

文章编号: 1671-6612 (2023) 01-106-09

西昌西站通风空调系统智能温控策略研究

许琳

(河南工业职业技术学院建筑工程学院 南阳 473000)

【摘要】 以西昌西站通风空调系统的温度控制调节策略为例, 采用 Energy Plus 软件建立了三种温控设计模型, 将不同的工况组合数据作为机器学习的训练样本, 模拟了智能温控策略、全开空调策略以及半开空调策略下, 系统在全年运行工况下的水流量、室内温度和能耗变化情况。结果得出: 智能温控策略下全年能耗最低, 为 840108.16kWh, 节能率达 33.49%, 其次是半开空调的温控策略, 全开空调温控策略的全年总能耗最高。

【关键词】 智能温控策略; 室内温度; 水流量; 能耗
中图分类号 TK123 文献标识码 A

Research on Intelligent Temperature Control Strategy of Ventilation and Air Conditioning System in Xichang West Station

Xu Lin

(School of Architecture and Engineering, Henan Polytechnic Institute, Nanyang, 473000)

【Abstract】 Taking the temperature control and regulation strategy of the ventilation and air conditioning system in Xichang West Station as an example, this paper uses the Energy Plus software to establish three temperature control design models, takes different working condition combination data as machine learning training samples, and simulates the water flow, indoor temperature and energy consumption changes of the system under the annual operating conditions under the intelligent temperature control strategy, fully open air conditioning strategy and semi open air conditioning strategy. The results show that the annual energy consumption under the intelligent temperature control strategy is the lowest, that is 840108.16kW·h, and the energy saving rate is 33.49%, followed by the temperature control strategy of semi open air conditioner, and the total energy consumption of fully open air conditioner is the highest.

【Keywords】 Intelligent temperature control strategy; indoor temperature; water flow; energy consumption

0 引言

空调系统的控制包括室内环境温度和管路中水流量的变化情况^[1]。近年来, 机器学习的许多研究应用在空调系统的控制调节中^[2]。交通建筑是大量客流聚集的公共场所, 其室内环境舒适程度对乘客候车过程中的身心健康和出行状态具有直接影响^[3,4]。由于交通建筑的半封闭特性, 使得其内外部热湿交换频繁, 室内舒适度呈动态随机变化, 其温控系统是一类特定的复杂控制问题, 本文由此研

究西昌西站房通风空调系统的智能温控方法。

1 模型设置

1.1 工程背景

西昌西高铁站位于四川省西昌市凉山彝族自治州, 该区域的气候属于亚热带季风气候区, 干湿分明, 冬半年日照充足, 少雨干暖; 夏半年云雨较多, 气候凉爽。但凉山州地形及大气环流的多样性, 使得凉山州干雨明显、立体气候特征发生变异, 导

致凉山州气候特征呈现出复杂性、多样性。11 月~次年 4 月大致为干季，5 月~10 月为湿季。干湿季特征显著不同，干季气候特点是降水稀少，温差不大，阳光充足，气候暖和；湿季气候特点是温凉湿润、多阴雨^[5,6]。

本文中的过渡季节通过仿真实验确定，结合四季的划分，春秋两季为一年中进行冷热交替过渡的季节，室外温度较为适宜，因此本研究也分别在春季（3 月、4 月、5 月）和秋季（9 月、10 月、11 月）中各选取一个月作为本研究中的过渡季节，以半个月为间隔进行划分，列举多种过渡季节的组合方式，并根据对应过渡季节的设置进行仿真，即过渡季节不开启空调，冬季、夏季会开启空调制热、制冷模式，最后选取不同的过渡季节设置温度不舒适次数最少的情况作为过渡季节的日期选择。

1.2 模型建立

根据设计图纸，两个制冷主机覆盖的范围是候车厅和进站厅。本研究的空间划分并非单纯按照房间个数，而是将每个空气处理机组划分为 1 个区域，将候车厅公共卫生间的风机盘管进行合并。因此，候车厅被分成了 4 个空间，进站厅被分成了 3 个空间。

