

基于神经网络PID控制器的组合式 空调机组温度控制方法

张印洲[†]

(北京永鑫嘉诚工程科技有限公司, 北京 100043)

摘要: 组合式空调机组运行过程中, 具有大延迟和大惯性的特性, 这意味着单一控制系统对控制信号的响应存在明显的延迟和滞后。因此, 提出了基于神经网络PID控制器的组合式空调机组温度控制方法。分析组合式空调机组温度阶跃响应变化, 以分析结果为基础, 借助动态矩阵分析历史温度数据, 预测未来时刻空调机组输出温度, 为温度控制提供依据。结合BP神经网络和PID调节器, 搭建具有参数自适应整定性能的神经网络PID控制器。通过神经网络的自学习不断调整控制参数, 最终实现高质量的空调机组温度控制。实验结果表明: 该方法温度控制结果表现出的超调量总是不大于0.6%, 极大提高了温度控制过程的稳定性。

关键词: BP神经网络; PID控制器; 组合式空调机组; 温度控制; 参数整定

中图分类号: TP183

文献标识码: A

A Temperature Control Method for Combined Air Conditioning Units Based on Neural Network PID Controller

ZHANG Yinzhou[†]

(Beijing Yongxinjiacheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing 100043, China)

Abstract: During the operation of a modular air conditioning unit, it has the characteristics of large delay and inertia, which means that there is a significant delay and lag in the response of a single control system to control signals. Therefore, a combined air conditioning unit temperature control method based on neural network PID controller is proposed. Analyze the temperature step response changes of the combined air conditioning unit. Based on the analysis results, using dynamic matrix to analyze historical temperature data, predict the output temperature of the air conditioning unit at future times, and provide a basis for temperature control. Build a neural network PID controller with parameter adaptive tuning performance by combining BP neural network and PID controller. By continuously adjusting control parameters through self-learning of neural networks, high-quality temperature control of air conditioning units is ultimately achieved. The experimental results show that the overshoot exhibited by this method in temperature control is always not greater than 0.6%, greatly improving the stability of the temperature control process.

Key words: BP neural network; PID controller; combination air conditioning unit; temperature control; parameter tuning

组合式空调机组近年来在大型商业建筑、办公楼、医院及数据中心等场所得到广泛应用,实现了对室内环境舒适度与空气质量的维持。但组合式空调机组温度控制是一个复杂的系统工程,涉及多变量、强耦合、非线性和时变等特性,其在高效运行过程中,需要具备精准的温度控制能力,以确保输出温度符合预期要求。尤其在人们对室内环境要求不断提高的背景下,组合式空调机组的温度控制方法成为一项重要研究课题。邹宇航等提出基于模型预测控制的温度控制方法^[1],依托于等效电路法预测机组未来温度变化,并将其看作目标函数输入基于遗传算法的温度控制模型,通过粒子群优化算法求解最佳控制参数,完成空调温度优化调整。但是,在参数变化或外部干扰的情况下,最终表现出的控制效果不稳定,说明该方法鲁棒性较差。杨世忠等提出基于改进入侵杂草算法的控制方法^[2],面向空调机组的运行原理进行建模,在此基础上给出基于模糊控制器的温度控制模型,并结合萤火虫群算法和杂草优化算法,求解得到最优温度控制参数。通过测试研究可知,入侵杂草算法能够迅速抢占生存空间并完成生物入侵,但在小范围搜索上可能不够精细,导致其无法满足高精度温度控制要求。谭心等提出基于 ANFIS(自适应神经模糊推理系统)的温度控制方法^[3],充分考虑空调机组的温度响应特性,建立复杂的系统运行数学模型,以此为基础构建自适应模糊控制模型,通过该模型生成并执行有效模糊规则,实现对机组输出温度控

制。但是,ANFIS 模型的性能高度依赖于历史训练数据,其泛化能力可能受到限制,当供暖系统的运行环境发生较大变化时,模型可能无法控制温度变化满足期望要求。Yao 等提出基于 Q 学习的温度控制方法^[4],运用变域模糊 PID 算法,设计一种用于调整温度的智能控制算法,并引入 Q 学习方法整定控制参数,改变控制指令得到最终温度控制效果。但是,变域模糊 PID 控制方法中的模糊控制规则是根据专家经验或试错法确定的,这可能导致规则的不完整或不合理,从而导致温度控制结果出现较大的超调量。

