

严寒地区超低能耗建筑负荷特性研究

冯国会,崔航,黄凯良,常莎莎,张磊

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 研究严寒地区沈阳市、长春市、哈尔滨市3个城市超低能耗建筑的负荷特性。方法 以沈阳建筑大学超低能耗示范建筑为例,运用 DeST 软件建立超低能耗建筑模型,通过改变 DeST 软件中模拟建筑所在城市的气象信息,模拟沈阳市、长春市、哈尔滨市全年 8 760 h 的逐时负荷。对沈阳市、长春市、哈尔滨市的负荷特性以及不平衡率进行分析。用爱必宜(IBE)模拟软件对 DeST 模拟软件所得结果进行验证。结果 沈阳市冷负荷大于热负荷,长春市冷负荷和热负荷相差不多,哈尔滨市冷负荷小于热负荷。哈尔滨市的负荷不平衡率最高。DeST 软件与 IBE 软件计算结果的差异基本控制在 9% 以内。结论 DeST 能耗模拟软件能够精确地模拟严寒地区超低能耗示范建筑的负荷特性。

关键词 超低能耗建筑;DeST 软件;严寒地区;建筑负荷;软件验证

中图分类号 TU391

文献标志码 A

Load Characteristics of Ultra Low Energy Consumption Building in Severe Cold Area

FENG Guohui, CUI Hang, HUANG Kailiang, CHANG Shasha, ZHANG Lei

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

Abstract: The purpose of this paper is to study the load characteristics of ultra-low energy consumption buildings in Shenyang, Changchun and Harbin in severe cold region. The ultra-low energy consumption demonstration building in Shenyang Jianzhu University as the model, the model of ultra-low energy consumption building was established by DeST software. By changing the meteorological information of Shenyang, Changchun and Harbin, the hourly load of building in these cities was simulated for 8760h throughout the year, and the load characteristics and unbalance rate in these cities are analyzed. The results obtained from the DeST simulation software were verified by IBE simulation software. Results show that the cooling load in Shenyang is greater than

收稿日期:2021-03-01

基金项目:国家重点研发计划政府间国际科技创新合作项目(2019YFE0100300-07);国家自然科学基金项目(51778376)

作者简介:冯国会(1964—),男,教授,博士研究生导师,主要从事建筑节能技术方面研究。

the heat load, the cooling load in Changchun is similar to the heat load, and the cooling load in Harbin area is less than the heat load. The load unbalance rate in Harbin is highest. The difference of the calculated results between DeST software and IBE software is basically controlled within 9%. The load characteristics of ultra-low energy consumption demonstration buildings in cold regions can be accurately simulated by DeST energy consumption simulation software.

Key words: Ultra low energy consumption building; DeST software; severe cold area; building load; software verification

超低能耗建筑是指在围护结构、能源和设备系统、照明、智能控制、可再生能源利用等方面综合选用各项节能技术,能耗水平远低于常规建筑的建筑物,是一种不用或者尽量少用一次能源,而使用可再生能源的建筑物。我国超低能耗建筑一般可以定义为:以年为计算期,以终端用能形式作为衡量指标,新建建筑采暖供冷能耗比按照节能标准建造的建筑节能 70% 以上的建筑。其中,住宅按照 65% 节能率,公共建筑按照 50% 节能率作为提升的基数。《民用建筑热工设计规范》(GB50716—2016)将我国划分为 5 个建筑热工设计气候区域: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。建筑所处气候区以及室外干球温度对建筑负荷特性都有影响^[1-2]。笔者以沈阳建筑大学超低能耗示范建筑为例,运用 DeST 软件建立超低能耗建筑模型,通过改变 DeST 软件中模拟建筑所在城市的气象信息,模拟沈阳市、长春市、哈尔滨市负荷特性。用爱必宜 (IBE) 模拟软件对 DeST 模拟软件所得结果进行验证。

1 建立建筑的 DeST 模型及参数

1.1 超低能耗建筑简介

沈阳建筑大学超低能耗示范建筑位于沈阳建筑大学校内,建筑共有两层,1 层高 3.3 m,2 层高 3.6 m,总建筑面积 334.8 m²。建筑包括会议室、开敞办公区、控制室、展厅、设备室及卫生间等,是典型的办公建筑。建筑充分利用了太阳能、地热能和相变储能技术,大幅度地降低了对化石能源的依赖。超

