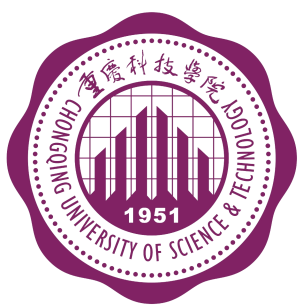
重庆科技学院



**课程设计（论文）**

三号黑体，居中

题 目 基于遗传算法的PID控制器参数自整定法

四号宋体，居中

院 （系） 数理与大数据学院

专业班级 大数据2021-01

学生姓名 孟博文 学号 2006440443

四号宋体，居中

2024年 6 月 20 日

五号宋体，页眉之下有一条下划线

空一行

# 摘 要

小四号宋体

三号黑体，居中

空一行

钇铝石榴石(Y3Al5O12,YAG)具有良好的光学性能，是一种重要的激光基质材料。与YAG单晶相比，YAG多晶陶瓷有多种优势，它可以制备出满足大功率激光器所需的大尺寸样品并实现高浓度的掺杂，因而是目前研究的热点问题。

不同于常规陶瓷，激光陶瓷对成型和烧结工艺都有着严格的要求。本文在前期成功地制备出Nd:YAG纳米粉体的基础上，着重研究了成型工艺和烧结工艺对透明陶瓷光学透过率的影响。

本文采用的粉体原料是共沉淀法制备的平均粒径为20nm的钇铝石榴石纳米粉体，以0.5wt%的正硅酸乙酯为烧结助剂。采用了常规的液压成型和冷等静压成型工艺，发现冷等静压成型明显地较常规压力成型获得更高的收缩率和致密度。在烧结工艺中，本文首先采用了两步真空烧结工艺制备了YAG透明陶瓷，其步骤为：将成型后的素坯在真空炉内首先加热到一个较高的温度(1700～1800℃)，再快速降温至较低温度(1500～1600℃)，并在此较低温度下保温10h。同时，还考察了常规烧结和微波烧结方法。透光率测试表明，真空烧结法更容易获得透明陶瓷，通过本项目的研究成功地制备出了透光率约为52.2%的透明陶瓷。实验结果更进一步说明了，要想获得透光率更高的透明陶瓷，坯体必须在烧结前期获得较高的收缩率，并且尽可能在高真空或还原性的气氛中烧结。

关键词：钇铝石榴石 两步烧结 YAG 透明陶瓷

小四号黑体

Ⅰ

用罗马字母编号号

3～5个，关键词用一个空格分隔，小四号宋体

Times New Roman,三号粗，居中

空一行

# ABSTRACT

Times New Roman 小四号

空一行

Yttrium aluminum garnet (Y3Al5O12，YAG) is an important laser material due to its excellent optical properties. Compared with single crystal YAG, polycrystalline YAG ceramic exhibits many advantages. The predominance of polycrystalline YAG ceramic is that it can be doped with very high concentrations, and it can meet the requirement of high power laser so it is the hot topic today.

Compared with conventional ceramics, laser transparent ceramics have special demand in molding and sintering process. Based on the successful preparation of nano Nd:YAG powder, the thesis focus on the effect of transparent properties to laser ceramics by different molding and sintering method.

The crystal size of Nd:YAG powder was about 20nm, which was made by co-precipitation method, and the 0.5wt% TEOS was used as sintering additive. Compared the conventional molding method, it found that the higher line shrinkage and higher density can be got by the cold isostatic pressure molding method. In the course of sintering process, two-step sintering process at vacuum environment was adopted first. Specific process conditions used in this paper is as follows: the samples were first heated to a higher temperature ranging from 1700℃ to 1800℃，then cooled down to a lower temperature ranging from 1500℃to1600℃, and held at the lower temperature for 10h. Compared with two-step sintering process at vacuum environment, the conventional sintering method and microwave sintering method were used to sinter laser transparent ceramics also. However, only the former method can produce transparent ceramics with transparence of 52.2%. The results farther showed that it is necessary to get enough shrinkage before sintering process, and it is important to sinter at high vacuum or deoxidized environment.

