

某地铁站中央空调冷冻站全变频控制系统设计

北京星达科技发展有限公司 杨谦 宗文波 杨丹 范志远

摘要: 中央空调冷冻站控制系统对冷冻站内部各相关设备(冷水机组、水泵、冷却塔、阀门)进行自动控制,本文针对位于北京的一地铁站中央空调冷冻站全变频控制系统进行分析,设计出一套切实可行的高效节能的冷冻站控制系统方案。

关键词: 冷冻站 控制系统 节能

Control System Design in Heating Ventilating and Air Conditioning for a subway station

Yang Qian, Zong Wenbo, Yang Dan, Fan Zhiyuan

Abstract: The control system of heating ventilating and air conditioning is to control a group of equipments(such as water chillers,pumps,cooling towers,valves,etc)in refrigeration station. The features of the full frequency conversion control system in heating ventilating and air conditioning for a subway station were analyzed,and a set of practical energy-efficient control system project was designed.

Keywords: refrigeration station,control system,energy-saving

0 引言

近年来建筑节能受到了前所未有的重视,而中央空调能耗又占据了整个建筑能耗的很大比例,冷冻站是中央空调的主要耗电设备,因而其节能意义重大。在冷冻站系统中,水泵的变频节能技术目前已被较多地应用,变频冷水机组也在国内外也有越来越多的应用案例,在部分负荷状态下通过对水泵和冷水机组的变频控制,能够达到明显的节能效果,因此设计高效的冷冻站全变频控制系统对冷冻站节能至关重要。

1 系统概况

本地铁站是北京地铁某两条线的终点站,是同台换乘车站。车站为地下二层结构,地下一层为站厅层,地下二层为站台层。由于地铁工程建设的特殊性,车站内集中空调设备均是一次性投资到位,其容量对应的均为远期晚高峰时的空调负荷值。但在初期和近期运营阶段,由于客流量远远没有达到远期的预测值,负荷相对较小,如果空调设备依然在按照远期的目标值运营,造成能源浪费很大。本车站制冷机房布置在站台层内一端,其主要设备和部件有4台860kW变频磁悬浮离心式冷水机组,4台30kW变频冷冻水泵,4台30kW变频冷却水泵,4台8kW变频横流式冷却塔,1套全变频节能控制系统等,冷水机组、水泵、冷却塔等

主要设备均采用变频控制，每台冷水机组的冷冻水和冷却水进水管路和每台冷却塔的进水管路上均装有电动开关型阀门，分集水器之间的旁通管路上安装有电动调节阀。

2 设计方案

2.1 传统单点控制方式的不足

传统中央空调冷冻站控制方法多为单点控制，例如，恒压差控制对水系统供回水压差进行控制；恒温差控制对水系统供回水温差进行控制。所使用的典型单变量控制模式是 PID 控制模式，作为最早发展起来的控制策略之一，由于其具有控制算法简单、通用性好和可靠性高等优点，被广泛应用于工业过程控制。针对 PID 控制存在容易发生振荡、稳定性较差的问题，一些改进的 PID 控制方法、模糊控制等也被应用到中央空调冷冻站控制中。但是，这些控制技术存在的一个主要问题是只着重中央空调冷冻站内某个单独设备或局部小系统的节能，没有对系统整体节能进行考虑，因此节能效果受限，有时还会出现某种设备节能，而影响另外设备耗能增加，最终可能出现整体负效益结果。例如，仅关注水泵节电，忽略了可能出现的冷机能耗上升造成的系统能耗上升；冷冻水循环和冷却水循环控制相对独立，不能实现系统效率的综合优化控制。

2.2 总体设计方案

针对以上单点控制方式的不足，本冷冻站控制系统设计方案在冷冻水压差控制、冷却水温差控制、冷却塔出水温度控制的基础上，通过对冷冻水泵功率、冷却水泵功率、冷却塔风机功率等 3 个变量采用直接针对冷冻站整体能耗的自寻优方法，实现对中央空调冷冻站系统运行参数的监测和优化，提高中央空调冷冻站系统的整体运行效率，达到节能降耗的效果。

