

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2020.221

购物中心被动设计节能潜力的标准化模拟

魏 莱^{1a,1b}, 党 睿^{1a,1b}, 刘 刚^{1a,1b}, 原 野^{1a,1b}, 黄文龙²

(1. 天津大学 a. 建筑学院, b. 天津市建筑物理环境与生态技术重点实验室, 天津 300072;
2. 中国中建设计集团有限公司, 北京 100037)

摘要:通过标准化的建模及模拟,对购物中心被动设计在方案阶段的节能潜力展开量化评价。以寒冷地区为例,提取出具有典型气候特征的3种购物中心标准几何模型和运行参数;并选取Grasshopper和EnergyPlus分别作为参数化建模和能耗模拟软件;同时,从场地、建筑和围护结构3个层面,总结出影响购物中心节能潜力的24个被动设计参量;最终通过模拟得到24个被动设计参量在3种标准模型中的节能潜力及排序。结果表明:入口风速、走廊空间、天窗面积比和屋面传热系数是影响寒冷地区购物中心节能潜力的4个重要设计参量,此结果可为设计师在方案阶段进行建筑优化设计提供量化指导。

关键词:购物中心;标准化;被动设计;方案设计阶段;用能强度

中图分类号:TU111.4+8 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-582X(2022)05-067-012

Standardization simulation of energy saving potential of passive design in shopping centers

WEI Lai^{1a,1b}, DANG Rui^{1a,1b}, LIU Gang^{1a,1b}, YUAN Ye^{1a,1b}, HUANG Wenlong²

(1a. School of Architecture, 1b. Tianjin Key Laboratory of Architectural Physics and Environmental Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, P. R. China; 2. China Construction Engineering Design Group Corporation Limited, Beijing 100037, P. R. China)

Abstract: In this paper, the energy saving potential of passive design for shopping centers in the early design stages is quantitatively evaluated through standardized modeling and simulation. With cold regions taken as an example, three common standard geometric models and operating parameters of shopping centers with typical climatic characteristics were extracted. Grasshopper and EnergyPlus were chosen as the standard parametric modeling software and the energy simulation software, respectively, while 24 passive design parameters from the site, building and envelope that affect the energy-saving potential of shopping centers were summarized. Finally, by simulation, the energy saving potential rankings of the 24 passive design parameters in three standard models were obtained. The result shows that the entrance wind speed, corridor space, the ratio of skylight area to roof area and roof heat transfer coefficient are four important design parameters that affect the energy saving potential of shopping centers in cold regions, providing designers with quantitative guidance for design optimization in the early design stages.

Keywords: shopping centers; standardization; passive design; early design stages; energy use intensity

收稿日期:2019-07-22 网络出版日期:2019-10-24

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0700200);国家自然科学基金资助项目(51338006)。

Supported by National Key Research and Development Program Funding (2016YFC0700200) and National Natural Science Foundation of China (51338006).

作者简介:魏莱(1993—),女,博士研究生,主要从事建筑节能与绿色建筑技术研究,(E-mail)wlwllayla@163.com。

通讯作者:刘刚,男,教授,博士生导师,(E-mail)lglgmike@163.com。

购物中心是现代城市的重要组成部分,集成了零售、社交和社区活动等多种功能属性。近年来,中国的购物中心增长迅猛,建筑面积从 2001~2016 年增加了 20 亿 m^2 [1]。另外,购物中心具有空间规模大、耗电设备多、营业时间长、人员密度大的特点,其全年总耗电量是普通公共建筑的 4~8 倍[2]。因此,降低购物中心的能耗需求至关重要。

其中,被动设计被认为是降低建筑能耗最有效的方法之一[3-6],在方案阶段便考虑被动设计,能最大程度发挥被动设计对建筑的节能潜力。目前方案阶段采用被动设计在住宅、办公等规模较小、功能简单的建筑中被广泛应用,且节能效果显著[7-11]。然而,被动设计在规模巨大、功能复杂的购物中心中研究尚少[12-14]。Carrilho 等[12]模拟研究了商场自然通风的节能潜力,结果表明,良好的自然通风在温和地区比普通封闭式的商场能减少 30% 以上的暖通空调能耗。Wang 等[13]分析了商场中庭遮阳在中国夏热冬暖地区的节能潜力,结果表明,良好的天窗遮阳可减少商业建筑近 6.8% 的制冷负荷。同样的,Kovac 等[14]模拟了遮阳装置在某购物中心的节能潜力,并发现采用合适的遮阳设备可降低该购物中心高达 17%~19% 的用能需求。然而,购物中心被动式研究以既有建筑的改造为主,研究对象多为个例,不具有普适性,结果对大规模新建购物中心的参考价值有限。其中,将典型或标准的建筑模型应用于能耗模拟,是目前研究中一种可靠、有效的方法[15]。综上,有必要对购物中心在方案设计阶段展开标准化建模及模拟。

因此,研究旨在基于标准的模拟方法研究寒冷地区购物中心在方案阶段的被动设计节能潜力。所得的量化节能潜力结果涵盖多种常见购物中心类型,结果具有有效性、准确性及普适性,可为建筑师在方案阶段的节能优化设计提供重要参考。

