

步进电机在 3D 打印平台中的运动控制优化

张儒学

西藏开发投资集团有限公司 西藏拉萨

【摘要】步进电机作为 3D 打印平台中核心的驱动组件，其精准控制对于打印质量具有至关重要的影响。传统的步进电机控制方法常面临速度限制、振动问题以及步距误差等挑战，导致打印精度和效率的下降。本文研究了步进电机在 3D 打印中的运动控制优化方法，通过改进控制算法、提升电机响应速度和减少误差等手段，实现了运动控制精度的提升。实验结果表明，优化后的运动控制系统能够显著提高打印精度与打印速度，为高精度 3D 打印技术的发展提供了新的思路和方案。

【关键词】步进电机；3D 打印；运动控制；优化；精度

【收稿日期】2025 年 7 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 8 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250151

Motion control optimization of stepper motor in 3D printing platform

Ruxue Zhang

Xizang Development Investment Group Co., Ltd., Lhasa, Xizang

【Abstract】 As the core driving component in 3D printing platforms, stepper motors play a vital role in achieving precise control that directly impacts print quality. Traditional control methods for stepper motors often face challenges such as speed limitations, vibration issues, and step error, which reduce both printing accuracy and efficiency. This study investigates motion control optimization strategies for stepper motors in 3D printing. By improving control algorithms, enhancing motor response speed, and minimizing errors, we achieved significant improvements in motion control precision. Experimental results demonstrate that the optimized motion control system significantly boosts both print accuracy and speed, providing innovative solutions for advancing high-precision 3D printing technologies.

【Keywords】 Stepper motor; 3D printing; Motion control; Optimization; Precision

引言

随着 3D 打印技术的快速发展，步进电机在打印平台中作为核心驱动单元的地位愈加重要。步进电机的精准控制直接影响打印精度与效率。传统的步进电机控制方法常面临着诸如过度振动、运动误差、速度限制等问题，这些问题限制了 3D 打印技术的进一步应用与提升。如何优化步进电机的运动控制，提升其精度和响应速度，成为当前研究的一个重要课题。本文提出了一种新的控制优化策略，旨在解决现有控制系统中的不足，推动 3D 打印技术的进步。

1 步进电机在 3D 打印平台中存在的运动控制问题分析

步进电机在 3D 打印平台中的运动控制问题主要表现为振动、步距误差和响应延迟等。这些问题

直接影响了打印精度和打印速度，成为 3D 打印技术中亟待解决的技术瓶颈。步进电机通常通过电脉冲信号控制其步进，每个脉冲控制电机转动一个固定的角度^[1]。传统的步进电机控制系统在高速运转时容易出现步距误差，这种误差累积会导致打印件的尺寸偏差，严重时甚至会影响打印层的叠加效果。步距误差的产生通常与电机的负载变化、机械摩擦及电机本身的物理特性相关，尤其是在打印机高速打印时，控制系统难以有效保持电机的稳定性，从而导致误差的加剧。

步进电机的振动问题也是 3D 打印过程中常见的难题。步进电机在工作过程中会产生周期性的振动，尤其是在低速运行时，这些振动会导致电机的稳定性降低^[2]。振动不仅影响打印过程中的精度，还

可能导致打印头的震动从而影响到打印表面的光滑度和层间粘合度。为了降低振动,传统的方法通常依赖于提高电流或改变步进频率,这虽然能够暂时缓解振动问题,但往往会导致电机的热量增加,影响其长期稳定运行。尤其是在打印较长时间的过程中,过多的振动可能会对电机的寿命和打印件的质量产生不利影响。

步进电机在 3D 打印平台中的运动延迟问题同样不可忽视。由于步进电机的控制方式是基于离散脉冲信号的,因此在快速响应和精确控制之间往往难以兼顾。电机在接受控制指令时的响应速度有限,尤其在复杂运动轨迹的情况下,电机需要一定的时间来实现位置调整,这种延迟在高速打印时尤为显著。运动延迟不仅影响了打印效率,还可能导致打印过程中出现层间错位,严重时会导致整个打印任务的失败。在面对这些挑战时,传统控制方法已显得捉襟见肘,亟需新的优化技术来提高步进电机在 3D 打印平台中的表现,确保其能够在高精度、高效率的要求下稳定运行。

