深孔加工工艺改进与排屑问题优化设计

白　宇

宁夏天地奔牛实业集团有限公司　宁夏　石嘴山　753000

摘　要：深孔加工在机械制造中尤为重要，但同时存在加工难度大、排屑困难等问题。为了进一步提高深孔的质量和效率，可从刀具设计、切削参数控制、切削液性能改善以及加工路径规划方面着手。对排屑问题进行优化是通过对排屑装置结构进行改善，强化排屑动力系统并对切屑形态采取相应措施，更好地监测排屑系统情况来解决深孔加工难题，推动深孔加工技术发展。

关键词：深孔加工；工艺改进；排屑问题；优化设计

引言：在现代机械制造领域，深孔加工的应用十分广泛，涉及航空航天、汽车、能源等众多行业。然而在深孔加工中面临很多问题，如刀杆刚性差容易振动、冷却润滑难、排屑困难等，严重影响加工质量和效率，增加生产成本，对深孔加工工艺进行改进以及优化排屑问题十分紧迫。通过研究先进的加工方法和排屑技术，有望突破这些限制，提升深孔加工整体水平，为相关产业发展贡献力量。

1 深孔加工的定义

深孔加工在机械制造领域中占据着重要地位，它是一种具有特定要求和特点的加工方式。一般来讲，所谓的深孔就是指孔的深度与孔径之比达到一定数值的孔，通常将孔深与孔径之比（L/D）大于 5 时便被称为深孔；当 L/D 大于 100 时，则被称为超深孔。深孔加工涉及到对各种类型的深孔进行加工操作，包括但不限于圆柱孔、阶梯孔等，这些深孔在许多行业的零部件制造中都有广泛应用，如航空航天领域发动机部件、汽车制造中轴类零件、能源行业石油钻探设备等。从其加工特点来看，深孔加工也具有一定的挑战性。由于刀杆受孔径的限制直径小且长度大，使得其刚性差、强度低[1]。切削过程中容易产生振动、波纹、锥度，影响了深孔的直线度和表面粗糙度。同时在钻孔和扩孔时，如果没有采用特殊装置，冷却润滑液很难输入到切削区，不仅会降低刀具的耐用度，还会使排屑变得困难。而且在深孔加工过程中无法直接观察刀具的切削情况，只能凭借工作经验，通过听切削时的声音、观察切屑形态、感受振动以及查看相关仪表，例如油压表和电表等判断切削过程是否正常。

2 深孔加工工艺改进策略

2.1 刀具设计创新

刀具设计创新是深孔加工工艺改进中必不可少的一个环节。（1）改变或者增大刀具的几何形状：使用特殊的刃口形状和螺旋角等，能减小切削力和热量产生，提高排屑性能。例如采用大螺旋角，使得切屑更容易排出；（2）使用新型刀具材料。使用高性能的刀具材料，如硬质合金、陶瓷等，能够增强刀具的硬度、耐磨性和耐热性，延长刀具的寿命；（3）改进刀具结构：设计合理的刀具结构，如内冷式刀具，将冷却液直接输送到切削区域，有效降低切削温度，提升加工精度；（4）增加刀具的容屑空间：加大容屑槽的尺寸和数量，以便把切屑顺利地排出，避免堵塞切屑，保证加工的连续性。（5）采用涂层技术：在刀具表面上镀上一层高性能的涂层，例如 TiN、TiAlN 等，以此来提高刀具的耐磨性和抗粘结性，降低切削力和表面粗糙度。

2.2 切削参数精准调控

对切削参数的精准调控，也是提升深孔加工工艺水平的重要手段之一，具体可以这样操作：（1）合理选择切削速度。根据工件材料、刀具材质等因素确定切削速度，如果切削速度过高时会造成刀具磨损严重，同时如果切削速度太低时，也不利于提高效率；例如在加工铝合金时可适当增大切削速度等等。（2）优化进给量：进给量的大小直接关系着切屑厚度和加工表面质量。需要通过实验和经验总结分析出切屑厚度和加工的切屑质量，并且可由此对切屑加工要求做出相应调整，以防止由于进给量过大导致断屑困难或者进给量过小而导致加工效率差。（3）控制切削深度。对于切削深度的把握需要综合考虑工件材料和刀具性能，有些切削深度过深，则切削力就会较强，容易发生振动现象；有些切削深度过浅，则影响了加工效率。（4）综合考虑参数间的关联

问题：切削速度、进给量和切削深度之间存在良好的关联性。要从各个方面去合理的考虑切削参数间的关联问题，最终找到切削速度与进给量和切削深度间的最佳组合，才能更为高效、优质的完成深孔加工任务。（5）及时调整参数：在加工过程中，密切注意着加工状态，根据切削情况实时地修改切削参数，保证其稳定、可靠。