**Keywords:** yttrium aluminum garnet；two-step sintering；YAG；transparent ceramic

Times New Roman,

小四号加粗

Ⅱ

用罗马字母编号

Times New Roman,小四号,

3～5个，用分号分隔

空一行

目 录

三号黑体，居中

空一行

小四号宋体

摘要…………………………………………………………………………………………I

右缩进两个字

ABSTRACT……………………………………………………………………………………………II

1 绪 论……………………………………………………………………………………………………1

1.1展历史透明激光陶瓷的发…………………………………………………………………1

1.2透明陶瓷的影响因素…………………………………………………………………………1

1.3 Nd:YAG激光陶瓷……………………………………………………………………………1

1.3.1 YAG晶体结构…………………………………………………………………………1

1.3.2 YAG的扩散性质…………………………………………………………………………1

1.3.3 Nd:YAG激光陶瓷的优点…………………………………………………………………1

2 激光透明陶瓷的成型与烧结实验………………………………………………………35

3 性能测试与结果讨论……………………………………………………………………38

[4 结论………………………………………………………………………………………40](#_Toc264821404)

……

参考文献………………………………………………………………………………………………50

致 谢………………………………………………………………………………………………51

附录1 原料到成品部分图片………………………………………………………………………52

附录2 在读本科期间参加的科研项目……………………………………………………………53

三号黑体，居中

空一行

# 1 绪 论

空一行

## 透明激光陶瓷的发展历史

空一格

……

## 1.2 透明陶瓷的影响因素

小三号黑体

……

 （1.1）

五号宋体，表格逐章单独编序

……

五号宋体

表1.3 YAG晶体的阳离子扩散系数和阴离子扩散系[35-38]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 离子 | 体积扩散系数 | | 晶界扩散系数 | |
| Ds(m2/s) | Q(kJ/mol) | Dc(m2/s) | Q(kJ/mol) |
| Y3+ | 8.7×10-2 | 565 | 2.1×103 | 530 |
| O2- | 2.6×10-10 | 310 | 1.1×10-3 | 360 |

……

四号黑体

### 1.3.3 Nd:YAG激光陶瓷的优点

右缩进两个字

同单晶相比，Nd:YAG激光透明陶瓷具有以下优点：

① 容易制造

小四号宋体

② 成本低

……

|  |
| --- |
| 常压气氛烧结 |
| 图2.6 烧结曲线  五号宋体 |

1

三号黑体，居中

空一行

参考文献

空一行

五号宋体



[1] 唐卓尧．电气传动的微机控制[M]．重庆：重庆大学出版社 1999

[2] 王兆安．电路电子技术[M]．北京：机械工业出版社 2005

[3] 杨得庆，隋允康，刘正兴，等.应力和位移约束下连续体结构拓扑优化[J]．应用数学和力学，2000,21(1):17-24.

绪论

PID控制器作为最常用的控制器之一，在工业控制系统中有着广泛的应用。其优点是简单易实现，但其性能高度依赖于参数的选择。传统方法中，PID参数的调节通常依赖于经验或试错法，这种方法不仅费时费力，而且对于复杂的非线性系统往往效果不佳。

为了克服传统调参方法的局限性，近年来，越来越多的研究开始探索智能优化算法在PID控制器参数优化中的应用。遗传算法作为一种生物启发式算法，在优化问题中展现出了良好的应用潜力。其模拟了生物进化中的遗传机制，通过不断迭代和交叉变异的过程，能够寻找到问题的较优解。

遗传算法通过建立适应度函数来评估个体的适应性，进而指导下一代个体的生成和选择。在PID控制器参数自整定中，适应度函数可以根据控制系统的响应特性，如稳定性、超调量和响应时间等，来评价参数组的优劣。通过不断优化适应度函数，遗传算法能够有效地搜索到较优的PID参数组合，从而提高控制系统的性能和稳定性。

此外，遗传算法具有并行处理能力强、全局寻优能力强等优点，使其在复杂系统和非线性系统中表现出了比传统方法更为出色的性能。因此，将遗传算法引入PID控制器参数自整定领域，不仅能够提高调参效率，还能够提升控制系统的鲁棒性和适应性，适用于各种工业应用和控制场景。

综上所述，本文旨在探讨基于遗传算法的PID控制器参数自整定方法，通过对遗传算法原理和应用进行深入分析和研究，旨在为工业控制系统的优化提供新的思路和方法。通过对不同算例的实验验证和对比分析，验证遗传算法在PID控制器参数自整定中的有效性和实用性，为工程实践中PID控制器参数调节提供理论支持和实际指导。

