

# 基于AI的数据中心空调系统动态节能控制研究

孙晓璐

中国移动通信集团山东有限公司济南分公司 山东济南 250000

**摘要:** AI技术与数据中心空调系统动态节能控制深度融合,可有效破解传统空调控制模式能耗高、响应滞后等难题,其核心价值体现在负荷感知、参数调节、风险预判与全局优化等方面。研究立足数据中心节能降耗需求,从AI在空调系统动态节能控制中的应用价值展开,对空调系统节能控制的核心痛点进行分析,进而按照“感知-建模-预判-协同”的路径,探究构建AI感知体系、搭建AI建模平台、研发AI预判算法、打造AI协同架构四大控制策略,以期实现数据中心空调系统能耗精准管控、运行效率显著提升,推动数据中心绿色低碳发展。

**关键词:** AI技术;数据中心空调;动态节能控制

## 引言

多采用固定参数调节控制模式的传统空调,在一定程度上难以适配数据中心负荷动态变化特征,可能会产生能耗浪费、响应滞后等问题。而AI技术凭借数据处理、智能决策、动态适配等优势,能够为空调系统动态节能控制提供全新路径。为此,将AI技术应用于数据中心空调系统,实现能耗动态管控,既是响应“双碳”目标的必然要求,也是降低数据中心运营成本、提升系统稳定性的关键举措。因此,下文将就基于AI的数据中心空调系统动态节能控制展开相关探究。

## 一、基于AI的数据中心在空调系统动态节能控制中的价值

### (一) 精准感知负荷,夯实节能控制基础

目前已经有基于人工智能(AI)的空调控制系统在工程中应用,并取得了较好的控制和节能效果<sup>[1]</sup>。数据中心服务器运行状态、环境参数变化均会导致空调负荷实时波动,传统负荷感知方式多依赖单一传感器数据,易出现数据偏差、感知滞后等问题,进而无法为节能控制提供精准依据。AI技术通过整合多维感知数据,节啊朱智能算法对数据进行去噪、融合与分析,能够精准捕获空调负荷动态变化特征。且AI系统可对服务器能耗、机房温湿度、空调运行参数等多源数据进行实时采集,并快速识别负荷变化规律,解决单一数据感知的局限性,

进而提升负荷感知的准确性与实时性,为空调系统动态调节提供可靠的数据支撑。

### (二) 动态调节参数,提升节能运行效能

空调系统节能设计是绿色建筑节能降耗策略的核心内容,其关键在于采用高效的制冷技术和智能管理系统来优化空调运行,减少能源消耗<sup>[2]</sup>。传统空调系统多采用固定参数运行模式,参数调节依赖人工经验,难以根据负荷变化实时优化,这在一定程度上会导致能源浪费严重的状况。基于AI的数据中心的空调系统可基于实时负荷数据,通过智能决策算法动态优化空调运行参数,实现空调系统按需运行。且该系统能够根据空调的负荷变化趋势,对空调机组的送风量、供水温度、制冷量等核心参数进行自动调节,避免空调设备出现长期处于高负荷冗余运行状态。并在保障机房环境达标前提下,最大限度降低空调能耗,大幅提升空调系统节能运行效能。

### (三) 预判运行风险,保障系统稳定运行

数据中心空调系统运行环境复杂,设备老化、参数偏移、负荷突变等因素易引发运行故障,故障不仅会影响机房散热效果,还会增加额外能耗。引入智能控制系统可以有效地优化空调系统的运行<sup>[3]</sup>。基于AI技术赋能的数据中心空调系统不仅具备强大的数据分析与趋势预判能力,能够基于历史运行数据与实时监测数据,构建风险预判模型,还能提前识别空调系统潜在运行风险。且AI系统可对空调设备运行状态,分析设备能耗异常、参数波动等风险信号进行实时监测,便于做好提前预警故障隐患,为运维人员提供精准的处置建议,避免故障

**作者简介:** 孙晓璐(1990-)男,汉族,籍贯:山东枣庄,学历:大学本科,中级职称,研究方向:通信工程。

的扩大化，进而保障空调系统稳定运行，最终实现减少因故障导致的能耗损失。

#### （四）整合多维数据，实现全局节能优化

基于AI的数据中心空调系统自身的强大的数据整合与分析能力可打破各系统间的数据壁垒，对空调运行参数、服务器算力负荷、电网峰谷电价、室外温湿度等多维数据进行全面汇聚。且基于这些数据构建全局节能优化模型，AI系统能够从数据中心整体能耗最优的角度出发，实现空调系统的运行状态，动态调整制冷功率、送风温度与气流组织的实时协调，同步匹配服务器集群的算力分配与电网的供电策略，优化能源分配方案。

