

建筑极端能耗气象年的建构方法

王 安¹, 李红莲¹, 张恬恬¹, 张文豪¹, 王赏玉², 贾 媛¹

(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)

摘要: 气候变化日益加剧导致全球变暖、极端事件的频繁发生, 极大地影响了建筑能耗。目前, 在建筑设计前期, 用于建筑能耗模拟的气象参数主要是代表平均状况的典型气象年, 无法体现极端天气状况下的建筑耗能情况, 因此, 生成用于模拟极端天气下建筑能耗的气象年十分必要。对比了几种已有的反映极端天气气象年的优缺点, 提出了一种新的用于建筑极端能耗模拟的气象年生成方法, 该方法不仅考虑了多种气象参数对建筑耗能的影响, 而且使用动态阈值计算多参数的极端强度和出现时长, 综合评价各参数超过阈值的时长和强度的得分, 生成建筑极端能耗气象年。通过对比不同气象年的建筑能耗模拟结果来验证新方法的优越性。结果显示: 采用建筑极端能耗气象年作为室外气象计算参数, 对极端天气状况下建筑极值能耗模拟的准确性优于极端气象年、典型冷年及典型热年数据, 能够很好模拟出极端天气状况下的建筑能耗。同时, 验证了通过组合使用典型气象年和建筑极端能耗气象年数据, 可模拟出建筑的平均能耗以及极端天气状况下的极值能耗, 组合数据集在不损失模拟结果全面性的前提下减少了模拟次数。

关键词: 建筑极端能耗气象年; 典型气象年; 建筑能耗; 极端天气; 建筑节能

中图分类号: TU119⁺.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)03-0459-09

Construction method of Meteorological Year for extreme energy consumption in buildings

WANG An¹, LI Honglian¹, ZHANG Tiantiao¹, ZHANG Wenhao¹, WANG Shangyu², JIA Yuan¹

(1. School of Information and Control Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: The increasing climate change leads to global warming and the frequent occurrence of extreme events, which greatly affects the energy consumption of buildings. At present, in the early stage of building design, the meteorological parameters used for building energy consumption simulation are mainly typical meteorological years (TMY) that represent average conditions, which can't reflect building energy consumption under extreme weather conditions. Therefore, it is necessary to generate meteorological years for building energy consumption simulation under extreme weather conditions. In this paper, the advantages and disadvantages of several existing extreme weather meteorological years are compared, and a new extreme meteorological year generation method for building energy consumption simulation is proposed. This method not only considers the influence of various meteorological parameters on building energy consumption, but also uses the dynamic threshold to calculate the extreme intensity and occurrence time of multi-parameters, and comprehensively evaluates the score of each parameter exceeding the threshold time and intensity to generate the building extreme energy consumption meteorological year. The superiority of the new method is verified by comparing the simulation results of building energy consumption in different meteorological years. The results show that: by using the building extreme energy consumption meteorological year as the outdoor meteorological calculation parameter, the accuracy of building extreme energy consumption simulation under extreme weather conditions is better than that of EMY, THY and TCY data, and can well simulate the building energy consumption under extreme weather conditions. At the same time, this study verifies that the average energy consumption of buildings and the extreme energy consumption under extreme weather conditions can be simulated by combining the typical meteorological year and the extreme energy

收稿日期: 2021-12-21

修回日期: 2022-05-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(52278124); “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFC0704500)

第一作者: 王 安(1996—), 男, 硕士生, 主要从事建筑能耗方向的研究。E-mail: 1360078844@qq.com

通信作者: 李红莲(1980—), 女, 博士, 教授, 主要从事建筑气候与建筑节能方向的研究。E-mail: lihonglian_lhl@163.com

consumption meteorological year data of buildings. The combined data set reduces the number of simulations without losing the comprehensiveness of the simulation results.

Key words: Meteorological Year of extreme energy consumption of buildings; typical Meteorological Year; building energy consumption; extreme weather; building energy saving

目前,用于建筑节能设计计算和能耗模拟的室外逐时气象数据主要为典型气象年(Typical Meteorological Year,以下简称 TMY),其能耗模拟结果反映的是建筑在长期运行过程中的平均能耗,无法体现极端天气状况下的建筑耗能情况^[1]。有研究表明,随着全球气候的快速变化,仅 TMY 用于建筑能耗模拟不够全面^[2-3],亟需生成表征极端天气的极端气象年^[4-5],以了解极端天气对建筑能耗的影响情况。组合典型和极端数据集可提供对天气状况的准确估计,反映气候的变化和不确定性^[6]。

已有的极端天气研究大多立足于过热或寒潮风险,在选取气象年时只考虑单个参数(多为只考虑温度),如国外提出的设计夏季年^[7]、概率设计夏季年^[8]、夏季参考年^[9]、极端气象年^[10]等。我国也有利用单参数进行极端气象年的研究,如《中国建筑热环境分析专用气象数据集》中提供了五种单参数的极端年^[11],万蓉^[12]通过极高温耿贝尔模型求得了 14 个城市不同重现期的极高温值,刘魁星^[13]利用耿贝尔分布模型提出了极端设计温度的算法。郭思悦^[14]考虑极端温度的强度与时长对建筑内部热环境的影响,构建中国夏热冬冷地区的典型热年(THY)和典型冷年(TCY)。此外,部分研究仅考虑极端天气强度对建筑能耗的影响,如 Narowski 等^[15]通过针对性的改变参与能量年挑选参数的权重得到非典型气象年(UMY);范瑞瑞^[16]开展了建筑动态负荷及能耗模拟用极端气象

年(EMY)的构成研究,随后李云龙与徐登^[17-18]针对其提出的极端气象年生成方法进行了改进。

以往的研究在生成表征极端天气的气象年时,未综合考虑多气象参数、极端强度及其持续时长三个因素对建筑能耗模拟准确性的影响。本文针对 TMY 只能表征建筑所在地室外平均气候状况的局限性,构建了一种新的用于表征极端天气状况的气象年选取方法:使用温度、湿度、太阳辐射三种气象要素,同时考虑三种参数出现的时长与强度,对比不同月份各候选年份的加权得分,确定建筑极端能耗气象年。通过能耗模拟结果验证本研究构建的选取方法的适用性及优越性。并使用 Sandia 法选取五个热工设计分区代表城市的 TMY 数据,验证了仅用 TMY 数据能耗模拟结果的局限性,提出在建筑能耗模拟工作中,组合使用 TMY 与建筑极端能耗气象年数据可使能耗模拟结果更加准确全面。

1 方法

1.1 数据来源

原始气象数据来源于中国气象数据网,数据年限为 1988 年 1 月至 2017 年 12 月,在挑选建筑极端能耗气象年时使用的气象数据为日值数据,在进行建筑能耗模拟时使用逐时数据。表 1 为各建筑热工设计分区代表城市选取结果及台站信息。

表 1 各热工设计分区代表城市气象台站信息

Tab. 1 Information of meteorological stations in representative cities of each thermal design zone

分区	城市	经度/°	纬度/°	海拔/m	台站类型
严寒 A 区	哈尔滨	126.57	45.93	117.7	国家基本气象站
严寒 B 区	乌鲁木齐	87.65	43.78	936.0	国家基本气象站
寒冷地区	北京	116.45	39.8	32.5	国家基本气象站
夏热冬冷地区	合肥	117.3	31.8	28.2	国家基本气象站
夏热冬暖地区	海口	110.3	20.2	64.	国家基准气候站

1.2 TMY 选取方法

TMY 是具有当地典型气候特征的“虚拟年”,它是由 12 个逐月的典型气象月(Typical Meteorological Month, TMM)构成,每一个 TMM 由逐时变化,且是真实记录的干球温度、露点温度、风速和水平面总辐射、直射辐射等若干影响建筑能耗的关键气象要素构成。目前广泛应用的挑选

TMY 的方法是 Sandia 国家实验室方法^[19],通过对比所选月份的逐年累积分布函数(Cumulative Distribution Frequency, CDF)与长期累积分布函数的接近程度来确定,按表 1 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下所示。

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

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

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

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, 如表 2 所示。

表 2 TMY 生成方法中各参数权重取值

Tab. 2 Weight values of each parameter in TMY generation method

气象要素		TMY1	TMY2	TMY3
干球温度	日最高值	1/24	1/20	1/20
	日最低值	1/24	1/20	1/20
	日平均值	2/24	2/20	2/20
露点温度	日最高值	1/24	1/20	1/20
	日最低值	1/24	1/20	1/20
	日平均值	2/24	2/20	2/20
风	日最大值	2/24	1/20	1/20
	日平均值	2/24	1/20	1/20
太阳辐射	日总辐射	12/24	5/20	5/20
	直接辐射	—	5/20	5/20

1.3 建筑极端能耗气象年选取方法

文献[16]构成 EMY 的基本方法与“典型气象年”的方法类似, 都是基于一定的标准选出 12 个“极端气象月”组成“极端气象年”。在进行“极端气象年”的数据构成时, 参考清华大学, 不考虑逐年累积分布函数的影响, 即在确定了代表参数和权重值之后, 对各参数的平均值进行标准化处理, 将各参数的标准化结果与其对应的权重进行加权求和, 根据加权结果确定“极端月”。

文献[14]在构建 THY 和 TCY 时, 首先根据室内热舒适研究选择了冷、热事件的温度阈值, 依此计算了各城市冷、热事件强度和各事件最长持续时间, 使用极端温度强度最大值选取了能够模拟最极端天气状况下的室内热环境, 使用极端温度强度最大、最长极端温度持续时间的加权值选取了能够分析极端天气最严重时的室内热环境、冷负荷峰值需求以及用电情况。虽然考虑了气象因子的强度与时长对建筑内部热环境的影响, 但其仅使

用单一气象参数, 对极端天气的表征不够全面。

建筑极端能耗气象年作为 TMY 的补充, 是从近 30 年中选取的反映 12 个月极端天气的极端气象月(Extreme Meteorological Month)组成的“虚拟年”, 用于表征当地气候的极端状况。图 1 为建筑极端能耗气象年生成方法的技术路线图, 通过采用动态阈值计算多个参数极端强度及时长总得分的方法, 选取建筑极端能耗气象年。使用生成的建筑极端能耗气象年数据以及 30 a 历史数据进行各地区办公建筑的能耗模拟, 检验选取的建筑极端能耗气象年数据能否准确模拟出极端天气下的建筑能耗, 验证该方法的适用性。

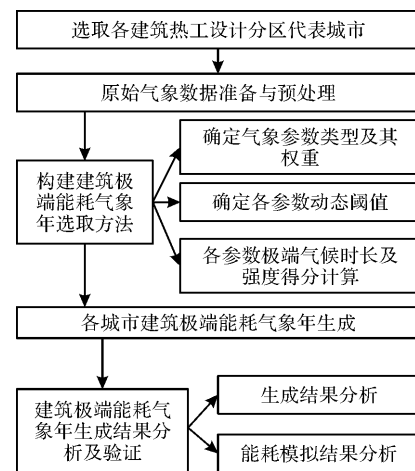


图 1 技术路线图

Fig. 1 Technology Roadmap

1.3.1 气象参数及权重确定

影响建筑能耗的主要气象参数包括气温、空气湿度、太阳辐射强度、风速和方向等。前三种因素可占建筑能源消耗总影响的 70% 以上, 也被称为“气象学的三个要素”[20-22]。这三个气象参数相互耦合, 对建筑物的能耗产生影响。另有部分研究表明风对建筑能耗影响较小[16], 因此在选取建筑极端能耗气象年时未使用风速。

本研究使用温度、湿度和太阳辐射三个气象参数, 其中太阳辐射选择的气象指标为水平总辐射。利用基于原始数据的相对湿度来表征露点温度。美国采暖、制冷与空调工程师协会(ASHRAE)及其成员专注于建筑系统、能源效率、室内空气质量、制冷和行业内的可持续性研究。ASHRAE 将干球温度和水平总辐射的加权因子设置为 40%, 即这两个因素对建筑能耗[23]的影响同样重要。建筑极端能耗气象年的参数及权重设置依据选取目的, 参考 ASHRAE 和 Sandia 实验室法选取 TMY 的权重设置, 水平总辐射、温度和日平均露点温度的权重设置约为 2:2:1, 因此我们将太阳辐射和温度设置相同的总权重, 其中日平均

温度的权重设置为 2/10, 日最高温度和日最低温度的权重设置为 1/10, 各项参数权重设置见表 3。

表 3 建筑极端能耗气象年生成气象参数权重
Tab. 3 Generation of parameter weights in Meteorological year of extreme Energy consumption of buildings

气象参数		权重
太阳辐射	日总辐射	4/10
	日均温度	2/10
温度	日最高温度	1/10
	日最低温度	1/10
湿度	相对湿度	2/10

1.3.2 建筑极端能耗气象年选取方法构建

目前研究多采用静态阈值, 即使用固定数为阈值, 未考虑各项参数会随地域及季节改变而改变, 本文采用动态阈值, 即依据气象参数在不同时间和空间的分布规律选取不同的值作为阈值。相比于静态阈值, 动态阈值可更充分反映各参数在随时空变化的分布情况。依据正态分布函数中提出的数据分布规律, 选取位于在 5% 和 95% 位的参数值为阈值, 其中, 5% 位的参数值为下边界阈值, 95% 位的参数值为上边界阈值。根据以上两个阈值, 构建建筑极端能耗气象年, 包括表征上边界的建筑极端能耗气象年-I (后文图表中使用 BEMY-I 表示) 与表征下边界的建筑极端能耗气象年-II (后文图表中使用 BEMY-II 表示)。具体挑选过程如下(以 1 月日平均温度为例):

Step1: 确定 1 月日平均温度的动态阈值。

将 30 a 的 1 月的日平均温度按升序方式排列, 选取第 5% 及 95% 位的值为日平均温度在 1 月的阈值。

Step2: 计算所有候选年 1 月日平均温度超过阈值的时长与强度的得分。

$$T = \frac{l - l_{cri}}{l_{max} - l_{min}} \quad (4)$$

式中: T 为某年的强度得分; l_{cri} 为 1 月日平均温度的阈值; l_{max} 为 30 a 中 1 月日平均温度的最大值; l_{min} 为 30 a 中 1 月日平均温度的最小值; l 为超过阈值的值。

$$F = m/M \quad (5)$$

式中: F 为某年的时长得分; m 为某年 1 月日平均温度超过阈值的个数; M 为 30 a 中 1 月日平均温度超过阈值的总个数。

Step3: 计算各年 1 月日平均温度的强度与时长的综合得分。

$$W = \frac{1}{2}T + \frac{1}{2}F \quad (6)$$

式中: W 为日平均温度强度与时长的综合得分。

Step4: 重复以上三个步骤, 计算其他参数的 W 值, 最后计算所有参数的加权得分。

$$A = \sum_{i=1}^M W_i F_i \quad (7)$$

式中: W_i 为 i 参数的综合得分; F_i 为 i 参数的权重; A 为总得分, 各参数具体权重如表 2 所示。

选取 A 值最大的年份为该月的“极端气象月”, 将 12 个“极端气象月”组成一个建筑极端能耗气象年。

2 结果与分析

2.1 建筑极端能耗气象年选取

表 4 为选取结果, 由表可知, 建筑极端能耗气象年-I 的选取结果更集中于某一两个年份, 其中, 哈尔滨候选年份集中在 1993 年(4 次)和 2017(5 次)年; 乌鲁木齐的选取结果中, 2015 年出现 7 次; 在海口的选取结果中, 五至十月均为 2014 年。

