

寒地特等火车站候车室形体尺寸能耗模拟

孙洪涛,石 硕,张龙巍

(沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 以低能耗建筑设计为目的,对寒地特等火车站候车室形体尺寸及能耗状况展开模拟研究,以实现降低建筑能耗的可持续目标. 方法 基于数字技术同建筑设计的协同,利用基于 Rhino 非线性建模平台的 Grasshopper 参数化设计模组建立试验模型,并利用 Grasshopper 的插件 Honeybee 调用 EnergyPlus 能耗分析软件,通过模拟试验对影响候车室能耗的平面尺寸、长宽比、高度等形体尺寸因素的作用机制展开研究. 结果 不同影响因素对候车室单位空间能耗影响作用不同;高度对能耗的影响幅度最大,在设计过程中应首先考虑;当候车室平面面积相同,平面长宽比为 3:2 时,单位能耗最低;当候车室平面长宽比相同,平面面积为 6 000 m² 时,单位能耗最低;当候车室平面面积相同,平面长宽比越大,能耗受建筑高度的影响越大. 结论 通过模拟试验得出了各影响因素同单位建筑能耗间的多元线性回归方程式,可以帮助建筑师们在设计初期计算建筑能耗,从而指导火车站候车室的建筑节能设计.

关键词 能耗模拟;寒地;火车站候车室;形体尺寸

中图分类号 TU208.5 文献标志码 A

Simulation of Form Size and Energy Consumption of Waiting Rooms in the Frigid Railway Station in Cold Region

SUN Hongtao, SHI Shuo, ZHANG Longwei

(School of Architecture & Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: In order to reduce the energy consumption of buildings, a simulation study was carried out on the size and the energy consumption of the waiting room in the railway station in cold region. Based on the collaboration of digital technology and architectural design, with the Grasshopper parametric design model based on the Rhino nonlinear modeling platform setting up the experimental model, with the Grasshopper's plug-in Honeybee invoking EnergyPlus energy analysis software, and launching research on the mechanism of the size, aspect ratio and height of the room energy consumption of waiting room by the means of simulation experiment. Data show that different

收稿日期:2018-03-06

基金项目:国家十三五重点研发计划项目(2016YFC0700202);国家自然科学基金重点项目(51738006);住房和城乡建设部软科学研究项目(2017-K1-007)

作者简介:孙洪涛(1977—),男,副教授,博士,主要从事建筑设计及其理论方面研究.

influencing factors have different effects on the unit space energy consumption of waiting room; the height has the largest influence on energy consumption, and should be considered first in the design process; when the plane area of the waiting room is the same, and the aspect ratio is 3:2, the unit energy consumption is the lowest; when the plane aspect ratio of waiting room is the same, the surface area is 6 000 m², unit energy consumption is the lowest; when the plane area of the waiting room is the same, the larger the aspect ratio of the plane, the greater influence of building height on energy consumption. Through the simulation experiment, this paper get a result of the multiple linear regression equations between the influencing factors and the energy consumption per unit building, which can help the architects calculate the building energy consumption at the beginning of the design, thus guiding the building energy-saving design of the train station waiting room.

Key words: energy consumption simulation; cold region; railway stations; form size

随着城市的发展、社会的进步,能源危机问题广受关注,据统计,建筑产业在能源消耗中占据着很大的比例,约占有的 27.5%,建筑节能设计刻不容缓,在建筑业内受到了广泛的关注.公共建筑由于其在总体建筑能耗中占据的重要比重,成为了建筑师们在进行节能建筑研究中的重点.伴随着火车站建筑的建设量的逐步扩大,以及人们对建设绿色、节能环保、可持续的建筑呼声的逐步增高,候车空间作为火车站建筑的一个重要组成部分,低能耗目标下的火车站候车室体型尺寸设计是建筑师们在设计过程中考虑的重点^[1-7].

在我国寒地地区,火车站等大空间建筑主要需要考虑的是冬季建筑物保暖的需求.所以,寒地建筑冬季采暖能耗要高于其他区域,这是在进行低能耗建筑设计中的一个关键点.我国已经有一些学者对寒地火车站候车空间建筑节能设计做出了研究:在设计原则层面,张朕源^[8]对处于严寒气候地区的高速铁路客站候车空间进行了分析研究,总结了影响设计因素并提出了优化策略;在火车站建筑规划设计模拟试验方面,李琴波^[9]将软件 ECOTECT 与 e Quest 相结合使用,从室内视觉感受、建筑高度、建筑平面布局对寒地中小型高铁站候车室空间进行了优化研究.但总体上缺少在方案前期通过设计层面对节能设计进行研究,缺少候车室体型尺寸设计同节能的关系研究.