1 标准模拟方法

研究提出一种适用于方案阶段购物中心被动设计标准模拟方法。该方法包括以下 4 个方面:总结标准几何模型、确定标准运行参数、选择标准模拟软件和汇总标准被动设计参量。

1.1 标准几何模型

标准几何模型是根据寒冷地区近 10 年新建的 40 座购物中心图纸,对其规模、形状、比例、功能及材料等特性的统计并总结得到的。图 1 展示了寒冷地区购物中心规模和平面形状的统计结果。由图 1 可知,购物中心面积以 10~15 万 m^2 居多,占比为 55%;平面形状以矩形居多,占比为 70%。另外,从图纸中发现,受场地形状限制,矩形平面长宽比通常在 1:1~3:1 之间不等,且不同长宽比购物中心的内部公共空间及流线组织也不同。因此,为确保标准几何模型的准确性及普适性,文章建立了长宽比分别为 1:1(1:1 模型)、2:1(2:1 模型)、3:1(3:1 模型)且总建筑面积在 12.7~13.3 万 m^2 的 3 种空间类型的标准几何模型。表 1 展示了 3 种标准模型的基本几何信息。其中,3 种标准模型在层数、层高、柱距、功能分布和窗墙比(WWR, window to wall ratio)均保持一致。同时,对 40 份图纸中围护结构的热工参数进行统计,得到围护结构在传热系数、太阳得热系数(SHGC, solar heat gain coefficient)和气密性 3 个指标的典型参数值。表 2 列出了标准模型围护结构的热工设定参数。

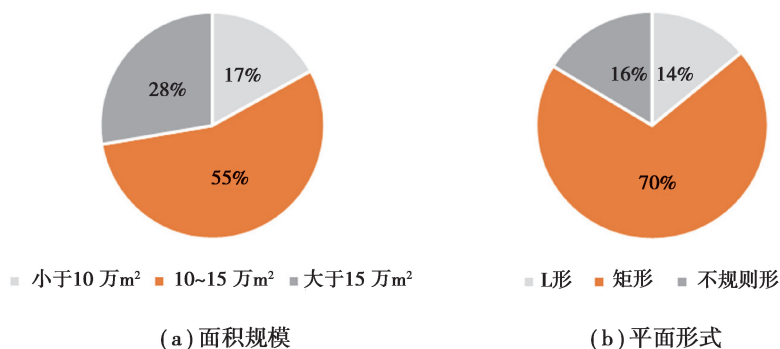


图 1 购物中心规模和平面形状的统计结果

Fig. 1 Scale and shape statistics of shopping centers

表1 3种标准模型基本几何信息

Table 1 Basic geometric information of three standard models

指标	具体描述
平面示意图	
总建筑面积	1:1模型 ≈ 13.3 万 m^2 ; 2:1模型 ≈ 13.2 万 m^2 ; 3:1模型 ≈ 12.7 万 m^2
楼层数	-2F~4F
柱距	8.4 m \times 8.4 m
层高	-2F=3.9 m; -1F=5.7 m; 1F=5.7 m; 2~4F=5.4 m
业态占比及楼层分布	步行街(31.95%): -1F~4F; 次主力店(4.33%): 1F~3F; 零售(18.78%): 1F~3F; 超市(6.74%): -1F; 餐饮(13.54%): -1F~4F; 娱乐(7.73%): 3F~4F; 影院(7.72%): 4F; 辅助用房(9.21%): -2F~4F
窗墙比	北侧(10%); 南侧(25%); 东侧(20%); 西侧(10%); 屋顶(10%)

表2 标准模型围护结构热工指标

Table 2 Thermal performance of standard model's envelope

热工指标	传热系数/($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	太阳得热系数 SHGC	气密性/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)
外墙	0.5	—	—
屋顶	0.5	—	—
外窗	2.6	0.80	4.5
天窗	2.2	0.44	4.5

1.2 标准运行参数

为充分反映现阶段建筑运行的实际情况,标准模型的运行参数是根据实地调研数据及建筑暖通设计图纸确定的。表3列出了部分标准运行参数数据,其中包括气象参数、供暖制冷温度、新风量、照明和设备功率和人员密度。文中重点探讨被动设计在方案阶段降低建筑自身负荷需求的潜力,因此选用理想空调系统(ideal loads air system)作为暖通空调系统,其在计算用能强度时加热制冷的性能系数(COP, coefficient of performance)为1.0,即模拟结果不受空调系统等主动设备的影响^[5,16]。因此,文中的用能强度模拟值均反映了建筑单位面积供暖/制冷/全年的累计负荷。

表3 标准运行参数

Table 3 Standard operating parameters

运行参数	具体描述
气象参数	CHN_Beijing.Beijing.545110_CSWD.epw ^①
夏季运行温度/ $^{\circ}\text{C}$	步行街:17.8(-1F)/18.2(1F)/19.9(2F)/22.1(3F)/24.2(4F); 超市:24.0; 餐饮:23.4; 零售:24.1; 次主力店:21.3; 娱乐:25.0; KTV:22.8; 影院:24.0; 卫生间:20.0

续表3

运行参数	具体描述
冬季运行温度/ $^{\circ}\text{C}$	步行街: 24.5(-1F)/ 24.5(1F)/ 25.0(2F)/ 26.0(3F)/ 26.0(4F); 超市:25.8; 餐饮:24.0; 零售:26.0; 次主力店:24.2; 娱乐:25.8; KTV:24.2; 影院:25.0; 卫生间:26.0
新风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{p}^{-1})$	步行街:20; 超市:20; 餐饮:25; 零售:25; 次主力店:20; 娱乐:30; KTV:30; 影院:20
照明功率/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	步行街:4; 超市:5; 餐饮:21; 零售:24; 次主力店:24; 娱乐:24; KTV:14; 影院:10
设备功率/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	步行街:16; 超市:15; 餐饮:9; 零售:16; 次主力店:16; 娱乐:16; KTV:16; 影院:5; 卫生间:6
冬季供暖开启时间表	每年 11 月 15 日~3 月 15 日; 每天 10:00AM~10:00PM
夏季制冷开启时间表	每年 5 月 1 日~8 月 31 日; 每天 10:00AM~10:00PM
新风、照明、设备开启时间表	全年开启; 每天 10:00AM~10:00PM

