

建筑能耗模拟用典型气象年产生方法的研究

李红莲^{1,2}, 杨 柳², 刘大龙², 林宇凡³, 郑武幸²

(1. 西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 3. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:室外气候条件的准确描述是建筑能耗模拟评估正确与否的基础, 用于表征室外气候条件的典型年 TMY(Typical Meteorological Year)由 8 760 h 的逐时气象参数组成. TMY 的产生需要长期的气象参数记录和科学的处理方法. 本文梳理了国内外现有的 TMY 的产生方法和进行建筑能耗动态模拟用逐时气象参数的处理方法, 以及气候变化下未来 TMY 的产生方法. 典型年气象数据的正确处理是进行建筑节能和建筑设计的基础工作.

关键词: 典型气象年; 建筑能耗模拟; 逐时气象数据; 气候变化

中图分类号: TU111.3

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)02-0267-05

Research on the method of generate TMY for building energy consumption simulation

LI Honglian^{1,2}, YANG Liu², LIU Dalong², LIN Yufan³, ZHENG Wuxin²

(1. School of Info. & Cont. Engi., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2. School of Arch., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 3. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: An accurate description of the outdoor climate condition is the foundation of assessment of building energy consumption simulation correctly and, the TMY (typical meteorological year) consists of 8 760 hours of hourly meteorological parameters used for characterization of the outdoor climatic conditions. It's produced by relying on the long-term weather parameter records and science method of meteorological data processing. This paper combed the existing method-TMY at home and abroad, and the handling method of hourly meteorological parameters and methods of future TMY under the climate change. To deal with the meteorological data of TMY properly is the basis of building energy efficiency and building design work.

Key words: typical meteorological year; building energy consumption simulation; the hourly meteorological data; climate change

提出切实可行的手段令建筑在整个生命周期高效运营, 需要在建筑的设计阶段就要进行定量的分析. 拥有代表建筑物所在地区气候特点的气象数据是分析的先决条件, 需要直接影响室内热状况的太阳辐射及室外温湿度等的逐时数据.

建筑能耗模拟用逐时气象数据的研究始于 20 世纪 70 年代, 1971 年, 日本空调和卫生工学会组成了“标准气象年数据委员会”, 提出了标准气象年模式; 1976 年, 美国国家气象中心提出了参考年 TRY(Test Reference Year)数据; 1970~1983 年, ASHRAE 研究出了能量年 WYEC(Weather Year for Energy Calculation)数据, 并于上世纪 90 年代更新, 由 NREL 完成了 WYEC2; 1981 年, 美国气象数据中心 NCDC 和 Sandia 国家实验室提出了典型年 TMY(Typical Meteorological Year)数据, TMY 模型是通过数学统计方法在长期的历史观测资料中先选出典型月 TMM(Typical Meteorological Month),

然后由 12 个 TMM(真实月)构成典型年. TMY 模型得到的是一个虚拟气象年, 它使组成 TMY 的每个月都具备代表当地气候的典型性而不是极端气候, 是最能代表当地全年气候的气象数据.

20 世纪 90 年代由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)资源评估项目开发了 TMY2, TMY2 在某种程度上可以认为是 TMY 的升级, 其原始气象数据取自 1961~1990 年, 包括了美国 239 个城市^[1]. 日本的标准气象数据是日本建筑物热模拟必不可少的工具, 主要用于空调负荷的计算; TRY 是从历史观测数据中挑选出来的不含极值的比较温和的实际年, 由于其逐时气象参数中不包括太阳辐射数据, 用它分析的到的环境参数和模拟结果与实际情况存在较大的误差, 在众多的建筑能耗模拟气象数据中, 多数热环境模拟软件使用 TMY2.

合理的挑选典型气象年和对建筑能耗模拟用逐

时气象数据的适宜处理, 及其对未来典型气象年的生成方法的合理选择, 是在建筑设计阶段及其整个生命周期内高效运行都具有重大意义的基础性工作.