基于此,笔者对寒地特等火车站候车空间形态参数与建筑能耗之间的关系进行定量分析,并根据实际调研和文献查阅,建立寒地特等火车站候车空间典型形态参数组,再建立模拟试验模型,对各形态要素进行模拟分析;试验得出了各形态要素同能耗间的定量关系,并根据试验结果提出了多元回归模型,可以帮助建筑师们在设计初期计算建筑能耗,从而指导火车站候车室的建筑节能设计.

1 试验设计

1.1 研究方法流程

笔者利用 Rhino 建模软件平台下的插件 Grasshopper 建立试验模型,通过 Grasshopper 中的插件 Honeybee,调用 Energyplus 进行能耗模拟^[10-11],从而得出研究变量参数区间的能耗模拟结果;通过 Matlab 软件对所得数据进行分析,得出各研究变量同建筑能耗间的定量关系,从而为建筑设计提供指导.该方法的设计流程见图 1,具体的步骤如下:

- (1) 提取候车室能耗的体型尺寸中的因素作为研究变量,确定变量变化区间;
- (2) 通过 Grasshopper 建立建筑模型;
- (3) 设定模拟参数,在模拟试验前,设置气候信息、围护结构及热工性能信息等;
- (4) 利用 Honeybee 调用 Energyplus 进行能耗模拟,得到相应数据;
- (5) 调整变量,多次模拟;

(6)利用 Matlab 对模拟结果进行数据分析,得出各研究变量同建筑能耗的线性关系,提出各研究共同作用下的多元线性方程式,来指导今后的建筑设计。

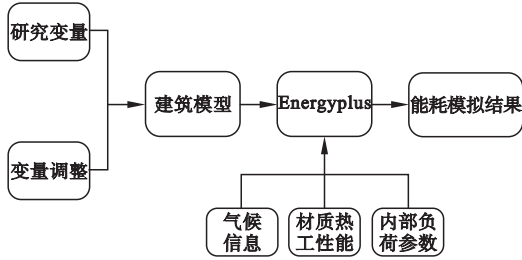


图1 研究方法流程图

Fig. 1 Flow diagram of research method

1.2 建筑能耗影响因素解析

建筑能耗和建筑体形系数存在着十分紧密的联系,而建筑体形系数(L)是建筑外表面积(S)与建筑外表面积所包围的建筑体积(V)的比值,即 $L = S/V$,它和建筑进深长度、建筑面宽长度、建筑高度之间存在着必要联系,因而,笔者将从这3个能耗影响因素着手对寒地特等火车站候车室形体尺寸进行能耗定量分析研究^[12-15]。

从实际调研可知,火车站候车室空间平面形态大多呈长方形形态,这离不开其特殊的功能特性,故笔者研究在关于候车室体型尺寸设计与建筑能耗的定量研究中,采用长方形为基本的平面形态进行研究。从实际调研分析得出,寒地特等火车站候车室总面宽长度多在100~200 m,其中,100~130 m所占的比例最高;候车室总进深长度多在170~370 m,其中,170~230 m所占的比例最高;候车室高度多在18~33 m,其中,21~24 m和27~30 m所占的比例较高。为了得到更加可靠的研究成果,模拟试验将候车室总面宽长度确定为100~200 m,将候车室总进深长度确定为170~370 m,将候车室高度确定为18~33 m,对候车室体型尺寸进行能耗模拟试验^[16]。

1.3 试验方案设计

根据所确定的候车室总进深长度、候车室

总面宽长度、候车室高度、进行方案试验设计。在 Grasshopper 中建立试验模型,输入非形态因素信息,通过 Honeybee 调用 Energyplus 的方法,对模型进行能耗模拟^[17-20];最后,对能耗模拟输出的数据进行分析。