为了克服现有控制方法的缺点,探讨基于神经网络 PID 控制器的组合式空调机组温度控制新方法,将具有强大自学习能力的 BP 神经网络添加到控制器拓扑结构中,实现对控制参数的动态优化,从而提高系统的控制精度和鲁棒性。

1 组合式空调机组温度控制方法设计

1.1 建立组合式空调机组温度响应变化分析

组合式空调机组运行过程中,控制冷水阀开度发生阶跃变化,机组输出温度也会发生不同的响应变化^[5]。为了更好地了解机组温度响应特点,设置冷水阀开度从 50% 不断增加至 70%,该过程中时刻记录机组输出温度数据,绘制出图 1 所示的温度阶跃响应曲线。

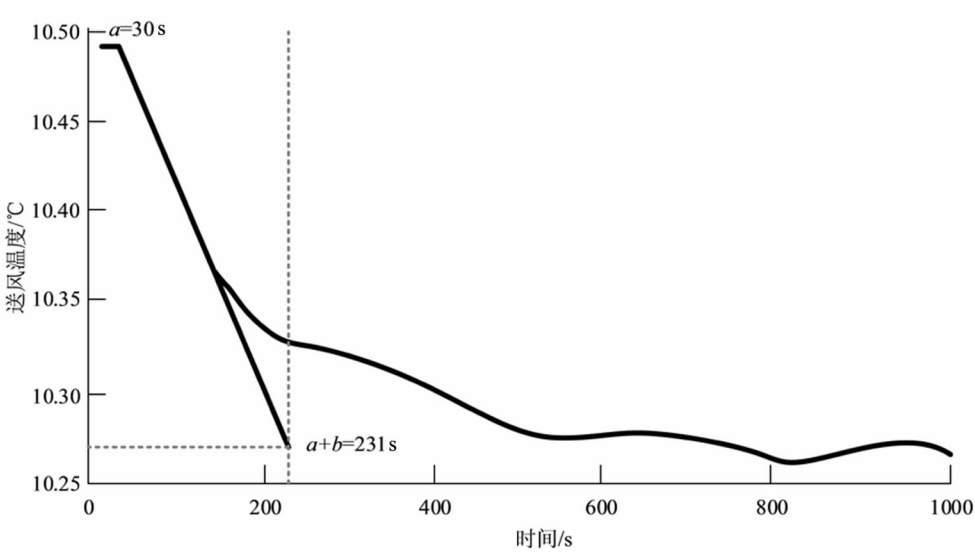


图 1 组合式空调机组温度阶跃响应曲线图

图 1 中, a 表示冷水阀开度阶跃调整时刻, b 表示惯性时间常数。

根据组合式空调机组在目标时刻的温度阶跃响应数据,可以反向推理出机组内冷水阀开度参

数,以及送风温度变化参数^[6]。根据这一原理,可以将温度阶跃响应过程增益表示为:

$$K = \frac{\Delta c}{\Delta s} \tag{1}$$

式中, K 表示过程增益, Δc 表示组合式空调机组输出送风温度变化值, Δs 表示冷水阀开度变化值。

找到阶跃响应曲线的拐点,并从该点引出切线,切线与曲线之间相交的时间就是纯滞后时间^[7]。将这一概念引入到组合式空调机组温度响应变化分析过程中,可以构造出式(2)所示的传递函数。

$$G(s) = \frac{Ke^{-ad}}{ab + 1} \tag{2}$$

式中, G 表示温度传递函数, s 表示复参数, d 表示积分算子, e 表示底数函数。

1.2 搭建神经网络 PID 温度控制器

在机组温度控制过程中,运用 PID 控制技术设计智能调节器,通过比例控制参数、积分控制参数和微分控制参数,动态调整组合式空调机组温度^[8]。为了提升最终温度控制效果,将 BP 神经网络引入其中,设计图 2 所示的神经网络 PID 温度控制器结构。

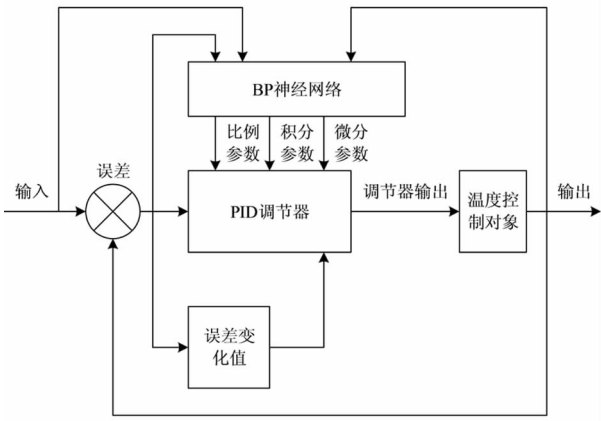


图 2 神经网络 PID 控制器结构示意图

如图 2 所示,神经网络 PID 控制器包含两个核心组成模块,通过神经网络优越的自学习能力在线调整控制参数^[9],可以确保调节器输出误差最小,取得最优闭环控制效果。

