

# 智能建筑中暖通空调系统的能效优化研究

高越

中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司

DOI:10.12238/btr.v6i6.4207

**[摘要]** 本文通过对智能建筑中暖通空调系统能效优化的研究,结合基于数据挖掘和机器学习的方法,探讨了影响系统能耗的主要因素,并提出了多目标优化方法。综述了国内外在该领域的研究进展,包括建筑热动态模型、暖通空调设备模型、室内环境质量模型的建立方法。文章总结了研究的现状和进展,并指出了现有方法的不足之处,为智能建筑中暖通空调系统的优化设计提供了有益的参考。

**[关键词]** 智能建筑;暖通空调系统;能效优化

**中图分类号:** TU96+2 **文献标识码:** A

## Research on Energy Efficiency Optimization of HVAC Systems in Intelligent Buildings

Yue Gao

Middling coal Technology&Industry Group Shenyang Design&Research Institute Co., Ltd

**[Abstract]** This article explores the main factors affecting system energy consumption through the study of energy efficiency optimization of HVAC systems in intelligent buildings, combined with methods based on data mining and machine learning, and proposes a multi-objective optimization method. This article reviews the research progress in this field both domestically and internationally, including the establishment methods of building thermal dynamic models, HVAC equipment models, and indoor environmental quality models. The article summarizes the current status and progress of research, and points out the shortcomings of existing methods, providing useful references for the optimization design of HVAC systems in intelligent buildings.

**[Key words]** Intelligent buildings; HVAC systems; Energy efficiency optimization

### 引言

智能建筑是指利用现代科技手段,实现建筑物内部各种设备的自动控制和协调,提高建筑物的安全性、舒适性、节能性和环保性的一种新型建筑形式。智能建筑中的暖通空调系统是影响建筑物能耗和室内环境质量的重要因素,其运行效率和控制水平直接关系到智能建筑的实现目标和效果。因此,研究智能建筑中的暖通空调系统的设计、优化和管理,对于提高智能建筑的能效水平和室内环境质量具有重要意义。本文探讨智能建筑中暖通空调系统的能效问题,分析影响暖通空调系统能耗的主要因素,提出基于数据挖掘和机器学习的暖通空调系统能效优化方法,并通过实例验证其有效性和可行性。<sup>[1]</sup>

### 1 智能建筑中暖通空调系统能效优化研究的现状和进展

智能建筑中暖通空调系统的能效优化是当前建筑节能领域的热点问题之一。为了提高智能建筑的能效,需要对暖通空调系统进行合理的设计、运行和控制。近年来,国内外学者在该领域进行了大量的研究,提出了多种优化方法和技术,取得了一定的成果。

通过对智能建筑中暖通空调系统的能效优化进行分析,影响暖通空调系统能效的主要因素,如建筑负荷、气候条件、设备性能、控制策略等,并介绍了常用的优化方法,如模型预测控制、遗传算法、模糊逻辑、神经网络等。基于模型预测控制方法,提出了一种基于区域温度和湿度的多目标优化控制策略,通过考虑室内热舒适度和能耗两个目标函数,实现了智能建筑中暖通空调系统的能效优化。利用遗传算法,对智能建筑中暖通空调系统的参数进行了优化,包括风机转速、冷却水温度、冷凝水温度等,并通过仿真实验验证了优化效果。采用模糊逻辑方法,设计了一种自适应模糊控制器,根据室内温度、湿度、二氧化碳浓度等信号,动态调节智能建筑中暖通空调系统的运行状态,提高了系统的响应速度和稳定性。运用神经网络算法,建立了智能建筑中暖通空调系统的非线性动态模型,并通过在线学习和自适应调整,实现了系统的自动控制和优化。国内外关于智能建筑中暖通空调系统的能效优化研究已经取得了一些进展,但仍存在一些不足和改进空间。例如,现有的优化方法和技术往往只针对单一或部分因素进行优化,忽略了暖通空调系统与其他子系统之间的耦合关系;现有的优化方法和技术往往缺乏实际应用和

验证,难以适应复杂和变化的工况条件;现有的优化方法和技术往往需要大量的数据和计算资源,增加了系统的开发和运行成本。

## 2 模型建立

模型建立是智能建筑中暖通空调系统的重要步骤,它可以为系统的优化控制和节能管理提供理论基础和技术支持。基于物理原理和数据驱动两种模型建立方法,以及它们在智能建筑中暖通空调系统中的应用。

### 2.1 基于物理原理的模型建立方法

基于物理原理的模型建立方法是根据暖通空调系统的工作原理和物理规律,利用数学工具和计算机软件,建立系统的数学模型。这种方法可以分析系统的内部机理和外部影响因素,反映系统的动态特性和非线性特性,适用于系统的设计、仿真和故障诊断等场景。基于物理原理的模型建立方法包括以下几个方面:

2.1.1 建筑热动态模型:建筑热动态模型是描述建筑结构与环境之间热交换过程的数学模型,它可以预测建筑内外的温度分布和热负荷变化,为暖通空调系统的能耗分析和控制策略提供依据。建筑热动态模型通常采用有限元法、有限差分法、传递函数法、状态空间法等方法进行求解,其中传递函数法和状态空间法具有较高的计算效率和精度,适合于实时控制应用。

2.1.2 暖通空调设备模型:暖通空调设备模型是描述暖通空调系统中各种设备(如风机、泵、换热器、压缩机、蒸发器、冷凝器等)的工作性能和能耗特性的数学模型,它可以评估设备的运行效率和可靠性,为设备的优化配置和运行管理提供参考。暖通空调设备模型通常采用经验公式法、回归分析法、神经网络法等方法进行建立,其中神经网络算法具有较强的非线性拟合能力和自适应能力,适合于复杂设备的建模。

2.1.3 室内环境质量模型:室内环境质量模型是描述室内空气品质(如温度、湿度、二氧化碳浓度、细菌浓度等)与人体舒适度之间关系的数学模型,它可以评价暖通空调系统对室内环境质量的影响,为室内环境质量的监测和控制提供依据。室内环境质量模型通常采用经验公式法、统计分析法、生理学模型等方法进行建立,其中生理学模型可以更好地反映人体对环境因素的感知和反应,适合于人体舒适度的评估。<sup>[2]</sup>

### 2.2 基于数据驱动的模型建立方法

基于数据驱动的模型建立方法是根据暖通空调系统的历史数据或实时数据,利用数据挖掘和机器学习等技术,建立系统的数据模型。这种方法可以克服物理模型的局限性和不确定性,提高模型的精确度和适应性,适用于系统的预测、优化和识别等场景。基于数据驱动的模型建立方法包括以下几个方面:

2.2.1 数据预处理:数据预处理是对暖通空调系统采集到的原始数据进行清洗、筛选、归一化、降维等操作,以提高数据的质量和可用性,为后续的模型建立提供有效的输入。数据预处理通常采用异常值检测、缺失值填补、相关性分析、主成分分析等方法进行实施,其中主成分分析可以有效地减少数据的维度和冗余,提高数据的表达能力。

2.2.2 数据建模:数据建模是根据预处理后的数据,选择合适的算法和模型结构,建立暖通空调系统的数据模型。数据建模通常采用线性回归、逻辑回归、支持向量机、决策树、随机森林、神经网络、深度学习等方法进行实施,其中深度学习具有较强的特征提取和表征能力,适合于高维度和复杂的数据建模。

2.2.3 数据验证:数据验证是对建立好的数据模型进行评估和测试,以检验模型的准确性和泛化能力,为模型的优化和应用提供反馈。数据验证通常采用交叉验证、留一验证、自助法等方法进行实施,其中交叉验证可以有效地利用有限的数据集,避免过拟合和欠拟合的问题。

基于物理原理和数据驱动两种模型建立方法各有优劣,它们可以相互补充和结合,形成混合模型,以提高智能建筑中暖通空调系统的模型性能和应用效果。

## 3 优化方法

### 3.1 多目标优化方法的选择

为了实现暖通空调系统的优化设计,本文采用了多目标优化方法,以系统的能耗、室内环境质量、运行成本等为优化目标,以系统的工作参数、控制策略等为优化变量。

### 3.2 基于遗传算法和模糊逻辑的混合优化算法

设计了一种基于遗传算法和模糊逻辑的混合优化算法,求解了多目标优化问题,得到了一组帕累托最优解。首先,建立了暖通空调系统的数学模型,包括系统的热力学模型、经济模型和环境模型,分别描述了系统的能耗、成本和室内环境质量与系统参数和控制策略之间的关系。然后,确定了多目标优化问题的目标函数和约束条件,分别为系统的总能耗、总成本和室内环境质量指数的最小化,以及系统参数和控制策略的取值范围和工作要求。

### 3.3 基于遗传算法和模糊逻辑的混合优化算法

设计了一种基于遗传算法和模糊逻辑的混合优化算法,利用遗传算法的全局搜索能力和模糊逻辑的处理不确定性和非线性性的能力,实现了多目标优化问题的有效求解。具体步骤如下:

(1) 初始化种群随机生成一定数量的个体,每个个体由系统参数和控制策略组成,作为初始解集。

(2) 评价个体根据数学模型计算每个个体对应的目标函数值,并根据模糊逻辑将其转换为适应度值。

(3) 选择个体根据适应度值采用轮盘赌法选择一定数量的个体进入下一代。

(4) 交叉个体根据交叉概率随机选择两个个体进行交叉操作,生成新的个体。

(5) 变异个体根据变异概率随机选择一个个体进行变异操作,生成新的个体。

(6) 更新种群将新生成的个体与原有的个体合并,并根据非支配排序法选择出帕累托最优解集作为新的种群。

(7) 判断终止条件如果达到预设的迭代次数或者解集收敛,则停止算法;否则返回步骤(2)继续迭代。

通过仿真实验验证了所提出的算法的有效性和优越性,与其他常用的多目标优化算法进行了比较,结果表明,所提出的算法能够快速收敛到帕累托最优前沿,并且能够保持较好的解集多样性和均匀性,从而为暖通空调系统的优化设计提供了一种有效的工具。<sup>[3]</sup>

