

基于多级协同控制的大型能源站优化运行技术研究

文 / 张佳伟 西部机场集团

杨 羿 西部机场集团

摘要：现阶段，随着经济社会的发展和进步，大型暖通空调的应用也逐步增加，暖通空调中的源端系统也逐步向着大型化、复杂化的方向发展。有统计数据表明，源端系统平均负荷仅为设计负荷的50%左右。因此，在运行过程中控制策略是否合适决定着整个源端系统的稳定性和经济性水平。为解决上述问题，本文对基于多级协同控制的大型能源站优化运行方法进行研究，阐述包含能源站就地自控及优化调度的整体控制策略及架构，并通过某能源站的实际运行数据，表明本文所研究方法的有效性。

关键词：暖通空调系统；能源站；优化调度；技术；应用分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.122

前言

目前，我国城市建设的现代化程度不断推进，国民经济水平不断提升，对于生活质量提出了更高的要求。在大型民用建筑建设的过程中，通常会建设集中式的大型暖通空调系统，以提升建筑环境的舒适性。暖通空调可分为源端系统以及末端系统，对于源端系统，通常会建设能源站并配套制冷制热设备，为末端空调提供所需的冷热水。随着技术的不断发展，源端系统有大型化、复杂化、多能互补的发展趋势，常规的控制方案已不能满足现有系统的控制需求^[1]。为解决上述问题，本文对基于多级协同控制的大型能源站优化运行方法进行研究，充分利用现场设备及系统特点，制定合理的运行控制策略，实现源端系统各设备的统一、协调高效的运行，在保证服务品质的同时提高系统运行效率，降低系统整体能耗。

一、暖通空调系统运行概况

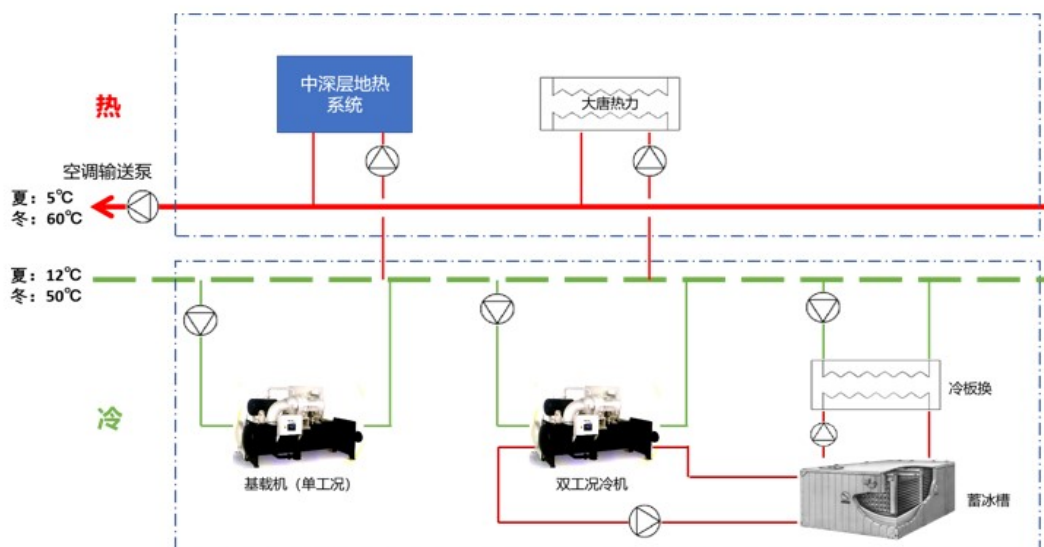
（一）系统运行原理

暖通空调系统作为建筑工程中最为重要的组成部分，既保证建筑工程性能，又为用户提供更为舒适的建筑环境。对于暖通空调系统中的供冷来说，其主要依靠空调或制冷机组中制冷剂的状态变化为建筑提供冷源，

