

数控机床主轴动态性能检测系统研究

黄春韶

(浙江杭机股份有限公司 浙江 杭州 310012)

摘要: 数控机床是智能装备生产与制造中的关键设备,能有效提高机械设备生产效率和生产质量。作为数控机床功能发挥的重要构件,数控机床主轴是数控机床能否圆满完成生产制造目标的关键,其可靠性直接关系到数控机床生产过程的稳定性和数据误差的降低。传统模式下的数控机床主轴控制系统主要依赖大量的数据信息,其基于大量数据的融合分析,确认并调节数控机床主轴控制系统的精确度,一旦数据量过少,很容易影响最终效果。因此,本文在对数控机床主轴动态性能检测内容进行梳理的基础上,针对数控机床主轴系统进行有限元结构分析和动态分析,根据分析结果确定最终的优化尺寸、敏感度和具体优化参数值等内容,旨在为数控机床主轴动态性能检测系统研发水平的快速提升带来更多参考和启迪。

关键词: 数控机床; 主轴; 动态性能检测; 系统

0 引言

伴随着制造业的快速发展,数控机床的应用已然融合到各行各业的生产制造过程中。可以说,数控机床应用水平的高低,直接关系到不同企业市场竞争力的高低,是企业生产效能体现的重点之一。对数控机床的研究,在我国经济发展和技术进步上都有着较强的现实意义。在数控机床研发设计优化和运行时,主轴的动态性是指数控机床在正常运行状态下的输入、输出量关系变化,一般是以某函数作为其关系的表达。传统数控机床的数据分析过程中,其大体量数据信息的获取难度与优化设计水平提升间会相互制约,因此,采取全新的方式对数控机床主轴性能进行动态化测试,具有重要的理论意义和现实价值。

1 数控机床主轴动态性能检测内容

一般而言,数控机床的动态性能检测主要包括机床固有参数的检测和数控机床主轴动态性能的检测两大部分内容。其中,数控机床主轴动态性能的检测,主要是检测机床的振动幅度等参数信息。当技术人员对数控机床存在参数信息的频率疑惑时,可通过检测系统判别数控机床是否存在共振情况,也可以对其构件震动情况进行判断和检测,探究其是否存在震颤作用下产生的不良作用力。在对振动参数进行采集时,主要借助基于声学技术的砂轮监测系统,监测由砂轮和工件之间的动作发出的颤震。该颤震是由切削时能量的释放产生的。此能量的释放通过机床以超声波的形式传送。当这些声波穿过机床上各种各样的组件时,其频率和振幅都会改变。通过监测这些声波,并且和

一个基准进行比较检测出机床动作的变化。颤震的变化可以表示切削力的变化从而做出相应的循环。当声波的频率到达一个特定值时,可以判定为砂轮出现颤震现象,并实时记录具体数据。

技术人员想要进一步对数控机床的主轴动态性能检测进行优化,就必须把握数控机床主轴动态性能检测的基本内容。因此,在主轴动态性能检测系统优化过程中,首先应该完成主轴的基本建模工作。这种建模通常以数控机床主轴系统结构为基础,根据主轴系统结构之间的受力特征建立微分力学模型,然后进一步利用微分力学模型的结构作用进行求解,得到数控机床主轴模型的最大特征参数和特征向量,以此确定数控机床的动态参数检测过程;或是在数控机床的内部结构中探究其发射信号的变化,通过发射信号频率检测不同结构接收到发射信号变化后的具体参数的改变,根据参数变化过程确定数控机床主轴存在的固有频率及振动类型。

2 有限元模型

在对数控机床主轴动态性能检测进行有限元模型构建时,首先应该了解数控机床的基本工作内容和基本结构设置,了解数控机床在加工过程中主轴箱不变动,工作台沿着下部托板结构运动以实现其主轴 X 方向运动,或是刀架沿着其下部结构托板运动以实现 Y 方向运动等的基本运动特征,根据其力学运动特征简化力学模型。在对数控机床主轴检测系统进行材料设置时,应根据材料密度、结构泊松比、弹性模量等基本固有属性,探究数控机床主轴有限元结构模型,由于数控机床主轴往往采取空心阶梯轴的方式,利用两侧支撑结构模式分担其受力,前轴所采用的往往是接触球轴承模式,主要承受

