

文章编号: 1671-6612 (2024) 05-722-04

# 某空调系统控制逻辑的设计改进及应用

陈红军 刘树培

(深圳中广核工程有限公司设计院 深圳 518172)

**【摘要】** 针对某核电厂空调系统在室外温度降低、系统低负荷工况下出现空调室外机组频繁启停、运行状态偏差报警以及就地启动缺乏逻辑保护的问题,进行了原因分析,并提出改进措施,有效地解决了系统控制逻辑的问题。改进后的系统在低负荷工况下运行稳定,可为同类空调系统控制逻辑设计和改进提供参考。

**【关键词】** 空调系统; 低负荷运行; 频繁启停; 控制逻辑; 设计改进

中图分类号 TU831.3 文献标志码 B

## Design Improvement and Application of Control Logic of an Air Conditioning System

Chen Hongjun Liu Shupe

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd, Shenzhen, 518172)

**【Abstract】** The paper analyzes the causes of frequent start-stop of outdoor air conditioning units, deviation alarm of operating status, and lack of logical protection during on-site startup in a certain air conditioning system of a nuclear power plant under low outdoor temperature and low load conditions. Improvement measures are proposed to effectively solve the problem of system control logic. The improved system operates stably under low load conditions, which can provide reference for the control logic design and improvement of similar air conditioning systems.

**【Keywords】** Air conditioning system; Low load operation; Frequent start-stop; Control logic; Design improvement

## 0 引言

良好的自动控制设计可以确保空调系统按照设定条件准确地完成设计要求,并在系统及设备连续运行中高质量地实现系统功能。当气象条件或室内参数等因素发生变化时,系统能够根据偏差自动调节,以实现房间环境条件的准确控制,并达到设备的最佳性能和系统运行节能。此外,良好的控制设计还能减少运行人员的工作量,为运行和维修人员提供全面的系统和设备运行状态信息,实现自动故障诊断、设备保护和事故报警,以确保系统安全可靠运行<sup>[1,4]</sup>。

然而,当系统控制逻辑和参数设置不合理时,会对系统功能实现、稳定运行、设备性能和寿命造成影响,给运维人员带来困扰。因此,需要改进不合理的

设计逻辑和参数设置。本文针对三代核电机组华龙一号某空调系统室外机组在低负荷工况下出现频繁启停、设备运行状态偏差报警以及缺乏启动保护逻辑的问题进行了原因分析,并提出了解决措施。

## 1 系统运行功能及配置

空调系统位于柴油机厂房,该厂房的围护结构采用钢筋混凝土,墙体厚度达到0.8m,具有较高的热惰性,根据设计及运行经验,通过围护结构的传热对工艺房间的环境条件影响非常小。

空调系统的主要功能是为控制室、电气间和电缆间等工艺设备房间提供经过处理的空气,以维持房间内适宜的环境条件,确保工艺设备正常运行。在电厂正常运行工况下,工艺设备连续运行,散热

负荷保持稳定, 需要空调系统连续运行以维持房间环境条件 (房间温度需求为  $10^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ )。

空调系统采用全空气定风量系统, 并以一次回风模式运行。室外新风与回风混合后, 经过滤、加热/冷却处理达到送风状态点后, 被送入房间, 与

房间内的空气进行热交换后排出。空调系统的室内机组内设置有过滤器、蒸发器、电加热器和送风机。室外机组则是风冷式冷凝机组, 主要包括 4 台压缩机、冷凝器和冷凝风机。系统配置及空气处理过程简图如图 1 所示。

