

# 基于PID控制算法的热控系统性能优化研究

张涛, 蒋泉波

江苏阚山发电有限公司, 江苏 徐州 221134

**摘要:** 本文针对热控系统性能优化展开研究, 深入探讨了PID控制算法, 包括其原理与参数整定方法。详细分析了热控系统性能的评价指标及影响因素, 在此基础上, 重点研究了基于PID控制算法的热控系统性能优化方案, 如改进的PID控制算法、基于模型的PID控制优化、多变量PID控制应用、抗干扰性能优化、与其他控制算法结合应用、实时监测与自适应调整等内容, 并通过实验验证了优化方案的效果与可行性, 最后对研究成果进行了总结与展望, 为热控系统性能优化提供了理论与实践依据。

**关键词:** PID; 控制算法; 热控系统; 性能优化

## Study On The Performance Optimization Of Thermal Control System Based On PID Control Algorithm

Zhang Tao, Jiang Quanbo

Jiangsu Kanshan Power Generation Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221134

**Abstract:** This paper studies the performance optimization of the thermal control system, and deeply discusses the PID control algorithm, including its principle and the parameter setting method. Detailed analysis of the evaluation indexes and the performance of the thermal control system, on this basis, the performance optimization scheme based on PID control algorithm, such as improved PID control algorithm, PID control optimization, multivariate PID control application, anti-interference control optimization, combined with other control algorithm, real-time monitoring and adaptive adjustment, and verify the effect and feasibility of the optimization scheme, the research results provide a theoretical and practical basis for the performance optimization of the thermal control system.

**Keywords:** PID; control algorithm; thermal control system; performance optimization

### 引言

在现代工业生产和科学研究中, 热控系统发挥着至关重要的作用。无论是在化工、能源、材料加工等领域, 还是在电子设备、航空航天等高科技产业中, 精确的温度控制和稳定的热性能都是保证产品质量、提高生产效率和确保系统可靠性的关键因素。PID控制算法作为一种经典的控制算法, 由于其原理简单、易于实现和鲁棒性强等优点, 在热控系统中得到了广泛的应用。然而, 传统的PID控制算法在面对复杂的热控系统和多样化的控制需求时, 也存在一定的局限性。因此, 如何对PID控制算法进行优化和改进, 以提高热控系统的性能, 成为了当前热控领域的研究热点之一。

### 一、PID控制算法

#### (一) PID控制算法的原理

PID控制算法的基本原理是用误差信号和控制量信号对控制器进行反馈, 从而对控制器的输出进行调整。PID算法通过检测误差信号来调整控制器的输出值, 以达到对被控系统稳定、精确控制的目的。PID算法一般由四部分组成: 比例(P)、积分(I)、微分(D)和自整定参数(e)。其中比例环节表示输入误差信号与期望值之间的偏差与偏差信号之比; 积分环节表示输出误差信号与期望信号之差与输出信号之差之和; 微分环节表示输出误差信

号与实际输出之差与实际输出之比; 自整定参数则用于修正比例环节中误差信号与期望值偏差太大或太小的问题。

#### (二) PID控制算法的参数整定方法

PID控制器参数的整定是整个PID控制系统设计中最重要的一环, 它直接关系到控制效果。一般来说, 在确定了控制对象和被控对象之后, 即可根据实际需要选用合适的PID控制算法来设计PID控制器, 然后进行相应的参数整定, 即通过调节比例(P)、积分(I)及微分(D)三个参数达到预定要求。在这里可以采用传统的方法: 按先简单后复杂、先线性后非线性的原则, 逐一对三个参数进行整定, 并考虑到温度控制系统具有一定的滞

作者简介: 张涛(1978年11月), 男(汉), 籍贯(江苏省徐州市铜山县), 学历或职称: 本科, 从事研究方向: 热控仪表、自动控制、热控保护。

后特性,因此还要设置一个延时时间项(T),使之与被控变量同步变化。在这几种典型的整定方法中,加权平均法具有较好的综合性能,为此可以选择此方法来设计PID控制器<sup>[1]</sup>。

## 二、热控系统性能

### (一)热控系统性能的评价指标

热控系统的性能评价指标通常包括:动态特性、稳态特性和稳态误差。

(1)动态特性。重点是评估系统在各种工作条件下对控制输入变化做出反应的性能,即系统对外部环境变化的快速适应能力。这一评估可以通过控制输出与被控变量之间的相对误差来衡量。误差越小,说明系统的跟踪性能越好,反之则表明系统响应能力较弱。常用的指标有:平均绝对百分比偏差(APC)、均方根偏差(RMSD)、最大超调量等;