低能耗示范建筑主体结构为钢框架 + 现浇聚苯颗粒泡沫混凝土墙体,外围护结构采用保温性能良好的相变储能技术措施。建筑体型系数为 0.47。窗墙面积比:偏西侧为 0.09;偏南侧为 0.12;偏北侧为 0.12;偏东侧为 0.05。超低能耗示范建筑如图 1 所示。



图 1 超低能耗示范建筑

Fig. 1 Exterior drawing of demonstration building with ultra-low energy consumption

1.2 建立 DeST 模型

DeST 软件使用状态空间法对房间的热过程进行动态模拟,能够准确地模拟建筑的负荷情况^[3-4]。笔者使用 DeST 模拟软件进行负荷模拟,分析超低能耗示范建筑的负荷特性。根据超低能耗示范建筑的基础信息,在能耗模拟软件 DeST 中建立如图 2 所示的负荷计算模型。

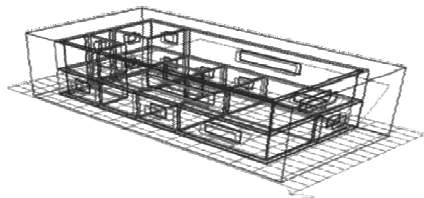


图 2 超低能耗建筑的 DeST 模型

Fig. 2 Dest model diagram of ultra low energy consumption building

1.3 模拟参数设定

根据《公共机构超低能耗建筑技术标准》(T/CECS713—2020),以严寒气候区沈阳建筑大学超低能耗示范建筑为模型,利用DeST软件设置了建筑物围护结构、建筑人员、灯光和设备等内扰参数以及空调设计参数,表1为超低能耗示范建筑围护结构参数设置,表2为超低能耗示范建筑内扰参数及空调参数设置^[5]。

表2 超低能耗建筑内扰参数及空调参数设定

Table 2 Internal disturbance parameters and air conditioning parameters for ultra low energy consumption buildings

房间	人员数量/人	灯光热扰/ (W·m ⁻²)	设备热扰/ (W·m ⁻²)	夏季温度/ ℃	冬季温度/ ℃	夏季湿度/ %	冬季湿度/ %	空调启停 时间段
示范间	2	6	6	24	18	60	50	9:00—17:00
会客室	3	6	5	24	18	60	5	9:00—17:00
卫生间	1	6	0	25	16	60	30	9:00—17:00
设备房	0	6	0	25	16	60	30	9:00—17:00
展厅	3	6	0	25	16	60	50	9:00—17:00
控制室	1	6	0	24	18	60	30	9:00—17:00
办公室	5	6	13	24	18	60	50	9:00—17:00

2 模拟结果与分析

通过改变DeST软件中模拟建筑所在城市的气象信息,从而模拟沈阳市、长春市、哈尔滨市的负荷特性^[6-8]。3个城市的气象参数如表3所示。

表3 3个城市气象参数设定

Table 3 Setting of meteorological parameters in three cities

城市	夏季室外 干球温度/ ℃	夏季室外 湿度/%	冬季室外 温度/℃	冬季室外 湿度/%
沈阳	31.4	64	-20.7	64
长春	30.4	64	-21.1	69
哈尔滨	30.6	61	-27.2	75

2.1 建筑全年逐时负荷模拟及不平衡率分析

2.1.1 建筑全年逐时负荷模拟结果

以超低能耗示范建筑为模型,在DeST

表1 超低能耗建筑围护结构热工性能参数设定
Table 1 Parameter setting of thermal performance for maintenance structure of ultra low energy consumption building
(W·(cm²·K)⁻¹)

围护结构	传热系数范围	传热系数取值
窗户	0.7~1.2	1
外墙	0.1~0.2	0.1
地板	0.1~0.25	0.12
屋面	0.1~0.2	0.1

软件中改变示范建筑所在城市的气象信息,得出示范建筑在沈阳市、长春市、哈尔滨市全年8760h的逐时负荷。表4为3个城市的全年冷热负荷模拟结果。

表4 3个城市建筑全年负荷模拟结果

Table 4 Annual load simulation results of three cities

城市	单位面积冷 负荷峰值/ (W·m ⁻²)	单位面积热 负荷峰值/ (W·m ⁻²)	全年累计 冷负荷/ (kW·h)	全年累计 热负荷/ (kW·h)
沈阳	110.77	29.43	11 906.92	9 393.87
长春	61.49	29.40	10 419.18	11 247.07
哈尔滨	61.75	84.71	9652.12	18 412.79

