

# 水-水换热机组自动控制及网络监控系统 的研究与设计

针对换热站运行不经济、供暖效果不理想等现状,提出水-水换热机组自动控制及网络监控系统的解决方案;叙述了无人值守热交换站的自动化控制工艺流程,以此为主线详细介绍了传统等温差控制法的改进方法以及循环泵和补水泵的变频控制系统。该系统通过现场调试并在开滦唐钱社区使用一个采暖周期后,换热站供暖质量提高,节能效果显著,最终能够达到安全、稳定、高效和经济运行的目的。

高彦 白树君/中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院  
孙志宾/开滦服务分公司



高彦/讲师

**关键词/Keywords**

水-水换热机组·  
等温差控制法·  
变频调速·

目前,基于自然环境和社区环境的要求,在供热行业中进行锅炉整合集中供热已成必然趋势。通过热力站进行二次热交换是供热系统比较流行的运行方式,此种运行方式事故影响面小,运行经济稳定。但在运行过程中,许多供热单位热力站仍安排值班,没有发挥出变频控制器自控运行机组的潜能,无形中提高了运行成本。此外由我国供暖现状可知,传统换热机组换热效率低,能源浪费严重,供热效果不理想,为了区别于传统的锅炉房、板式和管壳式换热机组,提出了水-水换热机组自动控制及网络监控改进方法。能准确实时地测量出供热系统以及室外的温度、流量和管

道压力等参数的自动化控制及网络监控系统。

## 换热站构成及运行原理

换热站连接于一次网与二次网之间,是热量交换、热量分配以及系统调节和监控的中心枢纽。其组成设备包括水-水换热器、循环水泵、补水泵、电气控制柜、变频器、软化水装置、过滤器、补水箱、控制阀门、计量表、传感器以及一、二次网除污器<sup>[1]</sup>等,其中水泵和变频器都采用“一拖二”方式。

换热站工作流程为:热源提供的高温水由一次管网送达换热站,通过换热器,一次热网高温水将热量传递给换热站进行热能交换,从而用户得到热能<sup>[2]</sup>。换热站工艺流程如图1所示。

## 自动控制系统的控制方法

换热站的控制方法主要有质调节、量调节和间歇调节三种调节方法<sup>[3]</sup>。传统控制法是在将室温与相对应的水温差值 $\Delta T$ 定义成常量的前提下,使系统根据 $\Delta T$ 控制循环泵的运转进而控制进出水来调节温度。这种方法虽然在控制方面比

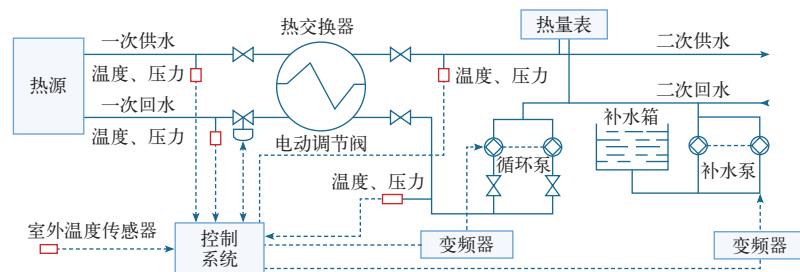


图1 换热站工艺流程

较简单,但也有如下诸多缺点:①以往运行数据表明,误差较大;②供回水温差为定值,适应性差。

也就是说,供回水温差设定值较小、较大或者即使设定值适中但遇恶劣天气环境影响时,系统运行效果均不理想。

### 1. 供回水温度的等温差控制法的改进

通过分析传统等温差控制的缺点,采用分阶段控制法。表1为根据经验总结出的供回水温度随室外温度变化的控制规则表。

表1 控制规则表

(单位: °C)

| 控制规律 4:00 ~ 23:00 |           |           |       |
|-------------------|-----------|-----------|-------|
| 室外温度              | 平均供水温度    | 平均回水温度    | 供回水温差 |
| 18~15             | 23.55     | 未知        | 未知    |
| 14~7              | 30.14     | 24.14     | 6     |
| 6~4               | 36.5/37.7 | 30.5/28.7 | 6/9   |
| 3~-13             | 48.6      | 39.6      | 9     |
| -14~-16           | 59.7/61.3 | 50.7/49.3 | 9/12  |
| -17~-22           | 66.3      | 54.3      | 12    |
| -23~-25           | 71.4      | 未知        | 未知    |