数控机床在主轴运动过程中的径向抵抗力和切削时产生的轴向竞争力,而后轴则往往采取深沟球轴承的方式,主要承担数控机床在运行过程中的径向力。为了便于分析,应对数控机床的主轴运动过程,进行三维实体建模,简化主轴在整个运动过程中的细微结构,忽略其二维模型中诸如倒角、圆角和圆孔等微小特征。在此基础上,根据数控机床主轴运动过程设置边界条件,利用有限元分析方法中的静态特征分析参数变化过程,确定荷载边界条件和约束边界条件,根据数控机床主轴运动过程中所承担的荷载和轴向轴承之间的约束作用,建立主轴二维参数平面下的有限元模型图,如图 1 所示。

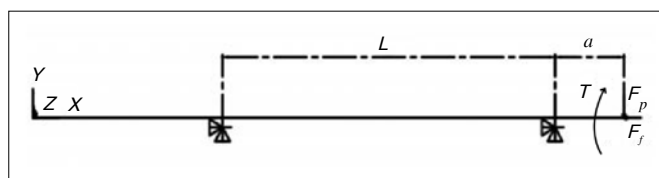


图 1 主轴二维参数平面下的有限元模型图

3 动态分析

通过对数控机床主轴动态性能检测系统进行动态结构分析,研究数控机床主轴在受到外界所施加的荷载力的作用下,随着时间、频谱参数甚至频率参数等的变化而得到的参数变化值,以此得到数控机床主轴在整个运动过程中关于位移、速度、加速度物甚至是其他应力等物理参数变化。在整个分析过程中,动态时域分析往往研究数控机床主轴动态检测系统跟随时间变化所得到的非周期性荷载作用和该作用下的反应关系,其变化过程如图 2 所示。由图 2 可知,数控机床的主轴变形量随着时间不断延长呈现波形衰减结构,前期数控机床的主轴变形量较大,最大变形量甚至高达 2.57mm,最后数控机床主轴的变形量将趋于某一稳定参数值。

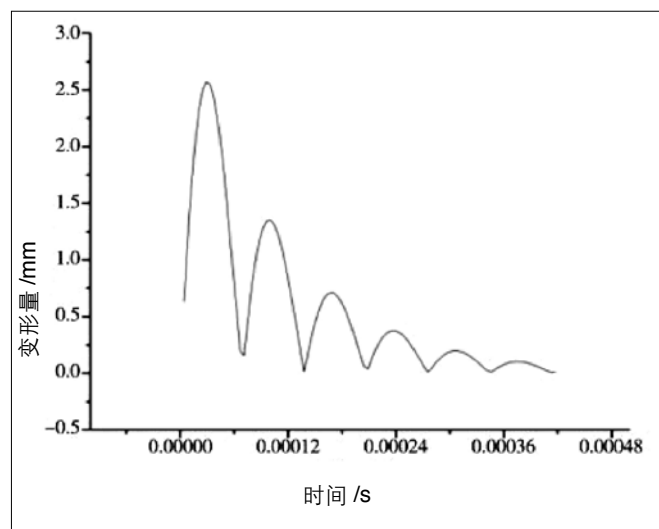


图 2 动态时域分析

另外,对动态频域参数进行分析,探究数控机床主轴频率变化的周期荷载参数或循环荷载参数的变化过程,机床结构在外部加工条件下所产生周期性的基准力作用,该力作用的变化频率将随着机床主轴的转动速度甚至是机床内部构建刀刃速度的变化而变化。动态频率参数分析如图 3 所示。由图 3 可知,数控机床主轴的变形量在频率为 7240Hz 时达到了最大值,此时数控机床的主轴以三阶固有频率的参数形式分布,主轴的激振类型为中间型,为沿着 Y 轴方向振动的结构,且整体震动幅度较大。由此可知,数控机床主轴在 Y 方向上存在着较薄弱的受力特征,需要进一步通过优化来提高其固有频率,提升数控机床主轴的动态检测性能。对数控机床主轴运行过程中的动态冲击进行分析可知,频率资源变化所引起的数控机床主轴系统的反应变化,在随着其输入参数量的变化而产生带有某一位移甚至加速度反应的频谱。通过相关分析可知,数控机床主轴在 Y 方向上动态冲击参数值较大,且中间部分承受的变形量往往较为明显,最大变形量能够高达 1.21mm。对数控机床主轴的随机振动进行分析可知,能够探究到在随机振动的变化条件下,数控机床主轴外方向上的变形最大。也就是说,数控机床在外力作用的承受过程中,Y 方向较为薄弱。

4 优化分析

4.1 优化尺寸的确定

根据上述数控机床主轴动态性能检测有限元分析和动态结构分析,探究数控机床主轴系统动态检测的优化方式。首先对其尺寸参数进行优化确定,主轴机床的静态特性和支撑跨轴、轴承之间的高度,甚至横距和轴向尺寸、径向尺寸等相关。根据动态分析的相关结果,能够选择数控机床主轴的孔径、外径以及支