2.1.2 不平衡率分析

年累计冷热负荷不平衡率的计算方法^[9-11]为

年 累 计 冷 热 负 荷 不 平 衡 率 =
| 年 累 计 热 负 荷 - 年 累 计 冷 负 荷 |
年 累 计 热 负 荷 × 100% .
(1)

从表4可知沈阳市、长春市、哈尔滨市的全年累计冷负荷以及全年累计热负荷。由年累计冷热负荷不平衡率计算式(1)可得超低能耗示范建筑在沈阳市、长春市、哈尔滨市的年累计冷、热负荷不平衡率(见图3)。

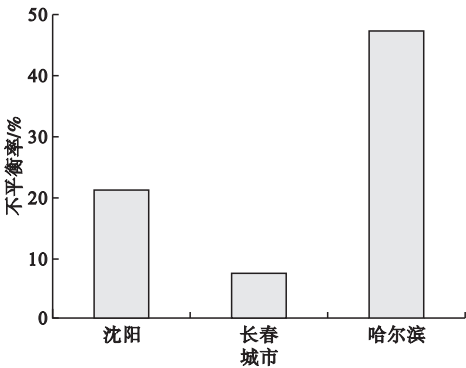


图3 3个城市建筑全年累计负荷不平衡率

Fig. 3 Unbalance rate of annual accumulated load of buildings in three cities

从图3可以看出,沈阳市年累计冷、热负荷不平衡为21.11%,长春市年累计冷、热负荷不平衡率为7.36%,哈尔滨市年累计冷、热负荷不平衡率为47.58%。3个城市年累计冷、热负荷不平衡率从大到小依次为:哈尔滨市、沈阳市、长春市。哈尔滨市冬季气温最低,热负荷最大,即年累计冷、热负荷不平衡率最高。因超低能耗示范建筑所在地区为沈阳市,建筑与当地的匹配程度很高,所以超低能耗示范建筑冷负荷比热负荷大,年累计冷、热负荷不平衡率适中。长春市超低能耗示范建筑的冷、热负荷基本持平,所以长春地区年累计冷、热负荷不平衡率最低^[12-14]。

2.2 建筑空调季逐时负荷及不平衡率分析

2.2.1 建筑空调季逐时负荷模拟结果

根据国家标准《民用建筑热工设计规范》

空调季冷热负荷不平衡率 =

| 空调季单位建筑面积热负荷 - 空调季单位建筑面积冷负荷 |
空调季单位面积热负荷

× 100%.

(2)

从表6可知沈阳市、长春市、哈尔滨市的空调季冷负荷以及空调季热负荷。由空调季冷热负荷不平衡率式(2)可得超低能耗示范

范》(GB 50716—2016),用累年最冷月和最热月平均温度作为主要指标,累年日平均温度低于5℃的起始日期规定为供暖季,日平均温度高于25℃的起始日期规定为制冷季。根据《民用建筑热工设计规范》(GB50716—2016)的规定,表5为沈阳市、长春市、哈尔滨市空调季和供暖季的具体时间段。通过DeST软件得出了超低能耗示范建筑在沈阳市、长春市、哈尔滨市的年累计冷、热负荷值以及空调季冷、热负荷值。表6为超低能耗示范建筑在3个城市的制冷季和采暖季负荷模拟结果。

表5 3个城市制冷季和供暖季的划分

Table 5 Division of cooling and heating seasons in three cities		
城市	制冷季	供暖季
沈阳	6月1日至8月31日	11月1日至次年3月31日
长春	6月1日至8月31日	10月20日至次年4月6日
哈尔滨	6月12日至8月9日	10月17日至次年4月10日

表6 3个城市制冷季和采暖季负荷模拟结果

Table 6 Load simulation results of cooling and heating seasons in three cities				
((kW·h)·m ⁻²)				
城市	全年累计 单位建筑 面积冷负荷	全年累计 单位建筑 面积热负荷	制冷季单 位面积冷 负荷	采暖季单 位面积热 负荷
沈阳	44.22	34.89	10.33	11.66
长春	38.69	41.77	7.01	10.24
哈尔滨	35.84	68.38	7.31	20.11

