) Monthly mean temperature increase under RCP4.5 in Shanghai $^{\circ}\text{C}$)

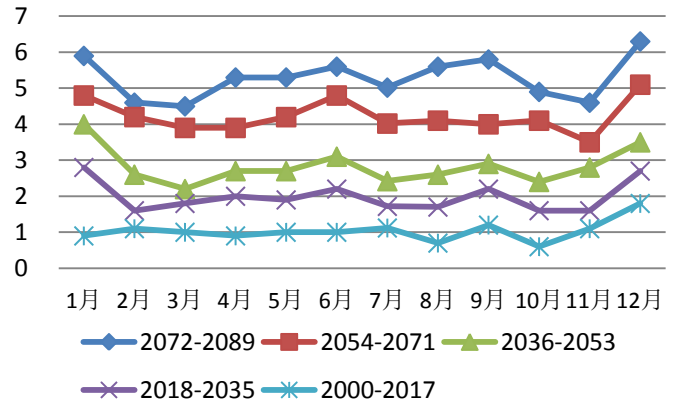


图 5(b) 上海在 RCP8.5 情景下月平均温度增幅 $^{\circ}\text{C}$
(Fig. 5(b) Monthly mean temperature increase under RCP8.5 in Shanghai $^{\circ}\text{C}$)

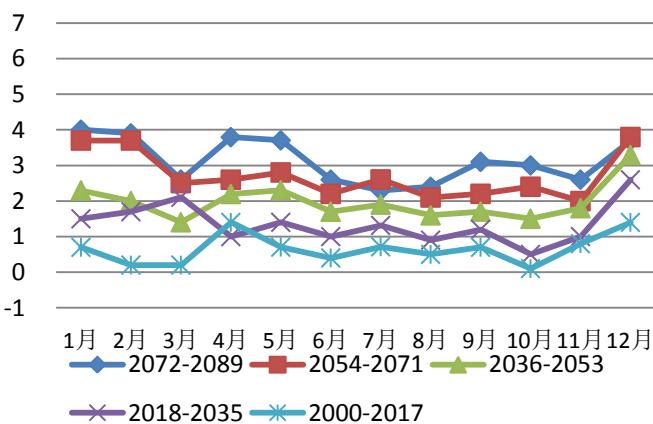


图 6(a) 广州在 RCP4.5 情景下月平均温度增幅 $^{\circ}\text{C}$
(Fig. 6(a) Monthly mean temperature increase under RCP4.5 in Guangzhou $^{\circ}\text{C}$)

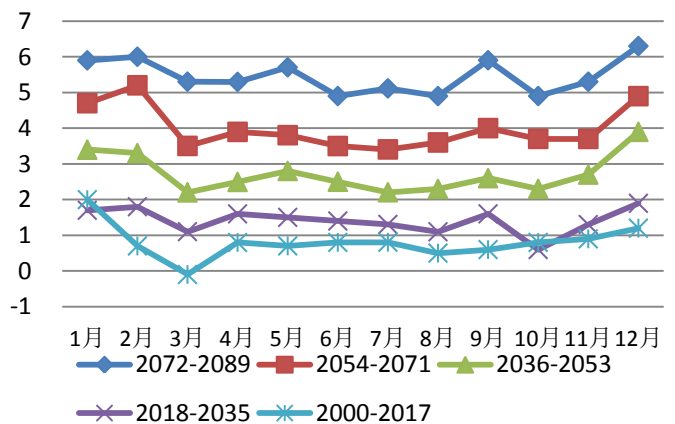


图 6(b) 广州在 RCP8.5 情景下月平均温度增幅 $^{\circ}\text{C}$
(Fig. 6(b) Monthly mean temperature increase under RCP8.5 in Guangzhou $^{\circ}\text{C}$)

2 未来气象参数应用于建筑能源需求预估.

