

## 人工智能控制在郑州南站空调系统的应用研究\*

蔡珊瑜<sup>1</sup> 高文佳<sup>1</sup> 高延峰<sup>2</sup> 魏峰<sup>2</sup> 闫振业<sup>1\*\*</sup>

(1. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 200092, 上海;

2. 中国铁路郑州局集团公司郑州南站工程建设指挥部, 450046, 郑州//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 以郑州南高铁站站房中央空调节能及智慧控制项目为背景,介绍了中央空调节能及智慧控制一体化平台的总体结构及控制策略。该平台与车站旅客服务与生产管控平台进行数据共享及联控,改善了中央空调系统的动、静态性能,解决了大型车站中央空调控制的大滞后问题,提高了环境舒适度,并大幅降低了建筑能耗。

**关键词** 高铁站站房; 郑州南站; 中央空调; 节能及智慧控制一体化平台; 建筑能耗

**中图分类号** TP273; TU831.3<sup>+</sup>1

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.03.038

## Application of Artificial Intelligence Control Technology in Zhengzhou South Station Air-conditioning System

CAI Shanyu, GAO Wenjia, GAO Yanfeng, WEI Feng, YAN Zhenye

**Abstract** Taking the central air-conditioning energy-saving and intelligent control project of Zhengzhou South High-speed Railway Station facilities as research background, the overall structure and control strategy of the central air-conditioning energy-saving and intelligent control integrated platform is introduced. By data sharing and joint control with station passenger service and production management and control platform, the above integrated platform has improved the dynamic and static performance of the central air-conditioning system and solved the large time-delay problem of station central air-conditioning control. Environmental comfort is thus improved while building energy consumption is greatly reduced.

**Key words** high-speed railway station facilities; Zhengzhou South Station; central air-conditioning; integrated platform of energy-saving and intelligent control; building energy consumption

**First-author's address** Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd., 200092, Shanghai, China

随着建筑技术的发展,中央空调在大型高铁站站房中得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。中央空调为车站提供舒适的运营环境,但同时也是高铁站站房的主要用能系统,其运行期间耗电量占比高达近70%<sup>[2]</sup>。为推动经济高质量发展,实现可持续发展及碳排放目标,中央空调节能及智慧控制在车站的应用与普及显得尤为重要。目前全国各大铁路车站站房的空调自控系统基本是由BAS(环境与设备监控系统)来完成。小型站房如京张铁路张家口站<sup>[3]</sup>,中型站房如京张铁路清河站<sup>[4]</sup>,均设计了分层分布式冷热源群控系统;对于大型站房如南宁东站<sup>[5]</sup>、南京南站、苏州站<sup>[6]</sup>、襄阳东站,以及超大型站房如上海虹桥站<sup>[7]</sup>、杭州西站等都采用了集中能源管理系统。目前已建成的站房空调系统的自控系统策略较简单,大部分中等及小型站房的控制系统以根据室内温度加减机的策略为主,空调系统的整体能耗偏大,调节滞后,智能化程度不高。

本文以郑州南高铁站站房(以下简称“郑州南站”)中央空调节能及智慧控制项目为背景,介绍了郑州南站中央空调自控系统的总体结构及控制策略,通过与旅客服务与生产管控平台进行数据交互,对系统能源管理及节能措施进行分析,实现站房中央空调系统的智慧管理控制,达到进一步降低中央空调系统的能耗及运维成本的目的。

## 1 工程概况

郑州南站位于郑州市东南郑州航空港经济综合实验区境内的临港型商展物流片区,建筑面积约23万m<sup>2</sup>,建筑高度58.7m。郑州南站工程共设置2个冷热源主机房,分别位于东西侧式站房地下室,以减少水系统的输送能耗。每个冷热源主机房分

\* 中国铁路郑州局集团公司科技开发项目(2021Q17)

\*\* 通信作者

别设置4台3 500 kW/台的离心式变频水冷冷水机组作为常规冷源为中央空调系统提供低温冷水,另设置1台1 500 kW/台的螺杆式变频水冷冷水机组作为高温冷源为地板辐射系统提供高温冷水。热源采用市政热网提供的95/70℃一次热水,在冷热源主机房换热后为中央空调系统提供65℃热水,为地板辐射系统提供50℃热水。中央空调系统夏季供回水温度6.0/13.5℃,冬季供回水温度65.0/50.0℃;地板辐射系统夏季供回水温度14.0/19.0℃,冬季供回水温度50.0/40.0℃。

