

In-depth research on energy-saving technology of time-sharing and temperature-dividing control for heating systems in universities

Decai Zhang

Lanzhou Yuanda Zhicheng Technology Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730030, China

Abstract

In response to the issues of high heating energy consumption and mismatch between supply and demand in universities located in the severe cold climate of the northwest region during winter, this paper takes universities in the Lanzhou area as the research object and proposes an intelligent heating control system based on Internet of Things (IoT) technology, featuring time-based temperature differentiation. By constructing a three-level linkage regulation model of "meteorological compensation - time-based zoning - terminal feedback", combined with the distributed temperature control terminal and cloud platform management system developed by Lanzhou Yuanda Zhicheng Technology Co., Ltd., dynamic optimization of the heating system operation is achieved. Practical application shows that this system can reduce heating energy consumption in universities by 22%-28%, increase the room temperature qualification rate to over 95%, and shorten the investment recovery period to 4 years, providing a replicable technical solution for the green heating renovation of universities in the northwest region.

Keywords

university heating; time-based temperature control; energy-saving renovation; Internet of Things technology

高校供暖系统时分分温控制节能技术深入研究

张德财

兰州远大至成科技有限公司, 中国·甘肃 兰州 730030

摘要

针对西北地区冬季严寒气候下高校供暖能耗高、供需不匹配等问题, 本文以兰州地区高校为研究对象, 提出基于物联网技术的时分分温智能供暖控制系统。通过构建"气象补偿-时分分区-末端反馈"三级联动调控模型, 结合兰州远大至成科技有限公司研发的分布式温控终端与云平台管理系统, 实现了供暖系统的动态优化运行。实际应用表明, 该系统可使高校供暖能耗降低22%-28%, 室温合格率提升至95%以上, 投资回收期缩短至4年, 为西北地区高校绿色供暖改造提供了可复制的技术方案。

关键词

高校供暖; 时分分温控制; 节能改造; 物联网技术

1 引言

西北地区冬季平均气温低于 -10°C , 高校作为人员密集的公共建筑, 供暖能耗占全年总能耗的 60% 以上 (甘肃省住建厅, 2022)。传统高校供暖普遍存在“大流量、小温差”运行模式, 存在以下问题: (1) 供暖时间与教学作息脱节, 假期空置区域持续供热; (2) 末端温度缺乏精准调控, 部分房间过热导致能源浪费; (3) 管网水力失调严重, 冷热不均现象普遍。据测算, 兰州地区高校供暖系统平均热效率不足 65%, 节能潜力巨大 (王建国等, 2021)。近年来,

随着《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》的实施, 时分分温控制技术因其显著的节能效益成为研究热点。该技术通过实时采集室内外环境参数, 结合用户行为特征实现供暖负荷的动态匹配, 已在北方集中供暖系统中得到初步应用 (李华等, 2020)。但现有研究多集中于住宅小区, 针对高校特殊场景 (如教室、宿舍、实验室等功能分区复杂) 的系统化解决方案仍显不足。本文依托兰州远大至成科技有限公司承担的“兰州现代职业学院高校智慧供暖节能改造项目”, 重点研究时分分温控制在高校场景下的适配性优化策略, 通过硬件设备研发、控制算法改进及工程实践验证, 形成一套适用于西北寒冷地区的供暖节能技术方案。

【作者简介】张德财 (1990-), 男, 本科, 工程师, 从事建筑节能与智能控制技术研究。

2 兰州高校供暖现状分析

2.1 气候与建筑特征

兰州属温带大陆性气候，冬季采暖期为 150 天（11 月 1 日至次年 3 月 31 日），极端低温达 -21.7°C 。高校建筑以多层教学楼、学生公寓为主，围护结构保温性能较差（外墙传热系数 $K=1.2-1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ），且存在大量玻璃幕墙，热损失较普通建筑高 30%（张明等，2019）。^[1]

2.2 现有供暖系统问题

时间维度：采用“全时全量”供热模式，寒假期间（约 40 天）供暖量仅减少 15%，空置宿舍、实验室等区域仍存在无效供热。

空间维度：按面积均摊热负荷，未考虑不同功能房间的使用差异。例如，图书馆阅览区需维持 $20-22^{\circ}\text{C}$ ，而仓库仅需 $5-8^{\circ}\text{C}$ 即可满足防冻要求。

控制方式：依赖人工调节阀门开度，响应滞后于环境变化，导致“过冷过热”现象交替出现。实测数据显示，兰州现代职业学院教学楼白天平均室温 24.3°C ，夜间降至 18.5°C ，波动幅度达 5.8°C （兰州现代职业学院后勤处，2021）。^[2]

3 分时分区控制系统设计

3.1 总体架构

系统采用“云-边-端”协同架构（图 1），由感知层、网络层、平台层和应用层组成：

感知层：部署无线温度传感器（精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）、热量表（误差 $\leq 2\%$ ）、电动调节阀等设备，实时采集室内外温度、流量、压力等参数；

网络层：采用 LoRaWAN 与 4G 混合组网，确保偏远区域数据传输可靠性；

平台层：基于阿里云搭建供暖管理云平台，集成气象数据接口（接入中国天气网 API）、负荷预测模型及远程控制模块；

应用层：开发 PC 端与移动端管理平台，支持管理员实时监控、策略配置及能耗分析。



图片发布者：唐山蓝迪通信科技有限公司

图 1 分时分区控制系统的架构

3.2 核心控制策略

3.2.1 分时控制模型

根据高校作息规律划分供暖时段（表 1）：

表 1

时段	时间范围	适用区域	设定温度
教学时段	8:00-12:00, 14:00-18:00	教学楼、实验室	20-22 $^{\circ}\text{C}$
生活时段	18:00-23:00	学生公寓、食堂	18-20 $^{\circ}\text{C}$
值班时段	23:00-次日 8:00	行政楼、安保室	16-18 $^{\circ}\text{C}$
假期模式	寒假期间	全部区域	5-8 $^{\circ}\text{C}$ (防冻)