注:①来自: <https://www.energyplus.net/weather>

1.3 标准模拟软件

以 Grasshopper 作为参数化建模软件,它是一个在 Rhino 环境下运行的通过算法生成模型的插件。图 2 是 3 种购物中心标准模型在 Rhino 中的几何形态。以 EnergyPlus 作为能耗模拟软件,它由美国能源部以及劳伦斯伯克利实验室共同开发,目前在能耗模拟研究中被广泛使用。在此,文章选取 Ladybug 和 Honeybee,一种连接 Grasshopper 与 EnergyPlus 进行能耗模拟的接口插件,实现 3 种标准模型在参数化平台下的能耗模拟。

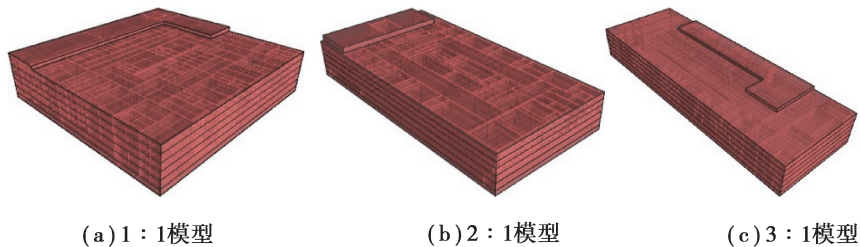


图 2 参数化建模

Fig. 2 Parametric modeling

1.4 标准被动设计参量

文章总结了方案阶段影响购物中心节能潜力的 24 个被动设计参量。表 4 描述了 24 个被动设计参量的基本情况,其中包括了场地环境的 3 个参量,建筑单体的 4 个参量以及围护结构的 17 个参量。

场地环境参量是指周边的城市建设情况以及场地内与其他功能建筑(室外步行街、高层建筑)的组合情况。建筑单体参量是指朝向及内部过渡空间。其中,内部过渡空间包括了入口空间、橱窗空间及走廊空间。入口空间主要位于建筑地面层,而人流进出造成门的频繁开启会导致室外风的灌入,因而影响建筑能耗;橱窗和走廊空间是指位于建筑最外层无需进行供暖及制冷的封闭空间,这 2 种空间可以有效减缓室外环境对室内环境的影响。对于围护结构参量,包括界面形式(窗墙比、窗顶比)、材料特性(传热系数、太阳得热系数及气密性等)以及构件特征(遮阳构件、表皮构件)3 个层面。

表 4 被动设计参量
Table 4 Passive design parameters

方面	被动设计参量	基准值	变化范围	单位
场地环境	选址	周边无环境	周边多层 / 周边高层 ^①	—
	街区组合 ^②	周边无环境	南/北/东/西侧室外步行街	—
	高层组合 ^③	周边无环境	南/北/东/西侧呈包含/相邻关系的高层	—
建筑单体	朝向 ^④	0	0~360	°
	入口风速 ^⑤	1.0	0.2~2.6	m/s
	橱窗空间 ^⑥	开敞式	封闭式	—
	走廊空间 ^⑦	贯通式	间断式	—
围护结构	东侧窗墙比	20	0~70 *	%
	西侧窗墙比	15	0~70 *	%
	南侧窗墙比	25	0~70 *	%
	北侧窗墙比	15	0~70 *	%
	天窗屋顶面积比	10	0~20 *	%
	外墙传热系数	0.5	0.1~0.6 *	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
	屋面传热系数	0.5	0.1~0.55 *	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
	外窗传热系数	2.6	0.8~3.0 *	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
	天窗传热系数	2.2	0.8~2.4 *	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
	外窗 SHGC	0.8	0.15~0.8 *	—
	天窗 SHGC	0.44	0.15~0.44 *	—
	外窗气密性	4.5	1.0~4.5 *	$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$
	天窗气密性	4.5	1.0~4.5 *	$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$
	双表皮幕墙	无	封闭/开敞式双表皮	—
	天窗遮阳	无	百叶/幕布内/外遮阳	—
	双表皮控制	无	冬季封闭夏季开启	—
天窗遮阳控制	无	冬季不遮阳夏季遮阳	—	

注:①周边建筑高 30 m (周边多层)/ 100 m (周边高层);

②在距离标准模型的南/北/东/西侧 20 m 远且高度为 20 m 的室外步行街;

③标准模型与一栋长宽高分别为 50 m、50 m、100 m 的高层建筑之间的组合模式;

④标准模型以顺时针方向旋转的角度;

⑤购物中心实际运行中入口风速的均值及变化区间分别作为入口风速的基准值以及变化范围。其中,入口的开口尺寸固定,均为 $10.8 m^2$ (2 (主要入口数量) $\times 1.8 m$ (双扇门宽) $\times 3.0 m$ (门高));

⑥1 层面向室外的橱窗空间;

⑦位于 2~4 层紧贴建筑外围护结构的辅助空间;

* 参考标准 GB 50189—2015^[17]。

2 标准模拟结果分析

文章首先针对 3 种标准模型进行模拟,得到了模型在不改变任何设计参量下用能强度的基准值,该基准值是评估不同被动设计参量节能潜力大小的基准参考。表 5 是 3 种标准模型分别在供暖、制冷和全年情况下用能强度的模拟结果。其中,3 种标准模型单位面积的供暖需求在 $62.25 \sim 71.17 \text{ kWh/m}^2$ 之间,制冷需求