## 2 郑州南站空调自控系统

郑州南站作为国内第一个绿色三星的特大型铁路站房,在传统BAS基础上设置了1套独立的人工智能控制系统,对站房内8台离心式冷水机组、2台螺杆式冷水机组、10台冷却塔、10台循环水泵、77台组合式空调机组进行控制,装机功率占到总装机功率80%以上,提高了郑州南站空调系统节能效果。

郑州南站中央空调节能及智慧控制一体化平台通过工业以太网络与前端及现场节能单元进行联络,对主要空调设备进行监控、节能自控及能源管理。系统层级如图1所示。

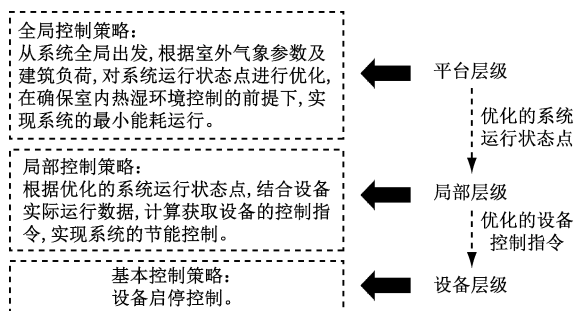


图1 节能及智慧控制一体化平台控制原理

Fig.1 Control principle of energy-saving and intelligent control integrated platform

设备层级主要由现场节能单元(包括风机节能控制柜和群控节能控制柜)组成,用于部署基本控制策略,如设备逻辑控制及一键开关机等;局部层级主要由前端节能单元组成,用于部署局部节能策略,如一些局部的联合控制;平台层级主要由中央空调节能及智慧控制一体化平台软件及服务器、工作站等组成,位于控制中心,用于部署AI(人工智能)节能策略,进行大数据运算分析、能耗统计分析及与外部系统联动策略的执行。

## 3 节能控制策略

### 3.1 冷冻机组控制策略

由于群控系统启停顺序控制要求非常明确,冷冻机组控制策略主要论述加减机控制策略。

#### 3.1.1 机组加机控制策略

当末端负荷增加时,空调系统末端压差相应减少;控制系统接收到压差变化后,调节水泵频率,增加一次侧水量。由于离心式冷水机组能够接受30%~100%的水量变化,即一次泵的流量可一直增加到100%,来满足系统负荷增加的需求。同时离心机组能够锁定出水温度,当冷冻水量上升时,离心机组感应到水量的变化,此时离心机组则根据自身负荷调节能力上载制冷负荷。当该台冷冻机满负荷电流百分比(英文简称“%FLA”)上升至95%时,控制系统启动另外机组加机延时5 min;启动延期后,控制系统自动计算冷冻水出水温度偏离出水温度设定值系数 $K_1$ 。 $K_1$ 计算公式为:

$$K_1 = (T_1 - T_2) / 0.01 \quad (1)$$

式中:

$T_1$ ——冷冻水出水温度;

$T_2$ ——冷冻水出水温度设定值。

当 $K_1 \geq 100$ ,且冷冻机组的满负荷电流百分比%FLA $\geq 95\%$ ,则说明单台机组和水泵已满载运行,不能满足系统负荷,且冷冻水出水温度会偏离出水温度设定值,则第二台机组自动开启。

#### 3.1.2 机组减机控制策略

当系统负荷变小时,空调系统末端压差降低,回水温度、蒸发温度也会相应降低。首先机组会降低自身的制冷能力来适应该变化,当运行机组降低的总制冷量达到单台机组最大容量时,减少运行机组台数,控制运行机组制冷量提高至较高负载工况。在不同的运行台数下,用以判断减少机组的%FLA是不同的。控制系统通过自动计算冷冻水回水温度偏离冷冻水回水温度设定值系数 $K_2$ , $K_2$ 的计算式如下:

$$K_2 = (T_3 - T_4) / 0.01 \quad (2)$$

式中:

$T_3$ ——冷冻水回水温度;

$T_4$ ——冷冻水回水温度设定值。

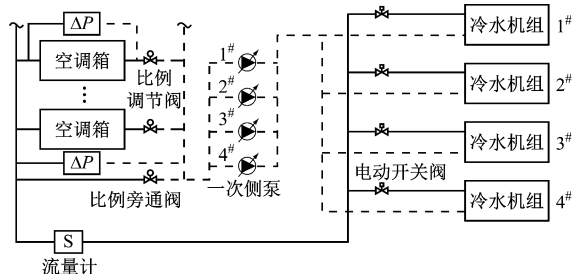
如果%FLA<减机的%FLA设定值,且 $K_2 < 100$ 时,则说明可以减少机组台数来满足系统负荷,且冷冻水回水温度不会稳定在回水温度设定值。

关闭需要停止的机组,经过一定时间后,关闭其辅助设备。

机组的卸载顺序与加载顺序相反。首先卸载变频机组,并关闭其入口电动阀和循环水泵;当负荷继续减小时,调节变频离心机组的频率,降低其输出制冷量;当频率降低到极限值时,继续卸载其他选定的变频离心机组并关闭其相关附件。如此,直至仅一台变频离心机组运行时,维持一台变频离心机运行,通过变频离心机组的频率调节来满足末端负荷。

### 3.2 冷冻水泵控制策略

大型建筑空调冷冻水系统运行中普遍存在“大流量,小温差”的问题,由此造成冷冻水泵扬程过大、电耗过高。郑州南站采用冷冻水一次泵变流量系统。当末端空调负荷变化时,调节电动调节阀开度,可改变冷冻水量,水流量随负荷的改变而改变。在旁通管上增设了旁通控制装置,可以维持运行冷冻机组的最小流量。空调冷冻水泵控制原理如图2所示。



注:ΔP 为最不利端压差。

图2 空调冷冻水泵控制原理

Fig. 2 Control principle of air-conditioner chilled water pump

冷冻水泵的变频控制策略由设定的末端设备压差控制。如图2所示:1#—4#台冷水机组,相应配置1#—4#一次侧变流量冷冻水泵。

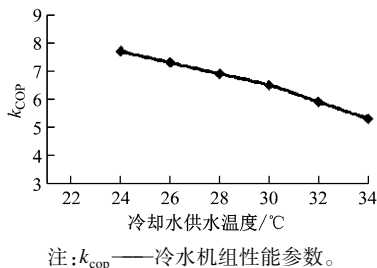
当系统启动时,1#冷水泵先以最低频率启动,如不能满足末端设备的压差设定值,则2#、3#、4#冷水泵以最低频率加入。如果此时压差仍然未达到设定值,4台水泵同频上升,加大流量,直到末端设备的压差设定值得以保证为止,且应保证新增开的水泵与1#水泵同时由低频起调,避免出现刚运行便水流量过大的情形。当末端设备的负荷减少,即末端设备压差高于设定值时,4台泵同步减频来维持压差;当冷冻水泵处在最低频率时(因为4台冷水泵同频动作,所以同时处在最低频率)还有减少流量

的需求,则关闭2#水泵,若还有需求,继续依次关闭3#、4#水泵。

一次侧变频泵根据自身控制特点先行调节系统流量供应。当系统流量变化调节不足以满足系统负荷变化的需求时,再通过群控系统对离心机组进行相应的加减来满足负荷的需求。在一次侧泵变流量控制系统中,当系统流量减少时,控制系统要严格监控系统流量的变化,以防一次侧泵流量无法维持机组的正常运行而导致离心机组的不正常停机。一旦系统流量不足时,系统旁通阀应立即开启,补充水量以满足系统最低水流量的需求。

### 3.3 冷却塔控制策略

为探究冷水机组冷却水进水温度对冷水机组效率的影响,文献[8]实测了不同冷却水进水温度下系统运行情况,结果如图3所示。由图3可知,随着机组冷却水供水温度的提高,冷水机组的效率逐渐降低,同等负荷工况下冷却水温度越低冷水机组的效率越高。



注: $k_{cop}$ ——冷水机组性能参数。

图3 冷水机组性能参数随冷却水供水温度变化

Fig. 3 Diagram of chiller unit  $k_{cop}$  changing with cooling water supply temperature

根据上述研究结果,系统对冷却塔的控制策略为:充分利用变频离心机组可在较低冷却水温下运行的优势,尽量使冷却水供水温度贴近机组允许的最低冷却水进水温度,以利用低冷却水温工况下的离心式机组的运行效率。因此,系统运行时,可开启更多冷却塔,降低风机转速,使能耗下降。控制方案分为冷却塔风机控制及冷却水进水温度控制。

#### 3.3.1 冷却塔风机控制

根据冷却塔的供水温度来控制冷却塔开启台数,保证冷却水温度控制的准确性。冷却塔的风机也采用变频控制、轮流开启、自动排序、自动投入方式。冷却塔风扇台数控制策略如图4所示。

