智能数控加工系统中深度学习方法在刀具磨损实时监测的应用

李厚亮

沈阳海泰科里德智能装备制造有限公司　辽宁沈阳

【摘要】智能数控加工系统中，刀具磨损监测对保障加工质量和效率至关重要。传统监测方法存在精度低、实时性差等局限，难以满足现代高效加工需求。深度学习技术凭借强大的特征提取和模式识别能力，为刀具磨损监测提供了新思路。通过构建深度学习模型，结合多源数据训练与验证，可实现高精度实时监测，显著提升加工过程的智能化水平。未来，随着技术的不断发展，深度学习在刀具磨损监测中的应用将更加广泛，有望进一步推动制造业的智能化转型。

【关键词】深度学习；智能数控加工；刀具磨损；实时监测；模型优化

【收稿日期】2025 年 3 月 9 日　　【出刊日期】2025 年 4 月 9 日　　【DOI】10.12208/j.jer.20250186

The application of deep learning methods in Real-Time tool wear monitoring in intelligent CNC machining systems

Houliang Li

Shenyang Haitai Kelide Intelligent Equipment Manufacturing Co., Ltd, Shenyang, Liaoning

【**Abstract**】In intelligent CNC machining systems, tool wear monitoring is crucial for ensuring machining quality and efficiency. Traditional monitoring methods suffer from limitations such as low accuracy and poor real-time performance, which fail to meet the demands of modern high-efficiency machining. Deep learning technology, with its powerful feature extraction and pattern recognition capabilities, offers new approaches for tool wear monitoring. By constructing deep learning models and validating them with multi-source data training, high-precision real-time monitoring can be achieved, significantly enhancing the intelligence level of the machining process. In the future, as technology continues to advance, the application of deep learning in tool wear monitoring will become more widespread, and is expected to further promote the intelligent transformation of the manufacturing industry.

【**Keywords**】Deep learning; Intelligent CNC machining; Tool wear; Real-Time monitoring; Model optimization

引言

刀具磨损直接影响加工质量和生产效率，而传统监测方法因精度不足和实时性差等问题，难以满足现代加工需求。随着深度学习技术的兴起，其在特征提取和模式识别方面的优势为刀具磨损监测带来了新的机遇。通过构建基于深度学习的实时监测模型，结合多源数据处理和优化算法，能够显著提升监测精度和实时性。这一技术的探索和应用，不仅有助于提高加工效率和质量，还将推动智能数控加工系统向更高水平的智能化发展。

1 智能数控加工系统中刀具磨损监测现状与挑战

在智能数控加工系统中，刀具磨损监测是确保加工质量和生产效率的关键环节。随着制造业的不断发展，对加工精度和效率的要求越来越高，刀具磨损监测技术的重要性日益凸显。然而，目前的监测技术仍面临诸多挑战。传统的刀具磨损监测方法主要依赖于人工检测和简单的传感器技术。人工检测通常通过操作人员的目视检查或使用简单的测量工具来评估刀具磨损情况。这种方法不仅效率低下，而且容易受到人为因素的影响，导致检测结果的准确性和一致性较差。人工检测无法实现实时监测，难以及时发现刀具磨损对加工过程的影响，从而可能导致加工质量下降或设备故障。

传感器技术在刀具磨损监测中也得到了广泛应用，但同样存在局限性。常见的传感器包括声发射传感器、振动传感器和电流传感器等。声发射传感器通过捕捉刀具与工件接触时产生的声波信号来判断刀具磨损状态，但其对环境噪声较为敏感，容易受到加工车间内其他设备的干扰。振动传感器则通过监测刀具和机床的

振动信号来分析刀具磨损情况，然而振动信号的复杂性使得信号处理难度较大，且不同刀具和加工条件下的振动特征差异较大，难以建立统一的监测模型。电流传感器通过监测主轴电机的电流变化来推断刀具磨损，但这种方法对刀具磨损的敏感度较低，难以在刀具磨损初期及时发现异常。

