

同行专家业内评价意见书编号: 20250855133

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名: 韩宁

学号: 22260402

申报工程师职称专业类别（领域）: 机械

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年05月20日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

熟练掌握机械专业基础理论知识，如理论力学的静力学、运动学、动力学；材料力学的应力-应变曲线、四大强度理论，熟练计算梁的弯曲应力和轴的扭转应力；机械原理的机构学基础、运动学分析、动力学分析，熟悉机构运动规律与动力传递原理，为机械设计提供理论基础；机械设计的零件强度设计、标准化与结构设计、系统集成，可基于力学原理与工程需求，完成机械零件与系统的具体设计。

熟练使用Solidworks、UG、Vericut、Matlab等软件，通过这些软件可以设计复杂曲面，生成曲面的加工刀具轨迹，进行仿真加工和计算。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

针对“面向厨具关键零件的加工工艺优化”项目，查阅相关中英文文献和书籍，如《复杂曲面零件五轴数控加工理论与技术》。深入学习和理解了五轴机床的加工过程及非线性误差的形成机理，构建了五轴机床双旋转轴对非线性误差影响模型。使用Solidworks软件设计复杂曲面，使用UG软件生产刀具轨迹，使用Matlab软件进行仿真计算，使用Vericut软件进行仿真加工。使用五轴机床进行复杂工件实际加工，学习使用基恩士数码显微镜得到加工工件的表面情况，测量工件的粗糙度和实际轮廓。对测量数据进行处理，通过加工实验证明了工件安装位置对非线性误差的影响规律。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例（不少于1000字）

在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例

项目名称：面向厨具关键零件的加工工艺优化

合作企业：宁波方太厨具有限公司

1. 工程问题与目标

目前，针对五轴机床加工复杂曲面产生的非线性误差、运动学效率进行加工工艺设计大多根据工程实践的加工经验，对加工精度和效率的优化程度较小且难以从理论上指导机床的正向设计和加工工艺的优化。为了解决厨具关键零件（抽油烟机的叶片）的加工工艺优化，探究五轴机床非线性误差、运动学效率的影响因素及其影响规律，指导机床的正向设计，优化加工工艺，提高加工精度和效率，进行了“面向厨具关键零件的加工工艺优化”研究。

2. 理论应用

基于五轴机床的结构建立正逆运动学方程，通过对运动学方程进行合理简化，从而使得运动学方程中的参数具有现实的物理意义。通过研究五轴机床加工过程产生的非线性误差、运动学效率，在非线性误差、运动学效率模型的基础上构建了五轴机床双旋转轴对非线性误差、运动学效率影响模型，构建了非线性误差、运动学效率及其影响因素的数学模型。将对这两个模型和双摆头型、双转台型、转台摆头型机床的运动学方程进行结合，得到三种典型构型机床的影响模型。通过对这些模型进行分析得到非线性误差、运动学效率的影响因素及其影响规律，通过对模型和影响规律的进一步归纳得到了三种构型机床关于非线性误差、运动学效率的加工特性，从而实现工件和机床构型进行适配。

3. 技术实践

通过查阅相关文献，确定研究方向，不针对特定加工工艺进行优化，而是研究非线性误差、运动学效率的运行规律，揭示其变化的本质原因。通过建立和处理数学模型为后续研究提供基础。

使用Solidworks软件设计复杂叶片曲面，UG软件生成叶片工件的刀具轨迹，Matlab进行编程并进行仿真计算，仿真数据证明了所提出模型及影响规律的正确性和三种构型机床的加工特性。根据研究得到的结论，使用SolidWorks优化设计机床的关键结构。最后使用双转台型五轴机床进行加工实验，设计两组对照实验证明工件的安装位置对非线性误差的影响规律；使用使用基恩士数码显微镜得到加工工件的表面情况，测量工件的粗糙度和实际轮廓；通过对比分析加工工件的表面粗糙度和计算实际轮廓的近似非线性误差，证明了工件的安装位置对非线性误差的影响规律。

4. 成果与创新

构建了五轴机床双旋转轴对非线性误差、运动学效率影响模型，探究了三种构型机床的刀具长度、工件安装位置、姿态对非线性误差、运动学效率的影响规律，总结了三种构型机床关于非线性误差、运动学效率的加工特性，总结了影响非线性误差、运动学效率的本质要素；研究成果可以指导机床正向设计，优化机床关键结构，优化加工工艺。

发表了一篇SCI（中科院一区，TOP期刊），申请了三项国家发明专利。

5. 能力提升

提升了领域前沿技术动态跟踪能力、数学建模和分析能力、编程能力、实验设计与数据分析能力、技术方案可视化能力、阶段性成果演示等能力、相关软件的熟练度。掌握了基础的科学研究能力，能够独立开展科学研究。

学习到了如何寻求帮助，如何和别人进行合作。更重要的是学会了如何面对和解决困难，磨炼了心智，提高了分析问题、解决问题的能力。

（二）取得的业绩（代表作）【限填3项，须提交证明原件（包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等）供核实，并提供复印件一份】					
1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】					
成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
可消除曲面加工非线性误差的动态可调七轴工作台和方法	发明专利申请	2023年07月13日	申请号：202310858810X	2/4	
一种五轴联动机床双摆头机构及其使用方法	发明专利申请	2023年08月31日	申请号：2023111129231	2/5	
Influences of rotary axes on nonlinear error for ffve-axis machine tool withdifferent conffgurations: Theoretical model, deduction and simulation	TOP期刊	2024年11月05日	Influences of rotary axes on nonlinear error for five-axis machine tool with different conffgurati ons: Theoretica l model, deduction and simulation	2/5	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 86 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 83 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！ 申报人签名：韩宁	

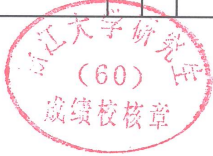
浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260402		姓名：韩宁		性别：男		学院：工程师学院		专业：机械				学制：2.5年			
毕业时最低应获：26.0学分				已获得：29.0学分				入学年月：2022-09				毕业年月：			
学位证书号：						毕业证书号：						授予学位：			
学习时间		课程名称		备注	学分	成绩	课程性质	学习时间		课程名称		备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期		智能物联网与嵌入式应用			1.0	87	专业学位课	2022-2023学年春季学期		新时代中国特色社会主义思想理论与实践			2.0	85	公共学位课
2022-2023学年秋季学期		创新设计方法			2.0	通过	专业选修课	2022-2023学年春季学期		优化理论基础			2.0	81	专业选修课
2022-2023学年秋季学期		工程技术创新前沿			1.5	86	专业学位课	2022-2023学年春季学期		研究生论文写作指导			1.0	90	专业学位课
2022-2023学年秋季学期		工程伦理			2.0	83	公共学位课	2022-2023学年春季学期		自然辩证法概论			1.0	92	公共学位课
2022-2023学年冬季学期		智能装备设计制造			2.0	88	专业学位课	2022-2023学年夏季学期		海洋机电装备技术			2.0	86	专业选修课
2022-2023学年冬季学期		现代测试与控制技术			2.0	89	专业选修课	2022-2023学年春夏学期		研究生英语			2.0	90	公共学位课
2022-2023学年秋冬学期		高阶工程认知实践			3.0	86	专业学位课	2023-2024学年冬季学期		研究生英语应用能力提升			2.0	83	公共学位课
2022-2023学年冬季学期		产业技术发展前沿			1.5	86	专业学位课			硕士生读书报告			2.0	通过	

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章：
成绩校核人：张梦依
打印日期：2025-06-03





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116619060 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 22

(21) 申请号 202310858810.X

(22) 申请日 2023.07.13

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 刘晓健 韩宁 张树有 谭建荣

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

专利代理师 林超

(51) Int.Cl.

