

# 气候变化下建筑能耗模拟气象数据研究

刘大龙, 刘加平, 杨 柳, 张卫华

(西安建筑科技大学 建筑学院, 西安, 710055)

**摘 要:**气象参数是建筑能耗模拟的基础,随着全球气候异常变暖,必将对建筑采暖和空调能耗产生重要影响。进行未来气候条件下的建筑能耗模拟,必须首先开展未来模拟气象参数的研究。根据 TMY2 模拟气象参数模式提出了节能分析气象年(AEEMY)模拟气象参数模式。使用了 3 个气候模型预测了中国建筑热工分区代表城市未来 2021—2050 的 30 a 气象参数。使用 AEEMY 模式得到了 1971—2000 年和 2021—2050 年代表城市的建筑能耗模拟气象参数。应用 DOE2 模拟软件对中国各气候区的居住建筑在 2 种气候条件下进行了建筑能耗模拟。验证了该模拟气象数据模式的有效性和可行性。

**关键词:**气候变化;建筑能耗模拟;模拟气象数据模式

**中图分类号:**TU111.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2012)02-0110-05

## Analysis on Simulation Meteorological Data Under Climate Change

LIU Da-long, LIU Jia-ping, YANG Liu, ZHANG Wei-hua

(Architecture school, Xi'AN University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

**Abstract:** Climate has a determining influence on building energy consumption. Since 1980s, the global climate has appeared excessive warming, which inevitably causes the change of building energy consumption. The climatic simulation was used to forecast meteorological data from 2021 to 2050 for five cities in China. The five cities represent five different climate types in China. According to the Analysis of Energy Efficient Meteorological Year (AEEMY), model of meteorological data for building energy simulation based on TMY2 was presented. At the same time, meteorological data for DOES was also made from 1971 to 2000. A high residential building was respectively simulated in five cities under two kinds of meteorological data by using DOE2 software. The model of simulation was proved by the simulation result.

**Key words:** climate change; building energy consumption simulation; model of simulation meteorological data

气候是决定建筑能耗的关键因素,特别是对建筑的采暖和空调能耗。20 世纪 80 年代以来,全球气候发生了异常变化,气温过度变暖,导致自然灾害频发,人类生存的自然环境不断恶化。在如此突变的气候条件下,建筑能耗必将随之发生显著变化。变化的建筑能耗将会使建筑节能设计面临新的挑战,这是建筑节能领域备受关注的课题,国内外学者相继展开多项研究。

目前对于气候变化下建筑能耗的研究主要采用静态能耗计算方法度日法。文献[1-3]使用采暖度日数和空调度日数研究了世界各个地区温室气体引起气温升高对于建筑能耗的影响。这些研究基本都得出了采暖能耗降低,但降温能耗升高且高于采暖能耗的规律。此外有些学者采用统计方法来研究气候变化对建筑能耗的影响。2005 年 Ruth 和 Lin<sup>[4]</sup>对美国马里兰州气候变化下的能耗需求进行了研

收稿日期:2011-09-12

基金项目:国家自然科学基金创新研究群体基金(50921005);国家自然科学基金青年基金(51108366);西安建筑科技大学人才基金(RC1010)

作者简介:刘大龙(1976-),男,博士,主要从事建筑物理研究,(E-mail)coffeecv@xauat.edu.cn。

究,马里兰州具有巨大的空调降温和采暖能源需求,研究采用时间序列方法预测了马里兰州 2005—2025 年间采暖和空调能源需求量,该研究也得到了上述能耗变化规律。2009 年 Lam 等<sup>[5]</sup>对香港商业办公建筑未来的能耗进行了研究。该研究通过一个由气温、湿球温度和太阳总辐射组合气候因子与建筑降温能耗之间的回归模型,得到在 SRES B1 情景下,2009—2100 的年平均空调负荷将比 1979—2008 的年均值要高 9.1%,建筑总能耗量增长 4.3%。研究还发现随着气候的变化,建筑负荷和能耗量的季节性差异将变得越来越小。