2.2.2 不平衡率分析

空调季冷、热负荷不平衡率的计算式为

建筑在沈阳市、长春市、哈尔滨市的空调季冷热负荷不平衡率(见图4)。

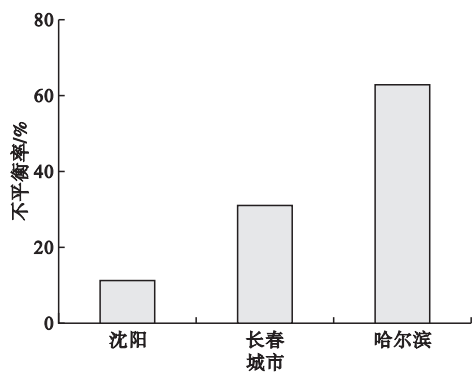


图 4 建筑空调季负荷不平衡率

Fig. 4 Seasonal load unbalance rate of building air conditioning

从图 4 可以看出,沈阳市空调季累计冷、热负荷不平衡为 11.41%,长春市空调季累计冷、热负荷不平衡率为 31.54%,哈尔滨市空调季累计冷、热负荷不平衡率为 63.65%。3 个城市空调季累计冷、热负荷不平衡率从大到小依次为:哈尔滨市、长春市、沈阳市。哈尔滨市制冷天数季将近 90 d,供暖天数将近 150 d。即哈尔滨市空调季累计冷、热负荷不平衡率最高;长春市供暖天数比哈尔滨市短,即长春市空调季累计冷、热负荷不平衡率适中;沈阳市供暖季和制冷季时间较其他两个城市短,所以沈阳市空调季累计冷、热负荷不平衡率最低^[12-14]。

3 模拟结果验证

采用软件验证法是进行评估与自检比较有效的方法。IBE 软件包含超低、近零以及零能耗建筑设计阶段能耗、性能指标计算及方案评估等功能,能够计算建筑全年累计冷热负荷,是一种较权威的能耗模拟软件^[15]。以沈阳市模拟结果为例,采用 IBE 软件来验证模拟结果的准确性,IBE 软件模拟结果如表 7 所示。

累加 1 至 12 月的单位建筑面积热负荷得全年累计单位建筑面积热负荷为 31.62 (kW·h)/m²,全年累计单位建筑面积冷负荷为 45.23 (kW·h)/m²。从表 6 可知,DeST 模

拟软件全年累计单位建筑面积热负荷值为 34.89 (kW·h)/m²,全年累计单位建筑面积冷负荷 44.22 (kW·h)/m²。两种软件计算全年累计单位建筑面积热负荷值误差在 9% 以内,全年累计单位建筑面积冷负荷值误差在 3% 以内。

表 7 IBE 软件负荷模拟结果

Table 7 Simulation results of load by IBE software

月份	单位建筑面积热负荷/ ((kW·h)·m ⁻²)	单位建筑面积冷负荷/ ((kW·h)·m ⁻²)
1	9.93	0
2	5.61	0
3	2.98	0
4	0.29	0.73
5	0	4.05
6	0	8.78
7	0	13.97
8	0	11.93
9	0	5.14
10	0.28	0.63
11	5.64	0
12	6.8	0

4 结 论

(1)利用 DeST 软件得到严寒气候区 3 个城市超低能耗示范建筑的全年峰值负荷及全年累计负荷值。沈阳市冷负荷值大于热负荷值,长春市冷负荷值和热负荷值相差不多,哈尔滨市热负荷值大于冷负荷值。

(2)3 个城市年累计冷、热负荷不平衡率从大到小依次为:哈尔滨市、沈阳市、长春市;3 个城市空调季累计冷、热负荷不平衡率从大到小依次为:哈尔滨市、长春市、沈阳市。

(3)将 DeST 模拟软件所得结果与 IBE 模拟软件所得结果进行了对比分析。两种模拟软件全年累计热负荷值误差在 9% 以内,全年累计冷负荷值误差在 3% 以内。DeST 能耗模拟软件能够精确地模拟严寒地区超低能耗示范建筑的负荷特性。

