

以能耗为导向的近零能耗建筑围护结构设计 参数敏感性分析

冯国会,徐小龙,王悦,王楷然

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 确定近零能耗建筑围护结构设计关键参数对能耗的影响程度、优化范围,以便于设计师在方案阶段进行建筑性能化设计,实现更好的节能效益. 方法 以沈阳建筑大学近零能耗居住建筑示范中心为例,建立严寒地区近零能耗居住建筑模型;以能耗值为约束目标,通过节能率及敏感性分析方法两方面对外墙传热系数、屋面传热系数、外窗传热系数及南向窗墙比等4个关键参数进行评价. 结果 建筑年供暖需求能耗为 $17.42 \text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 、建筑全年总能耗为 $53.93 \text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,设计参数对能耗的影响程度从大到小依次是窗墙比(供冷能耗),外窗传热系数,外墙传热系数,窗墙比(供热能耗),屋面传热系数. 结论 近零能耗建筑关键设计参数的取值应该综合考虑当地气候及技术经济条件,采用以建筑能耗值为控制目标的性能化设计方法.

关键词 近零能耗建筑;围护结构;敏感度分析;节能率

中图分类号 TU201.5

文献标志码 A

Sensitivity Analysis of Nearly Zero Energy Buildings Envelope Design Parameters Based on Energy Consumption

FENG Guohui, XU Xiaolong, WANG Yue, WANG Kairan

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: This paper studies the influence of key parameters of nearly zero energy buildings enclosure structure design on energy consumption. Sensitivity analysis and range of parameters allow designers to perform architectural performance design during the project phase. A building model in severe cold region was established based on nearly zero energy residential building demonstration center of Shenyang Jianzhu University. With energy consumption as the constraint goal, energy efficiency and sensitivity analysis methods were used to evaluate four key parameters such as external wall heat transfer coefficient, roof heat transfer coefficient, external window heat transfer coef-

收稿日期:2018-04-19

基金项目:国家自然科学基金项目(51778376);沈阳市科技局项目(17-52-1-00)

作者简介:冯国会(1964—),男,教授,博士,主要从事建筑节能及新能源利用方面研究.

ficient, and southward window-wall ratio. The annual heating demand for buildings is $17.42 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, and the total energy consumption for the whole year of the building is $53.93 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. The influence degree of design parameters on energy consumption is sorted as follows, window-to-wall ratio (cooling energy consumption), window heat transfer coefficient, exterior wall heat transfer coefficient, window-to-wall ratio (heating energy consumption), and the last one is roof heat transfer coefficient. The value of key design parameters for nearly zero energy buildings should take into account the local climate and technical economic conditions. When a performance-based design method with the goal of building energy consumption is adopted. Methods should be designed for performance with building energy consumption as the control target.

Key words: nearly zero energy buildings; envelop enclosure; sensitivity analysis; energy saving rate

中国建筑节能协会在上海发布的《中国建筑能耗研究报告(2017年)》^[1]指出:建筑领域绿色低碳发展是实现“美丽中国”目标的重要途径。作为应对全球气候变化和确保能源安全的重要措施,推动建筑物不断迈向超低能耗、近零能耗、零能耗,得到了世界各国的广泛关注。近零能耗建筑^[2]是指适应气候特征和自然条件,通过保温隔热性能和气密性能更高的围护结构,采用高效新风热回收技术,最大限度地降低建筑供暖供冷需求,并充分利用可再生能源,以更少的能源消耗提供舒适室内环境并能满足绿色建筑基本要求的建筑。欧盟2010年7月修订《建筑能效指令》,要求在2020年12月31日后,所有新建建筑达到“近零能耗”。我国也已在中德、中美等国际合作中,建立试点项目^[3]。

近零能耗建筑的实现,设计是重要的环节。现有设计标准大多分散在各专业标准体系中,多数节能条款嵌入分专业的技术标准,导致众多孤立节能技术的堆砌,并不能实现预期节能效果。对建筑进行节能设计越早越好,所带来的节能效益也越高^[4]。P. D. Wilde^[5]调研了67座建筑、303项建筑节能技术中,超过50%是需要方案在设计阶段实施的。E. MUSALL等^[6]应用较多的节能设计是高性能围护结构,机械通风热回收,自然采光、遮阳等。K. M. S. CHVATAL等^[7]研究了建筑围护结构保温层厚度的增加对建筑热性能的影响。N. DAOUAS^[8]研究发现外墙的

