

多区域暖通空调系统的负荷匹配与智能分区调控设计

梁怀亮

华茗设计集团有限公司邢台分公司, 河北 邢台 054000

[摘要]多区域暖通空调系统实现高效运行的核心要义主要在于达成负荷需求与能源供给的精准动态匹配。而智能分区调控在此过程中对于提升系统整体效能有着直接影响。文章研究首先对于传统多区域暖通空调系统所存在的不足之处进行了深入探究,并基于负荷特性分析以及分区划分的原则建立了一系列的调控体系,同时也对各层级的核心功能与技术实践逻辑进行了详细的阐述,为多区域暖通空调系统的优化设计以及系统的高效运行提供清晰的技术路线与理论参考。

[关键词]多区域暖通空调; 负荷匹配; 智能分区; 调控设计; 动态感知

DOI: 10.33142/aem.v8i1.18926

中图分类号: TU831.3

文献标识码: A

Load Matching and Intelligent Zoning Control Design for Multi Zone HVAC Systems

LIANG Huailiang

Xingtai Branch of Huaming Design Group Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract: The core essence of achieving efficient operation of multi zone HVAC systems lies in achieving precise dynamic matching between load demand and energy supply. Intelligent partition regulation has a direct impact on improving the overall efficiency of the system during this process. The article first conducted an in-depth exploration of the shortcomings of traditional multi zone HVAC systems, and established a series of control systems based on load characteristic analysis and zoning principles. At the same time, it also elaborated on the core functions and technical practice logic of each level, providing a clear technical route and theoretical reference for the optimization design and efficient operation of multi zone HVAC systems.

Keywords: multi zone HVAC; load matching; intelligent partitioning; regulatory design; dynamic perception

引言

在现今的建筑环境中,暖通空调系统是不可或缺的一部分^[1]。能源问题和环境保护意识的提高,对于建筑节能的需求逐渐日益受到重视^[2]。多区域暖通空调系统因服务空间结构复杂、各区域负荷特性差异显著导致各区域的负荷特性呈现出明显的多样性,传统基于固定分区与经验调控的运行模式在面对动态变化的负荷需求时,难以适应动态变化的负荷需求,常出现供能与负荷不匹配的现象,不仅导致能源浪费,局部区域会出现过热或者过冷的情况,而且降低居民居住环境的舒适度^[3]。

目前随着智能化控制技术和传感技术的发展,基于供热(Heating)、通风(Ventilation)与空气调节(Air Conditioning)以下简称 HVAC 系统的智能化分区调控技术也逐渐被提出并应用到实际工程中来。智能化分区调控是根据各区域负荷变化情况对分区方案及供能方式进行动态调节,在一定程度上提高了系统负荷的匹配度,降低了能耗水平^[4]。但已有的研究主要针对如何优化控制算法进行探讨,未充分考虑到负荷特性和分区划分之间的相互影响关系,造成控制能力有限。为此有必要研究多个区域 HVAC 负荷分配机理并设计出合适的自适应分区协调控制策略,以促进 HVAC 实现高效、自适应

发展。

1 多区域暖通空调系统负荷匹配的核心问题

1.1 负荷特性的区域差异性与动态波动性

多区域 HVAC 系统服务对象——建筑物内不同区域由于用途、朝向、人数、设备使用情况等方面的差别导致其冷热负荷具有明显的区域性特点;而所有区间的负荷又都受到外部条件变化的影响,具有鲜明的时段波动特性;负荷的时段波动性增加了供给能量与负荷平衡的复杂程度,采用常规的定值控制策略无法做到全程匹配。

1.2 传统调控模式下的负荷匹配缺陷

传统的多区 HVAC 控制大多为静态划分的分区控制策略,未考虑负荷的变化情况,在其区域内部负荷变化较大 3 大的情况下无法及时调节,造成供给跟不上负荷的需求,出现瞬态失配;同时传统的控制策略中使用的控制规则主要是设定温度上下限的方式。无法预测负荷的变化情况^[5]。同时,固定分区导致系统无法根据负荷分布的变化进行供能资源的动态调配,当部分区域负荷较低而部分区域负荷较高时,无法将富余的供能资源转移至负荷高峰区域,造成供能资源的浪费,进一步降低了负荷匹配效率。

