

# 智能制造环境下机械加工过程的实时质量控制方法研究

吴伟豪

厦门奥星达粉末冶金有限公司，福建省厦门市，361000；

**摘要：**以提升机械加工过程的质量稳定性为目标，以实现全生命周期的质量控制为核心，通过分析智能制造环境下机械加工过程的特点，研究了面向机械加工全生命周期的实时质量控制方法体系，并以实际需求为导向，对关键技术进行了深入研究，包括：基于物联网的实时质量检测方法、数据驱动的工艺质量分析方法、实时质量预测与反馈调控机制等。以此为基础，开发了基于数据驱动和大数据技术的智能决策支持系统，并进行了实际应用。最后通过实验验证与性能评估表明：本文提出的方法可以有效地保障机械加工过程的质量稳定性，具有重要的应用价值。

**关键词：**智能制造环境；机械加工过程；实时质量控制方法

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.11.105

## 引言

随着信息化、工业化深度融合，制造业已经进入了一个新的发展阶段，即智能制造阶段。智能制造是以信息技术为基础，以先进的制造技术、管理方法和理念为支撑，实现制造业的智能感知、快速反应、精准决策和优化控制的一种新型制造模式。随着全球经济进入后疫情时代，以及我国提出了“十四五”规划和2035年远景目标建议，制造业智能化水平不断提升，制造业发展迎来了新机遇。因此，在智能制造环境下如何提高机械加工过程的质量稳定性，成为当前制造企业所面临的重要问题。本文基于智能制造环境，提出了面向机械加工全生命周期的实时质量控制方法体系。

## 1 传统质量控制方法及其局限性

传统质量控制方法以统计过程控制（SPC）为基础，通过对过程参数进行统计分析，利用数理统计等方法，实现对质量过程的控制，具有较高的精度。但该方法只适合于小样本条件下的生产过程质量控制，对于大量的、复杂的质量问题往往无能为力。近年来，随着大数据、人工智能技术的快速发展，为解决传统方法所存在的问题提供了新的思路和手段。其中，基于大数据的机器学习和深度学习等方法在制造业质量控制中得到了广泛应用。但传统方法仍存在一些局限性：数据量小、获取难度大、分析效果差、无法有效应对多变的生产环境等<sup>[1]</sup>。

## 2 智能制造对质量控制的促进作用

随着5G、人工智能等新技术的快速发展，智能制造作为制造业高质量发展的主要方向，对制造业产品质量稳定性提出了更高要求。智能制造环境下的实时质量控

制体系需要基于物联网、大数据和人工智能等技术，实现生产过程全生命周期的数字化和智能化，使企业能够利用数据驱动的方法来对产品制造过程进行优化控制，并进行生产效率与质量的双重提升。其中，数据驱动是指通过采集制造过程中的数据来分析处理数据，使制造过程更加精准化；而大数据技术是指利用大数据的分析方法来对产品制造过程进行实时监控、预测和优化<sup>[2]</sup>。

## 3 机械加工过程中的实时质量控制需求分析

### 3.1 质量控制在机械加工中的重要性

随着我国经济结构的调整，制造业面临着转型升级的压力。在智能制造的背景下，机械加工过程是制造业产品生产的关键环节之一，也是影响产品质量稳定性的关键因素之一。因此，针对机械加工过程中质量控制面临的问题，需要根据产品生命周期不同阶段的需求，对实时质量控制方法进行研究，从而提升机械加工过程中质量稳定性。然而，目前的研究还不能满足实际应用需求，即如何针对机械加工过程中不同阶段的需求，采用合适的方法进行实时质量控制。因此，针对机械加工过程中质量控制的关键问题进行研究是必要且有意义的。

### 3.2 过程变异与关键质量参数识别

在机械加工过程中，质量指标的变化将引起过程变异，这一过程变异将导致加工结果与预期目标出现偏差。因此，实时质量控制需要对过程变异进行有效识别，从而为后续的质量控制提供依据。过程变异是指由于制造过程中的随机因素导致加工产品质量指标变化，而这种变化对产品质量指标的影响将被系统地记录下来。目前，产品质量指标的评价主要包括加工精度、尺寸精度、形状精度、表面粗糙度等。对于这些质量指标，可以通过