(2)稳态性。在对系统进行评价时,主要考察其在实际运行过程中是否会因外部环境的各种干扰因素而导致控制参数发生波动。这些参数的波动,正是系统稳定性的直接体现。通过分析这些波动的特性和大小,可以对系统的稳定性作出评估,进而判断该系统是否能够可靠、稳定地完成既定功能。常用的指标有:超调系数、调节时间、死区及积分常数等;

(3)稳态误差。在进行系统可靠性评估时,关键在于分析系统的输出与实际执行情况之间的相对偏差。这一指标不仅揭示了系统对输入信号的响应是否准确,而且也体现了系统设计和控制策略的有效性。通过对比预设值与实际结果的偏差,可以量化地衡量系统在各种可能条件下的性能稳定性,从而为进一步优化系统设计提供依据。这种相对偏差的大小通常以百分比形式表示,是一个直观而有利的指标,用于确保系统能够按照预期功能稳定运行。常用的指标有:绝对误差、相对误差、总偏差等。

### (二)影响热控系统性能的因素

由于热控系统的性能与其对热量的控制有关,所以影响热控系统性能的主要因素是热流密度、热辐射强度以及空气温度。

#### (1)热流密度

热流密度是指单位面积内的热量,即单位时间内通过单位面积上的热量。在其他条件不变的情况下,若热流密度增大,则意味着换热能力增强,系统的换热效率提高;反之,若热流密度减小,则意味着换热能力减弱,系统的换热效率降低。

#### (2)热辐射强度

热辐射强度,这一物理量的本质在于衡量在特定的空间单位中所受到的辐射能量的总量。它不仅仅是一个简单的数值,而是涉及了许多复杂的因素。首先,物体的材料性质会对其热辐射强度产生显著影响,不同的材料具有不同的热传导率和辐射特性,这些特性决定了物体对热量传递的效率。其次,材料的导热性能越好,以及物体表面能够吸收多少热量,都将直接影响单位空间内热辐射的强度。在实际应用中,通过精确测量和控制热辐射强度,便能有效地调节和优化热控制系统的运行状态,进而提高系统的工作效率,确保设备在各种环境条件下都能保持最佳的性能

表现<sup>[2]</sup>。

#### (3)空气温度

空气温度是指空气中单位体积的热量,它的大小直接影响着热控制系统的冷却效果。因此,为了使热控系统达到最佳的效果,需要根据不同季节、不同地区的实际气温来选择合适的室外换热器和室内风机盘管。

## 三、基于PID控制算法的热控系统性能优化研究

### (一)改进的PID控制算法

PID算法在控制系统中应用非常广泛,但其本身存在着固有的缺陷。传统PID控制算法结构简单、计算量小、鲁棒性强等优点,但是在实际生产过程中会出现很多问题:①由于设定值和实际值偏差过大,导致控制器输出信号震荡,甚至发散;②控制器的超调量太大,影响系统的动态性能;③对外界干扰不够敏感,抗干扰能力差。针对以上问题本文提出了一种基于模型预测控制的PID控制算法。该方法以预测控制理论为基础,并将它与常规PID控制算法相结合,从而弥补了二者的不足之处。具体思路是:首先建立基于神经网络的模糊逻辑控制模型来预测下一时刻的被控变量的变化趋势,然后通过对当前时刻的被控量进行积分运算得到偏差量,再根据偏差大小调整控制参数使系统稳定在期望的范围内。其中,所用到的预测控制模型主要有两个部分组成:第一部分是专家知识表示层,第二部分是规则决策层。

### (二)基于模型的PID控制优化

针对一段锅炉本体的实际运行情况,以保证二次风与燃烧器出口温度呈良好匹配关系为优化目标,设计了一种基于专家经验的模型预测控制算法。该算法首先对系统进行辨识,将输入变量与输出量映射成统一形式的数学模型;然后通过模型预测控制技术得到PID控制器的参数最优解;最后,采用仿真试验验证优化后的PID控制策略的有效性和鲁棒性。在MATLAB/Simulink中建立了一段锅炉的时域仿真模型,并利用PID控制器对锅炉一段炉出口烟温进行闭环调节,进而获得其一阶模型;在此基础上,构建了基于专家模型的PID控制器参数优化模块。在“优化参数”对话框中输入所需的输入输出数据,系统会自动计算出各个控制参数的取值范围,从而确定最优的参数组合<sup>[3]</sup>。

### (三)多变量PID控制在热控系统中的应用

(1)分析热电偶温度检测点的响应时间和精度要求。热电偶检测点响应时间要在20ms以内,并且在5℃范围内满足±1℃的要求,这就需要进行多变量PID控制算法来实现。

(2)在系统运行过程中,将PID控制器设定为2个变量:一是由P型输入量、T型输出量和反馈值组成的控制模型;二是由I型输入量、T型输出量和反馈值组成的控制模型。通过对控制模型的比较与筛选,确定出最优控制模型。

(3)根据热控系统的实际情况,合理设置各项参数,使得控制效果达到最佳。

(4)应用仿真软件建立热控系统的仿真模型,并对其进行动态仿真实验。结果表明,该控制算法可以有效地控制热控系统中

的多个变量,提高了热控系统的控制性能。

#### (四) 抗干扰性能的优化

为提高系统的抗干扰性能,在原 PID 控制算法的基础上增加了一个干扰项。通过实验对比分析可知,干扰项可以有效地抑制由外界因素引起的热控系统不稳定情况。当机组负荷发生变化时,由于热管换热器进口温度与出口温度之间存在一定的滞后现象,因此要对控制对象进行有效的跟踪,在这种情况下引入干扰项能够使得整个系统具有更好的响应能力和快速的调节能力。此外,针对扰动信号的大小,采用不同的积分时间  $\tau$  来对 PID 参数进行整定,从而达到比较理想的优化效果<sup>[4]</sup>。

#### (五) 与其他控制算法的结合应用

(1) PID+ 模糊控制。在传统的 PID 控制算法中,其控制参数是固定的,而且系统响应时间较长,不能达到理想的控制效果,而应用模糊算法就可以对其进行调节,从而实现了 PID 与模糊控制的有机结合。该算法首先建立一个输入输出模型,并根据实际运行状况调整目标值,再利用模糊控制器得到输出量的最佳值,最后通过 PID 算法对输出结果进行修正,实现了动态误差最小化的目的。

(2) PID+ 神经网络控制。由于神经网络具有自适应、自学习的功能,所以将其应用于 PID 控制当中,能够有效改善热控系统的控制性能,使系统的稳定性和可靠性都得到提高。但是目前基于神经网络的热控算法还存在着许多问题,如输入数据不精确等,因此,研究人员应不断完善这方面的技术,进而提高我国电厂的智能化水平。

#### (六) 实时监测与自适应调整

在主风机控制系统中,设置了一种基于神经网络的自适应调节方法。该方法以主风机转速、供氧量为输入信号,利用 BP 神经

网络训练模型,经过训练后获得的模型可以对当前工况下的各项参数进行实时在线监测,并根据监测结果和实际运行状态不断调整优化,从而达到降低能耗提高机组效率的目的。此外,通过对仿真数据的分析可知,在各种运行工况下,该方法都能使机组负荷响应更加平稳,并且能够保证稳定的最低出力和较低的排烟温度,具有一定的工程应用价值<sup>[5]</sup>。

#### (七) 实验验证与结果分析

在采用 PID 控制策略的系统中,其响应速度表现出色,确保了运行过程的稳定性。当外部环境中的温度发生剧烈波动时,该系统的温度波动幅度被有效控制,维持了一个相对较小的范围内。在整个测试过程中,不论是在何种复杂多变的工况下,输出信号与输入信号之间的一致性都得到了很好的保持。这一特性显著增强了热控系统的鲁棒性,使其能够更好地适应各种突发变化,而不会出现明显的性能下滑。此外,通过对 PID 算法的精细调节和优化,该热控系统展现出了良好的自适应性,它能够根据实际情况自动调整参数,从而保证了系统的高效稳定运行。

## 结语

本文对基于 PID 控制算法的热控系统性能优化进行了全面深入的研究。通过对 PID 控制算法原理与参数整定方法的探讨,以及对热控系统性能评价指标和影响因素的分析,提出了多种性能优化方案。然而,热控系统的发展和应用不断变化,未来还需要进一步深入研究和探索,以应对更加复杂和多样化的需求。希望本文的研究成果能够为相关领域的研究人员和工程技术人员提供有益的参考和借鉴,共同推动热控系统性能的不断提升和发展。

## 参考文献

- [1] 屈晓宇, 苏晓峰, 吴守霞. 基于变论域模糊自适应 PID 的供热系统控制策略 [J]. 兰州工业学院学报, 2024, 31(03):59-64.
- [2] 李建伟. 风电叶片模具多点电加热控制算法研究与系统开发 [D]. 山东省: 山东理工大学, 2021.DOI:10.27276/d.cnki.gsdc.2021.000256.
- [3] 杨亮, 秦洪浪. 改进 PID 控制算法的电加热炉炉温控制系统研究 [J]. 工业加热, 2023, 52(10):38-41.DOI:10.3969/j.issn.1002-1639.2023.10.009.
- [4] 李乐, 张佩杰, 宋克非, 等. 基于 PID 自整定算法的高精度滤光片热控系统的设计 [J]. 激光杂志, 2015, 36(03):7-9.DOI:10.14016/j.cnki.jgzz.2015.03.007.
- [5] 宁献文, 张加迅, 赵欣. 卫星单相流体回路热控系统前馈 PID 控制 [J]. 中国空间科学技术, 2008, (04):1-6.