### 二、基于AI的数据中心空调系统动态节能控制策略

传统依赖人工经验的空调控制模式存在数据孤岛、参数调节滞后、风险响应被动等痛点，难以适配服务器负荷波动、外界气候变化等动态场景。基于AI技术的动态节能控制策略，可实现空调系统运行状态的精准调控与全局优化，为数据中心空调节能增效提供技术支撑。

#### （一）构建AI感知体系，精准捕获负荷特征

数据中心空调负荷受服务器运行状态、环境参数、外界气候等多因素影响，呈现出强动态性与复杂性的特点。而传统感知体系若出现数据采集维度单一、处理效率低下，则无法满足动态节能控制需求。为破解这一难题，需构建基于AI的多维感知体系，通过部署全场景感知设备、搭建数据处理平台、应用智能分析算法，实现负荷特征精准捕获。同时工作人员需在数据中心机房、空调机组、服务器集群等关键区域，部署温湿度、能耗、风量、设备运行状态等多类型传感器，搭建边缘计算数据采集节点，实现多源数据实时采集；同时搭建AI数据处理平台，应用数据去噪、特征提取、数据融合等智能算法，对采集的数据进行精准处理，消除数据干扰，提取负荷特征关键信息，为后续控制决策提供数据支撑。

在具体实施过程中，工作人员按区域划分感知单元，在机房机柜内部、机柜间隙、空调送回风口、室外环境等位置，部署高精度温湿度传感器、能耗传感器、风量传感器与设备状态监测传感器，传感器数据通过5G、LoRa等无线通信技术传输至边缘计算节点。边缘计算节点搭载轻量级AI算法，对实时采集的数据进行初步处理，过滤异常数据与冗余信息；随后将处理后的数据上传至AI数据处理平台，平台应用PCA降维算法提取核心特征，采用小波去噪算法消除环境干扰带来的数据偏差，通过神经网络算法对多源数据进行融合分析，对服务器

负荷变化、环境参数波动与空调负荷的关联关系进行识别，构建负荷特征图谱，实时输出负荷动态变化曲线与趋势预测结果，以为空调系统调节提供精准依据。

#### （二）搭建AI建模平台，动态优化控制参数

传统空调系统控制参数多基于操作者的经验设定，这就导致参数调节缺乏动态适配性的缺点，进而无法跟随负荷变化实时优化，导致能耗浪费与控制精度不足。而搭建基于AI的参数优化建模平台就可很好地为解决这一问题。具体通过构建负荷-参数关联模型、训练智能调节算法、实现参数动态输出，提升空调控制参数的适配性与节能性。工作人员只需对空调系统核心运行参数与负荷变化的关联规律进行梳理，做好历史运行数据与负荷数据采集，并构建样本数据集；基于数据集搭建LSTM神经网络模型，训练模型学习负荷与参数的映射关系；同时操作人员还要嵌入强化学习算法，让模型在运行过程中持续优化参数调节策略，实现控制参数动态适配负荷变化。

为有效提升运行效能，设计人员通过灵活运用智能控制技术，使得暖通空调系统的运行效能得到有效提升<sup>[4]</sup>。在具体实施过程中，工作人员收集近三年数据中心空调系统运行数据，包括送风量、供水温度、制冷量、机房温湿度、服务器能耗等参数，剔除故障状态下的数据，构建包含10万条样本的数据集，按7:3比例划分训练集与测试集。基于训练集搭建LSTM神经网络模型，输入层设置12个神经元，对应12项核心输入参数，隐藏层设置3层，输出层设置3个神经元，对应送风量、供水温度、制冷量三个核心控制参数；通过Adam优化算法训练模型，迭代优化模型参数，直至模型预测误差低于5%。将训练好的模型部署至AI控制平台，嵌入强化学习算法，以“能耗最低、环境达标”为奖励函数，让模型在实时运行过程中，根据负荷变化动态调整控制参数，例如当服务器负荷提升时，模型自动增大送风量、降低供水温度，保障散热效果；当负荷下降时，自动减小送风量、提高供水温度，降低能耗。

#### （三）研发AI预判算法，提前规避运行风险

数据中心空调系统运行过程中，设备老化、参数偏移、负荷突变等因素易引发运行故障，故障发生后不仅影响机房散热，还会导致能耗激增，传统故障处置多采用事后维修模式，无法提前规避风险。为扭转这一局面，需要研发基于AI的风险预判算法，通过构建故障特征库、训练预判模型、搭建预警机制，实现运行风险提