朝向对于保温层厚度的优化影响较小,但是对节能效果有很大的影响。M. THALFELD等^[9]研究了寒冷气候区 Estoni 近零能耗建筑成本最优、节能效果最好的设计方案,最终得出能效和经济性双优的方案为保温厚度200 mm,三层 Low-E 玻璃东、南、西窗墙比23.9%,北向窗墙比37.5%。

对于应用方案阶段的性能化设计来指导工程实践,国内也做过大量研究。王学宛等^[10]通过分析国内外超低能耗建筑设计方法,提炼出关键参数限额法、双向交叉平衡法和经济环境决策法。X. GONG等^[11]在中国选取了25个具有代表性的城市进行被动式设计的优化分析,得出被动式设计策略可以大幅降低建筑冬季采暖负荷,在高太阳能辐射地区可替代冬季供暖系统;赵倩倩^[12]基于正交试验设计采用BIM模拟软件进行能耗模拟,用matlab进行数据分析,得出建筑节能设计优化方案。胡松涛等^[13]以青岛地区一个典型办公建筑为例,采用DesT进行建筑能耗的模拟,从能耗的角度确定不同朝向和窗墙比优化范围。张时聪^[14]、周思雨^[15]等指出了实现零能耗建筑/近零能耗建筑的关键技术措施在于:包含有体形系数、遮阳方式、自然通风、采光的被动式设计;高性能的围护结构;能源系统。

笔者以沈阳建筑大学近零能耗居住建筑示范中心为例,根据实际应用的围护结构热工参数建立严寒地区近零能耗居住建筑模

型,以能耗值为约束目标,结合敏感性分析方法确定围护结构设计关键参数对能耗的影响程度、优化范围,以便于设计师在方案阶段对于近零能耗建筑进行性能化设计,实现更好的节能效益。

1 基准建筑模型的建立

1.1 建筑基础信息

沈阳建筑大学近零能耗居住建筑示范中心(简称示范建筑)是一座矩形的二层建筑,示范建筑立足严寒地区气候特征,建筑位于沈阳建筑大学校园内,建筑外观图如图1所示。屋面形状为平屋面。房屋结构体系为H型钢结构,钢筋混凝土独立基础,外墙采用钢龙骨装配整体式聚苯颗粒泡沫混凝土复合外保温技术。建筑体形系数为0.54;建筑长×宽×高为18 m×8.4 m×6.9 m;建筑面积为302.4 m²。该建筑共有两层,无地下室,第一层层高3.3 m,用来做住宅示范,房间功能分为卧室、厨房、设备机房、控制室、展厅以及卫生间;第二层层高3.6 m,分为开场办公区、办公室以及卫生间,主要用来做科研办公。



图1 沈阳建筑大学近零能耗居住建筑示范中心外观图

Fig. 1 Overview of nearly zero energy building from Shenyang Jianzhu University

根据示范建筑基础信息在软件 Sketch-Up 中建立与实际建筑相对应的模型。将物理

模型导入到 OpenStudio 中,并根据围护结构的组成材料和相应材料的热工参数,完成由外到内围护结构的逐层设定。其中,外墙保温材料为300 mm厚的石墨聚苯乙烯保温板,综合传热系数为0.10 W/(m²·K);屋面保温材料为280 mm厚的挤塑聚苯乙烯保温板,综合传热系数为0.09 W/(m²·K);地面保温材料为240 mm厚的挤塑聚苯乙烯保温板,综合传热系数为0.11 W/(m²·K)。

示范建筑外围护结构的热工性能参数已达到《被动式超低能耗绿色建筑技术导则》(以下简称“技术导则”)中规定的严寒地区围护结构平均传热系数参考值。技术导则中规定严寒地区外墙、屋面的平均传热系数为0.10~0.20 W/(m²·K);地面平均传热系数为0.10~0.25 W/(m²·K);外窗平均传热系数为0.70~1.20 W/(m²·K)。参照技术导则,室内热扰作如下设定:照明功率密度值取3 W/m²;除照明外的建筑内部得热取2 W/m²。

1.2 能源系统设计

示范建筑供热采暖系统分为两部分:太阳能供热采暖系统承担部分负荷,末端为毛细管网;并供给建筑的生活热水。地源热泵系统承担冬季大部分供热负荷,末端为地热盘管。夏季供冷负荷均由地源热泵系统承担,末端为风机盘管。另外,根据近零能耗建筑关键技术要素的要求设置带有高效热回收的新风换气系统。在 OpenStudio 中建立暖通空调系统以及控制策略,主要分为空气环路(Air Loop)和设备环路(Plant Loop)。对于设备环路(Plant Loop),共包括热水环路、冷水环路以及水源侧环路(包括供热、供冷两个环路)三大部分。

2 基准建筑的能耗模拟分析

将 Openstudio 设置的模型导入 Energy-Plus 中运行,气象参数选择 ASHRAE 中的 ShenYang,进行示范建筑的能耗模拟,模拟

结果如表1所示.

表1 基准建筑能耗统计

Table 1 Energy consumption summary of benchmark building

统计分类	分项能耗/(kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)	占总能耗比例/%
供热	17.42	32.31
供冷	9.77	18.12
照明	8.62	15.97
设备	8.43	15.63
风机	2.34	4.34
水泵	4.81	8.92
新风热回收	2.54	4.70

技术导则中规定了近零能耗建筑能耗指标:严寒地区供暖需求不超过18 kW·h/(m²·a),总能耗不超过60 kW·h/(m²·a).从表1可以看出该建筑的供暖需求能耗为17.42 kW·h/(m²·a);总能耗为53.93 kW·h/(m²·a),均满足能耗指标要求.在总能耗中供热能耗占全年总能耗的32.31%,占主导地位;其次是供冷、照明、设备能耗,这三者相差不多,最后是新风热回收和风机能耗,不超过5%.供暖期室内逐时温度分布(以开敞办公区为例)如图2所示,可见该示范建筑在满足节能效果的同时,供暖季最冷月份室内温度达到18~22℃,达到室内环境参数要求.

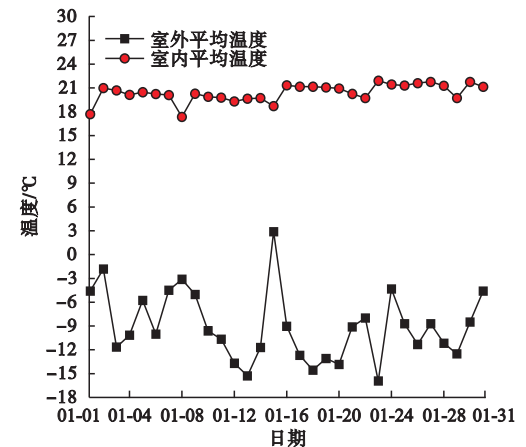


图2 供暖季1月份室内外平均温度对比
Fig. 2 Comparison of indoor temperature and outdoor temperature during January in the heating season

3 性能参数的变化对建筑能耗的影响分析

近零能耗建筑设计关键技术要素包含:具有良好保温隔热性能的围护结构;无热桥的设计及施工;良好的气密性;高效新风热回收系统以及可再生能源应用.其中,针对良好保温隔热性能的围护结构涉及以下关键设计参数:外墙、屋面及地面的平均传热系数,外窗保温和遮阳性能,窗墙面积比等.下面根据EnergyPlus 能耗模拟的结果分析上述部分参数对建筑能耗的影响.

敏感性分析^[16]就是假设模型表示为 $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (x_i 为模型的第 i 个影响因素值),令每个影响因素在可能的取值内发生变化,从定量分析的角度研究和预测这些影响因素的变化对某一个或者一组评价指标的影响.评价指标对不确定因素的敏感程度称为敏感度系数.式(1)是参数敏感度系数 S 的计算公式^[17],在保持其他参数不变的情况下,改变 e_i 参数的微小扰动值可以计算 S :

$$S = \frac{M(e_1, \dots, e_i + \Delta e_i, \dots, e_p) - M(e_1, \dots, e_i, \dots, e_p)}{M(e_1, \dots, e_i, \dots, e_p)} \cdot \frac{\Delta e_i}{e_i} \quad (1)$$

式中: M 为模型输出; e_i 为不同的模型参数; Δe_i 为 e_i 参数的微小扰动.

