

# 基于 BLE 无线网络的智慧供热系统设计

顾志恩<sup>1</sup>, 贺 轼<sup>1</sup>, 吴梦可<sup>1</sup>, 叶迎港<sup>2</sup>, 高立敏<sup>3</sup>

(1. 浙江浙能镇海发电有限责任公司, 浙江 宁波 315200; 2. 浙江英集动力科技有限公司, 浙江 杭州 310000; 3. 杭州培慕科技有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 针对传统供热系统操作人员控制劳动强度大、操作繁琐、调控不及时, 系统存在不能有效解决管网平衡、监控系统运行状态等问题, 应用模糊 PID 控制算法对供热系统进行优化控制, 通过 BLE 无线网络进行现场运行数据的实时传输, 设计了基于 BLE 无线网络的智慧供热系统, 通过热网平台实时监控, 降低故障对系统的影响, 保证系统正常运行状态。通过系统测试表明, 系统运行稳定、功耗低, 能够对管网实现精准调控, 具有良好的应用价值。

**关键词:** 供热系统; 模糊 PID; 无线网络; 精准调控

中图分类号: TP13

文章编号: 1000-0682(2024)03-0042-05

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.03.008

## Design of intelligent heating system based on BLE wireless network

GU Zhi'en<sup>1</sup>, HE Shi<sup>1</sup>, WU Mengke<sup>1</sup>, YE Yinggang<sup>2</sup>, GAO Limin<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Zheneng Zhenhai Power Generation Co., Ltd., Zhejiang Ningbo 315200, China; 2. Zhejiang EngiPower Technology Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310000, China; 3. Hangzhou ProAIM Hi-tech Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** In response to the high labor intensity, cumbersome operation, and untimely regulation of traditional heating system operators, which cannot effectively solve problems such as pipeline balance and monitoring system operation status, the fuzzy PID control algorithm is applied to optimize the heating system control. Real time transmission of on-site operation data is achieved through BLE wireless network. A smart heating system based on BLE wireless network is designed, which is monitored in real-time through the heating network platform to reduce the impact of faults on the system and ensure its normal operation. System testing has shown that the system runs stably, has low power consumption, and can achieve precise control of the pipeline network, which has good application value.

**Keywords:** heating system; fuzzy PID; wireless network; accurate regulation

## 0 引言

随着人们生活水平的提高, 人们对供热的需求不断提升, 城市人口增长的同时, 城市集中供热的难度也越来越大, 同时给环境带来了污染<sup>[1-3]</sup>。不科学的能源消耗方式将会影响能源的利用率, 不仅造成能源的浪费, 还会影响自然生态<sup>[4-5]</sup>。因此, 科学的能源消耗是每个行业都应重视的问题。

供热系统作为热用户有效的供热方式, 在供热

能源消耗中占较大比例, 为实现节能减排, 供热系统需要实现智能化运行<sup>[6-7]</sup>。传统供热系统主要通过操作人员控制, 不能有效解决管网平衡, 无法实时监控运行状态, 不能实现有效的精准调控, 对人们的需求不能有效保障<sup>[8-9]</sup>。

为提高供热系统的安全性、稳定性和经济性, 该文以供热系统为研究对象, 分析供热系统运行状态, 设计了基于 BLE 无线网络的智慧供热系统, 应用模糊 PID 控制算法对供热系统进行优化控制, 通过 BLE 无线网络进行现场运行数据的实时传输, 通过热网平台实时监控, 降低故障对系统的影响, 保证系统正常运行状态, 具有良好的应用价值。

收稿日期: 2024-01-09

第一作者: 顾志恩 (1965—), 男, 浙江宁波人, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为发电厂热能动力。E-mail: edc12321@126.com

## 1 智慧供热系统方案设计

### 1.1 供热系统整体方案

根据功能需求,将智慧供热系统分为热网平台、BLE 无线网络传输、数据采集控制三部分,智慧供热系统整体方案如图 1 所示。

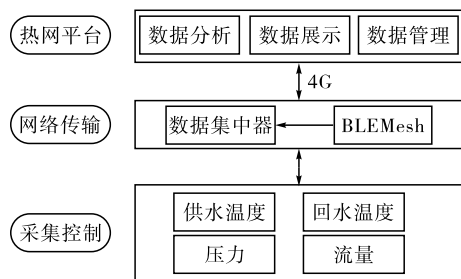


图 1 智慧供热系统整体方案

热网平台将通过 BLE 无线网络传输的现场设备数据进行分析、计算,实时显示供热系统状态,并将数据进行存储管理,以便查看。

数据采集控制是将供热系统采集的供水温度、回水温度、压力、流量等设备数据通过 BLE 无线网络传输到热网平台,热网平台对采集的数据进行分析、处理,下发指令到阀门控制装置,控制阀门的开度,以便实现管网水力平衡。