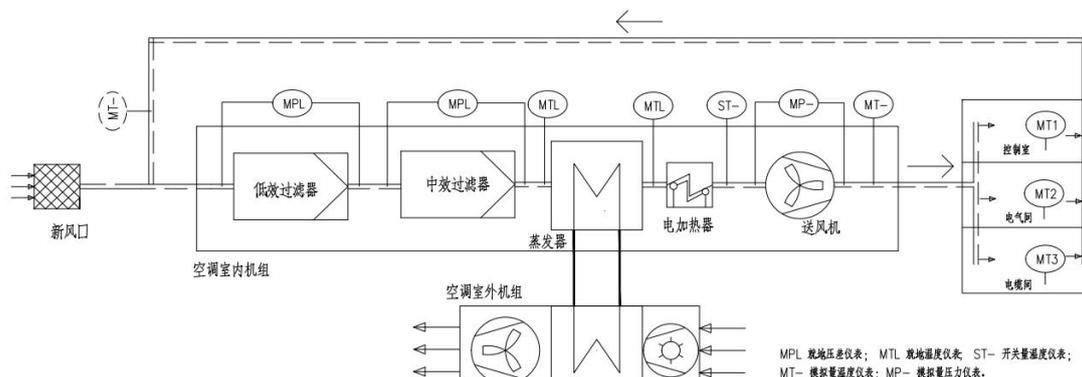


图 1 空调系统配置及空气处理过程简图

Fig.1 Air conditioning system configuration and air handling process diagram

## 2 空调系统控制需求及设计接口

空调系统的控制分为系统控制和室外机组控制两个部分。空调系统控制系统由设计院设计, 并通过数字化集中控制系统 (DCS) 成组控制来实现。而室外机组控制则由供货商设计, 并通过可编程控制 (PLC) 系统来实现。

### 2.1 系统运行控制需求

在主要的温度控制房间, 包括控制室、电气间和电缆间, 分别设置了 1 块温度仪表来监测房间的温度。如果这些仪表中有 1 块或更多达到了温度阈值, 则认为工艺房间的温度达到了阈值。

在冷却工况下, 空调机组的送风机自动连续运行。当空调室外机组处于远程控制时, 如果工艺房间中的任意 1 块温度仪表测量到的温度高于  $30^{\circ}\text{C}$ , DCS 会发出启动室外机组的信号, 室外机组自动运行以维持系统送风温度  $19^{\circ}\text{C}$  的目标值。当其中 1 块温度仪表测量到的房间温度低于  $15^{\circ}\text{C}$  时, DCS 会发出停止空调室外机组的信号。

在加热工况下, 如果某个工艺房间的温度低于  $15^{\circ}\text{C}$ , 会自动启动电加热器, 并且送风温度传感器 MT- 为电加热器提供控制信号, 以维持送风温度  $23^{\circ}\text{C}$  的目标值。

### 2.2 空调室外机组控制需求

当空调室外机组被置于远程自动控制模式下, 接收到 DCS 给定的启动信号后, 自动采集空调室

内机组中送风机的运行状态信号, 以判断空调室内机组中风机的运行情况。当确认送风机处于运行状态后, 室外机根据设定的控制温度梯度值来加卸载压缩机和冷凝风机, 以维持设定的送风温度  $19^{\circ}\text{C}$  的目标值。当送风温度低于  $15^{\circ}\text{C}$  时, 室外机组 4 台压缩机全部卸载。

为确保空调室外机组能收到 DCS 控制信号, 要求 DCS 发出启停空调室外机组的信号为脉冲信号, 并且需要持续 3s 时间。

当空调室外机组被置于就地手动控制模式下, 可以通过空调室外机组控制柜上的触摸屏对机组进行控制, 包括启动/停止压缩机和冷凝风机。

### 2.3 指示、保护及报警

#### 2.3.1 空调系统指示、保护及报警

为评估过滤器的洁净程度, 通过设置就地压差仪表 MPL 监测过滤器的压差。

电加热器的保护及报警功能是通过在电加热器下游设置开关量温度传感器 ST- 来实现的。当加热器下游空气温度超过  $70^{\circ}\text{C}$  时, 传感器会发出信号停止加热器, 并在主控室发出报警。当启动电加热器时, 须先启动风机后再启动电加热器; 当停运电加热器时, 须先停运电加热器后再停运风机<sup>[2]</sup>。电加热器运行状态和设备故障也在主控室显示。

风机的状态指示及报警功能是通过在风机进出口设置模拟量压力传感器 MP- 监测风机压差

来实现的。当风机前后压差值偏离设定值时，风机会停止运行，并在主控室发出报警。风机运行状态和设备故障也在主控室显示。

当空调室外机组处于自动远程状态时，室外机的控制及保护由 DCS 来实现的。当启动空调系统时，须先启动室内机后再启动室外机；当停止空调系统时，须先停止室外机后再停止室内机<sup>[2]</sup>。