2.3 切削液性能升级

对于切削液的性能升级，在深孔加工过程中也是一个重要环节，提高切削液的质量和效率。如，可以选用添加剂性能优良、润滑性好等优质的切削液，这样将使得切屑与工件之间形成牢固的润滑膜，减少摩擦与磨损，延长刀具寿命，例如：添加极压抗磨剂使得切屑在高温高压下依然达到较好润滑性能；另外，还应该考虑冷却性能，改善切削液的热传导能力，快速带走切削产生的热量，降低切削区温度，避免工件发生变形及刀具退火等问题，例如：使用比热容、导热系数大的基础油和添加剂，增强切削液的冷却性能；再如，调整切削液黏度和表面张力使其更加易被排除，不因为堆积物而影响切削液的加工精度和表面质量，此外，需要添加特殊的表面活性剂，减小表面张力，让切屑更易被冲走[2]。最后就是环保性能，为了确保加工性能的完美，应当选择可生物降解、低毒无害的切削液，尽量减轻对环境及操作人员的危害性，符合绿色制造理念，同时可有效的降低企业环保成本和风险等。

2.4 加工路径优化规划

加工路径优化规划，是深孔加工工艺改进中的关键一环，对提高加工效率和质量有重要意义。合理规划进刀、退刀路线可以减少空行程时间，提高加工效率；根据工件形状和加工要求设计最短且安全的进刀和退刀路线，避免不必要的刀具移动；如采用斜线进刀方式，使刀具快速接近工件，减少进刀时间等。优化切削路径能降低切削力和振动，根据深孔的特点，采用分层切削或螺旋切削等方式，使切削过程更加平稳；分层切削可以减小单次切削深度，降低切削力；而螺旋切削则可以使刀具连续切削，减少切削冲击，提高加工表面质量。采用先进的编程技术实现路径的精确控制，利用计算机辅助制造（CAM）软件，根据工件的三维模型生成最优的加工路径[3]。通过软件自动考虑刀具的直径、长度、切削参数等因素，保证路径的合理性和准确性。实时监测和调整加工路径。在加工过程中，通过传感器实时监测切削力、振动等参数，并根据监测结果及时调整加工路径，若发现切削力过大或者振动异常可适当调整切削参数或改变路径，以此来保证加工的稳定性和质量。

3 排屑问题优化设计方案

3.1 排屑装置结构革新

排屑装置结构革新是解决深孔加工排屑难题的关键，可以从多个方面进行优化提高排屑效率和加工质量。（1）变径排屑管：传统的排屑管管径单一，易造成切屑堵塞。改径排屑管在入口处管径较大，便于切屑顺利进入，随着排屑过程的推进，其管径逐渐变小，增加了切屑排出的压力，切屑快速排出，有效避免堵塞。（2）设计多级排屑腔室：设置多级排屑腔室，每个腔室有不同的功能。首先，一级腔室收集切屑初步收集，并对切屑进行粗过滤；二级腔室分离细小切屑和切削液；三级腔室将切屑压缩减小体积，便于后续处理；多级腔室之间相互配合提升排屑的效果和效率。（3）弹性排屑刮板：采用弹性材料制作排屑刮板，可以更好地贴合排屑装置内壁。排屑过程中会根据切屑的堆积情况调整刮板角度、力度等，可以有效刮除附着在壁上的切屑，防止切屑残留，保证排屑通道畅通。（4）安装智能排屑监测系统：为保障安全，安装传感器来实时监测排屑装置运行状态，如切屑流量、排屑速度、堵塞情况等。当检测到异常，自动调整排屑装置参数，比如增加排屑动力、改变排屑方向等，以实现智能化排屑。（5）模块化排屑结构：把排屑装置设计成模块化结构，便于根据不同的加工需求和排屑情况进行组合和调整。

3.2 排屑动力系统强化

强化排屑动力系统，可以有效改善深孔加工的排屑难题。增大驱动电机功率是必要条件，选择高功率、高性能的驱动电机作为排屑装置的动力源，使得在面对不同类型和数量的切屑时都能够稳定、高效地运转，避免出现因为动力不足而导致的排屑不畅；优化传动结构也很重要，利用先进的传动方式如同步带传动或行星齿轮传动，减少动力传输过程中的损耗，提升传动效率，让电机的动力能更好地传递到排屑部件上来，提高排屑能力；引入辅助动力装置，提高排屑效果，例如增加气动或液压辅助装置，在排屑中适当补充动力，帮助切屑克服阻力，顺利排出。遇到较大或者较难排出的切屑时，可以借助辅助动力装置实施[4]。建立智能控制系统，自动调节排屑动力，通过控制台传感器随时监测排屑情况，根据切屑堆积程度、排出速度等参数，自动调整排屑动力系统运行参数。当切屑堆积比较多时，会自动提高动力输出；当切屑较少时降低动力消耗，实现节能与高效的统一。定期维护保养动力系统，确保动力系统处于良好状态下，对电机、传动部件等进行定期检查、清洁和润滑，及时更换磨损的零部件，保证排屑动力始终

