

Energy Saving Measures of Heating Network —Computerized Real-time Control System

Jieyan Zhang

Service Bureau, Deputy-director, State Administration of Taxation, Senior Engineer
Address: No.5 Western Road, Yangfangdian, Haidian District, Beijing, P.R.China
Email: zjy@chinatax.gov.cn

Abstract The cost of energy consuming of heating system takes a great proportion in the total cost of realty management. This article, focuses on the drawbacks of conventional heating system, analyzes the data collected from actual practices and proposes a new system control theory, that is computerize the real-time frequency conversion control on area, time, mode of heat transformation and temperature grads. The aim of the new theory is promoting the efficiency of energy conversion and minimizing the cost of energy consuming.

Keywords Area, Period Of time, Mode of heat transformation, Temperature grads
Real-time frequency conversion, System control

供暖网络的节能措施

——计算机实时控制系统

张捷岩

国家税务总局机关服务局副局长 高级工程师

摘要: 供暖系统运行的能耗在物业管理成本中占份额较大,是经营盈亏的重要控制点。本文通过对实际运行中记录的大量资料进行分析,针对传统的供暖系统运行方式的缺陷,旨在为提高能源的转换效率,最大限度地降低运行成本,提出了用计算机分区域、分时段、分换热方式、分温度梯度等实时变频控制的全新系统控制理论。

关键词: 区域 时段 换热方式 温度梯度 实时变频 系统控制

1. 供暖系统现状

国家税务总局(以下简称总局)供暖管网的控制系统曾于1997年锅炉房进行环保改造时一并更新,又于2000年自行设计进行了计算机模拟控制的改造,这对于加强供暖设备运行的安全可靠、改善供暖工作环境、提高供暖服务质量等方面起到

了极为重要的作用，尤其是对于提高供暖系统热效率转换效果明显，从而节省了大量的能源消耗。由于全方位提高了供暖管理工作的专业品质，在产热成本控制等方面成绩显著，总局的供暖工作连续六年受到北京市人民政府的表彰和奖励。

目前，冬季供暖系统的运行是以北京市气象台发布的当日天气预报的最高温度和最低温度为基本计算元素，取几何平均值做为当日供暖运行调控温度的参考依据。以 24 小时作为一个调控周期，基本上保证了供暖系统的稳定运行，满足了用户的取暖需求。通过几年来的运行实践，我们对记录的大量数据进行了综合分析评价，结果表明，现有的计算机模拟控制系统尚存在一些不完善之处。热力运行系统在设计时是按现场可能的最大需求量来考虑的，设备也相应是按照最大工况的出力配置的。但在实际运行中的绝大部分时间它们都处在非满负荷状态下工作。传统的调节方式不是按照即时的需求调整设备的出力，而是采用增大系统循环阻力的方法，利用改变阀门、自动滑阀的开度，在压力不变的情况下，使流量相应减小来调节系统运行状态的。循环系统为克服这部分不需要的流量所增加的阻力而付出的能源消耗就是浪费。还由于这种调节的过程是阶段性的，将会造成整个系统工作状态的不稳定。

根据热力系统运行特点可知，用于推动媒介水循环的电能消耗约占系统总电能消耗的 50%。安装变频控制系统则可实现系统的自动不间断节能控制，既降低了不必要的损耗，又提高了控制的精度，减少了负荷波动和人为失误。同时变频器的软启动功能及平滑调速的特点还可实现对系统的平稳调节，使系统工作状态稳定，延长产供热设备和各部件的使用寿命。

我们对现有的供暖控制系统进行了**实时调控升级**，同时利用**变频技术**实现供暖水循环系统的节能控制，经两年运行情况看，每年节省了**5%-8%的燃料和约 20%的电能**。按照总局 03-04 年供暖季的燃油、电能消耗和市场价格计算，节省情况如表一：

项目	单位	单价(元)	数量	总价(元)	节省率(%)	节约款额(元)
轻柴油	吨	3,960	375	1,485,000	6.5	96,525
动力电	度	0.6	391,860	235,116	20	47,023.2
合计						143,548.2

燃料单价为平均价格，节省率按照平均 6.5%计；动力电单价为平均价格，按照 20%计；合计**节省 14 万多元**。

2. 实时变频控制改造效果分析

2.1 燃料节省效果分析:

2.1.1 图 1 是从 01--04 年 3 个供暖季的运行记录中各任意提取 1 天的当日实测室外温度和根据当日气象预报计算的日平均温度的记录表绘制的 24 小时中的变化趋势图。