B23Q 1/25 (2006.01)

B23Q 15/22 (2006.01)

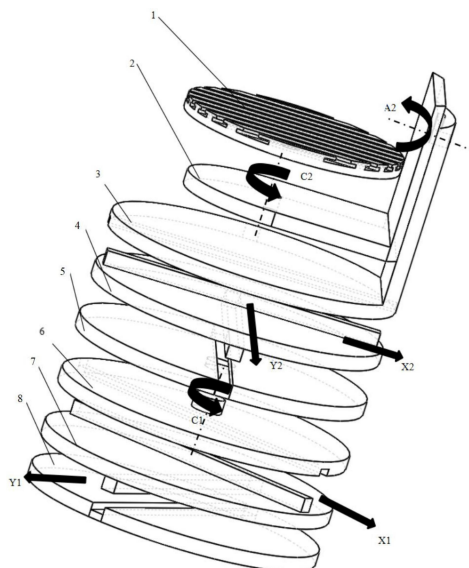
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

可消除曲面加工非线性误差的动态可调七轴工作台和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种可消除曲面加工非线性误差的动态可调七轴工作台和方法。本发明包括一个有两自由度的圆心定位工作台、一个有三个自由度的反向调节工作台、一个有两个自由度的工件姿态调整工作台。本发明适用于加工复杂曲面零件。首先将曲面工件的刀位文件即空间曲线离散为微小平面曲线,再将平面曲线离散成多段平面圆弧。调整工件姿态调整工作台使平面曲线旋转 to 水平面,由待加工平面圆弧的圆心位置调整圆心定位工作台实现平面圆弧的圆心定位,由待加工平面圆弧的半径调整龙门式五轴联动机床的刀具刀位点位置。本发明使用圆弧去拟合曲线,提高了加工精度,加工过程中刀具的刀位点不变,从原理上消除了双旋转轴运动产生的非线性误差。





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117020689 A

(43) 申请公布日 2023.11.10

(21) 申请号 202311112923.1

(22) 申请日 2023.08.31

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 刘晓健 韩宁 裘乐淼 王阳
张树有

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公
司 33200

专利代理师 林超

(51) Int.Cl.

B23Q 3/00 (2006.01)

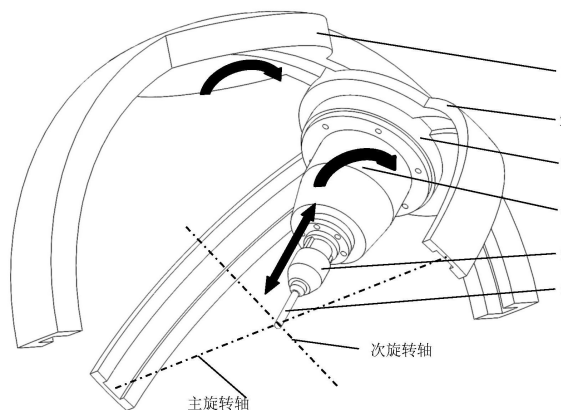
权利要求书1页 说明书4页 附图6页

(54) 发明名称

一种五轴联动机床双摆头机构及其使用方 法

(57) 摘要

本发明公开了一种五轴联动机床双摆头机构及其使用方法。五轴联动机床双摆头机构中,主摆头可滑动地安装在机架的圆弧面中,次摆头可滑动地安装在主摆头的圆弧面中,机架的圆弧面所在轴线与主摆头的圆弧面所在轴线垂直且相交,记交点为枢点,机床主轴箱与次摆头固定连接,刀具通过长度调节器与机床主轴箱连接,刀具的刀心点位置设置在枢点处,机床主轴箱通过长度调节器带动刀具进行旋转运动。本发明使用方法简单,通过将刀具切削点始终保持在两个旋转轴的中心,对现有五轴联动机床中旋转和平移合成运动进行解耦,使旋转运动和平移运动互相独立,从根源上消除了五轴联动机床的非线性误差,简化了后处理过程的计算量,提高了复杂曲面加工质量。



