

钣金折弯工艺技术的现代化发展与应用

文 | 资明庚，谢海，邓佳佳

随着现代化工业技术的进步，钣金折弯工艺作为主要的金属制品成形加工方式之一，也在不断更新发展，如工艺设计软件的迭代加快了产品结构设计的优化升级，工业机器人的集成应用、自动化交互控制技术的应用以及信息化的过程管理，进一步提升了钣金折弯加工过程的效率与自动化程度。本文将重点介绍工艺设计、自动化、信息化在钣金折弯加工发展过程中的应用。

引言

钣金折弯成形作为金属加工领域关键的工艺技术之一，其在金属制品生产中扮演着不可或缺的角色，而传统的折弯单机作业生产方式，容易导致设备在订单切换过程中停机，查看图纸、折弯编程、调试设备参数、拆装折弯模具、物料搬运流转等过多的人工干预，因此，设备不得不停机等待切换、等待物料的转运、过多的人工干预等低效问题，造成这个工厂生产成本处于较高水平。

为解决钣金折弯加工过程中存在的上述问题，可从工艺设计、模具创新、自动化、信息化与智能化技术等途径进行研究，集成引入先进技术在钣金折弯

加工的应用。如优化产品的工艺结构设计，提升模具材料的可控性与结构的切换速度，采用工业互联网技术进行信息传输通信，集成 PLC 交互控制系统，应用 MES 生产过程中信息化管理系统，实现钣金折弯生产过程中的数据实时收集处理和分析汇总，并通过云计算平台实现数据的远程监控和管理，优化生产流程。并通过集成设备机床与工业机器人的自动化产线、自动化上下料系统、在线检测系统等设备的应用，使得整个生产过程可控性大大提升，自动化交互控制技术的应用，可有效减少人工干预，并能实现连续生产，提高了生产效率，得到质量更加稳定可靠的折弯产

品。

折弯工艺技术的发展

钣金折弯加工技术的发展依托于行业自动化、信息化、智能化技术的升级应用。钣金折弯加工工艺作为金属加工行业的关键环节，其发展历程和技术革新不仅映射了工业制造能力的提升，也预示了未来制造业的发展方向。从最初的手工作业模式到现代的数控自动化集成应用，钣金折弯工艺经历了多次重大变革，每一次技术的飞跃都伴随着生产效率的显著提升和产品质量的不断改进。

在手工折弯的早期阶段，工人们依

靠简单的工具和经验来折弯金属板材，人工折弯过程虽适应性强，但受人工操作精度和稳定性的限制，生产效率低，难以满足大规模标准化生产的需要。随着工业化进程的加快，金属加工行业开始逐步引进机械折弯设备，如手动折弯机和机械折弯机，这些设备通过机械原理提供稳定的力，大大提高了生产效率和产品的一致性。现代钣金折弯生产线通常配备先进的数控机床折弯机，可以精确控制折弯角度和位置，使钣金折弯精度和重复性得到显著提高。通过计算机编程，可以精确控制折弯机的动作，实现复杂形状的金属件的快速制造，采用计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）后，模具制造变得更加高效和精确，快速原型制造技术（Rapid Prototyping）的应用使得模具的修改和优化变得更加容易，缩短了产品从设计到市场的周期，智能组合模具的研发，使得模具在使用过程中能够实现快速切换与及时维护，提升了折弯工序的生产效率。

钣金折弯产品工艺结构设计

金属板材折弯产品的结构设计需要结合多学科知识的应用，如金属材料加工性质及相关的机械工程原理和制造工艺，产品的功能要求和使用环境也会影响材料的选择和结构的设计，有必要选择高强度和耐腐蚀的金属材料，并设计相应的加强结构，同时考虑到材料厚度和产品结构的可加工性，考虑到材料的塑性变形特性，合理设定折弯面积以避免过度拉伸或压缩，从而确保产品的尺寸精度和结构强度，钣金折弯加工工艺形式如图1所示。同时，还需要考虑生产过程中的约束条件，如折弯半径、折弯角度等参数，这些都需要在设计阶段充分考虑。并遵循折弯工艺顺序原则：