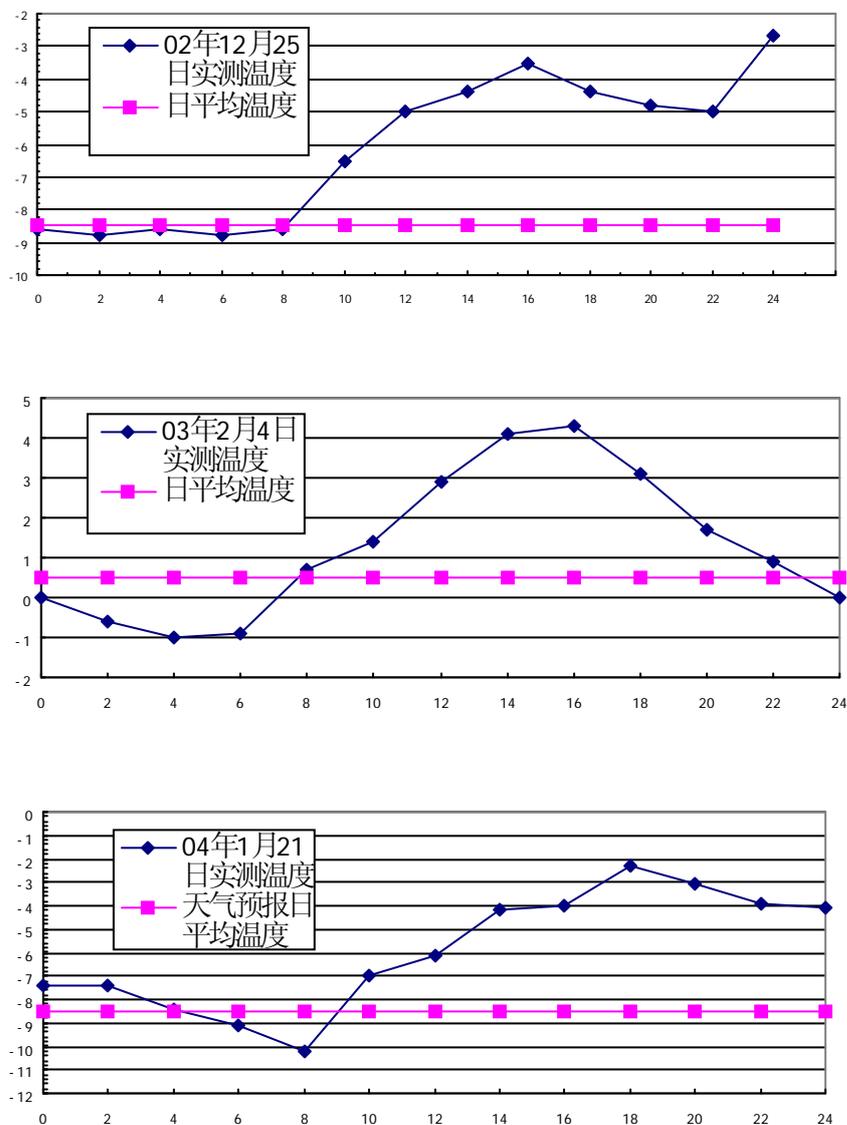
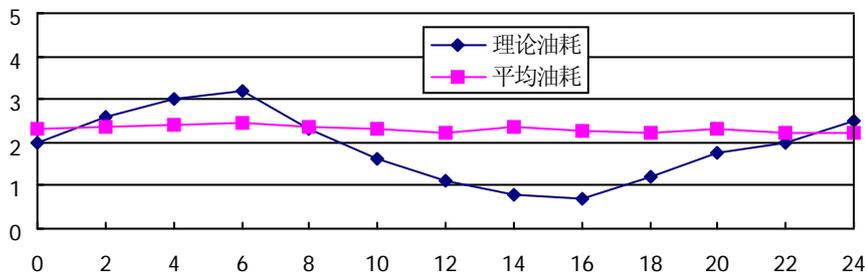


图 1 水平中的直线表示根据当日气象预报计算的日平均温度，曲线表示实测的室外温度。可以看出：24 小时室外温度最低时在早 6:00-8:00，最高时在下午 14:00-16:00。从 2 条曲线的走向还可以明显看出实际测得的室外温度高于日平均温度的时间段远远大于低于日平均温度的时间段。这就说明，如果以 24 小时为调控周期中按照日平均温度来设定供暖系统的运行状态的话，其精确度甚差，且势必造成能源的浪费。

2.1.2 图 2 中表示的是 2003 年 2 月 4 日燃料消耗的情况。水平曲线为当日按照天气预报的平均温度值设定的 24 小时内基本不变的耗油量。波动曲线表示的是 24 小时中随着室外温度的变化引起的燃油消耗量变化。



我们知道，燃料的总消耗量等于日平均温度值对应的燃料消耗速率与时间段的乘积。目前我局锅炉房是按照预报的日平均温度值来调控供暖系统的，所以在实际调控中按照日平均温度运行时的日油耗量基本上是恒量，在坐标系中表示为紫线下的矩形面积；由于一天中外界温度的变化为随机变量，那么作为因变量的燃料消耗速率也相应随之改变，假若热力系统能随时跟踪外界气温的变化对自身实施实时调控，此时的日理论耗油量应为坐标系中蓝色曲线下面的不规则面积。

计算结果： $\Delta S = S_{\text{紫下}} - S_{\text{蓝下}}$ 为正值，这说明以日平均温度调控时的油耗大于外界温度跟踪调控时的油耗。由 2 块形的面积比较就可以明显看出：紫线下的矩形面积远比蓝色曲线下的不规则面积要大，而大出的面积即为潜在的可节省的燃油量。

2.2 电能节省效果分析：

由于电泵类的转速负载特性所致，采用变频技术改造后，在流量相同情况下，变频控制比阀门控制水泵所消耗的有功功率要小得多，而且调节的量度愈大，节能的效果就愈显著，一般可达 30%~60%。

1) 由电机拖动原理可知：供电频率与相应的结构发生作用产生旋转磁场，驱动转子产生转矩而随之转动。

交流电动机的转速公式可表示为： $N=60f(1-s)/p$ ；

其中：N—电机每分钟转速，

f—电机接受频率，

p—电机磁极对数，

s—电机转差率。

式中：p 与 s 由电机物理结构决定是常数，那么电机的 N 就取决于 f 的值。当

供电频率改变时，其转速亦发生相应改变。所以通过改变电机的供电频率即可达到调整电机转速的目的。

2) 根据流体传输设备（油泵、水泵、风机）的工作原理可知：流体的流量 Q 与传输设备的转速 N 成正比，即： $Q = N$ ；压力 P （扬程 H ）与传输设备转速的平方成正比，即： $P(H) = N^2$ ；而传输设备的轴输出功率 W 等于流量 Q 与压力 P （扬程 H ）的乘积，由此可以推导出：传输设备的轴输出功率与自身的转速的三次方成正比，即与电源频率的三次方成正比。用公式表示为： $W = Q \times P(H) = N^3$

3) 根据上述原理可知：改变电机的转速就可改变泵的输出功率。

例如：

已知额定供电频率为 50Hz，则旋转磁场为 3000 转/分，产生的转矩为 W_{50} ；当供电频率降为 45Hz 时，旋转磁场降为 2700 转/分，则转矩降为 W_{45} ；求节能百分比。