应用神经网络 PID 控制器针对组合式空调机组温度展开增量式智能控制时,具体的控制算法可以表示为:

$$u(\eta) = u(\eta - 1) + K_1[E(\eta) - E(\eta - 1)] + K_2E(\eta) + K_3[E(\eta) - 2E(\eta - 1) + E(\eta - 2)] \tag{3}$$

式中, u 表示调节器输出变量, η 表示控制时间, E 表示误差变化值, K_1 表示比例控制系数, K_2 、 K_3 分别表示积分和微分控制系数。

1.3 获取最优空调机组温度控制结果

依托神经网络 PID 控制器实现空调机组温度控制时,想要获得最优控制结果,需要不断运用图 3 所示的 BP 神经网络整定控制参数。

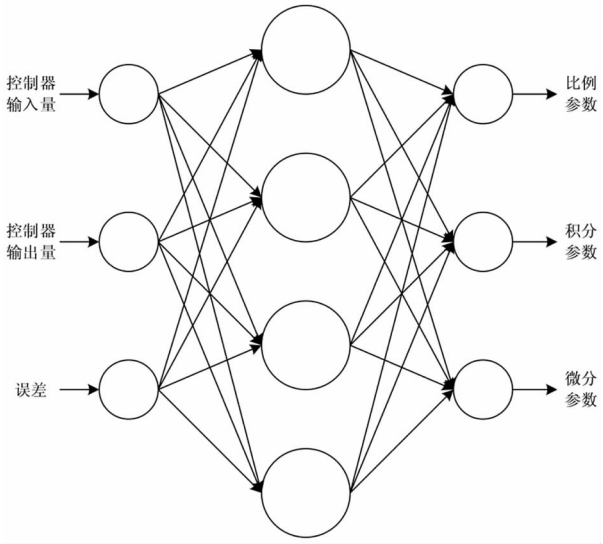


图 3 BP 神经网络

如图 3 所示,BP 神经网络的输入信息包括控制器输入量、控制器输出量、误差变量值三类数据,这些信息进入输入层神经元后,统一完成归一化处理,再转移到隐含层内,借助 Sigmoid 激活函数完成学习^[10],最终输出优化调整后的控制参数取值。该神经网络的输入和输出结果分别可以表示为:

$$x = [\varphi(\eta), u(\eta), E(\eta)] \tag{4}$$

$$O_o = \frac{\exp(w_o \times \lambda_o)}{\exp(w_o \times \lambda_o) + \exp(-w_o \times \lambda_o)} \tag{5}$$

式中, x 表示神经网络输入信号^[11], φ 表示当前输入值, O 表示神经网络输出信号, o 表示输出层神经元, w 表示权重, λ 表示隐层神经元输出, $\exp$ 表示自然指数函数。

依靠控制器中的 BP 神经网络不断学习和运算,获取不同时刻最优 PID 控制参数,用其替换原有控制参数,使得控制器发挥最优组合式空调机组温度控制效果。

2 实验分析

2.1 实验准备

通过探索分析得到基于神经网络 PID 控制器的温度控制新方法后,为了验证该方法在现实工作

场景内的应用效果,准备一个包含过滤段、机械制冷+蒸发冷凝段等结构的组合式空调机组,完成一系列机组温度控制实验。其中,组合式空调机组正常运行状态下设计风量达到了 $20000\text{ m}^3/\text{h}$ 。

设定机组送风温度为 17°C 、 14°C 和 16°C ,分别应用所提方法、模型预测控制方法、改进入侵杂草算法完成的机组温度控制,使其输出温度满足目标要求。其中,模型预测控制方法是首先根据机组的物理特性和工作原理,建立其数学模型,该模型应准确描述机组温度与输入控制量之间的关系。其次,利用建立的数学模型,根据当前的控制输入和机组状态,预测未来一段时间内的温度变化趋势。随后,根据预测结果,通过优化算法求解最优的控制输入,使机组温度在未来某个时间点达到目标值。最后,将实际温度与预测温度进行比较,根据误差调整模型参数和控制策略,实现闭环控制。改进入侵杂草算法是首先在控制参数的搜索空间内随机生成一组初始解。其次,根据适应度函数评估每个杂草的优劣,并允许适应度较高的杂草“生长”,即生成新的解。随后,在生长过程中,引入竞争机制,使适应度较低的杂草被淘汰,从而保留更优秀的解。重复上述生长和竞争过程,直到达到预定的迭代次数或满足收敛条件。最终,输出适应度最高的解作为最优控制策略。