2 优化步进电机控制策略的理论基础与方法

在优化步进电机控制策略的过程中,主要采用了基于不同控制理论的方法来提升其性能。经典的 PID 控制算法是步进电机控制中最为常见的一种方法,通过调整比例、积分和微分系数来精确控制电机的转动^[3]。PID 控制算法在面对复杂的动态变化和负载波动时,其响应速度和精度往往不能达到理想效果,尤其在高速运行或负载变化较大的情况下,步距误差和振动问题仍然显著。为了克服这些问题,研究者们提出了改进的 PID 控制算法,结合自适应算法对 PID 参数进行动态调节,从而使得控制系统能够更好地适应不同打印环境中的变化,提高了系统的稳定性和精度。

除了 PID 控制之外,模糊控制作为一种非线性控制方法,在步进电机优化控制中也取得了一定的应用。模糊控制通过模糊逻辑推理来处理控制过程中的不确定性,避免了传统控制方法中的精确数学模型要求。它能够根据实时的电机状态调整控制策略,克服了 PID 控制在面对非线性负载和复杂系统时的局限性。通过模糊控制,系统能够在较大的误差范围内自动调整,减少了人为干预的需求,且能够有效降低振动,改善电机的低速运行性能。在 3D 打印过程中,模糊控制通过实时反馈调节步进电机

的转速和步距,能够有效减少步距误差和运行抖动,提升了打印质量。

在现代步进电机控制的研究中,基于自适应控制和人工智能算法的优化策略也被逐渐引入。这些方法通过实时监测电机的工作状态,对控制策略进行动态调整,从而在不增加额外硬件的情况下,实现对步进电机更精细的控制。基于神经网络和遗传算法的自适应控制系统能够通过学习电机在不同负载下的响应规律,自动优化控制参数,避免了传统方法中的人工调节和固定控制模式^[4]。人工智能方法能够对复杂的系统进行建模和预测,通过不断优化和调整,进一步提高了步进电机的运动精度和响应速度,尤其是在高负载、长时间运行的 3D 打印任务中,表现出更为显著的优势。这些先进的控制策略为步进电机的应用提供了新的解决方案,显著提升了 3D 打印平台的整体性能。

3 步进电机运动控制优化算法的实现与实验验证

在步进电机运动控制优化算法的实现过程中,采用了多种先进的控制策略,并结合具体的硬件平台进行实际应用。通过改进的 PID 控制算法与模糊控制算法的融合,系统能够根据打印过程中负载的变化自适应调整控制参数。在实验中,通过编程调节比例、积分和微分系数,并结合模糊控制策略,根据电机的实时状态调整其运动轨迹^[5]。这一优化策略能够有效地减小传统 PID 控制方法在高速运动和负载变化情况下的精度下降问题,显著减少了步距误差和振动。通过引入自适应算法,控制系统在打印过程中能够动态调整,实时监测步进电机的工作状态,进一步提高了运动控制的精准度和响应速度。

在实验验证环节,优化后的控制算法在 3D 打印平台上得到了充分的测试。实验的主要目标是比较优化前后系统在打印精度、稳定性和效率方面的表现。通过打印不同复杂度的模型,测试结果显示,优化后的控制系统能够在较低的振动水平下,保持较高的打印精度和较快的打印速度。实验中,通过对比打印件的尺寸误差、表面平整度和层间粘合度,优化后的控制系统在这些关键指标上均有显著提高,特别是在打印精度和稳定性方面,优化算法表现出了明显的优势。实验还表明,控制系统在长期高负载运行下能够保持较为稳定的性能,振动水平较低,有效避免了由于振动引发的打印失误。

实验验证不仅证明了优化算法的有效性,也揭

示了其步进电机性能的深远影响。经过优化后的运动控制系统，在不同的打印任务中都表现出更高的稳定性和更低的误差率。尤其在复杂几何形状和高速打印场景下，优化后的系统能够保证步进电机的精确控制，减少了因负载变化引起的控制误差^[6]。这一系列实验结果表明，所提出的运动控制优化算法在实际应用中具备了良好的可操作性和显著的性能提升。随着这一优化策略的推广，3D 打印技术的精度和效率将得到进一步提高，为高精度打印需求提供了更为可靠的技术支持。