Influences of rotary axes on nonlinear error for five-axis machine tool with different configurations: Theoretical model, deduction and simulation

By Liu, XJ (Liu, Xiaojian) [1], [2], [3], [4]; Han, N (Han, Ning) [1]; Wang, Y (Wang, Yang) [1], [2], [4]; Zhang, SY (Zhang, Shuyou) [1], [2], [3], [4]; Tan, JR (Tan, Jianrong) [1], [2], [4]

Source JOURNAL OF MANUFACTURING PROCESSES
Volume: 132 Page: 1015-1040
DOI: 10.1016/j.jmapro.2024.11.009

Published DEC 26 2024

Early Access NOV 2024

Indexed 2024-12-09

Document Type Article

Abstract In five-axis machining, the ideal straight line trajectory between adjacent cutter location points becomes a space curve in actual machining, which inevitably produces nonlinear errors due to the coupled motion of translational and rotational axes. The two rotary axes of five-axis machine tool are the essential causes of the nonlinear error, but the quantitative role of the mechanism and influences have not been clearly studied. This paper proposes a theoretical model of the influences of the rotary axes on nonlinear error for an orthogonal five-axis machine tool. Two essential variables are identified: the distance from the cutter location point to the pivot point of rotary axes, and the relationship between cutter axis vector and rotary axes angle. The two essential variables are decoupled into several key elements in five-axis machining, including rotary axes configuration in the kinematic topology, tool length, clamping position and attitude of a workpiece. The theoretical models of three typical configurations of orthogonal five-axis machine tool, namely, spindle-tilting type, table-tilting type and table/spindle-tilting type are established. The influence laws of the above key elements on nonlinear error have been theoretically summarized into 9 deductions and proved in the blade machining simulation. Three blade workpieces with identical surface geometries but significant dimensional differences are specified, and the machining performance comparisons of the three configurations in terms of nonlinear error are demonstrated. Finally, the advantages and disadvantages of the three configurations and their applicability to machining workpieces with varying dimensions are summarized. The proposed model and deductions can be used to adapt the surface machining performance of five-axis machine tools accurately and can be further applied to optimize the design of the machine's kinematic topology.

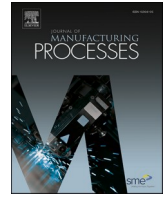
Keywords Author Keywords: Five-axis machine tool; Nonlinear error; Pivot point of double rotary axes; Orthogonal configurations
Keywords Plus: INTERPOLATION; KINEMATICS; DESIGN

Author Information Corresponding Address: Wang, Yang (corresponding author)
Zhejiang Univ, Ningbo Innovat Ctr, State Key Lab Fluid Power & Mechatron Syst, Ningbo 315100, Peoples R China
E-mail Addresses : onward@zju.edu.cn
Addresses :
1 Zhejiang Univ, Ningbo Innovat Ctr, State Key Lab Fluid Power & Mechatron Syst, Ningbo 315100, Peoples R China
2 Zhejiang Univ, Sch Mech Engrn, Hangzhou 310027, Peoples R China
3 Zhejiang Univ, Engrn Res Ctr Design Engrn & Digital Twin Zhejiang P, Hangzhou 310027, Peoples R China
4 Zhejiang Adv CNC Machine Tool Technol Innovat Ctr, Taizhou, Peoples R China
E-mail Addresses : onward@zju.edu.cn

Categories/ Classification Research Areas: Engineering
Citation Topics: 7 Engineering & Materials Science > 7.227 Manufacturing > 7.227.355 Advanced Machining
Sustainable Development Goals: 12 Responsible Consumption and Production

