

复杂工件数控加工技术及其优化措施研究

王金 张轩
河北科技学院

DOI:10.12238/jpm.v6i4.7933

[摘要] 针对具有高工艺复杂度和结构不均衡特征的复杂工件，其加工过程面临较大挑战。为确保加工质量，引入数控加工技术成为必要，该技术通过其技术优势显著提升复杂工件的加工质量和效率。基于此，本文选取数控加工技术作为研究主题，首先从适用性和加工精度两个维度探讨数控加工技术的优势所在，随后介绍针对复杂工件的三种数控加工识别技术，包括圆角特征识别、倒角特征识别以及孔特征识别，并最终提出针对复杂工件数控加工技术应用的优化策略，旨在为相关领域的从业者提供理论参考和实践指导。

[关键词] 复杂工件；数控加工技术；识别技术；优化措施

Study on CNC machining technology and its optimization measures

Wang Jin Zhang Xuan

Hebei University of Science and Technology

[Abstract] For complex workpieces with high process complexity and unbalanced structure characteristics, their processing process faces great challenges. In order to ensure the processing quality, it is necessary to introduce numerical control machining technology, which significantly improves the processing quality and efficiency of complex workpiece through its technical advantages. Based on this, this paper selects CNC machining technology as a research topic, first from the applicability and machining precision two dimensions into the advantages of CNC machining technology, then introduce three kinds of CNC machining identification technology for complex artifacts, including rounded feature identification, chamfer feature identification, and hole feature identification, and finally put forward for the application of complex artifacts CNC machining technology optimization strategy, aims to provide theoretical reference and practical guidance.

[Key words] complex workpiece; numerical control machining technology; identification technology and optimization measures

在当今这个工业制造产业迅猛发展的时代背景下，对于复杂工件的加工要求也在不断地提高。传统的加工技术主要依赖于手工加工和半自动化加工模式，这些方法在加工精度控制方面效果并不理想，往往无法满足复杂工件对于加工质量的高标准要求。然而，数控加工技术以其高度的自动化特性，不仅显著提升了复杂工件的加工质量和效率，而且还能有效节约资源。因此，针对复杂工件的具体情况，制定一套系统性的数控加工方案显得尤为重要。这包括选择合适的刀具，持续优化刀具路径设计，以及不断强化数控加工技术的应用效果，最终目的是为了进一步提升复杂工件的加工质量。

为了实现这一目标，制造企业需要对数控加工技术进行深

入研究和应用。首先，企业应投资于先进的数控机床和相关设备，这些设备能够提供更高的加工精度和重复性。其次，对操作人员进行专业培训，确保他们能够熟练掌握数控机床的操作和编程，这对于提高加工效率和减少错误至关重要。此外，采用计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）软件，可以进一步优化设计和加工过程，减少设计到成品的时间，提高整体生产效率。

1 数控加工技术的优势

1.1 适应性强

在现代工业发展背景下，产品呈现多元化发展趋势。不同产品的加工生产要求不同，生产参数也不一致，故而传统的生

产技术难以满足生产要求，还会降

低产品的生产质量。相较于传统的机械加工技术，数控加工技术应用优势明显，具有适应性强的特点，适用于多种复杂工件的生产加工，企业加工人员只需按照复杂工件的生产要求编制适配程序，即可开展复杂工件的数控加工工作[1]。在生产期间，采用数控加工技术能够快速调整复杂工件的加工参数，借助自动化

工作台、工具库等配套设施满足不同类型的机械产品生产需求。同时，采用数控加工技术可以实现自动换刀、自动换夹具等功能，有助于提高复杂工件的生产效率。

1.2 加工精度高

应用数控加工技术的加工过程是一个自动化的生产加工过程，操作人员只需在系统中输入固定的程序和参数，数控机床便可通过预先编写好的程序高质量完成复杂工件的加工工作，并精准控制工件的尺寸、形状、表面质量等，从而减少人为升了机械数控加工的精准性和稳定性，减少了机械加工期间的热形变和振动问题，提高了数控加工精度[2]。另外，采用数控加工技术可以通过传感器和监控系统实时监测机械运行状态，获取设备运行数据，并及时将数据反馈给技术人员，便于技术人员调整和修正加工参数，减小复杂工件加工期间出现的参数误差。

2 复杂工件数控加工识别技术

基于复杂工件的加工特点，在应用数控加工技术前，需要对复杂工件进行特征识别，将其与其他工件

进行区分。目前，我国复杂工件数控加工识别主要有圆角特征识别、倒角特征识别和孔特征识别。

2.1 圆角特征识别

圆角特征识别的作用是提升复杂工件的力学性能，避免其在数控加工期间发生快速变形。圆角特征分为倒角圆角、凹圆角、凸圆角 3 种类型，不同类型圆角特征的力学性能存在明显差异。要想改善复杂工件圆角特征的识别效果，需要从工件整体入手，全面分析复杂工件模型的面以及面法线方向，通过数据分析判断面是否为单向面。确定面为单向面后，需要及时开展非平面识别，分析复杂工件是否有光滑边。如果存在光滑边，则对复杂工件面进行不平衡识别，若不满足相关条件，则判断该复杂工件不符合圆角特征。