3.2.2 分区控制算法

引入模糊 PID 控制算法，以室内温度为被控变量，室外温度、太阳辐射强度、人员密度为输入变量，动态调整供水温度（公式 1）：

$$T_g = T_n + K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + \Delta T_c$$

其中， T_g 为供水温度， T_n 为设定温度， $e(t)$ 为温度偏差， K_p 、 K_i 、 K_d 为 PID 参数， ΔT_c 为气象补偿值（通过历史数据训练得到）。

3.2.3 分区控制策略

将校园划分为教学区、生活区、办公区三大板块，每板块内进一步细分二级区域（如教学楼分为教室、走廊、卫生间）。通过安装带位置识别功能的温控面板，实现“一区一策”精准调控。例如，教室在无人时段自动切换至值班模式，仅维持基本温度。^[3]

4 系统实现与关键技术

4.1 硬件设备研发

智能温控终端：采用 STM32F103 主控芯片，集成 LoRa 通信模块与高精度温度传感器，支持 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 宽温工作，功耗 $< 0.5 \text{ W}$ ；

电动调节阀：选用 DN20-DN50 口径的直行程执行器，流量特性为等百分比，调节精度达 $\pm 2\%$ ；

数据采集器：支持 Modbus RTU 协议，可同时接入 16 路传感器信号，具备断点续传功能。

4.2 软件系统开发

负荷预测模块：基于 LSTM 神经网络，利用近 3 年供暖季的气象数据与能耗数据训练模型，预测未来 24 小时热负荷，准确率达 90% 以上；

故障诊断系统：通过异常数据检测算法识别管道泄漏、阀门卡涩等故障，自动生成维修工单并推送至管理人员手机 APP；

能耗分析看板：提供多维度统计报表（如各区域能耗占比、单位面积热耗、节能率趋势），支持同比/环比分析。^[4]

5 工程应用与效果分析

5.1 项目概况

选取兰州现代职业学院（建筑面积 102 万 m^2 ，供暖面

积 91.6 万 m²) 进行试点改造, 原系统为全时全量 + 按供暖面积收费, 改造后采用分时分温控制系统 + 按热计量收费。项目总投资 1845.5812 万元, 其中硬件设备 1553.6392 万元, 软件系统 125 万元, 施工费用 116.942 万元。

5.2 运行效果

能耗指标: 改造后首个供暖季 (2023-2024 年) 总供热量为 268045 GJ, 较改造前 (328623 GJ) 下降 22.6%; 单位面积热耗从 0.358GJ/m² 降至 0.292GJ/m², 优于《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50736-2012) 中规定的 0.52GJ/m² 标准。

室内环境: 随机抽查 100 间房间, 室温合格率为 96.3% (18-22℃), 较改造前提升 28.5%; 温度波动幅度由 ±3℃ 缩小至 ±1.5℃, 舒适度显著提高。^[5]

经济效益: 按兰州新区供暖热计量收费标准 75.73/Gj 计算, 年节约总热量为 328623 GJ-268045 GJ=60578GJ, 则节约供暖费约 458.75 万元, 扣除运维成本 (8 万元/年), 静态投资回收期应该是总投资除以年净收益, 即年净现金流量 = 年节约额 - 年运维成本 = 458.75 - 8 = 450.75 万元, 所以回收期 = 1845.5812/450.75 ≈ 4 年。

5.3 社会效益

项目实施后, 每年可减少 CO₂ 排放约为:

标准煤 (中国常用): 1 吨标准煤热值约 29.3GJ, 碳排放因子约 2.46 吨 CO₂/吨标准煤。

节约的标准煤量 = 60578 GJ ÷ 29.3 GJ/吨 ≈ 2,068 吨标准煤,

减少的 CO₂ 排放量 = 2,068 吨 × 2.6 吨 CO₂/吨 ≈ 5377 吨

(约 5,400 吨)。相当于种植 50 万棵冷杉的年固碳量 (IPCC, 2021)。同时, 通过智能化管理减少了人工巡检工作量, 提升了后勤管理效率。^[6]

6 结论与展望

本文提出的分时分温控制系统通过“时间-空间-温度”三维协同调控, 有效解决了兰州现代职业学院供暖系统的高能耗、低效率问题。工程实践表明, 该系统可使供暖能耗降低 22%-28%, 投资回收期约 4 年, 具有显著的经济与环境效益。未来研究方向包括: (1) 结合光伏-储能技术, 探索可再生能源与供暖系统的耦合应用; (2) 引入数字孪生技术, 构建校园供暖系统虚拟仿真模型, 实现更精准的预测与控制; (3) 拓展系统在医院、商场等公共建筑中的应用, 形成标准化解决方案。

参考文献

- [1] 甘肃省住房和城乡建设厅. 甘肃省“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划[Z]. 2022.
- [2] 王建国, 李红梅. 北方高校供暖系统节能改造技术研究[J]. 暖通空调, 2021, 51(3): 45-50.
- [3] 李华, 张伟. 分时分温控制在集中供暖系统中的应用[J]. 建筑科学, 2020, 36(8): 123-128.
- [4] 张明, 刘阳. 西北地区高校建筑围护结构热工性能分析[J]. 新型建筑材料, 2019, 46(5): 78-82.
- [5] 兰州现代职业学院后勤处. 2021年度供暖系统运行报告[R]. 2022. [6] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis[M]. Cambridge University Press, 2021.