参考文献

- [1] 吕欢. 严寒和寒冷地区近零能耗建筑负荷特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018. (Lü Huan. Research on load characteristics of near zero energy consumption buildings in severe cold and cold regions [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.)
- [2] 燕达, 陈友明, 潘毅群, 等. 我国建筑能耗模拟的研究现状与发展[J]. 建筑科学, 2018, 34(10): 130-138. (YAN Da, CHEN Youming, PAN Yiqun, et al. Building performance simulation research in China: current status and perspectives [J]. Building science, 2018, 34(10): 130-138.)
- [3] 张晓亮, 朱光俊, 江亿. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 13 讲住宅模拟优化实例[J]. 暖通空调, 2005, 35(8): 65-72. (ZHANG Xiaoliang, ZHU Guangjun, JIANG Yi, Building environment design simulation software DeST(13): examples of aided design for residential buildings [J]. HVAC, 2005, 35(8): 65-72.)
- [4] 燕达, 谢晓娜, 宋芳婷, 等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST: 第一讲 建筑模拟技术与 DeST 发展简介[J]. 暖通空调, 2004(7): 48-56. (YAN Da, XIE Xiaona, SONG Fangting, et al. Building environment design simulation software DeST(1): an overview of developments and information of building simulation and DeST [J]. HVAC, 2004(7): 48-56.)
- [5] 冯国会, 徐小龙, 王悦, 等. 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[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2018, 34(6): 1069-1077. (FENG Guohui, XU Xiaolong, WANG Yue, et al. Sensitivity analysis of near zero energy buildings envelope design parameters based on energy consumption [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2018, 34(6): 1069-1077.)
- [6] 李红莲, 王赏玉, 侯立强, 等. 气候变化对中国典型气候区办公建筑能耗的影响研究[J]. 太阳能学报, 2020, 41(9): 147-154. (LI Honglian, WANG Shangyu, HOU Liqiang, et al. Research on influence of climate change on future building energy consumption in China's typical climate regions [J]. Acta solar energy sinica, 2020, 41(9): 147-154.)
- [7] 崔丽丽. 基于 Dest 的典型居住建筑能耗模拟及节能分析[J]. 建筑热能通风空调, 2018, 37(3): 71-74. (CUI Lili. Energy consumption simulation of a typical residential building based on DeST [J]. Building thermal ventilation and air conditioning, 2018, 37(3): 71-74.)
- [8] 吴金顺, 张伟捷, 魏一然. 基于 Dest 对办公建筑冷负荷的分析[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006(2): 75-78. (WU Jinshun, ZHANG Weijie, WEI Yiran. Analysis of office building cooling load based on DeST software [J]. Journal of Hebei institute of architecture and technology, 2006(2): 75-78.)
- [9] 彭岩, 陈伟娇. 基于 DeST 的近零能耗建筑新风负荷特性研究[J]. 节能, 2020, 39(2): 48-50. (PENG Yan, CHEN Weijiao. Study on fresh air load characteristics of buildings with near zero energy consumption based on DeST [J]. Energy conservation, 2020, 39(2): 48-50.)
- [10] 冯国会, 强小倩, 田川, 等. 严寒地区教学楼新风供给与值班温度供暖的负荷研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2019, 35(2): 339-346. (FENG Guohui, QIANG Xiaoqian, TIAN Chuan, et al. Research on calculation method of thermal load at university buildings in severe cold region [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2019, 35(2): 339-346.)
- [11] 段立英, 王志勇, 俞龙. 基于 DeST 的公共建筑节能特性研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2020, 29(6): 25-28. (DUAN Liying, WANG Zhiyong, YU Long. Research on energy-saving characteristics of public buildings based on DeST [J]. Journal of Hunan city university (natural science edition), 2020, 29(6): 25-28.)
- [12] 于瑾, 杨志伟, 王程, 等. 基于 DeST-C 的办公建筑能耗模拟分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2015, 31(4): 689-697. (YU Jin, YANG Zhiwei, WANG Cheng, et al. Simulation analysis of office building energy consumption based on DeST-C [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2015, 31(4): 689-697.)
- [13] 黄河, 李晓峰, 张明瑞, 等. 自然通风建筑能耗全年模拟研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(2): 46-50. (HUANG He, LI Xiaofeng, ZHANG Mingrui, et al. Simulation study on annual energy consumption of naturally ventilated buildings [J]. Building science, 2012, 28(2): 46-50.)
- [14] 李旻阳, 王青平, 宁炜. 基于 DeST 的被动式居住建筑能耗模拟分析[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(4): 62-65. (LI Mingyang, WANG Qingping, NING Wei. Simulation analysis of passive house energy consumption based on DeST [J]. Building technology development, 2016, 43(4): 62-65.)
- [15] 江玥, 周欣, 安晶晶, 等. 基于 ASHARE-140 标准的建筑热过程模拟结果对比校验: 以 DeST 为例[J]. 建筑科学, 2018, 34(10): 9-17. (JIANG Yue, ZHOU Xin, AN Jingjing, et al. Comparison and verification simulation results of building thermal process based on ASHARE-140 standard-taking DeST as an example [J]. Building science, 2018, 34(10): 9-17.)

(责任编辑: 徐玉梅 英文审校: 唐玉兰)