如图 1 所示为中央空调冷冻站节能控制系统示意图，由图可知该中央空调冷冻站节能控制系统包括关联数据库、能耗自寻优控制器、滚动优化控制器、信号采集控制柜、冷却塔控制柜、冷却泵控制柜、冷冻泵控制柜、若干个传感器和人机界面。控制系统通过信号采集控制柜采集传感器数据及设备信息，传感器包括温度传感器、湿球温度传感器、流量传感器、功率传感器，具体分为室外湿球温度传感器、冷却水回水温度传感器，冷却水出水温度传感器，冷却水流量传感器，区域末端压差传感器，冷冻水流量传感器，冷冻水出水温度传感器，冷冻水回水温度传感器等。信号采集控制柜将采集的信息存储到关联数据库中，能耗自寻优控制器利用关联数据库中的数据进行能耗自寻优计算，并将优化参数通过滚动优化控制器写入数据库中。冷却塔控制柜对中央空调的冷却塔风机运行进行监控，冷却水泵控制柜对中央空调的冷却水泵运行进行监控，冷冻水泵控制柜对中央空调的冷冻水泵运行进行监控。

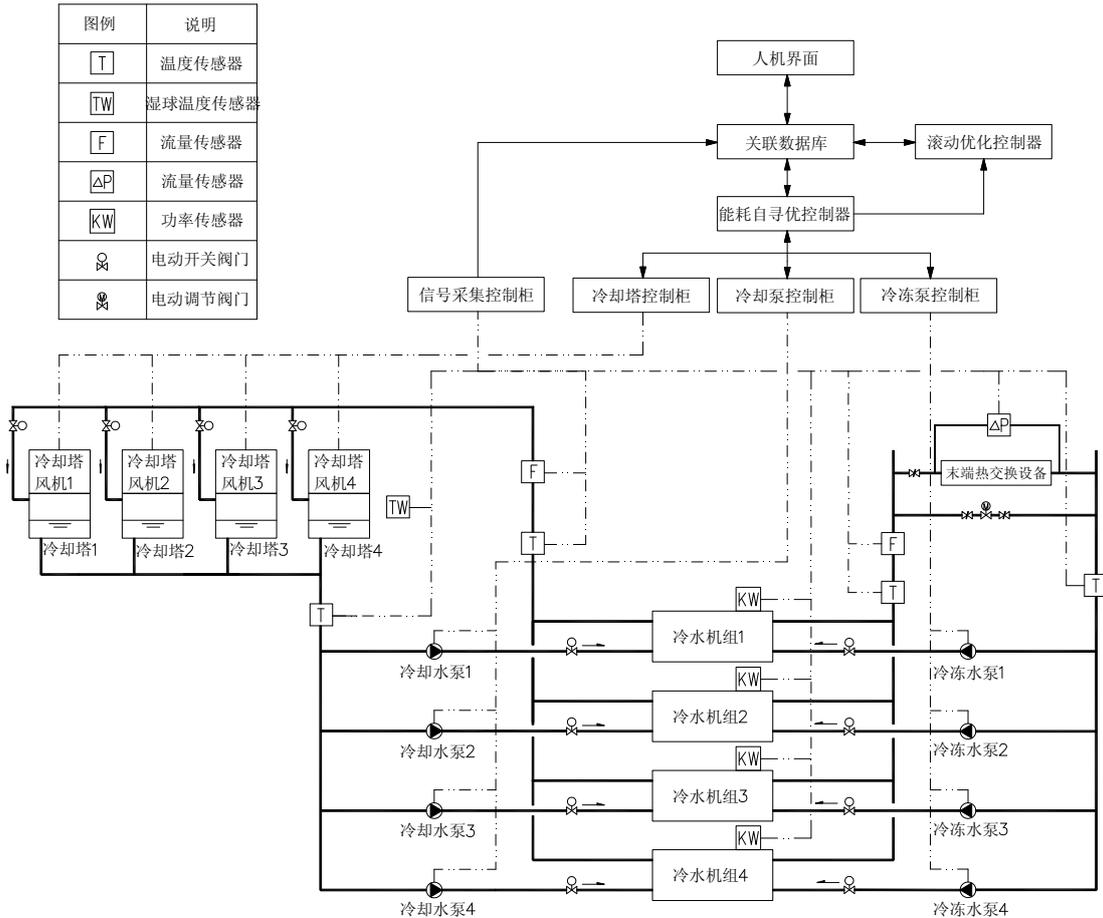


图 1 中央空调冷冻站节能控制系统示意图

在上图所示的系统中，控制系统通过功率传感器直接测量冷水机组的运行功率，通过与水泵和冷却塔变频器通讯直接读取水泵和冷却塔功率；冷冻水压差传感器设置在末端设备区域供回水管路间，对末端冷水需求感知更精确；设置在冷冻水供回水管路间的电动调节阀仅在冷水机组水量不足时起到保护和调节作用，尽量减少因为冷冻水混水造成的系统效率下降。

2.3 基本控制功能和逻辑

1) 根据嵌入到控制系统数据库内的冷水机组、水泵和冷却塔的性能曲线及系统负荷需求进行计算，按照在相同制冷量下使冷水机组、水泵和冷却塔组成系统电能消耗最低，自动决定设备运行台数。

