

文章编号:0254-0096(2018)05-1359-08

# 气候变化下的建筑能耗预测

许馨尹<sup>1</sup>, 李红莲<sup>1,2</sup>, 杨 柳<sup>2</sup>, 于军琪<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学建筑学院, 西安 710055)

**摘 要:** 该文梳理并讨论4种产生未来逐时气象数据的方法:度日法、补偿法、随机气象模型法及全球气候模型法,并着重阐述补偿法中变形法的原理和计算过程;使用西安的历史观测数据及IPCC月尺度预测数据,产生2050年的逐时气象数据;应用Energy Plus对西安高层住宅及办公建筑进行气候变化下的建筑能耗动态模拟。建筑能耗模拟未来逐时气象数据的精细化研究是进行建筑节能设计和可持续发展的基础工作。

**关键词:** 气候变化; 未来逐时气象参数; 变形法; 建筑能耗模拟

**中图分类号:** TU111.3

**文献标识码:** A

## 0 引 言

气候是影响建筑能耗的关键因素,过量排放的温室气体导致气候显著变暖,这必将对建筑能耗产生重要影响<sup>[1]</sup>。如何结合未来气候变化对建筑进行合理的设计或改造,使建筑既满足现阶段的要求,又能在全生命周期内经受住未来气候变化的考验,降低其整个运营周期的能耗,已经成为国内外建筑技术科学研究中一项极其受到关注的工作。

建筑系统与外部环境之间的动态交互影响极其复杂,涉及大量难以预测的变量。为了研究气候变化对建筑能耗的影响,进行未来气候条件下的建筑能耗动态模拟分析是非常必要且可行的技术措施。建筑能耗模拟软件是进行能源需求预测的有效工具,常用的能耗模拟软件例如 Energy Plus 等均需输入相应的逐时气象数据<sup>[2]</sup>。研发未来气候变化下逐时数据的产生方法并进行定量的建筑能耗模拟已成为国内外学者研究的重点,并提出了多种预测和产生未来逐时气象数据的方法,由简单到复杂的主要有:度日法<sup>[3]</sup>、补偿法<sup>[4]</sup>、随机气象模型法<sup>[5,6]</sup>及全球气候模型法<sup>[7]</sup>。本文梳理上述几种方法的适用性及之间的内在联系;并借鉴气候模拟技术,结合西安的历史观测数据,采用补偿法中的 Morphing 变形法产生未来的逐时气象数据;然后通过成熟的动态模拟方法,对比新旧气候条件下的建筑能耗,

研究其变化规律和变化尺度。

## 1 几种未来气象数据的生成方法及关系

### 1.1 度日法(统计外推法)

“度日法”也称为统计外推法,是指根据采暖度日数或者制冷度日数计算能耗的方法,采暖度日数(制冷度日数)是指室外日平均气温低于(高于)基准温度的度数与具有此度数的天数的乘积之和。度日法是一种简化的计算方法,假定采暖耗热量(制冷耗冷量)近似地与室外平均温度与室内平衡温度之间的差值成正比,可用以估算采暖(制冷)能耗<sup>[8]</sup>。室外平均温度与建筑能耗关系如图1<sup>[9]</sup>所示,

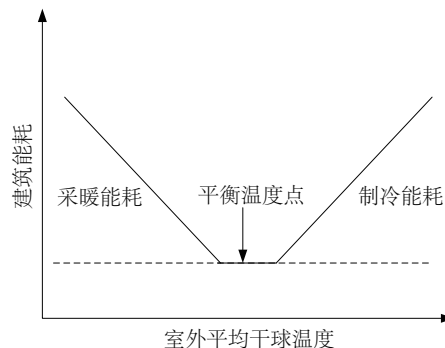


图1 建筑能耗与室外平均温度的关系

Fig. 1 The relationship between building energy use and the outdoor temperature

收稿日期: 2016-03-31

基金项目: 国家自然科学基金(51508444); 中国博士后科学基金(2017M613288XB); 国际(地区)合作与交流项目(51561135004)

