

山西省应用基础研究项目 计划任务书

项目类别：	青年科技研究基金
资助类别：	面上青年基金项目
项目编号：	201801D221231
项目名称：	切削液流变作用下BTA小深孔加工圆度 形貌控制理论研究
资助资金：	3万元
项目负责人：	陈振亚
承担单位：	中北大学
执行年限：	2018年12月至2020年12月
填报日期：	2018年12月21日

山西省科学技术厅

2016年制



填写说明

1、所属学科领域：填写到一级学科，学科名称参照《中华人民共和国学科分类与代码国家标准》（GB/T 13745-2009）。

2、所属技术领域：选择“1. 煤炭，2. 煤化工，3. 煤层气，4. 冶金，5. 电力，6. 化工，7. 新能源，8. 新材料，9. 节能环保，10. 装备制造，11. 生物技术，12. 电子信息，13. 现代农业，14. 食品加工，15. 医药卫生，16. 交通运输，17. 现代服务业，18. 其他”中一类填写。

3、项目技术来源：选择“1. 原始创新，2. 集成创新，3. 引进消化吸收再创新，4. 引进技术”中一类填写。

4、项目联系人：填写本单位科技管理部门项目主管姓名及其联系方式，请勿填写项目承担人。

5、项目的经费预算按照《山西省人民政府办公厅关于印发山西省科研项目经费和科技活动经费管理办法（试行）的通知》（晋政办发〔2016〕76号）执行。

6、重点基金项目要分别填写项目计划任务书和每个子课题计划任务书，在总项目计划任务书中要写明子课题的研究内容、研究路线、研究目标及拟解决的关键问题。

7、项目计划任务书涉及信息、数据和内容要客观、真实，有关签字要意见明确、本人签字、签字时间准确真实，并加盖公章，用A4标准纸张，于左侧装订成册，一式六份。

8、项目结题验收前，由项目组指定专人负责科技报告的撰写，并通过山西省科技报告呈交系统

（<http://218.26.177.53:8080/reportsubmit/>）提交科技报告，经审核合格后发放科技报告收录证书，作为项目结题验收必备内容之一。

一 项目基本信息

项目名称		切削液流变作用下BTA小深孔加工圆度形貌控制理论研究							
所属学科领域		金属切削机床			研究属性		A基础研究		
所属技术领域		重大装备			项目技术来源				
承担单位	名称	中北大学							
	单位性质	全额事业单位							
	通信地址	山西省 太原市 尖草坪区学院路3号							
	法人代表	沈兴全	电话	0351-3922018	E-mail		kyydfqyc@nuc.edu.cn		
	项目联系人	曹杨	电话	0351-3921762	传真	0351-3924838	邮编	030000	
	职工总数	2339人		中高级以上职称人员数			1969人		
	开户银行	太原市工行迎新街支行		账号		0502121909024910171			
合作单位		1.							
		2.							
		3.							
1、研究背景及意义									
深孔加工是指孔深超过孔径5倍的圆柱孔的加工，而孔深与孔径的比值，称之为“长径比”或“深径比”。据统计，在机械制造业中孔加工占全部机械加工的1/3左右，而深孔加工又占到孔加工的40%以上。由于深孔直径的大小直接关系到加工的难度和所采用的加工手段，所以生产实践中常常按深孔直径的大小分为特大深孔（200mm以上）、大深孔（65-200mm）、普通深孔（20-65mm）、小深孔（4-20mm）、微小孔（4mm以下）。在长径比相同的条件下，随着深孔直径的减小，加工难度不断上升；对于长径比大于10倍的小深孔，是深孔加工中常见的典型孔，也是加工出现问题最多的一类深孔；对于长径比大于10倍的微小孔，则传统深孔加工手段受到极大限制；所以小深孔的加工是传统钻削技术向更小孔径、更大长径比发展的关键过渡点，也是本项目的研究重点。小深孔加工属于封闭或半封闭式钻削加工，在断屑、排屑、散热和刀具导向等许多方面存在特殊问题，因而小深孔加工是各种孔加工方法中非常困难的一类，小深孔加工技术也常常成为“卡脖子”技术。为此，深入开展小深孔加工基础理论研究，开发高性价比的小深孔加工装备，对我国装备制造业的发展具有重大意义。 在小深孔加工过程中，BTA（钻镗孔与套料加工协会，Boring and Trepanning Association，缩写为BTA）小深孔加工技术因具有较好的加工质量和相对稳定的加工性能，已成为一种普遍采用的加工技术。但是，BTA小深孔加工由于其特殊的加工环境和独有的加工难点，钻削过程中如何获得在尺寸大小、直线度、圆度和表面粗糙度方面都具有很高精度的孔，一直是各国研究人员最为关注的问题。由于BTA小深孔加工机理的复杂性，实际加工中BTA刀具需承受切削力波动、切屑动态扰动、切削液动压及刀具回转惯性等因素的影响，而这些载荷又随着加工参数及刀具几何参数的变化而变化，致使BTA刀具所表现出的动态行为具有极其复杂的动力学特性，易在工件表面形成“波浪”、“多角”、“过切”或“欠切”孔型，进而对小深孔圆度形貌产生极大影响。如何在保证动力学分析所需精度的条件下，构建更加精确的BTA小深孔刀具系统动态模型，探明加工参数、几何参数、动力参数、排屑参数与加工孔精度的映射关系，实现高效、准确地预测与控制BTA小									