#### 3.3.2 冷却水进水温度控制

通过冷却塔出水温度传感器来反馈出水温度,并与冷水机组允许冷却水最低进水温度进行比较,

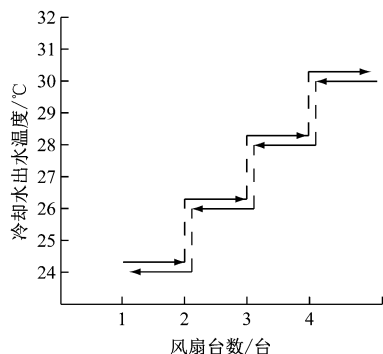


图4 冷却塔风扇台数控制

Fig. 4 Control of cooling tower fan number

据此调节冷却塔旁通电动阀,保证进入主机的冷却水温度不低于机组要求的最低值。

### 3.4 冷却水泵控制策略

郑州南站冷却水系统采用变流量设计。实际空调运行工况中,冷却水系统与冷冻水系统相比,冷却水系统供回水温差较小,因此冷却水量较大,且冷却水泵多采用定流量。文献[9]测试的空调功耗与制冷量比值随负荷率的变化情况如图5所示。

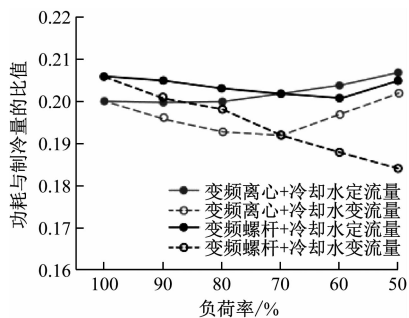


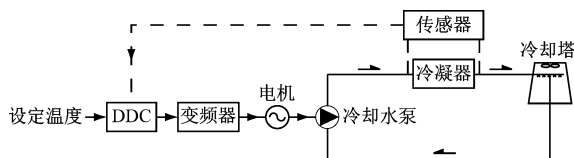
图5 空调系统功耗与制冷量比值随负荷率的变化

Fig. 5 Ration diagram of air-conditioning system power consumption and cooling amount changing with load rate

由图5可知,不同负荷工况下,与定流量工况相比,变流量系统的能耗明显降低,变流量系统的节能效果十分显著。因此,冷却水系统采用变流量设计不仅可以降低水泵电耗,而且更方便操作管理。

与冷冻水系统控制原理相同,冷却水系统也采用定温差控制,从而流量随负荷成等比例变化。冷却水系统控制原理如图6所示。在冷却水进水管上各安装一温度传感器,将冷却水供回水温度信号传给控制器,并与系统设定温差进行比较,以控制水泵转速和流量。若冷凝器的进出水温度差大于设定值,则通过变频器调节水泵电机,增加水泵转速,增大冷却水流量;反之,降低水泵转速,减少冷却水流量。当系统处于部分负荷,冷却水温差较小

时,降低水泵转速,保持恒定温差。



注:DDC 为直接数字控制器。

图6 冷却水变流量定温差控制

Fig. 6 Variable flow of cooling water under fixed temperature difference control

为避免水泵频繁变速,冷冻水供水温度通常在某一区间(如4~6℃)内变化。为了保证水流量不低于最小流量,设定水泵运行频率下限,通常在25 Hz以上。负荷 $Q$ 与冷却水流量 $W$ 、冷却水进水温度 $T_5$ 和冷却水出水温度 $T_6$ 间的关系如下:

$$Q = (1 + 1/k_{\text{COP}}) C_p W (T_5 - T_6) \quad (3)$$

式中:

$C_p$ ——水的定压比热容;

$W$ ——冷却水流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

由于 $k_{\text{COP}}$ 变化相对较小,所以定温差控制相当于冷却水流量随负荷成比例变化,即负荷为70%时,流量也为70%。

### 3.5 风系统控制策略

为车站候车大厅服务的空调末端采用大风量的组合式空调机组。组合式空调机组控制方案为室温控制及新风量控制,即在保证室内空气质量的情况下使室内温度稳定在设定值。

#### 3.5.1 室温控制

室温控制采用风水一体化控制,即送风量和水量同时调节,风机频率根据室内温度控制,水阀开度根据送风温度控制,控制逻辑如图7所示。当风机频率达到最小频率时,风机以最小频率运行,室内温度改由水阀开度控制,对送风温度不做控制;当风机频率达到最大时,室内温度改由水阀开度控制,对送风温度不做控制。

