

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201809015

北方采暖地区居住建筑节能计算方法对比

张 率^{1,2}, 刘 衍^{1,2}, 侯立强^{1,2}, 刘 江^{1,2}, 杨 柳^{1,2}

(1. 西部绿色建筑国家重点实验室(西安建筑科技大学), 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 建筑学院, 西安 710055)

摘 要: 为研究不同的建筑节能计算方法对居住建筑能耗的影响差异,并选取适宜的方法以降低采暖能耗. 通过利用 JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》提出的稳态计算方法和 EnergyPlus 软件的动态能耗模拟方法对严寒与寒冷地区挑选的 10 个不同典型城市的典型建筑进行计算、模拟与对比分析. 研究表明:所选典型城市在比较两种方法计算建筑物耗热量指标时产生差异且差异率不同,其中高海拔、强辐射、日较差大的地区如拉萨、西宁差异率最大,可达 43.83%、21.20%,其次是银川、兰州,其差异率最大可达 19.69%、18.81%. 通过分析引起差异的主要因素,提出对于差异率大于 15% 的上述地区,居住建筑节能计算采用动态能耗模拟方法比采用稳态计算方法更合理. 对于西安、北京和海拉尔等差异率在 10%~15% 的城市,建议采用动态能耗模拟方法以提高建筑节能设计精度,而对于乌鲁木齐、长春与哈尔滨等最大差异率小于 10% 的城市,仍可使用稳态计算方法. 从而为北方采暖地区居住建筑节能设计工程应用选取适宜的方法提供参考.

关键词: 稳态计算方法; 动态能耗模拟; 严寒和寒冷地区; 居住建筑; 建筑物耗热量指标; 差异率

中图分类号: TU111.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2019)10-0178-08

Comparative study on energy efficiency calculation methods of residential buildings in central heating areas of Northern China

ZHANG Shuai^{1,2}, LIU Yan^{1,2}, HOU Liqiang^{1,2}, LIU Jiang^{1,2}, YANG Liu^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China (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: To investigate the influences of different energy efficiency calculation methods on the energy consumption of residential buildings, and select the appropriate method to reduce heating energy consumption, the study calculated, simulated, and comparatively analyzed energy consumption of residential buildings in 10 typical cities in severe cold and cold zones by adopting the steady-state method elaborated in 'Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zones' and the dynamic energy consumption simulation of EnergyPlus software. Findings indicate that indexes of heat loss of building obtained from both methods were different in typical cities with varied difference ratios. Cities of high altitude, strong radiation, and greater diurnal range, namely Lhasa and Xining, had difference ratios of as high as 43.83% and 21.20%, which were followed by Yinchuan and Lanzhou, with the maximum difference ratio of 19.69% and 18.81%, respectively. Thus, by analyzing main factors concerning the difference, dynamic energy consumption simulation was recommended over steady-state method for residential building energy efficiency calculation in the abovementioned zones with a difference ratio greater than 15%. In addition, for cities such as Xi'an, Beijing, and Hailar, with a difference ratio of 10%~15%, the dynamic simulation method was also suggested to improve the accuracy of building energy efficiency design, while for other cities with a maximum difference ratio below 10%, such as Urumqi, Changchun, and Harbin, steady-state method could be adopted. The results could provide a reference for residential buildings in northern heating areas of China to choose suitable methods for engineering application in energy efficiency design.

Keywords: steady-state method; dynamic energy consumption simulation; severe cold and cold zones; residential buildings; index of heat loss of building; difference ratios

收稿日期: 2018-09-03

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2018YFC0704500); 陕西省重点研发计划(2017ZDXM-SF-076); 中国博士后科学基金(2018T111026)

作者简介: 张 率(1990—),女,博士研究生;
杨 柳(1970—),女,教授,博士生导师

通信作者: 杨 柳, yangliu@xauat.edu.cn

建筑行业的迅猛发展消耗了大量的能源与资源,引起的能源危机和气候变化已经成为世界各国关注的焦点^[1]. 特别是处于中国北方严寒和寒冷地区的居住建筑,其采暖能耗占全国建筑总能耗的 36%,是建筑能源消耗的最大组成部分^[2]. 因此为了控制居住建筑采暖能耗的持续上升和由它加重的