表 4 各城市建筑极端能耗气象年选取结果

Tab. 4 Selection results of meteorological year of extreme energy consumption of buildings in each city

	哈尔滨		乌鲁木齐		北京		合肥		海口	
	BEMY-I	BEMY-II	BEMY-I	BEMY-II	BEMY-I	BEMY-II	BEMY-I	BEMY-II	BEMY-I	BEMY-II
一月	1993	2001	2015	2011	2017	2000	2017	2008	1998	1993
二月	2002	2006	2015	1988	2017	2005	2016	1989	2010	2008
三月	1993	2010	2016	1991	2014	1999	2014	1992	2010	1988
四月	1993	2010	2015	2003	2017	2010	1998	2010	1991	1988
五月	1993	2014	2017	1988	2017	1992	2013	1991	2014	1990
六月	2017	1992	2016	2000	2009	2013	2013	1999	2014	2008
七月	2017	1991	2015	1997	2000	1989	2012	1989	2014	1992
八月	2016	2017	2015	1997	2016	1996	2013	2005	2014	2008
九月	2015	2017	2016	1992	2016	1999	2013	1988	2014	1997
十月	2017	2002	2015	2000	1998	2010	2002	2016	2014	2010
十一月	2017	2000	2014	1993	1988	2015	2006	2009	2015	1988
十二月	2017	2012	2015	1991	2004	2012	2010	2002	2010	2013

2.2 建筑模型构建

住宅建筑人员组成及时间表的随机性, 常导致模拟结果的不准确, 而办公建筑因其固定的时间表和相对稳定的能耗需求, 能耗模拟结果相对准确. 故本研究采用的建筑模型为一栋 12 层的办公建筑, 建筑面积为 19 200 m², 形体系数为 0.124, 窗墙比为 0.4. 建筑模型的其他参数设置依据《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)^[23], 表 5 为各热工设计分区建筑模型的详细参数. 建筑模型中的冷热系统采用的是理想空调系统. 空调系统由风机、冷热水及直接蒸发盘管、加湿器、转轮除湿装置、蒸发冷却装置、变风量末端装置、风机盘管等多个部件构成, 各部件的模型输入复杂性各不相同. 这些部件的前后都需设定一个节点, 由模拟实际建筑管网的水或空气环路连接起来. 这些连接起来的部件还可以与房间进行多环路的连接, 因此可以用来模拟双空气环路的空调系统, 如独立式新风系统. 一些常用的空调系统类型和配置已做成模块, 例如变风量空气系统、变风量空气系统热泵、辐射式供热和供冷系统、水环热泵、地源热泵等.

表 5 建筑基本参数设置表

Tab. 5 Setting table of basic building parameters

建筑热工 设计分区	传热系数 $K/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$				太阳得热 系数 SHGC
	屋面	外墙	楼板	外窗	
严寒地区	0.28	0.34	0.416	2.2	0.52
寒冷地区	0.43	0.49	0.797	2.4	0.48
夏热冬冷地区	0.45	0.705	0.7	2.6	0.4
夏热冬暖地区	0.744	1.417	1.339	3.0	0.35

2.3 建筑能耗模拟

使用 EnergyPlus 软件进行各热工设计分区代表城市办公建筑的能耗模拟, 哈尔滨、北京、合肥三个城市同时分析制冷与供暖能耗, 乌鲁木齐地处严寒地区, 制冷季较短, 只分析供暖能耗; 海口位于夏热冬暖地区, 供暖需求小, 只分析制冷能耗.

计算建筑极端能耗气象年、极端气象年 (EMY)、典型冷年 (TCY) 及典型热年 (THY) 能耗模拟值与 30 a 能耗极值 (最大值、最小值) 的比值为

$$R=e/E \tag{8}$$

式中: R 为比值; e 为气象年各月能耗模拟结果; E 为各月极值.

图 2~图 6 为五个热工设计分区代表城市的能耗模拟结果的月值数据, 使用公式(8), 计算各气象年能耗模拟值与极值的比值, 结果如下.