1.3 负荷匹配与系统能效的关联机制

负荷匹配性决定了多区多联中央空调系统的节能效

果,在供冷量能够满足负荷需求的前提下,系统不需要长时间处于满负荷甚至超负荷状态下工作,压缩机、水泵及风机等主要设备可以在高效区间运行,并减少频繁开关机带来的损耗;相反在供冷量大于负荷的情况下,则会通过旁路、卸载的方式来控制供冷量,带来了额外的耗能;供能不足将造成设备长期超负荷运行,在带来更高能耗的同时也会降低设备寿命。此外,负荷匹配通过对各区供能的合理调配,避免了由于部分区域供能不合理而影响到整个系统的能效水平。

2 多区域暖通空调系统智能分区的划分原则与构建方法

2.1 智能分区的核心划分原则

分区划分应满足负荷匹配为主要目的,并考虑区域负荷特征一致性以及调控的经济性、可行性的前提下进行,主要应满足以下几个原则:(1)负荷同源性原则,即同一分区内各个子区负荷来源及变化趋势应一致,例如相同朝向、相同功能房间为一个基本分区;(2)可动态适应性原则,分区应该具有动态适应的能力,可以根据负荷的长周

期(例如季节的变化)以及短周期(例如人员的出入、设备的开启关闭)进行分区的范围变化;(3)调控可能性原则,分区划分要考虑建筑本身的管网、设备布置等情况,在分区之后的每个分区的供能调节可以通过已有的设备或者经过少量的改造就可以完成;(4)节能经济性原则,分区不宜太多也不宜太少,分区太多控制系统及设备投入太大,分区太少不能实现精确配载,应在精确配载的前提下考虑经济性。

2.2 传统调控模式下的负荷匹配缺陷

传统的多区 HVAC 控制大多为静态划分的分区控制策略,未考虑负荷的变化情况,在其区域内部负荷变化较大的情况下无法及时调节,造成供给跟不上负荷的需求,出现瞬态失配;同时传统的控制策略中使用的控制规则主要是设定温度上下限的方式。无法预测负荷的变化情况^[5]。同时,固定分区导致系统无法根据负荷分布的变化进行供能资源的动态调配,当部分区域负荷较低而部分区域负荷较高时,无法将富余的供能资源转移至负荷高峰区域,造成供能资源的浪费,进一步降低了负荷匹配效率。