1 建筑能耗模拟用典型年的研究现状

近年来, 欧美及日本各国相继建立了有实测数据加工而成的气象数据库使建筑热环境模拟技术进入成熟阶段. 美国的 DOE-2 开发商、太阳和风能资源评估中心及暖通空调工程师协会陆续提供了中国主要省会城市及部分城市的建筑能耗模拟计算用典型年数据如 TMY2、SWERA 和 IWECC 等. 我国在此方面起步较晚, 国家相关机构或大学研究者开发中国典型气象年始于 90 年代. 郎四维首先开发了北京、上海两地的逐时气象数据, 并于 2002 年研究建立了我国 26 个城市的逐时气象资料^[2]; 2004 年, 张晴原先生和 Joe Huang 开发了我国 57 个主要城市的标准气象数据库^[3-4]; 2005 年, 清华大学建立了包括全国 270 个站点的建筑热环境分析专用气象数据集^[5], 2007 年, 西安建筑科技大学与香港城市大学合作的重大国际合作项目《建筑节能的基础科学问题研究》对我国建筑节能用气象资料进行了专项开发与研究, 完成了我国 194 个城市的典型气象年数据建设工作^[6]. 国内外的研究都或多或少的完成了我国部分城市的典型气象年, 为建筑能耗的逐时模拟以及室内热舒适性的评测等方面提供了坚实的研究平台和基础.

1.1 典型年的气象数据来源

原始气象数据的全面性和准确性决定了其最终开发的典型气象年的可信度, 而获取某个地区的代表气象特征, 拥有长期的第一手气象资料是其必要条件. 世界气象组织认为, 三十年的资料长度能够反映出当地相对稳定的气候特征. 表 1 是目前国

内外机构开发的建筑能耗模拟用典型气象年, 其分析的原始气象数据来源和时间长度不同.

表 1 几种典型气象年数据来源
Tab.1 The sources of several typical meteorological year data

典型年的研发者	原始气象数据来源
DOE-2 开发商	美国情报科学学会
太阳和风能资源评估中心 SWERA	美国试验卫星数据 DATSAVS
国际能量年 IWECC	国际地面观测数据库
中国典型年 CTYW ^[3]	国际地面气象观测数据库 1982~1997 年的气象观测数据
中国标准年 CSWD ^[5]	中国气象局气象信息中心气象资料室收集的全国 270 个地面气象台站 1971-2003 年的实测气象数据
中国典型气象年 CNTMY ^[6]	中国气象局气象信息中心气象室编制的 1971~2000 年我国地面气象资料数据集和气象辐射资料数据集

1.2 产生典型年的气象要素及权重因子

在挑选中国典型年 CTYW 和中国标准年 CSWD 时, 是根据一定的基准挑选出“平均月”(或“标准月”); 挑选中国典型气象年 CNTMY 时, 使用的是国际上公认的产生典型年的方法: 美国 Sandia 国家实验室提出的经验分布函数(Finkelstein-Schafer 统计)方法^[7], 其是选取最能代表室外气象特征的四个气象参数(干球温度、露点温度、风速以及水平面总辐射), 依据其对建筑能耗影响力的大小对其赋予了不同的权重因子然后汇总成一个参数.

在挑选典型月时, TMY 模型将辐射数据作为挑选的最主要因素, 因为其设计开发的初衷是为了建筑物的太阳能利用, 对太阳辐射赋予了较大的权重, 占到所有气象因子权重的 1/2, 其它气象参数的权重选取如表 2 所示.

表 2 几种典型气象年挑选参数及其权重
Tab.2 Several typical meteorological year selecting parameters and their weights

气象要素		Sandia	NSRDB	CTYW		CSWD
		TMY	TMY2	TMY	TMY2	
空气温度	干球温度日最高值	1/24	1/20	1/24	1/20	2/16
	干球温度日最低值	1/24	1/20	1/24	1/20	1/16
	干球温度平均值	2/24	2/20	2/24	2/20	1/16
露点温度	露点温度日最高值	1/24	1/20	1/24	1/20	—
	露点温度日最低值	1/24	1/20	1/24	1/20	—
	露点温度平均值	2/24	2/20	2/24	2/20	—
风	风速日最大值	2/24	1/20	2/24	1/20	—
	风速日平均值	2/24	1/20	2/24	1/20	1/16
太阳辐射	水平面总辐射平均值	12/24	5/20	12/24	5/20	8/16
	直接辐射日平均值	—	5/20	—	5/20	—
日平均地表温度		—	—	—	—	1/16
日平均水汽压		—	—	—	—	2/16