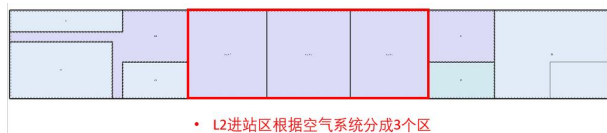


图 1 进站厅平面图

Fig.1 Plan of entrance hall

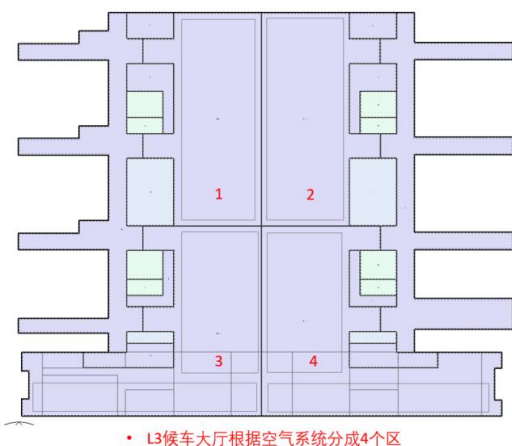


图 2 候车厅平面图

Fig.2 Plan of waiting hall

由于进站厅空间较大，共设置 3 台组合式空调机组，因此在 Energy Plus 中将进站厅分为 3 个热区，在模型中记为 jinzhan1、jinzhan2 和 jinzhan3；同样的，由于高架候车厅共设置 4 台组合式空调机组，因此将高架候车厅分为 4 个热区，在模型中记为 houche1、houche2、houche3 和 houche4。2 层进站厅平面图如图 1 所示，3 层高架候车厅平面图如图 2 所示。

室内热源会影响总体能耗，热源主要分为人员、灯光、设备，所以需要分别对此进行参数设置。高铁站作为人员流动频繁的场合之一，人员流动性大给人员逐时统计带来较大的困难，但因人员的流动与高铁的发车时间成正相关，在 Energy Plus 中，人员流量参数可以精确到每分钟，但在实际调研中要获取每分钟室内人员流量难度较大。因此，本文实地调研统计了一天中高架候车厅内人员的逐时平均客流量，如图 3 所示。

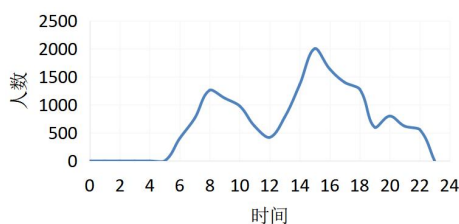


图 3 人员逐时数量

Fig.3 Hourly number of personnel

图 3 显示了西昌西站一天中的人员流动变化系数，其中最大的客流量密度为 2000 人/小时。为了使每天的人员流动符合总体规律又有人员数量上的变动，本研究在实验过程中加入了 0.1 的扰动，即以调查日客流量为基础，使数据在不超出最大客流量为 2000 人和最小客流量为 0 的前提下，在 10% 的范围内波动，随机增大或减小，以此生成一年中其他天数的客流量数据。

室内灯光设置是基于火车站内实际开启的灯光台数，每台灯光功率大小，经过加权平均，计算得到灯光功率，其中高架候车厅为每平方米 15W，进站厅为每平方米 10W。高架候车厅、进站厅采用 2 台螺杆式风冷热泵机组为其提供冷热水，热泵机组单体制冷量 926kW，制热量 889kW。空调系统设计为闭式机械循环，冷水供/回水温度为 7/12℃，热水供/回水温度为 45/40℃。

基于上述人员、灯光、设备的相关数据，为了

方便数值模拟, 将高架候车厅建筑平面图进行一定简化, 将西昌西站地理信息导入 Energy Plus 中, 构建的 Design builder 三维模型如图 4 所示。候车厅空调室内空气设计参数为: 冬季室内设计温度 18℃, 夏季室内设计温度 26~28℃, 室内相对湿度为 40~70%, 最小新风量为 10m³/(h·p)。

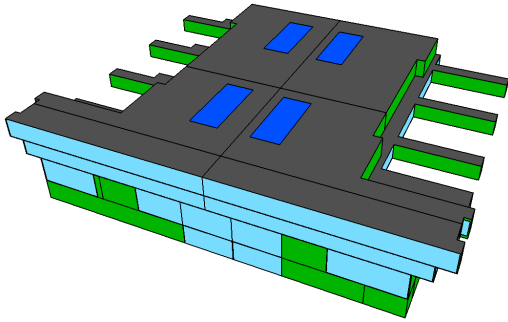


图 4 三维模型图

Fig.4 3D model drawing

1.3 通风空调系统组成

本工程空调系统原理图如图 5 所示, 高架候车

厅采用一次回风全空气系统, 设置 4 台组合式空调机组; 进站厅设置 3 台吊项式空调机组, 新风由出入口渗透、机械通风和电动排烟窗风口三种开启方式组成; 售票厅、候车厅公共卫生间共设置 22 台风机盘管, 在模型中简化为 8 台, 新风由出入口及公共区渗透得到。