### 2.3.2 空调室外机组指示、保护及报警

空调室外机组的指示包括压缩机和冷凝风机

运行状态指示和故障指示，并反馈至主控室。其故障信息也在就地控制面板上指示，并区分轻微故障和严重故障。轻微故障指示包括排气温度探头和冷凝温度探头故障，以及压缩机高压偏高或低压偏低；严重故障指示包括压缩机、冷凝风机的过载、过欠压、错相和缺相<sup>[5]</sup>。

### 2.4 系统控制逻辑流程及设计接口

梳理系统控制逻辑、室外机组控制逻辑流程以及设计院与供货商设计接口边界如图 2 所示。

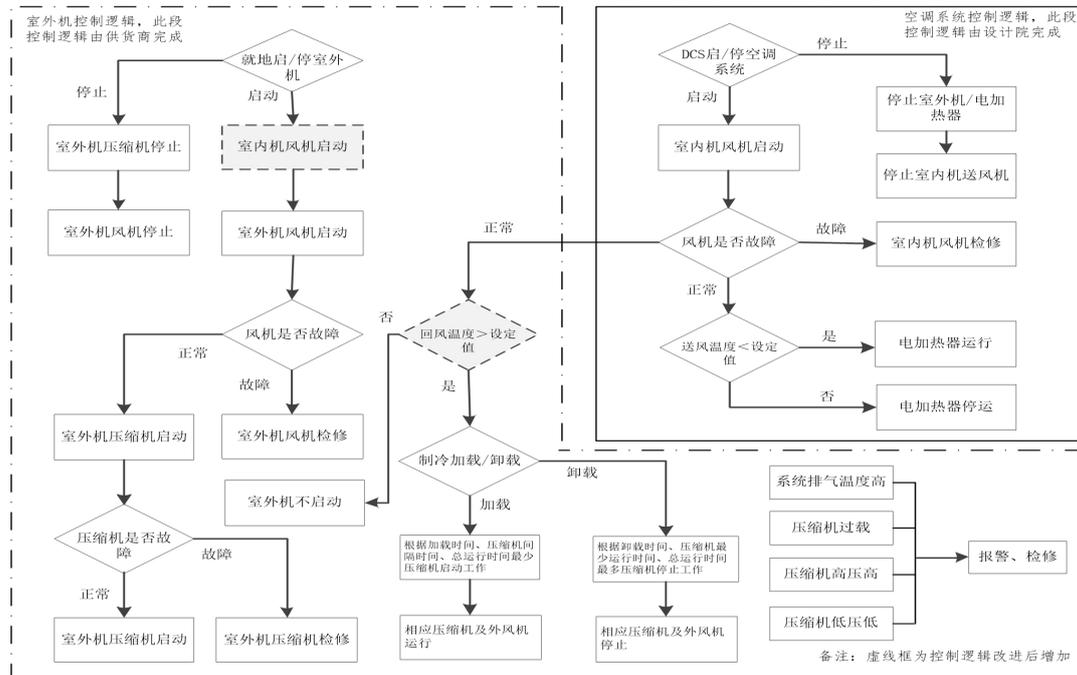


图 2 空调系统、室外机组控制逻辑及设计接口图

Fig.2 Control logic and design interface diagram of air conditioning system and outdoor unit

## 3 空调系统运行故障分析及处理

### 3.1 空调室外机组频繁启停及运行状态偏差

#### 3.1.1 问题描述

在空调系统调试期间，随着室外环境温度降低，空调室外机组出现频繁启停，大约每 20min 启停一次，并在主控室发出室外机组运行状态偏差报警，即 DCS 没有发出停运室外机组的指令，但 DCS 中显示“室外机组停运”，系统并发出室外机组运行状态偏差报警。

