

供暖系统温度自动调控策略优化研究

顾辉康

中国石油大学东营科教园区后勤保障处

DOI: 10.32629/jpm.v7i9.9040

[摘要] 供暖系统温度调控受到建筑热负荷、管网水力状态及热量传递时滞等因素影响，传统自动控制方式在负荷识别、参数整定及设备协调方面仍存在一定不足。针对供水温度设定偏差、控制响应滞后、水力分配不均及多级指令冲突等问题，文章深入分析了供暖系统温度自动调控的基本原理与技术难点，并从负荷辨识、反馈控制、水力调节及多级协调四个方面提出相应的优化策略，为既有供暖系统的自动化改造及运行优化提供技术参考。

[关键词] 供暖系统；温度自动调控；热负荷辨识；反馈控制；水力调节

Research on Optimization of Automatic Temperature Control Strategies for Heating Systems

Gu Huikang

Logistics Support Division of China University of Petroleum Dongying Science and Education Park

[Abstract] The temperature regulation of heating systems is influenced by factors such as building thermal load, hydraulic conditions of the piping network, and thermal transfer time delays. Conventional automatic control methods still exhibit certain limitations in load identification, parameter tuning, and equipment coordination. To address issues including deviations in water supply temperature setpoints, control response lag, uneven hydraulic distribution, and conflicts among multi-level control commands, this paper conducts an in-depth analysis of the fundamental principles and technical challenges of automatic temperature regulation in heating systems. Furthermore, it proposes corresponding optimization strategies across four key areas—load identification, feedback control, hydraulic regulation, and multi-level coordination—thereby providing technical references for the automated retrofitting and operational optimization of existing heating systems.

[Key words] heating system; automatic temperature control; thermal load identification; feedback control; hydraulic regulation

集中供暖系统需要根据建筑实际用热情况调整供热量，保证室内温度基本稳定。目前，气候补偿控制器、电动调节阀及变频循环泵等设备已在供暖系统中得到应用，不少换热站也具备了远程监测和自动调节功能。不过，从实际运行情况来看，部分系统仍然存在供热量与建筑需求不匹配的问题。再加上部分管网存在流量分配不均的情况，局部建筑的供暖效果也可能受到影响。因此，供暖系统还需结合实际热负荷和设备运行特点，进一步优化供水温度设定、反馈控制及水力调节方式，提高温度自动调控的准确性和稳定性。

一、供暖系统温度自动调控基本技术原理

集中供暖系统主要依靠循环水将热量输送到各建筑，再由散热器或地面辐射装置向室内供热。温度自动调控主要涉及供

水温度、循环流量及室内温度等参数的调整与优化。供水温度调整以后，热量需经过管网输送和末端换热，室内温度通常不会立即发生变化。因此，供水温度控制和室温反馈需要采用不同的调节周期，对于热源侧，则要根据各换热站的总体用热需求安排供热出力。目前，这类自动调控过程通常由PLC和现场执行设备完成，远程监控平台则主要负责运行监测及参数管理等系统性工作^[1]。

二、供暖系统温度自动调控技术难点

2.1 供水温度设定缺少准确的负荷依据

供暖系统一般会根据室外气温调整供水温度，但室外气温并不能完全反映建筑的实际用热需求。不同建筑的保温条件和使用情况存在差异，即使室外气温相同，所需的供热量也未必

一致。而且，太阳辐射和室内人员活动等因素也会影响建筑的用热需求。如果控制器始终按照固定的气候补偿曲线运行，就容易出现供水温度偏高或偏低的问题。

2.2 热响应滞后增加反馈控制难度

供暖系统调整供水温度以后，室内温度通常需要经过一段时间才能发生变化。这主要是因为热水需要经过管网输送，散热器或地面结构也需要一定的换热时间。目前，部分控制器仍采用初始设定的控制参数进行控温管理，未能根据实际热响应情况进行动态调整，温度控制的稳定性自然就难以有效保证。

2.3 管网水力分配影响末端换热能力

供暖系统除了要保证合理的供水温度，还需要将足够的循环水输送到各个用热区域。由于管网各支路的长度和阻力不同，实际流量往往难以按照建筑需求合理分配。若直接提高整个系统的供水温度，则可能造成近端建筑过热，进一步增加温度调控的难度。