3.1 外墙传热系数

对于非透明围护结构:外墙、屋面、地面,是以改变保温层厚度来获得设计传热系数值,保温厚度太小,传热系数增大会造成更大的建筑热损失;保温层厚度过大,则会增大经济投入.参考技术导则中对于围护结构传热系数的要求,设定保温厚度为140~400 mm,模拟变量步长为20 mm,对应的外墙传热系数为0.189~0.079 W/(m²·K),屋面传热系数为0.164~0.065 W/(m²·K),对围护结构

传热系数展开模拟分析.

在寒冷和严寒地区,最重要的性能就是建筑必须拥有极好的保温.改善保温不仅仅意味着减少能耗,同时意味着冬季实现高的室内表面温度,在夏季实现低的表面温度.由此可以提高舒适度(辐射型小气候),减少内表面结露的可能性.能耗随外墙保温层厚度变化曲线如图3所示.

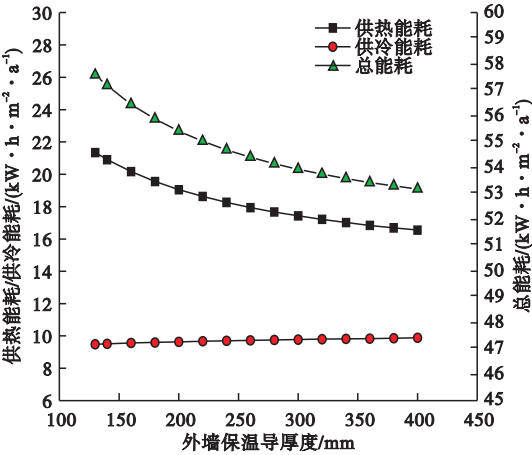


图3 能耗随外墙保温层厚度变化曲线

Fig.3 Curve of energy consumption with variety of external wall thickness

从图3可以看出,围护结构保温层厚度从140 mm增加至400 mm,传热系数降低,供热能耗与总能耗呈现明显的下降趋势,供冷能耗变化不大.这是因为围护结构传热系数降低,减少了围护结构的基本耗热量.当保温厚度小于260 mm时,供热能耗超出技术导则中规定的严寒地区近零能耗建筑年供暖需求18 kW·h/(m²·a)的标准;当外墙保温层厚度大于320 mm时,能耗变化趋于平稳,节能效果不显著,此时再增加保温层厚度会增加建造成本.因此,在综合考虑技术导则规定的围护结构传热系数参考值、实际节能效果与经济性的前提下,严寒地区近零能耗建筑外墙保温材料可以选择260~320 mm厚石墨聚苯乙烯保温板.

从节能率方面考虑,外墙传热系数与节能率及敏感度系数的关系见图4所示.由图

可知,外墙传热系数在0.189~0.079 W/(m²·K)变化时,其节能率在-6.018%~1.408%内变化;节能潜力随着传热系数的减小而减小.从敏感性分析角度考虑,当外墙传热系数从0.189 W/(m²·K)逐步变化至0.079 W/(m²·K)过程中,敏感度系数分布在0.071~0.062.

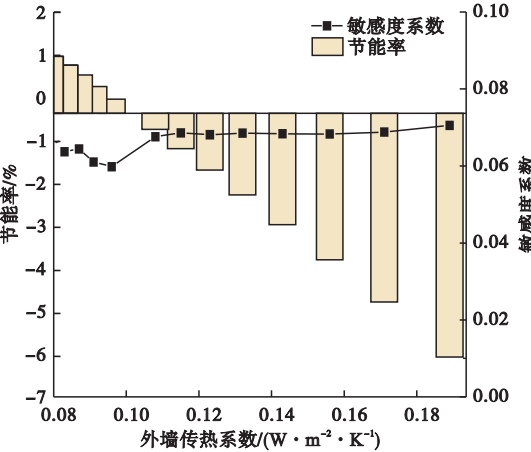


图4 外墙传热系数与节能率及敏感度系数的关系
Fig.4 Relationship between heat transfer coefficient of external wall,energy saving rate and sensitivity coefficient

3.2 屋面传热系数

能耗随屋面保温层厚度变化曲线如图5所示.