在 106.43~113.99 kWh/m²之间,其整体用能强度在 168.68 ~185.16 kWh/m²之间。可以看出,2:1模型的整体用能强度在 3 种模型中最低,说明了该形态及内部空间组合下的购物中心在寒冷地区具有更优的建筑性能。另外,3 种模型的制冷基准值均高于供暖基准值,这是因为购物中心的人员密度大、内热源较多,从而导致建筑自身具有较大的产热能力。

表 5 3 种标准模型基准值
Table 5 Baseline of three standard models kWh · m⁻²

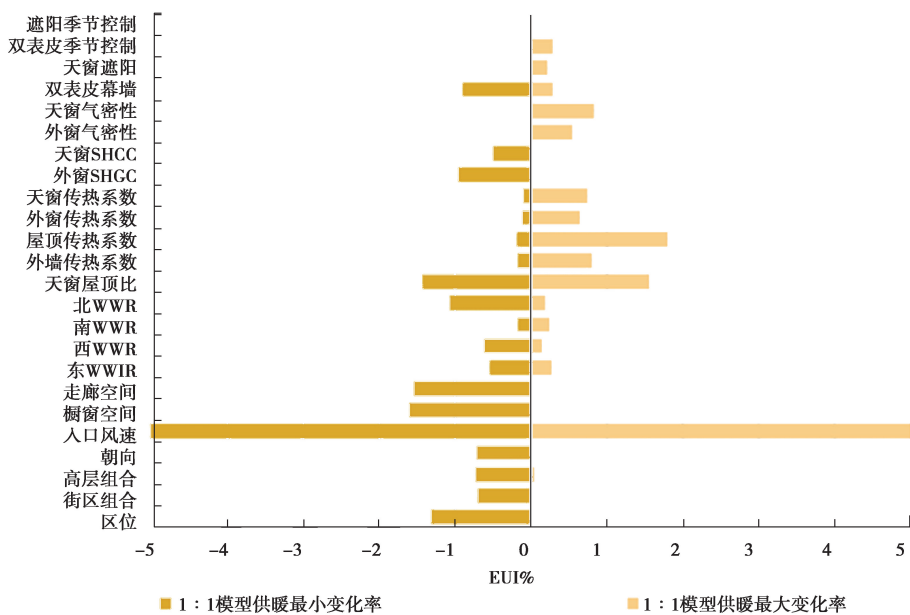
标准模型	用能强度		
	供暖	制冷	全年
1:1模型	62.98	110.57	173.56
2:1模型	62.25	106.43	168.68
3:1模型	71.17	113.99	185.16

3 被动设计节能潜力

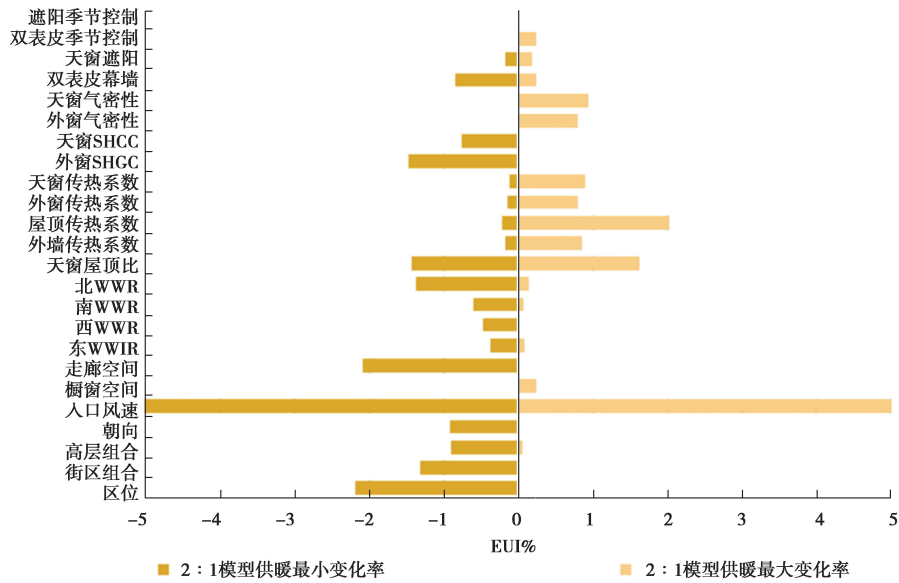
本节得到了 24 个被动设计参量在 3 种模型中用能强度的模拟结果,并与 3 种模型的基准值(表 5)进行对比,总结出各个被动参量分别在供暖、制冷及综合情况下的节能潜力。