本文利用已开设的电动排烟窗作为自然通风进、排风口, 当前车站候车厅顶部共设置 4 处电动排烟窗, 此处可用于自然通风。每处电动排烟窗开启净面积为 75m², 故开窗总面积为 75*4=300m², 通风驱动力由风压和热压组成, 选取 Energy Plus 中的自然通风模型。

针对过渡季与非过渡季交接时段, 可通过机械通风方式进行室内环境调节, 在节能的同时, 获得合适的室内温度。通过采用 Energy Plus 软件仿真模拟, 分别确定了 4.2-4.15 和 9.1-9.14 两个交接时段采用机械通风方式, 形成了半开空调方法下的调控策略, 如表 1 所示。

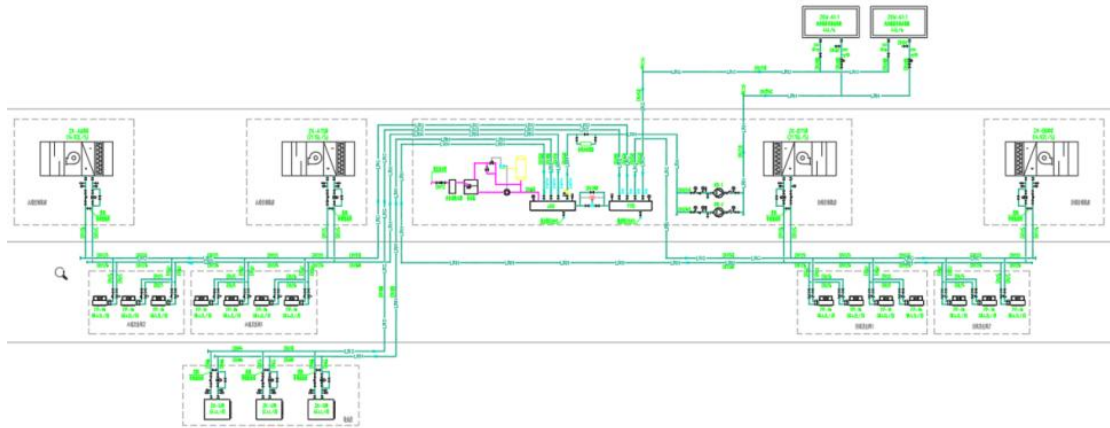


图 5 空调系统原理图

Fig.5 Schematic diagram of air conditioning system

表 1 半开空调温控策略

Table 1 Temperature control strategy of semi open air condition

过渡季节设置	冬天 (制热)	夏天 (制冷)	自然通风	机械通风
自然通风+机械通风 (8 次/h)	10.16-2.28	4.16-8.31	3.1-4.1、9.15-10.15	4.2-4.15、9.1-9.14

2 基于机器学习的智能温控策略设计

2.1 智能温控策略设计

本文利用 Energy Plus 软件搭建西昌西站空调系统仿真模型, 获得系统全年运行数据, 共 599879 组, 选取其中 96%作为机器学习的输入数据, 剩下 4%作为测试数据。借助 Matlab 软件建立机器学习

模型, 得到多时刻温度湿度短时预测模型, 用于实时输入温控策略后获得反馈, 以输出不同温控策略实施后的室内温度及能耗数据。考虑到多时刻温度湿度预测模型会输入当前时刻以及对前七天室内外参数进行实验, 属于时序预测问题, 而门控循环单元网络模型 (Gated Recurrent Units, GRU) 更擅

长用于处理时序问题，故本文选用 GRU 算法对下一时刻的温湿度进行预测。Cho 等^[7]在 2014 年提出门控循环单元，能够解决神经网络因长期依赖带来的梯度消失和梯度爆炸等问题。门控循环单元通过引入重置门和更新门的概念来改变隐藏状态的计算方式，计算速度更加快捷，能够保存长期序列中的信息，且不会随时间而清除或因为与预测不相关而移除^[8]。

本文搭建的机器学习模型，通过提取当前时刻及上一时刻的室外干球温度、室外露点温度、室外湿球温度、室外空气湿度比、室外空气相对湿度、

太阳散射辐射率、太阳直射辐射率、室内干球温度、室内湿球温度及客流量作为输入端，下一时刻七个分区的室内温度、室内湿度、水流量和能耗作为输出端，从而确定机器学习的温控参数预测模型。

为了达到节能效果，本文优先考虑使用不开启空调的控制模式，然后对该控制模式下的室内温度和湿度进行预测，当在该控制模式下达不到满意的室内温度时，再考虑使用开启空调模式的控制模式，同时对该模式下的水流量和能耗进行预测。智能温控流程如图 6 所示。

