

基于ANSYS Workbench的复合材料滑枕设计

宫兴林, 刘柏余, 倪长圣, 朱振年

科德数控股份有限公司 辽宁大连 116630

摘要: 基于正向设计理论, 应用ANSYS Workbench对公司开发的一款高精度立式加工中心的滑枕进行动态、静载测试分析, 对比国外先进成熟机型, 从零部件的动、静刚性角度对比设计, 为机型的开发提供理论依据。经过计算及后续整机加工测试, 复合材料滑枕满足设计及使用要求。

关键词: 复合材料滑枕; 模态分析; 力学分析; SolidWorks; ANSYS Workbench

1 序言

KMV60立式坐标级镗床是科德数控股份有限公司研发的一款机床, 该机型主要用于航空航天、光学、医疗器械及高精度模具等行业。加工的零件具有高精、高效、高稳定性的特点。该机床采用对称性龙门结构, 机床主体结构件(床身、立柱、滑鞍、滑枕、工作台和连接座)全部采用复合材料。国内铸铁材料相较于日本、欧美等发达国家有较大差距, 铸件材质的稳定性也参差不齐。公司从事复合材料研究十余年, 积累了大量关于材料特点的研究以及使用的经验。

滑枕是数控机床的重要组成部分, 作为主轴进给运动的主要驱动部件, 对机床加工精度具有直接的影响。结构件的刚性是决定机床加工精度的首要因素, 另外加工过程中主轴及刀具的振动都会影响零件表面质量及精度, 同时在精密加工中, 维持热稳定是保证精密度、精确度的必要条件。

复合材料应用在支撑部件, 如床身、立柱等已被欧美等发达国家广泛应用, 运动部件采用复合材料目前还未有公司进行尝试。为此本文主要从机床的核心部件——滑枕的固有频率及静刚性角度出发, 与国外某知名厂家对比, 进行分析, 阐述滑枕采用复合材料的设计过程, 为高精度机床的新材料使用提供方向。

2 滑枕三维模型建立

(1) SolidWorks滑枕三维模型设计 设计过程

中采用对比法, 以国外先进的坐标级立式镗铣床作为标准, 测绘建立国外结构件三维模型, 同时进行复合材料三维模型设计(见图1、图2)。

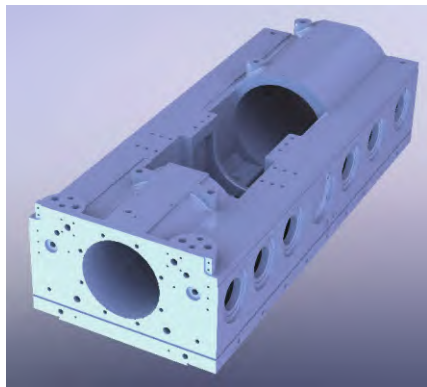


图1 灰铸铁滑枕三维模型

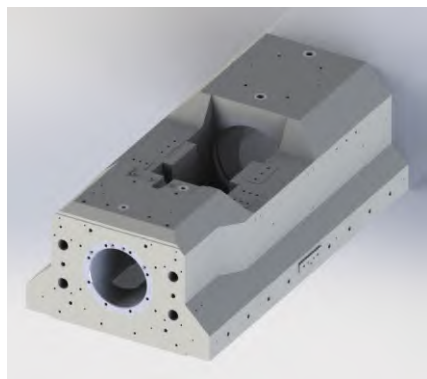


图2 复合材料滑枕三维模型

(2) 材料选择 目前国外流行的铸铁主要分为球墨铸铁和灰铸铁, 其中因球墨铸铁件易产生疏松和夹渣等缺陷, 故要求球墨铸铁每件做超声波(UT)检查; 因灰铸铁件虽易有疏松等内在缺陷,

但砂眼、气孔均集中在铸件浅表层，更容易判断，故国内目前也首选灰铸铁。经过研究，发现文中提到的某知名厂家的滑枕，材料为铸铁材质。

环氧树脂、粉煤灰和石英砂等原料通过一定的比例进行混合搅拌，同时将金属钢嵌件通过螺栓等固定在模具内部，然后将复合材料浇铸在模具内部，通过振动台进行振动排出内部气体，最终经过常温固化，构成复合材料结构件。

复合材料（矿物树脂）相较于传统铸铁，其阻尼性能是铸铁的10倍以上，导热系数是铸铁的1/20，比热容是铸铁的2.1倍，能够把由于温度变化引起的机床精度变化控制到最低，保证了机床加工精度的稳定性。在同等质量条件下，在不考虑形状影响时，铸铁部件与复合材料部件的刚度是相同的。

材料性能参数对比见表1。

表1 材料性能参数对比

材料	密度/ (kg/m ³)	弹性模量/ GPa	泊松比	比热容/ [J/ (kg·℃)]
铸铁	7300	143	0.27	0.46×10^4
复合材料	2350	40	0.26	0.97×10^4

3 滑枕模态分析

(1) 模态分析基本理论 模态分析是动力学分析的基础，工程上进行模态分析主要用于^[1]下述三个方面。

1) 确定设计结构件的振动特征，即结构的固有频率和振型，在产品的设计之前可以预先避免可能引起的共振。

2) 有助于在其他动力分析中（如谐响应分析、瞬态动力学分析）估算求解控制参数（如时间步长）等。结构的振动特性决定了结构对各种动力载荷的响应情况。

3) 假定为自由振动并忽略阻尼时，其求解的基本方程是 $[K]\{\phi_i\} = \omega_i^2 \phi_i$ ，其中 $[K]$ 是刚度矩阵； $\{\phi_i\}$ 是第*i*阶模态的振型向量（特征向量）； ω_i 是第*i*阶模态的固有频率（ ω_i^2 是特征值）。

CAE软件提供了多种数值方法，可用于求解上面的方程。

(2) ANSYS Workbench模态分析 模态分析过程假设刚度和质量为常量，因此不计入任何的非线性因素，在模态分析中非线性接触类型也被替换为对应的线性接触类型。模态分析是对结构自身固

有特征的分析，与外部激励无关，因此模态分析无需施加任何外载荷^[2]。

接触类型及其法向、切向行为见表2。

表2 接触类型及其法向、切向行为

接触类型	法向	切向
绑定	绑定，无分离	绑定，无滑移
不分离	不分离	可滑移
无摩擦	可分离	可滑移
粗糙	可分离	无滑移
摩擦	可分离	可滑移

(3) ANSYS Workbench有限元模型建立 分别将SolidWorks文件导入到ANSYS Workbench2022R2中，进行智能网格划分，生成四面体。有限元作为一种数值分析方法，必然存在着一定程度的离散误差，滑枕模型的原尺寸越小，其计算精度越高，但影响计算时间。由于计算机运行能力在不断提高，网格可以更加细化。本次采用自动划分网格功能划分模型，指定网格单元大小为8mm，灰铸铁滑枕有限元模型共计238162节点、137655个单元，如图3所示。复合材料滑枕有限元模型共计873222个节点、597216个单元，如图4所示。灰铸铁滑枕质量395.1kg，复合材料滑枕质量392.3kg^[3]。

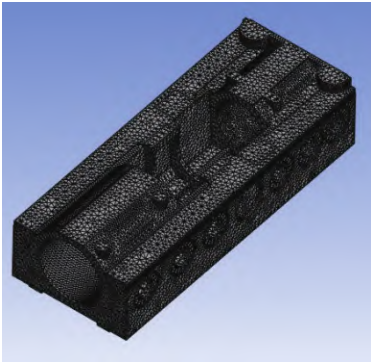


图3 灰铸铁滑枕有限元模型

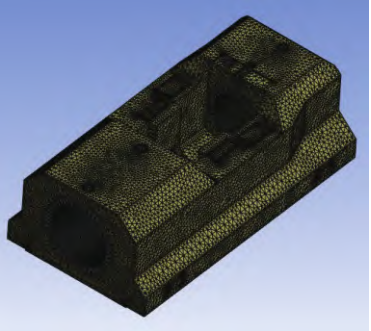


图4 复合材料滑枕有限元模型

(4) 固有频率及结果分析 自由模态下的前6阶理论与实测固有频率对比分别见表3、表4，利用艾默生频谱测试仪检测设计过程中部件的自由模态，为后续优化设计提供指导意义（此数据为前期阶段测试结果，非最终结果）^[4]。

表3 自由模态下的前6阶理论固有频率对比（单位：Hz）

材料	1阶	2阶	3阶	4阶	5阶	6阶
复合材料	482	679	1092	1210	1258	1381
灰铸铁	479	750	989	1123	1175	1240

表4 自由模态下的前6阶实测固有频率对比（单位：Hz）

材料	1阶	2阶	3阶	4阶	5阶	6阶
复合材料	473	655	1085	1218	1250	1328
灰铸铁	478	715	925	1126	1218	1232

从表3中可以看出计算结果基本与测试结果相符，有限元计算结果可以用于指导实际计算，由于国外结构件的测绘模型与三维模型有测绘误差，故计算与实测偏差稍大。

本次开发的坐标级立式镗床采用直连机械主轴，最高转速10000r/min，主轴自由转速与频率关系为频率（Hz）=转速（r/min）/60，加工零件常用转速集中在4000~8000r/min，对应频率为67~133Hz。

在自由模态分析中，前6阶频率为零，是因为结构无约束时发生的是刚体位移。刚体位移没有周期性，因此不会产生固有频率。对比的结果实际从第7阶开始。经过数次优化后，复合材料滑枕的频率除第1、第2阶略低之外，其余均远高于灰铸铁滑枕。

4 滑枕静刚性分析

(1) SolidWorks滑枕部件三维模型设计 模型如图5、图6所示。

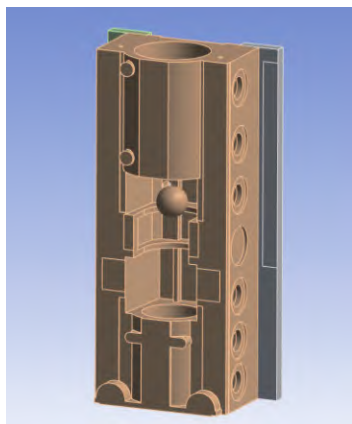


图5 灰铸铁滑枕部件三维模型

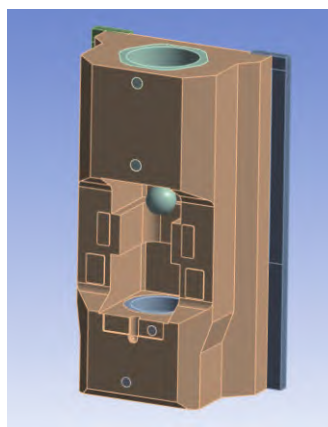


图6 复合材料滑枕部件三维模型

(2) 材料属性设置及网格划分 灰铸铁滑枕部件和复合材料滑枕部件划分网格后模型如图7、图8所示。

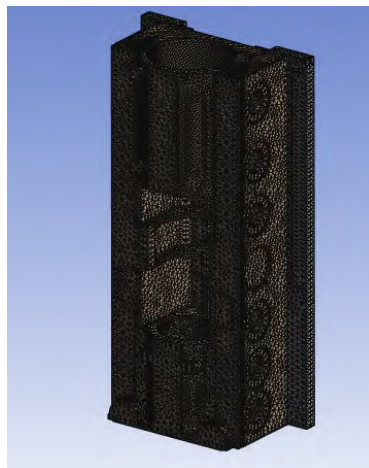


图7 灰铸铁滑枕部件划分网格后模型

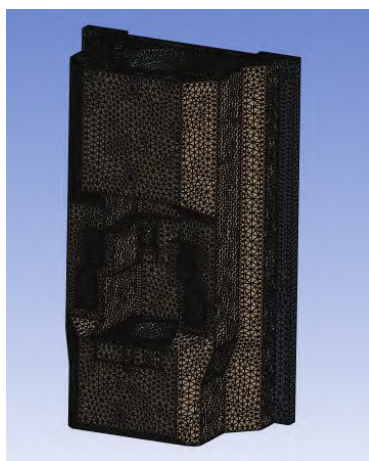


图8 复合材料滑枕部件划分网格后模型

(3) SolidWorks主轴单元 主轴单元结构如图9所示。

(4) 载荷和约束 滑枕所受的载荷主要来自

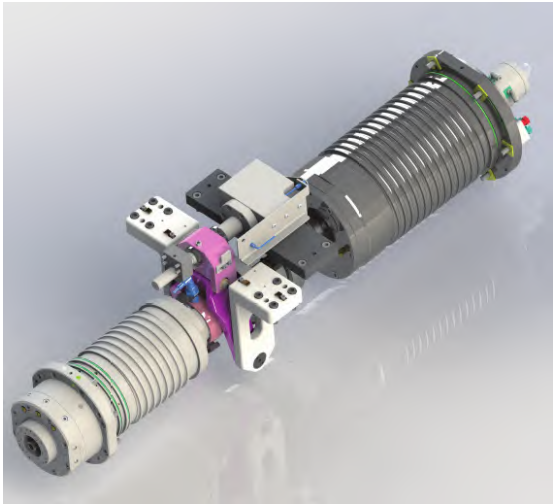


图9 主轴单元结构示意图

于自身和内部的主轴单元质量，通过计算将图9所示主轴单元通过质量点，均匀施加在滑枕内部承载面上。滑枕背侧安装有两根镶钢导轨，滑枕与镶钢导轨通过螺栓固定，整体通过导轨压板将滑枕单元与滑鞍进行组装，滑枕单元通过丝杠旋转实现上下运动，将压板、滚动靴与镶钢导轨接触位置进行固定约束。滑枕侧向载荷由典型加工参数计算得来。滑枕自重G由加载-Z轴方向的标准重力加速度确定。

(5) 滑枕变形分析结果 滑枕静刚性对比见表5。

表5 滑枕静刚性对比

名称	悬伸量/mm	载荷方向	载荷大小/N	最大变形/ μm		
				X向	Y向	综合形变
灰铸铁滑枕	350	X	1000	0.95	—	1.7
复合材料滑枕	350	X	1000	0.77	—	2.2
灰铸铁滑枕	350	Y	1000	—	2	2.2
复合材料滑枕	350	Y	1000	—	1.3	1.38

5 建立试验测试平台

为了保证结构件结果的真实可靠，搭建了针对复合材料滑枕的静刚性测试试验平台，用于测试滑枕在承受载荷的过程中形变的变化趋势，同时考察滑枕在持续载荷变化的情况下复合材料疲劳情况。模拟滑枕最大悬伸下（监测的位置包括复合材料滑枕主轴前端以及螺母壳位置反复作用载荷时）复合