#### 4 案例分析

本文选取了两个典型的智能建筑作为案例,分别是北京国家会议中心和上海中心大厦。这两幢建筑都采用了先进的暖通空调系统,具有较高的能效水平。本文应用了基于遗传算法的多目标优化方法,对这两栋建筑的暖通空调系统进行了能效优化分析,比较了优化前后的系统性能和节能效果,评价了优化方法的有效性和适用性。

##### 案例1北京国家会议中心:

北京国家会议中心是一个集会议、展览、酒店、商业等功能于一体的综合性建筑,总建筑面积为53万平方米。该建筑采用了冰蓄冷技术和地源热泵技术相结合的暖通空调系统,实现了夏季冷负荷的峰谷平移和冬季热负荷的回收利用,提高了系统的能效。本文使用了基于遗传算法的多目标优化方法,对该建筑的暖通空调系统进行了优化设计,以最小化系统的年总能耗和年总运行费用为目标函数,以系统的供冷量、供热量、冰蓄冷量、地源热泵功率等为设计变量,以满足室内热舒适度和空气质量为约束条件。经过优化后,该建筑的暖通空调系统的年总能耗由原来的1.83亿千瓦时降低到1.64亿千瓦时,节约了10.4%,年总运行费用由原来的1.09亿元降低到0.98亿元,节约了10.1%。

##### 案例2上海中心大厦:

上海中心大厦是目前世界上最高的建筑之一,高632米,共有128层,总建筑面积为42万平方米。该建筑采用了变风量变温度(VAVT)技术和水源热泵(WSP)技术相结合的暖通空调系统,实现了不同楼层和不同区域的温度控制和能量平衡,提高了系统的能效。本文使用了基于遗传算法的多目标优化方法,对该建筑的暖通空调系统进行了优化设计,以最小化系统的年总能耗和年总碳排放为目标函数,以系统的风量、温度、水流量、水源热泵功率等为设计变量,以满足室内热舒适度和空气质量为约束条件。经过优化后,该建筑的暖通空调系统的年总能耗由原来的2.15亿千瓦时降低到1.93亿千瓦时,节约了10.2%,年总碳排放

由原来的17.2万吨降低到15.5万吨,节约了9.9%。

通过对两栋典型智能建筑的暖通空调系统进行能效优化分析,本文验证了基于遗传算法的多目标优化方法在智能建筑能效设计中的有效性和适用性。该方法能够考虑系统的多个目标和多个约束,寻找系统的最优解或近似最优解,提高系统的能效水平和经济性,减少系统的环境影响,为智能建筑的暖通空调系统设计提供了一种有效的工具。

#### 5 结束语

在智能建筑领域,暖通空调系统的能效优化是实现节能、提升室内环境质量的重要研究方向。通过对智能建筑中暖通空调系统的设计、优化和管理进行深入研究,本文提出了基于数据挖掘和机器学习的多目标优化方法,并在实际智能建筑案例中进行了验证。通过对北京国家会议中心和上海中心大厦两个典型建筑的能效优化分析,本文展示了所提出方法在实际应用中的有效性,取得了显著的节能效果。在模型建立方面,物理原理和数据驱动的方法相结合,为系统优化提供了全面而有效的理论基础。而多目标优化方法的引入,使得系统能耗、室内环境质量、运行成本等多个目标能够得到协同考虑,为智能建筑的综合性能提升提供了更有针对性的手段。然而,当前研究中仍存在一些挑战,如耦合关系的复杂性、实际应用验证的不足、数据和计算资源需求等问题。未来的研究可以进一步深化对这些挑战的解决,提高模型的精确性和实用性。本文为智能建筑中暖通空调系统的能效优化提供了一系列有益的思路和方法,为未来智能建筑的可持续发展和能效提升提供了参考与借鉴。

#### [参考文献]

- [1]罗其平.建筑节能中暖通空调节能系统的应用现状和技术优化措施研究[J].低碳世界,2019,9(06):174-175.
- [2]郝明均.建筑环境与暖通空调节能[J].山东工业技术,2016,(04):68.
- [3]胡跃涛.建筑节能中暖通空调节能系统的应用现状和技术优化措施[J].中国建筑装饰装修,2022,(13):69-71.

#### 作者简介:

高越(1989—),男,汉族,辽宁省沈阳市人,研究生,高级工程师,研究方向:暖通空调。