

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.01.005

建筑能耗模拟典型年中气象参数权重的确定

李红莲^a, 杨柳^b, 于军琪^a, 侯立强^b, 许馨尹^a

(西安建筑科技大学 a. 信息与控制工程学院; b. 建筑学院, 西安 710055)

摘要:在建筑能耗模拟用典型年的生成中,传统的 Finkelstein-Schafer 统计方法对气象参数赋予了固定的权重因子,但有关研究表明,由于地域间气象资源不同,气象参数权重因子的固化有待商榷。针对挑选典型年时气象参数权重因子统一与否对典型年挑选结果和建筑能耗模拟准确性的影响问题,选同一建筑热工分区中寒冷地区的代表城市北京和拉萨,分别使用 FS 方法和主成分法进行了典型年的挑选,并对典型公共建筑建模进行了能耗模拟分析。结果表明:FS 统计方法适于表征单独气象参数的长期相似性,但存在对太阳辐射参数权重赋予过大的问题,适用于太阳能丰富地区;而主成分法适合寻求当地气象资源的本质特征,使用主成分法时对气象参数的选择尤为重要。

关键词:典型气象年;权重因子;寒冷地区;建筑能耗模拟

中图分类号: TU111.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)01-0023-06

Determination of the weighing values of meteorological parameters in TMY of building energy consumption simulation

Li Honglian^a, Yang Liu^b, Yu Junqi^a, Hou Liqiang^b, Xu Xinyin^a

(a. School of Information and Control Engineering; b. College of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: In the generation of the typical meteorological year (TMY) for building energy consumption simulation, the traditional Finkelstein-Schafer statistical method given fixed weighting factors to the meteorological parameters, but the relevant studies showed that there was debate for the curing of weighting factors of meteorological parameters due to the different regional meteorological resources. Aiming at the weighting factors of meteorological parameters unity or not in selection of TMY and the impact of building energy consumption simulation, Beijing and Lhasa on behalf of the cold region in building thermal partitions, based on the methods of FS and principal component analysis (PCA) was analyzed. The results showed that the FS statistical method is suitable for the similarity characterization of meteorological parameters for a long time and suitable for the solar energy rich area, there is too much weight given to solar radiation parameters across the country; and the PCA method is suitable for the

收稿日期: 2014-07-08

基金项目: 陕西省重点科技创新团队项目(2012 KCT-11); 国家自然科学基金(51108366)

作者简介: 李红莲(1980-), 女, 博士生, 主要从事绿色建筑技术研究, (E-mail)lihonglian_lhl@163.com。

Received: 2014-07-08

Foundation item: Shaanxi Province Key Science & Technology Innovation Team(No. 2012 KCT-11); National Natural Science Foundation of China(No. 51108366)

Author brief: Li honglian(1980-), doctoral candidate, main research interest: green building technologies, (E-mail)lihonglian_lhl@163.com.

essential characteristics of the local meteorological resources, choice of meteorological parameters is particularly important when using this method.

Key words: typical meteorological year; weighting factor; cold region; building energy consumption simulation

建筑在整个生命周期内高效运营,需要在设计初期进行定量的能耗模拟分析,拥有代表当地气候特征的典型气象年(Typical Meteorological Year, TMY)数据是其必要条件。建筑设计用 TMY 是指从长期(一般国际公认为 30 a)中选取的一个“虚拟年”,由 12 个典型月(Typical Meteorological Month, TMM)组成,每个 TMM 是在选择期内,最能代表当地该月气候规律的月份,TMY 能代表气候的长期变化规律^[1]。TMY 生成的方法,国际上常用的是由美国 Sandia 国家实验室于 1978 年提出的具体分析方法为 Finkelstein-Schafer 统计方法^[2]、标准偏差方法^[3-5]和主成分分析方法^[6-8]。前两种方法选取最能代表室外气象特征的气象参数(干球温度、露点温度、风速以及水平面总辐射),依据对建筑能耗影响力的大小赋予不同的权重因子后汇总成一个参数,气象参数权重因子的赋予如表 1 所示。随着研究的深入,许多学者提出了气象参数权重因子的选取不同导致典型年结果的差异^[9],对建筑能耗的影响虽然以干球温度和太阳辐射为主,湿度和风速所占的比例较小,但我国地域辽阔,气象资源分布不