本文采用建筑能耗模拟工具 EnergyPlus 建立北京、上海和广州的典型建筑模型，基于典型城市未来天气参数文件进行模拟预测，分析建筑能耗在气候变化条件下的发展趋势。

2.1 典型模型介绍

本文参照相关国家及地方建筑标准和调研数据，在北京、上海和广州分别针对办公楼、住宅、酒店和商场建筑建立能够基本反映典型城市建筑普遍情况的典型模型，并采用全年建筑能耗实测数据进行模型校准。表 2 和表 3 列出了建筑模型的基本情况。不同类型建筑的冷热源和末端系统均采用常规系统。

表 2 典型建筑基本情况 (Table 2 Basic information of prototype building models)



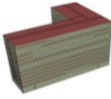
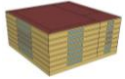
建筑类型	层数	建筑总面积	窗墙比	建筑分区	建筑外形
高层办公	12	19200 m ²	0.4	均为办公区	
高层住宅	13	3262 m ²	0.14	厨房、卫生间、卧室、起居室、楼梯间	
酒店	12	23316 m ²	0.42	1 层: 大堂、咖啡厅、商店、洗衣房、储藏室、设备用房、备用房 2 层: 餐厅、厨房、备用房、走廊 标准层: 客房、备用房、走廊	
商场	地下 1 层、地上 7 层	33800 m ²	0.11	地下 1 层: 车库 标准层: 购物区、楼梯间 7 层: 餐厅、厨房、楼梯间	

表 3 典型建筑围护结构传热系数 W/(m²·K) (Table 3 Heat transfer coefficient of prototype building envelope)

建筑类型	围护结构	北京	上海	广州	建筑类型	围护结构	北京	上海	广州
高层办公楼	外墙	0.567	0.888	1.49	酒店	外墙	0.487	0.791	1.596
	屋顶	0.569	0.638	2.7		屋顶	0.485	0.552	1.547
	窗户	2.67	2.67	2.951		窗户	2.902	2.959	2.951
高层住宅	外墙	0.538	0.928	1.658	商场	外墙	0.531	1.304	1.5
	屋顶	0.476	1.109	1.661		屋顶	0.518	0.653	1.345
	窗户	2.67	5.778	5.816		窗户	2.894	3.667	3.667

2.2 建筑能源需求变化预估

2.2.1 建筑能耗预测分析

针对北京、上海和广州 3 个典型城市，考虑气候变化的最不利路径，选择 RCP8.5 高端路径下采用 Morphing 方法预测生成的未来 5 个时间段（2000-2017、2018-2035、2036-2053、2054-2071 和 2072-2089 年）TMY 气象参数文件分别用于办公楼、住宅、酒店和商场典型模型中，进行能源需求变化趋势的预测分析。

到 21 世纪末（2072-2089 年），与 1982-1999 年的基准能耗相比，北京、上海和广州各类典型建筑的能源消耗变化情况如图 7。从总能耗变化情况来看，各城市采暖能耗降低，供冷能耗增加，这也是预料之中的结果。随着气候变暖，北京的办公、住宅和酒店建筑增长的供冷能耗基本被大幅降低的采暖能耗抵消，两者之和基本保持不变，总能耗（增长 1~3%）没有明显的上升或下降趋势。可以预测，对于某些供热能耗更大的建筑，建筑总能耗可能呈现下降趋势。商场建筑总能耗约增长 6.8%，由于商场建筑的内热源较大，一年中多以供冷为主，随着制冷能耗的持续增加，商场建筑总能耗还是会有所增加。上海的住宅、酒店和商场建筑能耗增加量均在 18%~20% 之间，办公建筑的能耗增加较少，约 13%，上海各个建筑类型的采暖能耗所占比例较小，能源需求变化主要来源于供冷能耗的大幅增长，相比于办公建筑，上海地区的住宅和商业建筑对供冷的需求量较大，可见，随着夏季增温，夜间供冷需求将会大幅增加，夏热冬冷地区围护结构的热惰性可能是造成这一预测结果的原因之一。广州的酒店建筑能耗增幅最大，约 28.6%，办公和住宅建筑增长在 17%~20% 之间，商场建筑增幅较小，约 7.7%，与上海地区的情况类似，广州地区采暖需求很小，能耗增长基本来源于供冷需求。除了商场建筑之外，广州的办公、住宅和酒店建筑的总能耗增长量均比上海高，广州地区夏热冬暖，年平均温度高于上海，冬季变暖对能耗需求的缓解作用很小，可见，在年平均温度较高的气候区，温度升高造成的能耗增幅也较大。不同地区面临的建筑能耗增长压力来自于不同的方面，如果针对不同地区因地制宜的采取有效的节能措施，可能会更有效的缓解大幅增长的能源需求，增强对气候变化的适应能力。

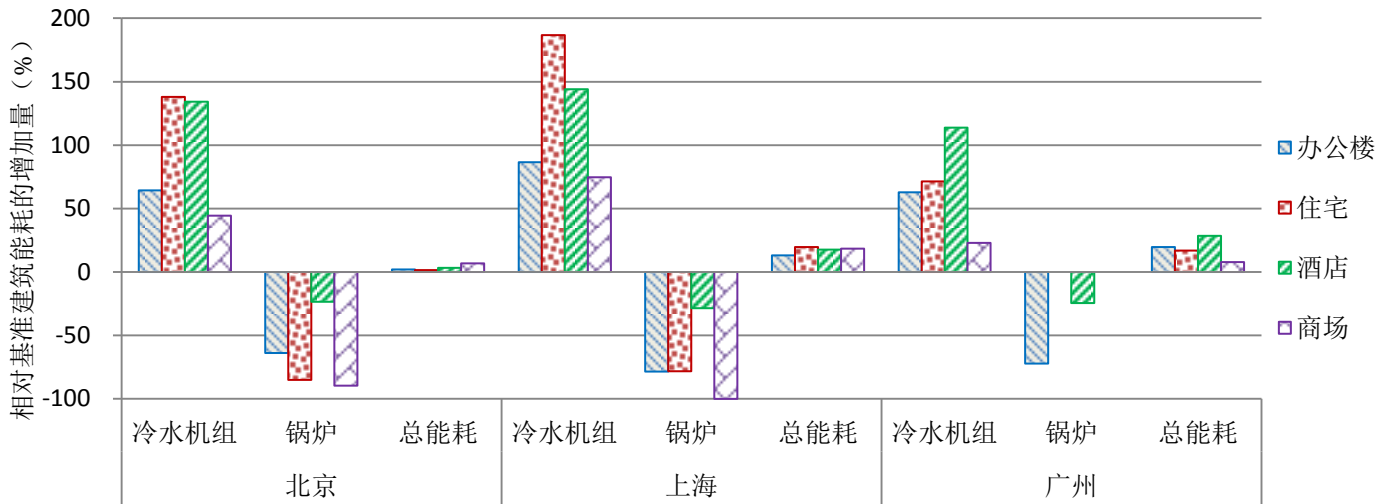


图 7 2072-2089 年 RCP8.5 情景下北京、上海和广州典型建筑模型能耗变化

(Fig. 7 Energy consumption change of prototype buildings in Beijing, Shanghai and Guangzhou by 2089 under RCP8.5)

2.2.2 能源需求与季节平均温升敏感性分析

相对于历史基准年 1982-1999 年，到 21 世纪末（2072-2089 年），采暖、供冷能耗变化量与对应的冬、夏季平均温度升高量之比，即单位季节温升对应的能耗变化量反映了能源需求对于温度变化的敏感性。

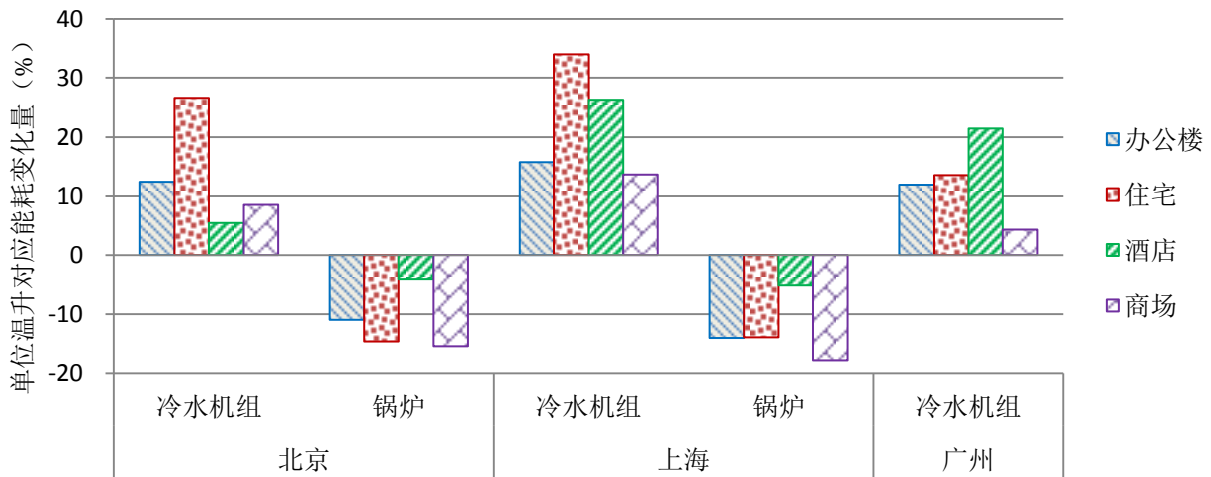


图 8 2072-2089 年 RCP8.5 情景下北京、上海和广州单位温升产生的能耗变化

(Fig. 8 Building energy consumption change per 1°C rise in temperature in Beijing, Shanghai and Guangzhou by 2089 under RCP8.5)

笔者分析比较了北京、上海和广州冬、夏季单位季节温升对应的采暖、供冷能耗变化量，如图 8。从预测结果来看，对于冬季变暖，北京和上海不同建筑类型采暖能耗对于温升的敏感度相似，办公和住宅建筑单位温升造成的采暖能耗减少量在 10%~15%之间，商场建筑在 15%以上，相比之下，酒店建筑较少，约 5%，可能与系统形式有关，对于办公、住宅和商场建筑一般采用集中供暖方式，气候变暖会使供暖期变短，采暖能耗量降低较多，而对于酒店建筑多为分散式或半集中式，使用的灵活性较大，明显采暖能耗降幅较小；对于夏季增温，与北京、广州相比，上海各个建筑类型单位温升的供冷能耗增加量较大（其中上海住宅建筑单位温升供冷能耗增量达到 30%以上），北京和广州单位温升的办公建筑能耗增幅相似（同是 12%），广州的酒店建筑能耗增幅（21%）远大于北京（5%），而对于住宅和商场建筑，北京的能耗增幅约是广州的 2 倍。北京与广州的比较中，仅办公建筑对于温升的增幅相似，而酒店和住宅、商场的情况各异，说明两个地区夜间降温能耗也在夏季供冷需求中占据主要部分。广州夏季温度约比北京高 3.5°C，然而随着气候变暖，北京地区围护结构很好的保温性能为夏季供冷造成了较大的负担，对于酒店和住宅、商场的增幅不同，可能是上述两方面综合作用的结果。不同地区、不同的建筑类型对于气候变暖的能源需求变化敏感度不同，在建筑节能发展中，针对具体的建筑用能情况，找准主要矛盾，