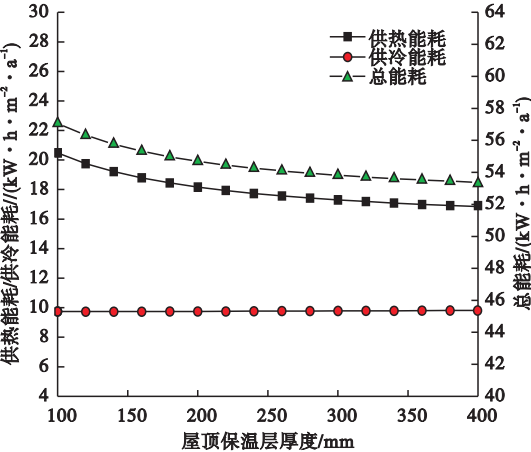


图5 能耗随屋面保温层厚度变化曲线图

Fig.5 Curve of energy consumption with variety of roof insulation thickness

由图5可知,屋面保温厚度不断增加时,供热、总能耗也是减小的,且变化趋势也是相

近并趋于平缓,屋面保温厚度对冬季供暖的影响大于夏季供冷。但是保温厚度小于220 mm时,供热能耗大于18 kW·h/(m²·a)超标,大于300 mm时,能耗下降不明显。在综合考虑技术导则规定的围护结构传热系数参考值、实际节能效果与经济性的前提下,严寒地区近零能耗建筑屋面保温材料可以选择220~300 mm厚挤塑聚苯乙烯保温板。

从节能率方面考虑,屋面传热系数与节能率及敏感度系数的关系如图6所示。

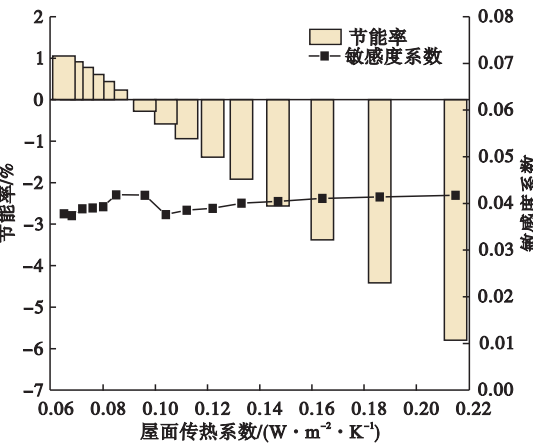


图6 屋面传热系数与节能率及敏感度系数的关系

(m²·K)过程中,敏感度系数分布在0.041~0.038;敏感度系数小于外墙,说明该属性对能耗的影响程度比外墙传热系数要小。

3.3 外窗传热系数

外窗是实现夏季工况得热最小化,冬季工况避免传输热损失的关键部位。外窗是节能建筑设计的一个薄弱构件,其传热系数是外墙、屋面、地面等非透明围护结构的数倍。降低外窗的传热系数、限制窗户的面积可以减少窗户引起的热损失,但也造成采光不足、太阳辐射得热不能充分利用。并且,如果窗户没有良好的热工性能会导致窗户内表面温度过低,形成冷气层,影响室内舒适度、滋生霉菌等。所以外窗的传热系数、窗墙比、太阳得热系数等关键设计参数也需要进行性能化设计方法的优化。最大限度地降低建筑的供暖供冷需求。

技术导则中规定严寒地区外窗传热系数为0.70~1.20 W/(m²·K),太阳得热系数冬季不小于0.50,夏季不大于0.30;近零能耗建筑外窗的热工性能比传统建筑外窗热工性能要好很多。外窗传热系数在0.6~1.1 W/(m²·K)变化时,供热能耗、供冷能耗以及总能耗均在技术导则规定的范围内(见表2)。从节能率方面考虑(见图7),其节能率在4.269%~0.926%内变化;从敏感性分析角度考虑,敏感度系数分布在0.107~0.093;外窗传热系数对能耗的敏感度系数与外墙和屋面相比大很多,就围护结构传热损失而言凸显了外窗是围护结构的薄弱环节。

表2 不同外窗传热系数下建筑采暖供冷能耗模拟结果

Table 2 Heating/cooling energy consumption simulation results with variety of window heat transfer coefficient

编号	外窗传热系数/ (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	供热能耗/ (kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)	供冷能耗/ (kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)	总能耗/ (kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)
win1	0.6	15.98	9.12	51.64
win2	0.8	16.86	9.01	52.38
win3	0.9	17.27	9.08	52.90
win4	1.0	17.43	9.77	53.94
win5	1.1	17.68	9.96	54.44