一,加之山地高程的影响,气象参数权重因子的固化对典型年准确性的影响有待商榷。针对气象参数权重因子统一与否对典型年挑选结果的影响及对建筑能耗模拟准确性的影响问题,对同属建筑热工分区中寒冷地区的代表城市北京和拉萨,分别使用 FS 统计方法和主成分法进行了相关分析。

1 研究现状

利用主成分法选取典型气象年,是对建筑能耗影响力较大的气象参数利用主成分法求出特征向量作为系数得出综合表达式,对比得出与“均值”最接近的主成分月(Typical Principal Component Month, TPCM)组成主成分年(Typical Principal Component Year, TPCY)^[6]。此方法建立在不同区域气象因子权重不统一的思想,寻求对建筑能耗有影响的气象参数对本地气候特征的贡献率。用主成分法得出的气象参数的权重因子不再统一化,表 2 是几个代表城市用主成分法得出的气象因子的权重及主成分表达式。

表 1 几种典型气象年挑选参数及其权重
Table 1 The selective parameters and weights of typical meteorological years

气象要素	权重因子		
	TMY	TMY2	
空气温度	干球温度日最高值	1/24	1/20
	干球温度日最低值	1/24	1/20
	干球温度平均值	2/24	2/20
露点温度	露点温度日最高值	1/24	1/20
	露点温度日最低值	1/24	1/20
	露点温度平均值	2/24	2/20
风	风速日最大值	2/24	1/20
	风速日平均值	2/24	1/20
太阳辐射	水平面总辐射平均值	12/24	5/20
	直接辐射日平均值	—	5/20

表 2 用主成分法挑选典型气象年综合表达式及气象参数的权重
Table 2 The comprehensive expression of typical meteorological year selected by principal component analysis and meteorological parameters weights

代表城市	主成分表达式
拉萨	$Z_{\text{综合}} = 0.392 \times Z_1 + 0.38 \times Z_2 + 0.094 \times Z_3 + 0.287 \times Z_4 + 0.044 \times Z_5$
北京	$Z_{\text{综合}} = 0.367 \times Z_1 + 0.412 \times Z_2 - 0.384 \times Z_3 + 0.139 \times Z_4 + 0.051 \times Z_5$
西安	$Z_{\text{综合}} = 0.388 \times Z_1 + 0.367 \times Z_2 + 0.250 \times Z_3 + 0.025 \times Z_4 + 0.250 \times Z_5$
兰州	$Z_{\text{综合}} = 0.482 \times Z_1 + 0.519 \times Z_2 - 0.504 \times Z_3 - 0.121 \times Z_4 + 0.48 \times Z_5$
乌鲁木齐	$Z_{\text{综合}} = 0.358 \times Z_1 + 0.359 \times Z_2 - 0.022 \times Z_3 - 0.367 \times Z_4 + 0.316 \times Z_5$
汕头	$Z_{\text{综合}} = 0.350 \times Z_1 + 0.336 \times Z_2 - 0.340 \times Z_3 + 0.075 \times Z_4 + 0.172 \times Z_5$

注: Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 和 Z_5 分别代表标准化后的干球温度月均值、水平面总辐射月均值、气压月均值、相对湿度月均值和平均风速月均值

2 研究方法

在《民用建筑热工设计规范》(GB 50176-93)中,对中国建筑热工设计分区为严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区^[10]。不同气候区化的主要依据是其所处地域的气象条件。北京和拉萨同属寒冷地区的建筑热工分区,但气象资源显著不同。由图 1 和图 2 两个地区长期(30 a)逐月的太阳辐射和干球温度的均值可见,拉萨地区较北京地区,太阳能资源丰沛,而气温变化幅度小。鉴于两地区气象资源不同,分别用 FS 统计方法和主成分法验证对 TMY 选取结果的差异,及其对建筑能耗模拟结果的影响。