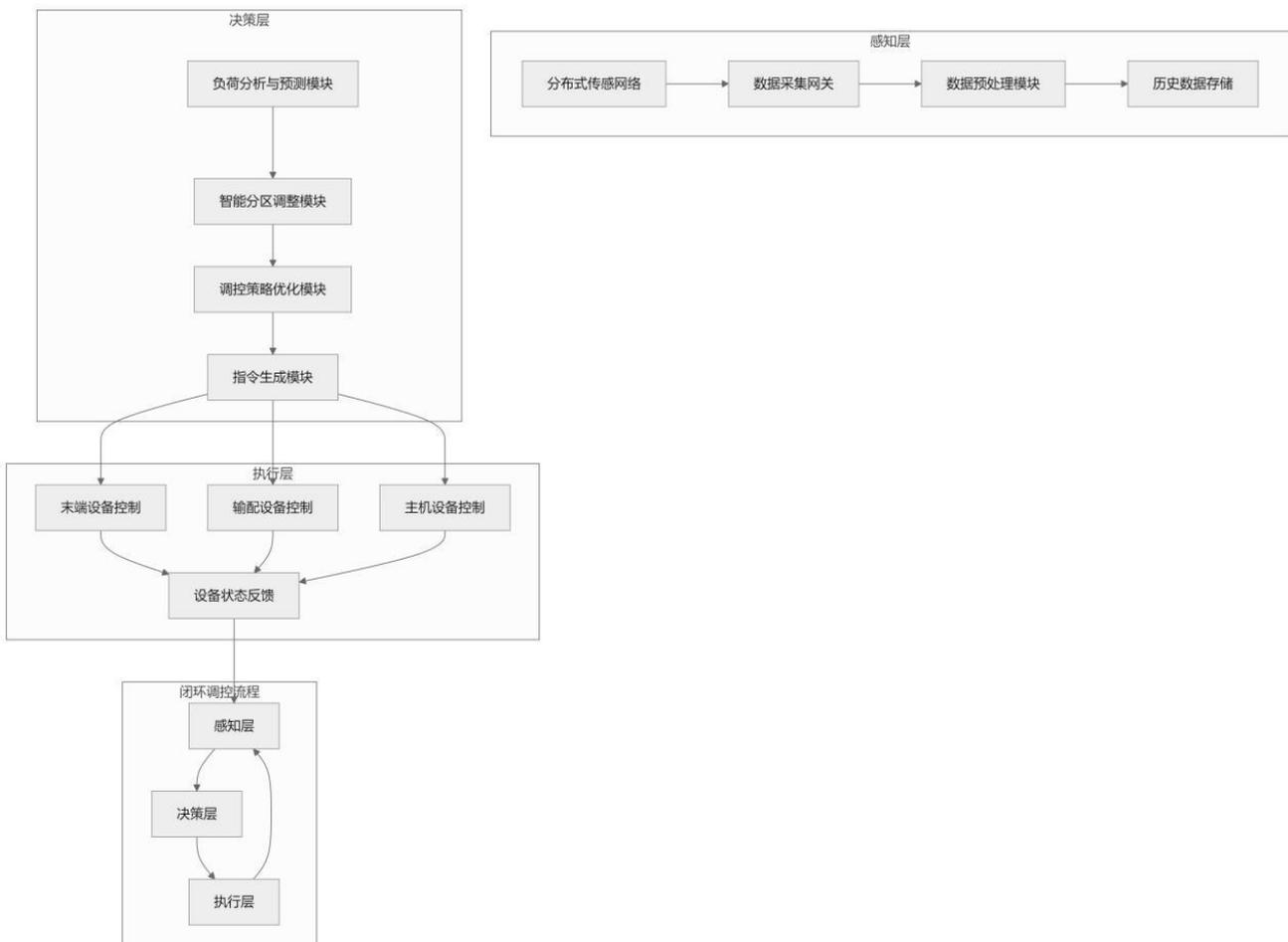


图1 多区域暖通空调系统智能分区调控体系架构图

2.3 基于动态负荷感知的智能分区动态调整

动态调节作为智能分区区别于传统固定分区的主要特点之一,其本质就是基于对各个区域的负荷状态进行感知及分析而实施的。第一、建立负荷感知网络,在各区域安装温度、湿度、人员、照度等传感器以获取负荷相关参数,并结合建筑能耗监测情况来实现对各个区域负荷状况的实时监测与评估;第二、构建负荷预测模型,在分析历史负荷情况的基础上,结合实时环境及人员活动情况,对下一时段的各个区域的负荷情况进行预测;第三、将负荷实时检测结果以及预测值作为依据,实现基础分区的动态调整。

3 多区域暖通空调系统智能分区调控体系设计

3.1 调控体系的整体架构

基于负荷匹配目标的多区域暖通空调系统智能分区调控体系采用分层架构设计,分为感知层、决策层与执行层,各层级之间通过通信网络实现数据交互与指令传递,形成闭环调控流程。

3.2 感知层的功能设计与数据采集

感知层的核心功能是实现对多区域负荷状态、环境参数与系统运行参数的全面、实时采集,为决策层提供可靠的数据支撑。感知层采集的内容主要有两个部分:第一部分是各区域的环境及负荷参数,如各区域室温、相对湿度、人数、太阳辐射强度、照明装置是否开启、工艺设备的运行功率等,这些参数可反映各个区域的负荷情况;第二部分是室外环境参数,包括室外温度、相对湿度、风速、风向、太阳辐射等,一是环境及负荷相关参数,如室外温度、湿度及历史同期负荷曲线,为预测负荷的变化提供依据;二是系统运行参数,如冷水机组、热泵机组、水泵、风机等相关设备的运行情况、供回水温差、供回水压差、风量、功率等,这些参数反映了系统的供能状态与运行效率。