1.3.1 候车室平面尺寸试验设计

将试验部分分为候车室总面宽长度和总进深长度与能耗模拟两部分,流程如图2所示。

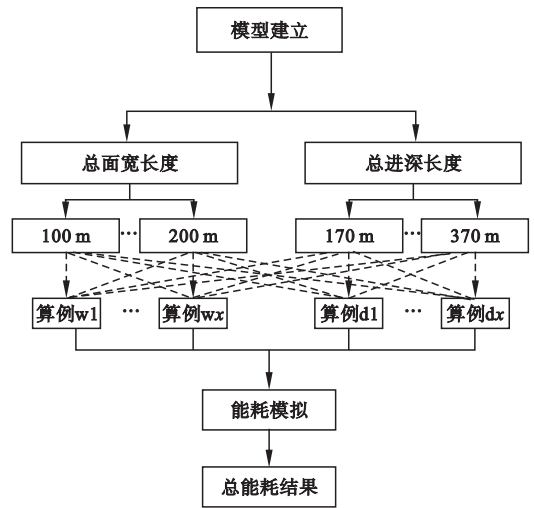


图2 平面尺寸试验流程

Fig. 2 Test flow plane size

(1)总面宽与能耗模拟:将建筑总面宽长度为主要变量,模拟中以10 m为变量,对100~200 m的总面宽长度与建筑能耗关系进行模拟,同时,以总进深长度170 m、230 m、270 m、310 m、370 m为辅助变量,编号为d1、d4、d6、d8、d11,进行5组试验模拟,为了增加试验数据,增强模拟试验的可靠性,建筑高度设置为分析所得高度值域的中间值25 m。

(2)总进深与能耗模拟:将建筑总进深长度为主要变量,模拟中以20 m为变量,对170~370 m的总面宽长度与建筑能耗关系进行模拟,同时,以总面宽长度100 m、120 m、150 m、170 m、200 m为辅助变量,编号为w1、w4、w6、w8、w11,进行5组试验模拟,为了增加试验数据,增强模拟试验的可靠

性,建筑高度设置为分析所得高度值域的中间值 25 m.

1.3.2 候车室平面规模、长宽比试验设计

为了更深入地研究两种因素对于建筑能耗的综合影响,在试验的基础上,在实际调研和文献查阅中所得候车室平面规模范围内,对候车室平面的面积和长宽比这两个方面进行建筑能耗相关模拟,从而得出指导设计的策略.通过在实际调研和文献查阅可知,寒地特等火车站候车室平面面积规模在20 000 ~ 60 000 m².因而在试验中,设置20 000 m²、30 000 m²、40 000 m²、50 000 m²、60 000 m² 5组试验,编号为 s1、s2、s3、s4、s5,并为每组试验设置4组长宽比,分别为 3:2、2:1、5:2、3:1,编号为 p1、p2、p3、p4,将建筑高度设置为辅助变量,如图3所示.

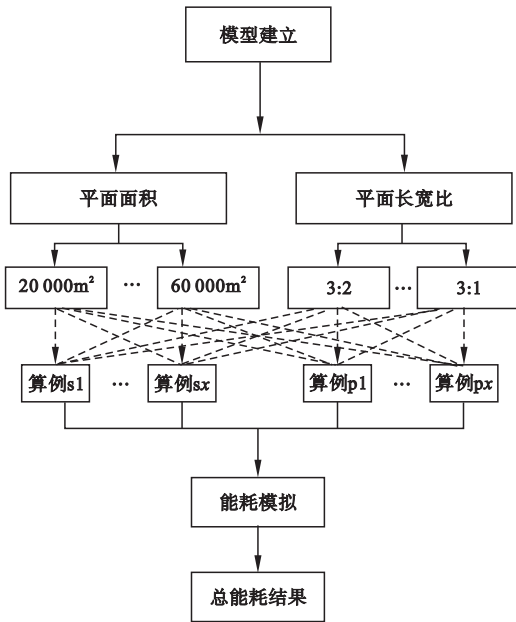


图3 平面面积、长宽比试验流程

Fig. 3 Test flow plane scale, aspect ratio

1.3.3 候车室高度能试验设计

模拟试验共设置4组,将高度作为主要变量,以3 m为变量,编号为 h1、h2、h3、h4、h5、h6,对18~33 m的候车室高度与建筑能耗关系进行模拟.同时,为了增加试验的合理性,将不同的建筑平面尺寸作为研究的辅助变量,组1是数据总结所得值域的中间值

150 m × 270 m,组2、组3和组4这三组数据,组2和组3平面面积相同但平面的长宽比不同,组3和组4平面面积不同但长宽比相同,平面尺寸分别为 170 m × 254 m, 160 m × 270 m, 190 m × 320 m,如图4所示.