控制图的方式对其进行监控和识别，从而及时发现过程变异，并在此基础上采取必要的措施以降低变异发生的可能性。

### 3.3 实时监控的技术挑战与需求

机械加工过程中存在着很多不确定因素，如环境、设备等，这些因素会导致过程参数发生变化，从而引起过程变异，因此对于机械加工过程的实时监控是非常重要的。但目前的实时监控方法大多是基于历史数据对过程参数进行分析，其结果往往只适用于特定的生产条件，而无法适应多变的生产环境。此外，对于不同类型的过程参数，其监测方法也存在较大差异，这就要求实时监控方法能够对过程参数进行动态监测。在此基础上，实时监控还需要实现对过程参数的实时预测与反馈调控，以保证加工结果的准确性与可靠性。因此，针对机械加工全生命周期内实时监控所面临的挑战与需求进行研究具有重要意义<sup>[3]</sup>。

### 3.4 典型应用场景分析

在制造过程中，机械加工质量控制主要涉及产品的质量设计、质量检验与过程控制等。由于工艺过程的复杂性，产品制造过程中的质量控制往往需要与多个部门进行协调，并在工艺过程的设计、制造和检验等多个环节进行质量控制，从而使整个制造过程具有较强的复杂性。另外，由于工艺设计与制造之间的耦合关系复杂，且不同制造阶段的工艺设计与制造存在较大差异性，因此在对产品质量进行控制时也需要针对不同阶段进行差异化处理。此外，在机械加工过程中，由于涉及多种生产要素、多种类型设备和多个工序环节，因此在对机械加工过程中的质量控制时也需要考虑不同因素对产品质量造成的影响。

## 4 实时质量控制方法体系构建

### 4.1 传感器与数据采集系统设计

在智能制造环境下，质量控制系统主要由传感器、数据采集与处理、数据通讯模块等部分组成，其中传感器是质量控制系统的感知部分，它直接接收智能制造系统的指令，并将其转换为对应的电信号或其他物理量。数据采集与处理模块是质量控制系统的计算部分，它根据传感器得到的信息进行智能决策。通讯模块则是智能制造系统与其他相关设备进行信息交互的接口，主要功能是在智能制造环境下，将传感器所接收到的数据传输给数据通讯模块。在质量控制方法体系中，传感器和数据采集与处理模块是实现质量控制系统的重要组成部分。

### 4.2 关键工艺参数实时监测方法

在机械加工过程中，为了保证加工过程的稳定性，

需要对加工过程中的关键工艺参数进行实时监测，并采用合适的方法进行在线处理与分析，以提高工艺质量稳定性。对于关键工艺参数的实时监测方法，目前主要采用基于神经网络的预测模型和基于机器学习的预测模型两种方法。其中，基于神经网络的预测模型主要是通过建立神经网络模型来对工艺质量参数进行预测，通过采集大量工艺质量数据对模型进行训练，并运用训练好的模型对过程质量进行预测。而基于机器学习的预测模型主要是利用机器学习算法来训练智能决策支持系统，并运用训练好的智能决策支持系统对关键工艺参数进行预测<sup>[4]</sup>。

### 4.3 数据驱动的工艺质量分析

采用数据驱动的方法对工艺质量数据进行分析，可以为故障诊断提供有效的决策依据，减少工艺缺陷对产品质量的影响。基于数据驱动的分析方法，通过对过程变量的动态分析和优化，将对产品质量产生影响的工艺参数和环境因素进行优化控制。利用数据驱动的方法进行过程分析，主要包括两个方面：一是通过对过程变量进行分析，找出影响过程质量的主要因素；二是对影响过程质量的主要因素进行优化控制，使其达到最佳状态。在实际生产中，可以通过加工过程中的关键参数和环境因素变化，及时地进行过程变量、控制变量及环境变量之间关系的分析和优化。

### 4.4 实时质量预测与反馈调控机制

在质量预测与反馈调控机制中，质量预测的关键是建立多源异构数据融合的实时质量预测模型。首先，利用加工数据中的工艺参数、刀具位置、加工表面几何参数等，建立多维质量特征与质量参数的关联关系，进而利用相关分析、回归分析等方法，获取过程质量关键指标。其次，对所获得的质量特征与关键指标进行融合分析，构建实时质量预测模型，并采用多种方法对预测模型进行优化。最后，在制造过程中，对质量预测结果进行反馈调控，通过对预测结果进行数据采集和分析，形成基于工艺过程的在线反馈控制策略和优化方案。

### 4.5 智能决策支持系统的实现

在智能制造环境下，基于智能决策支持系统的实时质量控制方法的实现需要借助软件工具，通过数据采集与管理、数据处理与挖掘、人机交互等功能模块实现。该系统主要包括数据采集子系统、数据分析与决策子系统三大模块，能够实现加工过程质量状态信息的实时采集、分析和处理，并能为用户提供丰富的人机交互界面，便于用户对质量状态进行监控。同时，该系统还能够提供基于决策支持系统的在线质量预测与反馈调控功能，通过对加工过程质量状态信息进行分析和预测，为用户