### 1.2 供热系统无线网络方案

为保证供热系统数据传输的稳定,需要选择可靠的无线网络方案,随着无线网络技术的不断发展,目前有 5 种方案,各方案对比如表 1 所示。

表 1 无线网络传输方案对比

名称	方式	传输 距离/m	节点 容量/万个	发射 功率/mW	传输 速率/bps
4G	基站	$1 \times 10^4$	20	100	2.5M
ZigBee	网关	100	6.5	150	0.25M
LoRa	网关	100	6	20	50k
NB-IoT	基站	$5 \times 10^3$	20	180	65k
BLE	网关	$1 \times 10^4$	6.5	2.5	1M

由表 1 可得到,LoRa 网络的传输速率最小,适合中远距离数据传输;ZigBee 网络的节点容量最小,适合小范围数据传输;4G 网络的传输速率最快,传输距离最长,适合远距离数据传输;BLE 网络的发射功率较低,能够很好的减少系统功耗,各项技术参数能够满足供热系统需求,因此,该文选用 BLE 网络完成终端与网关之间的数据传输,网关与服务器之间通过 4G 无线网络完成数据传输。

### 1.3 供热管网平衡方案

供热管网平衡涉及换热站、单元/楼宇、用户三

个因素,其中一次供热管网平衡调控相对成熟,实际效果明显,该文主要研究二次供热管网平衡,管网平衡方案如图 2 所示。

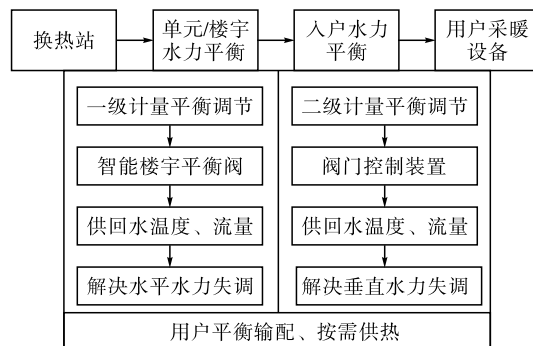


图 2 管网平衡方案

二次供热管网平衡方案采用二级计量平衡调节,通过对比系统回水温度和热网平台中回水温度,调节楼宇平衡阀和用户阀实现供热管网平衡。一级计量平衡调节主要目的是解决水平水力失调,通过对供回水温度、流量等数据的采集,调节楼宇平衡阀,实现自动调控。二级计量平衡调节以用户为调控对象,通过调节用户阀控制流量大小。

### 1.4 供热系统 PID 控制方案

为更好地对供热系统进行控制,该文采用模糊 PID 控制算法完成自动调控。首先将输入变量值变为模糊值,通过模糊 PID 控制算法进行推理,得到模糊控制量,然后对该值进行计算,得到准确控制量<sup>[10-11]</sup>。

模糊 PID 控制器的输入和输出可表示为:

$$\begin{cases} \Delta K_p(k) = K_{add} \{E(k), EC(k)\}_P \\ \Delta K_I(k) = K_{add} \{E(k), EC(k)\}_I \\ \Delta K_D(k) = K_{add} \{E(k), EC(k)\}_D \end{cases} \quad (1)$$

其中: $K_p$ 为模糊 PID 控制器的比例系数; $K_I$ 为模糊 PID 控制器的积分系数; $K_D$ 为模糊 PID 控制器的微分系数; $\Delta K_p(k)$ ,  $\Delta K_I(k)$ ,  $\Delta K_D(k)$ 为模糊 PID 控制器的输出。PID 参数整定如下:

$$\begin{cases} K_p = K'_p + \Delta K_p(k) \\ K_I = K'_I + \Delta K_I(k) \\ K_D = K'_D + \Delta K_D(k) \end{cases} \quad (2)$$

其中: $K'_p$ ,  $K'_I$ ,  $K'_D$ 为 PID 的初始值; $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ 为 PID 的整定值。

模糊 PID 控制结构如图 3 所示。设定回水温度设定值与终端设备采集的回水温度差值作为系统输入,通过模糊处理后,进行 PID 控制,阀门开度的大小作为输出,管网流量随着阀门的控制实现增加或减少,最终实现对用户温度的调节。