通信作者: 李红莲(1980—), 女, 博士、高级工程师, 主要从事建筑气候与建筑节能等方面的研究。lihonglian\_lhl@163.com

当室外平均温度低于平衡温度时提供热负荷;当室外平均温度高于平衡温度时提供冷负荷。

该方法本质上是一种稳态的方法,优点是快速且简单,缺点是用历史数据来预测未来气象特征,虽然能够量化气候变化对建筑能耗的影响大小,但是单纯依靠干球温度来衡量建筑能耗的变化过于片面,对精确反映采暖空调能耗峰值及细部变化存在明显不足<sup>[10,11]</sup>。研究发现,使用湿球温度制冷度日数比干球温度预测冷量更加适用,因冷负荷与空气焓值有关,即与干球温度和湿度均相关<sup>[12]</sup>。

## 1.2 补偿法

度日法在长期的历史气象数据基础上采用数理统计方法建立外推关系,忽视了对未来气候预估。补偿法是对度日法的一种改进,在已有典型气象年 (typical meteorological year, TMY) 或参考年 (test reference year, TRY) 的基础上,结合地球气候模式 (general circulation model, GCM) 的预测结果降尺度处理,修正现有 TMY/TRY,该方法已在美国、英国、澳大利亚和香港得到广泛应用<sup>[13-18]</sup>,在具体应用时又分为 2 种:

1) 只考虑气候变化对单个气象参数的改变,而忽略气象参数之间的潜在联系,如图 2 所示<sup>[19]</sup>。2005 年, Belcher 等<sup>[4]</sup>基于上述假设提出了未来气候变化下气象参数的转化方法——Morphing 方法,随后不同的国外学者均用此方法对星级建筑、办公建筑、商业建筑等进行了能源预测<sup>[20-23]</sup>,该方法通过位移、线性拉伸、位移和线性拉伸相结合 3 个操作将已有的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,保留了已有气象数据的物理特征。

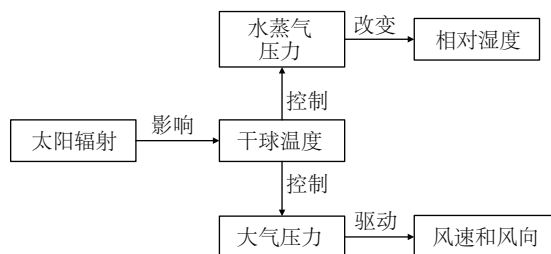


图2 各气象参数之间的潜在关系

Fig. 2 The relationship between different weather variables

2) 由 Scott 等<sup>[13]</sup>提出的方法是考虑温度与相对湿度间的关系,认为温度的潜在增量仅由气候变暖引起,且需对绝对湿度与温度的关系做不同的假设。Scott 等<sup>[13]</sup>和 Guan 等<sup>[18]</sup>假设在未来气候情景下,随着全球气候的变暖,温度的升高导致更多的水分蒸发至大气层而保持相对湿度恒定。随后, Mullan<sup>[14]</sup>、Degelman<sup>[12]</sup>等基于不同的假设也提出了需要考虑温度、相对湿度和露点温度之间的变化关系。

以上的研究表明了补偿法的优点:1) 现有的 TMY/TRY/平均年可作为建筑能耗模拟的基准数据;2) 通过相关的国际研究组织能获取未来不同条件下的气候变化情况;3) 未来气候变化下的逐时数据是通过现有的气象数据演化而来,对比基础一致,研究更关注相对变化。补偿法的缺点是,该方法必须基于以下前提假设:1) 一天内干球温度的增加是连续的,即未来日最高、最低干球温度的增长与预测的平均温度增长是一致的;2) 忽略太阳辐射和风速的变化;3) 虽然对于干球温度和相对湿度提出了不同的假设,但均缺乏一定的理论依据。

## 1.3 随机气象模型

随机气象模型法是由 Paassen 等<sup>[5,6]</sup>提出的,该方法针对每个天气参数建立随机模型,其中合成的天气时间序列是以经验的“统计数据”产生,然后利用历史观测数据校验模型。虽然这种方法在计算上相对便宜,但是需要大数据集“训练”模型并给出可靠的气象数据修复未知的模型系数。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,各气象参数模型的准确性与历史观测数据的质量有关。

## 1.4 全球气候模型法

全球气象模型法是由气象学者提出的一种更为复杂和基础的气候变化模型<sup>[7]</sup>。它是基于大气环流与陆地、海洋和冰圈之间的能量传递机制建立 GCM,由于这种模式分辨率水平较低,对区域气候的模拟存在局限性和不确定性<sup>[24]</sup>,更不用说对于具体的建筑进行热环境模拟了。

### 1.5 4种方法的关系

度日法、补偿法、随机气象模型法和全球气候模型法 4 种未来气象数据生成方法之间的关系如图 3 所示<sup>[17]</sup>。由图 3 可知,前 2 种方法都必须依赖历史观测数据,度日法是对历史观测数据利用统计学理论直接外推;补偿法是基于长期观测的历史数据挑选 TMY(或 TRY)来表征某地区长期的气候特征,在此基础上结合 GCM 预测结果的降尺度处理进行补偿,如 Morphing 变形法;后 2 种方法均是基于物理模型进行气候预测,采用历史观测数据对模型进行校正。其中,随机气象模型是针对每个气象参数分别建立模型,各气象参数模型的准确性与历史观测数据的质量有关;全球气候模型是基于整个气候系统模式建立模型,目前全球气候模型的分辨率普遍较低,不能很好地表征地形等区域物理过程。

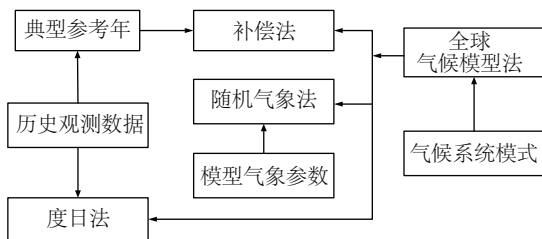


图3 4种未来气象数据生成方法之间的关系

Fig. 3 The relationship between different methods

## 2 基于“补偿法”的未来逐时气象数据产生方法

### 2.1 技术路线

度日法由于受到缺乏准确详实的未来模拟气象参数的限制,对准确的建筑能耗动态模拟明显存在不足,而随机气象模型法和全球气候模型法对使用人员的专业性要求高。因此采用补偿法生成未来逐时气象参数是最佳选择。本文选择补偿法中的 Morphing 变形法结合已有的未来月尺度预测数据,产生气候变化下逐时气象数据并用于建筑动态能耗模拟,其数据产生的基本框架如图 4 所示,输入端是 2 组易获得的数据,分别是历史观测数据生成的 TMY 和未来月尺度气象参数。若未来气候变化的某气象参数月尺度预测数据未知,则采用当前 TMY 的逐时数据代替未来逐时气象数据;若参数已

知,则采用 Morphing 变形法产生未来逐时气象数据。

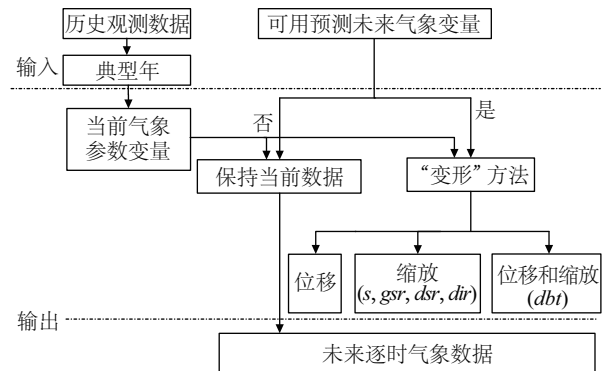


图4 利用基准气候通过变形产生未来的逐时气象数据的技术路线

Fig. 4 The technology to produce the hourly meteorological data through the morphing method

### 2.2 计算方法

本文选用由 1971 年~2000 年的地面观测数据选出的 TMY 作为基准气候,保证气象数据基准是有质量、高分辨的,结合政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change, IPCC)公布的 SRES 情景中 A1B 情景(中排放情景)的最新预测结果,修正得到未来的逐时气象数据。具体处理方法为:对未来气象参数的预测,涉及干球温度、太阳辐射和含湿量;预测气象数据中风速未知,风速保持不变;在计算相对湿度的过程中,由于气压未知,通过与其他气象参数的相关关系计算得出。

#### 1) 干球温度 $dbt(^{\circ}\text{C})$

根据 TMY 的逐时平均温度  $TEMP$ ,基于 IPCC 月尺度预测计算出月平均变化  $\Delta TEMP_m$ 。由逐时干球温度可挑选出日最大干球温度  $TMAX$  以及日最小干球温度  $TMIN$ ,通过 TMY 的逐时值进行位移变化以及日较差  $TMAX-TMIN$  进行拉伸。由未来月尺度的干球温度,预测 2010 年~2100 年的逐时干球温度。拉伸所需的缩放因子根据式(1)求得:

$$\partial dbt_m = \frac{\Delta TMAX_m - \Delta TMIN_m}{\langle \partial dbt_{0\max} \rangle_m - \langle \partial dbt_{0\min} \rangle_m} \quad (1)$$

式中,  $\partial dbt_m$   $\partial dbt_m$  ——干球温度的缩放因子;  
 $\Delta TMAX_m$   $\Delta TMAX_m$  —— $m$  月月平均最大干球温度的



预测变化;  $\Delta TMIN_m$   $\Delta TMIN_m$  ——  $m$  月月平均最小干球温度的预测变化;  $\langle dbt_{0\max} \rangle_m$   $\langle \partial dbt_{0\max} \rangle_m$  —— TMY 中  $m$  月每日最大干球温度的月平均值;  $\langle dbt_{0\min} \rangle_m$   $\langle \partial dbt_{0\min} \rangle_m$  —— TMY 中  $m$  月每日最小干球温度的月平均值。

因气候变化下干球温度的逐时值在变形过程中, 均值和方差都发生了改变, 利用式(2)进行预测。

$$dbt = dbt_0 + \Delta TEMP_m + \partial dbt_m \times (dbt_0 - \langle dbt_0 \rangle_m) \quad (2)$$

式中,  $dbt$  —— 未来气候变化下逐时干球温度;  $dbt_0$  —— TMY 的逐时干球温度;  $\langle dbt_0 \rangle_m$  —— TMY 中  $m$  月月平均干球温度;  $\Delta TEMP_m$  ——  $m$  月月平均干球温度变化预测值;  $\partial dbt_m$  ——  $m$  月的降尺度伸缩系数。

## 2) 水平太阳总辐射 $gsr$ ( $W/(m^2 \cdot h)$ )

因夜晚无太阳辐射, 太阳辐射只拉伸而不改变位移。需要的缩放因子可由绝对变化和基准气候 TMY 的水平太阳总辐射月均值由式(3)得出, 然后将缩放因子应用于所有月份  $m$  的时间序列, 根据式(4)得出未来时间序列下的水平太阳总辐射。

$$\partial gsr_m = 1 + \left( \Delta DSWF_m / \langle gsr_0 \rangle_m \right) \quad (3)$$

$$gsr = \partial gsr_m \times gsr_0 \quad (4)$$

式中,  $\partial gsr_m$   $\partial gsr_m$  —— 太阳辐射的缩放因子;  $\Delta DSWF_m$  ——  $m$  月平均水平太阳总辐射变化预测值;  $\langle gsr_0 \rangle_m$   $\langle gsr_0 \rangle_m$  —— TMY 中  $m$  月月平均太阳辐射;  $gsr$  —— 未来气候变化下逐时太阳辐射。

IPCC 场景中没有直接提供太阳辐射中直射和散射的月预测值, 计算气候变化变化下的逐时太阳直射和散射需要使用间接公式, 其缩放因子与水平太阳总辐射一致, 用上述公式也可预测未来时间序列下的辐射值。

## 3) 含湿量 $S$ ( $kg/kg$ )

历史观测数据里没有含湿量, 而 IPCC 公布的数据中只有含湿量的月尺度预测值, 若预测未来逐时相对湿度等, 需通过历史数据计算历史含湿量, 再结合未来含湿量、逐时干球温度等获取表征湿度的参数。

① 计算历史时间序列的含湿量  $S_0$ : 使用历史逐时干球温度、相对湿度及大气压计算历史时间序列

的含湿量  $S_0$ ;

② 含湿量是用百分比表示, 需要的缩放因子根据式(5)得出, 利用式(6)对含湿量进行拉伸获得未来时间序列下的含湿量。

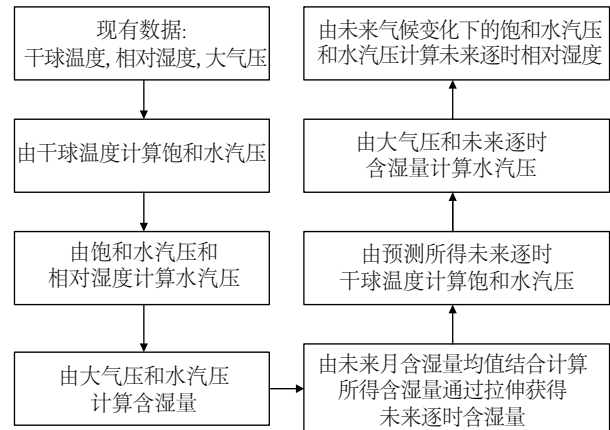
$$\partial S_m = 1 + SPHU_m / 100 \quad (5)$$

$$S = \partial S_m \times S_0 \quad (6)$$

式中,  $\partial S_m$  ——  $m$  月的降尺度伸缩系数;  $SPHU_m$  ——  $m$  月含湿量的预测变化百分数;  $S_0$  —— TMY 的逐时含湿量;  $S$  —— 未来气候变化下逐时含湿量。

## 4) 相对湿度 RH(%)

如果直接对相对湿度采用 Morphing 方法进行预测, 无法排除干球温度变化带来的影响, 故需要选取一个绝对量进行预测, 然后利用湿空气状态函数关系进行换算, 从而得到相对湿度。结合参数含湿量、干球温度和大气压的预测结果, 即可得到相对湿度的逐时预测值, 气候变化下逐时相对湿度的计算方法如图 5 所示<sup>[25]</sup>。



注: 其中未来的大气压未知, 采用历史基准气候的大气压代替未来大气压会对相对湿度造成一定的影响。

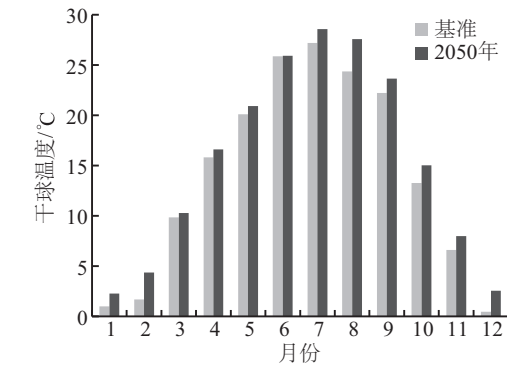
图 5 气候变化下用含湿量等气象参数求取逐时相对湿度的方法计算流程

Fig. 5 Using the moisture content and other meteorological parameters to calculate the hourly relative humidity

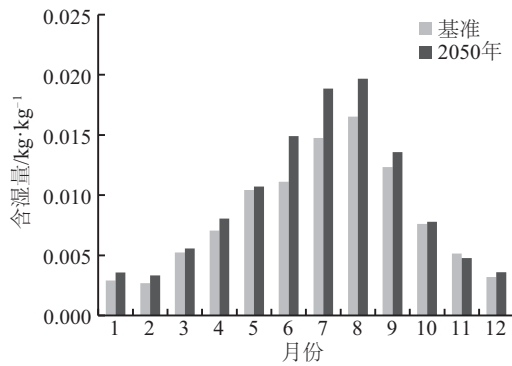
## 3 气候变化下西安 2050 年情景

IPCC 公布的 SRES 情景中 A1B 情景下, 西安地区 2050 年的月干球温度、含湿量和太阳辐射变化幅度如图 6 所示。由图可见, 西安地区干球温度、

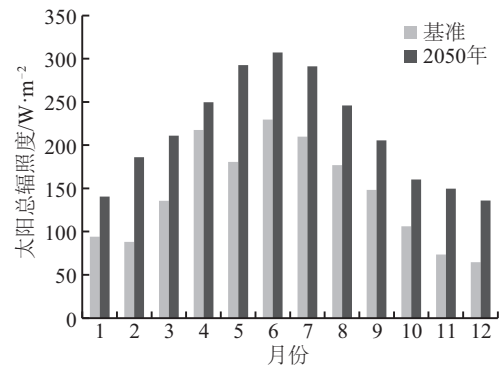
含湿量及太阳辐射的总体趋势是增加的,与全球变暖的预测相符。在 A1B 排放情景下,西安年平均温度升高约 1.45 °C,含湿量增加 0.0013 kg/kg,太阳辐射较基准值增长浮动较大。



a. 干球温度



b. 含湿量



c. 太阳辐射度

图6 A1B情景下西安2050年对比基准年的月干球温度、含湿量及太阳辐射增幅情况

Fig. 6 The change of dry bulb temperature, moisture content and solar radiation in 2050 under SRES A1B

## 4 气候变化下建筑能耗模拟预测分析

本文通过 Morphing 法对基准气象数据变形,产生 2050 年的逐时气象数据,然后参照相关国家及地方建筑标准和调研数据,采用建筑能耗模拟工具 Energy Plus 建立西安地区典型高层住宅和办公建筑模型,并进行 TMY 和 2050 年逐时能耗动态模拟。

### 4.1 模型介绍

高层住宅及办公建筑物概况和设备参数见表 1。

表1 模拟建筑物概况及设备参数

Table 1 The overview and device parameters of the simulated building

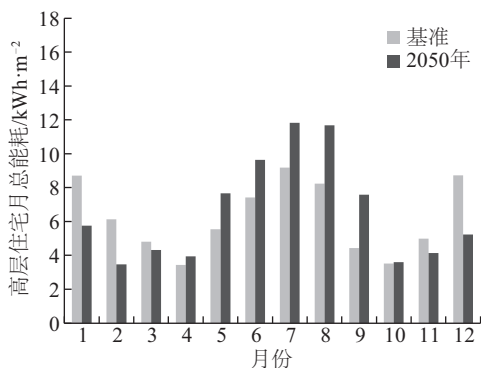
	实例1	实例2
建筑概况	地点西安,高层住宅,地上13层,楼层总面积3250 m <sup>2</sup> ,体形系数0.306,窗墙比30%	地点西安,高层办公建筑,地上12层,楼层总面积19200 m <sup>2</sup> ,体形系数0.124,窗墙比40%
围护结构传热系数/ W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>	外墙:0.499 屋面:0.445 窗户:2.729	外墙:0.499 屋面:0.445 窗户:2.365
米 <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup>	30	8
照明强度/W·m <sup>-2</sup>	5	9
设备负荷密度/W·m <sup>-2</sup>	5	15
空气渗透/ac·h <sup>-1</sup>	0.5	0.5
SHGC	0.556	0.462

### 4.2 西安气候变化下的建筑能耗

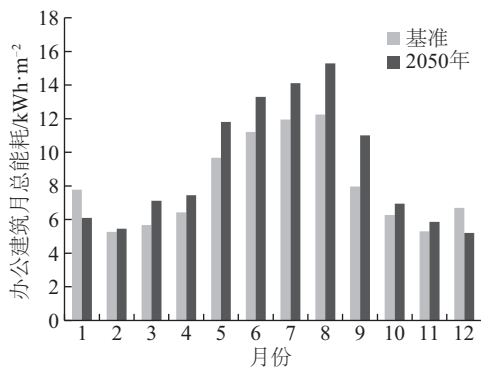
与基准典型年能耗对比,A1B 情景下到 21 世纪中期(2050 年)西安地区高层住宅及办公建筑月总能耗变化情况如图 7 所示。图 7 表明了 A1B

的排放情景下,高层住宅(图 7a)及办公(图 7b)建筑 2050 年月能耗对比 TMY 的月能耗变化情况。对于高层住宅,11 月份、12 月份、1 月份、2 月份、3 月份建筑的总能耗分别减少 16%、39%、33%、43%

及 10%, 而其他月份建筑的总能耗增加, 10 月份增长幅度较小仅为 2%, 4~9 月份建筑总能耗基本呈现递增趋势, 到 9 月份增长高达 71%; 对于高层办公建筑, 12 月份、1 月份建筑的总能耗分别减少 21% 和 22%, 而其余月份总能耗增加, 其中除 2 月份仅增长 3%, 其余月份均增长 10% 以上, 增长幅度较大。可见, 气候变暖对建筑能耗的影响由于建筑类型不同而有所区别。



a. 高层住宅



b. 办公建筑

图7 A1B情景下2050年西安高层住宅及办公建筑月总能耗变化

Fig. 7 The monthly energy consumption of residential and office in 2050 under SRES A1B

图8表明了, 在A1B的排放情景2050年相对基准年西安高层住宅及办公建筑分项能耗变化情况, 室外气象要素对建筑的照明及设备耗能并不产生影响, 属于固定能耗。而室外干球温度、太阳辐射、含湿量等气象要素会影响建筑的采暖、制冷能耗。对于西安地区的高层住宅和办公建筑采暖能耗呈现降低趋势, 而制冷能耗增加。随着气候变暖, 西安的高层住宅建筑增长的供冷能耗基本被降低的采暖能耗抵消, 两者之和基本保持不变, 总能耗(增长 5%)无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。而办公建筑总能耗约增长 13.7%, 由于办公建筑的内热源较大, 一年中多以供冷为主, 随着制冷能耗的持续增加, 办公建筑总能耗还是会有所增加。

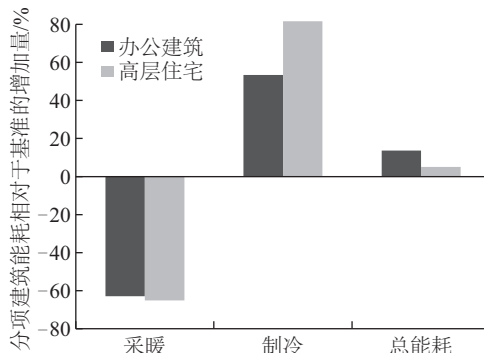


图8 A1B情景下2050年相对基准年西安高层住宅及办公建筑分项能耗增加量

Fig. 8 The increment of cooling, heating and total energy consumption of residential and office in 2050 under SRES A1B

## 5 结 论

本文梳理了气候变化下未来逐时气象数据的产生方法; 选用 IPCC 报告中 SRES 情景下的 A1B 场景的气候预估结果, 结合 TMY 基准使用补偿法中的 Morphing 变形法进行降尺度处理, 得到西安 2050 年的逐时化气象数据; 并使用 Energy Plus 模拟预测未来气候变化对当地民用建筑能耗的影响并进行了定量分析。模拟结果表明, 随着气候变暖, 该地区能源结构发生了变化, 采暖能耗较基准能耗呈现减小趋势, 而制冷能耗呈现增加趋势; 对于高层住宅, 建筑增长的供冷能耗基本被降低的采暖能耗抵消总能耗(增长 5%)无明显上升或下降趋势; 西安地区的高层办公建筑内热源较大, 一年中多以供冷为主, 随着制冷能耗的持续增加, 办公建筑总能耗相对于高层住宅而言增长幅度较大, 而如果针对不同类型建筑采取有效节能措施, 可能会更有效地缓解大幅增长的能源需求, 增强对气候变化的适应能力。

将 TMY 与气候预估相结合有效地拓展了建筑能耗动态模拟的时间限制和使用范围, 且 Morphing 变形法较为准确和细致地反映出了气候的变化及其对建筑能耗的影响。随着我国可持续发展理念的倡导, 被动式建筑、低/超低能耗建筑逐渐成为未

来发展的方向,气候变化下太阳辐射数据的降尺度处理及逐时方法成为了研究气候变化对建筑能耗影响的关键点之一。本文为研究气候变暖条件下建筑能耗演化规律,对未来建筑的节能和生态设计具有重要实践价值。

### [参考文献]

- [1] Wan K K W, Li D H W, Pan W, et al. Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications [J]. *Applied Energy*, 2010, 97(3): 274—282.
- [2] Dirks J A, Gorrisen W J, Hathaway J H. Impacts of climate change on energy consumption and peak demand in buildings: A detailed regional approach [J]. *Energy*, 2015, 79(C): 20—32.
- [3] Sailor D J, Pavlova A A. Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change [J]. *Energy*, 2003, 28 (9): 941—951.
- [4] Belcher S E, Hacker J N, Powell D S. Constructing design weather data for future climates [J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2005, 26(1): 49—61.
- [5] Paassen A H V, Luo Q X. Weather data generator to study climate change on buildings [J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2002, 23(4): 251—258.
- [6] Paassen A H V, Luo Q X. Weather data generator to study climate change on buildings [J]. *Energy & Buildings*, 2000, 31(1): 75—88.
- [7] 罗 勇. 气候变化业务 [M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [7] Luo Yong. Climate change business [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2012.
- [8] 候 政. 用度日法分析气象变化对建筑采暖能耗的影响 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
- [8] Hou Zheng. Analysing climate changing impact on building energy consumption of heating by method of degree-days [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2007.
- [9] Guan L. Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings [J]. *Building & Environment*, 2009, 44(4): 793—800.
- [10] Kwok A G, Rajkovich N B. Addressing climate change in comfort standards [J]. *Building & Environment*, 2010, 45(1): 18—22.
- [11] Jiang M P, Tovey K. Overcoming barriers to implementation of carbon reduction strategies in large commercial buildings in china [J]. *Building & Environment*, 2010, 45(4): 856—864.
- [12] Degelman L O. Which came first-building cooling loads or global warming? A cause and effect examination [J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2003, 23(4): 259—267.
- [13] Scott M J, Wrench L E, Hadley D L. Effects of climate change on commercial building energy demand [J]. *Energy Sources*, 1994, 16(3): 317—332.
- [14] Mullan A B. NIWA Report to BRANZ (FRST Contract BRA605) generation of hourly weather data scenario files [R]. Dunedin: NZ: Energy Group Limited, 1999.
- [15] Cullen N J, Lea H. Climate change-designing building with a future [A]. CIBSE Conference [C], London, UK, 2001.
- [16] Crawley D B. Creating weather files for climate change and urbanization impacts analysis [A]. *Proceedings: Building Simulation [C]*, Beijing, China, 2007, 1075—1082.
- [17] Bell J, Guan L, Yang J. A method of preparing future hourly weather data for the study of the impact of global warming on built environment [A]. *Proceedings of the International Conference [C]*, QUT Research Week, Brisbane, 2005, 4—8.
- [18] Amitrano L, Hargreaves R, Page I, et al. An assessment of the need to adapt buildings to the unavoidable consequences of climate change [R]. Report to the Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Water Resources, BRANZ Limited, August 2007.
- [19] Guan L, Yang J, Bell J M. Cross-correlations between weather variables in Australia [J]. *Building & Environment*, 2007, 42(3): 1054—1070.
- [20] Yau Y H, Hasbi S. A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013, 18(2): 430—441.
- [21] Jentsch M, FJames P A B, Bourikas L, et al. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates [J]. *Renewable Energy*, 2013, 55(4): 514—524.
- [22] Berger T, Amann C, Formayer H, et al. Impacts of climate change upon cooling and heating energy demand

- of office buildings in Vienna, Austria[J]. *Energy & Buildings*, 2014, 80: 517—530.
- [23] Wang H, Chen Q. Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States[J]. *Energy & Buildings*, 2014, 82: 428—436.
- [24] 丁一汇. 气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 2010
- [24] Di Yihui. Climate change[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2010.
- [25] 刘大龙. 区域气候预测与建筑能耗演化规律研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [25] Liu Dalong. The study of building energy consumption based on climate prediction [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology Doctoral Dissertation, 2011.

## PREDICTION OF FUTURE BUILDING ENERGY CONSUMPTION UNDER CLIMATE CHANGE

Xu Xinyin<sup>1</sup>, Li Honglian<sup>1,2</sup>, Yang Liu<sup>2</sup>, Yu Junqi<sup>1</sup>

(1. School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** In this paper, the methods used to prepare future weather data for the study of the impact of climate change are reviewed. This includes the extrapolating statistic method, the imposed offset method, the stochastic weather model and global climate models. The advantages and disadvantages of each method are discussed. The relationship between these four methods are also been illustrated. Then it focuses on the theory and calculation about the morphing method and uses the historical observation data and the IPCC scaled monthly forecast data to produce the year 2050 hourly meteorological data in Xi'an; The application of Energy Plus is utilized to simulate the residential and office building energy consumption. The fine meteorological data for building energy simulation is the basis for the future work of building energy efficiency design and sustainable development.

**Keywords:** climate change; future hourly meteorological data; morphing method; building energy consumption simulation