经过排查，因室外机启动后送风温度下降低于 15℃，从而导致卸载压缩机并停运室外机组。现场检查，室外机设备正常，制冷功能也正常。

#### 3.1.2 原因分析

当室外温度降低时，新风负荷减少或工艺散热

负荷降低，导致系统冷负荷需求减少。此时，室外机根据设定的加卸载条件对压缩机运行台数进行加卸载或者停运。然而，当一台压缩机加载后，制冷量超过系统需求冷负荷时，送风温度会下降低至 15℃，则需要停止运行一台压缩机以减少冷负荷输出。当压缩机停止运行后，由于工艺设备的散热，送风温度会升高至超过 19℃，从而发出启动压缩机的信号。然而，再次启动一台压缩机后，模块制冷量远大于系统冷负荷需求，导致送风口温度迅速降低至 15℃，并再次发出停运压缩机的信号。如此反复，导致室外机组频繁启停。

室外机频繁启动的一个重要原因是单台压缩机运行时冷量输出远大于系统冷量需求，而室外机无连续调节输出负荷的能力。

在室外冷机频繁启停期间, 由于送风温度小于 15°C, 室外机会被完全卸载, 并在 DCS 中显示“室外机组停运”。然而, 工艺房间温度未达到 DCS 发出停运室外机指令的设定温度值, 会导致室外机运行状态偏差 (即 DCS 没有发出停运室外机的指令, 但送风温度低而导致停运室外机, 在 DCS 系统中室外机组状态指示为“室外机组停运”) 并发出报警。同理, 当工艺房间温度高于设定值时, DCS 发出启动室外机组的指令, 但由于送风温度低导致停运室外机并发出停运状态信号 (即 DCS 发出信号启动室外机, 但送风温度低导致停运室外机), 也会导致室外机运行状态偏差并发出报警。

空调室外机的启停既受送风温度控制, 又受到 DCS 房间温度信号控制。这两个信号源不同, 表征的属性存在差异, 也是导致室外机频繁启动和运行状态偏差的原因。

### 3.1.3 改进措施

根据上述分析, 空调室外机组频繁启停和出现运行状态偏差的主要原因是室外机组缺乏连续调节能力、受 2 个不同控制信号源的影响。为了解决这些问题, 考虑到工艺房间设备散热负荷变化趋势一致和房间温度需求范围基本一致, 系统总回风温度能够准确反应每个工艺房间的环境条件。因此, 对系统控制进行如下改进:

首先, 在空调机组回风总管上增加温度仪表 (如图 1 所示), 将室外机组的压缩机的启停或加卸载信号由原来的送风温度控制改为回风温度控制。回风温度设定值为 28°C (可调节), 室外机启停温度差值为 6°C (可调节, 并在系统调试后固定)。

其次, 修改 PLC 中室外机运行状态指示输出的判断逻辑。室外机的运行状态需结合故障信号判断。即当室外机停运且存在故障信号时, 输出“室外机停运”状态指示; 其他情况下输出“室外机运行”状态指示。

## 3.2 空调室外机组就地启动缺少联锁保护

### 3.2.1 问题描述

在空调系统运行期间, 巡检时发现在没有启动空调室内机风机时, 可以通过控制柜就地可直接启动室外机。

如果没有启动室内风机, 直接启动室外机可能会导致冷媒管道结冰和管道爆裂, 还可能损坏压缩机<sup>[5]</sup>。这意味着在手动启动室外机时缺乏设备启动

保护程序。

### 3.2.2 原因分析

空调机组室内机与室外机组由不同供货商提供, 在两个供货商之间, 缺少必要的接口交换, 导致未设计就地启动室外机与室内送风机的连锁控制回路。

空调室外机组供货商仅对空调室外机设置手动启动单设备控制操作, 且仅在《直接蒸发式空调机运行维护手册》中描述了手动启动的步骤, 并没有在就地启动中嵌入设备运行顺序保护逻辑。

### 3.2.3 改进措施

根据上述分析, 通过以下方式增加启停室外机组的保护功能, 可详见图 2。首先, 按照空调标准程序控制自身压缩机和冷凝风机。然后, 在 PLC 中增加采集室内风机的运行信号作为启动室外机的条件, 实现对压缩机的保护。具体要求是, 采集到室内风机处于运行状态后, 就地按钮启动室外机才能够生效; 否则, 就地按钮启动不能生效。这样的控制逻辑可以保证设备的运行安全。

## 4 改进后的效果

经过改进后, 空调系统在低负荷工况下运行平稳, 成功解决了室外机组频繁启停的问题。同时, 室外机的运行状态和反馈与 DCS 信号指令也完全一致, 消除了偏差报警。此外, 当需要检修室外机时, 运维人员可以通过就地控制柜面板安全地实现一键启动和停止室外机组, 满足了设备控制和保护的要求。