3.1 供暖节能潜力分析

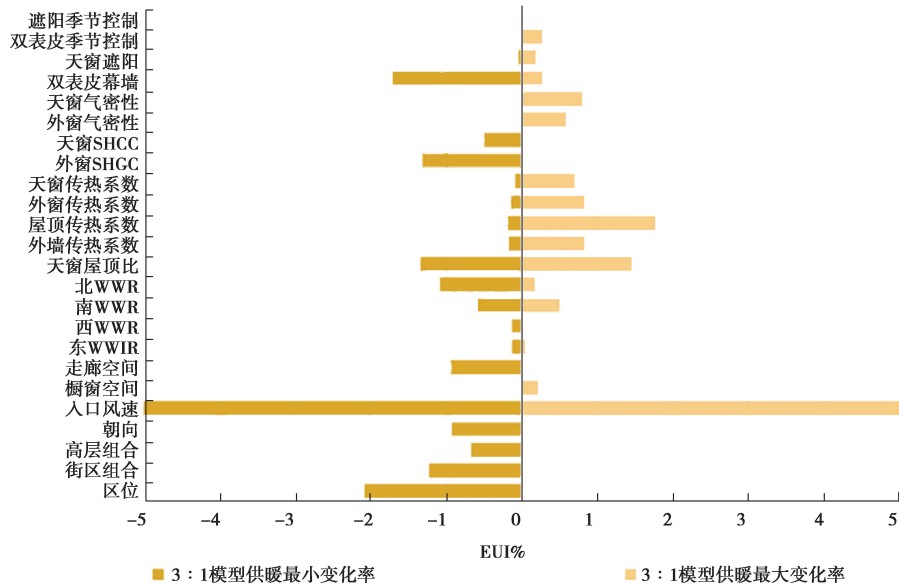
图 3 是 24 个被动设计参量分别在 3 种模型中供暖用能强度的最大最小变化率。结果表明,对于 1:1 模型(图 3 (a)),供暖用能强度影响最大的前 5 个被动设计参量依次为:入口风速、天窗屋顶比、屋顶传热系数、橱窗空间、走廊空间,其变化范围绝对值分别为 49.49%、2.99%、1.99%、1.61%、1.54%;对于 2:1 模型(图 3 (b)),供暖用能强度影响最大的前 5 个被动设计参量依次为:入口风速、天窗屋顶比、屋顶传热系数、区位、走廊空间,其变化范围绝对值分别为 52.42%、3.06%、2.25%、2.19%、2.08%;对于 3:1 模型(图 3 (c)),供暖用能强度影响最大的前 5 个被动设计参量依次为:入口风速、天窗屋顶比、区位、双表皮幕墙、屋顶传热系数,其变化范围绝对值分别为 52.66%、2.80%、2.09%、1.99%、1.95%。综上可知,入口风速、天窗屋顶比、屋顶传热系数在 3 种模型中的排名均位于前 5,说明以上 3 个参量对寒冷地区购物中心供暖用能强度具有显著影响。



(a) 1:1模型



(b) 2:1模型



(c) 3:1模型

图 3 被动设计参量在供暖用能强度中的最大最小变化率

Fig. 3 The maximum and minimum percent change of passive design parameters in heating energy intensity

为进一步探索 3 种比例模型节能潜力的异同,图 4 对 3 种模型 24 个被动设计参量的供暖节能潜力进行排序,其中,横坐标以 2:1 模型供暖节能潜力从大到小依次排列。结果表明,部分被动设计参量在 3 种比例模型中的供暖节能潜力排序有差异。具体来说,走廊空间的供暖节能潜力在 3:1 模型中的排序明显比其他 2 种比例模型靠后;街区组合对 1:1 模型的供暖节能潜力影响更小;双表皮幕墙、南侧窗墙比在 3:1 模型中有着更高的供暖节能潜力;东侧窗墙比和橱窗空间则在 1:1 模型中有着更高的供暖节能潜力。

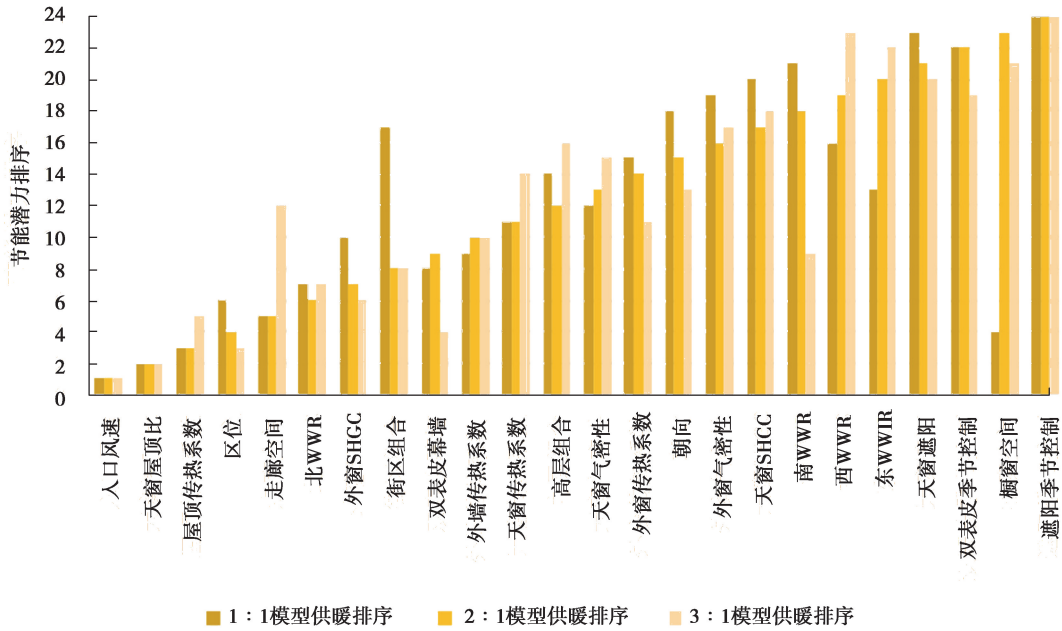
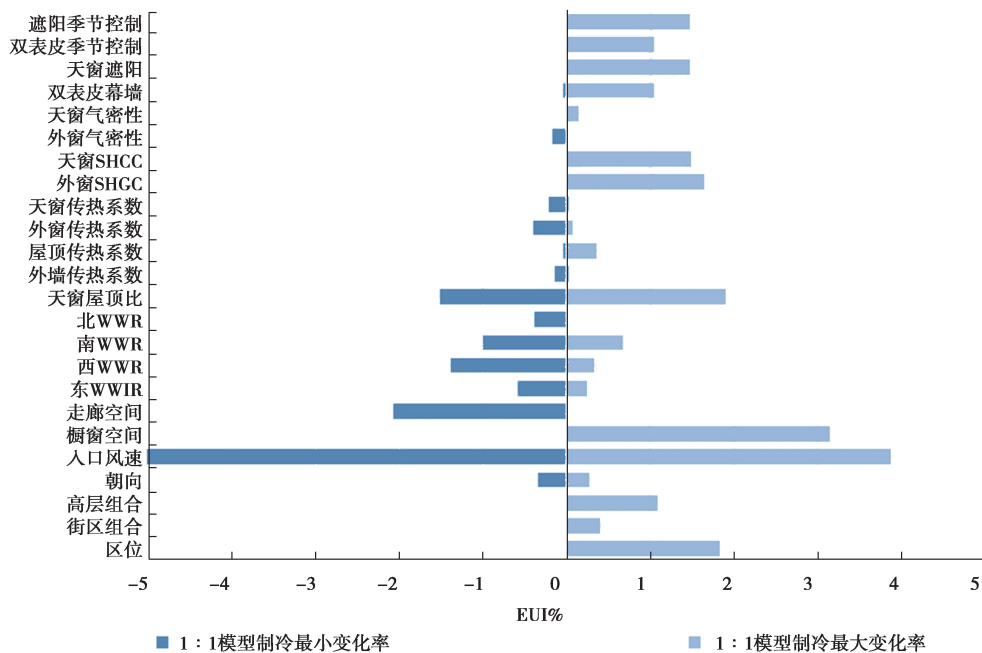