气候与环境负担,应该从建筑方案与设备系统的设计开始就考虑建筑能源消耗^[3],从而提高能源利用率,保证居住建筑满足节能设计要求。

目前在中国采暖地区常用于实际建筑节能工程计算的主要方法是由 JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》^[4]提出的稳态计算方法。该方法基于冬季房间热量传递相对稳定的假设,简化了围护结构复杂的传热过程,使计算简单易行,受到了广泛认可。然而随着人们对热舒适水平要求的提高,建筑材料的升级和建筑负荷的复杂化,以及气候的不断变迁,使得建筑物的日常工作条件在每时或每日时间间隔内都逐渐趋于不稳定变化。王靖文等^[5]通过对典型城市在供暖期的建筑围护结构分析发现稳态传热的假设已不能准确反映室外气象参数和室内温度波动的关联性。刘大龙等^[6]通过利用气象参数对比研究说明青藏高原部分地区计算采暖能耗不宜采用稳态方法而应采用非稳态传热方法。稳态计算方法的精度已经不利于设计师对高标准节能建筑进行定性能耗分析。而非稳态传热的方法计算、预测和评估建筑的能源消耗因其更高的精度和能够模拟多样复杂的建筑变得越来越受人们重视^[7-8]。尽管该方法复杂不易实现,但是随着计算机技术水平的快速发展和相应软件的开发,使其操作逐渐得到简化并被设计者接受。在中国夏热冬冷和夏热冬暖等地区已采用借由计算机软件基于非稳态传热理论的动态能耗模拟方法对建筑进行节能设计^[9-10]。然而该方法在中国北方采暖地区仍未得到广泛认可,而且鲜少有人真正比对在建筑节能工程应用时利用稳态方法与动态方法产生的实际差异。

因此针对上述问题,本文利用 EnergyPlus 软件对一栋 6 层住宅建筑进行动态能耗模拟并与稳态计算方法进行对比。通过比较两种方法在采暖地区 10 个典型城市所得结果的差值,分析其主要影响因素,从而为严寒与寒冷地区选取适宜的居住建筑节能计算方法提供参考。

1 建筑节能计算方法

由于中国北方寒冷和严寒地区的大部分居住建筑对夏季空调降温需求较小,其建筑能耗主要来源于冬季采暖负荷。因此,为贯彻国家有关节能环保的政策,改善严寒与寒冷地区的居住建筑热环境,该区居住建筑必须采取节能设计,将建筑采暖能耗控制在规定范围内^[4]。目前有很多方法可以分析建筑能耗。根据建筑热工性能计算数学模型与相关气象参数选取的不同,将计算方法主要分为两类:一种是以建筑物耗热量指标作为权衡判断依据的稳态计

算方法,另一种则是利用模拟软件完成的逐时动态能耗模拟方法。

1.1 稳态计算方法

目前中国在工程上常常采用的稳态计算方法主要是有效传热系数法。其在根据规范提出的计算采暖期室外平均温度的条件下,通过考虑由围护结构两侧温差、太阳辐射以及向天空辐射三者引起的热量得失从而进行建筑耗热量指标的计算^[11],并以此设定为能耗控制的目标,进行进一步的建筑节能设计。建筑物耗热量指标即是在采暖期室外平均温度条件下,为保持室内设计计算温度,单位建筑面积在单位时间内消耗的需由室内采暖设备供给的热量^[4]。JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》与各地区《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》作为中国主要的建筑热工节能设计参照规范采用的方法既是有效传热系数法,其计算建筑物耗热量指标的公式^[4]如下:

$$q_H = q_{HT} + q_{INF} - q_{IH} \quad (1)$$

式中: q_H 为建筑物耗热量指标, $W \cdot m^{-2}$; q_{HT} 为折合到单位建筑面积上单位时间内通过建筑围护结构的传热量, $W \cdot m^{-2}$; q_{INF} 为折合到单位建筑面积上单位时间内建筑物空气渗透耗热量, $W \cdot m^{-2}$; q_{IH} 为折合到单位建筑面积上单位时间内建筑物内部得热量,取 $3.8 W \cdot m^{-2}$ 。

1.2 动态能耗模拟方法

动态能耗模拟方法主要通过引入动态逐时室外气象参数,以不稳定传热理论为基础,通过传递函数法、谐波反应法、有限元素差分法等,利用计算机模拟软件建立建筑模型从而对实时改变的室外气象参数条件下建筑负荷的动态变化进行模拟与分析^[12]。从 20 世纪 60 年代至今,世界各国开始加快对建筑能耗的分析与预测工作,诸多国家都相继开发出性能优良的模拟软件,以方便对建筑物进行全年动态模拟^[13]。

本文采用 EnergyPlus 8.6 版本进行模拟计算,主要原因是其作为一个体系较为成熟的新一代模拟软件工具近年来被广泛应用于建筑节能设计领域。该软件在美国能源部的支持下,由美国军队建筑工程实验室(U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory)和美国劳伦斯·伯克利国家实验室(Lawrence Berkeley National Laboratory)等单位共同基于建筑能耗分析软件 DOE. 2 和 BLAST 基础上重新研发的全新软件,它的计算技术与程序结构在很大程度得到改善,并具备更多新特性^[14]。EnergyPlus 软件基于非稳态传热原理,对建筑围护结构,空气处理系统和暖通空调系统三大板块进行

集成同步求解. 具体来说,该软件采用热平衡法模拟建筑的动态负荷,且基于墙体内表面温度采用传递函数法 CTF (cond-uction transfer function) 模拟围护结构如墙体、屋顶、地板、窗户等的瞬态传热^[15].