2.4 多级控制器之间存在指令协调问题

集中供暖系统通常设有多个控制层级，热源、换热站和建筑末端分别负责不同的调节任务。由于各级控制器的运行目标和调节周期存在差异，设备在实际运行中可能出现相互干扰。

由于缺少明确的控制权限和状态反馈规则，整个系统的自动调节难以保持良好的稳定状态。

三、供暖系统温度自动调控策略优化

3.1 基于热负荷辨识优化供水温度设定

供暖系统需要根据建筑实际热负荷确定供水温度，因此，应先掌握不同室外气温下的供热需求。对于间接换热的集中供暖系统，可先以换热站为单位，收集二次侧供回水温度、循环流量及热量计量等数据，并同步记录室外气温。完成数据采集以后，先统一各项数据的采样时间，剔除设备停机和仪表故障等异常记录。随后，按照室外气温对历史数据进行分类，从中选取室温稳定、循环流量变化较小的时段，分析对应的供水温度和实际供热功率。结合这些数据，便可以初步确定不同室外气温下的供热负荷，为后续供水温度调整提供依据^[2]。

在此基础上，还需根据实际供热情况校正原有的气候补偿曲线。具体可先从室温达标、运行状态较为稳定的时段入手，确定相应的基准供水温度。然后，再根据室外气温的变化情况，分别调整不同负荷区间的补偿斜率。对于保温条件和供暖形式差异较大的区域，还需单独设置相应的补偿参数，避免不同换热站长期采用同一条控制曲线（见表 1）。

表 1 不同供暖负荷工况下的供水温度整定方法

负荷工况	主要判定依据	参数整定内容	调整要求
低负荷工况	室外温度较高，室温持续达标	低负荷段供水温度设定值	逐步降低设定值，检查室温变化
常规负荷工况	室外温度相对稳定，供热功率波动较小	基准供水温度及补偿斜率	利用稳定工况数据校准
高负荷工况	室外温度较低，热负荷接近设计值	低温段补偿斜率及温度上限	校核末端换热能力
负荷过渡工况	室外温度持续变化，建筑热状态尚未稳定	分段边界及设定值变化速率	保持曲线连续，限制温度突变

完成补偿曲线整定以后，还需要利用其他时段的运行数据检查实际效果。部分建筑完成保温改造或更换供暖末端以后，原有的热负荷特征也可能发生变化。对于这类情况，应重新采集相应的运行数据，并及时调整补偿曲线，保证供水温度能够与实际用热需求保持合理的对应关系。

3.2 基于热响应特征优化反馈控制参数

供暖系统的反馈控制需要考虑实际热响应时间，控制器的调节周期也应根据这一时间进行设置。实践中，可先从换热站的历史运行记录入手，选择供水温度变化比较明显、其他运行

条件相对稳定的时段，对比供水温度与室温的变化曲线。利用曲线数据，可以分别确定换热站的调节时间和建筑的室温响应时间。对于散热器和地面辐射等不同供暖末端，还应分别开展测试。同时，将历史工况和阀门开度等信息纳入温度响应预测，为控制参数的整定提供依据^[3]。

完成热响应测试以后，可采用内外双环控制方式优化温度反馈过程。其中，内环主要负责供水温度控制，外环则根据实际室温修正供水温度设定值。由于两者的响应速度存在差异，控制周期也需要分别确定（见表 2）。

表 2 供暖系统反馈控制关键参数及整定依据

控制参数	确定依据	整定方法	重点控制问题
内环控制周期	换热器及调节阀响应时间	根据供水温度阶跃测试结果确定	供水温度跟踪滞后
外环控制周期	管网输送时滞及室温响应时间	根据室温变化曲线设置调整间隔	室温尚未响应时重复调节
比例增益	温度偏差及超调幅度	结合阶跃响应逐步调整	调节过快引起振荡
积分时间	稳态偏差及温度恢复情况	根据持续偏差和振荡情况整定	积分累积过大
温度控制回差	测温精度及正常室温波动	按允许温度偏差确定	小幅波动引起频繁动作

在实际运行中，内环控制器需要根据供水温度偏差调整电动调节阀开度，保证供水温度能够及时跟踪设定值。外环控制器则需要考虑建筑的升温速度，不能在室温尚未响应时连续增加供热量。等到规定的观察时间结束以后，再根据实际温度偏差决定是否继续调整。对于采用PID算法的控制器，还需合理设置比例增益和积分时间，并增加抗积分饱和功能。对于地面辐射供暖系统，则应适当延长外环控制周期，保证前一次调节有足够时间去发挥其应有的作用。

3.3 基于水力平衡优化流量与压差协同调节

供暖管网的流量调节需要先解决各支路之间的水力分配问题。对于既有供暖系统，可先根据设计资料核对各支路的管径、设计流量及管路阻力，再通过现场测量掌握实际运行情况。对于远端流量不足的支路，则应检查局部压差和阀门开度，看看是否存在过滤器堵塞或管路阻力过大等问题。各支路所需的循环流量还应根据建筑热负荷和设计供水温差确定。对于电动调节阀的控制，如阀门开度稍有变化，流量就出现较大波动，就需要进一步检查阀门选型和实际工作压差。必要时可设置压差控制装置，改善末端阀门的调节条件。

完成基础水力平衡以后，还可以根据管网实际需求调整循环泵的控制方式。对于原来采用固定压差运行的系统，可考虑采用变压差控制，并选择水力条件较为不利的支路作为重点监测对象。控制器也要根据关键支路的压差和阀门开度判断当前供水能力，再适当调整循环泵的运行频率。这样，管网负荷发生变化以后，循环泵便可以相应调整供水压力。且分阶段变流量调节与运行信息的交互相结合，也有助于改善集中供热管网的动态水力平衡^[4]。实际控制时，技术人员还要根据现场测量结果来确定各项调节参数。每次调整以后，都要检查最不利支路的流量是否满足要求。同时，循环泵还应保留必要的最低转速和最小循环流量，防止过度降速影响到系统的正常供暖。

3.4 基于控制权限划分完善多级设备协调

集中供暖系统涉及热源、换热站及建筑末端等多个控制层级，各级设备需要按照实际供热需求相互配合。在具体控制中，建筑末端要根据室温变化调节阀门开度，换热站要负责调整区域供水温度，热源则要根据各换热站的负荷需求分配供热量。为保证这些调节工作能够正常衔接，还需明确各级控制器的操作权限。技术设计上，可在原有控制结构中增加统一的权限管理功能，并根据设备运行状态确定指令的执行顺序^[5]。在明确控制权限以后，还需建立各级设备之间的信息传递规则。整个控制过程中，各级设备需及时反馈指令执行结果。对于已经达到运行上限的设备，应暂停继续增加相应的控制输出，并将受

限状态反馈给上级控制器。另外，各项调节请求还应设置有效期限。如果控制器长时间没有收到新的状态信息，就应停止使用原有请求，避免过期数据影响后续调节。

对于设备故障和通信异常等情况，技术上还需设置好相应的控制切换规则。当远程通信中断时，现场控制器应保留基本的自动调节功能，按照最后确认的安全运行参数维持供暖。如果关键测点发生故障，则应暂停使用相关数据的优化程序，必要时切换至预设的基本控制模式。对于循环泵停机或换热器异常等情况，现场安全联锁应优先执行保护动作，常规调节指令需要服从设备保护要求。待故障排除以后，控制系统还应重新核对设备状态和当前设定值，再恢复正常的自动调节功能。在此基础上，可利用现场联调检查各级设备的协调效果。比如，分别模拟通信中断、执行机构拒动及远程指令冲突等情况，检查控制权能否正常切换。对于测试中发现的指令冲突或设备响应异常，还需结合运行记录查明原因，再对相应的控制规则进行进一步的优化调整。

四、结语

现有的供暖系统自动调控能力，在实际运行中仍会受到建筑用热需求变化和运行条件等因素影响，原有控制参数未必始终适用。对此，优化策略需要结合室温变化和运行记录，定期检查各项控制策略的实际效果。尤其在供暖初期及室外气温变化较大的时段，更应重点关注供热量与建筑实际需求之间的匹配情况，连续运行检验策略去校验实际的调整效果，及时修正不合理的控制设定。从而，更好地保证室内温度的稳定状态，减少不必要的能源消耗。

【参考文献】

- [1]李政. 智慧供热架构中换热站自动控制系统的设计与应用[J]. 山东工业技术, 2025, (2): 83-89.
- [2]王春青, 王淞, 郑杨, 许添强, 张晗, 李超, 王亦姝. 基于支持向量机回归的二次网供热负荷预测分析[J]. 吉林建筑大学学报, 2021, 38 (6): 34-40.
- [3]雍和忠, 章宁, 黄伟, 魏峰, 吴燕玲, 钟崴. 基于XGBoost的供热系统热力站调控预测方法[J]. 综合智慧能源, 2023, 4 5 (12): 36-42.
- [4]胡月波, 孙宗宇, 石磊, 苏博, 叶少华. 基于物联网的集中供热管网智能动态平衡调控方法研究[J]. 建筑技术, 2025, 56 (2): 163-167.
- [5]席江涛, 聂诚飞, 查波. 智慧供热系统低碳运行的设计与研究[J]. 暖通空调, 2024, 54 (2): 56-62.