深孔加工刀具系统的动态行为，保证小深孔加工的圆度形貌，成为小深孔加工研究的热点和关键问题。

鉴于上述难题，项目首先从结构力学、振动理论和流体动压润滑原理出发，通过开展基于错齿BTA小深孔刀具系统结构模态振型曲率识别的动态载荷等效转化为关键位置点的静态载荷，构建深孔钻削过程BTA刀具系统径向动力学模型。然后，基于Hamilton势能变分原理的计算动力学有限元方法，将钻削加工过程离散为满足状态方程连续条件的多个微小切削单元，建立具有 n 个自由度的机械弹性振动系统运动学高阶非齐次线性偏微分方程。而后，找出方程的边界条件，对方程进行无量纲化、离散化、降阶处理，并采用差分方程求解方法，给出普通钻削过程BTA小深孔刀具径向位移的数值解，构建小深孔的圆度形貌。接着，利用切削液的流变特性，借鉴可倾角楔形瓦块和多级负压喷射泵为一体的刀具系统（见图2），在多因素最优协同配置条件下，解决目前小深孔圆度形貌控制面临的理论难题，提高切削液流变理论的工程实用性。最后，以BTA小深孔加工工件为研究对象，进行上述理论研究的应用验证，以期在拓展切削液流变控制理论的同时，解决BTA小深孔加工中的圆度形貌问题。

2、研究内容及研究路线

(1) 研究分析几何参数、切削参数等因素对BTA小深孔圆度形貌的影响

研究刀具直径、刀具转速、刀杆长度、瓦块长度、瓦块倾角、瓦块数量及切削液油膜厚度等因素对BTA小深孔圆度形貌的影响；研究小深孔加工中刀具断屑台的宽度和长度、切削刃和导向条高度误差及防振条的位置对小深孔加工圆度形貌的影响；研究导向条与刀具的内外角以及各错齿切削负荷承担量的大小对深孔圆度形貌的影响，通过优化方法获得最优的几何参数组合；研究刀杆刚度变化与小深孔圆度形貌的关系，建立刀杆刚度不足致使被加工孔形偏差的力学模型。

(2) 研究BTA刀具系统弯曲-扭转等动力参数对小深孔圆度形貌的影响

分析BTA小深孔加工过程中刀具系统的受力状态，研究刀具系统在轴向方向和径向方向的弯曲振动规律，建立刀具系统弯曲振动固有频率与动态扰动频率间的关系，分析弯曲振动对小深孔圆度形貌的影响。研究在动态扰动作用下刀具系统的扭转振动；分析刀杆扭转振动对小深孔圆度形貌的影响。研究刀具系统产生弯曲-扭转振动的条件，计算振动系统的固有频率和振幅，探讨弯曲-扭转耦合自由振动和强迫振动特点，分析弯曲-扭转耦合振动对小深孔圆度形貌的影响。

(3) 研究深孔刀具断排屑磨损特性对BTA小深孔圆度形貌的影响

项目研究BTA小深孔加工过程中动态切屑厚度与导向孔、刀具几何形状、刀具振动及切削参数之间的关系，建立小深孔加工中动态切屑厚度的理论模型。研究刀具弯曲振动导致刀片切下尺寸不等的切屑，寻找用动态切屑厚度和宽度来表征动态切削载荷分布的方法，预测实时变化的小深孔刀具径向运动轨迹。分析切削刃的间隙面、导向条的外表面与孔底的波纹面之间的摩擦学特性，研究刀具-切屑、刀具-工件界面的接触对小深孔圆度形貌的影响规律，探讨切削液流动特性对刀具磨损行为及系统断、排屑特性的影响。