材料的形变变化趋势，从实测结果来看，目前已经运行380多万次，仍趋于线性稳定状态。老化试验测试平台及其软件界面如图10、图11所示。



图10 老化试验测试平台

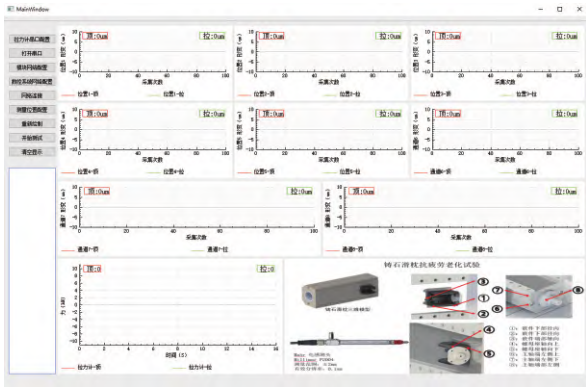


图11 老化试验测试平台软件界面

6 结束语

- 1) 通过有限元分析软件ANSYS分别对两款滑枕的自由固有频率进行了对比分析，从分析结果上看，相同质量的滑枕，复合材料滑枕频率要高于灰铸铁滑枕。
- 2) 通过有限元分析软件ANSYS分别对两款滑枕在最大悬伸位置、相同约束条件及相同受载情况下的变形情况进行分析，从结果可以看出复合材料滑枕的形变略小于灰铸铁滑枕。
- 3) 通过艾默生频谱测试仪对实测数据与理论计算数据进行对比，验证计算的可靠性，从实测与计算结果看出有限元计算可用于机床的正向设计。
- 4) 通过建立试验测试平台验证计算结果与实测结果，同时验证复合材料SN曲线，用于材料疲劳设计方向性指导。
- 5) 此分析方法为研究同类型机床结构件的新型复合材料的采用提供了借鉴作用，计算结果对机床的设计具有指导意义。

基于基准转换的盲孔零件车削工艺创新

李晓波, 樊文渊, 杨回国, 贾娜娜

山西航天清华装备有限责任公司 山西长治 046000

摘要: 以复杂盲孔零件的数控车削加工为例, 介绍了利用互为基准原则重新规划其加工工艺路线, 设计制作并改进高效自定心夹具, 在保证加工精度的同时, 提高加工效率。

关键词: 基准不重合; 定位误差; 基准转换; 自定心

1 序言

在航空航天行业, 为了满足产品的特殊功能需求, 很多零部件具有一些独特的结构特性, 这些零部件大多具有形状结构复杂、精度要求高等特点, 在加工过程中使用一般的加工方法难以加工或者达不到设计要求, 必须采取一些创新的加工工艺, 再配合特殊的工艺装备和工装才能顺利加工。

图1所示为一种形状结构比较复杂的盲孔零件, 其整体为圆柱管状结构, 内孔为盲孔形式, 属于盲孔类结构零件。该零件的两端盲孔相对于同一基准

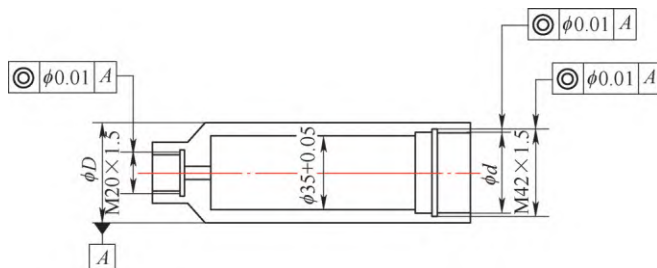


图1 盲孔零件

具有较高的同轴度要求。在加工过程中, 为了保证零件的精度要求, 车削时需要多次装夹, 由于重复装夹及定位基准的变化, 易产生较大的加工误差, 致使零件精度无法满足设计要求, 且加工过程中的多次装夹定位、找正也影响加工效率。

2 加工现状及难点分析

由于该零件两侧内孔相对同一外圆基准有较高的同轴度要求 ($\phi 0.01\text{mm}$), 且两侧内孔均为阶梯孔, 在现有的加工条件下, 以外圆作为装夹基准无法实现一次装夹加工两端内孔成型, 两端内孔在加工过程中需要分别进行装夹, 此过程中存在重复定位、基准不重合等现象, 造成零件的几何精度超差。同时, 反复装夹过程中, 每次装夹后都需要进行找正操作, 极大地影响了加工效率, 尤其是在批量加工的情况下, 此种现象更加突出。

此零件在实际生产加工过程中, 存在以下不足之处。

参考文献:

- [1] 尚晓江, 孟志华. ANSYS Workbench结构分析理论详解与高级应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.
- [2] 周炬, 苏金英. ANSYS Workbench有限元分析实例详解[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
- [3] 刘猛, 祖炳锋, 徐玉梁, 等. 基于Pro/E及ANSYS

Workbench的柴油机油底壳设计[J]. 机械设计, 2014, 31 (8) : 52-56.

- [4] 吕建法, 闫兵, 李柏林, 等. 数控铣床滑枕有限元分析及试验研究[J]. 机械设计与制造, 2010 (5) : 185-187.

MW 20241031