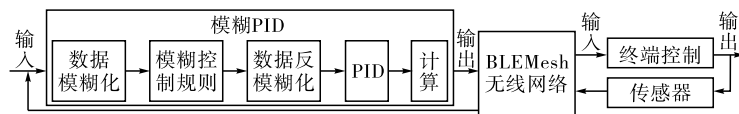


图3 模糊PID控制结构

## 2 系统硬件设计

### 2.1 微控制器电路设计

智慧供热系统选用 CH582 芯片作为微控制器,该芯片支持无线组网,有 4 个不同的外设接口,支持不同传输速率,能够更好的起到控制作用,微控制器电路如图 4 所示。

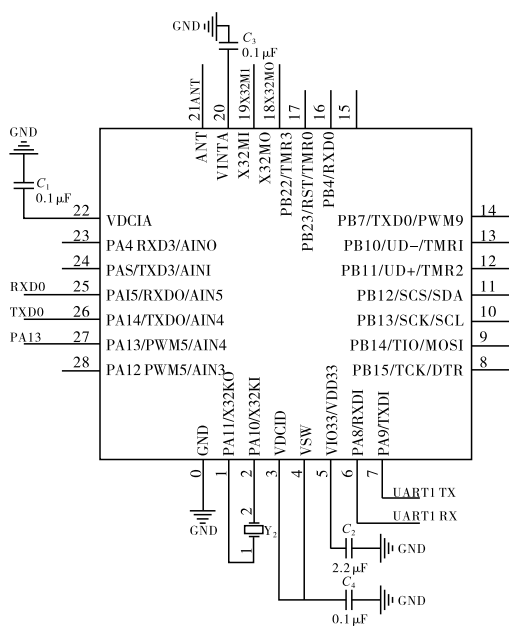


图4 微控制器电路图

微控制器的时钟电路选用 32 kHz 晶振,通过串口将程序下载到芯片中,RXD0 和 TXD 管脚实现与阀门控制器的通信,完成数据的传输。UART0 管脚用于程序的下载和连接调试工具。

### 2.2 供电电路设计

该文设计的无线网络模块安装有电池,保证系统出现停电或故障时能够上传数据,因无线设备供电电压为 3.3 V,为避免过压造成设备损坏,使用 HT7533 线性稳压器起到保护作用。供电电路如图 5 所示。

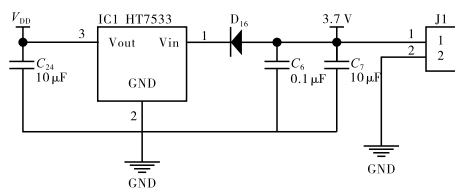


图5 供电电路图

### 2.3 温度采集电路设计

该文选用 PT1000 铂热电阻传感器用于温度的采集,该传感器灵敏度高、精度可靠,测量误差小于 0.3 °C,满足系统测量要求,使用多路信号选择模块 74HC4052 来选择通道,温度采集电路如图 6 所示。

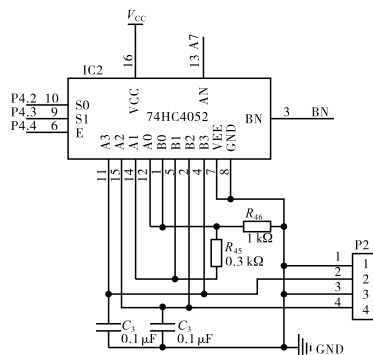


图6 温度采集电路图

因为 PT1000 铂热电阻传感器在不同温度下,其阻止不同,首先测量标准电阻的阻止,然后测量 PT1000 铂热电阻传感器两端电压,通过计算得到 PT1000 铂热电阻传感器的阻值,最后,查找不同阻值对应的温度值,得到最终温度。

### 2.4 电机控制电路设计

该文选用 SGM42513 电机驱动芯片控制电机运转,进而控制阀门的开关,该芯片内部具有多种保护功能,能够在恶劣环境中稳定运行,并且功耗低,电机控制电路如图 7 所示。

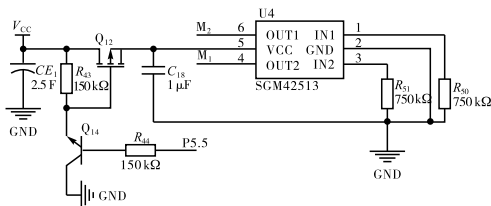


图7 电机控制电路图

$M_1$ 、 $M_2$  为电机接口,实现电机的正转、反转、停止,通过控制电机的运行时长控制阀门的开度,其 P5.5 连接电机电源控制接口。

## 3 系统软件设计

### 3.1 无线网络程序设计

BLE 无线网络是热网平台和现场数据采集控制的通信桥梁,首先需要对通信设备进行初始化操

作,通过中心节点完成自动配网,对未配网的设备重新发送入网请求,组网成功后,接收系统信息,判断信息类型。如果为查询信息,是指将现场采集的供水温度、回水温度、阀门开度等信息上传到热网平台。如果为控制信息,是指将热网平台下发的控制指令传送至终端设备执行。BLE 通信流程如图 8 所示。