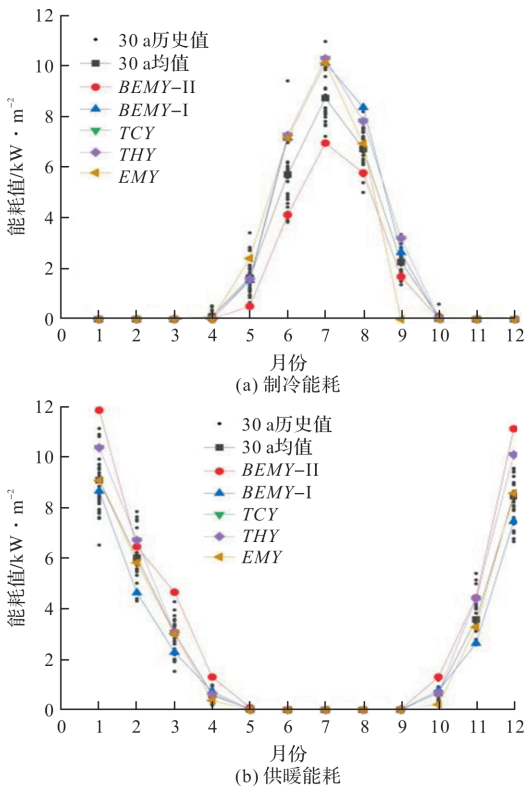


图 2 哈尔滨能耗值

Fig. 2 Energy consumption value in Harbin

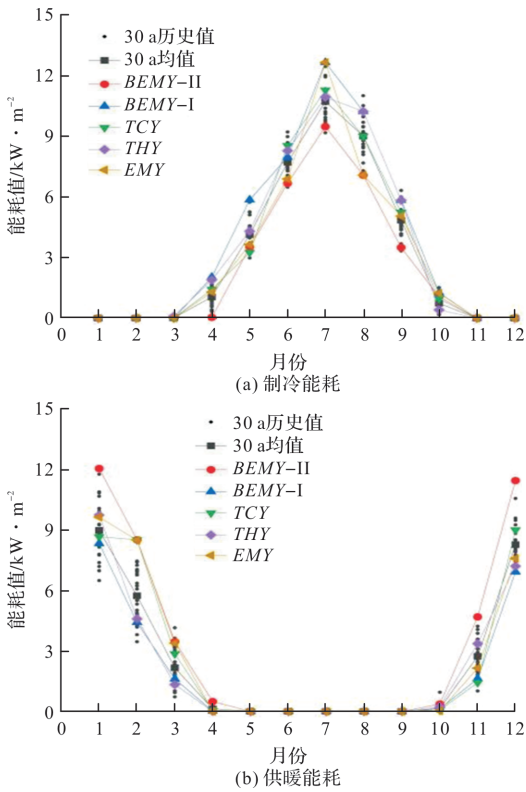


图 3 北京能耗模拟值

Fig. 3 Energy consumption value in Beijing

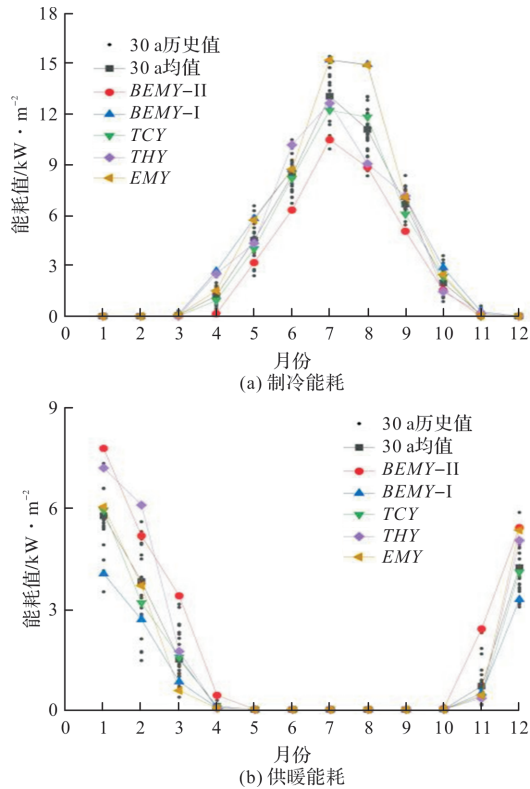


图4 合肥能耗模拟值

Fig. 4 Energy consumption value in Hefei

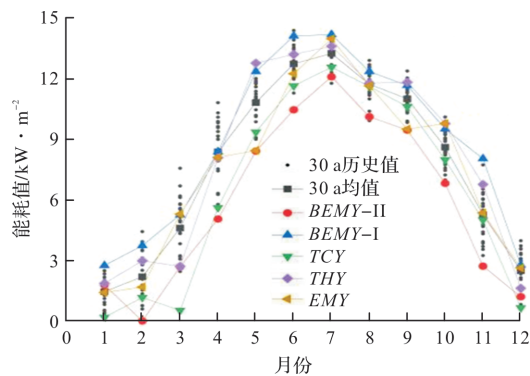


图5 海口能耗模拟值

Fig. 5 Energy consumption value in Haikou

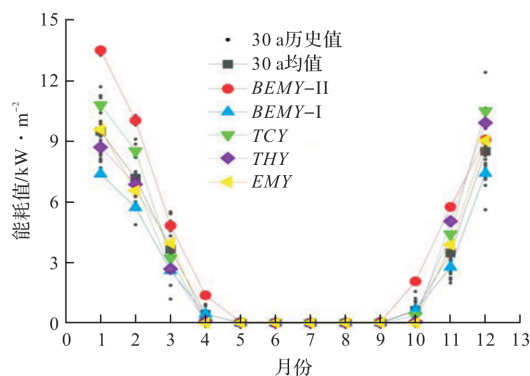


图6 乌鲁木齐能耗模拟值

Fig. 6 Energy consumption value in Urumqi

图2为哈尔滨办公建筑制冷与供暖能耗的月值数据,由图可知,在6、7、8月制冷需求较大,在

这几个月的制冷能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的94.6%、88.1%、83.7%,建筑极端能耗气象年、THY数据分别为最小值的107.9%、165%。在1、2、3、11、12月有较大的供暖能耗需求,在这几个月供暖能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的92.4%、81.9%、70.4%,建筑极端能耗气象年、THY数据分别为最小值的120.1%、167.5%。