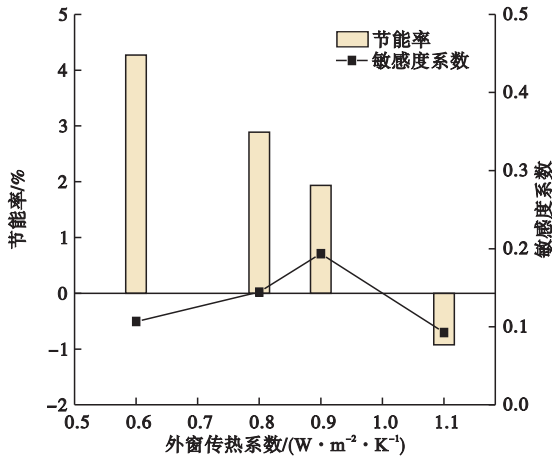


图7 外窗传热系数与节能率及敏感度系数的关系

Fig. 7 Relationship between window heat transfer coefficient, energy-saving rate and sensitivity coefficient

3.4 窗墙比

窗墙比的节能优化首先需考虑采光标准对窗墙比的要求.《住宅设计规范》(GB 50096—2011)中规定居住建筑卧室、起居室(厅)、厨房的采光系数不应低于1%;当楼梯间设置采光窗时,采光系数不应低于0.5%.采光系数称为日光系数(Daylight Factor),表明了房间中某一点的自然光与室外日光之间的百分比关系,对于工作场所来说,DF值在5%~10%比较理想^[18].笔者以采光区域平均采光系数不小于1%的标准用来计算最小的窗户尺寸,采用式(2)来计算窗户尺寸^[19]:

C_b = \frac{W(S+5)f}{100A_bT}(1-T). \tag{2}

式中:C_b为采光系数;W为窗洞面积;S为取决于遮阳角θ的系数;f为窗玻璃的散射透射率;A_b为整个室内的表面积;T为室内平均有效吸收率.

W = \frac{100A_bTC_b}{(S+5)f(1-T)}. \tag{3}

窗户的面积通过式(3)计算.经计算,严寒地区近零能耗居住建筑满足采光条件下的最小窗墙比分别是:东(西)向为11.59%;南向为9.93%;北向为10.66%.以此计算结果

作为后续窗墙比节能设计优化的约束基础,使优化结果更精确.另外,《民用建筑节能设计标准》(JGJ26—2010)中规定了居住建筑严寒地区各朝向的窗墙面积比:北向不大于25%;东(西)向不大于30%;南向不大于45%.按照欧盟标准EN832计算得到的移动样板被动房的年供暖能量平衡中指出:12%的窗户面积份额却造成了被动房50%的能量损失^[20].而另一方面依靠窗户才能有效被动利用太阳能得热.因此,重点研究南向窗墙比的设计,能耗随南向窗墙比变化曲线如图8所示.

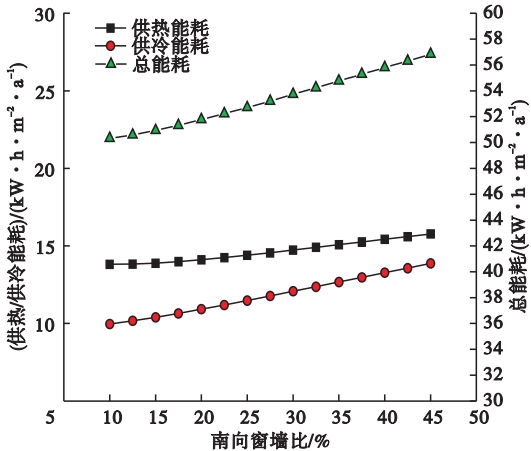


图8 能耗随南向窗墙比变化曲线

Fig. 8 Energy consumption changes with south facade window-wall ratio

总能耗随着南向窗墙比的增大都呈增加趋势,供热能耗占主导地位、其次是供冷能耗;供冷能耗变化程度大于供热能耗.这是因为窗墙比增大在冬季会使房间太阳辐射得热增加,这部分热量有利于冬季改善室内热环境,节约供热能耗.夏季供冷能耗增加明显,是由于窗墙比的增大,不仅通过围护结构进入室内的导热量增大,通过外窗进入室内的太阳辐射量也增大.所以,选择外窗不仅要关注窗户的整窗传热系数,也要考虑到太阳得热系数与遮阳系统,以平衡窗墙比对冬季和夏季对室内热环境的影响.