关键词：遗传算法 PID控制器 参数自整定

研究背景与现状

PID（Proportional-Integral-Derivative）控制器作为经典的控制算法，在工业控制系统中得到了广泛应用，其简单性和稳定性使其成为控制工程中的重要工具。然而，PID控制器的性能高度依赖于其参数的选择，包括比例增益、积分时间和微分时间，这些参数的不恰当选择可能导致系统响应不稳定、超调量大或者响应时间过长，从而影响控制系统的性能和效果。

传统的PID参数调节方法通常依赖于经验公式或者试错法，这种方法存在以下几个显著的缺点：一是调节过程耗时费力，需要大量的试验和实验；二是难以适应复杂的非线性系统或者时变系统；三是调节结果依赖于操作人员的经验水平，缺乏系统化和科学化的方法。

为了克服传统调参方法的局限性，智能优化算法在PID控制器参数自整定中得到了广泛的关注和应用。遗传算法作为一种典型的生物启发式算法，模拟了生物进化过程中的自然选择和遗传机制。它通过不断的种群演化、交叉和变异操作，寻找最优的参数组合，从而实现对复杂问题的高效求解。

在PID控制器参数自整定中，遗传算法的应用主要体现在如何有效地调节PID控制器的参数，使得控制系统能够在面对不同的工作负载和环境变化时，保持良好的控制性能。通过定义适当的适应度函数，评估每一组参数的优劣，遗传算法能够在多维度的参数空间中搜索到最优解，同时具备较好的全局寻优能力和鲁棒性，适用于各类复杂的工业控制系统。

此外，随着计算能力的提升和算法优化的不断深入，基于遗传算法的PID控制器参数自整定方法在工业应用中展现出了显著的优势和潜力。它不仅能够提高调参效率，降低调试成本，还能够增强控制系统的稳定性、鲁棒性和适应性，适用于多种复杂的控制场景和工程应用中。

因此，本文旨在深入探讨基于遗传算法的PID控制器参数自整定方法，通过理论分析和实验验证，探索其在工业控制系统优化中的实际应用效果，为智能控制领域的研究和工程实践提供理论支持和技术指导。

研究目的与意义

算法介绍

PID控制算法介绍

PID（Proportional-Integral-Derivative）控制算法是一种经典且广泛应用于工业控制系统中的反馈控制算法。它基于对系统当前状态的测量与期望状态的比较，通过调整输出控制信号来实现系统稳定性和性能的优化。典型的PID控制器的数学形式可以用式x表示。

式中包含三项，其分别为：

**比例（Proportional）项**：比例控制器根据当前误差的大小直接调整输出。其作用是使控制器的响应速度与误差大小成正比，这样可以快速响应系统变化，但可能会导致超调和震荡。

**积分（Integral）项**：积分控制器累积误差的历史值，用于消除系统稳态误差。它可以弥补由于比例控制器无法完全消除的静态误差，使系统在稳态下更为精确。

**微分（Derivative）项**：微分控制器根据当前误差变化的速度调整输出。它对误差的瞬时变化率进行响应，能够抑制系统的振荡和提高响应速度，但对测量噪声敏感。

PID控制算法通过合理调节这三个参数（比例增益Kp、积分时间Ti、微分时间Td），即可满足不同系统的控制要求。参数的选择通常依赖于系统的动态特性和稳定性需求，需要通过经验或者系统辨识方法来确定。

遗传算法介绍

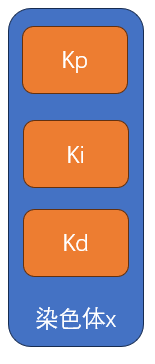
遗传算法（Genetic Algorithm，GA）是一种受生物进化理论启发而发展起来的优化算法，用于解决复杂的搜索和优化问题。它源于达尔文的进化论思想，模拟了生物进化过程中的自然选择、遗传机制和适应度提升的过程。遗传算法通过模拟自然选择和遗传机制来寻找优化问题的最优解。其基本工作原理包括：