本文在模拟分析前先对所选软件与模拟方法的可靠性进行了文献调研. 王海燕^[16]通过对长春市某 6 层住宅的采暖能耗进行模拟与实测,发现在考虑热桥造成的附加耗热量后,应用 EnergyPlus 进行建筑能耗模拟计算符合工程实际. 刘洋^[11]研究在比较同一建筑模型的模拟与实测建筑耗热量结果,发现其房间热负荷的动态变化规律和实际情况较为接近,在考虑邻户传热等实际因素,认为使用 EnergyPlus 对房间在较为理想的状况下进行能耗分析是比较准确的. 杨柳等^[17]通过比较西安市某办公建筑的室内热环境实测结果与模拟结果,也验证了使用 EnergyPlus 软件建立数值模型的准确性. 因此证明本文选取 EnergyPlus 软件对建筑模型进行动态模拟分析,其结果能保证在误差允许范围内,具有一定准确性和可靠性.

2 计算模型实例

为探讨稳态计算方法与动态能耗模拟方法在采暖地区居住建筑节能设计的适用性和差异性,本文选取位于严寒与寒冷地区的 10 个典型城市进行分析,分别是西安、北京、兰州、银川、拉萨、西宁、乌鲁木齐、长春、哈尔滨和海拉尔. 其选取原则主要是覆盖了严寒与寒冷地区的各个居住建筑节能设计气候子区并处于不同省份不同海拔的典型代表城市,且与其相关的 CSWD (Chinese standard weather date) 格式典型气象年数据能从 EnergyPlus 的官网中获得.

2.1 建筑模型

严寒与寒冷地区居住建筑常以多层住宅为主并

配有部分中高层与高层建筑,因此本文进行稳态计算与动态模拟的建筑模型选取了一栋简化的多层住宅. 该建筑坐南朝北,地上 6 层,每层两户,其标准层平面图如图 1 所示,层高为 2.8 m,建筑总高度为 16.8 m,建筑总面积为 1 430.76 m²,建筑体积为 4 006.13 m³,体型系数为 0.28;各个朝向的窗墙面积比分别为:南向 0.37,东西向 0.06,北向 0.21;换气次数为 0.5. 其各部分主要围护结构的热工性能参数均满足 JGJ 26—2010 规定《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》^[4]要求见表 1.

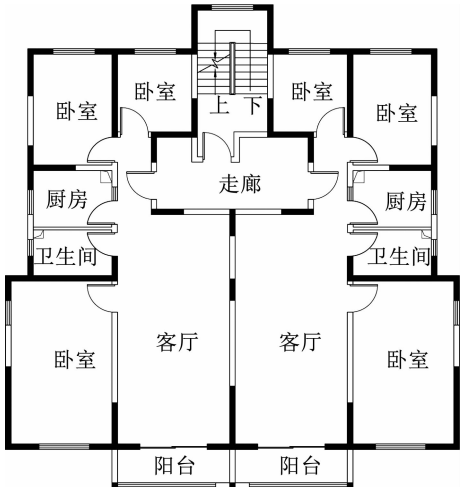


图 1 建筑标准层平面图

Fig. 1 Typical floor plan of simulated building

2.2 稳态计算过程

JGJ 26—2010 规定《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》可知各气候区不同城市的相应计算采暖期信息,且冬季室内采暖计算温度 $t_n = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 当外墙内侧是楼梯间时取 $t_n = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$. 根据表 1 提供的围护结构热工性能物理参数其耗热量指标依据式 (1) 利用稳态计算方法进行计算.

表 1 建筑主要围护结构热工性能参数

Tab. 1 Thermal performance value of the building model envelope

气候分区	气候子区	城市	建筑围护结构传热系数/(W·m ⁻² ·℃ ⁻¹)								热阻/(m ² ·℃·W ⁻¹)	
			外墙	屋面	南窗	东西北窗	外门	阳台隔墙	阳台隔窗	内墙	楼板	地面(保温材料层)
寒冷地区	II(A)	西安										
	II(A)	北京										
	II(B)	兰州	0.60	0.42	2.50	2.80	2.80	0.60	2.50	2.05	0.63	1.02
	II(B)	银川										
	II(B)	拉萨										
严寒地区	I(C)	西宁										
	I(C)	乌鲁木齐	0.42	0.31	1.60	1.75	1.75	0.42	1.60	1.36	0.41	1.02
	I(C)	长春										
	I(B)	哈尔滨										
	I(A)	海拉尔	0.32	0.20	1.60	1.75	1.75	0.32	1.60	1.15	0.35	1.50

注:各地区气候子区建筑围护结构构造依据上述传热系数与热阻按照相应图集选取与设置.