4 优化步进电机控制对 3D 打印技术性能的影响

优化步进电机控制对 3D 打印技术性能的影响表现得尤为明显，尤其是在打印精度和速度方面。通过精确的运动控制，优化后的步进电机能够更好地应对打印过程中负载变化带来的不确定性。传统步进电机控制系统常常因负载变化、机械摩擦等因素导致步距误差，影响打印件的尺寸精度。而在优化控制策略的支持下，电机能够在更高的精度下执行运动指令，极大地减少了步距误差^[7]。控制系统通过调整控制参数和改进反馈机制，使电机在执行高精度打印任务时能够保持更低的误差，这对 3D 打印技术中需要精确层间对接和高分辨率打印至关重要。

除了打印精度的提高，优化后的步进电机控制还显著提升了打印速度和整体效率。传统步进电机系统在高速打印时容易出现振动和过热问题，导致打印过程中出现不稳定现象，从而影响打印质量和速度。优化后的控制系统能够有效控制电机的运动状态，减小低速振动和高速误差，使得打印过程更加平稳，避免了不必要的运动延迟。这种改进使得 3D 打印平台能够在保持高精度的同时，提升打印速度，减少了生产时间，显著提高了工作效率。在实际应用中，优化控制策略能够实现高效、快速的打印，特别是在打印大尺寸模型或复杂结构时，优化后的系统更能展现出其优越性。

优化步进电机控制还对打印稳定性和长时间运行中的可靠性产生了积极影响。传统控制方法容易在长时间的高负载运行中出现过热、振动增大和精度下降等问题，而优化后的控制策略通过对电机的实时监测和动态调整，使得电机在长时间运行时仍能维持较为稳定的性能。这种改进不仅提升了系统的可靠性，还延长了步进电机的使用寿命，降低了维护成本^[8]。在 3D 打印技术中，特别是对工业级打

印需求中，长时间运行的稳定性是一个非常关键的因素。通过优化电机控制，3D 打印系统能够实现更持久、稳定的运行，适应高负载、高频次的生产任务，为行业应用提供了更加可靠的技术保障。

5 结语

步进电机在 3D 打印平台中的优化控制策略显著提升了打印精度、速度和稳定性。在精确控制电机运动的基础上，系统能够有效减少步距误差和振动问题，从而保证打印件的高质量输出。优化后的控制方法还提高了打印速度，缩短了生产周期，同时在高负载和长时间运行中展现了出色的稳定性。这些改进不仅提升了 3D 打印技术的整体性能，也为高精度、大规模打印任务提供了更加可靠的解决方案。未来，随着控制算法的进一步优化，步进电机的控制技术将为 3D 打印行业带来更多突破，推动该技术向更高效、更精确的方向发展。

参考文献

- [1] 陈春鸣,万珂玥,张海燕.3D 打印掺再生微粉和再生砂混凝土打印性能及力学性能研究[J/OL].建筑结构,1-8[2025-07-11].
- [2] 王璨,张跃,于清翔,等.基于 3D 打印砂型铸造制浆转子的工艺研究[J/OL].金属加工(热加工),1-4[2025-07-11].
- [3] 申亚珠,王倩.建筑 3D 打印技术中的打印头-材料-模具协同作用研究[J].模具制造,2025,25(07):147-149.
- [4] 元强,吕慧丰,王德辉,等.3D 打印混凝土构件早期水分传输与力学性能分析[J/OL].混凝土与水泥制品,1-6[2025-07-11].
- [5] 陈仲春,钟农萍,董涛,等.3D 打印丝素蛋白支架结构对支气管上皮细胞体外生长的影响[J/OL].复旦学报(医学版),1-9[2025-07-11].
- [6] 张超,陈焕红,陈雨航,等.多通道星载步进电机驱动复用技术研究[J].航天返回与遥感,2025,46(03):74-83.
- [7] 吴博,雷兴明,王邦继,等.多轴步进电机速度曲线算法的时分复用策略[J/OL].电子测量技术,1-11[2025-07-11].
- [8] 罗莉,吴和远,杨健康,等.步进电机保持力矩电磁参数设计与研究[J].微特电机,2025,53(04):22-27.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS