

二次网水力平衡智慧控制系统组建及探讨

刘万庆, 赵新山, 刘卿, 王少华, 王永恩

聊城昌润热力有限公司, 山东 聊城 252000

摘 要 : 集中供热系统中, 存在着很多实际运行工况与设计工况不一致的情况, 反映出的问题是水力失衡、冷热不均、终端热用户对供热质量褒贬不一, 同时也伴随着供热企业的能源浪费, 因此利用新技术对二次管网的水力失衡进行调节、减少能源浪费和提高供热质量成了供热管理工作中的重要任务。

关 键 词 : 智慧供热; 平衡调节; 实时监控; 能耗分析; 节能运行

Establishment And Discussion Of Intelligent Control System For Hydraulic Balance Of Secondary Network

Liu Wanning, Zhao Xinshan, Liu Qing, Wang Shaohua, Wang Yongen

Liaocheng Changrun Thermal Power Co., LTD., Shandong, Liaocheng 252000

Abstract : central heating system, there are a lot of actual operating conditions and design conditions, reflect the problem is hydraulic imbalance, uneven, end heat users to heating quality mixed, but also with the heating enterprise energy waste, so the use of new technology of secondary network hydraulic imbalance adjustment, reduce energy waste and improve the quality of heating has become an important task in heating management.

Key words : intelligent heating balance regulation, real-time monitoring, energy consumption analysis, energy-saving operation

一、引言

现阶段, 人们对采暖舒适性的追求日益提高, 供热失衡造成部分住户室内采暖温度高低不均、过多的热量浪费、系统采暖水流量不均、热用户室内温度提升困难、住户投诉等现象。

随着物联网、云计算、大数据、机器学习等技术逐渐渗透至传统工业, 集中供热和区域供热已经实现了智能化的实时监测手段和远程操控的简便性。因此, 从在线监测入手, 运用已经成熟的物联网技术, 在传统集中供热系统中, 搭建末端供暖系统的远程实时监控系统和二次网智慧调控系统, 成为急需的行业发

二、二次网水力平衡调节的必要性

集中供暖以及区域供暖系统中二次网水力不平衡产生的原因较多, 有工程设计的理论计算值与实际数值的偏差、实际安装施工偏离设计工况、运行过程中运维不当导致的管道锈蚀堵塞、后期用户增减及用热率不均衡等等^[1]。

其带来的影响主要有以下方面:

(1) 冷热不均的现象, 在水系统中, 近端支管的压头大于远端支管, 系统越大、支管数越多, 干管越长, 失调的现象越严重。如果支管阻力过大, 也会造成水量不足、水量分配的不平衡, 从而造成系统冷热不均的现象。二次网失衡分为水平方向和

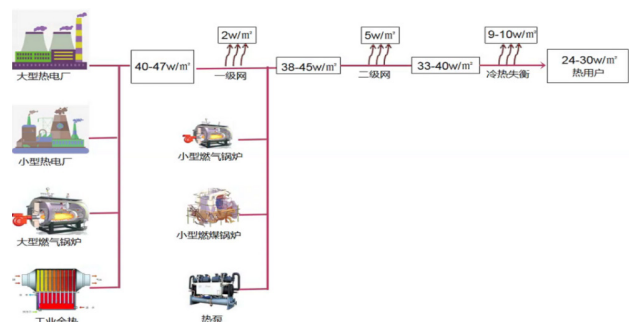
垂直方向两种情况, 流量分配不均衡, 其直观的体现是水平方向各建筑单元或垂直方向各热用户室温不均。

(2) 如图一, 水力不平衡, 造成前后端流量分配不均, 为了满足末端流量, 需提高循环总流量, 势必造成前端支路不必要的能耗浪费, 直接导致循环水泵运行能耗过高、也会造成热耗过高^[2]。

(3) 站内指标调整后末端系统的稳定时间过长, 影响用户采暖舒适性。

(4) 热用户的投诉率过高, 通常近端住户室温偏高, 远端用户室温偏低, 冷热不均导致投诉率过高, 而人工调整对二网平衡干预的局限性较大, 无法有效解决投诉率过高的问题。