上述研究表明随着气候变暖,建筑能耗将会发生明显的变化。但上述研究主要是以历史气象数据为基础来推算未来建筑能耗的变化趋势,而很少采用未来气象来预测建筑能耗。在现有的建筑能耗分析方法中,动态建筑能耗模拟是主流研究方法,该方法在逐时室外气象条件下,计算满足室内环境要求的环境控制设备需要的全年逐时能耗量,它对于计算、预测和评估建筑的能源消耗变得越来越重要<sup>[6]</sup>。虽然建筑能耗模拟是目前计算建筑能耗的有效方法,但是因为受到缺乏准确详实的未来模拟气象参数的限制,该方法很少被用于研究气候变化下的建筑能耗研究领域。

## 1 建筑能耗模拟气象数据模式

为了将该动态能耗模拟方法应用于气候变化下的建筑能耗计算。必须获取满足模拟条件的、准确的、逐时的未来气象参数。模拟气象参数模式是获取一个地区代表性气象数据的方法,能够从长期的气象资料中挑选出代表当地气候规律的全年逐时、能够满足能耗计算需要的多项气象参数。

### 1.1 节能分析气象年模拟气象参数模式的提出

目前多数主流建筑能耗模拟软件 DOE-2, Energy-Plus, DeST 等使用的模拟气候参数模式是 TMY2(Typical Meteorological Year 2)。TMY2 是 20 世纪 90 年代美国国家可再生能源实验室分析研究组(National Renewable Energy Laboratory's Analytic Studies Division)资源评估项目的研究成果。TMY2 使用 Sandia 方法来挑选代表性气象数据。Sandia 方法的核心是在相当长 1 个时期(通常为 30 a)的气象数据中,从不同年份中挑选出 12 个典型气象月,然后由其组成 1 个完整的典型年,这个典型年是一个虚拟年。以 1 a 的气候数据来代表该地区 30 a 内的气候特征,这样便于模拟计算。

设计之初 TMY2 计划用于太阳能转换系统或者建筑环境控制系统在不同系统类型、不同系统配置和在不同地域环境下的系统运行性能之比较。后

来 TMY2 因为具备当地长期气候的代表性,其太阳辐射、空气温度与风速等气象数据的发生频率分布与过去多年的长期分布相似;同时各参数间的具备较强的关联相似性;还能够使建筑物全年热负荷及能耗计算结果具备代表性,被应用于建筑能耗的模拟计算。但是在建筑节能分析中,发现使用 TMY2 模式的气象数据存在以下问题:

1)在挑选典型月时太阳辐射的权重系数占到了一半,所占比重过大。中国各地气象状况相差较大,各地太阳辐射资源也存在较大差异,相同地区还存在太阳辐射的季节性差异。而太阳辐射也不是所有地域建筑的主要可利用能源,所以太阳辐射的权重系数所占比重过大。

2)在挑选典型月时各主要气象参数比重在不同地区、不同季节都是固定不变。研究表明气候存在非常明显的地域性特征,中国则因地域辽阔表现的更为显著,在挑选典型气象月时,各地的气象参数比重有所差别。因此对各地的典型气候的研究不能以固定不变的比重方式来进行,应该考虑到地域差异和季节差异。

基于以上分析,提出了新的模拟气候数据模式——节能分析气象年。

### 1.2 节能分析气象年模拟气象数据模式的构成

节能分析气象年(Analysis of Energy Efficiency Meteorology Year, AEE MY)模式的基本思想与 TMY2 相同,根据当地相当长一段时期内的气象数据,先挑选出 12 个节能分析气象月,然后组成一个“节能分析气象年”。

节能分析气象月的挑选以平均气温、水平面太阳总辐射、大气压和相对湿度 4 项气象参数为选择依据,以主成分分析为理论根据,来确定各地 4 项气象参数作用于建筑能耗的组合系数。主成分分析是统计学中的一种常用方法,它的基本任务是根据样本的观测值确定应该构造多少个综合指标(主成分),并构造出各主成分的表达式<sup>[7]</sup>。主成分分析是对于原本提出的所有变量,以尽量紧凑的变量形式来表达现实问题的函数关系,使得变量能够最大限度地、独立地反映现实问题的某一方面,而且尽可能保持原有的信息。

采用主成分分析方法计算出 4 项气象参数的组合系数之后,计算 4 项参数在每个月的累年平均组合值和历年组合值,两者差值最小的月份即为该月的节能分析气象月。差异最小是指各考察月 4 项参数的组合值与该月 4 项参数累年平均组合值的差异最小,在差异最小的判断中有一个很重要的概念就是 4 项参数的组合值,该组合值通过主成分分析获取 4 项参数各自的组合系数,然后通过 4 项参数

的线性组合得到。在参数组合值的计算中,各地 4 项参数的权值不是固定的不变的,分别通过分析各地的长期的冬季和夏季气象数据得到的,反应出了 4 项气象参数对于建筑能耗影响的地域性和季节性。节能分析气象月的挑选方法如公式(1)~(4)所示。

$$L_i(j) = P_i(j)W_{pi} + T_i(j)W_{ti} + G_i(j)W_{gi} + R_i(j)W_{ri} \quad (1)$$

$$\bar{L}_i = \bar{P}_i W_{pi} + \bar{T}_i(j)W_{ti} + \bar{G}_i(j)W_{gi} + \bar{R}_i(j)W_{ri} \quad (2)$$

其中: $L_i(j)$ 为*j*年*i*月 4 项参数的组合值; $\bar{L}_i$ :*i*月 4 项参数累年平均值的组合值; $P_i(j)$ 、 $T_i(j)$ 、 $G_i(j)$ 、 $R_i(j)$ ,分别为大气压、平均温度、水平面太阳总辐射和相对湿度*j*年*i*月的平均值; $W_{pi}$ 、 $W_{ti}$ 、 $W_{gi}$ 、 $W_{ri}$ 分别为为大气压、平均温度、水平面太阳总辐射和相对湿度各月的组合系数; $\bar{P}_i$ 、 $\bar{T}_i$ 、 $\bar{G}_i$ 、 $\bar{R}_i$ ,分别为大气压、平均温度、水平面太阳总辐射、相对湿度*i*月的累年平均值

$$D_i(j) = |L_i(j) - \bar{L}_i| \quad (3)$$

$$AEEMY_i = \min(D_i(1), D_i(2), \dots, D_i(30)) \quad (4)$$

其中: $AEEMY_i$ 为第*i*月模拟气候月的当月份。

节能分析气象年最主要的特点是考虑了不同地域、不同季节的气候因素对于建筑能耗作用的差异性,这点显著区别于目前主流的 TMY2 及其他模拟气象数据模式中对于典型气候的选择性。在这些模式中对于不同地域不同季节各气象参数的挑选权重始终保持不变。节能分析气象年的这一特点使得能够挑选中更加具有当地代表的典型气象数据,能够更加准确的反应出气候对于建筑能耗的影响。

论文使用 1971—2000 和 2021—2050 两个时期的气象资料,依据节能分析气象年参数模式,为中国 5 个气候区的 5 个代表城市挑选出来典型气象数据,然后按照 DOE-2 模拟软件中气象参数格式的要求制作了 5 个城市的 DOE-2 逐时模拟气象参数文件。

## 2 未来气象数据的获取

气候变化条件下建筑能耗模拟必须具备未来气候条件下的模拟用气象参数。采用气候模拟方法获取了未来的气候数据。气候模拟已成为开展气候变化研究的最重要手段之一,模式预测结果已具有很强的指示意义,多模式的集合结果也已经被证明更加可信<sup>[8]</sup>。文献[9]在研究黑龙江省未来气候变化预测时,也是采用多个气候模式的集合平均值作为

数据源使用的。以 3 个全球海气耦合模式的集合平均值作为未来气象数据预测值,这 3 个气候模式较为符合中国气候的变化规律,其模拟结果较为准确,他们的集合平均值将会更接近中国的气候变化情况。所选用的 3 个气候模式分别为:MIROC3.2—MEDRES, UKMO—HadCM3 和 ECHAM5,其基本信息如表 1 所示。

表 1 3 个气候模式基本信息表

模式名称	国家和研究机构	大气分辨率
MIROC3.2—MEDRES	日本/CCSR	2.8°×2.8°
UKMO—HadCM3	英国/UKMO	2.5°×2.5°
ECHAM5	德国/MPI	1.88°×1.88°

使用集合预测结果得到了中国 5 个气候区代表城市 2021—2050 期间的模拟用主要气象参数。5 个气候区每个选取了 1 个代表城市,5 个代表城市如表 2 所示。5 个代表城市的选区依据是:1)具有典型的气候代表性;2)在中国政治、经济、文化等方面处于重要地位。各气候选取的代表城市虽然只有 1 个,但是同一气候中各城市具有共同的气候特征,而且同一气候区建筑节能标准相同,建筑构造以及采暖降温方式基本相同,因此可以近似认为同一气候区中的不同地区在建筑能耗与气候的关系上基本相近。

表 2 各热工分区代表城市

气候分区	代表城市	东经度/(°)	北纬度/(°)	海拔/m
严寒	哈尔滨	126.46	45.45	142.0
寒冷	北京	116.17	39.56	54.0
夏热冬冷	武汉	30.62	114.13	23.3
夏热冬暖	广州	23.13	113.32	6.6
温和	昆明	102.41	25.01	1 891.0

## 3 不同气候条件下建筑能耗对比分析

### 3.1 模拟建筑及设置参数

模拟建筑的模型如图 1 所示,平面布局如图 2 所示,建筑为南北朝向,其围护结构传热系数、窗墙面积比、体形系数等限定性指标都满足各气候区节能标准要求。模拟建筑室内采暖计算温度 18℃,采用连续供暖方式,采暖期为 11 月到翌年 3 月;室内空调计算温度 26℃,采用间歇性空调制冷,空调期为 5 月到 9 月。分别输入 1971—2000 年期间和 2021—2050 年期间的模拟气象参数,使用 DOE-2<sup>[10]</sup>在对 5 个代表城市对同一高层居住建筑进行了 2 个时期的能耗模拟。

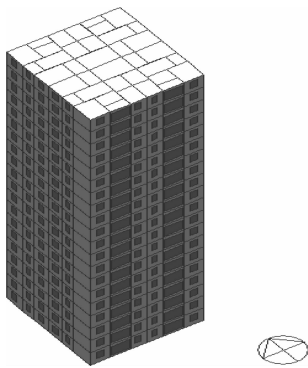


图1 高层住宅模型

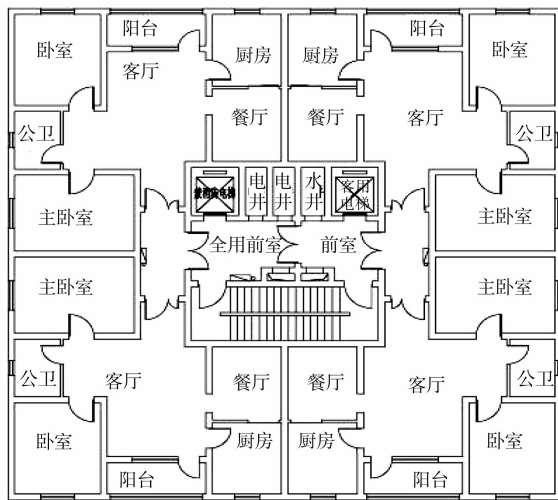


图2 高层住宅标准层平面图

### 3.2 不同气候条件下能耗模拟结果

模拟建筑在2种气象条件下5个城市的能耗值如表3、表4所示。

表3 模拟建筑在不同气候区1971—2000年能耗值  
( $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ )

城市	采暖能耗	空调能耗	总能耗
哈尔滨	87.7	40.1	127.8
北京	22.5	56.1	78.6
武汉	24.4	74.2	98.6
广州	1.6	86.1	87.7
昆明	6.1	28.8	34.9

表4 模拟建筑在不同气候区2021—2050年能耗值  
( $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ )

城市	采暖能耗	空调能耗	总能耗
哈尔滨	74.3	53.0	127.3
北京	23.1	61.6	84.7
武汉	13.3	94.3	107.6
广州	1.3	90.4	91.7
昆明	5.0	35.6	40.6

2021时期相比1971时期,各气候区代表城市

建筑能耗的变化基本都呈现单位面积采暖能耗减少,空调能耗增加的趋势。在5个气候区中,严寒地区采暖能耗减少最多,平均每平米减少13.4 kWh;夏热冬冷地区空调能耗增加最多,平均每平米增加20.1 kWh。夏热冬冷地区热工总能耗增加最大,每平方米增加9.0 kWh。各气候区建筑热工总能耗的增加是因为空调能耗的增加高于采暖能耗的减少,以夏热冬冷的武汉为例,单位面积采暖能耗较少11.1  $\text{kWh}/\text{m}^2$ ,而单位面积空调能耗增20.1  $\text{kWh}/\text{m}^2$ ,使得单位面积热工总能耗增加9.0  $\text{kWh}/\text{m}^2$ 。夏热冬暖地区采暖能耗减少18.8%,空调能耗增加5%,其余几个气候区采暖能耗平均减少18%,空调能耗平均增加23.6%。夏热冬暖地区主要以空调能耗为主,采暖能耗很少,虽然从比例上看采暖能耗减少比空调能耗增加的幅度大,但实际总能耗量还是显著增加,这与其他4个气候区建筑热工总能耗增加的表现一致。

### 3.3 模拟结果分析

中国居住建筑采暖能耗减少、空调能耗增加、而热工总能耗增加的主要原因是气候变暖。

各气候区代表城市在2001—2050这50a间的温度增长如表5所示,可以看出各代表城市的温度都明显升高,这是导致中国各气候区建筑采暖能耗减少,空调能耗增加的主要原因。研究表明近50a全球气候变暖的主要原因是人为的温室气体排放<sup>[11]</sup>,温室气体能让太阳短波辐射自由通过,同时吸收地面和空气放出的长波辐射(红外线),从而造成地面温度升高。

表5 代表城市2001—2050年气温增长值

城市	哈尔滨	北京	武汉	广州	昆明
冬季增长温度/ $^{\circ}\text{C}$	1.6	1.0	1.1	1.2	0.5
夏季增长温度/ $^{\circ}\text{C}$	1.1	1.3	1.2	1.2	0.3

进一步分析表3、表4模拟结果可以发现,在两种不同气候条件下,除过严寒地区的哈尔滨以采暖能耗为主外,其他气候区代表城市都是以空调能耗为主。表5中各气候区代表城市冬季和夏季的温度增长幅度相差不大,哈尔滨和昆明冬季的增温幅度还高于夏季,但是建筑热工总能耗却表现出空调能耗的增加明显高于采暖能耗的减少。这说明建筑降温需要更多的能耗。因此在气候变化下的未来,中国建筑节能的重点方向应该是空调整能,其节能的难度会增加。

寒冷地区北京的采暖能耗2021时期比1971时期出现了略微增加的现象,与其他气候区城市不同。这是因为北京地区在温度升高的同时冬季太阳辐射出现了较为明显的降低现象,两个时期的北京地区

太阳总辐射变化如图 3 所示。太阳辐射是建筑主要的热源之一,它不仅能够使建筑围护结构表面温度升高,而且能够透过窗户进入室内成为建筑的直接热源。但是随着城市大气污染的加剧,特别是冬季由于采暖需要,大量的燃煤造成空气透明度显著下降;同时天空中云量增多云层变厚,也减少了到达地面的太阳辐射量。文献[12]通过研究近 50 a 来鄂尔多斯地面太阳辐射的变化,也得到太阳辐射减少的结论。因此北京地区冬季太阳总辐射较为明显的降低,造成建筑得热量减少,是造成北京地区采暖能耗出现略微增加的主要原因。

