

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-013-05

大型高铁客运站建筑能耗影响因素分析

肖 滔 雷 波

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘 要】 针对典型客运站模型, 对不同气候区的铁路客运站采用 EnergyPlus 软件进行全年供暖空调能耗模拟计算, 运用正交试验法和敏感性分析方法分析得到各个影响因素的影响能力大小排序, 明确了不同气候下影响铁路客运站能耗的主要因素。

【关键词】 铁路客运站; 影响因素; 正交试验; 敏感性分析

中图分类号 TU831 文献标识码 B

Analysis of the Factors of Energy Consumption in Large High-speed Railway Station

Xiao Tao Lei Bo

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 According to the typical passenger station model, the EnergyPlus software is used to simulate the annual heating and air conditioning energy consumption of the railway passenger station located in different climate zones. By means of orthogonal test and sensitivity analysis, the influence capacity of each factor is sorted out, and the main factors affecting the energy consumption of railway passenger station are identified.

【Keywords】 railway station; influence factor; orthogonal test; sensitivity analysis

基金项目: “国家重点研发计划资助”(项目编号: 2018YFC0705000)

作者简介: 肖 滔 (1994.12-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: seanxiaotao@qq.com

通讯作者: 雷 波 (1961.05-), 男, 博士, 教授, E-mail: leibo@home.swjtu.edu.cn

收稿日期: 2020-05-28

0 引言

我国的能源消耗逐年呈现稳步增长, 且人均能源占有量低于全球人均水平, 其中建筑能耗占全国总能耗的 1/3, 所以建筑节能是影响我国经济健康发展的重要因素。当前我国铁路建设发展迅速, 已有大量客运站建成运行, 目前在运营的客运站总体能耗日渐上升^[1,2]。建筑能耗的影响因素众多, 如何重点抓住对能耗影响较大的因素进行节能设计或者节能改造是一个重要问题。李国帅、孙冬梅等人用正交试验法分析了办公建筑能耗的主要影响因素^[3,4]; 王永龙、杨柳等人用敏感性系数分析了办公建筑能耗的主要影响因素^[5,6]; Z Su、宋歌等人对铁路客运站的用能现状和能耗影响因素做了研究和阐述^[7,8]; 但目前对于新建的高铁客运站能

耗的相关研究仍较少。本文针对典型的大型高铁客运站型式建立模型, 采用 EnergyPlus 软件进行全年能耗模拟, 针对不同气候分区计算分析了不同围护结构、设备、人员等因素下的客运站供暖空调能耗, 得到这些因素对客运站供暖空调能耗不同的影响程度。

1 客运站模型及研究方法

在对现有高铁车站设计资料分析的基础上, 建立典型的大型铁路客运站的模型如图 1 所示。客运站为两层结构, 一楼为层高 10m 的进站厅, 分为前后两个, 二楼为层高 25m 的候车厅, 空调面积为 6.4 万 m²。

根据铁路客运站的特点, 选取 A 建筑特征(围

护结构参数和窗墙比); B 人员密度; C 渗透风; D 照明设备功率; E 室内环境控制参数 (空调和供暖室内设定温度); F 设备能效; G 冷热源设备的运行模式这 7 种筑能耗主要影响因素作为研究对象。运用正交试验法和敏感性分析法来分析同一因素在不同气候区对供暖空调能耗的影响程度。

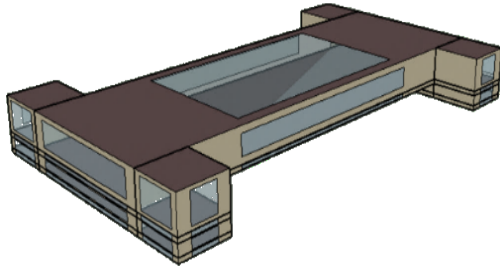


图 1 大型铁路客运站模型

Fig.1 Model of a large railway passenger station

5 个气候区分别进行试验, 选择正交试验表 $L_{32}(4^8)$ 安排试验, 每个因素选择 4 个水平。针对建筑特征这一因素, 根据《公共建筑节能设计标准》对应各个气候区分别选取 4 组不同的外墙和屋面的传热系数, 窗墙比取 0.4~0.7, 并选取相应的外窗传热系数和太阳得热系数。人员密度按最大聚集人数选择 5000、6500、8000、9500 人四个水平。渗透风取值为 0.5~2 次/h^[9]。照明功率密度取值为 5~11W/m², 设备功率密度取值 5~20W/m²。室内环境控制参数冬季为 17~20℃, 夏季为 25~28℃。冷热源选择冷水机组和锅炉的形式, 冷水机组 COP 为 4.5~5.9, 锅炉热效率为 75%~90%。运行模式的 4 个水平取值如表 1 所示。

表 1 供暖空调系统运行模式水平表

Table 1 The level of heating and air conditioning system operating mode

模式类型	供暖空调系统运行模式
模式 1	全年无节假日, 分空调期和供暖期, 全天 24h 运行
模式 2	全年无节假日, 分空调期和供暖期, 启停时间 5:00~22:00
模式 3	全年无节假日, 分空调期和供暖期, 全天 24h 运行, 5:00~22:00 正常运行, 其他时间冬季控制在 12℃, 夏季控制在 30℃
模式 4	全年 8760h 运行

在正交试验的基础上, 运用单因子敏感性分析方法对建筑特征、人员密度、照明和设备功率密度 3 种因素作进一步的分析。把模型的围护结构和其他设计参数按《公共建筑节能设计标准》选取合适的参照值重新设置, 冷热源按照模式 2 运行, 得到基

准建筑能耗, 按一定步长改变各个参数并进行模拟分析。模拟工况如表 2 所示, 其他参数设定值为: 屋顶透光面积 20%, 渗透风 0.5 次/h, 室内设定温度夏季 26℃, 冬季 18℃, 冷水机组 COP=5.9, 燃气锅炉热效率 90%。

表 2 建筑设计参数的参照值、变动范围和步长

Table 2 Reference values, scope changes and step length of building design parameters

参数	参照值	变化范围	步长
外墙传热系数	0.6	0.4~0.8	0.1
屋面传热系数	0.45	0.25~0.65	0.1
太阳得热系数	0.4	0.2~0.7	0.1
窗墙比	0.6	0.4~0.8	0.1
设备功率密度	13W/m ²	7~19	3
照明功率密度	9W/m ²	5~13	2
最高聚集人数	8000 人	6000~10000	1000

2 正交试验结果分析

2.1 极差分析

运用极差分析可以直观的比较出试验的主次

因素, 某因素的极差最大, 说明该因素的值在试验范围内变化时, 使试验结果数值的变化最大。根据极差大小, 把影响建筑能耗的因素分为了关键、重

要、一般以及次要四种程度。极差分析结果见表 3。

表 3 供暖空调能耗结果极差分析

Table 3 The range analysis of heating and cooling energy consumption

气候区	建筑特征	人员密度	渗透风	功率密度	室内环境控制参数	设备能效	运行模式	空列
	A	B	C	D	E	F	G	H
严寒	800	269	11485	224	1352	2607	1362	297
	一般	次要	关键	次要	重要	重要	重要	次要
寒冷	411	88	6111	115	1124	1756	757	176
	一般	次要	关键	次要	重要	重要	一般	次要
夏热冬冷	302	181	3095	135	882	1280	480	119
	一般	次要	关键	次要	重要	重要	一般	次要
夏热冬暖	75	99	148	182	238	347	69	21
	次要	一般	一般	重要	重要	关键	次要	次要
温和	156	222	837	124	265	1282	260	140
	次要	一般	重要	次要	一般	关键	一般	次要

对于严寒、寒冷、夏热冬冷这 3 个冬季有供暖需求的气候区, 渗透风、设备能效、室内环境控制参数是影响最大的 3 个因素, 运行模式次之。夏热冬暖地区冬季不用供暖, 设备能效和室内温度仍然是影响最大的因素, 照明和设备的功率密度和渗透风次之, 温和地区供冷期和供暖期较短, 设备能效和渗透风是主要影响因素, 室内温度、运行模式和人员密度次之。

2.2 方差分析

方差分析是通过分析各因素引起的数据波动较误差引起的数据波动的差异程度, 来推断相应因素不同水平总体均值差异的显著性, 即相应因素对结果的影响力大小。影响因素显著性等级划分^[3]: 分别取显著性水平=0.1 和“特别显著”性水平=0.01, 即: 如 $F(f_{i,j}f_e) > F_{0.01}(f_{i,j}f_e)$, 则为“特别显著”; 如 $F_{0.01}(f_{i,j}f_e) \geq F(f_{i,j}f_e) > F_{0.1}(f_{i,j}f_e)$, 则为“显著”; 如 $F_{0.1}(f_{i,j}f_e) \geq F(f_{i,j}f_e) > 1.0$, 则为“一般影响”; 如 $F(f_{i,j}f_e) < 1.0$, 则为“不显著”。方差分析结果见表 4。

表 4 供暖空调能耗方差分析

Table 4 The variance analysis of heating and cooling energy consumption

气候区	建筑特征	人员密度	渗透风	功率密度	室内环境控制参数	设备能效	运行模式	空列
	A	B	C	D	E	F	G	H
严寒	2.37	0.35	429.77	0.27	6.38	23.42	8.29	0.47
	一般影响	不显著	特别显著	不显著	显著	特别显著	显著	不显著
寒冷	0.57	0.03	152.26	0.00	5.35	12.53	2.79	0.13
	不显著	不显著	特别显著	不显著	显著	显著	一般影响	不显著
夏热冬冷	1.29	0.59	123.19	0.26	10.49	21.53	2.96	0.34
	一般影响	不显著	特别显著	不显著	显著	特别显著	一般影响	不显著
夏热冬暖	0.60	1.42	3.01	4.68	8.38	20.11	0.51	0.08
	不显著	一般影响	显著	显著	特别显著	特别显著	不显著	不显著
温和	0.74	1.56	13.59	0.43	1.54	40.04	1.86	0.57
	不显著	一般影响	特别显著	不显著	一般影响	特别显著	一般影响	不显著

在置信度 0.9 下, 严寒、寒冷、夏热冬冷地区各个因素的显著性排序为 $C > F > E > G > A > B > D$; 夏热冬暖地区各个因素的显著性排序为

$F > E > D > C > B > A > G$; 温和地区各个因素的显著性排序为 $F > C > G > B > E > A > D$ 。极差法和方差法得到的结论基本一致。

2.3 试验结果分析

根据经验,室内计算温度每变化 1℃,能耗可变化 5%~10%,室内环境控制参数对供暖空调能耗影响显著是合理的。客运站候车厅是大空间建筑,风口布置存在各种问题,室内温度往往是不均匀的且不同区域有明显差别,实际温度是否满足设计要求,能不能合理改变设计温度来降低能耗都有待进一步研究。

大型客运站对冷热耗量有较大需求,设备能效和运行模式差异会造成能耗的较大差异。由于客运站本身的功能特性,其空调设备运行规律相对固定,但不同地区的不同客运站又有其特殊之处,需要选择各自合理的运行模式,且有人来严格执行。

渗透风主要对供暖负荷有较大影响,供暖需求越大的地区,渗透风的影响越显著,因此严寒、寒冷、夏热冬冷地区渗透风的重要性排首位,而夏热冬暖地区渗透风的重要性偏弱一些。客运站人流量大,开口多,大量的渗透风会造成室内温度达不到要求。进而造成能源消耗。又因为渗透风的存在,有客运站在实际运行中取消了新风系统的运行,节约了一部分能耗。合理解决渗透风问题对节能客运站的空调能耗有重大意义。

3 单因子敏感性分析

本文用敏感性系数 IC 来进行衡量各个因素对供暖和空调能耗的影响程度大小,其定义式为:

$$IC = \frac{OP - OP_{bc}}{OP_{bc}} \bigg/ \frac{IP - IP_{bc}}{IP_{bc}}$$

式中:OP 为建筑的模拟输出结果,即供暖和空调能耗;OP_{bc} 为基准建筑的模拟输出结果;IP 为模拟的输入参数值;IP_{bc} 为基准建筑的模拟输入参数值。

不同的设计参数对建筑的供暖空调能耗的敏感性系数大小不同,其绝对值的大小反映了该项设计参数对相应输出结果的影响,值越大,对其影响越大,值为正,表示该参数与输出结果正相关,反之则负相关。模拟结果如表 5 所示,可判断在不同气候区下各因素与供暖空调总能耗的相关性。把实验结果对空调和供暖进行单独分析可得,其中窗墙比、太阳得热系数(SGHC)、设备和照明功率密度的变化与供暖能耗呈负相关;外墙传热系数的变化与空调能耗呈负相关;设备和照明功率的变化与

空调能耗呈正相关,与供暖能耗呈负相关。

表 5 各项参数在不同气候区中对供暖空调能耗的敏感性系数大小

Table 5 The sensitivity coefficient of each parameter to energy consumption of HVAC in different climate zones

地区 系数	地区				
	严寒	寒冷	夏热冬冷	夏热冬暖	温和
外墙传热系数	0.019	0.012	0.006	-0.010	0.020
屋面传热系数	0.022	0.017	0.010	0.001	0.045
太阳得热系数	-0.078	0.071	0.282	0.483	0.235
窗墙比	0.032	0.031	0.101	0.146	0.144
设备功率密度	-0.185	-0.166	-0.062	0.195	-0.129
照明功率密度	-0.044	-0.038	-0.014	0.041	-0.049
最高聚集人数	0.144	0.180	0.221	0.247	0.140

外墙和屋面的敏感性系数均小于 0.02,且能耗变化率小于 0.3%,由此可以得知,目前的标准对外墙和屋面的传热系数在节能这方面的要求已经非常高了,两者的节能潜力有限。

照明功率密度的敏感性系数低于 0.05,对供暖空调能耗的影响较小,对减小供暖空调能耗的贡献同样十分微小,应把重点放在减少照明设备的用电能耗上面。

设备功率密度对供暖空调能耗的敏感性系数较大。客运站中的设备种类繁多且运行时间长,合理安排运行模式,通过管理人员的操作来减少用电能耗是主要方向。

太阳得热系数增大有利于供暖能耗的减小,但会导致空调能耗的增大。由模拟结果得到,在模拟取值范围内,对于严寒地区,SGHC 取值越高越节能,其他气候区则是越低越节能。该值变化 0.1,夏热冬冷地区的能耗变化率约为 6%,夏热冬暖地区可达到 10%。严寒地区应选取高太阳得热系数的窗户材质,其他气候地区则反之。

较大的窗墙比有利于冬季供暖能耗的降低,同时有利于客运站白天的自然采光,降低照明能耗,但会增大夏季空调能耗。当 SGHC 的取值为 0.8 时,重新计算后对比两组数据可得,窗墙比的敏感性系数大小随着 SGHC 取值的增大而增大。当 SGHC=0.4 时,严寒地区的能耗随着窗墙比的增大而减小,其他地区则相反;当 SGHC=0.8 时,所有

地区的能耗都随着窗墙比的增大而增大;严寒地区的能耗在 $SGHC=0.8$ 时要小于 $SGHC=0.4$ 的能耗,其他地区则相反。根据模拟结果计算可得,窗墙比取值变化 0.1,严寒和寒冷地区客运站的能耗变化率小于 0.7%,夏热冬冷地区约为 2%,夏热冬暖和温和地区约为 2.5%。

人员密度对供暖空调能耗的敏感性系数较大,符合上述方差分析的结果。试验中,人除了散热散湿还有新风需求,所以对能耗影响较大。

4 结论

本文用正交试验法和敏感性系数法对典型大型高铁客运站的能耗进行了影响因素分析。根据全年的动态模拟结果,分析比较了各个参数对客运站供暖空调能耗的影响大小。可以得到以下结论:

(1) 严寒、寒冷、夏热冬冷地区的主要影响因素排序为渗透风、设备能效、室内环境控制参数、运行模式、人员密度、设备功率密度、太阳得热系数、照明功率密度、窗墙比;

夏热冬暖地区的主要影响因素排序为设备能效、室内环境控制参数、渗透风、太阳得热系数、人员密度、设备功率密度、窗墙比、运行模式、照明功率密度;

温和地区的主要影响因素排序为设备能效、渗透风、运行模式、太阳得热系数、人员密度、室内环境控制参数、窗墙比、设备功率密度、照明功率密度。

(2) 对于空调设备、照明设备、其他设备,做好运行管理,提高管理人员的节能意识,对客运站节能有重要影响;合理解决客运站的渗透风和新

风问题,是客运站节能的重要方向。

(3) 单纯提高外墙、屋面等围护结构热工性能的节能潜力较小;严寒地区选择高得热系数、其他地区选择低得热系数时,窗墙比对客运站空调能耗的影响较小。

参考文献:

- [1] 曹斌. 构建铁路大型客站能耗控制管理体系探讨[J]. 铁路节能环保与安全卫生,2017,7(1):35-38.
- [2] 国家铁路大型客站能源消耗专项调查组, 韩砚, 王康平. 2011 年国家铁路大型客站能源消耗专项调查情况分析[J]. 铁道经济研究,2012,(5):8-13.
- [3] 李国帅. 公共建筑能耗影响敏感性因素分析[C]. 第六届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集,2010:5.
- [4] 孙冬梅. 公共建筑供暖空调系统能耗预测方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2009.
- [5] 王永龙, 潘毅群. 典型办公建筑能耗模型中输入参数单因子敏感性的分析研究[J]. 建筑节能,2014,42(2):9-14.
- [6] 杨柳, 侯立强, 李红莲, 等. 空调办公建筑能耗预测回归模型[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2015, 47(5):707-711.
- [7] Z Su X, et al. Multiple regression analysis on the HVAC energy consumption of railway passenger stations[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019,609(5).
- [8] 宋歌, 刘燕, 朱丹丹, 等. 铁路客站用能现状及其影响因素分析[J]. 供暖空调,2013,43(4):85-90
- [9] 于靖华, 杨清晨, 田利伟, 等. 铁路旅客站房高大空间冬季热环境测试与分析[J]. 制冷与空调,2019,33(4):405-409.