2.3 动态模拟过程

本文利用 SketchUp 建立了上述 6 层住宅模型如图 2 所示,并通过 EnergyPlus 对建筑模型进行动态能耗模拟. 整个建筑被划分成 6 组功能分区与 84 个热区,且所有热区均使用传递函数(CTF)进行模拟. 建筑围护结构的基本信息和参数与上述稳态保持一致. 模拟建筑冬季室内采暖温度为 18 ℃,楼梯间采暖温度为 12 ℃,采用连续不间断供暖方式. 其室内人员、电器照明、设备等总的内部得热量与稳态保持一致统一按 $3.8\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,且渗透通风量按 0.5 次/h,并采用理想的空调设备系统(ideal loads air system)来计算理想负荷与建筑得热量^[2]. 气象数据是能耗模拟的基础数据^[18],在本文中,动态模拟依据代表各城市的典型气象年逐时数据进行计算. 所选取的数据源于 EnergyPlus 官方网站提供的 CSWD 格式气象文件^[19].

2.4 对比组设置

根据上述模型与分析方法,可知两种方法的输

入条件基本一致,且气象数据都源于典型气象年,只是表现形式有所不同. 稳态计算方法其室外气象参数依据典型气象年所得经统一计算求平均值,而动态模拟方法则采用其逐时值,因此具有可比性. 为了比较两种方法在实际工程应用中计算 10 个典型城市的耗热量指标产生的差异并对比分析其理论算法的区别,将计算与模拟所使用的采暖期与气象数据分为以下 4 类:稳态计算①依据规范^[4]提供的采暖期和室外平均温度且气象数据源于规范;动态模拟①依据各地区规定的法定采暖时间且气象数据源于 CSWD 格式的逐时数据;稳态计算②依据规范提供的采暖期,且室外平均温度采用经 CSWD 格式的逐时气象数据推算得出的定值;动态模拟②依据规范提供的采暖期,且气象数据源于 CSWD 格式的逐时数据,并将其分别简化为稳态①、动态①、稳态②和动态②. 各城市参与稳态计算与动态模拟的相关采暖期天数与推算的室外平均温度见表 2.

表 2 所选典型城市的相关计算采暖期与室外平均温度						
Tab.2 Heating period for calculation and mean outdoor temperature during heating period in typical cities						
省份(直辖市)	城市	海拔/m	计算方法分类	采暖期/d	采暖时间(月/日)	室外平均温度/℃
陕西	西安	398	稳态①	82		2.10
			动态①	121	11/15—03/15	2.33
			稳态②、动态②	82	12/01—02/20	0.90
北京	北京	55	稳态①	114		0.10
			动态①	121	11/15—03/15	0.16
			稳态②、动态②	114	11/15—03/08	-0.32
甘肃	兰州	1 518	稳态①	126		-0.60
			动态①	151	11/01—03/31	0.16
			稳态②、动态②	126	11/01—03/06	-0.88
宁夏	银川	1 112	稳态①	140		-2.10
			动态①	151	11/01—03/31	-1.69
			稳态②、动态②	140	11/01—03/20	-2.34
西藏	拉萨	3 650	稳态①	126		1.60
			动态①	121	11/15—03/15	0.81
			稳态②、动态②	126	11/01—03/06	1.08
青海	西宁	2 296	稳态①	161		-3.00
			动态①	183	10/15—04/15	-1.87
			稳态②、动态②	161	10/22—03/31	-2.91
新疆	乌鲁木齐	935	稳态①	149		-6.50
			动态①	183	10/10—04/10	-4.73
			稳态②、动态②	149	11/03—03/31	-7.12
吉林	长春	238	稳态①	165		-6.70
			动态①	168	10/25—04/10	-7.74
			稳态②、动态②	165	10/28—04/10	-8.02
黑龙江	哈尔滨	143	稳态①	167		-8.50
			动态①	183	11/20—04/20	-8.88
			稳态②、动态②	167	10/22—04/06	-10.26
内蒙古	海拉尔	611	稳态①	206		-12.00
			动态①	233	09/20—05/10	-9.95
			稳态②、动态②	206	10/01—04/24	-12.36

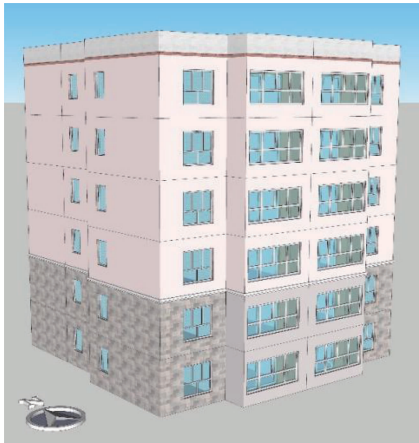


图 2 住宅简化模型
Fig. 2 Simplified building model

2.5 各城市气象参数

气象参数是影响建筑物能耗的主要原因,且气温与水平辐射等对采暖能耗影响更为显著^[20]. 因此为更好的对后续结果进行分析,图 3、4 显示了寒冷与严寒地区 10 个典型城市在上述采暖期所涉及主要月份的日较差和太阳水平总辐射.