图3为北京办公建筑制冷与供暖能耗的月值数据,由图可知,在5~9月制冷需求较大,在这几个月的制冷能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的94.3%、87.1%、76.2%,建筑极端能耗气象年、THY数据分别为最小值的105.8%、129.7%。在1、2、11、12月有较大的供暖能耗需求,在这几个月供暖能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的100%、70.2%、73%,建筑极端能耗气象年、THY数据分别为最小值的129%、179.5%。

图4为合肥办公建筑制冷与供暖能耗的月值数据,由图可知,在6~9月制冷需求较大,在这几个月的制冷能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的98.2%、91.6%、86.5%,建筑极端能耗气象年、THY数据分别为最小值的101.8%、131.9%。在1、2、12月有较大的供暖能耗需求,在这几个月供暖能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的92.4%、92.7%、66.1%,建筑极端能耗气象年、THY数据分别为最小值的135.4%、200%。

图5为海口办公建筑制冷能耗的月值数据,由图可知,在3~11月制冷需求较大,在这几个月制冷能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年、TCY、EMY数据分别为最大值的94.6%、84.9%、80.4%,建筑极端能耗气象年、THY数据为最小值的106.1%、119.3%。

图6为乌鲁木齐供暖能耗模拟结果,在1、2、11、12月有较大的供暖能耗需求,在供暖能耗的模拟结果中,建筑极端能耗气象年数据为最大值的93.1%,为最小值的122.5%;TCY数据为最大值的81.7%,THY数据为最小值的172.9%,EMY数据为最大值的69.4%。

通过分析哈尔滨、北京、合肥、海口、乌鲁木齐的模拟结果,在制冷能耗最大值的模拟中,

建筑极端能耗气象年数据准确性相较于 *THY* 分别提升 5.1%、29.2%、3.6%、6.7%，相较于 *EMY* 数据分别提升 5.7%、27%、5.2%、11.2%，在制冷能耗最小值的模拟中，建筑极端能耗气象年数据准确性相较于 *TCY* 数据分别提升 57%、50%、32%、13%；在供暖能耗极大值的模拟中，建筑极端能耗气象年数据准确性相较于 *TCY* 数据分别提升 10.5%、11.4%、-0.3%、9.1%相较于 *EMY* 数据分别提升 22%、23.7%、27%、26.5%；在对供暖能耗极小值的模拟中，建筑极端能耗气象年数据准确性相较于 *THY* 数据分别提升 46.6%、50.4%、50.5%、64.6%。结果表明，建筑极端能耗气象年数据是使用动态阈值计算多参数的极端强度和出现时长，综合评价各参数超过阈值的时长和强度的得分进行选取的，相较于 *EMY*、*THY* 及 *TCY* 数据，对建筑能耗极值的模拟的准确性均有显著的改进，能够模拟出极端天气下建筑的极值能耗，其中对极大值的模拟更为准确。

2.4 TMY与建筑极端能耗气象年应用分析

使用 Sandia 方法选取了五个代表城市的 *TMY*，并进行办公建筑能耗模拟，分析 *TMY* 与 30 个历史年能耗模拟结果，判断 *TMY* 数据是否足以模拟多数天气情况下建筑冷热能耗。表 6 为各城市 30 个历史年中与 *TMY* 能耗值相差 20% 以上所占的比例。由表可知，与 *TMY* 供暖能耗值相差 20% 以上的历史年约占 35%；与 *TMY* 制冷能耗值相差 20% 以上的历史年约占 37%，其中，在海口的制冷能耗模拟中，有 62.2% 的历史年份与 *TMY* 数据相差 20% 以上，与 *TMY* 数据相差 50% 以上的历史年有 27.7%。该数据表明，仅用 *TMY* 数据作为室外气象参数的建筑能耗模拟结果无法反映大多数天气状况下的建筑能耗。

表 7 为五个城市 *TMY*、建筑极端能耗气象年-I (表中为 *BEMY-I*)、建筑极端能耗气象年-II (表中为 *BEMY-II*) 数据建筑能耗模拟结果，由表可知，建筑极端能耗气象年-I 数据的制冷能耗相较于 *TMY* 数据约高 19.5%，供暖能耗相较于 *TMY* 数据约低 18.6%；建筑极端能耗气象年-II 数据的制冷能耗相较于 *TMY* 数据约低 22.4%，供暖能耗相较于 *TMY* 数据约高 35.9%。该数据表明，建筑能耗在极端天气与典型天气下有显著差距，且 *TMY* 数据无法模拟出建筑在极端天气下的能耗。

表 6 历史年能耗与 TMY 能耗相差 20% 以上的百分比

Tab. 6 Percentage difference of more than 20% between energy consumption and TMY energy consumption in historical years

能耗	哈尔滨	乌鲁木齐	北京	合肥	海口
Heating Energy/%	30	34	37.5	37.8	--
Cooling Energy/%	35.6	--	21.2	28.3	62.2