1. **种群初始化**：首先随机生成一个初始种群，每个个体（即解）由一组参数（称为基因）表示。
2. **适应度评估**：定义一个适应度函数来评估每个个体的优劣，通常是优化问题的目标函数或者与之相关的性能指标。
3. **选择**：根据每个个体的适应度，选择适应度较高的个体作为下一代种群的父代，采用轮盘赌或者竞争选择等策略进行选择操作。
4. **交叉**：通过交叉操作，将选定的父代个体的基因进行配对交换，生成新的后代个体。
5. **变异**：在新生成的后代个体中，以一定的概率随机改变其基因，引入新的多样性，以防止算法陷入局部最优解。
6. **重复迭代**：重复进行选择、交叉和变异操作，直到达到停止条件（如达到最大迭代次数或者目标适应度）为止。

构建遗传算法-PID参数自整定模型

种群初始化

种群初始化PID控制器具有三个可变参数Kp、Ki、Kd，因此初始种群中应包含三个基因，因此种群中的染色体可用图x表示



图x：染色体上的基因

适应度计算

适应度函数是遗传算法的核心部分，它用来评估每个个体（即一组PID参数）的优劣。对于PID控制器参数优化，适应度函数需要衡量PID控制器在给定系统上的性能。本项目中适应度计算主要分为以下几个部分：

误差计算

误差计算是指PID控制系统中输出值与设定值之间的差异，在本项目中采用误差平方和来评估系统的整体性能，误差平方和越小表明系统的响应越接近目标值。

在时刻的误差可用式x表示

式中：

：为系统设定的目标值

：时刻系统的输出值

那么误差平方和可用式x表示

式中：

：系统的误差平方和

：系统运行时间

：系统在时刻的误差

过冲惩罚

过冲是指系统输出超过设定值的部分。为了避免过冲，我们需要在适应度函数中增加一个惩罚项，当系统温度超过设定值时，该惩罚项会增加。过冲惩罚可用式x表示。

式中：

：为系统设定的目标值

：时刻系统的输出值

参数惩罚

为了避免PID参数过大或过小，我们增加一个基于参数大小的惩罚项。这样可以防止参数过大导致系统不稳定，或者参数过小导致系统响应太慢。参数惩罚可用式x表示。

式中：

：参数惩罚系数

：PID积分系数

：PID微分系数

：PID比例系数

综上所述，本项目中的适应度函数可用式x表示

染色体选择

染色体选择用于在种群中随机选取染色体，用于之后步骤的基因交叉和变异，轮盘赌选择（Roulette Wheel Selection）是遗传算法中的一种常用选择方法，它根据适应度值的大小来选择个体，适应度值越高，被选择的概率就越大，其基本流程如下：

计算种群的总适应度，其公式表示为

式中：

：种群中每个染色体的适应度

计算选择概率，其公式表示为

式中：

：第个个体的适应度

计算累积概率，其公式表示为

式中：

：第个个体被选中的概率

此时我们生成一个随机数满足如下条件：

这时被选中的个体为满足的第一个染色体

模型仿真

构建PID温度控制系统

PID温度控制系统中包含一个加热器和温度传感器。加热器用于接收PID控制器传出的加热信号对物体进行加热，温度传感器用于测量物体的实时温度并作为反馈传入PID控制器中。在时刻，该温度控制系统的温度满足公式：

式中：

为时刻时系统的温度

为系统的输入功率

为系统的加热功率

为被加热物体的热容

为采样时间间隔

该加热系统采用的PID控制器为连续理想型PID控制器，可用公式表示

式中：

：比例增益，与比例度成倒数关系

：积分时间常数

：微分时间常数

：PID控制器的输出

：给定值与测量值的误差

将连续状态的公式进行整理可得

当采集数据的时间间隔为，则在第时刻我们不妨提出如下假设：

误差等于第个周期时刻的误差等于输入值减去输出值，即：

积分环节为所有时刻的误差之和，即：

微分环节为第时刻的误差变化率，即：

那么我们可得到PID的离散形式：

又有 带入上式中有：

最终可化简为：

式中：

：采样序号

：第次的误差

：输出值

：比例常数

根据公式x构建加热系统，定义初始参数为2.0，0.1，1.0，对加热系统进行仿真，得到的实际温度曲线如图x所示



图x：默认参数下仿真结果

使用遗传算法对PID值进行整定