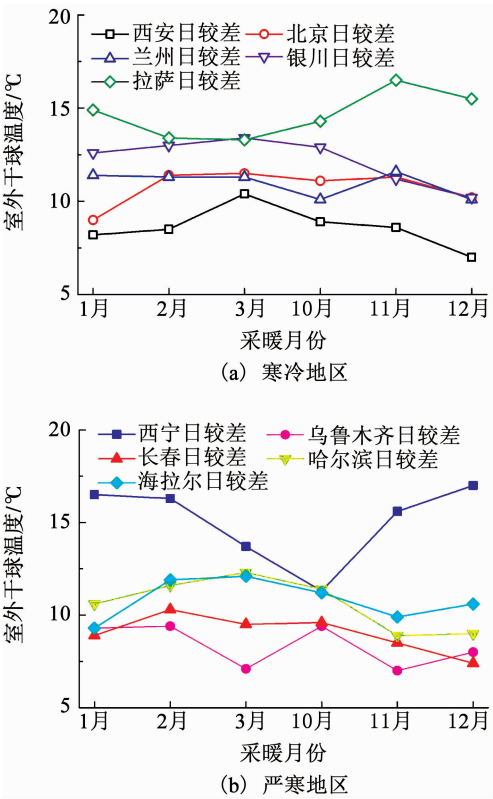


图 3 寒冷地区与严寒地区各城市日较差
Fig. 3 Daily temperature range of typical cities in severe cold and cold zones

由图 3、4 可知,在寒冷地区的拉萨与严寒地区的西宁,两个城市的日较差与太阳辐射都明显高于其他城市,特别是拉萨在采暖期的月均太阳辐射最高可达 $226.88 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}$,与其他城市有显著差异. 且

相较表 2 可以发现,这些城市的海拔也相对较高,这是因为海拔较高的地区空气较稀薄,云量少,使得太阳辐射增强,增加了该地区白天的气温,相对于夜晚比低辐射地区引起的昼夜温差大,室外空气温度不恒定,随时间成动态变化. 而寒冷地区的西安与严寒地区的乌鲁木齐无论是日较差还是太阳辐射明显比其他城市低,其对应海拔也相对较低.

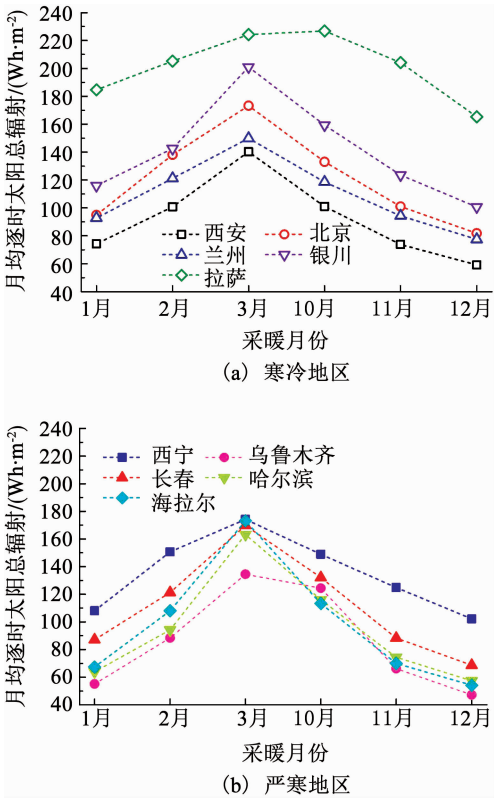


图 4 寒冷地区与严寒地区各城市太阳辐射
Fig. 4 Global horizontal radiation of typical cities in severe cold and cold zones

3 结果与讨论

3.1 不同方法所得耗热量指标对比分析

基于上述参数,利用稳态①和动态①与稳态②和动态②对 10 个典型城市进行计算与模拟得到的耗热量指标结果分别如图 5 所示.

从结果看,经过稳态计算与动态模拟的 10 座城市建筑物耗热量指标均满足 JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》^[4] 规定的建筑节能设计要求. 对比图 5(a)、(b) 显示,无论稳态计算还是动态模拟,对比各城市耗热量指标大小产生的趋势基本一致,严寒地区较寒冷地区的耗热量指标明显升高,其中海拉尔地区最高,其次是哈尔滨、长春、乌鲁木齐等处于严寒地区的城市. 而寒冷地区的拉萨地区耗热量指标最低,其次是处于严寒地区的西宁,然后是处于寒冷地区的西安、北京等地. 通过与表 2 的对照可以看出,除去拉萨、西宁这两个海拔

较高、日较差大的强辐射地区, 大多数城市的建筑物耗热量指标与采暖期和室外温度有很大关系, 温度越低, 采暖期越长则耗热量指标越大. 这也说明高海拔与强辐射对耗热量指标的大小会产生一定影响.

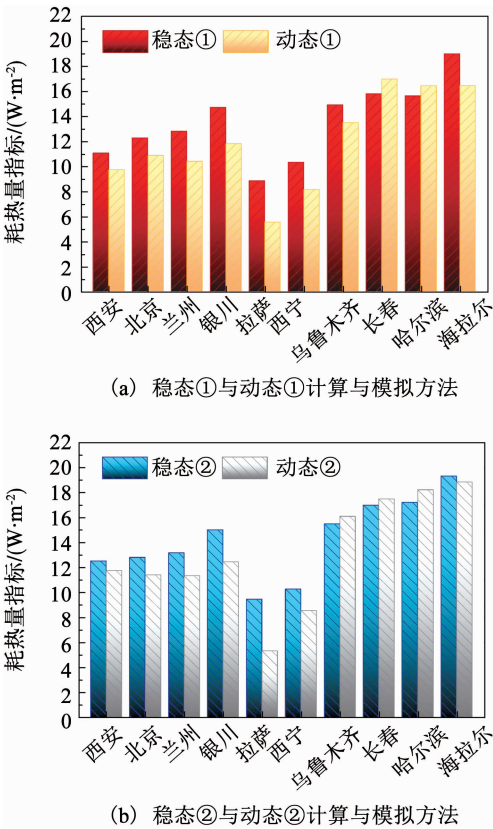


图 5 稳态方法与动态方法计算严寒与寒冷地区城市所得耗热量指标

Fig. 5 Index of heat loss of building calculated by steady-state calculation and dynamic simulation in severe cold and cold zones

另外,除了乌鲁木齐、长春与哈尔滨,其余各城市稳态计算所得的耗热量指标都高于动态计算的结果,说明规范提供的采暖时间和稳态方法使建筑只考虑最不利工况进行设计,所得耗热量指标过大,从而导致建筑设计过于保守,与实际建筑在法定采暖时期的单位时间单位面积的耗热量有所差距. 对于长春、哈尔滨这两个动态模拟均大于稳态计算结果的城市,对比表 2 可以发现在进行两种方法比较时,动态①采用的模拟时间比稳态①更长,且推算的室外平均温度相较规范规定的也更低,这恰恰证实了对于低辐射地区室外温度与采暖期和耗热量指标的线性关系. 而对于两种算法比较时,稳态②与动态②采用相同采暖期却得到同样结果,本文思考针对这两个城市在选取动态采暖模拟时间时可能过多的考虑了最不利工况,除此,也需要考虑由于 JGJ 26—2010 规定《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》对于这两个城市所设定的采暖期与室外计算温

度的不准确或节能指标过大,使其可能不满足实际应用的耗热量,应有所调整. 这也说明了采暖期时长与具体时间范围的选取对建筑节能指标有很大影响.

值得注意的是,尽管乌鲁木齐在进行两种算法比较时其动态模拟结果大于稳态所得,且与长春、哈尔滨两个城市的结果趋势一致. 但是在比较稳态①与动态①时,其结果相反. 产生这个现象的原因是该区动态①参考的实际法定采暖时间因覆盖了室外温度相对较高的月份,使其采用的采暖期不仅比规范规定的长,其推算的室外平均温度也高于被稳态①采用的规定值,从而使稳态①所得耗热量指标高于动态①所得结果. 需要指出的是,由于乌鲁木齐特有的气候特点,该区居民对于干热的夏季已经获得了高温适应性,使其人体热舒适需求不同于其他寒冷地区,在冬季依然趋向于高温^[21]. 因此该城市实际采暖期相对较长,使得所推算的室外平均温度也相对较高. 而在节能规范中所提供的相应参数可能只考虑了最不利工况影响,与实际情况相差较大,使乌鲁木齐稳态①所得结果大于动态①所得.

3.2 差异率

为更好地比较在北方采暖地区建筑节能时使用稳态方法与动态方法的差异,利用差异率即

$$\text{差异率} = \frac{|\text{稳态计算结果} - \text{动态模拟结果}|}{\text{稳态计算结果}} \times 100\%.$$

(2)

稳态①与动态①计算所得的耗热量指标差异率和利用稳态②与动态②计算所得的差异率如图 6 所示. 可以看出无论是对比两种方法在实际工程应用还是对比其理论算法,各个典型城市差异率的趋势整体一致. 除了西宁,寒冷地区的城市在两种方法的差异率明显大于严寒地区的. 其中寒冷地区的拉萨与严寒地区的西宁在利用稳态方法与动态方法计算耗热量指标时差异率最大时分别为 37. 16% 和 43. 83%, 21. 2% 和 16. 63%. 其次是寒冷地区的银川与兰州,其差异率最大时可分别达到 19. 69% 和 18. 81%. 差异率最小的是严寒地区的长春与哈尔滨,其最大差异率也只有 7. 49% 和 5. 92%. 对比图 3、4 可以看出,城市的日较差与太阳辐射大小是造成稳态计算方法与动态模拟方法产生差异的主要原因. 太阳辐射越大,日较差越大的地区如拉萨、银川、西宁、兰州等两种方法的差异率越大. 由于在强辐射地区,因太阳辐射的增强而造成昼夜温差大,室外气温随时间呈现动态变化. 这使规范所提出的采暖期室外平均温度作为定值不适用于强辐射和日较差较大的地区,相反动态模拟方法因其引用的逐时