2.2 倒角特征识别

倒角特征主要分为平面倒角和斜面倒角这两种类型。从力学性能的角度来看，倒角特征能够有效地减少复杂工件的应力集中问题，从而切实提升其疲劳强度。倒角特征的识别过程与圆角特征的识别过程基本相同，但区别在于需要针对倒角特征进行单独的识别，识别过程中不包含光滑边的面，并计算该面的长宽比，通常这个比值在 5 以内。

在倒角特征识别的过程中，还需要计算倒角特征面与相邻面的夹角，这个夹角通常被控制在 60° 到 120° 之间。通过这样的识别和计算，可以确保倒角特征的准确识别，进而对工件的结构强度和使用寿命产生积极的影响。

2.3 孔特征识别

在复杂工件数控加工期间，孔特征识别非常关键，能够进一步确定孔加工的形状、大小、角度等。复杂工件孔形状特征可以利用圆弧度、圆度、偏心率来表示。圆弧度与圆度的计算公式分别为。

$$C = \frac{4\pi A}{P^2}$$
$$e = \frac{P - d_{\min}}{P}$$

式中：C 为圆弧度；A 为孔面积；P 为孔圆周长 e 为圆度；dmin 为孔内切圆直径。通过计算判断该复杂工件是否具备孔的形状特征

3 复杂工件数控加工技术应用的优化措施

3.1 数控编程

数控编程是实现复杂工件数控加工的关键步骤，它主要分为手工编程和自动编程这两种不同的方法。手工编程要求编程人员不仅要有深厚的数控加工知识底蕴，还必须具备相当高的编程技能和经验。这种编程方式通常涉及到对工件的尺寸、形状和加工路径进行精确计算，然后将这些信息转换成数控机床能够理解的代码。另一方面，自动编程则依赖于先进的计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）软件，这些软件通过图形用户界面和用户输入的参数，能够自动地生成数控机床所需的程序代码。在自动编程过程中，首先需要根据复杂工件的详细图样，将其转换为一系列的数据参数，然后这些数据参数会被数控机床解读为具体的指令。这些指令通过数控机床的控制系统下达，控制刀具移动到指定的位置，并按照预定的轨迹进行加工，最终完成复杂工件的数控加工任务。在数控编程完成后，接下来就是数控加工程序的编制阶段。为了确保程序编制能够达到复杂工件加工的质量和效率标准，企业通常会组织操作人员、技术人员和管理人员共同参与，他们需要建立一个精确的主轴空间平面与工件空间平面坐标系。在这个坐标系的基础上，科学地设计刀具在两个平面上的位置，同时做好加工过程中的精度控制，以确保加工出的工件能够满足设计要求和质量标准。

3.2 选择适合的数控机床

数控机床是数控加工技术的控制部件，分为硬件和软件。其中：硬件包括数控装置、传感器等，通过协同工作，控制机床运动和加工过程；软件包括数控

编程软件、数控操作系统、数控仿真软件等，通过计算机与数控装置进行通信和数据交换，控制和监控机床。要想充分发挥数控加工技术的优势，需要不断提

升数控系统的性能和稳定性，保障数控机床硬件和软件的功能和可靠性。由于复杂工件加工难度较大，为保证工件加工质量和安全，需要选择精度较高的数控机床。目前，我国复杂工件数控加工机床主要包括多轴联动机床、三轴联动机床、单轴联动机床，要根据复杂工件的特点选择合适的数控机床。另外，数控机床的安全可靠性也是选择时需要考虑的重要指标，提高数控机床的安全可靠性能够避免在后续加工期间出现故

障。故障不仅会影响复杂工件的加工质量，还会影响工件的生产效率。操作人员需要积极开展数控机床调试，保证其各项性能指标处于正常水平。

3.3 优化刀具选择

数控加工技术的应用效果会受到刀具的影响。刀具与工件适配度越高，加工质量和效率越高。应根据复杂工件材料的硬度、切削性能和加工要求，合理选择刀具的材料、几何参数和刃磨方式，以提高切削效率，延长刀具寿命。复杂工件的加工要求也会影响刀具选择。例如，对于硬度较高的材料，工作人员可以选择较大的进给速度和较小的切削深度，以减小切削力，降低切削温度。由于复杂工件为不规则形状，其切削操作较为频繁，导致刀具长时间处于运行状态，为了避免数控加工期间出现刀具损坏的情况，需要优先选择高刚性刀具。刀具在切削期间会产生磨损，一旦磨损管控不当将磨损程度超标的刀具应用于复杂工件的数控加工：将会直接影响工件的加工质量。因此，数控加工期间技术人员需要定期开展刀具磨损检查，当损程度为 15%~20%时，需要及时更换刀具。切削量是复杂工件数控加工过程中的关键参数，做好切削量控制具有减少刀具磨损、平衡加工速度的作用。切削量的计算公式为

$$Q = V_c f_p$$

式中：Q 为生产率；V 为加工切削速度；f 为切削进给量；p 为切削深度。基于复杂工件加工的实际情况，平衡各切削要素，控制工件加工切削深度和速度，减缓刀具磨损速度，切实提高复杂工件数控加工的效率。