- 1) 由内向外折弯；2) 由小向大折弯；3) 先折弯特殊形状，然后折弯一般形状；4) 成型后的第一道工序不影响或干扰后续工序。

工艺设计是保证产品按照既定的质量标准和生产效率生产的关键步骤，包括选择合适的折弯设备、建立详细的工艺流程、设计精确的模具等。在选择

折弯设备时，需要考虑设备的精度、稳定性以及是否适应不同厚度和硬度的材料。折弯模具设计也是工艺设计的重要组成部分，它直接关系到产品质量和生产效率，良好的模具设计应确保折弯过程中金属流动平稳，减少破碎和开裂的风险，并应考虑模具的耐久性和维护成本，随着计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）技术的发展，现代模具设计可以更加精确和高效，甚至可以在设计阶段进行模拟和优化。在开发工艺流程时，还需要考虑生产效率和成本控制，同时确保每一步都能达到预期的加工效果。

钣金自动折弯加工技术的发展

传统的钣金折弯加工对操作人员依赖度高，且产品质量易受人员操作状态影响，通常是金属制品加工过程的瓶颈工序，为提升产品生产效率，开发自动化加工技术逐渐地替代人工完成折弯过程中具有重要意义。钣金自动折弯加工是工业化时代下先进技术在生产过程中应用的典型代表，具有高效率、高质量

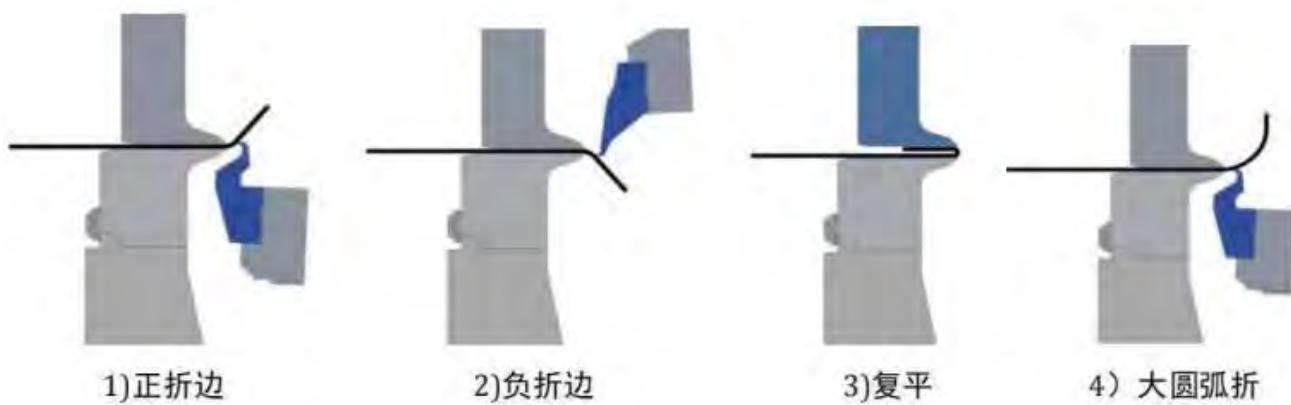


图 1 钣金折弯加工工艺形式示意图

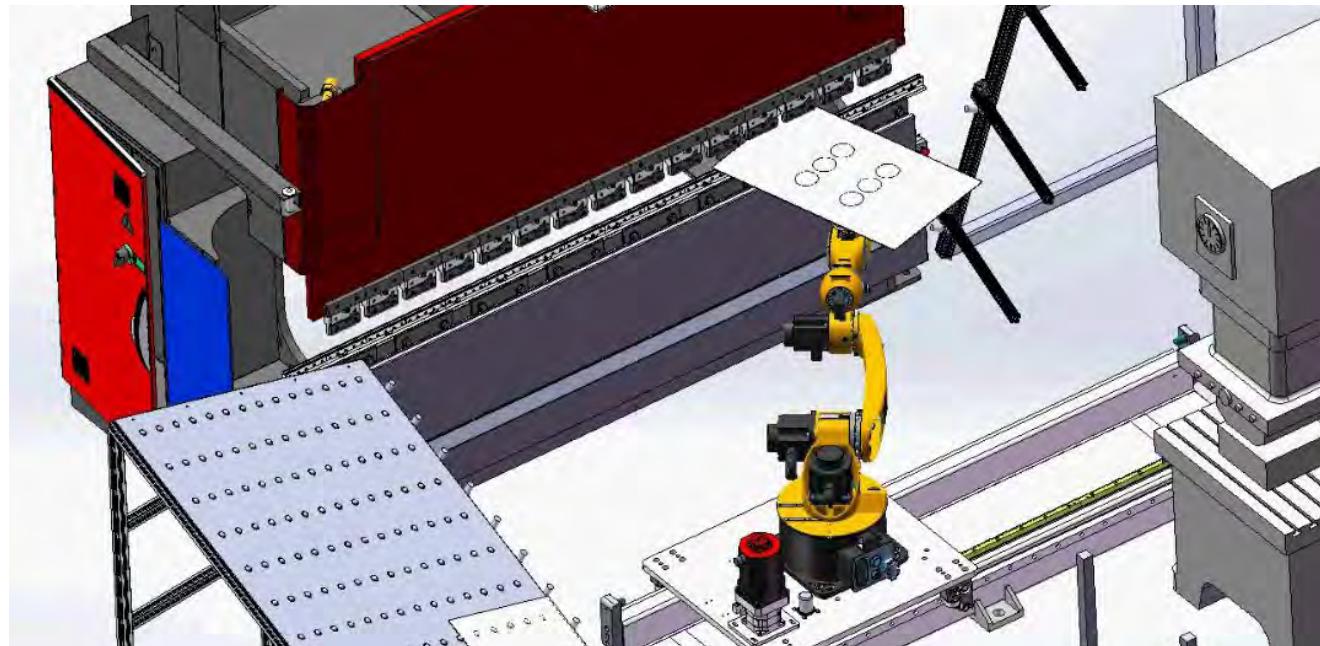


图2 工业机器人集成的折弯单元

和高灵活性的自动化加工单元应用也越成熟。从钣金折弯自动化加工行业发展来看,主要有三种自动化加工技术:包括固定机械手折弯加工、工业机器人折弯加工、自动多边折弯单元加工,三种折弯自动化加工方式各有优势,工厂管理者需要考虑综合效益进行开发引入。

机械臂自动折弯单元

机械臂自动折弯单元按照自动化集成装置不同,可分为XYZ三轴机械手集成折弯单元与工业机器人集成折弯单元,三轴机械手折弯主要应用于大批量、空间结构较为简单的钣金产品,如盒状零件、线槽零件、箱体零件等,其主要优势为投入成本较低,对于大批量生产的零件效率较高,但由于其空间运行轨迹的限制与结构柔性较差等缺点,不能应对切换频繁的生产。而以工业机器人为载体集成的自动化折弯单元,在现代

市场需求发展过程中更具优势,为突破现有六轴机器人运行范围的限制,通过底部移动导轨的集成,可实现机器人在不同工位的灵活移动作业,可进一步加大折弯单元对产品加工的兼容性。

机器人运行到折弯机位置,将板料放平到折弯机下模上,通过折弯机后挡指传感器进行精准定位,定位完成后,机器人发送折弯信号给折弯机,并协同折弯机完成折弯动作。工业机器人折弯单元的折弯精度取决于折弯机自身精度、机器人的定位精度、机器人与折弯机的协同控制。标准机器人折弯加工单元以工业机器人和折弯机为核心,配置机械夹具、原材料架、下料跺台、定位工作台、翻面架、换手装置及各种检测传感器,工业机器人集成的折弯单元如图2所示。上料台和下料台通常采用堆垛货盘,也可采用传送带或辊道为单元输送原料和转运成品。定位工作台是

个带挡边的倾斜平台,台面上分布微凸起的滚珠,机器人把钢板转移到定位台上,板材受重力自由滑落到挡边,机器人重新抓起板材时,板材与抓手的位置就完成了精确调整,为下一步折弯提供了基准。