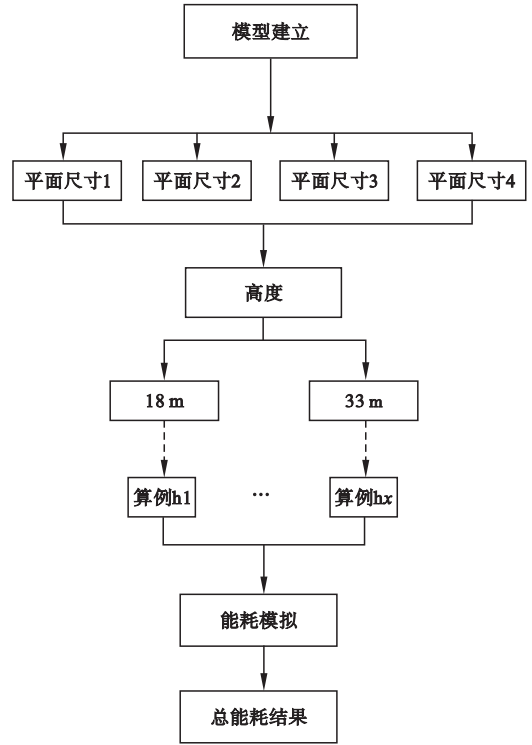


图4 高度试验流程

Fig. 4 Highly experimental process

2 试验模拟结果分析

2.1 候车室平面尺寸能耗模拟分析

总面宽长度与能耗模拟和总进深长度与能耗模拟试验共得到10组数据,共产生110个试验结果,通过数据分析软件 Matlab对每组数据进行回归拟合分析,得出候车室总面宽长度和总进深长度与单位面积建筑能耗的一元线性关系图和方程式.由于各组得出图示结果基本一致,故笔者选取总进深长度 w 等于 270 m 时为例,对总面宽长度与能耗模拟,总面宽长度 d 等于 150 m 时的总进深长度与能耗模拟的一元线性关系图进行分析,如图5、图6所示.

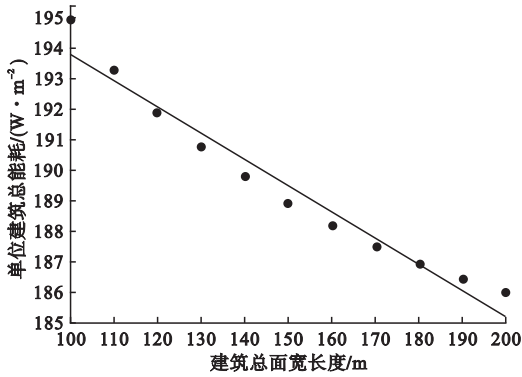


图5 总面宽长度和能耗关系

Fig. 5 Relationship between length of total width and energy consumption

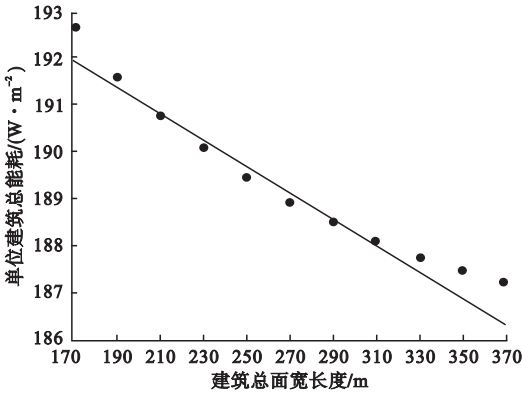


图6 总进深长度和能耗关系

Fig. 6 Relationship between total depth length and energy consumption

对生成5组总面宽长度与能耗模拟和总进深长度与能耗模拟的拟合分析图,进行对比分析,如图7、图8所示。

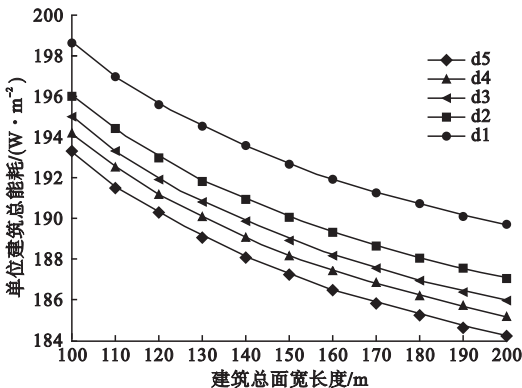


图7 各组总面宽长度试验对比

Fig. 7 Test comparison of the length of total width in each group

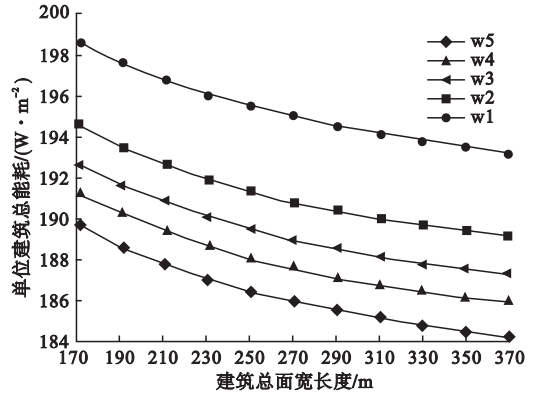


图8 各组总进深长度试验对比

Fig. 8 Test comparison of the length of total depth in each group

通过模拟试验和数据分析,可得到以下结论。

(1)经模拟可得到候车室总面宽长度与能耗的一元线性方程式:

$$q_{d1} = 206.2 - 0.08631w. \quad (1)$$

$$q_{d4} = 203.6 - 0.08641w. \quad (2)$$

$$q_{d6} = 202.5 - 0.0868w. \quad (3)$$

$$q_{d8} = 201.8 - 0.08702w. \quad (4)$$

$$q_{d11} = 200.9 - 0.08699w. \quad (5)$$

式中: q_{d1} 、 q_{d4} 、 q_{d6} 、 q_{d8} 、 q_{d11} 分别为候车室总进深长度为170 m、230 m、270 m、310 m、370 m时的候车室单位建筑能耗, W/m^2 ; w 为候车室总面宽长度, m。

上述回归方程的拟合度 R-Square 均在 0.9635, 拟合程度良好。

(2)经模拟可得到候车室总进深长度与能耗的一元线性方程式。

$$q_{w1} = 202.3 - 0.02581d. \quad (6)$$

$$q_{w4} = 198.1 - 0.02578d. \quad (7)$$

$$q_{w6} = 196.3 - 0.02599d. \quad (8)$$

$$q_{w8} = 194.9 - 0.02604d. \quad (9)$$

$$q_{w11} = 193.4 - 0.02622d. \quad (10)$$

式中: q_{w1} 、 q_{dw4} 、 q_{w6} 、 q_{w8} 、 q_{w11} 分别为候车室总面宽长度为100 m、120 m、150 m、170 m、200 m时的候车室单位建筑能耗, W/m^2 ; d 为候车室总进深长度, m。

上述回归方程的拟合度 R-Square 均在

0.954 2,拟合程度良好。

(3)在以上模拟试验中,多组数据无显著性差异,候车室总面宽长度的增加与能耗呈反比关系,且在不同总进深长度的试验中,变化趋势基本一致.同时,经数据分析可知,当总面宽长度变化区间一致时,总进深长度越小,算例区间内能耗的总增长率越低,当总进深长度为170 m时,总面宽长度160 m比200 m单位建筑总能耗高约4.71%,而当总进深长度为370 m时,总面宽长度160 m比200 m单位建筑总能耗高约4.89%.当总进深长度一定时,总面宽长度越小,能耗同比上一数据的增长率越低。

(4)在以上模拟试验中,多组数据无显著性差异,候车室总进深长度的增加与能耗呈反比关系,且在不同总面宽长度的试验中,变化趋势基本一致.同时,经数据分析可知,当总进深长度变化区间一致时,总面宽长度越小,算例区间内能耗的总增长率越低,当总面宽长度为100 m时,总进深长度170 m比370 m单位建筑总能耗高约2.81%,而当总面宽长度为200 m时,总进深长度170 m比370 m单位建筑总能耗高约2.98%.当总面宽长度一定时,总进深长度越小,能耗同比上一数据的增长率越低。

2.2 候车室平面面积、长宽比能耗模拟分析

候车室平面规模、长宽比与能耗模拟试验共产生120个试验结果,通过数据分析软件Matlab对每组数据进行回归拟合分析,得出候车室平面规模、长宽比与单位面积建筑能耗的一元线性关系图.由于各组得出图示结果基本一致,故笔者只选取平面规模40 000 m²时为例,对各长宽比与能耗模拟,长宽比为3:2时的各平面规模与能耗模拟的一元线性关系,如图9、图10所示。

通过以上的模拟试验和数据分析,可得到以下结论:

(1)当平面面积和空间高度一定时,平面长宽比为3:2时,单位能耗最低;平面长宽

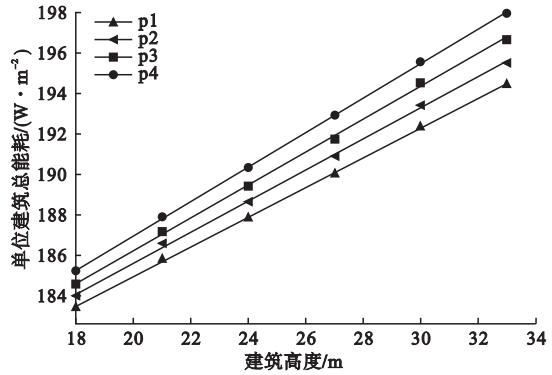


图9 平面长宽比和能耗关系

Fig. 9 Relationship between planar aspect ratio and energy consumption

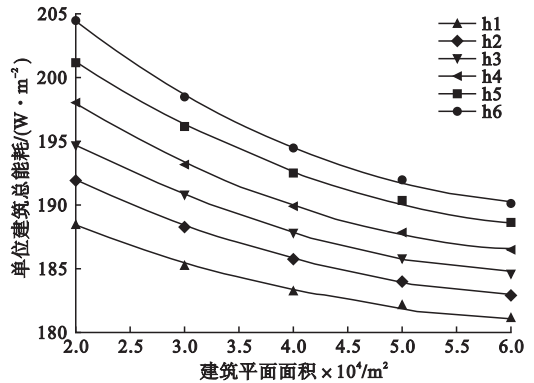


图10 平面面积与能耗关系

Fig. 10 Relationship between flat area and energy consumption

比为3:1时,单位能耗最高。

(2)当平面面积一定,平面长宽不同时,空间高度对能耗的影响程度不同,平面长宽比为3:2时影响最低,而平面长宽比为3:1时影响最高;且平面长宽比越大,算例区间内能耗的总增长率越高。

(3)当平面长宽比和空间高度一定时,平面面积为6 000 m²时,单位能耗最低;平面面积为2 000 m²时,单位能耗最高。

(4)当平面长宽比一定,平面面积不同时,空间高度对能耗的影响程度不同,平面面积为6 000 m²时影响最低,而平面面积为2 000 m²时影响最高;且平面面积越小,算例区间内能耗的总增长率越高。

2.3 候车室高度能耗模拟分析

高度与能耗模拟试验共得到4组数据,共产生32个试验结果,通过Matlab软件对每组数据进行回归拟合分析,得出候车室高度与单位面积建筑能耗的一元线性关系图和方程式.由于各组得出图示结果基本一致,故笔者只选取平面尺寸150 m×270 m为例,对高度与能耗模拟的一元线性关系图进行分析,如图11所示.同时,对生成3组高度与能耗模拟的拟合分析图,进行对比分析如图12所示.

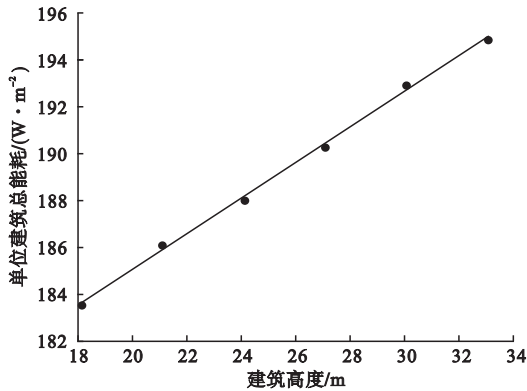


图11 高度和能耗关系

Fig. 11 Relationship between height and energy consumption

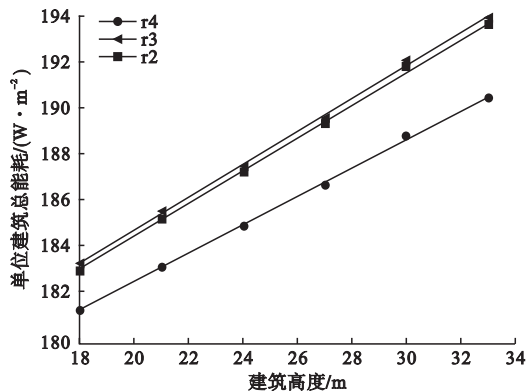


图12 各组高度试验对比

Fig. 12 Test comparison of height in each group comparison

通过以上的模拟试验和数据分析,可得到以下结论.

(1)经模拟可得到候车室高度与能耗的一元线性方程式:

$$q_{r1} = 170.1 + 0.7522 h. \quad (11)$$

$$q_{r2} = 170.1 + 0.7128 h. \quad (12)$$

$$q_{r3} = 170.1 + 0.722 h. \quad (13)$$

$$q_{r4} = 170 + 0.618 h. \quad (14)$$

式中: q_{r1} 为平面尺寸为150 m×270 m时的候车室单位建筑能耗, W/m^2 ; q_{r2} 为平面尺寸为170 m×254 m时的候车室单位建筑能耗, W/m^2 ; q_{r3} 为平面尺寸为160 m×270 m时的候车室单位建筑能耗, W/m^2 ; q_{r4} 为平面尺寸为190 m×320 m时的候车室单位建筑能耗, W/m^2 ; h 为候车室总高度,m.