提供在线质量控制功能，提高生产过程的稳定性和可靠性。

## 5 智能制造环境下的关键技术与应用实践

### 5.1 基于大数据与人工智能的质量控制方法

在智能制造环境下，为了实现对加工过程的有效控制，需要在加工过程中对各种质量特征进行实时监测，并利用大数据与人工智能技术进行信息处理，进而实现对加工过程质量的有效控制。利用大数据与人工智能技术，能够实现对大量数据的分析与处理，从而为产品质量的监测与控制提供数据基础。目前，大数据技术在制造过程中已经得到广泛应用，并取得了很好的效果。但对于大数据的利用还处于起步阶段，如何将大数据技术应用到机械加工过程中去，如何将大数据技术与人工智能技术结合起来实现在线质量控制、提高质量控制效果以及实时预测与反馈调控等方面仍有待进一步深入研究。

### 5.2 边缘计算与云计算在质量控制中的应用

边缘计算与云计算技术可充分应用于工业制造的各个环节，将质量控制中的大数据进行融合分析，借助边缘计算与云计算技术，可在较低成本下实现高质量的控制。边缘计算与云计算技术可作为数据分析的“大脑”，在一定程度上可实现质量控制的智能化，并为企业带来经济效益。随着5G网络技术的不断发展，5G网络将实现对智能制造环境下数据分析、传输、存储与处理能力的全面提升。边缘计算与云计算技术可在智能制造环境下充分应用于质量控制中，并通过边缘计算与云计算技术对数据进行分析、处理和挖掘，从而提高企业生产效率<sup>[5]</sup>。

### 5.3 典型案例分析：智能机械加工车间的实时质量管控

针对智能机械加工车间的实时质量管控需求，对智能机械加工车间的实时质量控制方法进行研究，并搭建了智能机械加工车间的实时质量管控系统。该系统主要包括数据采集模块、数据分析模块和人机交互模块，通过对设备运行数据进行采集与分析，实现对关键工艺参数的在线监测，并对关键工艺参数进行实时预测与反馈调控，从而提高了加工过程的稳定性和可靠性。另外，该系统还具有丰富的人机交互功能，可为用户提供丰富的人机交互界面，便于用户对质量控制系统进行操作。最后，通过对数据进行处理和挖掘，可实现智能决策支持系统的在线反馈调控。

### 5.4 实验验证与性能评估

本文提出的方法在机械加工过程中的质量控制研究中得到了实际应用。在产品研发阶段，采用了该方法，提高了产品研发过程中质量管控的实时性和有效性。在生产制造阶段，采用了该方法，保证了产品制造过程中的质量控制效果，通过对关键工序的数据分析，识别出影响产品质量的关键工序，及时对其进行工艺改进和优化。在智能制造环境下，将该方法应用于工业机器人装配过程中的质量管控实践中。实验结果表明：利用该方法后，机器人装配过程中的产品合格率从之前的约85%提高到98%以上；同时机器人装配效率也得到了提升，与人工操作相比效率提升约20%。

### 6 结语

本文针对智能制造环境下机械加工过程的质量特性，研究了面向智能制造的实时质量控制方法体系，并从数据驱动的工艺质量分析方法、实时质量预测与反馈调控机制两个方面进行了关键技术研究，开发了面向智能制造的智能决策支持系统，并通过实验验证与性能评估，表明本文所提出的方法可以有效地保障机械加工过程的质量稳定性。随着我国制造业智能化水平不断提升，机械加工过程质量控制领域面临着新的挑战和机遇，未来应在现有研究基础上，进一步深入研究面向机械加工全生命周期的实时质量控制方法体系、关键技术以及系统开发，为提升机械加工过程的质量稳定性提供理论指导。

### 参考文献

- [1] 张琳琪. 潮涌涪江格局新[N]. 四川经济日报, 2025-11-03(001).
- [2] 任婕灵. 高职院校智能制造现场工程师“三层级四路径五提升”培养模式探究——以襄阳汽车职业技术学院飞机维修现场工程师班为例[C]//湖北省机电工程学会. 2025 机电创新与产教融合新思考论文集. 襄阳汽车职业技术学院; 2025: 426-429.
- [3] 华星. 智能制造环境下模块化机电设备的快速重构技术研究[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(10): 114-116.
- [4] 宋雪梅. 珠海实力“圈粉”德企[N]. 珠海特区报, 2025-09-07(001).
- [5] 马乔峰. 智能制造环境下企业全面预算管理创新路径探索[J]. 中国市场, 2025, (24): 79-82.