不同窗墙比下建筑供热、供冷能耗模拟结果如表3所示.窗墙比0.1时建筑供冷、供

热能耗和总能耗作为对比值. 随着窗墙比的增大, 供热能耗与供冷能耗均有显著的变化: 供热能耗敏感度系数变化范围为 0.004 ~ 0.040 4, 供冷能耗的敏感度系数变化范围为 0.079 3 ~ 0.111 6, 窗墙比增大对年供冷能耗的影响更大. 综合考虑供热、供冷能耗, 在满足采光的条件下, 南向窗墙比在 10% ~ 17.5%, 供冷能耗的增量相对整体是最小的.

表3 不同窗墙比下建筑供热、供冷能耗模拟结果

Table 3 Heating/cooling energy consumption simulation results with variety of window-wall ratio

窗墙比/%	供热能耗/ (kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)	供冷能耗/ (kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)	总能耗/ (kW·h·m ⁻² ·a ⁻¹)	供热敏感 度系数	供冷敏感 度系数
10	13.82	9.98	50.33	—	—
12.5	13.83	10.18	50.59	0.004 0	0.079 3
15	13.89	10.41	50.94	0.010 0	0.085 7
17.5	13.99	10.66	51.33	0.016 4	0.090 2
20	14.11	10.93	51.78	0.020 9	0.095 3
22.5	14.25	11.20	52.23	0.024 7	0.097 6
25	14.40	11.48	52.71	0.028 1	0.100 3
27.5	14.56	11.78	53.20	0.030 6	0.102 8
30	14.74	12.08	53.74	0.033 4	0.105 2
32.5	14.91	12.37	54.23	0.035 0	0.106 6
35	15.08	12.68	54.77	0.036 6	0.108 1
37.5	15.26	12.97	55.28	0.037 8	0.109 0
40	15.43	13.27	55.79	0.038 9	0.110 0
42.5	15.60	13.57	56.31	0.039 6	0.110 6
45	15.77	13.88	56.83	0.040 4	0.111 6

4 结 论

(1)通过能耗模拟软件的分析得到建筑年供暖需求能耗为 17.42 kW·h/(m²·a), 建筑全年总能耗为 53.93 kW·h/(m²·a), 满足近零能耗建筑的能耗指标要求; 供暖季最冷月份室内温度达到 18 ~ 22 ℃, 达到室内环境参数要求.

(2)关键参数对建筑能耗影响的敏感性大小依次是窗墙比(供冷能耗), 外窗传热系数, 外墙传热系数, 窗墙比(供热能耗), 屋面传热系数.

(3)近零能耗建筑对各关键技术节点的要求已经非常高, 因此其变化所得到的节能潜力较小, 在综合考虑技术导则规定的围护结构传热系数参考值、实际节能效果与经济

性的前提下, 严寒地区近零能耗建筑外墙保温材料可以选择 260 ~ 320 mm 厚石墨聚苯乙烯保温板; 屋面保温材料可以选择 220 ~ 300 mm 厚挤塑聚苯乙烯保温板. 外窗作为围护结构保温的薄弱点, 还影响建筑太阳能得热, 选择外窗不仅要关注窗户的整窗传热系数, 也要考虑到太阳得热系数与遮阳系统, 以平衡窗墙比对冬季和夏季对室内热环境的影响.

参考文献

[1] 侯恩哲.《中国建筑能耗研究报告(2017)》概述[J]. 建筑节能, 2017, 45(12): 131-131. (HOU Enzhe. Overview of China building energy research report 2017[J]. Building energy efficiency, 2017, 45(12): 131-131.)

[2] 徐伟, 刘志坚, 陈曦, 等. 关于我国“近零能耗建筑”发展的思考[J]. 建筑科学, 2016, 32(4): 1-5.