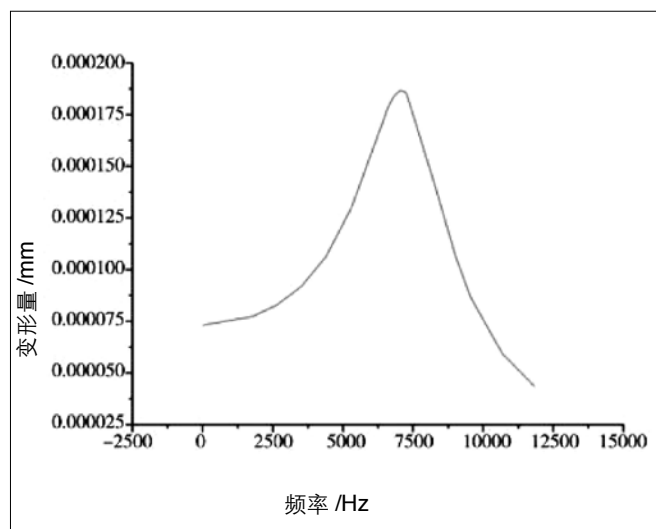


图 3 动态频域分析

撑轴跨距和数控机床主轴前端的延伸量为基本的优化尺寸参数。

4.2 敏感度分析

进一步以敏感度分析对数控机床主轴的动态性能检测进行探究，敏感度参数分析利用数学方法来计算出数控机床主轴的动态性参数，随着尺寸变化的灵敏度，选择出在动态变化过程当中影响较大的尺寸参数，以此选择合理的参数范围。基于判定规则，利用全局变量方法研究数控机床主轴的优化尺寸，探究其对主轴性能的影响，完成其全局敏感度的分析，其变化范围见表 1。

表 1 变化范围

设计变量	d/mm	D/mm	L/mm	a/mm
最小值	52	139	111	18
初始值	56	169	111	40
最大值	61	179	150	46

表 2 优化列表

迭代次数	设计变量				设计极限		优化目标
	d/mm	D/mm	L/mm	a/mm	Disp/mm	Rot/rad	Mass/kg
1	56	169	111	40	6.25e-03	8.19e-05	61.78
2	56.54	162.9	11.69	38.78	6.42e-03	8.26e-05	60.13
3	58.66	139	114.40	34.22	6.06e-03	8.35e-05	54.03
4	59.29	139	115.42	33.44	6.09e-03	8.24e-05	53.81
5	61	139	116.82	30.39	5.91e-03	8.35e-05	52.92
6	61	139	117.98	29.82	5.76e-03	8.17e-05	52.94
7	61	139	120.02	27.41	5.75e-03	8.16e-05	52.76

4.3 优化计算

秉持着提高数控机床主轴动态检测性能的基本目标，设置主轴质量最小为其基础优化目标，进一步读取以数控机床主轴在运行过程中的最大位移参数和最大扭矩参数，并将上述两个参数作为基本设计极限约束条件。

在确定数控机床主轴动态性能检测过程当中，机床主轴孔径、外径、支撑轴跨距和数控机床主轴前端延伸量为基本优化尺寸参数的基本前提下，选择相应的参数变化范围，并根据此选择数控机床主轴动态性能检测过程中的最大迭代优化，参数设置相应的收敛公差参数，进一步生成优化文件。在优化文件运行算法进行迭代运行后，得到最佳的优化设计方案，其优化列表见表 2。

5 结语

文中在对数控机床正常运转状态下的固有频率、共振型号等诸多参数进行研究的基础上，结合正常运行状态下的有限元模型分析过程，探究数控机床主轴运动条件下的动态变化过程，进而根据数控机床主轴性能优化目标确定优化尺寸和敏感度参数值等，科学计算数控机床主轴性能优化的各项参数，最终得出了最佳的优化设计方案，证明了这一方法的可行性。

参考文献：

[1] 陆建明，张磊．数字化数控机床主轴测试系统的研发[J]．试验检测，2017(56):43-46.

[2] 潘冬．基于改进PID控制的数控机床主轴动态特性监测研究[J]．自动化与仪器仪表，2020(12):33-35.

[3] 陈艳丽，吴冬霞，芮守，等．数控机床主轴动态性能检测系统研究[J]．内燃机与配件，2020(11):67-69.

[4] 贾超凡，朱昱，倪红军，等．数控机床主轴静态特性分析与优化设计[J]．组合机床与自动化加工技术，2019(8):12-15.

作者简介: 黄春韶(1974.04-),男,汉族,浙江浦江人,本科,高级工程师,研究方向:液压,静压结构及系统设计。