前识别与处置。工作人员需梳理空调系统常见故障类型,采集故障发生前的设备运行数据、参数变化数据,构建故障特征库;基于特征库搭建CNN-BiLSTM混合神经网络预判模型,训练模型识别故障前兆特征;同时搭建风险预警平台,设置多级预警阈值,当模型检测到风险信号时,及时发出预警并推送处置方案。

在具体实施过程中,工作人员对空调系统压缩机故障、风机故障、管路堵塞、参数偏移等15类常见故障进行梳理,并收集好包括设备电流、电压、振动频率、参数波动幅度等每类故障发生前1小时的运行数据,提取故障前兆特征,构建包含5万条故障样本的特征库。同时,基于特征库搭建CNN-BiLSTM混合模型,CNN层负责提取故障特征细节信息,BiLSTM层负责捕捉特征时序变化规律,通过交叉验证优化模型结构,提升预判准确率。在此基础上,将模型部署至AI预警平台,设置一级、二级、三级预警阈值,当模型检测到参数波动接近预警阈值时,发出一级预警,提示运维人员关注;当检测到明确故障前兆时,发出二级预警,推送初步处置建议;当检测到故障即将发生时,发出三级预警,自动触发空调备用机组启动预案。同时,模型持续学习故障处置数据,不断优化预判算法,提升风险识别精度。

#### (四) 打造AI协同架构,实现全局节能调控

数据中心空调系统节能控制需要兼顾局部设备运行与全局能耗优化。传统控制模式存在数据孤岛,空调系统与服务器集群、电网供电等系统缺乏协同的缺陷,在一定程度上会导致全局能耗浪费。空调节能管控平台可以实时监控空调运行状态,实现温度智能设定,风速控制和定制时间表模式<sup>[5]</sup>。打造基于AI的全局协同控制架构,能够通过构建多系统数据交互平台、训练协同优化算法、实现多设备联动控制,达成全局节能目标。这要求工作人员需打破系统数据壁垒,搭建多系统数据交互平台,对空调系统、服务器集群、电网供电、储能设备等多系统运行数据进行整合;并基于交互平台搭建AI全局协同优化模型,训练模型学习多系统运行协同规律;同时构建联动控制机制,实现空调系统与其他设备的协同运行调节。

在具体实施过程中,工作人员先搭建基于边缘云协同的数据交互平台且,且边缘节点负责采集各系统实时运行数据,云端平台负责数据整合与分析,通过区块链

技术保障数据安全。基于平台数据构建AI全局协同优化模型,模型以数据中心总能耗最低、机房环境达标、设备运行稳定为优化目标,设置约束条件包括机房温度范围、空调设备运行极限参数、服务器散热需求等。同时,应用粒子群优化算法训练模型,优化能源分配方案,例如当电网处于谷电时段且储能设备未满载时,模型控制空调系统适当提升制冷量,将多余冷量存储至蓄冷设备;当电网处于峰电时段时,工作人员则控制蓄冷设备释放冷量,降低空调机组运行负荷。同时,模型能够实时接收服务器集群运行状态数据,当服务器集群处于低负荷运行时,控制空调系统降低送风量与制冷量,同步协调服务器集群进行节能运行模式切换,以实现空调系统与服务器集群的协同节能,达成全局能耗优化目标。

#### 结语

文章从夯实节能控制基础,提升节能运行效能,保障系统稳定运行,实现全局节能优化四个维度对基于AI的数据中心在空调系统动态节能控制中的应用价值进行阐述,再围绕“感知-建模-预判-协同”的核心路径。进而提出构建AI感知体系,搭建AI建模平台,研发AI预判算法以及打造AI协同架构四大控制策略,帮助数据中心空调系统动态节能控制提供清晰路径,进而有效破解传统控制模式的短板,实现能耗精准管控与运行效率提升。

#### 参考文献

- [1]王蕾.节能减排理念在建筑暖通空调设计中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(24):79-81.
- [2]邵文祎.绿色建筑中的结构优化与节能降耗策略[J].住宅与房地产,2024,(16):110-112.
- [3]王晓煜,温璐,杨小雪.空调系统在高温地区建筑中的能效优化与适应性研究[J].居舍,2023,(35):138-141.
- [4]李国忠,沈丹,喻威.大型铁路站房建筑设备监控系统研究与展望[J].智能建筑电气技术,2020,14(06):53-55.
- [5]刘倩,李光裕.中央空调系统节能改造实践[J].建筑节能,2017,45(08):105-108.