3.4 工件装夹

工件装夹对复杂工件数控加工效果的影响较大。装夹方式选择不正确，会直接导致工件加工质量问题。因此，在实际加工期间，操作人员需要提升对工件装夹的重视程度，基于复杂工件的实际情况，优化工件装夹方法。操作人员需要考虑多方因素，设计复杂工件与夹具间的摩擦力、接触位置和紧度，确保加工效果，提升加工质量和效率。同时，为了避免工件装夹参数误差导致的复杂工件数控加工风险，操作人员需要积极开展参数核对，确保调整后的装夹符合复杂工件的加工要求。

3.5 刀具路径生成

在复杂工件的数控加工过程中，刀具路径的生成具有至关重要的作用。只有确保刀具路径的精确性，数控机床才能准确执行编程指令，从而保证复杂工件的加工质量。针对不同工件的数控加工路径，需结合具体加工条件进行刀具路径的优化设计。目前，我国数控加工技术在刀具路径生成方面主要存在三种模式。首先，对于大批量复杂工件的加工，主要采用定制编程的方式，综合考量影响数控加工的各种因素，持续优化刀具路径设计。其次，通过生成程序段来完成刀具路径的设计。最后，利用数据结构来实现数控编程。

在复杂工件的数控加工过程中，操作人员需特别关注刀具路径的设计。基于工件数控加工的切削量要求，选择适当的刀具类型，控制切削角度等关键参数，持续优化刀具运动轨迹，以避免刀具碰撞事件的发生，确保加工生产的顺利进行。

为了进一步提升数控加工的精度和效率，研究者们提出了多种刀具路径优化策略。例如，采用遗传算法、粒子群优化算法等智能算法对刀具路径进行优化，以减少加工时间并降低刀具磨损。此外，仿真技术的应用也日益广泛，通过虚拟加工环境模拟刀具路径，可以提前发现并修正潜在的加工问题，从而提高加工过程的可靠性。

在刀具路径优化过程中，还需考虑刀具材料的特性。不同材料的刀具在切削力、热传导率等方面存在差异，这些因素直接影响刀具路径的生成。因此，选择合适的刀具材料，结合工件材料特性，是实现高效、精确加工的关键。同时，刀具路径的生成还应考虑机床的动态特性，如主轴转速、进给速度等，以确保加工过程的稳定性和刀具的使用寿命。

在数控加工领域，刀具路径的优化不仅限于单一工件的加工效率和质量，还涉及到整个生产线的优化。通过集成制造执行系统（MES）和计算机辅助制造（CAM）系统，可以实现刀具路径的实时监控和调整，从而提高整个生产线的自动化水平和生产效率。此外，随着工业 4.0 概念的推广，智能制造技术在刀具路径生成中的应用也日益增多，通过物联网（IoT）技术实现设备间的互联互通，为刀具路径的智能化生成提供了新的可能性。

综上所述，刀具路径的生成和优化是一个多学科交叉的复杂过程，涉及机械工程、材料科学、计算机科学等多个领域。未来的研究应着重于开发更为高效和智能的刀具路径生成算法，以及提升刀具路径优化技术的自动化和智能化水平，以满足现代制造业对高精度、高效率和高柔性的加工需求。

4 结语

在我国机械制造智能化发展的背景下，数控加工技术的地位不断提升，切实提高了机械加工的产品质量和效率，有效促进了我国机械生产领域的发展。为了提升数控加工技术应用效果，持续提升复杂工件加工质量，制造企业需要加大数控加工技术的研究力度，基于复杂工件的实际情况设计数控编程，选择适合的机床和刀具，改善切屑量控制效果，优化刀具路径设计，充分发挥数控加工技术的优势。

[参考文献]

- [1]周远扬,赵兵,代文.面向数控加工的酥油灯智能产线设计[J].装备制造技术,2023(10):228-231.
- [2]任常富.复杂工件数控加工技术及应用优化措施研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(7):48-50.
- [3]朱绍维.复杂零件五轴铣削加工精度预测与补偿技术研究[D].西南交通大学,2013.DOI:10.7666/d.Y2576650.
- [4]刘虎.基于车铣复合加工中心的曲轴加工工艺技术及理论研究[D].东北大学,2012.DOI:10.7666/d.J0124312.

作者简介,王金,河北科技学院,出生年 2003 年,性别男,民族汉族,籍贯河北省唐山;

第二作者简介,张轩,河北科技学院,出生年 1993 年,性别男,民族汉族,籍贯河北省唐山市,学历本科。