1.3 典型年的产生方法

(1) Sandia 国家实验室法^[7]

FS 统计方法(Sandia 方法)又称经验法,通过对比所选月份的逐年累积分布函数与长期累积分布函数的接近程度来确定,按表2中选取气象要素和加权因子,并计算FS数据的加权总值最小.FS数据的加权总值计算方式如式(1)~(3)所示:

$$FS_x(y, m) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CDF_m(x_i) - CDF_{y,m}(x_i)| \quad (1)$$

$$WS(y, m) = \frac{1}{M} \sum_{x=1}^M WF_x \cdot FS_x(y, m) \quad (2)$$

$$\sum_{x=1}^M WF_x = 1 \quad (3)$$

式中: $FS_x(y, m)$ 为第 x 个气象参数值域在 x_i 范围的 $FS(y, m)$ 统计值; y 为研究对象年; m 为研究对象年中的月份; $CDF_{y,m}(x_i)$ 为第 x 个气象参数值域在 x_i 范围的 CDF 值; $CDF_m(x_i)$ 为对于月份 m , 第 x 个气象参数长期统计值域在 x_i 范围的 CDF 值; N 为参数值选取个数, 取决于参数的始点值、终点值和步距; M 为逐日气象参数选取的个数; $WS(y, m)$ 为 y 年 m 月的平均加权值; WF_x 为第 x 个气象参数的加权因子, 见表2.

对于 Sandia 方法, 后续有学者提出改进, Pissimanis 提出了一个更简单的均方根公式^[8], Joseph C. Lam 加入了永久性和连续天数结构的估计方法^[9], 均对此方法做出了一定贡献.

(2) Danish 法^[10]

Danish 法是由 Andersen 和 Lund 提出, 利用方差越小, 点的离散程度越小, 也就越接近平均值的特性来选取典型月, 共分为三个步骤来选择出 TMY 中所需要的月份:

步骤1 选取参数日平均气温, 根据式(4)计算其日残差

$$Y(y, m, d) = X(y, m, d) - \mu_x(m, d) \quad (4)$$

式中: $X(y, m, d)$ 为 y 年 m 月 d 日的日平均气温; $\mu_x(m, d)$ 为可用资料的第 m 月 d 日平均值; $Y(y, m, d)$ 为残差.

步骤2 根据式(5)和式(6)计算标准化平均绝对值和规范方差

$$f_\mu(y, m) = \left| \frac{\mu_{Y(y, m)} - \mu_{\mu Y}(y)}{\sigma_{\mu Y}(y)} \right| \quad (5)$$

$$f_\sigma(y, m) = \left| \frac{\sigma_Y(y, m) - \mu_{\sigma Y}(y)}{\sigma_{\sigma Y}(y)} \right| \quad (6)$$

式中: $\mu_{Y(y, m)}$ 为 $Y(y, m, d)$ 的月平均值; $\mu_{\mu Y}(y)$ 为 $Y(y, m, d)$ 的年平均; $\sigma_Y(y, m)$ 和 $\sigma_{\sigma Y}(y)$ 为其相应的方差; $\sigma_{\sigma Y}(y) - \sigma_Y(y, m)$ 的方差.

步骤3 根据上述标准化的平均绝对值和规范方差, 应用式(7)确定典型月, 按升序排列, 前3个值被选定为候选月.

$$f_{\max}(y, m) = \max \{f_\mu(y, m, j), f_\sigma(y, m, j) | 1 \leq j \leq 3\} \quad (7)$$

从选择程序的步骤2、3得出的三个备选月份中在步骤1中得分最高的月份可作为 TMY 的选项.

