

面向零件测量领域的转台开发及应用

李积云¹,赵亮社¹,陈涛¹,李宏钢²

(1. 宝鸡职业技术学院 智能制造创新中心,陕西 宝鸡 721013;

2. 宝鸡机床集团有限公司,陕西 宝鸡 721013)

摘要:针对制造数控机床零部件的检测需求,设计开发用于三坐标测量的辅助转台。该转台以零件结构尺寸和精度为技术要点,以三坐标测量机为基础,将转台专用轴承、力矩电机和各向异性磁阻传感器技术应用其中。通过转台的整体结构、机械回转装置、驱动电机、位置控制系统设计,实现零件的高精度位置闭环控制。转台的封闭回转结构有良好的工作稳定性和回转精度,使用其对型号为TK50S数控车床中的主轴零件进行测量,与原有三坐标单独测量得到的结果进行对比,测量效率有所提高,测量精度符合技术要求,试验验证了该转台的实用性。

关键词:转台;零件检测;三坐标测量机;磁阻传感器

中图分类号:TP23 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)04-0020-03

Development and Application of Turntable Parts Inspection

LI Jiyun¹, ZHAO Liangshe¹, CHEN Tao¹, LI Honggang²

(1. Intelligent Manufacturing Innovation Center, Baoji Vocational and Technology College, Baoji 721013, China;

2. Baoji Machine Tool Group Co., Ltd., Baoji 721013, China)

Abstract: To meet the requirements of measuring machinery parts of NC machine, an auxiliary turntable applied in CMM measurement was designed and developed. With the parts dimension and precision as the key technical points, and based on CMM, new techniques such as table bearing, torque motor and anisotropic magneto resistant devoted to the turntable were applied. By overall structural designing, and with mechanical rotation device, motor and position control system, high precision position close-loop control of the parts was realized. Characterized with good working stability and high rotation precision in its closed rotation structure, the turntable was applied to measure the principal axis parts of NC machine of type TK50S, whose result was compared with the previous one done alone by CMM. The results show that the measurement efficiency improves and its accuracy meets the technical requirement, testifying the practicability of the developed turntable.

Keywords: turntable; parts measurement; CMM; ARM

0 引言

数控机床研制中零件检测工序的目的是判定加工质量是否符合设计,保证整机装配精度和性能。三坐标因其高适用性和便捷性而广泛应用。测量机在测量同时记录各关键点的数据信息,传输到控制器,经测量软件计算处理后,输出测量点坐标值^[1]。

数控机床包含的机械零部件有齿轮、齿轮轴、盘、套、箱体等,需测量圆柱度、平行度、直线度、垂直度等众多参数。在保证测量机性能正常、测量环境符合要求、测量过程规范的前提下,提高效率是企业关注的重点。因为检测是衔接加工制造相关工序和装配、调试工序的中间环节,其效率直接影响整个产品的生产周期。三坐标测量机是通过3个线性机构来获取三维空间位置,加之调整、校准、换件等时间消耗,与预期存在较大差距。开发一款针对该类零件装夹和位置调整装置配合测量机工作,提高测量效

率,具有重要的意义。

1 三坐标测量

三坐标测量机对形状规则零件具有很好的适应性,而对具有复杂形状的零件需人为干预,如带有曲面、齿形、叶片、凸轮等零件。众多学者在专用零件检测、三坐标智能检测及检测规划等方面进行了大量的研究和实践,通过测量软件的二次开发或工装夹具的设计达到扩展测量机功能、提高效率的目的。

张露基于三坐标测量机开展对专用零件的检测,将检测结果作为控制产品质量的依据,设计专用夹具,引入SPC控制方法实现汽车底盘零件的质量控制^[1]。宋爱利等设计一种针对渐开线齿轮的测量程序,将其应用到原测量系统,在扩展其功能的基础上提高测量效率^[2]。杨新建将三坐标的自动测量技术和CAM、CAPP相结合,提出了智能测量中检测规划的若干注意事项^[3]。欧阳婷婷等

基金项目:陕西省教育厅科研计划资助项目(20JK0492)

第一作者简介:李积云(1985—),男,青海海东人,讲师,硕士,研究方向为零件智能检测。

对曲面轮廓的测量分别在有基准约束和无基准约束两种情况下的测量差异做了比对^[4]。屈力刚等对规则曲面的策略进行研究,提出临界采样点数算法,做为合理采样的理论基础^[5]。刘涛等利用三坐标测量机结合零件检测软件 Geomagic Qualify 完成复杂三维曲面涡旋零件的精度检测^[6]。张占锋等设计一种数控回转台的消除机构^[7],提高转台回转精度。以上相关研究只对于某种专用零件测量,应用范围有限。

2 转台结构及功能

高精度转台广泛应用在航天航空、军事、测控、检测领域,其综合性能直接影响测试结果的可靠性和精度,故将稳定性和运行精度作为衡量其综合性能的主要指标^[8-9]。稳定性常采用模态分析法,依据结构的振型和固有频率,对不同载荷下结构的振动形式进行预测和优化,避免共振;运行精度靠高精度传动装置和控制系统实现。

图1所示为工作转台外形,整体呈圆柱封闭结构。为避免轴承、电机等元件受到污染和损伤,主要装置布置在箱体内部,大部分机械及电器元件为轴对称圆柱形结构,使其机械结构稳定。箱体外预留线束接口,方便安装。底座预留槽型孔,可安装在各种台面上。

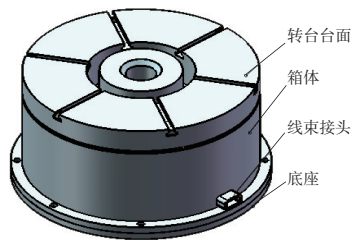


图1 工作台位置布置图

图2所示为位置闭环控制原理,对轴类、盘、齿轮等回转类零件,将零件装夹在转速可调且具有高精度位置控制功能的回转转台上。通过转台位置控制系统来调整待测零件的空间位置,测量机移动副驱动测量机测头做微量调整,测量过程由三个方向的线性移动变为一个快速回转运动 and 几个微量的线性移动。

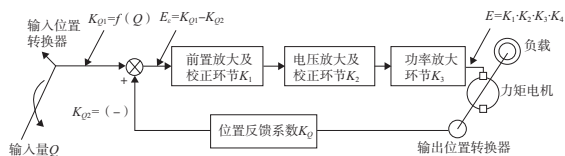


图2 位置闭环控制系统框图

图3为工作台内部元件位置结构图,包括箱体、驱动装置、位置检测装置、制动装置。驱动装置包括力矩电机和转台轴承;电机定子通过螺栓固定在箱体上,电机转子与台面端面连接,转子带动转台台面旋转。为保证转台的回转精度,转台外圆面与转台轴承内孔相配合;位置测量装置采用AMR(磁阻传感器)原理^[10-11],将粘接有各向异性磁阻特性的磁环固定在转轴上,转轴与电机转子固定,传感器将位置信号传输给电机控制器;制动器采用盘式制动器,转台旋转时放松,到预定位置后锁紧。

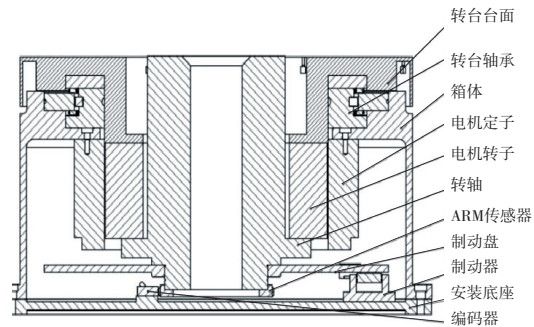


图3 工作台零件位置结构图

2.1 驱动装置

采用蜗轮蜗杆、齿轮减速箱或谐波减速箱等传动方式的转台,传动链的传动间隙是无法避免的^[12]。本文采用力矩电机直接驱动负载的动力模式,避免机械传动链引起的齿隙误差。利用伺服控制系统,使整个驱动装置具有反应速度快,线性度高的优势。通过电机和控制方式的合理配置提高转台的稳定性及静、动态精度。

转台机械回转精度主要受支撑轴承结构和精度的影响,故选用专用转台轴承,如四点接触式、交叉圆柱滚子轴承、三排圆柱滚子组合轴承等。考虑到零件外形及质量分布引起振动和变形,综合考虑其他因素,本文采用圆柱滚子和双向推力滚针组合轴承,安装位置如图3所示,转台轴承的外圈固定在箱体,内圈与轴配合安装。

2.2 位置检测装置

位置检测装置是转台运行精度的核心部件,对机床主轴、齿轮、叶片等涉及分度精度和传动精度的零件,可用回转位置的高精度控制系统驱动转台,配合三坐标进行测量。

本文采用某公司的增量式电感测量装置,该装置由一个非接触式编码器和安装移动装置上的磁阻传感器组成。对于线性位移量,在7m/s速度下分辨率为1μm;对于角度量,分辨率可达10⁻³°。

图4所示为将表面附着有磁阻效应涂层的磁阻传感器磁环粘接在固定环上。该测量装置的精度主要受编码器特性参数和安装调整方式的影响,在使用时注意以下两个方面:

1) 磁性材料在圆周方向上的厚度分布不均,或编码器相对磁环的位置不当会引起误差。图4所示两种安装方式,图4(a)为径向安装,编码器和磁阻传感器安装在轴的外圆面上;图4(b)为轴向安装,编码器和磁阻传感器安装在轴的外端面。轴向偏移引起的误差大于径向偏移引起的误差,结构允许时,尽量选用径向安装方式。该类误差为 $E_1 = \pm \frac{4.6}{D}$ 。其中D为磁环外圆直径。例如,若磁环外径为D=60mm,误差 $E_1 = \pm 0.076^\circ$ 。

2) 安装不当引起的误差。磁环的偏心和安装过程中的变形引起的误差是整个系统误差的主要组成部分。编码器和磁环的相对位置有严格要求,该误差为 $E_2 = \pm 0.114 \frac{e}{D}$ 。其中e为磁性材料涂层相对于回转中心的

偏心值, D 为磁环外圆直径, 若 $D = 75 \text{ mm}$, 偏心值为 $e = 5 \mu\text{m}$, 误差 $E_2 = \pm 0.008^\circ$ 。

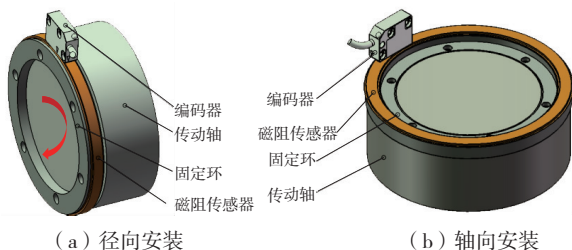


图 4 AMR 传感器安装位置示意图

3 元件选型

型号为 TK50S 数控车床中的零件有主轴箱、传动轴、传动齿轮等, 其中主轴箱外轮廓尺寸长宽为 $520 \text{ mm} \times 460 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$, 最大质量为 300 kg 。将工作台面外径设计为 500 mm , 工作台面最大线速度为现有三坐标测量机线性平移速度的 2 倍 (三坐标线性副移动速度为 200 mm/min), 最大回转速度为 $150^\circ/\text{s}$, 最大加速度为 $30^\circ/\text{s}^2$ 。

3.1 电机和轴承

为保证工件稳定安装, 依据载荷选用某公司生产的型号为 YRT260 高精度转台轴承。外径 $\phi = 385 \text{ mm}$, 内径为 $\phi_1 = 260 \text{ mm}$, 轴承的极限转速为 $n = 200 \text{ r/min}$, 轴向动载荷 $C_a = 160 \text{ kN}$, 径向动载荷 $C_r = 93 \text{ kN}$, 摩擦力矩 $T = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。由上述运行参数得知, 转台工作时的角加速度 $\varepsilon = 30^\circ/\text{s}^2 = 0.524 \text{ rad/s}^2$ 。

转台工作时所克服的力矩包括惯性力矩和摩擦力矩, 负载质量为 300 kg , 其他旋转部件质量为 150 kg , 得到运转时最大转动惯量 $J = mr^2 = (300 + 150) \times 0.5^2 = 112.5 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$, 对应惯性转矩 $M = J\varepsilon = 112.5 \times 0.524 = 58.95 \text{ (N} \cdot \text{m)}$; 摩擦力矩按照转台轴承的起动力矩计算, 摩擦力矩 $T = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

以上得到转台峰值力矩为 $T_0 = M + T = 78.95 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。考虑负载变化及预留余量、装置稳定性, 选择某公司的永磁式直流力矩电动机, 型号为 LYX320LYX02, 安装方式采用为分装式, 电机的峰值堵转转矩 $> 10 \text{ N} \cdot \text{m}$, 最大空转转速为 80 r/min 。

3.2 AMR 传感器

数控车床 TK50S 主轴箱内齿轮既要考虑传动精度, 也要考虑传动稳定性、噪声和振动, 因此以齿轮公差组 I 组和 II 组中的公差与极限偏差项目进行零件检测。两类公差组中包含的项目有: F_p 为齿距累计误差、 F_r 为齿圈径向跳动公差、 f_i 为齿形公差、 f_{pt} 为齿距极限偏差。选择 5 级精度渐开线圆柱齿轮, 上述各个参数对应取值为: $F_p = 0.01 \text{ mm}$ 、 $f_i = 0.008 \text{ mm}$ 、 $F_r = 0.016 \text{ mm}$ 、 $f_{pt} = \pm 0.007 \text{ mm}$ 。