2.2 控制参数变化曲线

依靠神经网络 PID 控制器,对组合式空调机组输出温度进行控制时,需要不断优化控制参数。在网络训练阶段,深入观察 BP 神经网络 PID 控制误差变化,得到图 4 所示的迭代曲线。

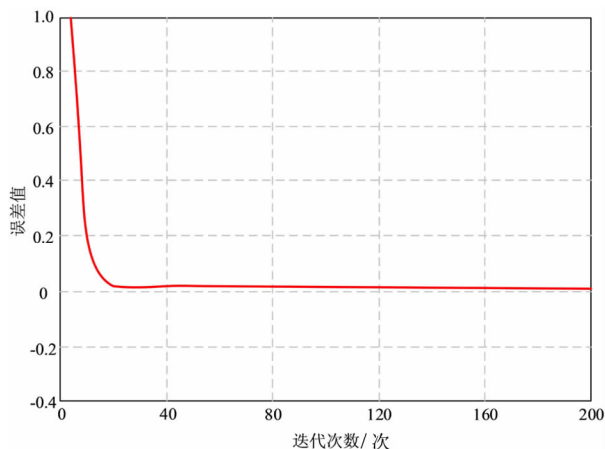


图 4 误差迭代曲线图

从图 4 可以看出,在 BP 神经网络完成 20 次迭代学习后,控制器输出误差开始无限逼近 0,且呈现出稳定状态,证明此时 BP 神经网络 PID 控制

器工作性能处于最佳状态。

在温度控制实验周期内,通过训练好的网络模型展开自学习,在线调整 PID 控制参数,最终得到图 5 所示的参数变化曲线。

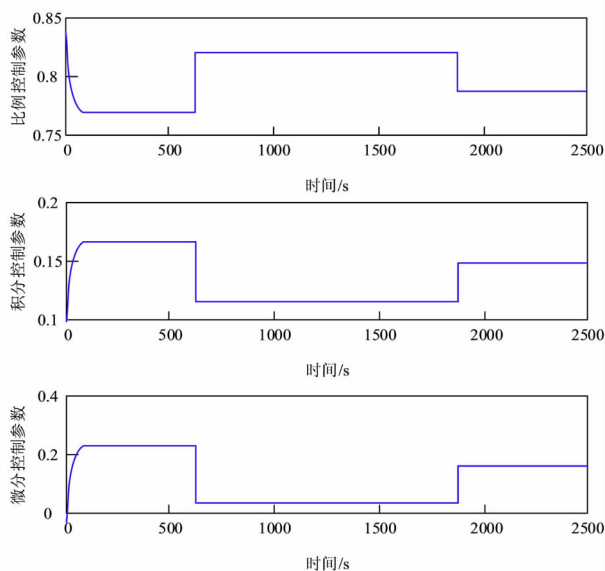


图 5 神经网络 PID 控制器控制参数变化曲线

将图 5 所示的参数变化结果输入到 PID 调节器中,生成合理的空调机组温度控制指令。

2.3 空调机组温度控制结果

依托于动态优化调整后的控制参数,实现对组合式空调机组输出温度的有效控制,最终在所提方法实施后。为了更全面地评估不同温度控制方法的性能,还引入了调节时间作为另一个重要指标。调节时间是指从系统开始调节到达到预定温度范围所需的时间。同时,为了便于实验对比分析,观察另外两种现有温度控制方法的应用结果,空调机组输出温度变化曲线如图 6 所示。