$$\text{解：} \quad \because W_{45}/W_{50} = N_{45}^3/N_{50}^3 = 0.729$$

$$\therefore W_{45} = 0.729 W_{50}$$

又 \because 节约的部分为 $W_{50} - W_{45}$ 即 W_5

$$\therefore W_5 = (W_{50} - 0.729 W_{50})$$

$$= W_{50} (1 - 0.729)$$

$$= 0.271 W_{50}$$

结论：与额定工频时的转矩 W_{50} 相比，当频率降为 45Hz 时可节省电能 27.1%。

若将供电频率继续降为 40Hz 时，

$$\text{则：} \quad \because W_{40}/W_{50} = N_{40}^3/N_{50}^3 = 0.512$$

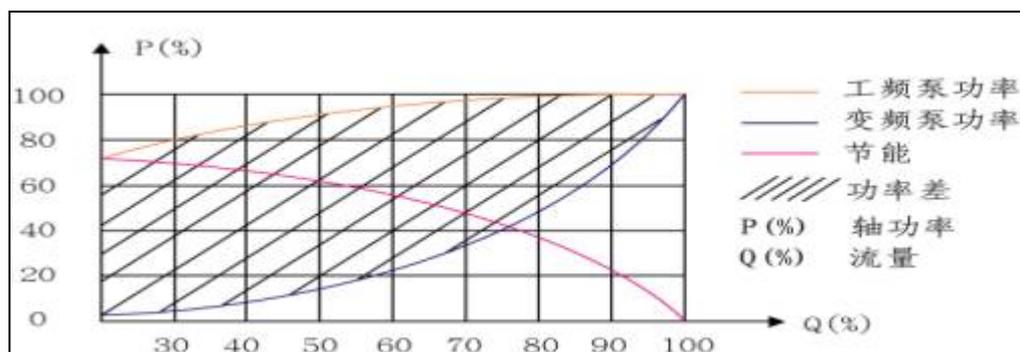
$$\therefore W_{40} = 0.512 W_{50}$$

$$\therefore W_{10} = 0.488 W_{50}$$

当频率降为 40Hz 可节省电能 48.8%。

由以上计算可以看出，采用变频器进行流量控制时，可节约大量电能。

图 3 中阴影区域面积，即为节省的电能：



(图三)

3. 实时变频控制系统设计依据

3.1 以实际采暖总需热量作为供热系统调控的依据

改变热力系统在运行时以出水温度作为采暖负荷调节依据的传统做法，实现按照实际总需热量值来调节，以提高调节精度和运行的稳定性。实际总需热量包括实时采集的受暖户利用率、风寒影响的室外温度、太阳能增益、建筑物及管道的隔热效率、终端散热器及二次换热器的换热效率等变化因素的总合，统称为热负荷。

3.2 根据热负荷的变化利用回水温度调节供热系统

根据热负荷发生的变化，探测系统实时完成信号采集并送入计算机中央处理器。处理器经过比较后立即向供热系统的回水量调节执行机构发出修正指令，调整相应的循环水量 Q ，总供热量 W 随之改变。

这个总供热量 W 可表示为：

$$W = \eta C (T - T_1) Q$$

其中： W ($W_{\text{requirement}}$) — 总供热量；

T (T_{output}) — 出水温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_1 (T_{return}) — 回水温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

Q ：— 循环水量， m^3/h ；

η ：— 网管散热和漏损系数；

C ：— 水的比热， $\text{kJ}/^{\circ}\text{C}\text{m}^3$

当热负荷发生变化时，必将引起总需热量的变化，此时出水温度、循环水量、热转换效率和水的比热均为定值，回水的温度势必发生变化。变化规律是热负荷增加回水温度降低，热负荷减少回水温度升高。

利用这一理论和热负荷的变化规律，智能探测系统根据出水温度和回水温度及内部存储的经验数据计算出实际所需总供热量，推算出当前所需的水温和该温度下的循环水量以及所对应的燃料消耗量，控制锅炉运行的负荷，以保证锅炉在最佳状态下运行，达到节约能源的目的。

3.3 室外温度补偿系统

利用多路温度传感器对室外温度实行 24 小时实时监控。当室外温度高于锅炉在运行中设定的控制温度值时，室外气温补偿装置开始工作，它将根据多点实测的室外温度值与锅炉运行中设定的控制温度值进行比较运算，根据所得结果来及时修正执行机构，调节系统的回水温度使之与当时室外温度相对应，从而使锅炉的输出负荷随实际需要而改变，达到准确的能量供需动态平衡，保证燃烧机输出热量、锅炉供热量与总需热量一致，以获得最佳取暖舒适度和最小的能源消耗。

3.4 按照需求分时段供暖

供暖季里，人们在夜间睡觉时所需要的室内温度应较白天活动时要稍低才觉得舒适。因此，政府管理部门允许供热系统在居民住宅夜间运行时可稍微降低供应的热量。多年实际运行经验数据为夜间 23 点至早上 6 点的室温比日间低约 2°C 左右较为适宜。此时间段将回水温度控制设置较正常相应提高 5°C 挡位。

3.5 划分供热区域按照运行方式分温度梯度自动运行

总局的供热系统原设计为混合直联结构，即不分实际是否需要，均统一按照 24 小时不间断地以同一个温度供热方式实施，因此造成了很大的浪费。

建筑物的类型、终端换热方式不同，对供热的要求亦不同：

1) 总局办公楼区 $33,000\text{m}^2$ 采暖面积，采用的换热终端是风机盘管，属强制性对流换热方式，换热量大效率高，对水温要求低。参照宾馆饭店高档写字楼冬季室内环境温度的规定，应控制在 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

2) 居民住宅楼区 $24,000\text{m}^2$ 采暖面积，采用的普通暖气片，属自然对流换热方式，换热量小效率低，对水温要求高。按的室温，应控制在 $17\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

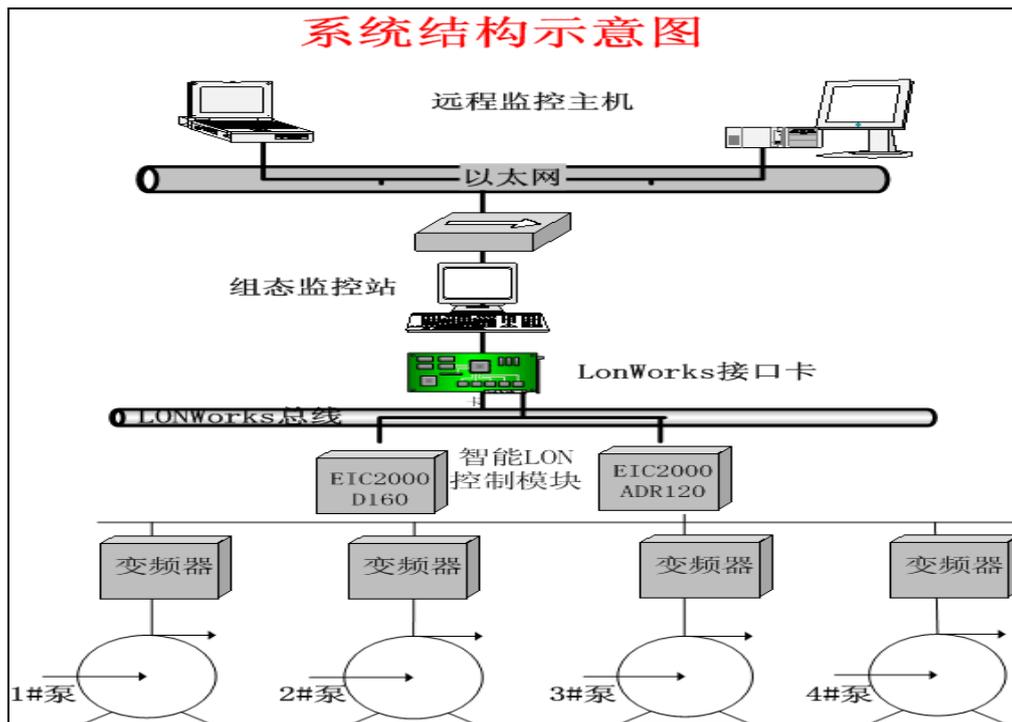
3) 公楼区因夜间无人活动，为避免冷透损坏结构，可采用间断式低温维持型供热方式。

4) 居民住宅楼夜间必须连续供暖，但按照规定可视天气情况适当降低供水温度。

5) 照市供暖办规定，学校的供暖温度要比居民住宅高 2°C ，总局承担的小学校 $6,000\text{m}^2$ 教学楼的室温应控制在 $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

4. 系统结构设计

系统拟采用研华工控机，操作系统为 Windows 2000，组态软件升级为 MCGS 5.5。系统图见图 4。



4.1 监控机硬件配置

机箱	IPC-610H
主板	PCA-60061v
CPU	P4 2.4G
内存	256M
硬盘	40G
软驱	1.44M
光驱	50XCD
显示 VGA	32M
键盘/鼠标	KB+MOUSE

4.2 MCGS5.5 组态软件功能

- 1) 监视锅炉供暖运行状态（多点温度采集、处理、显示）：
 - 对 4 台锅炉的排烟温度进行监测；
 - 对楼内 22 点环境温度监测；
 - 对各区域供回水温度监测。
- 2) 温度越限报警：
 - 主要热工参数上下限预置；
 - 超限声光报警。
- 3) 记录历史数据：
 - 实时温度数据显示、报表生成及打印；
 - 历史温度曲线存储、调用显示及打印。
- 4) 热水循环和锅炉燃烧自动调控：

根据室外温度和对楼内温度的要求,利用变频器调整相应支路的循环热量,进而控制锅炉燃烧过程,保证锅炉供暖过程的合理性、经济性。

5) 每日核算及统计功能:

自动核算及统计燃料消耗量;

自动核算及统计电力消耗量;

自动核算及统计水消耗量。

4.3 EIC2000 系列智能仪表应用

系统采用智能仪表控制,以单(双)回路可编程控制器为主,以PC机为上位机,彼此间采用RS-232相连。它可以接受多路模拟量及开关量输入,实现复杂的运算、控制、通信及故障诊断功能,它作为集散控制系统的一部分,是现代自动控制、计算机及通信技术最新发展产物。该仪表编程方式采用模块化,容易掌握。