- (XU Wei, LIU Zhijian, CHEN Xi, et al. Thoughts of development of Chinese nearly zero energy buildings [J]. Building science, 2016, 32(4): 1-5.)
- [3] 徐伟. 中国近零能耗建筑研究和实践[J]. 科技导报, 2017, 35(10): 38-43.
(XU Wei. Nearly zero energy building research and development in China[J]. Science & technology review, 2017, 35(10): 38-43.)
- [4] 白英山. 节能设计对建筑能耗的影响及分析[J]. 建筑节能, 2016, 44(6): 65-68.
(BAI Yingshan. Effects of building energy saving design to energy consumption[J]. Building energy efficiency, 2016, 44(6): 65-68.)
- [5] WILDE P D. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: a framework for investigation[J]. Automation in construction, 2014, 41(5): 40-49.
- [6] MUSALL E, WEISS T, LENOIR A, et al. Net zero energy solar buildings: an overview and analysis on worldwide building projects [C]. EuroSun conference, 2010: 7-8.
- [7] CHVATAL K M S, CORVACHO H. The impact of increasing the building envelope insulation upon the risk of overheating in summer and an increased energy consumption [J]. Journal of building performance simulation, 2009, 2(4): 267-282.
- [8] DAOUAS N. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads [J]. Applied energy, 2011, 88(1): 156-164.
- [9] THALFELDT M, PIKAS E, KURNITSKI J, et al. Facade design principles for nearly zero energy buildings in a cold climate [J]. Energy and buildings, 2013, 67: 309-321.
- [10] 王学宛, 张时聪, 徐伟, 等. 超低能耗建筑设计方法与典型案例研究[J]. 建筑科学, 2016, 32(4): 44-53.
(WANG Xuewan, ZHANG Shicong, XU Wei, et al. Research on design method of ultra low-energy building and best practice[J]. Building science, 2016, 32(4): 44-53.)
- [11] GONG X, AKASHI Y, SUMIYOSHI D. Optimization of passive design measures for residential buildings in different Chinese areas [J]. Building and environment, 2012, 58: 46-57.
- [12] 赵倩倩. 建筑方案阶段能耗参数影响分析的方法研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015.
(ZHAO Qianqian. Analytical method research on parameter effect in scheme stage of architectural design [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2015.)
- [13] 胡松涛, 李立健, 刘国丹, 等. 青岛地区公共建筑基于建筑能耗的合理窗墙比探究[J]. 建筑科学, 2016, 32(6): 85-89.
(HU Songtao, LI Lijian, LIU Guodan, et al. Exploration on an optimal wall-window ratio in public buildings based on building energy consumption in Qingdao area [J]. Building science, 2016, 32(6): 85-89.)
- [14] 张时聪, 徐伟, 姜益强, 等. 国际典型“零能耗建筑”示范工程技术路线研究[J]. 暖通空调, 2014, 44(1): 52-59.
(ZHANG Shicong, XU Wei, JIANG Yiqiang, et al. Research on demonstration project technology roadmap of zero energy buildings abroad [J]. Journal of heating ventilating & air conditioning, 2014, 44(1): 52-59.)
- [15] 周思宇. 不同气候区围护结构节能技术对办公建筑能耗的影响[D]. 天津: 天津大学, 2012.
(ZHOU Siyu. Influence of energy-saving technology of enclosure structures in different climate zones on energy consumption of office buildings [D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.)
- [16] 蔡毅, 邢岩, 胡丹. 敏感性分析综述[J]. 中国学术期刊文摘, 2008, 44(11): 1.
(CAI Yi, XING Yan, HU Dan. Sensitivity analysis review [J]. Chinese science abstracts, 2008, 44(11): 1.)
- [17] 田雨, 雷晓辉, 蒋云钟, 等. 水文模型参数敏感性分析方法研究评述[J]. 水文, 2010, 30(4): 9-12.
(TIAN Yu, LEI Xiaohui, JIANG Yunzhong, et al. Comment on parameter sensitivity analysis of hydrological model [J]. Journal of China hydrology, 2010, 30(4): 9-12.)
- [18] CORRODI M, SPECHTENHAUSER K. Illuminating: natural light in residential architecture [M]. Basel Boston Berlin: Walter de Gruyter, 2014.
- [19] 冉茂宇. 居住建筑最小窗面积及窗墙比的确定[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2000, 21(4): 384-389.
(RAN Maoyu. Determining least window area and area ratio of window to wall of residential building [J]. Journal of huaqiao university (natural science), 2000, 21(4): 384-389.)
- [20] SCHNIEDERS J, FEIST W, RONGEN L. Passive houses for different climate zones [J]. Energy & buildings, 2015, 105: 71-87.