等温差阶段的划分如表2所示。将温差分为三个阶段, $a$ 是未知量,在第一阶段时,还需调整供回水温差以避免可能导致的高耗能。同理,第三阶段的 $b$ 也是未知量,温差也需继续调整以防不能保证正常供暖要求。当温差值在两阶段逐渐变化时,换热系统的设备会频繁动作从而造成设备损耗,所以在两阶段之间加入了模糊区。

表2 等温差阶段划分

(单位: °C)

| 运行阶段 | 室外温度       | 供回水温差     |
|------|------------|-----------|
| 第一阶段 | $\geq 6$   | 6或未知 $a$  |
| 模糊区  | 4~6        | 6或9       |
| 第二阶段 | -14~4      | 9         |
| 模糊区  | -16~-14    | 9或12      |
| 第三阶段 | $\leq -16$ | 12或未知 $b$ |

分阶段等温差控制法的控制过程具体步骤如下:

1) 采集模拟量信号。室内外温度、二次网供回水压力和温度等模拟量信号通过传感器传给PLC<sup>[4]</sup>。

2) 超限时报警。如果采样信号超出设定值范围,即可引起报警。

3) 查询时间。根据查询时间段选择进行操作。

4) 查询控制表1。采集到室外温度的信号并根据表1得到供、回水温度设定值 $T_{11}$ 、 $T_{12}$ 。

5) 根据室内温度对 $T_{11}$ 、 $T_{12}$ 进行调整。假定室温稳定在21~22 °C范围内,当超出这一范围时,将对 $T_{11}$ 、 $T_{12}$ 作出如下调整:

当此时室内温度 $T_n < 21$  °C时,新供水温度设定值

$$T_{21} = T_{11} + k_1(21 - T_n) \quad (1)$$

新回水温度设定值

$$T_{22} = T_{12} + k_1(21 - T_n) \quad (2)$$

当室内温度 $T_n > 22$  °C时,新供水温度设定值

$$T_{21} = T_{11} + k_2(T_n - 22) \quad (3)$$

新回水温度设定值

$$T_{22} = T_{12} + k_2(T_n - 22) \quad (4)$$

6) 得到上述实测和固定温度之差后经PID计算便可使变频器控制循环泵。时段处于夜晚23:00~凌晨4:00时按需进行调整。

## 2. 变频器控制系统

电动机转速与频率关系<sup>[5]</sup>为

$$n = 60f(1-s)/p \quad (5)$$

式中, $f$ 为电动机工作时的频率; $s$ 为电动机转差率; $p$ 为电动机磁极对数; $n$ 为电动机转速。

由式(5)可知, $n$ 随 $f$ 变化而变化,所以可通过改变频率来调节转速。以往一般通过改变出水阀门开口大小来调节水量,而现在通过选择变频器来控制水泵,其优点是可使系统阻力变小,能源消耗降低。水泵调速运行时 $H-G$ 关系如图2所示。管网阻力曲线 $R$ 与泵特性曲线 $N$ 交于 $C$ 点,水泵在 $C$ 处运行,扬程随着 $R$ 变成 $R'$ 而从 $H_0$ 变到 $H_1$ ,流量则变成 $G_1$ ,运行点也转移至 $A$ 点。当选择变频器调速控制时, $R$ 不变,电动机的转速 $n$ 完全决定水泵特性曲线。

水泵轴功率计算公式为

$$P = GH\gamma/102\eta \quad (6)$$

式中, $P$ 为轴功率,kW; $H$ 为扬程,m; $G$ 为工况点的流量, $m^3/s$ ; $\eta$ 为工况点的效率; $\gamma$ 为介质单位体积重量, $kg/m^3$ 。