(5) 图一为清华大学建筑节能研究中心出具的能耗损失分析图:



> 图一 二级网冷热失衡热损量占比

二级网冷热失衡热损量占比及节能空间如下, 热损情况见

* 作者简介: 刘万庆, 男, 1976年6月20日, 聊城市东昌府区, 大学, 中级, 汉, 供热设施经济运行

作者简介: 赵新山, 男, 1979年2月14日出生, 山东省德州市德城区, 大学本科, 高级工程师, 汉族, 供热设施经济运行

图二。

二次网失平衡能耗占比： $10/47 \times 100\% = 21.28\%$

二次网失平衡损耗占热网总损耗比： $10/17 \times 100\% = 58.82\%$

供暖季单位面积可节热空间（以120天计算）： $10W/m^2 \times 3600 \times 24 \times 120 = 0.10368GJ/m^2$

三、如何有效组建二次网水力平衡调节系统

二次网水力平衡调试的实质就是将系统中所有用户的流量调至设计流量，最终目的是均匀的分配支路流量和热量，达到流量、热量按需分配直至用户室温相对平衡。

（一）二网平衡调控评估标准

目前行业内平衡调节中评估平衡效果的标准主要有两个：

其一，采用流量平衡方式。经过超声波流量计测量，能够相对快速并准确的得到管网流量数据，之后再根据计算出的流量进行调节，但是因超声波设备投入较大，且对现场安装环境及管道内介质流速要求较高，项目实施中不易进行推广，故不作主要讨论内容^[3]。

其二，采用回水温度相对一致法平衡方式。二次网回水管道上加装电动调节阀，与上位平台联动，设备预置温度探头监测回水温度并上传，并通过阻力法、比例法、补偿法等方法进行平衡调试，其原理是通过调节阀门开度，改变系统管道特性阻力数比值，使之与设计要求一致。

软件方面结合物联网技术，配以分时分区控制技术，通过上位平台下发指令，可实现流量的实时均衡分配、分时调节，同时在典型热用户辅助以室温监测系统，有效监控用户的室温变化趋势^[4]。

基于回水温度相对一致法的二次网平衡智慧调控理论作为本文介绍的基础。

（二）回水温度相对一致法理论基础

同一种建筑类型其单位面积的能耗是相同的，如散热器散热量公式所示，散热器平均温度 T_{pj} 决定了散热器单位面积的散热量，因此在供水温度相同的情况下，只有回水温度可以体现出散热器单位面积的散热量。

所以可以认为：回水温度分布可以代表当前建筑的热力平衡状况，即回水温度相对一致就能达到热力/水力相对平衡^[5]。

散热器散热量公式：

$$Q = Ak(t_{pj} - t_n)\beta_1\beta_2\beta_3$$

其中：A-散热器的表面积 K-散热器的传热系数 β -散热器各修正系数

t_{pj} -散热器内热媒平均温度 t_n -室内供暖计算温度

四、二次网平衡智慧调控系统典型案例分享

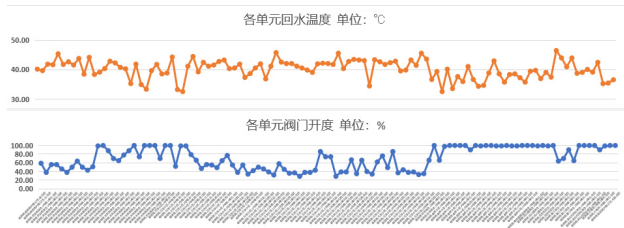
（一）项目概况

2023-2024供暖季，山东聊城三里铺风景站，供热面积35.8万平、共31栋建筑、136个单元，供热半径400米、取暖类型新

旧混杂、节能状况不统一，末端供热情况较差，站长手动调节费时费力且效果并不理想，投诉较多，遂进行二网平衡智能化改造。

2023年11月调整前统计换热站某日瞬时热量13.02GJ/H，流量523m³/H，温差5℃，二级网平均配水4.75kg/m²，流量整体偏大，运行状态为大流量、小温差^[6]。