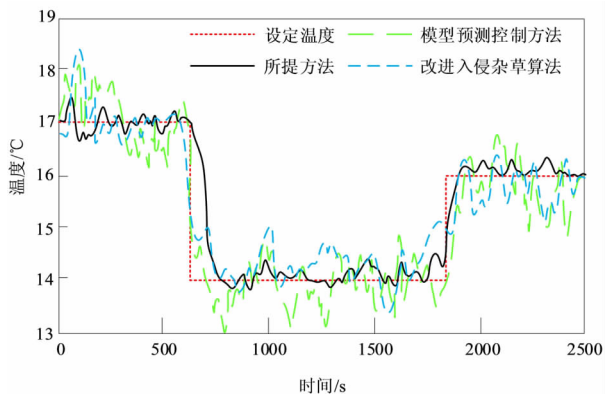


图 6 不同方法温度控制结果

根据图 6 显示的温度控制结果可知,三种控制方法的应用均实现了对组合式空调机组温度的有

效控制,使得机组输出温度不断贴近设定温度,证明了这些温度控制方法的可行性。通过对比分析,虽然三种方法都实现了对机组温度的有效控制,但调节时间存在差异。所提方法的调节时间最短,表明其响应速度最快,能迅速达到预定温度。模型预测控制方法和改进入侵杂草算法的调节时间则相对较长,但也在可接受范围内。

2.4 控制方法性能对比

除此之外,为了更好地体现各方法温度控制性能,针对图 7 显示的温度控制结果进一步分析,获取各方法控制结果的超调量,并绘制出图 7。

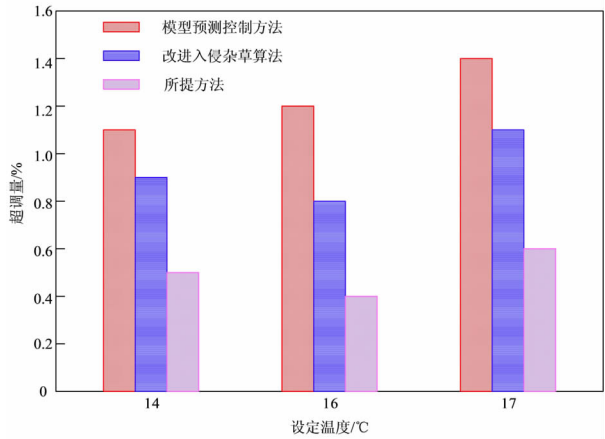


图 7 不同方法温度控制结果超调量对比

从图 7 可以看出,所提方法表现出的超调量为 0.5%、0.4% 和 0.6%,相比另外两种控制方法的实施效果,超调量表现出大幅度降低。这说明以神经网络 PID 控制器为基础的新方法,可以实现对空调机组输出温度的稳定、精准控制。

3 结 论

通过探索分析,开发出基于神经网络 PID 控制器的组合式空调机组温度控制方法。通过神经网络的非线性映射能力和 PID 控制器的稳定性优势相结合,该方法克服了传统控制策略在复杂环境中的局限性,将其应用到组合式空调机组温度控制领域,可以为用户提供更加舒适、节能的室内环境。

参考文献

[1] 邹宇航,王明飞,张馨,等. 基于模型预测控制的工厂化菇房空调调控方法[J]. 中国农机化学报,2024,45(6):98—105.

[2] 杨世忠,逢铄. 基于改进入侵杂草算法的空调送风温度控制[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2023,42(2):250—256.

[3] 谭心,吴林锋,虞启辉,等. 基于 ANFIS 的太阳能—空气源热泵供暖系统温度控制研究[J]. 太阳能学报,2024,45(2):16—22.

[4] YAO Y, MA N, WANG C, et al. Research and implementation of variable-domain fuzzy PID intelligent control method based on Q-learning for self-driving in complex scenarios[J]. Mathematical Biosciences and Engineering, 2023, 20(3):6016—6029.

[5] 苗凌童,卢翼. 基于 PID 的大面积建筑室内恒温性自整定控制[J]. 计算机仿真,2023,40(12):369—373.

[6] 吴敏,霍力欣,李启跃,等. 灰色预测与模糊 PID 的恒温水浴协同温度控制[J]. 中国农机化学报,2023,44(11):123—129+137.

[7] 刘华,钱明杨,吴奕,等. 基于多联机大数据的住宅空调设定温度操作模式分析[J]. 建筑科学,2023,39(8):134—142.

[8] 祖一康,徐妙婧. 基于单片机和 PID 算法的温度智能控制系统设计[J]. 现代电子技术,2024,47(8):83—89.

[9] 王祝惠子. 基于多目标数学建模的皮革机伺服系统控制优化问题研究[J]. 中国皮革,2023,52(12):38—43,48.

[10] 刘一铭,张运楚,周燕菲,等. 基于改进 YOLOv5s 的焦炉烟火识别算法[J]. 计算机测量与控制,2024,32(5):186—192+200.

[11] 王威,李少甫,吴昊,等. 基于反向传播神经网络 PID 的高功率微波炉温度控制[J]. 强激光与粒子束,2024,36(1):59—65.