2) 实时连续检测冷水机组、水泵和冷却塔的功耗值，在设备安全运行范围内自动调整各单体设备的转速和功率消耗，使冷水机组、水泵和冷却塔综合运行效率最高，整体冷冻站电能消耗最低。

3) 台数控制：当多台设备并联运行时，运行台数的选择是按各设备运行在高效率区，

且设备组整体能耗最低的原则进行。

4) 系统开关机顺序:

开冷却水泵→开冷却塔→开冷冻水泵→开冷水机组;

关冷水机组→关冷却塔→关冷却水泵→关(或延时关)冷冻水泵。

5) 冷水机组的控制模式: 设定冷冻水的出水温度, 根据传感器实时测量的冷冻水末端冷量需求, 设定冷水机组需求限值, 自动调节以最佳速率运转, 降低耗电量。

6) 设备故障监测及备用的自动投入: 如果在运行过程中, 若设备或电机或变频器发生故障, 能发出故障信号, 并将故障设备或电机或变频器锁定, 同时备用设备自动投入运行。

7) 每台设备均有运行时间累计功能, 备用设备可根据运行时间自动轮换, 当需要投入备用设备运行时, 选择累计运行时间最短的一台。停设备时, 应停止运行时间最长的一台。保证各设备运行时间相对均匀。

8) 保护功能要求: 具有蒸发器、冷凝器水流量的安全性保护、冷冻水出口低温、冷却水高温的安全性保护和冷冻水供回水低、高压差的安全性保护。

2.4 能耗寻优控制逻辑

冷冻站控制系统通过接收系统内各传感器测量的水系统状态参数及主要设备输出的状态参数, 计算出中央空调总冷量需求并判断冷冻站设备运行状态, 然后对冷水机组的运行速率和导叶开度进行调节, 并对冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔运行速率和功率进行寻优, 得到最佳能耗运行参数, 如图 2 所示为本设计方案自寻优工作流程图, 自寻优具体过程如下:

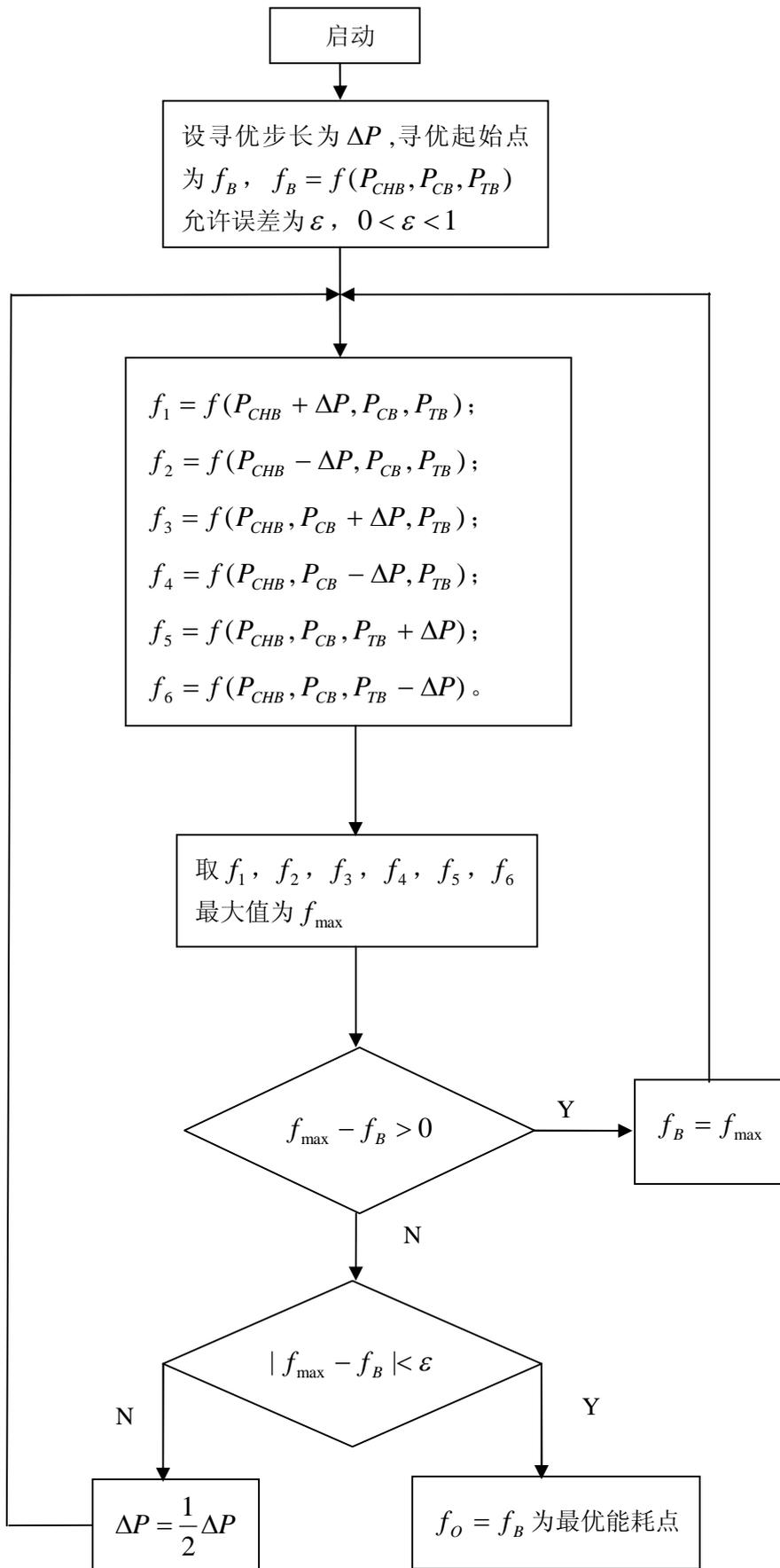


图2 自寻优工作流程图

(1) 通过冷冻站运行状态参数计算当前冷冻站输出冷量 Q ,

$$Q = C \cdot F_{CH} \cdot \Delta T = C \cdot F_{CH} \cdot (T_{CHI} - T_{CHO}) \quad (3)$$