依据以上技术要求, 选取编码器型号为 LM10IC002 的 AMR 传感器, 分辨率 0.002 mm 。磁环型号为 MR122E, 磁阻传感器固定环的外径为 120 mm , 内径为 90 mm , 采用

径向安装方式。

4 实验验证

以型号为布朗夏普 XCEL9.12.9 三坐标测量机为基础, 将该转台安装在三坐标测量机上。待测工件的 CAD 图如图 5 所示, 为一根主轴, 基准 A 和 B 对应外圆为支撑轴承安装位置。为保证主轴回转精度, 需测量两端外圆柱度, 两端外圆之间的同轴度及轴承安装端面对外圆面的跳动度。

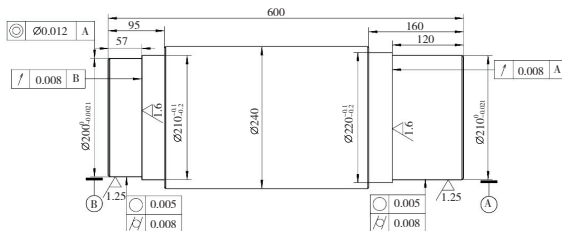


图 5 零件 CAD 图

按照常规测量方法, 将三爪卡盘或专用工装夹具固定在测量机底座上, 然后固定工件。设置工件和测量参数后, 选用测量机附带的测量程序模块, 如同轴度、圆柱度进行测量。正常工作时整个工件和工装夹具是不动的, 只通过 3 个线性移动副的运动调整测头的位置, 获得相应的零件尺寸信息。若图 5 所示待测零件外径较大, 或轴向尺寸较长, 需要几十分钟。

将该转台安装在三坐标底座上后, 把工件安装在转台台面上, 随转台转动。通过转台位置控制和驱动装置调整工件待测位置, 测量机测头只需做微量调整即可实现测量, 缩短测量时间, 很好地解决了测量大尺寸零件时间过长的问题。表 1 所示为分别用三坐标和转台与三坐标协同测量两种方式, 测量相同参数的检测结果。

表 1 主轴形位公差检测结果

序号	项目	设计值/ mm	三坐标测量		三坐标+转台测量	
			实测值/ mm	时间/ min	实测值/ mm	时间/ min
1	圆度	0.005 0	0.005 6	3.0	0.006 4	2.0
2	圆柱度	0.008 0	0.007 1	6.0	0.007 4	4.0
3	圆度	0.005 0	0.004 9	1.0	0.005 1	0.5
4	圆柱度	0.008 0	0.006 9	1.0	0.006 8	1.0
5	同轴度	0.012 0	0.015 9	1.0	0.015 8	1.0

通过对比发现, 高精度转台的应用, 可扩展三坐标的测量功能, 在保证测量精度的基础上提高测量效率。该装置可在相关企业中普及, 也可配合机械臂将此装置安装在智能生产线上, 提高生产效率。

5 结语

为解决数控机床生产中出现的零件测量相关工序效率低的问题, 开发了辅助三坐标测量机测量的回转转台。

(下转第 38 页)

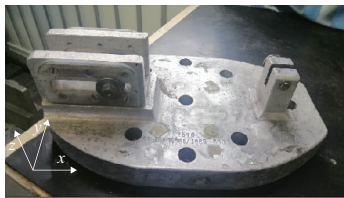


图9 组装完成的振动夹具



图10 y轴振动试验安装图

根据该机载作动器的技术要求在某电动试验台完成试验,通过安装在试件上的加速度计传感器反馈的功率谱密度验证夹具设计的合理性。图11所示绿色直线为理论谱线,蓝色持续振荡的为响应谱线。从图中可看出夹具在试验频率范围内能够真实模拟试件的边界条件并平稳地传递振动信号,对振动量级的放大效果在 $\pm 2\sigma$ 范围内,同时响应谱的加速度方均根为 $4.969g$,与理论值误差为 0.40% ,夹具满足使用要求^[9](本刊为黑白印刷,相关疑问可咨询作者)。

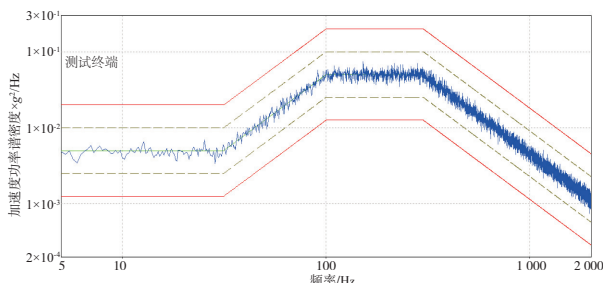


图11 响应点处的功率谱密度

4 结语

本文针对某机载作动器的边界和试验条件完成了夹具的建模,基于有限元仿真结果加工了夹具实物,随后进行作动器的振动试验,得出以下结论:

1)在工期不受限制及结构允许时,小型直线作动机构的夹具可优先采用整体铸造形式,其传递特性优于焊接;

2)通过有限元仿真可在振动夹具设计过程中评估其动态特性,实际的试验结果也验证了该方法的科学性与真实性;

3)本文所设计的专用振动夹具,其质量靠近约束范围的上限值,而且底板的刚度余量充足,可在以后同类型夹具设计时引入优化方法获得相关尺寸的最优组合。

参考文献:

- [1] 张阿舟. 振动环境工程[M]. 北京:航空工业出版社,1986.
- [2] 邵闯,方可强. 静载作用下的飞机结构振动试验研究[J]. 机械科学与技术,2009,28(11):1505-1508,1513.
- [3] 马爱军,刘洪英,董睿,等. 振动试验条件在夹具动态特性设计中的考虑[J]. 航天器环境工程,2013,30(1):78-81.
- [4] 尚村,李响. 某产品振动夹具的设计及结构优化[J]. 装备制造技术,2014(11):62-64,67.
- [5] 程来,宋言明,杨洋. 机载装置的振动试验夹具设计[J]. 机械科学与技术,2012,31(6):910-914.
- [6] 焦春旺,张杰. 电子产品大型机柜振动夹具设计及振动试验控制[J]. 电子机械工程,2016,32(2):35-38.
- [7] 黄健,林述温,林航. 基于模态分析的动臂固有频率预测模型[J]. 机械制造与自动化,2019,48(4):100-102,115.
- [8] 刘阳,熊望娥,申维娜,等. 基于ANSYS的某航天光学指向摆镜系统的随机振动分析[J]. 机械设计与制造,2010(4):18-20.
- [9] 周金林,付晨晖,刘旭琳. 振动试验夹具设计方法研究[J]. 装备环境工程,2012,9(6):135-139.

收稿日期:2021-03-09

(上接第22页)

转台整体封闭式结构以及转台轴承和力矩电机的应用,极大地提高了测量装置的稳定性和机械回转精度。利用磁阻传感器位置控制系统实现测量时零件的位置控制,达到扩展测量机功能、提高测量效率的目的。该转台不但能满足常规零件的测量,同时可测量具有复杂外形结构的零件,面向零件测量领域具有一定的推广实用价值。

参考文献:

- [1] 张露. 三坐标测量机在产品质量检测中的应用[D]. 长春:长春工业大学,2017.
- [2] 宋爱利,庞敏,宋慧,等. 基于三坐标测量机的渐开线齿轮测量方法[J]. 金属加工(冷加工),2020(5):77-80.
- [3] 杨新建. 智能三坐标测量机检测规划问题的研究[J]. 计量与测试技术,2017,44(8):57-58.
- [4] 欧阳婷婷,刘延平,彭江涛,等. 基于三坐标测量机的曲面轮廓度坐标测量技术[J]. 航天制造技术,2020(2):4-8.

- [5] 屈力刚,胡宝慧,李静. 基于三坐标测量机的规则曲面采样策略研究[J]. 机床与液压,2020,48(2):35-39.
- [6] 刘涛,吴军,王霞琴,等. 复杂三维曲面涡旋零件的精度检测[J]. 机械制造,2014,52(8):78-80.
- [7] 张占锋,李太林,周永东. 一种数控回转工作台的消隙机构[J]. 机械制造,2015,53(9):18-20.
- [8] 苏芬平,崔伟. 高精度转台的分析与设计[J]. 传感器世界,2018,24(7):19-24.
- [9] 樊凯强. 精密伺服转台控制系统研究[D]. 太原:中北大学,2017.
- [10] 黄少楚,冯晓明,卢丽卿,等. 基于各向异性磁阻传感器灵敏度与分辨率的探讨[J]. 大学物理实验,2018,31(4):9-12.
- [11] 徐照平,常思勤,施昕昕,等. 基于磁阻原理的高速直线运动位移测量系统[J]. 仪表技术与传感器,2009(3):89-91.
- [12] 黄兴,蔡潇,闫秀峰. 某舰载伺服转台动力学仿真分析[J]. 舰船电子对抗,2018,41(6):67-70.

收稿日期:2021-03-25