3.3 决策层的核心算法与调控策略

决策层是智能分区调控系统的核心,主要完成负荷分析及预测、智能分区自动调整、分区调控参数优化及调控指令下发等功能。其中负荷预测算法对区域内未来一段时间的负荷变化情况进行预判,为后续的分区调整及分区调控提供提前量;结合多区域负荷的动态波动情况,应用组合预测算法,综合考虑时序预测模型和影响因素驱动模型的优点,提升预测准确度。时序预测模型是基于以往的历史负荷数据时间序列特点对负荷进行周期性预测;影响因素驱动模型是基于室外环境参数及人员活动安排等因素的影响来对负荷进行突发性预测。将两者的预测结果进行加权得到最终的负荷预测值。

采用聚类分析算法实现自适应分区,在感知层获取的负荷实时信息基础上,计算各区域间的负荷特征相似程度,以动态聚类方式更新分区划分方案,并依据分区划分原则对聚类结果进行合理性验证,确保分区调整后能满足分区

调控可行性和节能经济性的需求。调度优化算法用来确定每个区域的最佳控制参数,在满足最大负荷匹配的同时,兼顾舒适性及系统性能。调度优化的关键在于构建多目标优化模型,其目标函数为负荷匹配误差最小、系统能耗最小以及室内舒适度最佳,约束条件有设备运行参数边界、供能能力限制、室内温湿舒适区间等。

3.4 执行层的设备联动与控制实现

执行层接受来自决策层控制命令,并控制相应设备协调工作,完成各区域能量供应指标的调节任务。执行层由末端装置、配电装置以及主机装置构成,每个装置都配置了相应的控制器及通讯装置以融入管理系统中并与决策层进行信息交换。末端设备如空调机组、风机盘管、新风系统等,将冷量或热量输送至各个区域,直接决定室内的环境质量。执行层通过对末端设备的风机转速、水阀开度等进行控制,调节送风风量及供能流量,对各分区室内温度、湿度进行精确控制。输配设备如水泵、风机、冷却塔等,实现冷热能量的输送与交换,其运行状况影响系统供能效果。执行层通过对输配设备转速、阀门开启度等进行调控来改变供回水温度差值、水压及风量以完成供能资源的调配工作。主机设备包括冷水机组、热泵机组等,负责冷量与热量的生产,执行层根据各分区的总负荷需求,控制主机设备的启停台数与运行负荷,确保主机设备在高效区间运行,实现供能与总负荷的匹配。

4 智能分区调控设计的关键技术保障

4.1 高精度负荷感知与数据传输技术

高精度的负荷感知是实现精准调控的前提,需采用先进的传感技术与数据传输技术。在传感技术方面,选用高精度、高稳定性的温度、湿度、人员传感设备,对于人员流动复杂的区域,采用红外传感与视频图像识别相结合的方式,提高人员数量检测的精准度;对于工艺设备密集的区域,布置功率传感器,实时监测设备能耗与散热情况^[6]。在通讯手段上,采取了工业以太网+LoRa+NB-IoT的多种通讯方式组合模式,工业以太网用于完成主机设备、核心控制器间的高速数据传输,LoRa和NB-IoT用于完成分布式传感器与数据采集网关间低功耗、远距离的数据传输,保证数据传输的及时性和可靠性。另外,还运用了边缘计算的方式,在数据采集网关中进行一些数据的实时处理和分析,减少对云层的计算需求,加快决策反应时间。