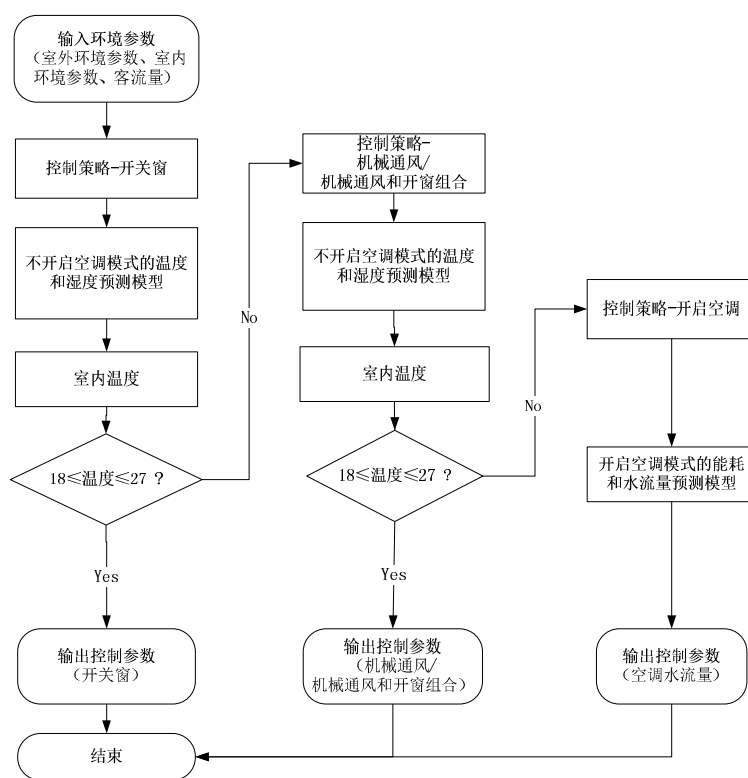


图 6 智能温控流程图

Fig.6 Flow chart of intelligent temperature control

开启空调模式通过对开启空调工况下，室内外环境参数、空调控制参数与产生的水流量和能耗之间的影响机理以及复杂关系进行学习，实现监测室内外环境参数时给出合理的空调控制参数。

需要特别指出的是，在铁路客运站空调设计中，候车厅室内相对湿度控制要求为 40~70%，是一个较广泛的控制范围，相对湿度加入后会影

响后续研究内容。

2.2 三种温控策略

为了对本文所提出的智能温控策略的实施效果进行评价，本文选取了另外两种温控策略进行对比分析。这两种温控方法分别称之为“全开空调”策略和“半开空调”策略。由于智能温控策略可根据内外部环境状态参数的改变而实时改变，本文构建了环境状态短时预测模型，用于实时输入温控参数后获得反馈信息，以输出不同温控策略实施后的

室内温度及能耗数据,从而对三种温控方法进行对比分析。

(1) 智能温控策略

智能温控策略即本文所提出的基于机器学习的温控设计方法,通过相应的机器学习模型能够根据室内外环境参数及客流量的变化,实时确定采用开窗通风、机械通风、开窗与机械通风组合或开启空调等温度控制策略。

(2) 全开空调策略

全开空调策略主要通过在全年工作时段(5:00-23:00)内开启空调,非工作时段关闭空调的控制方式来控制室内温度。

(3) 半开空调策略

半开空调策略主要考虑在过渡季节关闭空调,采用自然通风以及机械通风的方式,在非过渡季节采用开启空调的方式来控制室内温度。

表 2 列出了在不同的环境工况下,三种温控策略的设备开启情况。

表 2 三种温控策略对比表

Table 2 Comparison table of three temperature control strategies

温控策略	可选工况	工况变化依据	空调开启时间	机械通风开启时间
智能温控	自然通风 2 种,机械通风 3 种,自然通风+机械通风 3 种,开启空调	根据智能策略改变	根据具体环境变化确定	根据具体环境变化确定
半开空调	开启空调,全不开,机械通风	根据过渡季节设置改变	非过渡季节	过渡季节
全开空调	开启空调	不改变	全年	无

3 通风空调系统智能温控策略效果评价

3.1 全年室内温度变化情况

通过一年的数据模拟,得到三种温控策略的实施效果。图 7 至图 9 为三种温控方法下全年室内温度的变化情况。全开空调和智能控制策略下可以保证全年室内温度都处于较为舒适的范围内,变化更为均匀,半开空调策略下有温度明显过高的情况(高于 30℃),部分时间不能对室内环境进行较好的调节。

对比不同控制策略下室内温度的变化情况,存在智能控制策略在冬季比全开空调策略温度高,在夏季比全开空调策略温度低的情况:

(1) 冬季某些时间在智能温控策略下没有开

启空调,处于全不开模式,室内温度就会逐渐上升,达到较为舒适的状态,而全开模式下空调会持续对室内环境进行调节,在此过程中可能导致室内外环境交互更多,温度降低,这导致了冬季在智能温控策略下的平均室内温度高于全开空调策略。

(2) 夏季则相反,比如某些情况下室内温度高于 27℃而室外温度低于 27℃,通过机械通风换气可以使得温度得以大幅度降低,并在接下来的时间段内保持在较舒适温度范围,但在全开模式下此时的温度只能降低到略低于 27℃的状态,并且在一段时间内的调节都符合此状态,导致夏季智能温控策略下的平均室内温度低于全开空调策略。

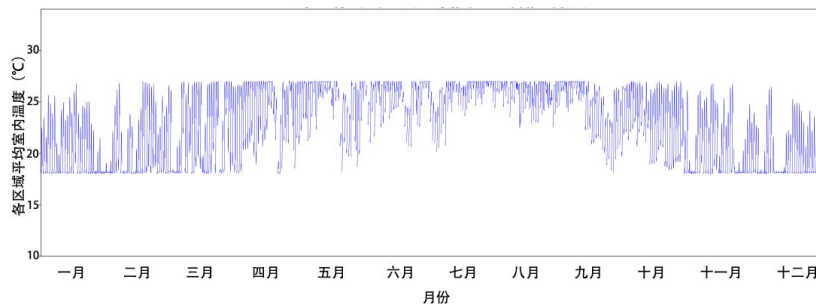


图 7 智能温控策略下,全年室内温度变化

Fig.7 Annual indoor temperature change under intelligent temperature control strategy

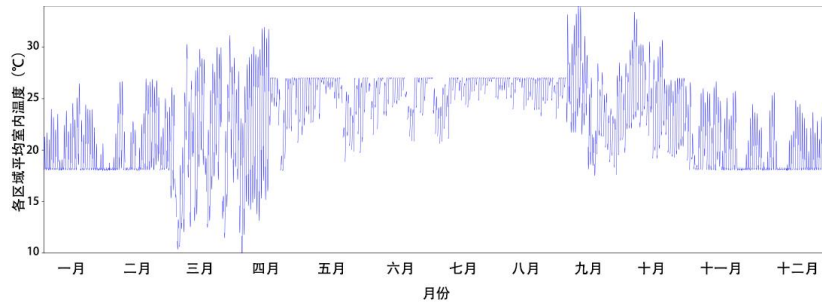


图 8 半开空调策略下，全年室内温度变化

Fig.8 Annual indoor temperature change under semi open air conditioning strategy

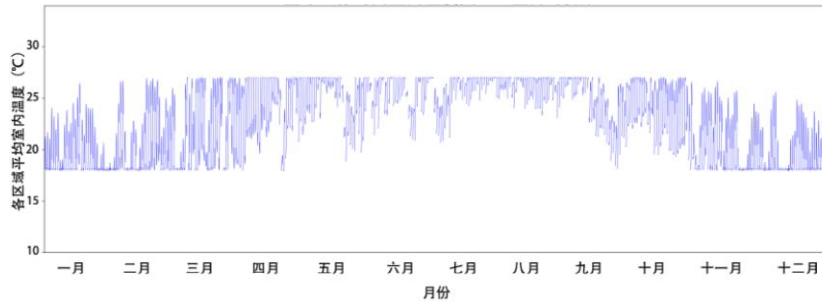


图 9 全开空调策略下，全年室内温度变化

Fig.9 Annual indoor temperature change under fully open air conditioning strategy

3.2 全年水流量变化情况

观察三种温控方法下全年水流量的变化情况如图 10 至图 12 所示，全开空调策略下全年水流量分布较为均衡，半开空调策略下的水流量在过渡季

节存在明显的空白，对应着不开启空调的情况，而智能温控策略对应的水流量分布情况则是介于全开空调策略和半开空调策略两种方法之间，存在某些时刻为零的情况。

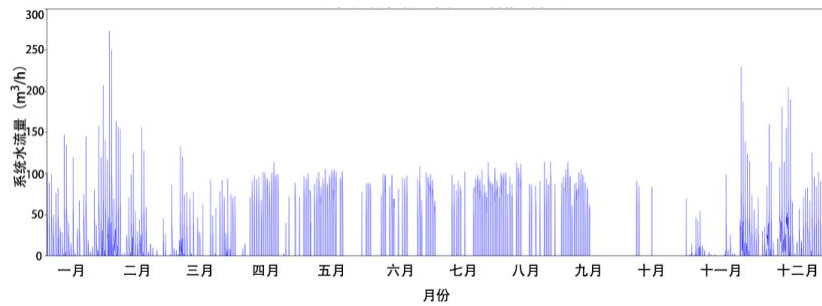


图 10 智能温控策略下，全年水流量变化

Fig.10 Annual water flow change under intelligent temperature control strategy

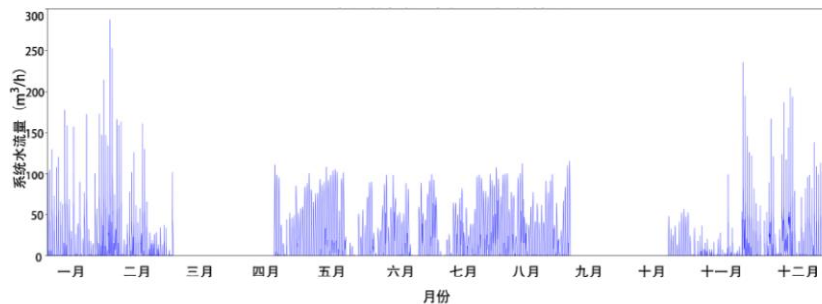


图 11 半开空调策略下，全年水流量变化

Fig.11 Annual water flow change under semi open air conditioning strategy

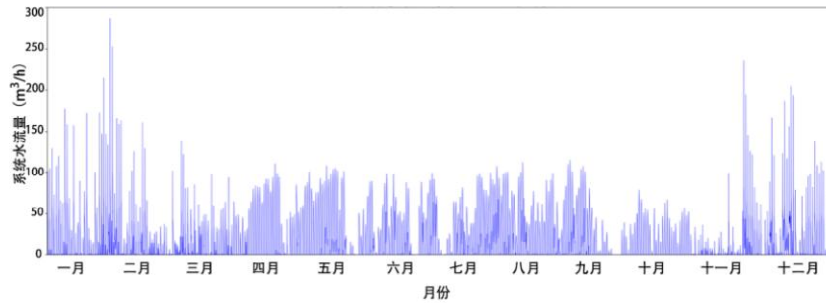


图 12 全开空调策略下，全年水流量变化

Fig.12 Annual water flow change under fully open air conditioning strategy

3.3 全年能耗变化情况

三种控制方法全年能耗的对比如图 13 至图 15 所示。全开空调策略下能耗的分布较为均衡，工作时段内都会开启空调并产生能耗。半开空调策略下对应的过渡季节 3.1-4.1 与 9.15-10.15 不开启空调，对应时期的能耗为零。除半开情况进行机械通风外，其

他时间内控制参数、室外环境参数和全开空调策略一致，两种控制方法下产生的能耗也一致。智能温控方法会根据不同的室内外环境状况，选择最优的控制参数来进行室内环境状态的调节，包括开启空调、机械通风、开窗、开窗和机械通风组合等，由此产生的全年总能耗是三种控制方法中最低的。

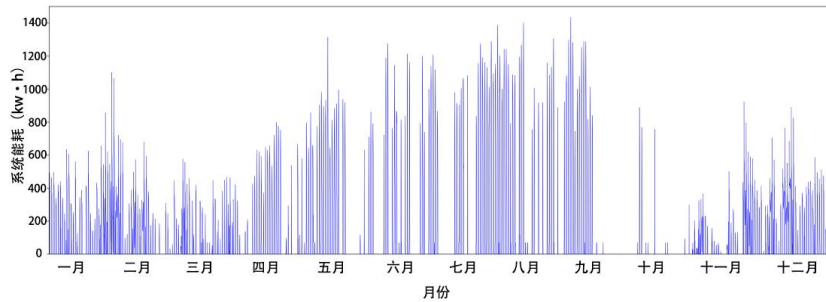


图 13 智能温控策略下，全年系统能耗变化

Fig.13 Annual system energy consumption change under intelligent temperature control strategy