(2)在模拟试验中,多组数据无显著性差异,候车室高度的增加与能耗呈正比关系,且在不同平面尺寸的试验中,变化趋势基本一致.

(3)相同平面面积的两组试验所得到的结果基本一致,平面长宽比越大,能耗受建筑高度的影响越大;平面面积对能耗的影响要远大于平面长宽比对能耗的影响.

3 试验分析

3.1 各因素影响权重分析

利用Matlab软件对上述模拟试验得到的数据进行各研究因素方差分析,结果如表1所示.由表可知,建筑高度对能耗的波动程度为441.766,总面宽长度为144.4,总进深长度为72.1995,高度对能耗影响幅度远远大于总面宽长度和总进深长度,因而在设计中应首先考虑.

表1 各影响因素方差分析

Table 1 Variance analysis of variance influencing factors

影响因素	DF	SS	MS
总面宽长度	23	3 321.19	144.400 0
总进深长度	29	2 093.78	72.199 5
建筑高度	6	2 650.60	441.766 0

注:方差分析是为了判别因素对结果的显著度,DF为数据的自由度;SS为平方和;MS为SS与DF的比值,表示均方,指单位自由度平方和;MS值越大代表该因素的显著度越高.

3.2 多元线性回归方程的提出

通过模拟试验,共得到了266个数据结果,以候车室总面宽长度、总进深长度和高度为自变量,单位建筑能耗为因变量,利用Matlab进行拟合分析,可得出多元线性回归方程:

$$q = 191.41 - 0.02626d - 0.0781w + 0.814h \quad (15)$$

式中: q 为单位建筑能耗, W/m^2 ; d 为候车室总进深长度, m ; w 为候车室总面宽长度, m ; h 为候车室总高度, m .

以候车室平面规模、平面长宽比和高度为自变量,单位建筑能耗为因变量,利用数据分析Matlab进行拟合分析,可得出多元线性回归方程:

$$q = 176.94 - 0.000026s + 1.786p + 0.816h \quad (16)$$

式中: q 为单位建筑能耗, W/m^2 ; s 为候车室平面面积, m^2 ; p 为候车室平面长宽比; h 为候车室总高度, m .

以上回归方程的提出可以让建筑师们在设计初期快速计算建筑能耗,从而指导节能建筑设计.

4 结 论

(1)通过对候车室总面宽长度与候车室能耗模拟试验得出:候车室总面宽长度的增加与能耗呈反比关系,且在不同总进深长度的试验中,变化趋势基本一致.同时,经数据分析可知,当总进深长度一定时,并且随着总面宽长度的增大,建筑能耗降低的趋势逐渐变缓,总面宽长度越大,能耗同比上一数据的增长率越低,即随总面宽长度的减少,候车室节能作用更为明显.当总面宽长度变化区间一致时,总进深长度越大,算例区间内能耗的总增长率越低.

(2)通过对候车室总进深长度与候车室能耗模拟试验得出:候车室总进深长度的增加与能耗呈反比关系,且在不同总面宽长度

的试验中,变化趋势基本一致.同时,经数据分析可知,当总面宽长度一定时,并且随着总进深长度的增大,建筑能耗降低的趋势逐渐变缓,总进深长度越大,能耗同比上一数据的增长率越低,即随总进深长度的减少,候车室节能作用更为明显.当总进深长度变化区间一致时,总面宽长度越小,算例区间内能耗的总增长率越低.

(3)通过对候车室高度与候车室能耗模拟试验得出:候车室高度的增加与能耗呈正比关系,且在不同平面尺寸的试验中,变化趋势基本一致;当候车室平面面积相同,平面长宽比越大,能耗受建筑高度的影响越大;当候车室平面长宽比相同时,平面面积越小,能耗受建筑高度的影响越大.

综上,结合总面宽长度、进深长度和高度与能耗模拟的试验数据,通过方差分析可得出三者对能耗的波动程度,在候车总面宽长度和总进深长度与高度间对比,高度对建筑节能的效果更显著.总面宽长度对能耗的影响幅度要大于总进深长度对能耗的影响幅度.当不同形态设计要素多样改变时,会产生多样的能耗变化,而通过研究所得能耗计算公式,可使得建筑师在建筑设计方案阶段,快捷有效地计算出不同方案设计下的建筑能耗结果,使得建筑工作者能够对建筑的功能、形态及节能作用进行综合分析,从而优化了设计流程,以得到理想的设计结果.