处于良好的运行状态。

3.3 切屑形态控制策略

切屑形态控制策略是解决深孔加工排屑问题的重要手段，通过对切屑形态的有效控制可以显著提高排屑效率和加工质量。（1）刀具几何参数优化：合理设计刀具前角、后角、刃倾角等刀具几何参数能改变切屑的变形程度和卷曲方式；比如增大前角可减小切削力使切屑更容易卷曲成规则形状便于排出；（2）切削参数调整：精确控制切削速度、进给量和切削深度，切屑形态也会受到关键影响。适当提高切削速度使得切屑变细并便于排屑；调整进给量能改变切屑的厚度和宽度，优化切屑形态。（3）断屑槽设计：在刀具上设计合适的断屑槽是控制切屑形态的一种很好的手段。因为断屑槽的形状、尺寸和位置会影响切屑的卷曲和断裂过程，使切屑具备短而易于排出的形状。（4）切削液的合理使用：切削液不仅能冷却和润滑，还能影响切屑形态。选择良好润滑性能的切削液，能够减少切屑与刀具之间摩擦，使切屑更容易排出。同时，切削液喷射方向和压力会对切屑形态产生影响。（5）振动辅助切削：引入振动辅助切削技术，采用对刀具或工件施加一定频率和振幅的振动，改变切屑的形成过程。激烈的振动能让切屑更容易断裂，形成更规则的形状，从而提升排屑性能。

3.4 排屑系统智能监测

排屑系统智能监测是保障深孔加工排屑顺畅的关键举措，可以及时发现并解决排屑过程中存在的问题。利用传感器实时收集数据，在排屑系统关键部位安装不同种类的传感器，如压力传感器对排屑管道内压力变化进行检测、流量传感器对切削液和切屑的流量进行检测、温度传感器对排屑装置关键部件的温度进行监控等[5]。通过这些传感器的实时监测可以更精准地捕捉到排屑系统运行状态；构建各种数据分析模型，对传感器收集的数据进行深入分析；借助大数据和机器学习技术，构建排屑系统运行状态预测模型，提前预判排屑系统可能会出现堵塞、故障等问题，从而为采取相应的措施做依据；实现远程监控与预警，借助网络技术，操作人员能够实现远程实时查看排屑系统的运行情况。当监测到异常数据时，自动发出预警信号，通知有关人员去及时处理问题，避免因排屑问题影响加工进度和质量。持续优化监测系统。根据实际运行情况和反馈信息，不断调整和完善监测系统的参数和算法，提高监测的准确性和可靠性，使得排屑系统始终稳定高效运行。

结语

在未来，科技的不断进步会使深孔加工更加智能化、自动化。人工智能和大数据将被应用到各个流程中，借助其强大的处理和分析功能，对加工过程进行准确控制并及时调整参数以适应不同的情况，大幅提升加工稳定性和质量。同时，新材料的研发与新工艺的出现也会给深孔加工带来更多可能，它们将有效提高刀具性能，改善切削条件，从而提高加工精度和效率。通过深孔加工技术的发展，为高端制造业发展提供更坚实的支撑，注入源源不断的新动力，促进行业迈向新高度。

参考文献

[1] 徐晓栋, 龚玉玲, 夏腾飞. 深孔加工工艺参数的响应面试验及多目标优化 [J]. 制造业自动化,2022,44(5):1-4+37.

[2] 曹美文, 王连宏, 李晓霞, 张雪冬, 郭巨寿, 李爱平, 袁官. 大长径比断续深孔加工工艺技术研究及应用 [J]. 国防制造技术,2022(1):20-22.

[3] 张潇, 董振, 药芳萍. 深孔加工脉冲负压排屑装置的设计研究 [J]. 工具技术,2021,55(1):50-53.

[4] 张飞飞, 曹明顺, 李涛. 普通数控车床冷却排屑箱设计 [J]. 现代制造技术与装备,2025,61(4):33-35.

[5] 韩晓兰, 祝升亮, 刘战锋. 多刃错齿内排屑深孔钻导向块位置设计与分析 [J]. 工具技术,2022,56(5):40-44.