一体式多边自动折弯单元

一体式多边自动折弯机区别于机械手抓取零件进行折弯的方式,而是采用操作机进行零件的移动配合折边机完成零件的折弯加工,通常其配置的折弯模具也具有较高的柔性,一体式多边自动折弯在我国的加工制造业中的成功应用,极大地提高了我国机床设备加工制造的能力。

一体式多边自动折弯单元包括上料装置、穿梭输送装置,折边主机、操作机和出料装置等。操作机位于折边主机正前方,自动上、下料系统分别位于数控板料折边机的左右两侧。自动上、下

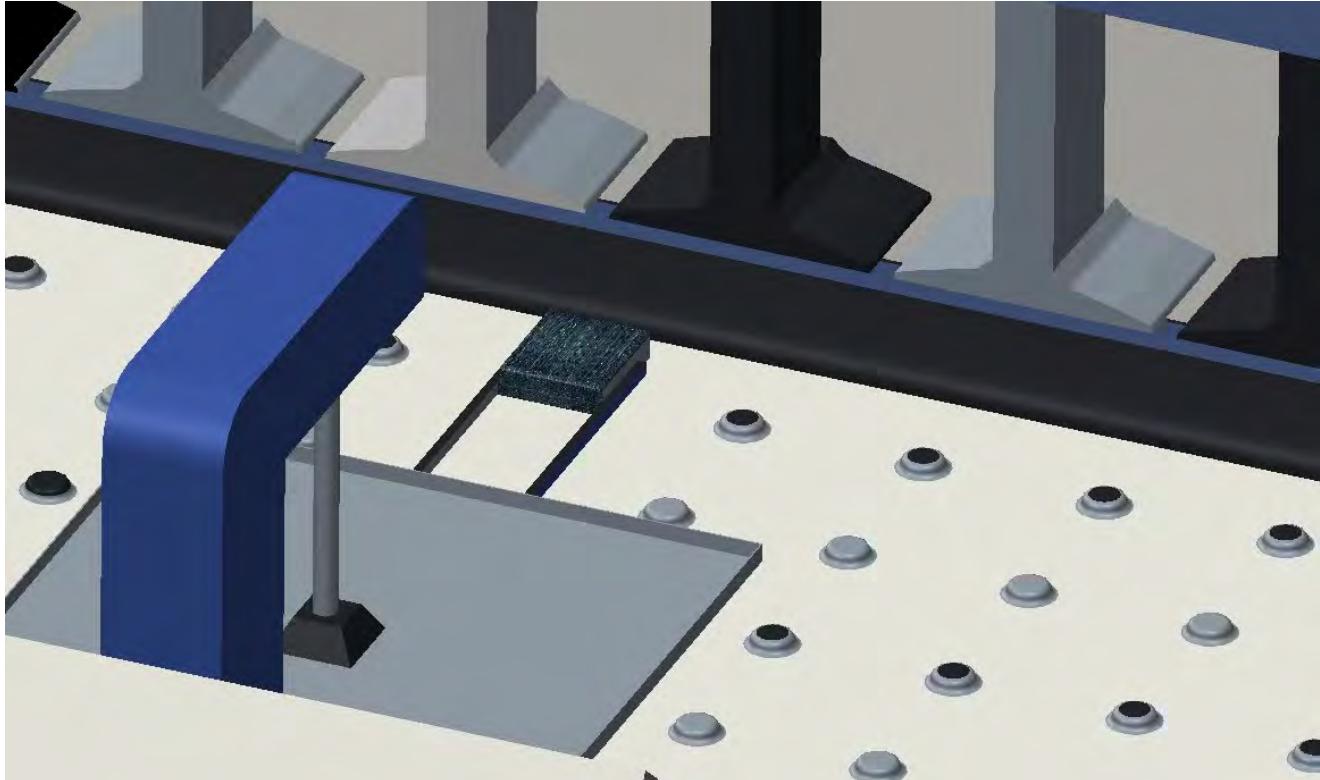


图 3 一体式多边折弯中心

料装置和穿梭输送装置与立体库自动对接原材料，代替人工将板材或者工件定位到加工位置，并实现零件的自动输入输出工作台；操作机对加工板材进行压紧、折弯送料；折边主机按照程序的机器语言代码完成板材折弯成型的工作。多边折弯机通过高精密的零件加工控制、特殊工艺模具表面处理、折边模具运行轨迹特殊控制等技术手段，保证了高效高品质的钣金零件加工生产，一体式多边折弯中心如图 3 所示。折边过程中通过电伺服驱动系统控制折边梁运动，能够实现折边梁高速响应和快速曲线运动，折边动作快速精准，实现了高速折边加工。通过一副模具动作逻辑和运行轨迹的控制，能够实现复杂工件加

工，称这副模具为万能模具。折边机采用一副万能模具可实现正负角折边、大圆弧、复平折边等多种工艺，实现了设备高柔性加工。自动换模装置由中间避让模、标准段模、离合移动装置、旋转插片装置等部分组成，具有折边避让伸缩和长度自动调整两大功能，以便实现不同方向尺寸的折弯加工。

钣金折弯加工过程信息化

折弯订单自动派工

订单派工信息化是实现钣金折弯加工智能化运行的前提条件，基于特定的逻辑约束条件，开发 APS 订单自动排程系统，同时考虑到车间整体效率最大与自动化设备利用率最大化，订单按

照多种排列组合方式进行优化排程。并通过 MES 系统进行订单调度，执行订单自动排程到折弯机台，如折弯订单的排程逻辑之一是基于原材料的料厚进行约束，相同料厚的订单在排程宽放周期内下达到同一机台，以减少折弯刀具的切换，折弯单元的生产订单信息包括零件材质、数量、尺寸规格与编码、图文信息、程序信息、工艺流信息、加工工时等生产所必须的信息数据。系统以单个订单为周期，对整个加工单元状态信息进行记录，直到订单完成，过程中自动进行报工完工，加工集成信息化看板，方便管理者进行过程管理。

