

# 重型机床重力变形及误差辨识技术研究

张文广 王春周

齐重数控装备股份有限公司 黑龙江 齐齐哈尔 16100

**【摘要】**重力场对机床的影响一直以来是重型机床生产制造的突出问题,随着科技的进步,对机床的精度要求随之提高,对大尺度测量也提出了更高的要求。本研究将针对大尺度测量和重力场对机床的影响的测量和检测方法以及评定标准进行建模分析和研究,提出重型机床精度综合测试方法,完善重型机床精度测试规范与标准。

**【关键词】**重型机床;重力变形;误差辨识技术

## 1 研究背景及意义

随着科技的不断发展,各行各业对产品精度的要求越来越高。重型机床作为加工制造大型、特大型零件的工作母机,其精度直接决定着所加工的大型零部件的精度。因此,要想制备满足高精度需求、适用于特殊应用场合的合格产品,重型机床本身的精度是必须要保证的一项性能指标。同时,重型机床的精度高低也是反映一个国家制造能力强弱、制造水平高低以及科技能力和综合国力的一个重要标志。重型机床具有结构尺寸大、载荷重、运动环节多、工作行程大、驱动单元功率大、发热多等特点,其精度受到其组成零部件制造和装配误差;内、外部热源引起的热变形误差;自重、切削力引起的变形及由于动刚度变化产生的振动误差;轴系伺服系统产生的伺服跟随误差;以及外界振动、湿度、气流变化等环境影响。因此,重型机床的真实精度受到多因素、多场耦合综合作用,其精度模型、精度检测、误差建模与辨识等技术更为复杂。如何科学地评价重型机床的真实精度是当前国内外学者面临的一个技术难题。当前,国内外学者对的数控机床精度建模及分析主要集中在中小型数控机床,针对重型机床的研究较少。因此,国内重型机床行业迫切需要针对重型机床的精度模型和测试、评价标准开展深入研究,以提高我国重型机床的档次和水平。

## 2 技术方案、技术原理

### 2.1 技术方案

重型机床重力变形及误差辨识技术研究的研发将分为方案设计、建模与分析、专家会议论证、初步验证、改进完善等主要阶段,其中在专家会议论证阶段后,需要对所提出的模型与方法进行修正与改进,在初步验证后,还要对所提出的技术平台进行调整与完善。

#### 2.1.1 重型机床精度模型

精度及其影响成因是重型机床设计、制造和应用中关注的焦点。多尺度、多体、多场交互耦合影响贯穿整个机床设计、制造与加工使用过程,并直接决定机床的加工精度,导致真实精度的数字表征模型复杂、创成解析困难。高精度空载测量难以表征机床真实的动态精度、相互独立的建模分析方法不能表述加工的复杂过程。为此,需要对机床精度进行精确的定量分析,针对重型

机床具有大尺度空间及机械、电气、控制多层次的特征,建立重型机床系统集成设计的统一表述模型,揭示机床系统内在多尺度特征和多层次系统融合对其加工精度和动态性能的影响规律,提出重型机床精度设计的解析理论与方法,形成重型机床集成设计精度模型;

#### 2.1.2 重型机床精度测试方法研究

建立了重型机床的精度模型后,还需要对机床精度进行精确的定量分析,解决重型机床真实精度的精确测试问题,建立时变强耦合下机床和加工过程的精度创成理论和数字化模型,实现多目标、非线性约束条件下机床系统加工精度的解析预测与工艺能力的优化控制。本课题首先针对大工作空间、不同工艺类别重型机床,寻求新的测量方法和手段;然后,设计用于测量机床综合精度带有典型结构特征的试件库,包括盘类、轴类、箱体等不同类型,建立加工工件精度的量化测试方法最后,对测得的综合误差探究误差分离与辨识的新方法和算法。

### 2.2 技术原理

#### 2.2.1 长距离导轨直线度、平行度测量间距的计算

基于不同长度的导轨不同,其内部结构,筋板布置也不相同。对于中小型机床,其导轨的长度很短,在测量时按常规方法选择部距和测量较为准确和方便。但对于重型机床,导轨长度长达数十米,如按原有常规方法进行测量效率较低。所以此时需要一合理的测量步距进行测量,既能反映出导轨的真实长度,又能提高效率。

#### 2.2.2 重型机床大跨距龙门架横梁重力场变形曲线计算

重型机床受重力场影响最大处在大跨距龙门架中,横梁本身的自重变形及执行部件的连续进给运动等综合因素会导致横梁的挠曲下垂变形,使其与工作台的平行度难以控制。在重型机床的制造过程中,利用有限元仿真模拟计算反变形解决此问题,但是由于零件制造过程中,实际零件与设计指标有微量差异,如材料成分、密度的差异性等。导致计算结果与实际的工艺预变形曲线有一定的误差导致超差,往往需要经过多次修正达到使用要求,为解决这一难题,研究一种无差别的计算方法,保证横梁一次性安装合格。

横梁在重力作用下的变形由弯曲和扭转组成。由于弯曲和扭转的有限差分校正模型不同,使用该方

算横梁重力变形曲线时,需要将有限元仿真中的弯曲及扭转数据进行分离,才能分别校正。

将横梁简化为一简支梁,重力作为均布载荷施加于横梁,以重力载荷集度来表示均布载荷的大小。

### 3 研究试验内容

重型机床是满足国计民生的一系列重大设备生产加工需要的关键设备,其精度直接决定了被加工零件的精度等级,其由于结构尺寸大、载荷重、运动环节多、工作行程大、驱动单元功率大、发热多等特点,其精度检测相对于中小机床更复杂。

本课题对重型机床行业所亟待解决的关键问题进行研究,制造具有典型形貌特征的精度测试试验台—龙门架综合精度试验台,进行试验和论证测试方法并加以总结,形成具有指导意义的标准规范。

#### 3.1 建立重型数控龙门架综合精度测试试验台及实验研究

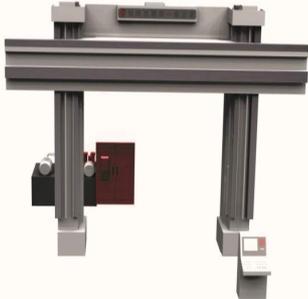


图 9 龙门架试验台

基于龙门架综合精度测试试验台,研究重型机床亟待解决的关于横梁重力变形测量问题,该试验台提供试验研究的材料。以往的检测方法使用水平尺、百分表等只能定性的检测出刀架移动对工作台面的平行度,却不能定量的评价横梁自身及受刀架影响产生的变形,包含重力变形及扭曲变形。

在龙门架使用在相同的测试温度下,使多种测试方法进行测量,设计一种新型检测装置实现定量的检测测量,通过试验以寻求新的测试方法和手段,总结测试数据和比对方法的可行性。找出真实导轨精度的测试方法和评定标准。

基于大行程的综合精度测试试验台,目的解决和规范长距离导轨的直线度、平行度的精确测量。在试验台上进行试验,总结过去的标准规范寻求突破创新。

相同的测试温度下,分别比较使用不同测量长度的桥板和准直仪、激光干涉仪以测量横梁导轨(垂直平面内、水平面内)的直线度和导轨的平行度的差异。找出真实导轨精度的测量方法和评定规范。

在本试验台,主要针对长距离导轨直线度、平行度跨距测量进行试验。分别使用不同长度的桥尺(长度200mm、300mm、400mm、500mm、1000mm),不同的测试仪器(水平仪、激光跟踪仪、准直仪、SP激光测量),综合评价和比对长导轨的直线度、以及平行度最佳测量步距。

在此试验台上,通过一系列的试验论证,说明在

长距离直线度、平行度的测量上得出较为准确的测量结果,可以选取最为经济可行的测量步距进行测量,提高测量效率,还能反映导轨的真实精度,减小测量误差。填补重型机床关于长距离导轨测量方法的空白。提高长导轨在装配调整时的精度,确定调整目标,有效调整。

本试验台自带液压系统,数控系统。在齐重可作为企业的研究性平台继续进行重型机床长床身导轨的相关精度(几何、数控)等的试验研究,对于后续新产品的开发和研制起到一定的推进作用。

### 4 项目的先进性和创造性

#### 4.1 技术难点

(1) 多因素、多场耦合作用对重型机床精度的影响规律

重型机床的加工过程是多尺度、多体、多场交互耦合作用的过程,其加工精度除了受机床制造和装配精度、系统刚度、刀具等影响外,还受到机床运动精度、地基、重力和温度场、加工环境、工件材料、加工工艺参数、伺服系统误差等多因素的动态耦合影响,揭示多因素、多场耦合作用对重型机床精度的影响规律将是建立重型机床精度模型的关键。

(2) 重型机床加工精度和各误差分量的新型检测方法

重型机床因其结构尺寸大,各进给轴运动范围大,因此给精度的检测与辨识增加了难度。另外,重型机床由于工艺类别的不同,加工需求的不同,其结构形式、运动范围也各不相同,对其进行精度系统的测试与评价也没有统一的规范与标准。如何对重型机床的精度进行有效检测,并形成统一的评估规范,是该课题的一大难点。

#### 4.2 创新点

(1) 重型机床精度建模系统

通过对加工过程及加工尺寸、形状和表面形貌创成的综合数字化建模与仿真,揭示多因素、多场、多物理量交互作用对重型机床精度和加工精度的影响规律。通过时变强耦合作用下机床和加工过程的数字化建模,提出重型机床精度和加工精度的测试、评定新方法,建立重型机床系统的精度理论。

(2) 重型机床误差辨识与分离技术

采用误差分析和复杂性理论,研究多因素、多场耦合作用对重型加工机床多维精度的影响规律,基于频域解析理论,实现误差分量的解耦。设计具有特征形貌的样件,进行重型机床真实精度的检测和误差溯源,改进与完善机床多维精度的表征模型。

#### 【参考文献】

[1] 面向机床整机动态性能的立柱结构优化设计研究[J]. 刘成颖,谭锋,王立平,蔡钊勇. 机械工程学报. 2016(03)

[2] 基于灵敏度分析的龙门加工中心横梁轻量化设计[J]. 张森,杨玉萍,邱自学,季彬彬,王俊杰. 机械设计. 2015(04)