气象数据对于强辐射和日较差大的地区如拉萨、银川、西宁、兰州等在计算耗热量指标时更符合实际情况也更适用。换言之,对于强辐射且日较差大的城市,建筑节能设计宜采用动态能耗模拟方法代替稳态计算方法。

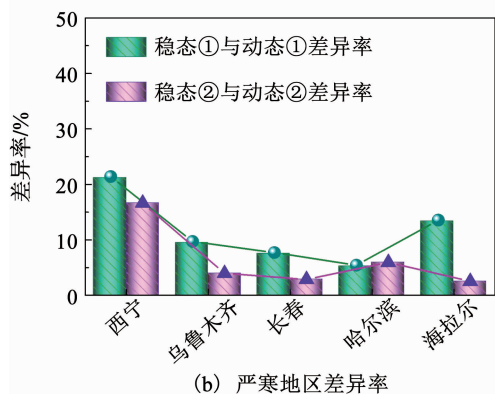
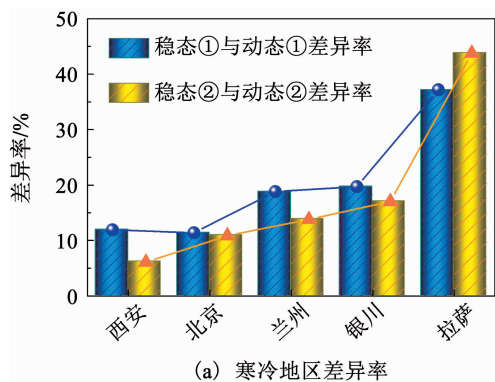


图 6 稳态方法与动态方法计算严寒与寒冷地区城市耗热量指标的差异率

Fig. 6 Difference ratios of index of heat loss of building by steady-state calculation and dynamic simulation in severe cold and cold zones

尽管如此,太阳辐射和日较差两个气象因素对于稳态和动态两种计算方法的差异率并无非常明显的线性关系。这是因为对于低辐射与低日较差的城市,这两个气象要素对其耗热量指标影响不大,而室外风速、相对湿度等参数对其的影响会干扰辐射与日较差的影响程度。另外,值得注意的是海拉尔地区在稳态①与动态①比较所得差异率与稳态②和动态②比较所得差异率有很大差异约 10.86%。对比表 2 可以发现,造成这种情况的主要原因是稳态与动态的算法对该地区差异不大,但是因为不同的采暖期与不同的气象数据选取使其在实际应用稳态计算方法与动态模拟方法时产生很大差异。

4 结 论

1)除了理论算法的不同,采暖期和气象数据选取的不同是影响建筑物耗热量指标大小和对同一城市应用两种方法所得结果产生差异的关键因素。

2)10 个典型城市在比较两种方法计算耗热量指标所得差异率在 5.92% ~ 43.83% 之间。其中拉萨与西宁最为显著,其差异率最大可达 43.83% 和 21.20%。

3)海拔、太阳辐射与日较差是引起不同城市比较两种方法时产生显著差异的主要原因。对于差异率大于 15% 的地区如拉萨、西宁、银川与兰州等,均具有高海拔、强辐射与较大日较差的特征,造成其室外温度接近动态变化。因此采用动态能耗模拟方法进行建筑节能设计比稳态计算方法更合理。

4)对于差异率在 10% ~ 15% 之间的城市如西安、北京和海拉尔,建议采用动态能耗模拟以提高建筑节能设计精度。对于最大差异率小于 10% 的城市如乌鲁木齐、长春与哈尔滨,仍可采用稳态计算方法。

5)本文仅利用精度较高且更贴合实际的动态模拟方法与稳态计算方法进行对比,获得各城市使用两种方法的差异率,为在采暖地区不适于稳态方法且需要修正的地区提供基本的城市筛查与理论依据。但在未来研究中,针对模拟结果偏差较大的城市应进行进一步研究,通过实际测试与模拟以确定适宜的修正系数。从而保证简便快捷的手算方法继续应用于实际建筑节能工程中。