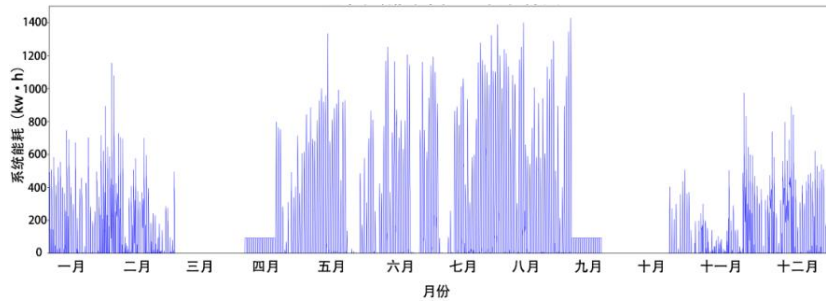


图 14 半开空调策略下，全年系统能耗变化

Fig.14 Annual system energy consumption change under semi open air conditioning strategy

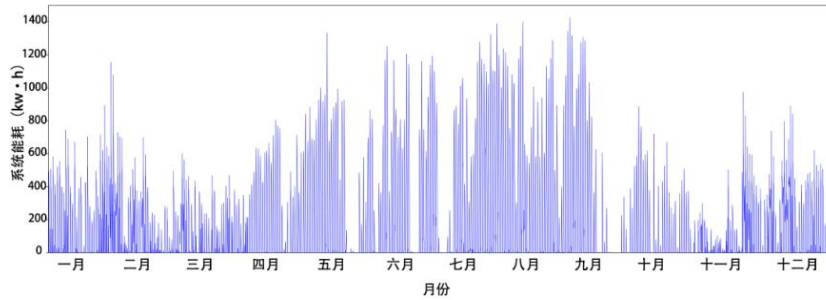


图 15 全开空调策略下，全年系统能耗变化

Fig.15 Annual system energy consumption change under fully open air conditioning strategy

三种温控策略各环节能耗情况如图 16 所示，根据实际环境情况的变化一年中会有相应的需要制冷、制热的时期，会产生不同的制冷、制热能耗，同时随着空调冷热源机组、水泵、末端设备（组空、风机盘管、吊柜机）也会产生一定的能耗。此外在

智能温控策略、半开空调策略下可选择的室内环境调控方式还包括机械通风，以室内外空气交换的方式来改善室内环境状态，机械通风设备在运行过程中也会产生相应的能耗。

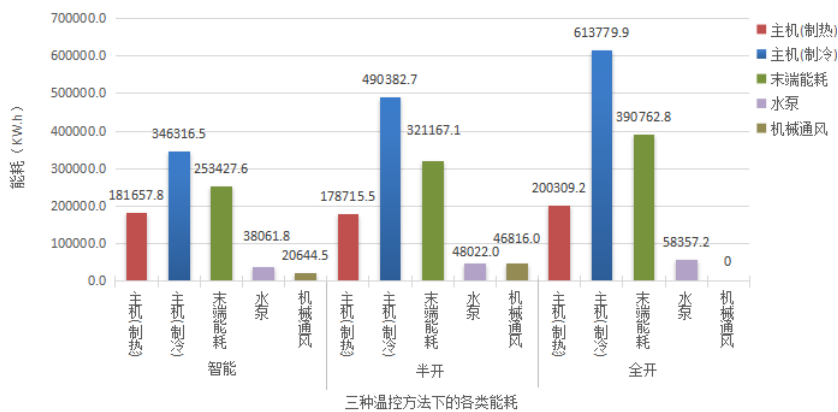


图 16 三种温控方法总能耗构成对比图

Fig.16 Comparison chart of total energy consumption of three temperature control methods

观察全年能耗分布数据可知，在设备机组实际运行中，制冷主机能耗和制热主机能耗在总能耗中占比最大，是空调系统能耗的主要组成部分，其次是末端能耗、水泵能耗。开启机械通风模式在全年的能耗参数中占据较小的比例，总能耗较低，只有在智能温控策略和半开空调策略下才会产生能耗。

3.4 温控方法效果综合对比

在预测温度允许 0.1℃ 的误差条件下（即当开启空调时下一时刻预测温度在 17.9℃-18℃ 或 27℃-27.1℃ 之间时，默认达到适宜温度），纵观全年模拟仿真情况，三种温控方法的实施效果对比如表 3 所示。其中平均室内温度为所有区域各小时的平均室内温度。

表 3 三种温控策略效果对比表

Table 3 Comparison table of three temperature control strategies effect

温控策略	全年总能耗 (kWh)	节能率	平均室内温度 (°C)	室内温度低于 18°C 的次数	室内温度高于 27°C 的次数
智能（空调+机械通风+ 开关窗）	840108.16	33.49%	22.66	478	234
半开（空调+自然通风+ 机械通风）	1038287.39	17.81%	22.65	830	733
全开（空调）	1263209.05	0.00%	22.8	524	352