图 4 供暖节能潜力排序

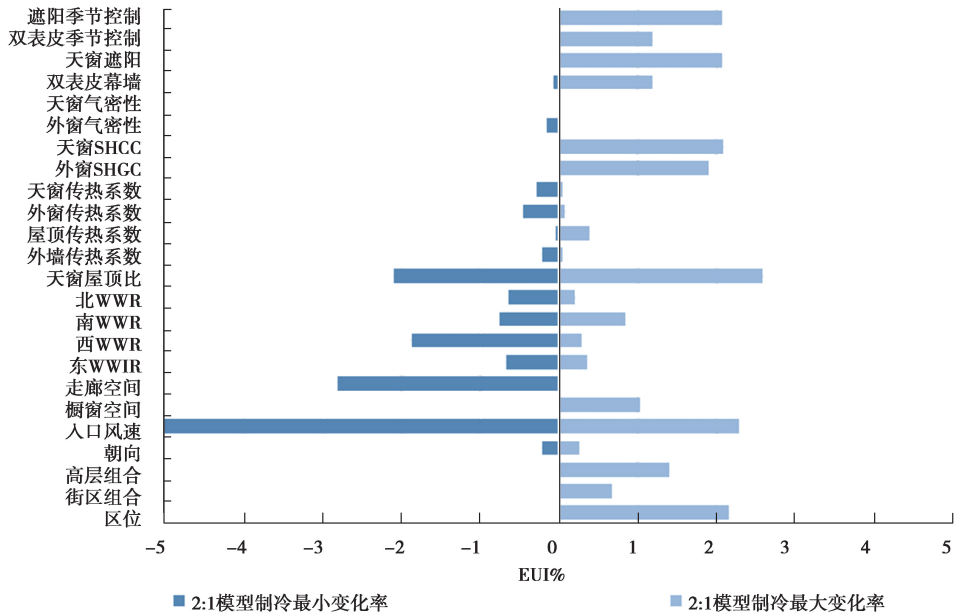
Fig. 4 Sorting of energy saving potential for heating

3.2 制冷节能潜力分析

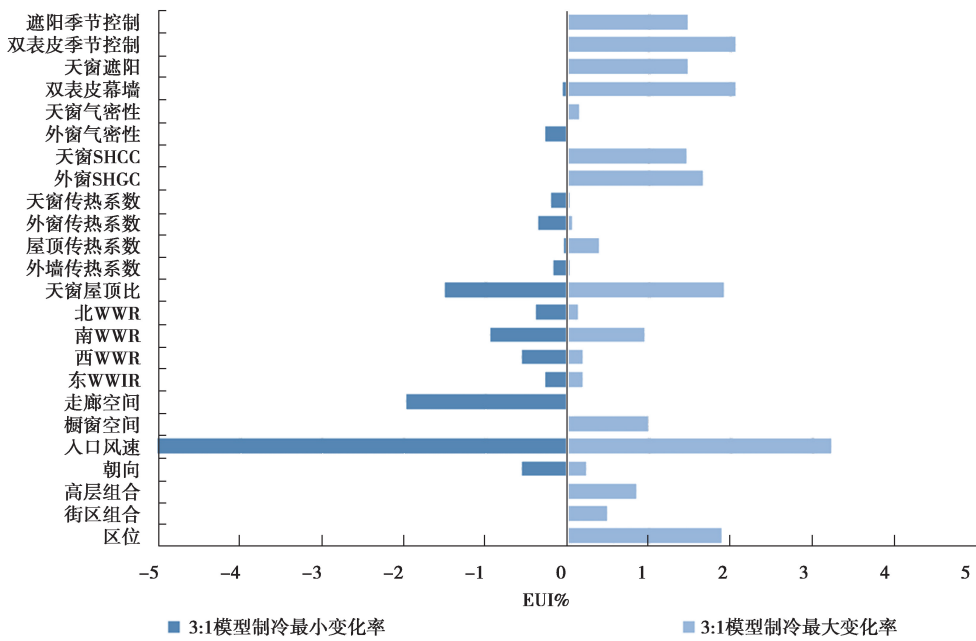
图 5 是 24 个被动设计参量在 3 种模型中制冷用能强度的最大最小变化率。结果表明,对于 1 : 1 模型 (图 5 (a)), 制冷用能强度影响最大的前 5 个被动设计参量依次为: 入口风速、天窗屋顶比、双表皮幕墙、双表皮季节控制、走廊空间, 其变化范围绝对值分别为 11.35%、3.41%、2.12%、2.06%、1.97%; 对于 2 : 1 模型 (图 5 (b)), 制冷用能强度影响最大的前 5 个被动设计参量依次为: 入口风速、天窗屋顶比、走廊空间、区位、西侧窗墙比, 其变化范围绝对值分别为 8.13%、4.68%、2.81%、2.16%、2.16%; 对于 3 : 1 模型 (图 5 (c)), 制冷用能强度影响最大的前 5 个被动设计参量依次为: 入口风速、天窗屋顶比、双表皮幕墙、双表皮季节控制、走廊空间, 其变化范围绝对值分别为 11.35%、3.41%、2.12%、2.06%、1.97%。综上可知, 入口风速、天窗屋顶比、走廊空间在 3 种模型中的排名均位于前 5, 说明以上 3 个参量对寒冷地区购物中心制冷用能强度具有显著影响。