折弯工序信息化管理看板

工序信息化管理看板是生产过程中



各类数据集中处理显示的主要工具，能够帮助管理者对车间生产涉及的各项指标进行高效分析与科学决策，是现代化车间管理的应用趋势。信息化管理看板将物料管理、质量管理、人员管理与生产管理信息有效融合，构建起全方位、系统化的作业管理体系，钣金折弯工序信息化管理看板主要涉及订单管理、设备管理、质量管理等。

折弯工序管理看板：折弯工序主要涉及订单状态、折弯工艺图文、加工程序、折弯工时等工序信息，车间管理人员能够通过工序管理看板，了解零件的工艺信息以及订单的当前完成进度，并对各订单进行进度统筹，将异常订单、特殊加急订单、交期临近订单显示在最前列，方便及时工序保障管理与生产调度，确保产品能够在预期进度内完成折弯加工。

折弯设备管理看板：通过传感装置

与设备接口采集设备运行信息，获取折弯单元各设备的实时运行状态，实时监控设备的健康状况状态，对异常情况及时作出警报，方便管理者第一时间对设备异常进行处理。此外，通过与能源供应装置进行数据对接，实现对设备周期能耗的监控，提示异常能耗，以发现隐蔽的设备问题。

产品质量管理看板：折弯加工后的产品需要经过检验才能流向下一工序，通过订单信息与质量检验数据绑定，能够实现折弯产品的质量数据信息化管理，特别是自动化折弯加工的产品，很容易出现批量化的质量事故，而清晰的质量数据看板，能够指导检验人员快速完成对产品质量异常数据的原因分析，减少批量化的质量异常问题发生。

小结

钣金折弯成形作为金属加工的重要

手段，在材料、工艺、设备、模具、管理等方面创新和进步，新材料和新工艺的开发将更加注重资源的高效利用和环境的保护，自动化设备的开发将更加适应小批量多品种的生产切换，依托人工智能、机器学习等新质生产力技术的迅速发展，开发出更多的智能算法进一步优化生产过程，提高钣金折弯生产效率和产品质量，各环节的创新与进步将有利于推动整个钣金加工行业的发展。**MFC**