其中, F_{CH} : 冷冻水流量, T_{CHI} : 冷冻水回水温度, T_{CHO} : 冷冻水出水温度, C : 水的比热, ΔT : 冷冻水回水与出水的温差, $\Delta T = T_{CHO} - T_{CHI}$;

(2) 根据当前冷冻站的输出冷量需求设定运行冷水机组及对应水泵、冷却塔台数, 设定冷水机组的需求限值, 调节冷水机组的运行速率和导叶开度。

(3) 将冷冻水泵初始运行状态设定在恒压差控制模式下, 冷却水泵初始运行状态设定在恒温差控制模式下, 冷却塔风机运行采用出水温度与湿球温度差值恒定的控制模式下, 待系统运行稳定后计算可得冷冻站寻优起始点的能耗比 f_B ,

$$f_B = COP_B = \frac{Q_n}{P_{WCU} + P_{CHB} + P_{CB} + P_{TB}},$$

其中: Q_n 为 Q 离散化后即时输出冷量, P_{WCU} : 冷水机组功率, P_{CHB} : 冷冻水泵功率, P_{CB} : 冷却水泵功率, P_{TB} : 冷却塔风机功率;

(4) 设定寻优步长为 ΔP , 分别计算在冷冻水泵功率为 $P_{CHB} \pm \Delta P$ 、冷却水泵功率为 $P_{CB} \pm \Delta P$ 、冷却塔风机功率为 $P_{TB} \pm \Delta P$ 情况下的中央空调冷冻站能耗比 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 、 f_6 , 并取其中的最大值标记为 f_{max} , 其中:

$$f_1 = COP_1 = \frac{Q_n}{P_{WCU} + (P_{CHB} + \Delta P) + P_{CB} + P_{TB}};$$

$$f_2 = COP_2 = \frac{Q_n}{P_{WCU} + (P_{CHB} - \Delta P) + P_{CB} + P_{TB}};$$

$$f_3 = COP_3 = \frac{Q_n}{P_{WCU} + P_{CHB} + (P_{CB} + \Delta P) + P_{TB}};$$

$$f_4 = COP_4 = \frac{Q_n}{P_{WCU} + P_{CHB} + (P_{CB} - \Delta P) + P_{TB}};$$

$$f_5 = COP_5 = \frac{Q_n}{P_{WCU} + P_{CHB} + P_{CB} + (P_{TB} + \Delta P)};$$

$$f_6 = COP_6 = \frac{Q_n}{P_{WCU} + P_{CHB} + P_{CB} + (P_{TB} - \Delta P)}; \quad (4)$$

(5) 将寻优起始点的能耗比 f_B 与最大值能耗比 f_{\max} 进行比较,

如果 $f_{\max} > f_B$, 则令 $f_B = f_{\max}$, 重复步骤 (3)、(4), 继续寻优过程;

否则, 设定一个常数 ε , $0 < \varepsilon < 1$,

若 $|f_{\max} - f_B| \geq \varepsilon$, 则使 $\Delta P = \frac{1}{2} \Delta P$, 重复步骤 (3)、(4), 继续寻优过程;

若 $|f_{\max} - f_B| < \varepsilon$, 则令 $f_O = f_B$, 以 f_O 对应的运行参数作为最佳的能耗自寻优运行参数, 结束寻优过程。

3 结论

本文针对某地铁站中央空调冷冻站系统的情况和特点, 设计了一套全变频冷冻站节能控制系统, 并对系统组成及自寻优控制逻辑进行了详细介绍, 该项目冷冻站经过一个制冷季的运行, 系统能够实现全自动运行, 节能效果十分明显, 具有一定研究和推广意义。

作者简介: 杨谦 (1979~), 硕士研究生, 北京市海淀区知春路 63 号, 北京星达科技发展有限公司 (100190), E-mail: yangqian@casc-xd.com

联系电话: 13439099163