由表中数据可知智能温控策略下全年能耗最低，为 840108.16kWh，节能率达到 33.49%，其次是半开的温控策略，全开温控策略的全年总能耗最高。就室内温度而言，智能温控策略在有客流量的时段内均在 18℃~27℃ 的范围，室内温度低于 18℃ 和室内温度高于 27℃ 的次数均最少。半开空调策略的节能率为 17.81%，在有客流量的时段内不在 18℃~27℃ 的范围次数最多。

4 结论

高铁站作为智慧交通中重要的一环，如何促进这一环节与城市总体发展建设全面融合，发挥其对城市各个要素的连接、传导、交换以及节能降耗，是实现智慧城市建设的重要组成部分。本文基于 Energy Plus 平台构建了西昌西站热工环境仿真模型，并结合施工设计图纸及实际调研数据，对所建仿真模型的参数进行了标定，开展了基于机器学习

的交通建筑智能温控方法的研发与设计,在实现对高铁站通风空调系统智能控制的同时,又降低了高铁站空调系统能耗。通过研究,本文得到以下结论:

(1) 全开空调和智能控制策略下都可以保证全年室内温度处于较为舒适的范围内,变化更为均匀。

(2) 全开空调策略下全年水流量分布较为均衡,半开空调策略下的水流量在过渡季节存在明显的空白,而智能控制策略对应的水流量分布情况则是介于两者之间。

(3) 智能控制策略全年能耗最低,为 840108.16kWh,节能率达 33.49%,其次是半开空调控制策略,全开空调控制策略的全年总能耗最高。

(4) 交通建筑智能温控方法能够根据室内外环境参数及候车厅客流量的变化,实时确定采用何种温度控制策略,可以有效降低通风空调系统能耗,后续也会针对不同策略(智能温控策略、全开空调策略、半开空调策略)下全年相对湿度的变化情况进行深化研究。

参考文献:

- [1] 何大四,赵忠涛,夏三县,等.基于最小水流量的地铁站空调系统节能控制研究[J].中原工学院学报,2022,33(4):42-48,79.
- [2] 雷娅平,李念平,周淋萱,等.长沙市办公室空调使用行为分析与预测[J].建筑科学,2022,38(6):24-31,43.
- [3] 任效效.考虑需求响应的蓄能空调系统负荷预测与控制策略研究[D].西安:长安大学,2021.
- [4] 姚尧.轨道交通建筑能耗分析及节能措施[J].建设科技,2022,(11):84-86,91.
- [5] 曾乃晖.西昌地区空气源热泵辅助太阳能热水系统优化研究[D].成都:西南交通大学,2017.
- [6] 郭平.西昌青山机场暖通空调设计[J].四川建材,2013,39(1):234-235,238.
- [7] Cho K, Merrienboer B V, Gulcehre C, et al. Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation[J]. Computer Science, 2014,6(10):1724-1734.
- [8] 王博文,王景升,王统一,等.基于卷积神经网络与门控循环单元的交通流预测模型[J].重庆大学学报,2022,19(2):1-11.

(上接第 87 页)排风的气流流型,对于维持医护人员处于气流上游,缩短气流流线长度,稀释房间带菌气体浓度更为有效的结论。笔者希望通过本文的研究,为同类项目的设计提供一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 林章.力争上游,有效稀释-雷火双神神山病房气流组织刍议[J].暖通空调,2020,50(12):116-118.
- [2] 张慎,程明,辜文飞,等.CFD 技术在雷神山医院负压病房通风系统设计中的应用实践[J].华中建筑,2020,38(4):78-81.
- [3] 方宇,毕海权,彭治霖,等.防疫应急医院典型房间室内气流模拟研究[J].制冷与空调,2021,35(5):613-624.
- [4] 高煌.负压病房气流组织方式的比较[J].铁道标准设

计,2010,(S2):79-82.

- [5] 李安桂,张莹,韩欧,等.隔离病房的环境保障与气流组织有效性[J].暖通空调,2020,50(6):26-34.
- [6] 谭斌,彭磊,龙明,等.基于 CFD 技术的负压病房气流组织的数值模拟及分析优化[J].科学技术与工程,2022,22(3):1117-1121.
- [7] GB 50849-2014,传染病医院建筑设计规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [8] GB/T 35248-2017,医院负压隔离病房环境控制要求[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [9] GB 51251-2017,建筑防烟排烟系统技术标准[S].北京:中国计划出版社,2017.
- [10] 杨荣磊,邵宗义,郑小兵.自然通风下教室 CO₂ 体积分数的实测与模拟[J].煤气与热力,2022,42(3):14-18.