(4) 研究基于流体动压润滑理论的BTA小深孔加工圆度形貌控制理论

研究BTA小深孔加工中切削液流体的运动规律，分析流体压力、流量、流速及流体楔形间隙变化对小深孔刀具径向运动轨迹的影响，建立切削液流体力作用下小深孔圆度形貌的偏微分方程。分析切削液流体的几何流动与刀具系统的几何参数、切削参数、动力参数及断排屑特性之间的连系，研究多因素耦合作用下动态切削力的变化规律，分析小深孔刀具的径向运动轨迹。研究切削液流体的动压支撑和流动变形特性，揭示切削液流体与其它影响因素之间相互抑制的机理，在多因素协同作用下综合研究小深孔加工圆度形貌控制理论。

研究路线

项目主要研究BTA小深孔加工中的圆度形貌控制问题。基于流体动压润滑理论，建立BTA小深孔加工圆度形貌误差数学模型；详细分析引起BTA小深孔加工刀具系统径向运动的原因；研究BTA小深孔加工切屑形成的动力学行为；研究深孔加工刀杆系统的弯曲扭转振动机理；综合考虑刀具系统、辅助支撑及楔形瓦块等激励因素对BTA小深孔圆度形貌的影响，在定量分析每个激励因素影响水平的基础上，利用实验法，建立激励因素与切削液流体作用的相互抵消机制，整体上实现对BTA小深孔圆度形貌的有效控制。

3、研究目标及拟解决的关键问题

研究目标

研究影响BTA小深孔加工圆度形貌的各因素，建立切削液动压条件下各因素协同作用的小深孔加工圆度误差数学模型，构建切削液与各影响因素之间相互抵消的作用机制。利用可倾楔角瓦块滑动轴承理论及多级负压喷射泵原理，控制调节切削液的流动与变形，减小刀具径向运动的变化趋势，获得理想的小深孔加工圆度形貌。为切削液的动压流变特性纳入BTA小深孔加工工程实践奠定基础，并为小深孔加工圆度形貌的有效控制提供新的理论指导。

拟解决的关键问题

- (1) 根据流体动压润滑理论并考虑各种因素，建立切削液动压条件下各因素协同作用的BTA小深孔加工圆度误差模型，构建切削液与各影响因素之间相互抵消的作用机理。
- (2) 分析可倾角楔形瓦块及多级负压喷射泵控制切削液的流变机制，研究切削液流变对刀具径向轨迹的影响规律，建立符合齐次边界条件的刀具径向运动的振动模型。
- (3) 运用流体动压润滑理论，借助切削液的流变特性，寻求小深孔圆度形貌的在线控制策略。

4、项目预期成果（包括发表论文、申请发明专利、人才培养、对学科建设的作用等，要求有具体的考核指标）

- (1) 建立切削液动压条件下各因素协同作用的BTA小深孔加工圆度误差数学模型，构建切削液与各影响因素之间相互抵消的作用机理，将流体动压润滑理论应用到小深孔加工圆度形貌控制策略研究中。
- (2) 在中文核心期刊和知名外文期刊发表学术论文6篇以上，其中被SCI、EI收录3篇以上。
- (3) 申报国家发明专利3项。
- (4) 培养深孔加工技术方面的研究人才，博士研究生2名，硕士研究生3名。
- (5) 参加国内学术会议2人次，参加国际学术会议1人次。

5、项目分阶段计划进度

时间区域	计划进度及完成的主要研究工作
2018 年 12 月 21日到 2019 年 06 月30日	调查研究、搜集整理与BTA小深孔加工圆度形貌控制有关的资料与试验结果，研究刀杆刚度变化与小深孔圆度形貌的关系，建立刀杆刚度不足致使被加工孔形偏差的力学模型；参加国内学术会议1人次，发表高水平学术论文1篇，申报国家发明专利1项
2019 年 07 月 01日到 2019 年 12 月31日	研究刀具系统在轴向方向和径向方向的弯曲振动规律，推导其运动微分方程，建立刀具系统弯曲振动固有频率与动态扰动频率间的关系，通过方程分析弯曲振动对小深孔圆度形貌的影响。建立切削液流体力作用下小深孔圆度形貌的偏微分方程。发表高水平学术论文1篇，申报国家发明专利1项，参加国内学术会议1人次。
2020 年 01 月 01日到 2020 年 06 月30日	研究刀具系统产生弯曲-扭转振动的条件，计算振动系统的固有频率和振幅，探讨弯曲-扭转耦合自由振动和强迫振动特点，分析弯曲-扭转耦合振动对小深孔圆度形貌的影响。究切削液流

	体的动压支撑和流动变形特性，揭示切削液流体与其它影响因素之间相互抑制的机理。发表高水平学术论文2篇，参加国际学术会议1人次。
2020 年 07 月 01日到 2020 年 12 月21日	寻找用动态切屑厚度和宽度来表征动态切削载荷分布的方法，预测实时变化的小深孔刀具径向轨迹。在多因素协同作用下建立BTA小深孔圆度形貌的数学模型，根据小深孔加工的实际情况，综合研究小深孔加工的圆度形貌控制理论。发表高水平学术论文2 篇，申报国家发明专利1 项。