(3) Festa-Ratto 法^[11]

该方法是 Danish 法的改进, 由 Festa 和 Ratto 提出, 对数据处理有更复杂的要求, 月份的选择是根据选定气象参数变量 x 短期值与长期值的偏差值来确定的, 因为会影响模拟系统的性能. Festa-Ratto 法保证了所选月份具有代表性, 表征了有效气象参数的变化, 适用于所有气象参数的公平选择^[12].

(4) 主成分法

主成分法原理上认为建筑是地域性的, 节能的建筑首先要适应当地的气候^[13]. 不同地域的气候资源相差悬殊, 相关研究认为, 做建筑能耗分析时气象参数的选取及其权重应也有所不同^[14-15]. 而目前在典型气象年的挑选中, 对选取的气象参数统一赋予相同的加权因子, 导致不同地域可利用气象资源的特性没有区分开. 2011 年相关文献^[16-18]提到了新的 TMY 生成方法—主成分分析年 TPCY (Typical principal component year), 对建筑能耗有直接影响的三个气象参数: 干球温度 DBT (dry-bulb temperature, °C)、湿球温度 WBT (wet-bulb temperature, °C) 和水平面太阳总辐射 GSR (global solar radiation, MJ/m²), 利用主成分分析方法, 寻求三个参数对气候特征的贡献率, 把特征向量作为系数得出综合表达式, 对比得出与“均值”最接近的 TPCM (typical principal component month) 组成 TPCY.

2 建筑能耗动态模拟逐时气象数据的产生方法

建筑能耗模拟有稳态和动态两种方法. 长期以来, 由于缺少公认的模拟手段和完善的气象资料, 一直采用选取室外平均计算温度的稳态模拟方法. 近年来随着建筑气候资料的统计整编理论和方法的科学化以及计算机模拟分析技术的发展, 建筑节能的动态模拟方法已成为建筑节能研究与实践的核心技术和重要工具. 国际上通用的几种模拟建筑能耗的软件, 如 DOE2、HASP/ACLD、DESIGNBUIDER

等,都需要输入代表当地室外气候特征的典型气象年 TMY(Typical Meteorological Year)数据——8 760 h 的逐时室外气象参数。

但是长期的逐时数据不易取得,目前公开发布并可用于建筑能耗分析的一般是四次定时气象参数,太阳辐射参数则是日总辐射。因此,在典型气象年数据的生成过程中,还需要对各基本气象参数进行逐时化。对地面气象参数逐时化的方法为插值计算,对太阳辐射数据的逐时化则采用统计计算模型方法。

郎四维在研究建立我国 26 个城市的典型气象年逐时气象资料时,在逐时数据的插补步骤中,将昼夜的气象数据分别采用傅立叶级数和回归方程来求得,使逐时数据的误差减小^[2];张晴原等人在逐时数据的插补步骤中,也分为昼夜两种方程来进行,白天数据的插补采用了与郎四维相同的傅立叶级数,即“单波傅立叶级数”;但是夜晚数据的插补采用了二次调和的“双波傅立叶级数”。

判断插值方法是否合理,比较公认的是考察插值与实测值的偏离情况,插值数据与实测数据的偏离越小,表明插值与实测值吻合度越好。对于有周期性变化的量如干球温度、露点温度、平均大气压等物理量,在具有收敛性与稳定性的插值函数中,最常用的是样条插值函数,其中三次样条插值函数由于其具有二阶连续导数,插值效果理想;逐时相对湿度的生成方法,文献[19]对其进行了几种方法的对比性研究,得出对含湿量进行线性插值得到逐时含湿量,然后根据含湿量与相对湿度的关联性计算生成逐时相对湿度的方法,是比较可行的。