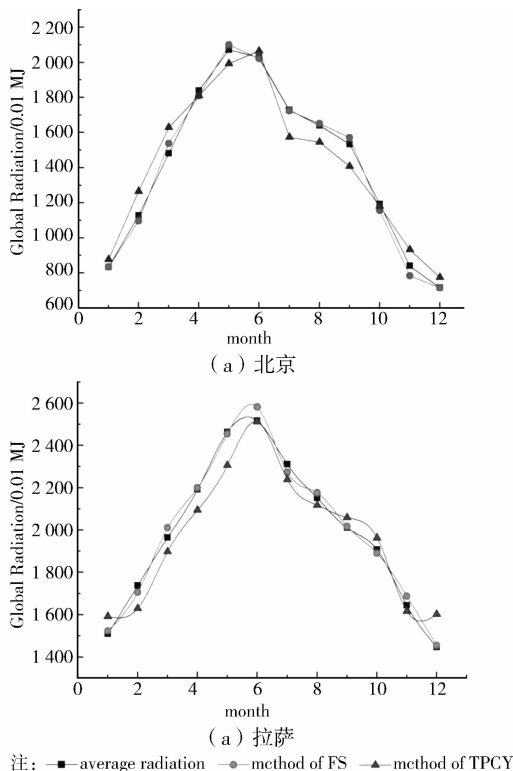
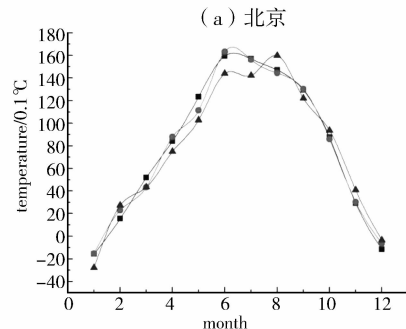
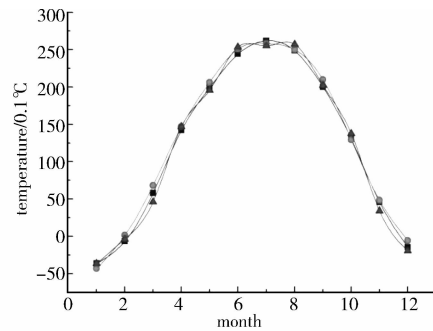


图 1 用 FS 统计和主成分法得出的 TMM 与逐年水平面太阳总辐射月均值
Fig. 1 The monthly mean horizontal global solar radiation of the years and TMM selected by FS statistic and principal component analysis



注: ■—average radiation ●—method of FS ▲—method of TPCY

图 2 用 FS 统计和主成分法得出的 TMM 与逐年平均气温月均值

Fig. 2 The monthly average temperature of the years and TMM selected by FS statistics and principal component analysis

利用主成分法对于气象参数的选择,文献[11]对建筑能耗有影响的气象参数进行了偏相关分析,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,确定了节能分析气象年(Analysis of Energy Efficiency Meteorology Year, AEEMY)^[12];文献[6]对于干球温度、湿球温度和水平面太阳总辐射进行了主成分分析,得出了哈尔滨、北京、上海、昆明和香港分别代表中国 5 个建筑热工分区的城市的主成分年。该文在采用主成分法选取典型年时,为了和 FS 统计方法比较,加入气象参数平均风速,利用干球温度、气压、水平面太阳总辐射、相对湿度、平均风速选取主成分年即典型年。分析的原始气象数据来自于各省、市、自治区气候资料处理

部门逐月上报的《地面气象记录月报表》的信息化资料,气象数据记录长度取 1971 年—2000 年。对于原始数据中气象数据质量的控制及处理依据文献[13]中的方法。