6、项目主要研究人员									
项目负责人				所在博士点或硕士点名称		机械工程		身份证号码	320323198705180219
姓名	陈振亚	性别	男	出生年月	1987年05月	技术职称	讲师（高校）	职务	无
毕业校名	中北大学			毕业年份	2015	学历	博士研究生	学位	博士
专业	机械设计及理论			留学或进修国别	无	时间		学术职务	讲师
通讯地址	学院路3号			联系电话	0351-3924488	手机	13935181410	E-mail	czy1393518@163.com
所在国家或省级重点学科名称				机械设计制造及其自动化					
所在国家或省级重点实验室名称				山西省深孔加工工程技术研究中心					
项目组主要成员									
姓名	出生年月	性别	学历	学位	职称	学术职称	专业	所在单位	承担任务
沈兴全	1969年11月	男	博士研究生	博士	教授	教授	精密仪器及机械	中北大学	项目方案指导
辛志杰	1966年11月	男	博士研究生	博士	教授	教授	机械设计及理论	中北大学	数学建模
苗鸿宾	1970年07月	男	博士研究生	博士	教授	教授	机械工程	中北大学	建模计算
黄晓斌	1979年03月	女	博士研究生	博士	副教授	副教授	机械设计及理论	中北大学	圆度形貌控制理论研究
马国红	1987年02月	男	硕士研究生	硕士	其它	无	先进制造技术	中北大学	模拟仿真对比

									试验研究
任丽娟	1991年02月	女	硕士研究生	学士	其它	学生	机械工程	中北大学	方案论证
武瑞	1993年06月	男	硕士研究生	其他	其它	学生	机电一体化	中北大学	实验总结

四 项目经费预算

项目的经费来源与支出预算(单位: 万元)				
经费来源预算		经费支出预算		
科目	预算数	科目	金额	其中: 财政专项经费
项目资金合计	3.00	项目支出合计	3.00	3.00
(一) 财政拨款	3.00	(一) 直接费用	2.91	2.91
2018年度	3	1. 设备费	0.444	0.444
2019年度		2. 资料费		
0年度		3. 材料费	0.252	0.252
(二) 其他部门拨款		4. 测试化验加工费	0.144	0.144
其中: 国家拨款		5. 数据或样本采集费	0.06	0.06
(三) 自有资金		6. 燃料动力费	0.09	0.09
其中: 企业资金		7. 车辆使用费	0.075	0.075
(四) 贷款		8. 差旅费	0.06	0.06
(五) 其他资金		9. 会议、会务费	0.12	0.12
		10. 办公费	0.117	0.117
		11. 国际合作与交流费	0.09	0.09
		12. 国内协作费	0.12	0.12
		13. 印刷、出版费	0.54	0.54
		14. 知识产权事务费	0.45	0.45
		15. 劳务费	0.288	0.288
		16. 专家咨询费	0.06	0.06
		17. 其他支出		
		(二) 间接费用	0.09	0.09
		其中: 绩效支出		

四 任务签订书

项目负责人承诺：

- 1、我保证上述填报内容真实、客观，项目组成员切实参与项目的实施；
- 2、我与本项目研究人员将严格遵守国家及山西省科技计划的有关规定；
- 3、积极组织协调项目参与人认真开展研究工作，完成计划任务书规定内容；
- 4、积极督促各单位人、财、物等科研保障按时足够到位；
- 5、在项目实施过程中，遵纪守法，并保证接受相关部门的监督检查；
- 6、按要求做好项目过程管理、科技报告编写、结题验收和绩效评价等工作。

项目负责人（签字）：

年 月 日

项目承担单位意见：

已按有关规定对计划任务书内容进行了审查，情况属实，并保证做到：

- 1、严格遵守国家及山西省科技计划的有关规定；
- 2、保证在人、财、物和工作时间等方面给予积极支持，特别是自筹经费足额按时到位，按计划任务书 约定完成任务；
- 3、协助、督促项目合作单位对项目实施所需的人、财、物和工作时间等条件给予支持；
- 4、督促项目组按期完成项目的过程管理、科技报告编写、结题验收和绩效评价等工作。

负责人（签字）：

（公 章） 年 月 日

项目组织单位意见：

负责人（签字）：

（公 章） 年 月 日

项目管理专业机构

项目分管人（签字）

负责人（签字或签章）（公 章） 年 月 日

科技厅审定意见：

科技厅项目主管处

项目分管人（签字）

负责人（签字）：

（公 章） 年 月 日