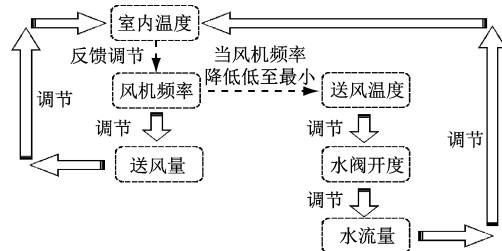


图7 室温控制策略逻辑

Fig. 7 Logic of room temperature control strategy

### 3.5.2 新风量控制

新风量控制通过传感器监测室内  $\text{CO}_2$  浓度,从而控制新风阀门的开度,来保证室内的新风量。

## 4 系统能源综合管控

高级控制的节能主要有两种方式,一种是结合高铁车站的运营特点,基于旅客信息等优化室内温度的控制,提高舒适性;一种是基于 AI 的大数据分析优化机组及机群的控制参数,提高机组及机群的运行效率。

中央空调系统主要用于消除室内的冷热负荷以营造舒适的热环境。在系统运行过程中,负荷随着室外气象,以及人员、设备等而变化,仅通过监测室内外温湿度的变化很难保证室内环境的舒适性,同时能源消耗巨大。

基于以上特点,本项目采用基于 AI 的大数据分析优化控制,通过节能及智慧控制一体化平台与信息系统集成管理平台进行数据交互,预知人员变化,根据各区域人员密度进行建模,提前调控,实现按需供能。

本项目对空调设备进行能耗独立采集,通过系统网络传送至节能与智能控制一体化平台,实现设备控制与设备能耗数据共享。平台对设备控制参数与设备能耗进行统计分析,完成以下控制功能:

1) 建模及能耗分析:对郑州南站采用传统运行方式和节能运行方式两种运行情况分别进行模拟,生成基准能耗曲线和节能模式能耗曲线,并对比分析采用空调节能系统后节能效果及经济效益,帮助用户更好了解节能方向,协助优化管理。

2) AI 大数据分析 & 优化控制:各个设备拥有独立的控制单元,即使随着变频节能技术的应用,其带来的效益仍然是孤立的各个“局部效率”的提升。当空调系统中需控制的目标有多个时,需以空调系统 COP 为目标来制定控制策略,协调各目标之间的逻辑关系,实现整个系统的节能运行。

考虑到冷水机组制冷性能系数为冷水机组的主要影响参数,优化控制先以主机的运行优化为导向,根据主机的运行效率特性曲线调整运行策略,尽量保持冷水机组在高效区间运行,再调节冷却塔和冷却水泵的运行模式,寻求最佳结合点。项目采用微调初始设定值的方法,来考察冷站整体制冷性能的变化,并通过系统平台进行数据记录及统计分

析,以累计运行数据进行学习分析,导向最优参数的设定。

## 5 结语

郑州南站作为特大型铁路站房,空调系统能耗十分庞大,如果不采用智能控制的方式,每年将多投入大量的人力、物力进行管理,消耗大量的能源,造成管理费用和能源的巨大浪费。本文介绍了该站中央空调节能及智慧控制系统的总体结构及控制策略,并将该系统与车站生产管控平台紧密对接,根据环境及客流变化自动控制、调整空调系统的运行状态、运行模式,更好地实现了对中央空调系统全面监控及智能管理,最大限度降低车站管理成本及能源消耗,减少了车站的运维成本。

后期待车站建成后,将收集空调系统全年的供热制冷能耗数据,并结合客流量变化进一步优化控制设定参数及策略,使控制系统具有自学习优化能力。也希望本文研究成果可为将来实际高铁站房自控系统的设计提供一定参考价值。

## 参考文献

- [1] 赵文成. 中央空调节能及自控系统设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.  
ZHAO Wencheng. Design of energy efficiency and automatic control system for central air conditioning[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [2] 黄少强. 中央空调系统方案的设计及节能分析——以商业中心项目为例[D]. 华南理工大学, 2018.  
HUANG Shaoqiang. The analysis of designation of the central air conditioning system for a commercial center and energy saving measures[D]. South China University of Technology, 2018.
- [3] 李金冬, 张苏, 韩松, 等. 基于 BAS 的京张高铁站房能源管理系统研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(1): 176.  
LI Jindong, ZHANG Su, HAN Song, et al. Researches on BAS-based energy management system (EMS) of stations on Beijing-Zhangjiakou High-speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(1): 176.
- [4] 韩松, 张苏, 李金冬, 等. 京张高铁清河站电热风幕节能措施研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(1): 180.  
HAN Song, ZHANG Su, LI Jindong, et al. Research on electric air curtain energy-saving measures for Qinghe Station on Beijing-Zhangjiakou High-speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(1): 180.
- [5] 冯涛, 李蔚, 白建光. 能效管控一体化系统在大型铁路站房中的设计与应用[J]. 智能建筑电气技术, 2018, 12(5): 65.

(下转第 209 页)