参考文献

- [1] LI Yushun, YAO Jian, LI Ran, et al. Thermal and energy performance of a steel-bamboo composite wall structure[J]. Energy and Buildings, 2017, 156: 225. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.09.083
- [2] 王瑞. 建筑节能设计[M]. 第 2 版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2015: 1
WANG Rui. Building energy efficiency design [M]. 2nd ed. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2015: 1
- [3] LIU Yan, YANG Liu, ZHENG Wuxing, et al. A novel building energy efficiency evaluation index: Establishment of calculation model and application[J]. Energy Conversion and Management, 2018, 166: 522. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.03.090
- [4] 中华人民共和国建设部. 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ 26—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zones: JGJ 26—2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010
- [5] 王靖文, 王烨, 孙鹏宝. 基于谐波法的建筑围护结构非稳态传热分析[J]. 兰州交通大学学报, 2015, 34(3): 153
WANG Jingwen, WANG Ye, SUN Pengbao. Analysis of unsteady heat transfer of building envelope based on harmonic wave method [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2015, 34(3): 153. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4373.2015.03.029
- [6] 刘大龙, 刘加平, 张习龙, 等. 青藏高原气候条件下的建筑能耗

分析[J]. 太阳能学报, 2016, 37(8): 2167

LIU Dalong, LIU Jiaping, ZHANG Xilong, et al. Building energy consumption analysis in climate condition of Tibetan Plateau[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2016, 37(8): 2167. DOI: 0254 - 0096(2016)08 - 2167 - 06

[7] 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(12): 2148. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.06.005

[8] DING Yong, XU Lu, LI Baizhan, et al. Experimental study on thermal performance of externally insulated walls of intermittent air-conditioned rooms in summer in hot summer and cold winter region, China[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2014; 1. DOI: 10.1155/2014/809595

[9] 中华人民共和国建设部. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ 134—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010

Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zone: JGJ 134—2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010

[10] 中华人民共和国建设部. 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准: JGJ 75—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012

Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and warm winter zone: JGJ 75—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012

[11] 刘洋. 居住建筑能耗动态模拟研究与能耗计算软件的开发[D]. 天津: 天津大学, 2004

LIU Yang. Dynamic simulation study of resident building energy and the development of energy simulation software [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004

[12] LI Ying, KANG Tiegang. Energy consumption measurement of energy-saving buildings and analysis of simulation example[J]. Sensors & Transducers, 2013, 157(10): 3

[13] 冯晶琛, 丁云飞, 吴会军. EnergyPlus 能耗模拟软件及其应用工具[J]. 建筑节能, 2012, 40(251): 64

FENG Jingchen, DING Yunfei, WU Huijun. EnergyPlus energy simulation software and its application tools[J]. Building Energy Efficiency, 2012, 40(251): 64. DOI: 10.3969/j.issn.1673 - 7237.2012.01.016

[14] CRAWLEY D B, LAWRIE L K, WINKELMANN F C, et al. EnergyPlus: Creating a new generation building energy simulation program[J]. Energy and Buildings, 2001, 33(4): 319. DOI: 10.1016/S0378 - 7788(00)00114 - 6

[15] 朱丹丹, 燕达, 王闯, 等. 建筑能耗模拟软件对比: DeST、EnergyPlus and DOE-2[J]. 建筑科学, 2012, 28(s2): 218

ZHU Dandan, YAN Da, WANG Chuang, et al. Comparison of building energy consumption simulation program: DeST、EnergyPlus and DOE-2[J]. Building Science, 2012, 28(s2): 218. DOI: 10.13614/j.cnki.11 - 1962/tu.2012.s2.017

[16] 王海燕. 复合墙体热工特性与能耗分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007

WANG Haiyan. Thermal property of composite wall and analysis of energy consumption[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007

[17] 杨柳, 侯立强, 刘江, 等. 围护结构蓄热性能对建筑负荷的影响分析 [J/OL]. (2018-09-18). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2082.TK.20180914.1446.002.html>

YANG Liu, HOU Liqiang, LIU Jiang, et al. Impact of thermal storage capacity of envelope on building load [J/OL]. (2018-09-18). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2082.TK.20180914.1446.002.html>

[18] 刘立, 刘丛红, 吴迪, 等. 天津办公建筑空间设计因素节能分析与优化[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50(4): 182

LIU Li, LIU Conghong, WU Di, et al. Energy saving analysis and optimization of geometric factors of office buildings in Tianjin[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(4): 182. DOI: 10.11918/j.issn.0367 - 6234.201608092

[19] EnergyPlus 软件官方网站 [EB/OL]. [2018-03-15] <https://www.energyplus.net/weather>

[20] 刘大龙, 刘加平, 侯立强, 等. 气象要素对建筑能耗的效用差异性[J]. 太阳能学报, 2017, 38(7): 1794

LIU Dalong, LIU Jiaping, HOU Liqiang, et al. Differentiation analysis of meteorological parameters affecting building energy consumption[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2017, 38(7): 1794. DOI: 0254 - 0096(2017)07 - 1794 - 07

[21] 葛翠玉, 杨柳. 吐鲁番农村住宅冬季室内热舒适调查研究[J]. 暖通空调, 2014, 44(11): 94

GE Cuiyu, YANG Liu. Field study on thermal comfort in rural house in turpan in winter[J]. HV&AC, 2014, 44(11): 94

(编辑 张 红)