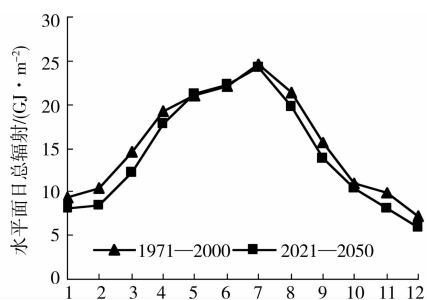


图 3 2 个时期北京 AEE MY 月平均总辐射

## 4 结论

采用建筑能耗动态模拟方法研究了中国在气候变暖条件下居住建筑能耗的变化规律。在 TMY2 模拟气象参数模式基础之上,提出了节能分析气象年(AEEMY)模式,该模式体现了各地影响建筑能耗的气候要素差异,同时体现了气象要素的季节性差异,使其更加适合于建筑节能的能耗模拟计算。

使用气候模拟方法预测了 2021—2050 期间中国主要气候区代表城市的气象数据。使用节能分析气象年模式制作了 1971—2000 期间和 2021—2050 期间中国主要气候区代表城市的模拟气象参数。使用 DOE2 模拟了高层居住建筑在不同气候区 2 个时期的建筑能耗情况。模拟结果表明,随着气候的变暖,采暖能耗基本都呈现减少趋势,而空调能耗都呈现增加趋势,空调能耗增加量明显高于采暖能耗的增加量,建筑热工总能耗呈增加趋势。在未来气候条件下,中国建筑节能的重要方向是减少空调能耗。各气候中,夏热冬冷地区居住建筑总能耗最高,是今后建筑节能的重点区域。夏热冬冷地区是中国今后开展节能工作的重点区域,

将节能分析气象年模式与气候预测相结合有效拓展了动态模拟方法的使用范围,为研究中国未来气候变暖条件下建筑能耗变化规律,指导中国未来建筑节能设计和生态建筑设计提供了重要的研究基础。将会有力促进中国建筑节能技术的发展和进步。

## 参考文献:

- [1] CARTALIS C, SYNODINOU A, PROEDROU M. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes; an assessment for the southeast Mediterranean region [J]. *Energy Conversion & Management*, 2001, 42(14):1647-1656.
- [2] CHRISTENSON M, MANZ H, GYALISTRAS D. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland [J]. *Energy Conversion and Management*, 2006, 47: 671-686.
- [3] 陈莉,方修琦,李帅,等.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影响[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5):764-772.  
CHEN LI, FANG XIU-QI, LI SHUAI, et al. Impacts of climate warming on electricity consumption for heating and cooling in the hot summer and cool winter zone of China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 764-772.
- [4] RUTH M, LIN AI. Regional energy demand and adaptations to climate change: Methodology and application to the state of Maryland [J]. *USA, Energy Policy*, 2006, 34: 2820-2833.
- [5] LAM J C, WAN K K W, LAM T N T, et al. An analysis of future building energy use in subtropical Hong Kong [J]. *Energy*, 2010; 1-9.
- [6] JENTSCH M F, BAHAJ A S, JAMES P A B. Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files [J]. *Energy and Buildings*, 2008, 40:2148-2168.
- [7] 余锦华,杨维权.多元统计分析与应用[M].广州:中山大学出版社,2005.
- [8] LAMBERT S J, BOER G J. CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models [J]. *Climate Dynamics*, 2001, 17:83-106.
- [9] 徐南平,潘华盛,徐影,等.黑龙江省未来 30 和 50 年气候变化预测[J]. *自然灾害学报*, 2004, 13(1):146-151.  
XU NAN-PING, PAN HUA-SHENG, XU YING. Prediction of climate change in Heilongjiang Province in coming 30 and 50 years [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(1):146-151.
- [10] WINKELMANN F C. DOE-2 BDL Summary-Version 2. 1E, Energy and environment division [R]. Berkeley, california: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 1993.
- [11] 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 [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [12] 申彦波,赵东,祝昌汉.近 50 年来鄂尔多斯地面太阳辐射的变化及与相关气象要素的联系[J]. *高原气象*, 2009, 28(4):786-794.  
SHEN YAN-BO, ZHAO DONG, ZHU CHANG-HAN. Variational characteristics of surface solar radiation and associated meteorological elements over ordos plateau in recent 50 years [J]. *Plateau Meteorology*, 2009, 28(4):786-794.