失衡情况：最低回水温度32.6℃，最高46.5℃，单元间最大温差13.9℃，各单元建筑平均回温40.2℃。



> 图二·调整前各单元建筑回水温度与阀门开度分布趋势

（二）调整过程

该站点改造方案安装的设备和软件平台主要包括：供暖智能单元平衡阀、二次网平衡控制软件（无户端调节手段）、部分楼宇室温监测装置。

硬件设备通过无线进行通讯并上传数据，软件结合站内数据模型，根据平衡算法实现二次网的平衡控制，并与站点自控系统进行联动，通过不断优化运行参数，实现热力站的差异化调节，实现系统的水力平衡、节热、节电、降低投诉等目的^[7]。

平衡调整后，对二次网建筑的回温分布进行统计，建筑单元间平均回温38.2℃，各单元回温均保持在平均回温±1℃以内，其中最低回水温度37.7℃，最高38.8℃，单元间最大温差1.1℃，与去年同期相比，温差减小，水力失调得到明显改善。

（三）调整后分析

三里铺风景站				
时间	采暖季室外均温 ℃	供暖面积 m ²	总热量 GJ	总电量 kwh
22-23采暖季	3.69	390390	124039	731835
23-24采暖季	2.18	358126	97212	527064

不同的采暖季室外均温不同，为了能够在室外温度、建筑所需热负荷统一的前提下进行能耗计算、对比分析，我们使用度日数算法进行折算（折算到上采暖季均温3.69℃）：

计算过程：

2022-23年度日数耗热量基准 = 能耗基准 ÷ 基准能耗年供热季度日数

= 基准年供热季总用热量 ÷ 基准年供热季实际供热面积 ÷ 基准能耗年供热季度日数
= $124039 \div 390390 \div [(18 - 3.69) \times 122]$
= 0.000181995

2023-24年度日数耗热量基准 = 能耗基准 ÷ 基准能耗年供热季度日数

= 基准年供热季总用热量 ÷ 基准年供热季实际供热面积 ÷ 基准能耗年供热季度日数
= $97212 \div 358126 \div [(18 - 2.18) \times 122]$

=0.000140643

节 热 率：（0.000181995-0.000140643）
÷0.000181995=22.72%

同时，2023-2024年采暖季系统调节后，根据平衡后热需求，二网的循环泵频率由之前的46Hz降至42Hz，综合节电率为28.99%，投诉情况统计同比上一采暖季由102次降低至9次，热耗平均降低22.72%，产生了良好的经济、社会效益^[8]。

同时二级网配水降低至3.58kg/m³，流量降幅1.17kg/m³，天气稳定后通过调整，末端温度基本达标，换热站具备再次降低泵频、供温指标的条件，混供配水量有继续降低空间，从而进行小流量大温差运行，继续提高运行效率。

（四）二次网平衡智慧供热控制系统优越性

为解决二次网水力失衡，此前主要是用人工的手段进行水力工况平衡调整，由于不是实时监测，滞后性很大，测量管道内的水温，属于非接触测量，误差也偏大，且需要反复调整多次，直至近于目标值，这样工作量很大，效果却不理想。

通过本次应用，二次网智能平衡系统通过物联网技术收集热用户室内温度、楼栋供回水温度及压力、流量等数据，进行实时数据与历史数据分析比较，使用优化算法使热用户供水流量按需分配调控，指导降低二次网循环水总流量和总耗热量，实现二次网终端水力平衡，达到节能、降低投诉率的目的，并极大地提高了水力工况平衡调整的效率^[9]。

（五）二次网水力平衡调节系统要点总结

（1）调控策略和调控过程是关键，调控的时机（外温、温差、指标锁定等）、调控的方法（时间间隔、调控步距、调控顺序、调控权重、调控时长）同样重要。

（2）二网平衡的目的是合理的分配热量（流量），系统调整完毕后，各单元或者各户之间的分配比例是基本不变的，不需要供暖季进行频繁的调整。实践证明，平衡调整完毕，热力站点无论是量调还是质调，系统的平衡不会发生大的变化。