表 7 各气象年能耗模拟年值 (kWh/m²)

Tab. 7 Simulated annual energy consumption of each meteorological year

能耗	哈尔滨	乌鲁木齐	北京	合肥	海口	
制冷	BEMY-Ⅰ	29.8	--	45.9	57.7	108.1
	BEMY-Ⅱ	19.1	--	31.4	35.5	70.8
	TMY	25.4	--	37.6	46.2	92.9
供暖	BEMY-Ⅰ	68.1	44.8	23.1	11.4	--
	BEMY-Ⅱ	103.3	77.7	41.0	24.6	--
	TMY	79.9	56.0	28.7	16.8	--

由上述分析可知，在建筑设计前期，仅用 *TMY* 数据做建筑能耗模拟不够全面，其能耗模拟结果反映长期平均能耗，无法反映极端天气下的建筑能耗。如图 7 所示，*TMY* 数据的办公建筑能耗模拟值基本和 30 a 均值相等，上下偏差最大为 3%，可以很好的模拟出当地的平均能耗，但无法从其结果预估建筑能耗极大与极小值。

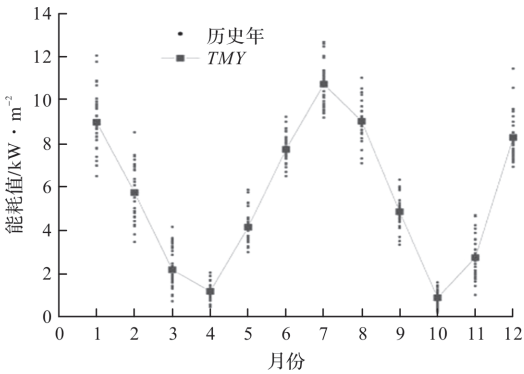


图 7 TMY 与历史年能耗值

Fig. 7 TMY and historical annual energy consumption

表 8 为各城市 30 个历史年能模拟结果位于建筑极端能耗气象年(建筑极端能耗气象年-I 和建筑极端能耗气象年-II)能耗之间所占的百分比。对于制冷能耗，94.5% 的历史年份能耗模拟结果位于建筑极端能耗气象年能耗模拟值覆盖范围为内；对于供暖能耗，93% 的历史年份能耗模拟结果位于建筑极端能耗气象年能耗模拟值覆盖范围内。

结果表明,使用本文选取的建筑极端能耗气象年数据用于建筑能耗模拟,可很好的模拟出绝大多数状况下的建筑能耗,如图8所示,灰色阴影部分为新建建筑极端能耗气象年能耗模拟值的覆盖范围。

表8 建筑极端能耗气象年能耗值涵盖范围

Tab. 8 Coverage of energy consumption of meteorological year of extreme energy consumption of buildings

城市	制冷/%	供暖/%
哈尔滨	94	97
乌鲁木齐	—	93
北京	97	92
合肥	94	90
海口	93	—

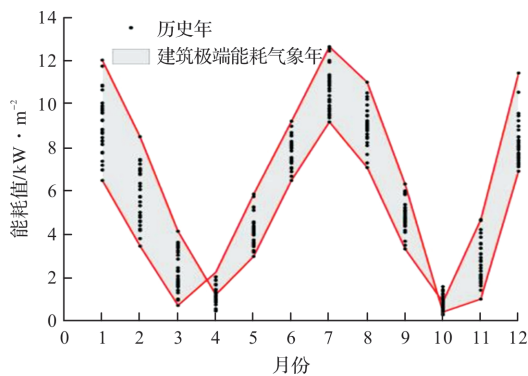


图8 建筑极端能耗气象年和历史年能耗值

Fig. 8 Energy consumption of meteorological year of extreme energy consumption of buildings and historical years

由上述分析可知, *TMY* 数据可用于平均能耗的模拟,但无法预估能耗的极值;建筑极端能耗气象年数据可用于极端天气下的建筑极值能耗的模拟,两组数据结合使用,可更加全面的反映建筑耗能情况,如图9所示。通过组合使用 *TMY* 和建筑极端能耗气象年数据,可模拟建筑的平均能耗以及极端天气状况下的极值能耗。组合数据集在不损失模拟结果全面性的前提下减少了模拟次数。

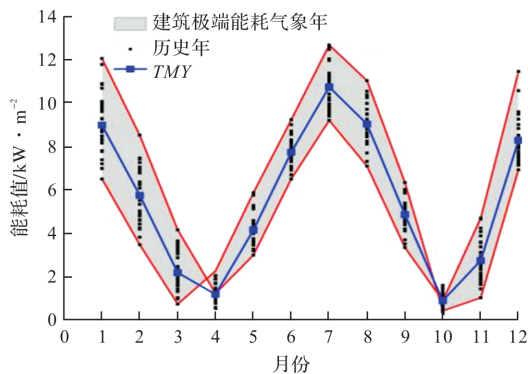


图9 *TMY*、建筑极端能耗气象年及历史年能耗值

Fig. 9 Energy consumption of *TMY* and Meteorological year of extreme Energy consumption of buildings and historical year

3 结论

(1) *TMY* 数据能好的模拟出建筑的平均能耗,但极端天气状况下与典型状况下的建筑能耗有较大的差距, *TMY* 数据无法模拟出建筑在极端情况下的能耗。因此,需要有助于模拟极端天气下建筑能耗的气象数据。

(2) 本研究选取的建筑极端能耗气象年数据能够很好地模拟出极端气候状况下的建筑能耗, *TMY* 与建筑极端能耗气象年结合使用,将 *TMY* 原始模拟结果中的静态线变成了动态范围,使能耗模拟结果反映平均值的同时亦可反映上下极值,可为建筑节能设计提供更加全面、精确的数据。

(3) 使用本模型生成的气象年数据用于建筑极值能耗模拟的准确性优于以往研究中的单参数生成的 *EHTY*、*EHRy* 以及 *TCY*、*THY* 等数据。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑设计术语标准: GB/T50504—2009 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for terminology of civil architectural design: GB/T50504—2009 [S]. Beijing: China Planning Press, 2009.
- [2] CHUN Yinsiu, LIAO Zaiyi. Is building energy simulation based on *TMY* representative: A comparative simulation study on doe reference buildings in Toronto with typical year and historical year type weather files [J]. Energy Build, 2020, 211: 109760.
- [3] HOLMES M J, HACKER J N. Climate change, thermal comfort and energy: meeting the design challenges of the 21st century [J]. Energy Build 2007, 39: 802-814
- [4] JENTSCH MF, et al. Limitations of the CIBSE design Summer year approach for delivering representative near-extreme summer weather conditions[J]. Building Serv Eng Res Technol, 2014; 35: 155-169.
- [5] YANG L, YAN H, LAM J C. Thermal comfort and building energy consumption implications: a review [J]. Applied Energy 2014; 115(4): 164-173
- [6] VAHID M Nik. Making energy simulation easier for future climate: Synthesizing typical and extreme weather data sets out of regional climate models (RCMs)[J]. Applied Energy, 2016, 177:204-226.
- [7] CIBSE Guide J. Weather, Solar and illuminance data [M]. London, UK: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2002.

- [8] HACKER J, Belcher S, White A. Design summer years for London (CIBSE TM49)[J]. London, UK: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2014.
- [9] KYSELY J, DUBROVSKY M. Simulation of extreme temperature events by a stochastic weather generator: Effects of interdiurnal and interannual variability reproduction[J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(2):251-269.
- [10] FERRARI D, LEE T. Beyond TMY: Climate data for specific applications[C]//Proceedings 3rd International Solar Energy Society conference-Asia Pacific region (ISES-AP-08). Sydney: ANZSES; Citeseer, 2008.
- [11] 中国气象局气象信息中心气象资料室. 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, Meteorological Information Center, China Meteorological Administration. Meteorological data set for building thermal environment analysis in China[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005
- [12] 万蓉. 基于气候的采暖空调能耗及室外计算参数研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.
- WAN R. Study on impact of climate change on heating/cooling energy consumption and outdoor design conditions of HVAC based on climate[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2008.
- [13] 刘魁星. 气候变化对空调室外计算参数的影响及确定方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- LIU Kuixing. Study on the influence of climate change on outdoor calculation parameters of air conditioning and its determination method[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.
- [14] GUO S, YAN D, GUI C. The typical hot Year and typical cold Year for modeling extreme events impacts on indoor environment: A generation method and case study[J]. Building Simulation, 2020, 13(3):543-558.
- [15] NAROWSKI P, JANICKI M, HEIM D. Comparison of untypical meteorological Years (UMY) and their influence on building energy performance simulations [C]//In Proceedings of Conference "Building Simulation-BS2013": 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association. Chambery: IBPSA, 2013.
- [16] 范瑞瑞. 建筑动态负荷及能耗模拟用“极端气象年”的构成研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015
- FAN Ruirui. Study on the composition of "extreme weather years" for building dynamic load and energy consumption simulation[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015
- [17] 李云龙. 基于建筑动态负荷计算及设备选型的“设计气象年”的构成研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016
- LI Yunlong. Study on the composition of "Design meteorological Year" based on building dynamic load calculation and equipment selection [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016
- [18] 徐登. “设计气象年”的深化研究和应用分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2017
- XU Deng. Deepening research and application analysis of "Design meteorological Year" [D]. Chongqing: Chongqing University, 2017
- [19] LI H, YANG Y, LÜ K, et al. Compare several methods of select typical meteorological year for building energy simulation in China[J]. Energy, 2020, 209.
- [20] 田胜元. 空调动态负荷计算方法的研究[J]. 重庆建筑大学学报, 1986(2):1-21.
- TIAN shengyuan. Research on dynamic load calculation method for air conditioning [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 1986(2):1-21.
- [21] 张明. 逐时标准年气象数据在建筑能耗模拟中的应用研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
- ZHANG M. Research on the application of hour-by-hour standard Year meteorological data in building energy consumption simulation[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2007.
- [22] HU Y, LI HL, WANG SY, et al. Analysis of TMY and time-by-time value generation methods in case of missing radiation data[J]. Harbin Institute of Technology Journal 2022;54(6):163.
- [23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 公共建筑节能设计标准:GB50189—2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of public buildings: GB50189—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.

(编辑 吴海西 沈 波)