4.2 自适应调控算法的优化与迭代

分区的智能调控效果取决于调控算法的自适应性和自优化能力,应当建立算法优化和迭代机制。一方面基于采集系统长期运行的数据不断进行负荷预测模型和调控优化模型的训练和优化工作,提高模型对于不同负荷情况下的适应度,例如针对各个季节不同的负荷特点来调整预测模型中的权重因子;依据设备运行情况变化,对优化模

型中的约束进行动态修正;同时采用强化学习算法实现调控系统智能地从环境中学习,并自我完善调控决策过程。强化学习算法将各区域的负荷匹配度、系统能耗等作为奖励信号,通过不断调整调控参数,使系统逐渐形成最优的调控策略,提高系统的自适应能力。

4.3 系统集成与协同控制技术

多区 HVAC 系统包含多种设备子系统,不同子系统的联动使用是实现负荷匹配的基础。需要利用系统集成的技术,把末端设备、输配设备、主机设备的控制系统及智能分区调控系统集成起来,实现数据共享与协调控制。通过构建统一的通信协议与数据接口,保证不同品牌、不同类型设备顺利接入调控系统,避免出现信息孤岛;建立协调控制策略,确定各个子系统间的协调关系,即在某个区域内负荷变化时,相关的设备可以共同进行调节,而不是某一台设备单独进行调节造成整个系统的不平衡。比如,当末端设备水阀开大时,水泵转速同步调节,保证了供回水压差恒定;当总负荷增加时,主机设备与输配设备协同启动,保证了供能及时性。

4.4 容错与冗余设计

为确保智能分区调控系统的可靠运行,需进行容错与冗余设计。在硬件层面,关键传感器、控制器、通信设备采用冗余配置,当某一设备出现故障时,备用设备能够及时切换,确保数据采集与指令传输不中断;在软件层面,建立故障诊断与容错处理机制,通过实时监测设备运行状态与数据传输情况,及时发现故障并进行定位,同时自动调整调控策略,避免故障对系统运行造成严重影响。例如,当某一区域的温度传感器出现故障时,系统可通过相邻区域的温度数据与负荷预测结果,估算该区域的温度状态,并调整调控指令;当通信链路出现中断时,系统可切换至备用通信链路,确保调控流程正常进行。

5 结论与展望

本文通过分析多区域暖通空调系统负荷匹配的核心问题,明确了负荷特性的区域差异性与动态波动性是导致负荷不匹配的主要原因,提出了关键技术保障措施,形成了完整的智能分区调控设计方案,通过对负荷状态的实时感知、分区的动态调整与设备的协同调控,能够有效提升负荷匹配精度,降低系统能耗。未来,多区域暖通空调系统的负荷匹配与智能分区调控设计可结合数字孪生技术,构建多区域暖通空调系统的数字孪生模型,实现负荷状态、系统运行状态的虚拟仿真与实时映射,为调控策略的优化提供更精准的支撑。

[参考文献]

- [1]高龙,杨奕,任晓琳,等.基于 BP 神经网络的空气源热泵温度 MPC 策略[J].控制工程,2021,28(9):1765-1772.
 - [2]罗昊敏,刘伟,张洁雄,等.建筑暖通空调冷水温度节能控制方法设计[J].计算机仿真,2022,39(8):286-290.
 - [3]徐科,徐晶,李娟,等.基于暖通负荷集群响应能力的电力系统频率控制策略[J].电力系统及其自动化学报,2022,34(3):37-44.
 - [4]冯琢.大型绿色装配建筑暖通空调系统节能技术优化[J].制冷与空调(四川),2022,36(1):115-119.
 - [5]祁兵,陈淑娇,李彬,等.计及用户满意度的可调节负荷资源需求响应优化策略研究[J].内蒙古电力技术,2023,41(3):43-50.
 - [6]赵天怡,周颖,张吉礼.空调冷水系统压差重设定自适应调整算法试验研究[J].暖通空调,2021,51(2):123-130.
- 作者简介:梁怀亮(1987.12—),毕业院校:河北建筑工程学院,所学专业:热能与动力工程,当前就职单位:华茗设计集团有限公司邢台分公司,职务:暖通设计师,职称级别:中级。