由式(6)求出水泵运行在 $A$ 点时的泵轴功率

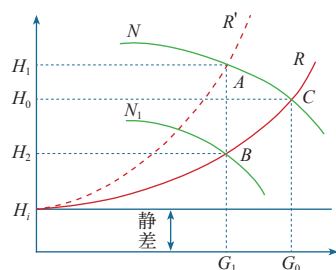


图2 水泵调速运行时的 $H-G$ 曲线

为 $P_A = G_1 H_1 \gamma / 102 \eta$ ；运行在 $B$ 点时，泵轴功率为 $P_B = G_1 H_2 \gamma / 102 \eta$ 。差值为

$$\Delta P = P_A - P_B = G_1 (H_1 - H_2) \gamma / 102 \eta \quad (7)$$

从式(7)看出， $\Delta P$ 为阀门控制时相对变频器多消耗的功率。采用变频器调速控制时，扬程 $H$ 、流量 $G$ 和转速 $n$ 的关系表达式为

$$\begin{aligned} \frac{G_2}{G_1} &= \frac{n_2}{n_1} \\ \frac{H_2}{H_1} &= \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \\ \frac{P}{P} &= \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3 \end{aligned} \quad (8)$$

水泵各项特性与转速的关系如图3所示。由式(8)和图3可得如下结论：①水泵的流量与转速成正比；②水泵的扬程与转速的二次方成正比；③水泵的轴功率与转速的立方成正比。

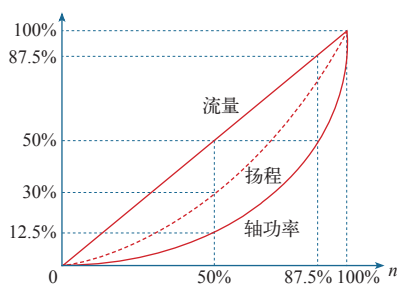


图3 水泵各项特性与转速的关系

综上可知，经变频器调速后节能效果显著，当转速为原来的87.5%时，耗能为原来的52%；当转速为原来的60%时，耗能只有原来的38%。

## 上位机监控系统的结构和功能

本设计采用WinCC6.0组态软件实现对上述要求的实时监控。上位机监控系统整体包括数据

采集、数据存储、数据显示和报警记录四个功能模块。

1) 数据采集功能。由温度采集模块DDMF5-8ADK热电偶采集温度信号，压力变送器采集压力信号，分布式I/O采集开关信号后，读入WinCC组态软件。

2) 数据存储功能。分别通过WinCC自带归档系统以及SQL Server 2008数据表来实现数据存储。

3) 数据显示功能。实时数据显示的实现要经过WinCC图形编辑器中对象选项板上给出的输入或输出域控件，此外还要经过修改该控件的属性才能完成链接WinCC中的变量，最终现场的实时数据便可显示于画面中。

4) 报警记录功能。本系统对报警信息的设置是通过选择图形编辑器中的WinCC Alarm Control控件来实现的。

## 结束语

基于开滦唐钱社区增益锅炉房及热力站的建设项目，设计了以水-水换热器为换热机组核心的自动控制及网络监控系统，并通过PLC控制变频器实现循环水泵和补水泵的变频调节。本文提出了分阶段等温差控制法，并给出了详细的控制规则，对循环水泵实现了联网变频调速控制，大幅降低了电能；同时通过网络控制，最终实现了换热站的无人值守和经济运行。

## 参考文献

- [1] 李钢. 无人值守智能换热站控制方案应用研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2012: 82.
- [2] 张玥. 换热站节能控制系统的研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008: 61.
- [3] 雷翠红. 热水供热系统的集中调节及能耗分析 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005: 97.
- [4] 郭增, 陈卫平. 关于热力站控制器的研究与开发 [J]. 冶金自动化, 2004 (增刊): 178-181.
- [5] 周顺荣. 电机学 [M]. 北京: 人民邮电大学出版社, 2000.

(收稿日期: 2015-02-10) EA