节能效果可能会更显著。

结语

本文选择国内 3 个典型气候城市 - 北京、上海和广州, 基于 IPCC 最新气候模拟和预估试验, 采用统计降尺度时间序列调整方法-Morphing, 将现有能耗模拟常用的典型气象年 (TMY) 与选用的全球气候模式 (GCM) 在最新气候预估发展情景驱动下的预测结果相结合, 进行未来气象参数预测。每个城市在气候变化中间稳定路径 RCP4.5 情景和高端路径 RCP8.5 情景下各生成了 2000-2017、2018-2035、2036-2053、2054-2071 和 2072-2089 年 5 个未来时间段的 TMY 气象参数文件。从未来时段逐时典型气象年数据中可以估计, 到 21 世纪末, 在中间稳定路径 RCP4.5 情景下, 北京、上海和广州的年平均温度上升 3.0°C 左右, 在高端路径 RCP8.5 情景下, 北京、上海和广州的年平均温度上升 5.4°C 左右。一年中 12 个月里, 温度增幅最大的月份大多是冬季 1 月或 12 月。温度增幅最小的月份大多出现在过渡季节和夏季。北京一年中 12 个月的温升幅度差异较大, 相比之下, 上海和广州在一年中的逐月温升走势较为平稳, 趋势较明显 (冬季较大, 夏季和过渡季节较小)。

参照相关国家及地方建筑标准, 采用建筑能耗模拟软件 Energyplus 建立北京、上海和广州的办公楼、住宅、酒店和商场 4 类典型建筑模型。选择高端路径 RCP8.5 情景下生成的未来 5 个时间段的 TMY 文件用于典型模型中, 进行全年能耗模拟, 预估全球气候变化条件下的建筑能源需求变化趋势。预测结果显示, 到 21 世纪末, 北京建筑供冷能耗基本被大幅降低的采暖能耗抵消, 总能耗没有明显的上升或下降趋势。上海建筑能耗增量在 13%~20% 之间。广州建筑能耗增量在 7%~29% 之间。从冬、夏季单位温升对应的采暖、供冷能耗变化量可以看出, 对于冬季变暖, 北京和上海不同建筑类型采暖能耗对于温升的敏感度相似。对于夏季增温, 与北京、广州相比, 上海各个建筑类型单位温升的供冷能耗增加量较大 (上海酒店建筑达到 30% 以上), 北京和广州单位温升的办公建筑能耗增幅相似 (同是 12%), 广州的酒店建筑能耗增幅 (21%) 远大于北京 (5%), 而对于住宅和商场建筑, 北京的能耗增幅约是广州的 2 倍。

不难看出, 不同地区面临的建筑能耗增长压力来自于不同的方面, 不同地区、不同的建筑类型对于气候变暖的能源需求变化敏感度也不一致, 在建筑节能发展中, 针对具体的建筑用能情况, 需要找准主要矛盾。针对不同地区的建筑用能特点因地制宜的采取有效的节能措施, 同时政府决策层能够依据各地区能源需求发展趋势推行可行的能源政策, 可能会更有效的缓解大幅增长的能源需求, 增强建筑行业对气候变化引发的全球性能源危机的适应能力。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- [2] 谷立静, 郁聪. 我国建筑能耗数据现状和能耗统计问题分析[J]. 中国能源, 2011, 33(2): 38-41.
- [3] 康艳兵. 实现“十一五”节能目标的建筑节能措施分析 (1) [J]. 中国能源, 2007, 29(1): 13-21.
- [4] 陈莉, 方修琦, 李帅, 张海东. 气候变暖对中国夏热冬冷地区居住建筑采暖降温年耗电量的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 754-772.
- [5] 陈莉, 方修睦, 方修琦, 李帅. 过去 20 年气候变暖对我国冬季采暖气候条件与能源需求的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 590-597.
- [6] 陈峪, 黄朝迎. 气候变化对能源需求的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(增): 11-19.
- [7] 李喜仓, 白美兰, 杨晶, 于凤鸣, 邱瑞琦, 马玉峰. 气候变暖对呼和浩特地区采暖期能源消耗的影响[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(1): 29-34.
- [8] 文远高, 连之伟. 气候变暖对建筑能耗的影响[J]. 建筑热能通风空调, 2003, 22(3): 37-42.
- [9] 陈莉, 方修琦, 李帅. 气候变暖对中国严寒地区和寒冷地区南界及采暖能耗的影响[J]. 科学通报, 2007, 52(10): 1195-1198.
- [10] 范丽军, 符淙斌, 陈德亮. 统计降尺度法对华北地区未来区域气温变化情景的预估[J]. 大气科学, 2007, 31(5): 887-897.
- [11] L. Adelard, H. Boyer, F. Garde, J.-C. Gatina. A detailed weather data generator for building simulations[J]. Energy and Buildings(S0378-7788), 2000, 31: 75-88.
- [12] AHC van Paassen, QX Luo. Weather data generator to study climate change on buildings[J]. Building Services Engineering Research and Technology(S0143-6244), 2002, 23(4): 251-258.