Web of Science Categories Engineering, Manufacturing

Funding



Influences of rotary axes on nonlinear error for five-axis machine tool with different configurations: Theoretical model, deduction and simulation

Xiaojian Liu^{a,b,c,d}, Ning Han^a, Yang Wang^{a,b,d,*}, Shuyou Zhang^{a,b,c,d}, Jianrong Tan^{a,b,d}

^a Ningbo Innovation Center, State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronic Systems, Zhejiang University, Ningbo 315100, China

^b School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

^c Engineering Research Centre for Design Engineering and Digital Twin of Zhejiang Province, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

^d Zhejiang Advanced CNC Machine Tool Technology Innovation Center, Taizhou, 317500, China

ARTICLE INFO

Keywords:

Five-axis machine tool
Nonlinear error
Pivot point of double rotary axes
Orthogonal configurations

ABSTRACT

In five-axis machining, the ideal straight line trajectory between adjacent cutter location points becomes a space curve in actual machining, which inevitably produces nonlinear errors due to the coupled motion of translational and rotational axes. The two rotary axes of five-axis machine tool are the essential causes of the nonlinear error, but the quantitative role of the mechanism and influences have not been clearly studied. This paper proposes a theoretical model of the influences of the rotary axes on nonlinear error for an orthogonal five-axis machine tool. Two essential variables are identified: the distance from the cutter location point to the pivot point of rotary axes, and the relationship between cutter axis vector and rotary axes angle. The two essential variables are decoupled into several key elements in five-axis machining, including rotary axes configuration in the kinematic topology, tool length, clamping position and attitude of a workpiece. The theoretical models of three typical configurations of orthogonal five-axis machine tool, namely, spindle-tilting type, table-tilting type and table/spindle-tilting type are established. The influence laws of the above key elements on nonlinear error have been theoretically summarized into 9 deductions and proved in the blade machining simulation. Three blade workpieces with identical surface geometries but significant dimensional differences are specified, and the machining performance comparisons of the three configurations in terms of nonlinear error are demonstrated. Finally, the advantages and disadvantages of the three configurations and their applicability to machining workpieces with varying dimensions are summarized. The proposed model and deductions can be used to adapt the surface machining performance of five-axis machine tools accurately and can be further applied to optimize the design of the machine's kinematic topology.

1. Introduction

Five-axis machine tools play a crucial role in high-performance manufacturing as they are utilized to process complex curved parts in modern industries [1]. In five-axis machining, during the tool path planning stage, theoretical curves with arbitrary curvature are decomposed into a series of ideal straight line segments, yielding cutter position data, representing the cutter's discrete positions and orientations relative to the workpiece. Then, CNC interpolation in the machine's axis space synthesizes the motion of the five axes to generate the tool path. This linear approximation allows the complex curved surface to be processed within an acceptable margin of error.

In five-axis machining with two rotary axes, the control axes are interpolated linearly, and the combined motion of the translation and the rotation results in the tool path being a space curve. Consequently, the actual trajectory of the cutter location (CL) points deviates from the ideal straight line, resulting in the characteristic nonlinear error of five-axis machine tools [2,3]. Due to the addition of rotary axes, when the curvature of a complex surface undergoes significant changes or singularities, the variation in rotary axes becomes pronounced, making the error particularly noticeable [4], thus reducing the machining precision and surface machining quality of the five-axis machine tools.

Among them, the first category of studies focuses on classifying five-axis machine tools based on topology configuration and performance

* Corresponding author at: Ningbo Innovation Center, State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronic Systems, Zhejiang University, Ningbo 315100, China.
E-mail address: onward@zju.edu.cn (Y. Wang).

荣誉证书

HONORARY CREDENTIAL

韩 宇：

荣获 2024 年度浙江大学宁波科创中心（宁波校区）

优秀专业实践奖学金

特发此证，以资鼓励！

浙江大学宁波科创中心

2024 年 12 月