参考文献

- [1] 吴迪,刘丛红.寒冷气候区火车站用能特点及节能潜力分析[C].第十一届国际绿色建筑与建筑节能大会,2015.
(WU Di, LIU Conghong. Analysis on energy characteristics and energy-saving potential of railway station in cold climate zone[C]. Proceedings of the 11th international conference on green building and building energy conservation, 2015.)
- [2] ANTON I, TANASE D. Informed geometries parametric modelling and energy analysis in early stages of design [J]. Science direct, 2015, 85: 9-16.
- [3] 赵洋.基于低能耗目标的严寒地区体育馆建

- 筑设计研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2014.
(ZHAO Yang. Research on gymnasium design with low-energy consumption in severe cold area of China [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.)
- [4] 张冉. 严寒地区低能耗多层办公建筑形态设计参数模拟研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2014
(ZHANG Ran. Shape design parameters study of multilayer office building with low energy consumption in severe cold region based on digital simulation [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.)
- [5] JIN J T, JEONG J W. Optimization of a free-form building shape to minimize external thermalload using genetic algorithm [J]. Energy and buildings, 2014, 85: 473 - 482.
- [6] BEKKOUCHE S M A, BENOUAZ T, CHERIER M K, et al. Influence of the compactness index to increase the internal temperature of a building in Saharan climate [J]. Energy and buildings, 2013, 66: 678 - 687.
- [7] 李静, 李桂文. 基于天窗采光的建筑节能优化设计研究:以严寒地区高校体育馆比赛厅为例[J]. 城市建筑, 2010, 8: 112 - 113.
(LI Jing, LI Guiwen. Study on the optimal design of building energy saving based on skylight daylight: taking the competition hall of university gymnasium in severe cold region as an example [J]. Urbanism and architecture, 2010, 8: 112 - 113.)
- [8] 张朕源. 严寒地区高速铁路客站候车空间优化设计研究[D]. 长春:吉林建筑大学, 2016.
(ZHANG Zhenyuan. Dissertation for the master degree in engineering high-speed railway station in cold area passenger waiting space design optimization [D]. Changchun: Jilin Jianzhu University, 2016.)
- [9] 李琴波. 寒冷地区中小型高铁站候车厅节能改造研究[D]. 天津:天津大学, 2013.
(LI Qinbo. Research on energy efficiency of small and medium-size high-speed railway station waiting room in cold areas [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.)
- [10] 周燕来. 夏热冬冷地区大中型铁路客运站站房建筑节能设计方法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2008.
(ZHOU Yanlai. The research on design methods of energy efficiency in the large and medium sized railway station buildings in hot summer and cold winter zone [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.)
- [11] 张慧. 我国大型铁路客运站绿色策略初探 [D]. 长沙:中南大学, 2010.
(ZHANG Hui. A preliminary study on the green strategy of large railway passenger stations in China [D]. Changsha: Central South University, 2010.)
- [12] 刘加平. 绿色建筑概论[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.
(LIU Jiaping. Introduction to green building [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.)
- [13] PEREZ-LOMBARD L, ORTIZ J, POUT C. A review on buildings energy consumption information [J]. Energy and buildings, 2008, 40: 394 - 398.
- [14] KHOO C K. Towards a responsive architectural morphing skin [C]//Proceedings of the 7th international workshop on the design & semantics of form & movement. Wellington: [s. n.], 2012: 203 - 210.
- [15] 梅洪元. 寒地建筑[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
(MEI Hongyuan. Cold building [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.)
- [16] 李传成. 大空间建筑通风节能策略 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.
(LI Chuancheng. Ventilation and energy saving strategy for large space buildings [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.)
- [17] 林涛, 刘茜. 自由形态建筑的能耗模拟及体型优化 [J]. 四川建筑科学研究, 2016 (5): 114 - 117.
(LIN Tao, LIU Qian. Energy consumption simulation and form optimization of free form buildings [J]. Sichuan building science, 2016 (5): 114 - 117.)
- [18] 申杰. 基于的绿色建筑技术分析研究方法应用研究[D]. 广州:华南理工大学, 2012.
(SHEN Jie. Research on methods of using technical analysis in grasshopper for green building design [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.)
- [19] MENG H, LIN Y. Thermal comfort of railway station's waiting room in severe cold regions of China [J]. Energy procedia, 2017 (10), 134: 749 - 756.
- [20] MORRISSEY J, MOORE T, HORNE R. Affordable passive solar design in a temperate climate: an experiment in residential building orientation [J]. Renewable energy, 2011, 36: 568 - 77.