太阳辐射的观测数据更少,全国只有 100 个左右的台站,而且只有日总辐射资料是比较全面的。国内外对辐射逐时化模型的研究已经相对成熟,现阶段应用的模型主要有半正弦模型、比例模型、傅里叶级数模型,Collores-Perein 模型和 Rabl 模型(简称 C.P.R 模型)^[20]等。对于能耗模拟软件例如 Energyplus^[21]还需要直射辐射、散射辐射等的逐时数据,对于太阳辐射的直散分离,目前较多采用 Liu and Jordan 模型^[22]。

3 气候变化下典型年的产生方法

自工业革命以来,全球温室气体(GHG)排放持续增加,尤其在近三十年中增加了 70%,而源自建筑物的直接排放增长了 26%^[23]。经济高速发展的二十年,对气候变化规律已经产生了而且还将继续产生影响,研发气候变化下典型气象年逐时数据的产生方法并进行定量的建筑能耗模拟已逐渐成

为国内外学者的研究重点。未来气象数据的产生方法,大致可以分为四种:度日法,补偿法、随机气象模型法及全球气候模型法^[24]。

度日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。

随机气象模型法是由 Paassen 和 Lou 等^[25]提出的,只需要输入很小的气候变化,模型即可人为的生成气象数据,缺点是由于其是随机的,其产生必须是建立在大量详实的历史气象数据上,而且这种方法的准确性有待商榷。

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^[26]。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地球气候模式 GCM (the general circulation model),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^[27]。

补偿法是目前国外研究中应用广泛的方法,它是由 2005 年 Belcher 提出的“Morphing”^[28]方法,其包含三个计算步骤:位移,线性伸缩和位移与伸缩。其借鉴气候模拟研究技术,预测得到未来的气象参数,然后通过成熟的动态模拟方法,通过对比新旧气候条件下的建筑能耗,来寻找其能耗的变化规律和变化尺度。2008 年,Mark F Jentsch 使用 HadRM3 大气环流模式,预测了较高温室气体排放 SRES A2 情景下 2050's (2041—2070) 年间的气象数据并使用“Data Morphing”方法由月均值得到逐时值,并制作成了 EPW 模拟格式^[29]。

4 结语

本文梳理了建筑能耗模拟用典型气象年的产生背景,对比了典型气象年的挑选方法,并对建筑能耗动态模拟用逐时气象数据的处理方法和未来典型气象年产生的方法进行了探讨。典型年代表该地不热不冷的一年,有关典型年的气象数据处理是在建筑设计阶段和影响建筑整个生命周期内高效节能运营的基础工作。

参考文献 References

- [1] MARION W, URBAN K. User's manual for TMY2s: Typical meteorological years. National Renewable Energy Laboratories[R]. SAND887 2379, Albuquerque, 1995.
- [2] 郎四维. 建筑能耗分析逐时气象资料的开发研究[J]. 暖通空调, 2002, 32(4): 1-5.
- [3] LANG Siwei. Research and development of weather data for building energy analyses[J]. HVAC, 2002, 32(4): 1-5.
- [4] 张晴原, 杨洪兴. 建筑用标准气象数据手册[M]. 北京:

- 中国建筑工业出版社, 2012.
- ZHANG Qingyuan, YANG Hongxing. Typical Meteorological Database Handbook for Buildings[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2012.
- [4] ZHANG Qingyuan, Joe Huang, YANG Liu. Development of the typical and design weather data for Asian locations[J]. Asian Architecture and Building Engineering, 2002, 1(2): 49-55.
- [5] 中国气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- Meteorological reference room of Meteorological Information Center of China Meteorological Administration, Department of Building Technology of Tsinghua University. Building thermal environment analysis dedicated meteorological data set of China[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2005.
- [6] 刘加平, JOSEPH C L, 杨柳, 等. 建筑节能设计的基础科学问题研究报告[R]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
- LIU Jiaping, JOSEPH C L, YANG Liu, et al. The report of basic scientific issues of building energy efficiency design[R]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2007.
- [7] HALL I, PRAIRIE R, ANDERSON H, et al. Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOLMET Stations[R]. SAND78-1601, Albuquerque, 1978.
- [8] PISSIMANIS D, KARRAS G, NOTARIDOU V, et al. The generation of a typical meteorological year for the city of Athens[J]. Solar Energy, 1988, 40(5): 405-411.
- [9] JOSEPH C L, SAM C M H, APPLE L S C. A statistical approach to the development of a typical meteorological year for Hong Kong[J]. Architectural Science Review, 1996, 39(4): 201-209.
- [10] LUND H. The design reference year user's manual. Thermal Insulation Laboratory[R]. Technical University of Denmark, Report 274, 1995.
- [11] FESTA R, RATTI C F. Proposal of a numerical procedure to select reference years[J]. Solar Energy, 1993, 50(1): 9-17.
- [12] KAMAL S. Comparison of methodologies for TMY generation using 10 years data for Damascus, Syria[J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(7): 2090-2102.
- [13] 杨柳. 建筑气候学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- YANG Liu. Bioclimatic Architecture[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.
- [14] 杨洪兴, 吕琳, 姜承芝, 等. 典型气象年和典型代表年的选择及其对建筑能耗的影响[J]. 暖通空调, 2005, 35(1): 130-133.
- YANG Hongxing, LÜ Lin, LOU Chengzhi, et al. Selections of typical meteorological year and example weather year and their effects on building energy consumption[J]. HVAC, 2005, 35(1): 130-133.
- [15] YANG Hongxing, LÜ Lin. The development and comparisons of typical meteorological years for building energy simulation and renewable energy applications[J]. ASHRAE Trans, 2004, 110(2): 424-431.
- [16] YANG Liu, KEVIN K W W, DANNY H W L, et al. A new method to develop typical weather years in different climates for building energy use studies[J]. Energy, 2011(36): 6121-6129.
- [17] 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.
- LIU Dalong. The prediction of regional climate and the research of building energy evolution[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.
- [18] 刘大龙, 刘加平, 杨柳, 等. 气候变化下建筑能耗模拟气象数据研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34(2): 110-114.
- LIU Dalong, LIU Jiaping, YANG Liu, et al. Building energy simulation study of meteorological data under the Climate Change[J]. Civil Architectural and Environmental Engineering, 2012, 34(2): 110-114.
- [19] 高庆龙, 杨柳, 刘大龙, 等. 建筑热环境模拟分析用逐时相对湿度生成方法[J]. 四川建筑科学研究, 2007, 33(6): 203-207.
- GAO Qinglong, YANG Liu, LIU Dalong, et al. The method of getting hourly relative humidity for building thermal condition simulation[J]. Sichuan Building Science, 2007, 33(6): 203-207.
- [20] 江亿. 用于空调负荷计算的随机气象模型[D]. 北京: 清华大学, 1980.
- JIANH Yi. The stochastic weather data model for the heat gain calculation of air-conditioning system[D]. Beijing: Tsinghua University, 1980.
- [21] United States Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software[CP/OL]. <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
- [22] LIU B Y H, JORDAN R B. The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation[J]. Solar Energy, 1960, 4(3): 1-19.
- [23] 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]. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [24] GUAN Lisa. Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings[J]. Building and Environment, 2009, 44(4): 793-800.
- [25] VAN A H C, LUO Q X. Weather data generator to study climate change on buildings[J]. Building Services Engineering Research and Technology, 2002(23): 251-258.
- [26] DICKINSON R E. The climate system and modeling of future climate[M]//BOLIN B, DOOS B R, JAGER J, WARRICK R A. The greenhouse effect, climatic change and ecosystems. Chichester, UK: John Wiley & Sons; 1986.
- [27] 朱明亚, 潘毅群, 华沙晶, 等. 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[J]. 建筑节能, 2013, 41(3): 57-64.
- ZHU Mingya, PAN Yiqun, HUA Shajing, et al. Prediction of future Weather data and building energy demand for representative cities in China under climate change[J]. Building Energy Efficiency, 2013, 41(3): 57-64.
- [28] 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.
- [29] JENTSCH Mark F, BAHAJ Abubakr S, JAMES Patrick A B. Climate change future proofing of buildings: Generation and assessment of building simulation weather files[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(12): 2148-2168.