降低建筑环境内温度，在实际运行过程中，制冷剂在制冷机组的蒸发器中蒸发，吸收系统冷冻水中的热量使冷冻水温度降低，随后制冷剂气体经压缩机做功形成的高温高压气体流经冷凝器，通过与冷却塔内冷却水进行热量交换，向冷却水释放吸收到的热量，制冷剂气体逐渐由高温高压气体变为低温低压的液体，以此循环往复实现连续制冷。同时，被降温后的冷冻水经由水泵被送至用户末端的各类空气处理设备中，并经由送风管路送入到各个房间。通过这样的运行循环过程，夏季房间内的热量会被冷冻水带走，并利用冷却塔将吸收的热量释放到空气当中^[1]。此外，对于供热系统来说，通常采用不可再生的化石燃料或可再生能源（如太阳能、地热能、生物质能等）生产热水和蒸汽作为建筑供暖的热源。

（二）能源站系统构成

以西安咸阳国际机场某能源站为例，供冷系统主要由基载机组、双工况机组、蓄冰槽以及配套泵组、冷却塔、定压补水设备构成，整体采用多级降温的串联工艺；供热系统主要由中深层地热机组、供热板换以及配套泵组组成，整体采用多环节并联工艺。由上述构成可看出，整体设备种类较多，工艺复杂，为高效稳定运行带来较多挑战。



二、能源站多级协同控制架构及关键技术

本文采用多级协同控制的方法对能源站运行进行整体优化，涵盖基本自控功能、以及系统整体的协调调度，实现系统稳定、高效、自动、智能的运行。

(一) 能源站就地控制

能源站的就地控制主要通过自控系统实现，保障能源站设备运行状态的远程监控，以及各设备之间的闭锁、联动和顺控，同时按照工艺需求实现水泵自动变频、冷却塔优化控制等功能。

(1) 自动控制架构

通过对能源站工艺控制进行深入研究与分析，自控系统总体采用“大策略+小闭环”的思想，在此种运行思想的支持下，保证自控逻辑运行的有效性^[2]，该思想也更加贴合实际运行，提升整体运行的灵活性。其中大策略主要指系统的运行模式，可由自控系统自动生成或运行人员手动设定，之后自控系统根据设定的参数进行对应的设备联锁启停，小闭环指的是设备参数的单回路闭环控制。具体架构如图1所示。

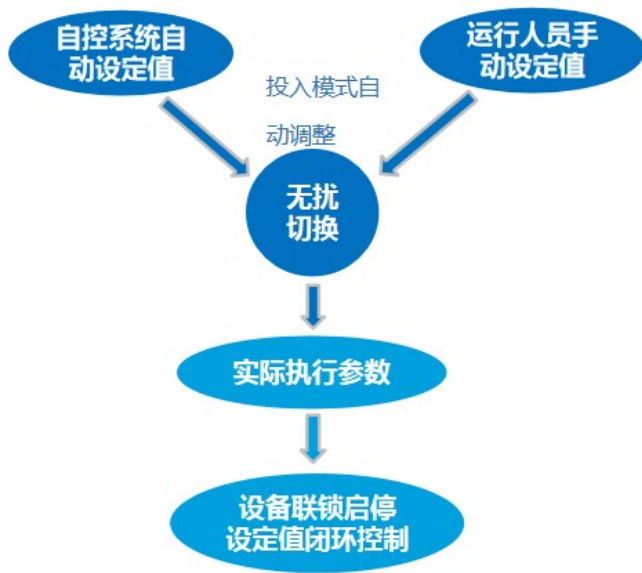


图1 自动控制架构

(2) 设备联锁控制

设备联锁是自动控制逻辑中最为重要的组成部分，自控系统根据运行模式以及设备的运行个数，进行相应的联锁逻辑控制；设备联锁首先进行各模式间的阀门状态切换，之后按照特定的开关机顺序进行设备启停。对于供冷设备联锁来说，开机顺序通常为“冷却塔阀门→冷却塔→冷却泵→冷冻阀→冷冻泵→冷机”，关机顺序与开机顺序相反。

(3) 设备闭环控制

系统中设备按各自特定的逻辑进行参数调节以及运行状态的切换，核心设备闭环控制逻辑如下：

1. 空调泵：通常根据压差设定值进行空调泵运行频率的自动调整。同时，自控系统具备空调泵自动加减机

功能，可根据运行频率等判据进行判定，也可按照运行模式对运行个数进行自动化调整^[3]。此外，自控系统还具备泵组的轮巡启停以及故障应急启动，以此保证系统运行的安全性。

2. 冷却塔风机：自控系统具备回水温度设定值自调整功能，可根据室外湿球温度以及逼近度自动调整回水温度设定值，并根据设定值自动调整风机运行个数和单个风机电机的运转频率，以提升冷机运行效率。

3. 冷冻泵：根据压差或流量设定值自动调整频率，维持冷机冷冻水的额定流量。

4. 冷却泵：据压差或流量设定值自动调整频率，维持冷机冷却水的额定流量。

5. 压差旁通阀：此时工作人员需根据压差设定值自动调整阀门开度。

(4) 后台监控

对于后台监控系统来说，其主要是为系统优化调控提供保障，确定暖通空调系统运行的实际情况^[4]。后台监控系统中的监控页面可显示出主设备的状态、参数以及过程变量，点击菜单栏即能调出用于监视的其他显示画面，为工作人员提供整个监控系统运行状态的全貌。动态显示可明确运行状态下的水流方向，用红、绿、灰三种颜色分别表示水泵、制冷主机等设备的故障、运行、停机状态，帮助工作人员了解系统运行状态。此外，后台监控还具备告警监视以及历史曲线查询功能，还可根据用户需求生成多张报表，并支持快速导出。

(5) 数据接口

自控系统具备对外的数据接口，通过该接口实现接收并执行能量管理系统的优化调度指令^[2]，为多级协同控制提供数据通道，支撑整个系统的一体化运行。

(二) 能源站优化调度

对于含有蓄冷等储能设备的系统来说，合理的规划源-储之间的出力比例才能实现能源的最大化利用，降低运行成本，实现真正的削峰填谷。本文中根据实际工艺，研究优化调度技术，得到系统最优的运行方式，在满足负荷需求的同时保证系统处于最小成本运行。

1. 供冷

(1) 系统构成：对于供冷系统来说，整体设备类型较多，构成较为复杂，运行模式可分为主机蓄冷+基载供冷、主机蓄冷+融冰供冷、基载供冷、基载供冷+冰槽供冷、基载供冷+冰槽供冷+主机供冷、冰槽供冷。

(2) 供冷运行原则：对于供冷运行来说，需充分发挥移峰填谷作用，在夜间优先使用双工况蓄冰，通过基载保证末端负荷需求。在白天，冰量尽可能的用在峰值电价时段。以此建立系统优化的目标函数和约束条件，以经济性最优为目标，考虑设备容量、运行效率、能量平衡等，求解出最优解，得到各设备间的负荷分配值以及对应的运行模式，并进一步转化为自控系统可直接执行的基载出口温度、双工况出口温度以及总供水温度值。

2. 供热

(1) 系统构成：与供冷系统相比，供热系统的构成以及运行模式相对来说比较少，主要包括中深层地热单独供热、中深层地热+供热板换联合供热、供热板换单独供热等几种形式。

(2) 供热运行原则：以保证温度满足建筑环境需求为目标，工作人员在对系统进行优化调控的过程中，可设定供热优先级，系统动态求解出该优先级下各供热环节的负荷分配值，并进一步转换成流量比、供水温度等就地自控系统可直接执行的参数。由于供热采用并联工艺，各环节间的供水温度应保持一致^[5]。

3. 优化调度架构

优化调度与就地自控系统间的关系如图2所示，优化调度作为对能源站运行的“大脑”，生成运行模式及运行个数等，具体的闭环执行由就地自控系统实现，同时就地自控系统具备定值无扰切换及应急处理功能，当与优化调度间通讯中断时可自动切换至就地运行，确保系统整体的安全性。多级协同控制中的环节各司其职，上下贯通，保障整个系统高效稳定运行^[6]。

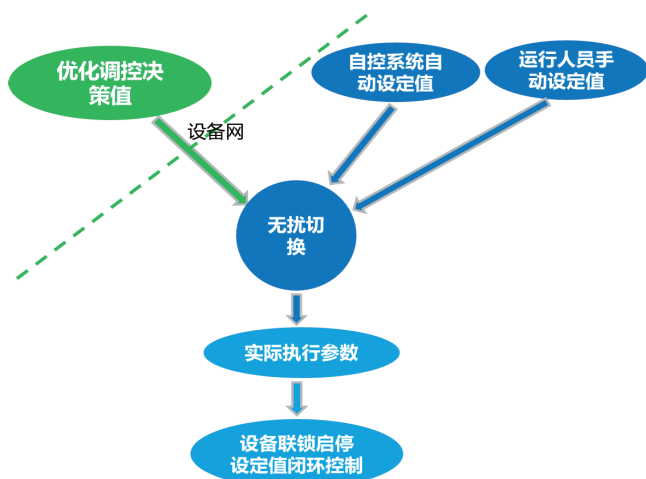


图2 优化调度架构

系统的参数设定如图3所示。运行人员可根据运行需要，投退相应的功能。整体运行的模式及各设备运行



图3 参数设定示意图

个数可通过按钮选择定值来源，可直接执行优化调度结果，也可采用就地自控系统的计算结果，冷冻泵、空调泵等设备的闭环控制可独立投退，灵活方便，从而提高自控逻辑的投入使用率。

三、运行效果

本文采用的多级协同控制策略，可实现大型能源站各设备的统一、协调、高效的运行，具有显著的节能效果。下表采用本文所述方法的供冷系统实际运行数据，由数据可知，单位供冷成本由0.859元/RT.h降低至0.661元/RT.h，节能效果明显，充分验证了本文所述方法的有效性。

时间	2022年	2023年	变化量
电量 kwh	5235714	3668013	-1567701
电费(元)	2497077.05	1871983	-625094.05
水量 t	30805	27199	-3606
水费(元)	123589.66	109367	-14222.66
制冷费用(元)	2545885	1920727	-625158
制冷量 RT.h	2963325	2907408	-55917
单位成本(元/RT.h)	0.859	0.661	-0.198

结论

综上所述，本文针对能源站大型化、复杂化、多能互补的发展过程中带来的优化运行问题，提出了多级协同控制的方法，阐述了相关控制内容及整体控制架构，并通过实际运行数据表明本文所述方法的有效性。本文所述方法可实现源端设备的高效、稳定运行，具有较好的推广价值。

参考文献

- [1] 江浩. 暖通空调系统群智能协调优化方法与节能控制策略研究[J]. 中国设备工程, 2022(18): 89-91
- [2] 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
- [3] 徐广源, 李岩, 田善鹏. 试析暖通空调中的节能技术以及自动化系统优化设计[J]. 房地产世界, 2024(2): 131-133.
- [4] 杨鹏, 李彦桃, 武琦斌, 雷耀华. 暖通空调制冷系统的优化控制研究[J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2022(10): 73-76
- [5] 梁英. 暖通空调制冷系统的优化控制研析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(6): 75-78
- [6] 孙健, 张云帆, 蔡潇龙, 等. 基于预测负荷的暖通空调系统优化调度[J]. 综合智慧能源, 2024, 46(3): 12-19.