(a) 1 : 1 模型



(b) 2:1模型



(c) 3:1模型

图 5 被动设计参量在制冷用能强度中的最大最小变化率

Fig. 5 The maximum and minimum percent change of passive design parameters in cooling energy intensity

图 6 对 3 种模型 24 个被动设计参量的制冷节能潜力进行排序,其中,横坐标同样是以 2:1 模型制冷节能潜力从大到小依次排列的。结果表明,部分参量的制冷节能潜力排序在 3 种模型中也存在差异。具体讲,西侧窗墙比的制冷节能潜力在 3:1 模型中的排序明显比其他 2 种比例模型靠后;双表皮幕墙、双表皮季节控制在 3:1 模型中有着更高的制冷节能潜力;橱窗空间则在 1:1 模型中有着更高的制冷节能潜力。

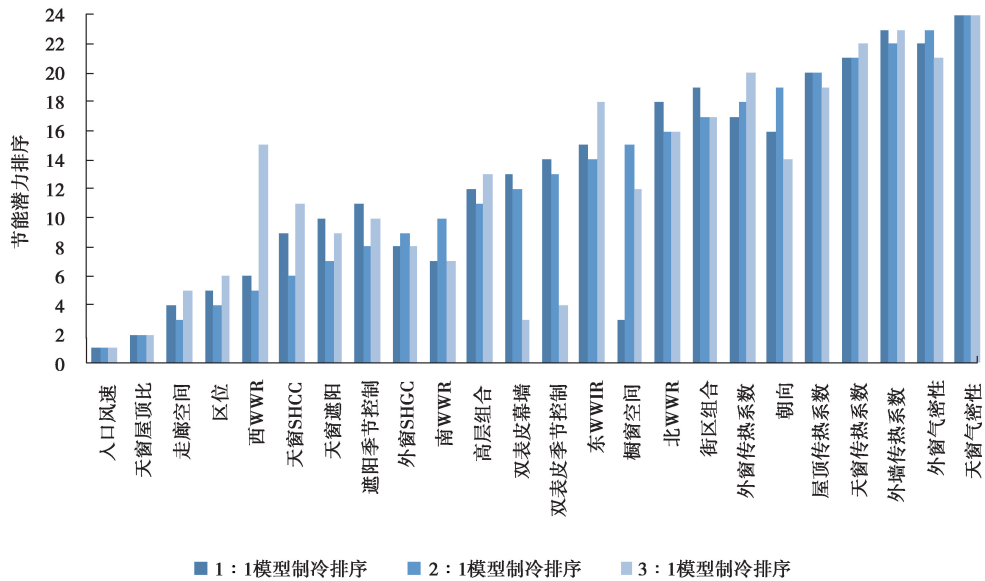


图 6 制冷节能潜力排序

Fig. 6 Sorting of energy saving potential for cooling

3.3 节能潜力综合评价

为获得每个被动设计参量对用能强度的综合影响,表 6 汇总了 24 个参量在 3 种模型中用能强度的综合影响力。排序结果表明,入口风速、走廊空间、天窗面积比、屋面传热系数 4 个参量在 3 种模型中用能强度的节能潜力均位于前 5。其中,入口风速的影响最大,变化范围绝对值为 60.55%~64.01%;天窗面积比为 6.21%~7.74%;走廊空间和屋面传热系数的变化范围绝对值为 2%~5%。因此,这 4 个参量是影响寒冷地区购物中心节能潜力的重要因素。另外,部分被动设计参量在 3 种比例模型中的节能潜力存在差异。从排序结果可知,东侧窗墙比和西侧窗墙比在 1:1 和 2:1 模型中的影响力更大;朝向和双层表皮控制在 3:1 模型中的影响力更大。

表 6 用能强度的节能潜力及其排序

Table 6 Energy-saving potential and ranking of energy use intensity

被动设计参量	变化范围绝对值/%			排序		
	1:1模型	2:1模型	3:1模型	1:1模型	2:1模型	3:1模型
选址	0.51	0.03	0.22	21	24	24
街区组合	0.71	0.92	0.92	17	16	13
高层组合	1.07	1.23	0.80	13	13	15
朝向	0.64	0.84	1.14	19	17	10
入口风速	61.92	60.55	64.01	1	1	1
橱窗空间	1.54	1.26	1.20	8	12	9
走廊空间	3.61	4.90	2.92	3	3	3
东侧窗墙比	1.64	1.48	0.63	7	9	18
西侧窗墙比	2.46	2.65	0.88	4	5	14
南侧窗墙比	1.26	0.99	0.80	12	14	16
北侧窗墙比	1.66	2.35	1.78	6	6	6