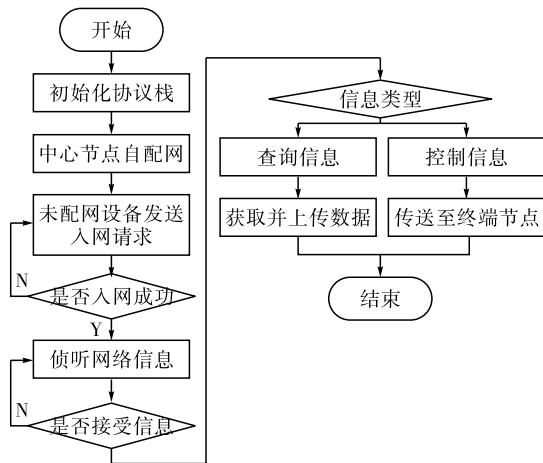


图 8 BLE 通信流程图

### 3.2 温度采集程序设计

该文使用的 PT1000 铂热电阻传感器为单总线设备,通过 ADC 测量计算得到温度大小。温度采集时,首先将控制开关切换至标准电阻,进行 AD 采样,再将控制开关切换至 PT1000,再次进行 AD 采样,根据电压值计算出阻止,通过查表法计算出温度。ADC 模块将采集的模拟信号转化为一个 10 位的数字信号,为提高转换精度,设置采样时间尽可能长,采集流程如图 9 所示。

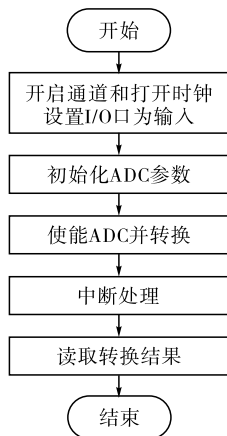


图 9 采集流程图

### 3.3 阀门控制程序设计

阀门状态分为全关、开关状态、全开三种模式,阀门开关状态分为全关、半开、全开三种模式,通过接收热网平台发送的控制指令,控制阀门的开度,进

而调整二次管网平衡,阀门控制流程如图 10 所示。

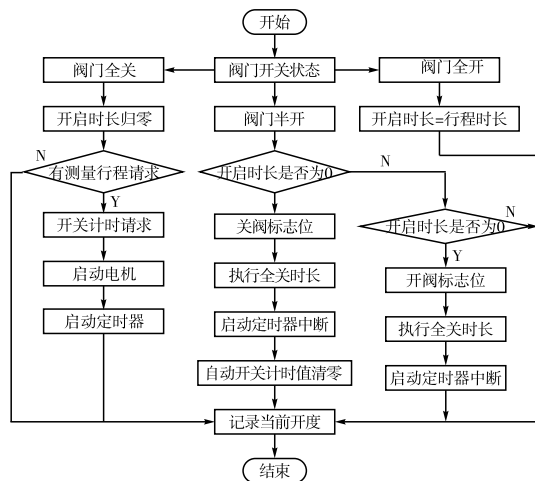


图 10 阀门控制流程图

## 4 系统测试

### 4.1 功耗测试

系统功耗测试分别对 BLE 设备待机状态、工作状态进行测试,测试设备选用高性能电源分析仪,型号为 N6705C,电压测量精度  $0.025\% + 50\text{ V}$ ,电流测量精度  $0.025\% + 8\text{ nA}$ ,满足系统测试精度要求,功耗测试结果如表 2 所示。

表 2 功耗测试结果

状态	电压/V	电流/mA	功率/mW
待机状态	3.3	0.64	2.1
工作状态	3.3	1.19	5.3

由表 2 得到:BLE 设备待机状态下电流为  $0.64\text{ mA}$ ,工作状态下电流为  $1.19\text{ mA}$ ,该系统功耗较低,满足运行要求。