- [13] Simone Fatichi, Valeriy Y. Ivanov, Enrica Caporali. Simulation of future climate scenarios with a weather generator[J]. *Advances in Water Resources*(S0309-1708), 2011,34:448–467.
- [14] M. Christenson, H. Manz, D. Gyalistras. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland[J]. *Energy Conversion and Management*(S0196-8904), 2006, 47:671–686.
- [15] Drury B. Crawley. Creating weather files for climate change and urbanization impacts analysis[C]. *Proceedings: Building Simulation 2007*:1075–1082.
- [16] SE Belcher, JN Hacker, DS Powell. Constructing design weather data for future climates[J]. *Building Services Engineering Research and Technology*(S0143-6244), 2005, 26(1):49–61.
- [17] Mark F. Jentsch, AbuBakr S. Bahaj, Patrick A.B. James. Climate change future proofing of buildings-Generation and assessment of building simulation weather files[J].*Energy and Buildings*(S0378-7788), 2008, 40:2148–2168.
- [18] Guan, L., Yang, J., Bell, J.M. A method of preparing future hourly weather data for the study of the impact of global warming on built environment[C]. *Proceedings: The Queensland University of Technology Research Week International Conference, Brisbane, 2005*
- [19] Lisa Guan. Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings[J]. *Building and Environment*(S0360-1323), 2009, 44:793–800.
- [20] A.L.S. Chan. Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong[J]. *Energy and Buildings*(S0378-7788),2011,43:2860–2868.
- [21] A.L.S. Chan. Developing a modified typical meteorological year weather file for Hong Kong taking into account the urban heat island effect[J]. *Building and Environment*(S0360-1323), 2011, 46:2434–2441.
- [22] 杨柳,李昌华,刘加平.典型气象年生成方法及原始气象数据质量分析[J].*气象科技*, 2006, 34(5):596–599.
- [23] 陈敏鹏,林而达. 代表性浓度路径情景下的全球温室气体减排和对中国的挑战[J].*气候变化研究进展*, 2010,6(6):436–442.
- [24] R.L. Wilby, T.M.L. Wigley. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations[J]. *Progress in Physical Geography*(S0309-1333), 1997,21(4):530–548.
- [25] R.L. Wilby, C.W. Dawson , E.M. Barrow. SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts[J]. *Environmental Modelling & Software*(S1364-8152), 2002,17:147–159.

作者基本情况表

姓名	朱明亚	性别	女	籍贯	河南
国籍/ 民族	中国/汉族	出生年月	1990, 7	专业	供热、供燃气、通风与空调工程
在读学校	同济大学			E-mail	z_mingya@126.com
联系电话	18801963480			研究方向	建筑节能、建筑模拟
指导老师	潘毅群, 同济大学, 教授、博导			通信地址	上海市曹安公路 4800 号同济大学培训楼 217 室
	黄治钟, 同济大学, 高级工程师			邮编	201804