随着数控加工技术的不断进步，加工过程的自动化和智能化水平显著提高，对刀具磨损监测的精度和实时性提出了更高要求。现代数控加工系统多采用高速切削和复杂工艺，刀具磨损速度加快且特征复杂。传统监测方法难以满足需求，尤其是在高速切削时，刀具与工件接触时间短，早期磨损特征捕捉困难[1]。一旦刀具磨损进入晚期，可能导致加工质量下降、尺寸超差甚至刀具断裂，造成严重损失。智能数控加工系统中刀具磨损监测还面临数据处理和分析的挑战。传感器采集的信号常含大量噪声和干扰，需有效处理和特征提取才能用于磨损状态判断。传统信号处理方法对复杂特征处理能力不足，导致监测精度受限。

2 深度学习方法在刀具磨损监测中的应用探索

深度学习作为人工智能领域的重要分支，近年来在众多领域展现出强大的应用潜力，其在智能数控加工系统中刀具磨损监测的应用也逐渐受到关注。深度学习方法通过构建多层神经网络模型，能够自动从大量数据中学习复杂的特征和模式，这为解决传统刀具磨损监测方法所面临的诸多难题提供了新的思路。在刀具磨损监测中，深度学习方法的核心优势在于其强大的特征提取能力。

传统的监测方法往往依赖于人工设计的特征，这些特征在面对复杂的加工环境和多变的刀具磨损模式时，难以准确地反映刀具的实际磨损状态。而深度学习模型，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN），能够自动从原始信号中提取出更具代表性和区分性的特征。例如，CNN 可以通过卷积层和池化层逐步提取信号中的局部特征和全局特征，从而更好地捕捉刀具磨损过程中的细微变化；RNN 则能够处理时间序列数据，有效利用刀具磨损过程中的动态信息，为实时监测提供了有力支持。深度学习方法在刀具磨损监测中的应用还体现在其对复杂数据的处理能力上[2]。在智能数控加工系统中，刀具磨损监测通常需要处理来自多个传感器的多源数据，这些数据不仅包含刀具磨损的有用信息，还夹杂着大量的噪声和干扰。

深度学习模型能够通过数据预处理、特征学习和模型训练等环节，有效地从这些复杂数据中提取出与刀具磨损相关的特征，从而提高监测的准确性和可靠性。深度学习方法可通过迁移学习等技术，将已有知识和经验应用于新的刀具磨损监测任务，减少所需样本量，提升模型泛化能力。然而，其在实际应用中仍面临诸多挑战。一方面，深度学习模型训练需大量标注数据，但刀具磨损监测领域获取高质量标注数据困难；另一方面，模型计算复杂度高，对硬件资源需求大，限制了其在实际生产中的应用。不过，随着硬件技术进步和数据获取手段丰富，这些问题正逐步解决。数据增强技术可生成更多训练样本，缓解数据不足；硬件加速技术如 GPU 和 FPGA 的应用，能显著提升模型训练和推理速度，使其更适于实时监测任务。

3 基于深度学习的刀具磨损实时监测模型构建与验证

构建基于深度学习的刀具磨损实时监测模型是实现高效、精准监测的关键步骤。这一过程涉及数据采集、预处理、模型选择与训练以及验证等多个环节，每个环节都对最终监测效果有着重要影响。数据采集是模型构建的基础。在智能数控加工系统中，通过多种传感器收集与刀具磨损相关的数据，包括振动信号、声发射信号、电流信号等。这些数据能够从不同角度反映刀具的磨损状态，为模型提供丰富的信息。

然而，采集到的原始数据往往含有噪声和冗余信息，需要进行预处理以提高数据质量。预处理方法包括滤波、归一化、特征提取等，通过这些步骤能够去除无关信息，突出与刀具磨损相关的特征，为模型训练提供更有效的输入。模型选择是构建监测系统的核心环节[3]。针对刀具磨损监测的特点，选择合适的深度学习模型至关重要。卷积神经网络（CNN）因其在处理图像和信号数据时的强大能力，被广泛应用于刀具磨损监测。CNN 能够自动提取信号中的局部特征，通过多层卷积和池化操作，逐步构建出对刀具磨损敏感的特征表示。循环神经网络（RNN）及其变体长短期记忆网络（LSTM）和门控循环单元（GRU）在处理时间序列数据方面具有优势，能够有效利用刀具磨损过程中的动态信息，为实时监测提供支持。