（3）调控时，需要根据不同的情况赋予不同的权重，才能最大程度的消除不同单元或者用户间存在的影响因素差异，保证室温共同达标的前提下，热量的按需分配。

（4）平衡是节能的基础，制定和执行科学合理的供热运行曲线才是节能降耗的关键。各换热站负荷侧的条件不一样，结合室温和历史数据制定不同条件和不同室外温度下的运行曲线，才能逐渐逼近节能降耗的目标^[10]。

五、单元平衡与户端平衡对照探究

二次网水力失衡主要分为水平方向失衡和垂直方向失衡两种情况，通常我们使用单元阀与户阀进行调节。数据表明：针对多层建筑，水平方向的失衡影响因素在70%-80%左右，垂直方向失衡影响因素在20%-30%左右，因此解决水平方向的失衡基本能够消除大部分的水力失衡影响因素。

（一）单元控

单元调控过程基于“回水温度相对一致法”，将每个单元回水

温度调控为相对一致（不同单元赋予不同的权重），配合以典型室温为调控参量；调整完成后阀门开度锁定，热量分配保持调控比例不变，同时下发最新流量、热量指标，实现解决水力平衡以及节能降耗的目的。单元调控的过程简单、周期短、调控压力较低，易于建立模型并进行复制，且能够实现执行器共享方案，节约投资，在整体节热的大前提下，单元控是比较好的解决方式。

（二）户控

根据我企业实地调研情况分析，实际运营中户阀存在以下不确定性：

（1）户控涉及用户较多，调整策略相对复杂。

（2）更多需要配合热计量系统的室温和流量作为参考依据。

（3）户控点位多，现场维护难度大，并且需要稳定的电源和通讯网络作为支撑（尤其老旧小区）。

（4）在水平方向不调整的情况下，末端流量及压差不足，单纯的进行户阀控制较难实现水平方向水力失衡的调整，仍需要配合单元阀的调控。

对比评估后，在投资、维护等情况一定的情况下，单元间水平方向调节之后就可以收获老旧小区水平方向水力失衡的节能降耗改造成效。

六、结论

回归供暖二次网平衡调节的本质，是解决冷热不均造成的能源浪费和用户对供热质量的不满。供暖管网的水力平衡是保证供热系统稳定运行的前提，也是节能降耗的基础，这种以先进信息技术为基础的智能控制系统，实现供热各个环节的数据共享与分析，结合运行参数、环境温度、室内温度等参与运算，真正实现智能节能互补模式，也有效维持了二次网的水力平衡。从能效及管理成本方面进行评估，结合历史数据及理论模型做出优化运行方案，才可使热力企业从供热质量及成本管理方面可以实现质的提升。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局以国质检法。设备安全监察条例 [G]。2003,206号。
- [2] 魏庆凡。建筑节能的途径和方向 [M]。清华大学建筑节能研究中心，2016。
- [3] 原国家质量技术监督局。小型热水站安全监察规定 [S]。2018。
- [4] 韩伟国，江亿，刘焯。多种供热方式的比较 [D]。清华大学建筑节能研究中心，2013。
- [5] 贺平，孙刚，谷德林，王晋达。供热工程（第五版）[M]。中国建筑工业出版社，2021。
- [6] 郭升。二次网水力平衡及户间室温调节方法应用 [J]。山西建筑，2023,49(03):123-126。
- [7] 石兆玉，杨同球。供热系统运行调节与控制 第一版 [M]。中国建筑工业出版社，2018。
- [8] 韩钊，袁建娟，孙春华，齐承英。基于信息化的智慧热网系统应用分析。区域供热 [J]。2018。
- [9] 袁晓东。多能互补集中供热系统应用研究 [D]。河北科技大学，2019。
- [10] 马良栋，张义，刘明生。建筑物热力入口热量供需平衡调节方法 [J]。建筑科学。2019(2),43-48。