续表6

被动设计参量	变化范围绝对值/%			排序		
	1:1模型	2:1模型	3:1模型	1:1模型	2:1模型	3:1模型
天窗屋顶面积比	6.41	7.74	6.21	2	2	2
外窗传热系数	0.80	0.78	0.78	16	18	17
屋面传热系数	2.39	2.68	2.39	5	4	4
外窗传热系数	0.31	0.42	0.55	23	22	20
天窗传热系数	0.60	0.69	0.58	20	19	19
外窗 SHGC	0.69	0.44	0.38	18	21	21
天窗 SHGC	0.99	1.33	0.96	14	11	11
外窗气密性	0.38	0.64	0.32	22	20	23
天窗气密性	0.96	0.95	0.93	15	15	12
双表皮幕墙	0.23	0.34	0.35	24	23	22
天窗遮阳	1.50	1.97	1.40	10	8	8
双表皮控制	1.32	1.43	2.34	11	10	5
天窗遮阳控制	1.50	2.07	1.48	9	7	7

4 结 论

文中通过标准化的模拟方法,全面分析了中国寒冷地区购物中心在方案阶段被动设计的节能潜力。得到不同被动设计参量在供暖、制冷及整体的节能变化量及节能潜力较大的被动设计参量。具体结论如下:

1)从3种标准模型的模拟结果可知,3种标准模型单位面积的供暖需求为62.25~71.17 kWh/m²,制冷需求为106.43~113.99 kWh/m²。寒冷地区购物中心因内热源较多,其制冷需求普遍高于对供暖的需求。

2)从供暖和制冷的节能潜力来看,入口风速、天窗屋顶比、屋顶传热系数对3种模型的供暖节能潜力影响较大,影响力分别可高达52.66%、3.06%、2.25%;入口风速、天窗屋顶比、走廊空间对3种模型的制冷节能潜力影响较大,影响力分别可高达11.35%、4.68%、2.81%。

3)从节能潜力的综合评价可知,入口风速、走廊空间、天窗面积比和屋面传热系数对3种模型均具有显著的影响力,影响力分别可高达64.01%、4.90%、7.74%、2.68%。因此,从降低入口风速、采用贯通的走廊形式、在满足采光的同时减少天窗面积、增强屋面的保温性能4个方面进行优化设计,对寒冷地区购物中心建筑性能会具有显著提升。

4)个别参量在3种模型中的节能潜力也存在差异。其中,东侧、西侧窗墙比对1:1和2:1模型的影响力更大,朝向和双层表皮控制对3:1模型的影响力更大。因此,对不同空间形式的购物中心在选择重要被动设计参量上需要分别对待。

文章以寒冷地区购物中心为例,提出一种适用于大型公共建筑在方案阶段的标准化模拟方法,对其他气候区及建筑类型的标准化模拟具有一定的指导价值。同时,标准化的模拟结果全面反映了寒冷地区购物中心在被动节能方面的绿色性能,是对现阶段寒冷地区大型公共建筑绿色性能数据库的有效补充。另外,被动设计参量在不同条件下的重要性排序,有利于设计师在方案设计阶段把握节能设计的重点,从而开展合理的节能优化设计。

参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2018——公共建筑[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
Building Energy Conservation Research Center, Tsinghua University. 2018 annual report on China building energy efficiency-public building[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018. (in Chinese)
- [2] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2014——公共建筑[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Building Energy Conservation Research Center, Tsinghua University. 2014 annual report on China building energy efficiency-public building[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014. (in Chinese)
- [3] Sadineni S B, Madala S, Boehm R F. Passive building energy savings: a review of building envelope components[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(8): 3617-3631.
- [4] Rodriguez-Ubinas E, Montero C, Porteros M, et al. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 83: 10-22.
- [5] Gou S, Nik V M, Scartezini J, et al. Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand[J]. *Energy and Buildings*, 2018, 169: 484-506.
- [6] Chen X, Yang H, Lu L. A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 50: 1425-1436.
- [7] Feist W, Schnieders J, Dorer V, et al. Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept[J]. *Energy and Buildings*, 2005, 37(11): 1186-1203.
- [8] Badescu V, Laaser N, Crutescu R, et al. Modeling, validation and time-dependent simulation of the first large passive building in Romania[J]. *Renewable Energy*, 2011, 36(1): 142-157.
- [9] Breesch H, Janssens A. Performance evaluation of passive cooling in office buildings based on uncertainty and sensitivity analysis[J]. *Solar Energy*, 2010, 84(8): 1453-1467.
- [10] Konis K, Gamas A, Kensek K. Passive performance and building form: an optimization framework for early-stage design support[J]. *Solar Energy*, 2016, 125: 161-179.
- [11] Morrissey J, Moore T, Horne R E. Affordable passive solar design in a temperate climate: an experiment in residential building orientation[J]. *Renewable Energy*, 2011, 36(2): 568-577.
- [12] Carrilho Da Graça G, Martins N R, Horta C S. Thermal and airflow simulation of a naturally ventilated shopping mall [J]. *Energy and Buildings*, 2012, 50: 177-188.
- [13] Wang F, Pichatwatana K, Roaf S, et al. Developing a weather responsive internal shading system for atrium spaces of a commercial building in tropical climates[J]. *Building and Environment*, 2014, 71: 259-274.
- [14] Kovac M, Kovacova K. Simulation of energy demand for HVAC in a shopping centre-case study[J]. *Energy Procedia*, 2015, 78: 1105-1110.
- [15] Lv Y, Peng H, He M, et al. Definition of typical commercial building for South China's Pearl River Delta: local data statistics and model development[J]. *Energy and Buildings*, 2019, 190: 119-131.
- [16] Samuelson H, Claussnitzer S, Goyal A, et al. Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts[J]. *Building and Environment*, 2016, 101: 19-31.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50189—2015 公共建筑节能设计标准[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: GB 50189—2015[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015. (in Chinese)