在实际应用中，还可以将 CNN 与 RNN 结合，构建混合模型，以充分利用两者的优势，提高监测精度。模型训练是实现深度学习模型性能提升的关键过程。通过使用大量标注好的刀具磨损数据对模型进行训练，使其能够学习到刀具磨损状态与传感器信号之间的映射关系。训练过程中，采用优化算法如随机梯度下降（SGD）或 Adam 优化器，通过反向传播调整模型参

数，以最小化预测误差。为了避免模型过拟合，可以采用正则化技术、数据增强等方法，提高模型的泛化能力。在训练完成后，还需要对模型进行验证，以评估其性能和可靠性。模型验证是确保监测系统有效性的关键环节。

4 深度学习监测方法的效果评估与未来展望

深度学习监测方法在智能数控加工系统中的应用，已经展现出显著的性能优势。在效果评估方面，通过对比传统监测方法，深度学习方法在监测精度和实时性上都取得了突破。传统方法往往受限于人工特征提取的局限性和对复杂信号处理能力的不足，而深度学习模型能够自动学习复杂的特征表示，从而更准确地识别刀具磨损状态。在实时性方面，深度学习模型通过优化算法和硬件加速技术，能够在加工过程中快速做出预测，及时发现刀具磨损的早期迹象，减少因刀具磨损导致的加工质量问题和设备故障。

在实际应用中，深度学习监测方法的效果还体现在其对不同加工条件的适应性上。通过迁移学习和模型微调，深度学习模型能够快速适应新的加工任务和刀具类型，减少了模型重新训练的时间和成本。深度学习模型的可扩展性使其能够整合多种传感器数据，进一步提高监测的准确性和可靠性。这种多源数据融合的能力，为构建更加智能化的数控加工系统提供了可能。未来，深度学习监测方法在智能数控加工系统中的应用前景广阔。

随着深度学习技术的不断发展，模型的性能和效率将进一步提升。一方面，新的深度学习架构和优化算法将不断涌现，为提高监测精度和实时性提供更强大的技术支持。另一方面，硬件技术的进步，如更高效的计算芯片和更先进的传感器，将为深度学习模型的实时应用提供更好的硬件基础[4-8]。随着工业物联网的发展，深度学习监测方法将能够更好地融入智能制造生态系统，实现对加工过程的全面监控和优化。未来的研究方向将集中在提高深度学习模型的可解释性和鲁棒性上。目前，深度学习模型的决策过程相对复杂，难以直观理解，这在一定程度上限制了其在工业领域的广泛应用。开发能够解释模型决策过程的技术，将有助于提高工业用户对深度学习方法的信任度。

5 结语

智能数控加工系统中刀具磨损监测技术的研究与应用，是推动制造业高质量发展的关键环节。从传统监测方法的局限性，到深度学习方法的创新应用，再到基于深度学习的实时监测模型构建与验证，这一过程展现了技术的不断进步与突破。深度学习方法凭借其强大的特征提取能力和对复杂数据的处理优势，显著提升了刀具磨损监测的精度和实时性，为智能数控加工系统的高效运行提供了有力支持。

参考文献

[1] CIMT2025 数控系统展品预览[J].金属加工(冷加工),2025,(02):42-44.

[2] 姚玉保,赵剑波.航空制造智能化技术与装备的探讨[J].中国战略新兴产业,2025,(03):101-103.

[3] 王化成,房海波,张洪岩,等.基于 BIM 的数字化智能加工技术研究[J].建筑施工,2024,46(12):2033-2036.

[4] 张丽丽,赵科学,陶林.多轴加工编程技术与智能机床[M].化学工业出版社:202406.219.

[5] 李芸.智能制造技术在数控加工中的应用[J].农业工程与装备,2024,51(02):13-15.

[6] 于杰,韩伟娜,李志杰.智能数控机床与编程[M].化学工业出版社:202404.298.

[7] 乐俊,王崇宵,彭卫,等.智能钢筋数控集中加工中心在白云机场中的应用[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2023 年全国土木工程施工技术交流会论文集（下册）.中建三局集团有限公司;广东省机场管理集团有限公司;,2023:239-242.

[8] 卜海阔.智能数控钢筋加工设备在工程施工中的应用[J].工程技术研究,2023,8(24):101-103.

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/