3 典型年结果

选取寒冷地区的代表城市北京、拉萨,分别用主

成分法和 FS 统计方法生成的典型年结果如表 3 所示。两城市用 FS 统计方法和主成分法得出的典型月与逐年水平面太阳总辐射月均值和平均气温月均值比较如图 1 和图 2 所示。

表 3 北京、拉萨用 FS 统计方法和主成分法得出的典型气象年
Table 3 The typical meteorological year selected by FS statistical methods and principal component analysis of Beijing and Lhasa

北京	FS 统计方法	1982	1987	1983	1983	1984	1984	1991	1983	1987	1983	1984	1999
	主成分法	1986	1996	1978	1983	1990	1999	1985	2000	1990	1989	1972	1972
拉萨	FS 统计方法	1985	1976	1980	1994	1992	1994	1980	1995	1999	1978	1993	1986
	主成分法	1997	1988	1987	1977	1980	1973	1984	1981	1972	2000	1999	1976

对比逐年实际月均值,北京用 FS 统计方法和主成分法挑选出的典型月水平面太阳总辐射偏差率分别为 2.26% 和 6.8%;拉萨用 FS 统计方法和主成分法挑选出的典型月水平面太阳总辐射偏差率分别为 0.13% 和 0.37%;北京用 FS 统计方法和主成分法挑选出的典型月平均温度偏差率分别为 5.5% 和 5.8%;拉萨用 FS 统计方法和主成分法挑选出的典型月平均温度偏差率分别为 0.56% 和 1.27%。

用 FS 统计方法比主成分法得出的典型月更接近逐年实际月均值,原因在于产生 TMY 时,FS 统计方法使用的是气象参数的日均值,其方法在统计学原理上不仅考虑到了气象参数的平均状况,还考虑了对比月与长期累积分布的接近程度。主成分法使用的是气象参数的月均值,在考察数据的细致程度上不如 FS 统计方法;且此方法没有考虑日较差,日较差和平均温度、水平面太阳辐射一样,也是能反映一个地区的气候状况的重要气象参数指标^[11]。

4 建筑能耗模拟结果

气象参数权重因子选取方法的不同生成了不同的典型年结果,为探讨 FS 统计方法和主成分法选取的典型年对建筑能耗模拟影响的准确性,该文对典型建筑建模,并进行能耗逐时动态模拟。住宅建筑的人员组成及时间表的随机性,常导致模拟结果不准确,而公共建筑因其固定的时间表和相对稳定的能耗需求,能耗模拟的结果相对准确^[14]。因北京和拉萨同属建筑热工分区中的寒冷地区,建模对象选

取一栋 5 层的办公建筑,建模标准根据《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)^[15] 中寒冷地区围护结构热工参数规定。建筑模型北轴夹角为 0°,层高 3.8 m,标准层 37.8 m×35.7 m,建筑物概况和设备参数指标如表 4 所示,围护结构材料及热工性能取值如表 5 所示。应用模拟软件为 Energy plus^[16] 软件,Energy plus 是由美国能源部和伯克利国家实验室协作开发的行业内广泛认可的建筑能耗分析软件,对 TMY 能耗模拟结果的比较以 1971 年—2000 年逐年能耗模拟的平均值为标准。

表 4 模拟建筑物概况及设备参数
Table 4 The overview of simulated building and its equipment parameters

建筑物类型	办公建筑
楼层总面积	6 747.3 m ²
层数	地上 5 层
人员密度	普通办公室 4 m ² /人,高档办公室 8 m ² /人,其他 20 m ² /人
照明强度	办公室 11 W/m ² ,走廊其他 5 W/m ²
设备负荷密度	20 W/m ²
室内空气计算参数	夏季,25 ℃,60%;冬季,20 ℃,40%
新风量	30 m ³ /(h·人)
空气渗透	0.5 ac/h
空调	独立新风+风机盘管
采暖	燃气锅炉集中供热

表 5 建筑模型围护结构材料及热工性能取值
Table 5 The envelope materials and thermal performance value of the building model

名称	结构	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/ ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)	比热容/ ($\text{KJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$)	厚度/mm	传热系数	
外墙	花岗岩	2 600	2.8	1	20	0.507	
	水泥砂浆	1 800	1	1	20		
	发泡聚苯乙烯	15	0.04	1.4	50		
内墙	轻质混凝土	1 200	0.38	1	200	1.272	
	轻质混凝土	1 200	0.38	1	200		
地面	水泥砂浆	1 800	1	1	20	1.046	
	发泡混凝土	700	0.25	1.05	50		
	轻质混凝土	1 200	0.38	1	200		
楼板	水泥砂浆	30	0.042	1.38	25	0.491	
	发泡聚苯乙烯	15	0.04	1.4	25		
	轻质混凝土	1 200	0.38	1	200		
	水泥砂浆	1 800	1	1	20		
	水泥砂浆找平	1 800	1	1	25		
屋顶	高分子防水层	1 120	0.19	1.68	2	0.473	
	水泥砂浆	1 800	1	1	25		
	发泡聚苯乙烯	15	0.04	1.4	50		
	水泥焦渣	881	1.44	0.92	200		
	轻质混凝土	1 200	0.38	1	200		
	南北向玻璃幕墙	双层 LOE 玻璃,中间空气间层为 13 mm					1.761
	东西向外窗玻璃	单层 LOE 玻璃,厚度为 6 mm					3.779
窗墙比(%)	南向	北向	东向	西向			
	50	40	22.94	22.94			

计算 FS 统计方法和主成分法选出的 TMY 的能耗模拟与逐年能耗模拟平均值的标准偏差如表 6 所示,模拟全年逐月耗电量和消耗天然气量情况如图 3 和图 4 所示。结果表明:对北京地区,主成分法挑选出的典型年更接近逐年能耗模拟平均值;对拉萨地区,FS 统计方法较主成分法挑选出的典型年更接近逐年能耗模拟平均值。FS 统计方法中,赋予太阳辐射的权重因子达到 1/2,由于我国各地气象资源优势不同,拉萨较北京太阳能资源丰富,与 30 a 逐年能耗模拟的平均值对比,FS 统计方法较主成分

法适合拉萨;利用气象参数干球温度、气压、水平面太阳总辐射、相对湿度、平均风速五参数选取的主成分法更适合北京。该文建模的公共建筑,全年耗电量分为照明用电和夏季空调降温用电,两地区典型年耗电量对比逐年耗电量均值的模拟偏差较小,建筑模型的参数设置合理;冬季采暖消耗天然气量与逐年消耗天然气量均值模拟偏差较大,北京用 FS 统计方法挑选出的 TMY 偏差达到 33.92%,针对建筑气候的热工分区可更加细化,地域性的围护结构的适当调整有助于能耗模拟的准确。

表 6 北京和拉萨用两种方法挑选的 TMY 对比逐年能耗模拟的偏差
Table 6 The contrast deviation of energy consumption by simulated with TMY chosen in two methods and the years of Beijing and Lhasa

地区	RSD/%	耗电量		天然气消耗量	
		TPCY5	Sandia	TPCY5	Sandia
北京		3.01	4.21	14.38	33.92
拉萨		4.23	2.81	29.81	20.08

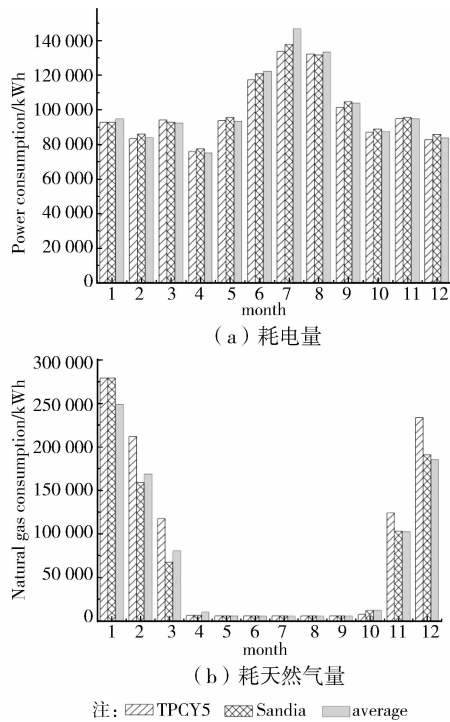


图 3 北京用两种方法生成 TMY 与逐年能耗模拟的对比
Fig. 3 The contrast of energy consumption by simulated with TMY chosen in two methods and the years of Lhasa Beijing

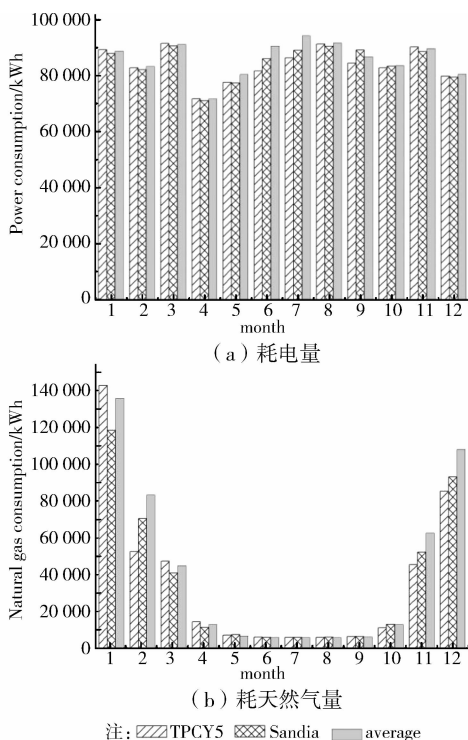


图 4 拉萨用两种方法生成 TMY 与逐年能耗模拟的对比
Fig. 4 The contrast of energy consumption by simulated with TMY chosen in two methods and the years of Lhasa

5 结语

针对生成典型气象年时,气象参数权重因子的统

一与否对典型年的挑选和建筑能耗动态模拟结果的影响问题,挑选建筑热工分区中寒冷地区的代表城市北京和拉萨,分别用 FS 统计方法和主成分法生成典型气象年,并依照标准对典型公共建筑建模,模拟不同方法下的能耗进行比较性研究,结论如下:

1) 在长期的时间段内,表征某种气象参数的典型性时,FS 统计方法具有相对优势。

2) 由于地域气象资源优势不同,使用 FS 统计方法挑选 TMY,适合太阳能丰富地区,在全国范围内使用,则存在对太阳辐射参数权重赋予过大的问题。

3) 建筑热工分区的主要依据是所在地区的温度指标,但同一热工分区中,由于高程、湿度、风速等地域性气象资源不同,挑选典型年时权重不应简单固化。利用主成分法寻求当地气象资源的本质特征,气象参数的选择对典型年结果的准确性尤为重要。研究不同地域气象参数的权重因子对建筑能耗模拟的准确性具有基础科学意义。

参考文献:

- [1] Marion W, Urban K, User's manual for TMY2's[R]. National Renewable Energy Laboratory, 1995. 6
- [2] Hall I J. Generation of typical meteorological years for 26 SOL2MET stations [C]// Proceedings of the 1978 Annual Meeting of the American Section of the International Solar Energy Society, Denver, 1978 : 669-671.
- [3] 张晴原,杨洪兴. 中国建筑用标准气象数据手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] Zhang Q, Joe Huang, Yang H. Development of the typical and design weather data for Asian locations [J]. Journal of 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.
- [6] Liu Y, Kevin K W, Wan D H W, et al. A new method to develop typical weather years in different climates for building energy use studies [J]. Energy, 2011, (36): 6121-6129.
- [7] Lam J C, Kevin K W, Wan S L, et al. Principal component analysis and long-term building energy simulation correlation [J]. Energy Conversion and Management, 2010, 51: 135-139.
- [8] Lam J C, Wan K K W, Cheung K L, et al. Principal component analysis of electricity use in office buildings [J]. Energy and Buildings, 2008, 40: 828-836.

(下转第 34 页)