### 4.2 系统测试

为进一步验证系统性能,对供热系统回水温度调节前、后运行数据进行采集、分析,选取某一天 24 小时内回水温度变化,绘制测试结果曲线,如图 11 所示。

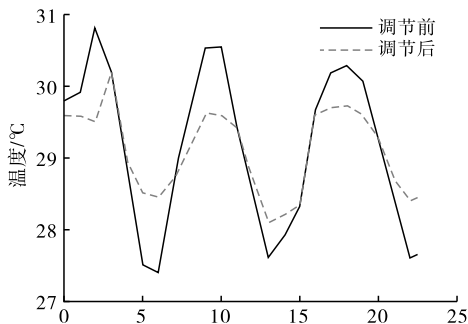


图 11 测试结果

供热系统调节前、后二次管网的供水温度相同,24 小时内回水温度变化反映了管网的热力失调状况,实施智慧供热调控方案前,回水温度数据波动较大,方案实施后,回水温度偏差明显减小,整个供热系统相对稳定,运行状况得到有效改善。

## 5 结论

针对传统供热系统操作人员控制劳动强度大、操作繁琐、调控不及时,系统存在不能有效解决管网平衡、监控系统运行状态等问题,为提高供热系统的安全性、稳定性和经济性,应用模糊 PID 控制算法对供热系统进行优化控制,通过 BLE 无线网络进行现场运行数据的实时传输,设计了基于 BLE 无线网络的智慧供热系统。通过系统测试表明,系统运行稳定、功耗低,能降低故障对系统的影响、对管网实现精准调控,具有良好的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 李可昕,张丽英. 集中供热监控系统的设计[J]. 科学技术创新,2023(19):81-84.
- [2] 郑立军,赵笑言,刘伟,等. 智慧化供热调节方法研究与应用[J]. 节能,2023,42(10):63-66.
- [3] 陈俊娜. 城市集中供热系统节能改造分析[J]. 能源与节能,2023(07):65-67.
- [4] 李嵘,郑庆红,王晓瑜. 基于改进大数据频繁项集挖掘算法的中深层地热能供热潜力评估方法[J]. 微型电脑应用,2023,39(10):23-26.
- [5] 郭春梅,李家璇,贺中禄,等. 智慧供热对集中供热节能减排影响的调研与分析[J]. 资源节约与环保,2023(07):1-4.
- [6] 徐宏,赵畅,王赫杨. 基于智慧供热的集中供暖系统运行控制[J]. 自动化应用,2023,64(23):10-12.
- [7] 蔡晓明. 关于供热系统热网运行调节技术的研究[J]. 智能建筑与智慧城市,2023(06):103-105.
- [8] 赵笑言,郑立军,林海卫,等. 基于机器自学习的供热系统热负荷预测[J]. 节能,2023,42(08):81-84.
- [9] 王洁瑜,魏鹏刚,杨文栋. 基于 BP 神经网络的智慧供热管控系统研究与应用[J]. 西北水电,2023(03):42-50.
- [10] 石宗瑞,王军. 基于模糊理论和 PID 算法的电力系统控制方法[J]. 微型电脑应用,2022,38(07):110-113.
- [11] 王晓兰,石圣昀,王惠中. 基于模型预测控制的谐振式无线电能传输系统[J]. 电子设计工程,2022,30(23):143-147.
- [12] 方修睦,杨大易,周志刚. 智慧供热系统数据运行核查方法研究[J]. 暖通空调,2024,54(01):69-74+139.
- [13] 孙鹏. 城市集中供热系统热负荷预测与二次网节能控制方法[J]. 区域供热,2023(06):54-60.
- [14] 王雅然,宋子旭,由世俊,等. 集成奇异谱分析与神经网络的热负荷预测算法[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),2023,56(06):573-578.
- [15] 赵广昊,薛贵军,张亦睿. 变论域 Smith-Fuzzy-PID 在集中供热系统二网控制中的应用[J]. 华北理工大学学报(自然科学版),2023,45(04):50-57.
- [16] 马可心,刘剑,刘伟,等. 模糊理论结合 PID 控制方法在集中供热系统中的应用[J]. 热科学与技,2021,20(06):601-606.
- [17] 刘春蕾,蔡阳,丁一博,等. 串级模糊自适应 PID 控制的分时分区温控系统[J]. 区域供热,2023(05):99-105+111.
- [18] 薄盛,王海超,赵洁,等. 集中供热系统供暖建筑室温控制算法研究综述[J]. 煤气与热力,2023,43(03):9-17.
- [19] 汪明元,王振红,陈松庭. 基于 LightGBM 算法的海洋土压缩参数预测模型[J]. 浙江工业大学学报,2024,52(01):17-24.
- [20] 马良玉,袁乃正. 基于 CFSFDP 与 LightGBM 的风电机组异常状态预警研究[J]. 太阳能学报,2023,44(05):401-406.

(上接第 41 页)

**欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！**