智能LON模块AD-160和ADR120安装在控制台的仪表柜内接收从配电柜来的4-20mA信号(温度、压力、流量),LON总线通过一台转换接口和以太网连接并实现共享信息,组态监控站通过接口卡和相应软件完成系统组态。

AD-160模块用功能块图组态可对输入信号设置滤波、取平均处理、温压补偿运算和累积计算(同样可以完成PID调节等闭环控制算法,但需采用有输出的ADR-120模块)。主站中的人机界面软件有丰富的功能,通过组态可实现动态流程图、历史纪录、发展趋势、报警、出报表等功能。

4.4 变频器工作结构

分别取室外温度和回水温度,经PID调节器与设定值(给定)进行比较后,送到变频器,控制电动机的转速,构成闭环控制系统。运行中随着室外温度和回水温度的变化,变频器的输出频率将自动改变,水泵的转速也相应改变。这样在绝大部分时间里,水泵的运行速度将低于额定转速,因此不但节约了电力,对水泵的磨损也大为减轻(见图5,变频器工作结构图)。

变频器工作结构图

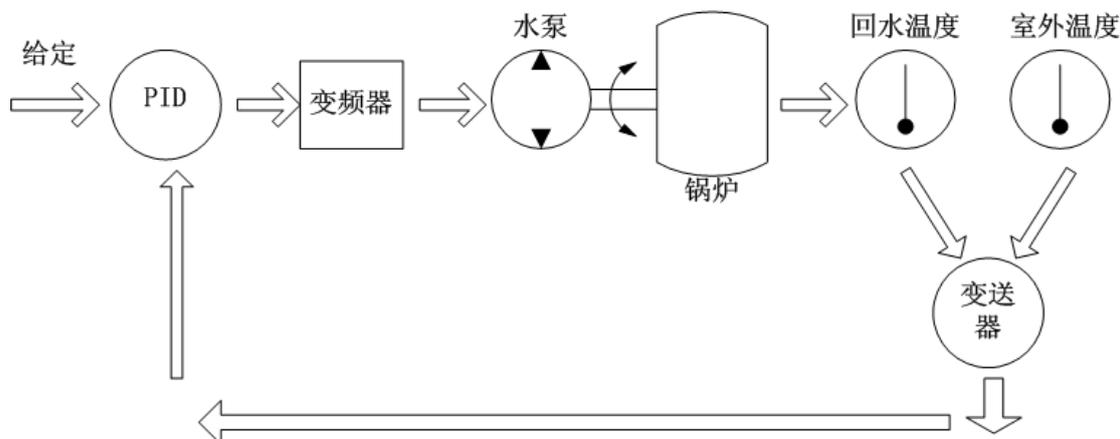


图 5 变频器工作结构图

5. 全套系统联动情况

根据上述复杂的负荷情况，采取按照最高需求温度设置锅炉的出水温度；利用各区域的变频执行机构分别调节相应系统循环热水的分配量；同时计算机依据采集的各系统支路的温度值信号向支路中的分支路执行机构发出动作指令，进一步调节各分支路的循环热水的分配量；经过短暂的运行，各区域回路汇集的总回水温度就会发生改变。计算机会随时将总回水温度与当时测到的室外温度进行综合比较处理。

若总回水温度超过了当时环境温度下为保持室内温度稳定而相对应的回水温度值时，计算机就会进一步向一次水循环系统发出变频指令，循环机构就会使水流速度降下来，从而换出去的热量相应减少，锅炉的出水温度就会升高，燃烧机则根据当时的运行状态转为小火或停机。

若总回水温度低于当时环境温度下为保持室内温度稳定而相对应的回水温度值时，计算机就会使一次水循环速度加快，换出去的热量相应增加，锅炉的出水温度就会降低，燃烧机则根据当时的运行状态转为开机、大火或延长加热时间使循环水温提升。

当水泵转速降低时，由于采用了变频调控，耗电进一步降低，从而也节省了大量的电能。

通过以上的自动调节，最终在不同区域、不同室温需求的情况下，使热量得到合理的分配，既满足了要求又不浪费。

参考文献

北京市人民政府市政管理委员会住宅供暖办公室《关于做好供暖工作的通知》

作者:

张捷岩 国家税务总局机关服务局副局长 高级工程师

地址：北京市海淀区羊坊店西路 5 号

(010) 63417097

传真 (010) 63417099