## 5 结语及建议

(1) 采取回风温度控制或者送风温度控制都可以满足空调系统的功能要求, 只是控制的对象不同<sup>[6]</sup>。当工艺设备的散热负荷稳定且散热趋势相近、受围护结构传热影响较小、各房间的空调温度需求相差较大时, 控制送风温度可以更好地满足房间温度需求<sup>[7]</sup>; 而当各房间的空调温度需求相差较小时, 控制回风温度可以更好地满足房间温度需求。

(2) 当选择控制送风温度, 并且送风温度需维持在一定范围内时, 则室外机组须具备很强的调节能力。机组具备良好的连续调节负荷输出的能力, 对于空调系统的稳定运行和参数控制至关重要。

(下转第 742 页)

了能量的梯级利用；辅助热泵循环系统实现了对余热的利用。总之，有机工质地热能热电联供系统的社会效益非常可观，对环境、社会等有非常大的益处。

#### 4 结论

我国大部分地区冬季需要采暖，夏季需要制冷。大量的空调用电使得夏季电负荷远远超过冬季，一方面给电网带来巨大的压力，另一方面造成冬季发电设施大量闲置，发电设备和输配设施利用率降低。采用地热能热电联供系统，减少夏季电空调的电负荷，同时该系统所发电也可以降低大电网的供电压力。

在“双碳”目标的影响下，热电联供系统将成一种主要的供能方式，能够在提供人类所需的能量之外，又能够做到环境友好而不消耗一次能源污染环境。根据发达国家的发展经验，分布式能源是我国未来一定时期的重要能源供应系统，按照我国的发展规划，以地热能能源的热电联供系统比例可达到能源系统总量的 3-5%，将作为集中能源供应系统的重要补充<sup>[6]</sup>。

本文以 R134a 为有机工质的地热能热电联供系统，即无污染也不会产生影响空气质量的有害气体。当今社会，一次能源的消耗已经严重影响全球气候环境，因此使用清洁能源地热能既能作为供能能源的同时，又能起到保护环境的作用。

#### 参考文献：

- [1] 贾建平.基于可再生能源的发电技术及应用研究[M].成都:中国水利水电出版社,2019.
  - [2] 刁谦,牛树银,孙爱群,等.中国东部地热资源开发潜力与建议[J].河北地质大学学报,2019,42(5):1-8.
  - [3] 中国石油新闻中心.地热能有望“热”起来[J].天然气勘探与开发,2023,46(1):96.
  - [4] 孟祥睿,马新灵.有机朗肯循环低品位热能发电技术[M].郑州:河南科学技术出版社,2015.
  - [5] 蒋润花,李洪强,尹辉斌,等.冷热电联供系统多目标评估与运行策略研究[J].工程热物理学报,2019,40(5):1016-1024.
  - [6] 李垒,陶乐仁,张姗.有机朗肯循环发电系统中换热过程模拟与系统经济性分析[J].制冷与空调,2020,20(5):22-27
- 
- (上接第 725 页)
- (3)应重视工艺专业与仪控专业之间的配合，以及设计院与供货商之间的协同工作。应确保各专业之间，以及与供货商之间的接口清晰明确且不遗漏不重叠。设计院应对设备采购人员、供货商进行必要的技术交底，以确保技术信息完整，技术要求理解一致，最大限度的减少或者避免技术文件在执行中的偏差。
- 参考文献：**
- [1] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
  - [2] GB 50019-2015,工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2015.
  - [3] 赵荣义,范存养,薛殿华,等.空气调节[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:195.
  - [4] 中国建筑标准设计研究院.全国民用建筑工程设计技术措施:暖通空调·动力[M].北京:中国计划出版社,2009.
  - [5] 彦启森,石文星,田长青.空气调节用制冷技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2010:172-182.
  - [6] 精密空调回风温度、送风温度及压差控制分析白皮书[J].UPS 应用,2016,(7):42-48.
  - [7] 陈红军.某核电站主控室空调系统设计改进及应用[J].暖通空调,2021,51(1):42-45.