

文章编号:1004-1478(2011)05-0008-05

高速电主轴热特性分析的有限元网格划分

周灿, 邓圭玲, 何玉辉, 张士军

(中南大学 复杂装备设计与极端制造教育部重点实验室, 湖南 长沙 410083)

摘要:为了精确分析高速电主轴系统动态热特性,综合利用 Solidworks, Hyper mesh, Marc 划分单元、装配网格,零组件间通过定义接触传递热量、力等.利用该方法进行电主轴系统动态热特性分析,仿真结果与实测结果一致.该方法可以快速高效地划分网格,方便后续网格修改和管理,也适用于其他大型装配体网格划分.

关键词:高速电主轴;热特性分析;有限元;网格划分

中图分类号:TP319 **文献标志码:**A

Meshing for finite element analysis on thermal characteristic of high speed motorized spindle

ZHOU Can, DENG Gui-ling, HE Yu-hui, ZHANG Shi-jun

(Ministry of Edu. Key Lab. of Modern Complex Equipment Design and Extreme Manufacturing, Central South Univ., Changsha 410083, China)

Abstract: To accurately analyze dynamic transient thermal characteristics of high speed motorized spindle system, the Solidworks, Hypermesh and Marc soft wares are synthetically used for meshing and assembling, the heat and power were transfered by definition contact between the components. By this method, dynamic thermal characteristics analysis of motorized spindle system is carried out, and the simulation results are accord with the measuring results. The high quality grids can be rapidly plotted, easily amended and managed by the method, and this method is also applicable to other large assembly meshing.

Key words: high speed motorized spindle; thermal characteristic analysis; finite element; mesh

0 引言

随着制造业对精度和效率的要求愈来愈高,高速加工成为切削加工的一个重要发展趋势^[1].对于高速高精度机床来说,电主轴热误差是影响加工精度的重要因素^[2].采用有限元法可以对电主轴系统热特性进行仿真分析.如果把电主轴系统热特性分

析简化为平面问题^[3-6],或者不考虑接触,简单地把系统作为一体进行分析,结果都会与实际情况偏离较大.计入接触热阻是把零组件之间接触面处的热阻影响计算在内,这种多体接触分析方法无疑与真实情况更加接近.由于电主轴系统结构复杂而且须考虑接触面热阻,需要对系统划分三维网格.使用有限元软件对电主轴系统进行整体网格划分,不仅

收稿日期:2011-03-08

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX04001-065)

作者简介:周灿(1984—),男,河南省永城县人,中南大学硕士研究生,主要研究方向为高速机床热误差分析与补偿.

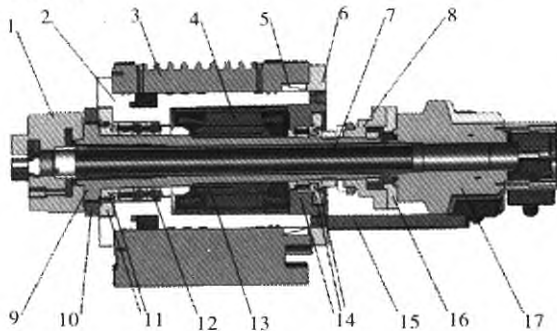
通信作者:邓圭玲(1964—),男,湖南省娄底市人,中南大学教授,主要研究方向为高速机床热误差分析与补偿.

难以控制,且划分质量差,影响计算精度^[7].鉴于此,笔者拟采用 Solidworks, Hypermesh, Marc 相结合的方式划分网格,以期提高网格划分的效率,便于后续网格的修改和管理.

1 电主轴系统

1.1 系统结构与简化

电主轴系统是高速机床的核心,其结构见图 1. 空载状况下,系统主要热源是轴承、定子和转子. 对装配体进行合理简化能够有效利用计算机资源,提高后期的计算速度,保证仿真结果真实有效. 对系统结构可进行如下简化: 1) 结构中的螺栓连接对系统温度场分析结果影响不大,简化处理; 2) 卡盘—拉杆—油缸子系统远离热源,且不是主要研究对象,可忽略.



1. 卡盘 2. 法兰套 3. 床头箱 4. 定子 5. 衬套 6. 后挡块
7. 拉杆 8. 法兰 9. 主轴 10. 前挡块 11. 前法兰 12. 轴承
13. 定子 14. 后法兰 15. 支架 16. 过度法兰 17. 油缸

图1 主轴系统结构图

1.2 计入接触热阻的有限元网格划分要求

计入接触热阻分析方法不要求零件之间网格连续,而是通过定义接触实现热、力传递. 要实现接触体之间有效的热、力传递,还需要设定合理的接触热阻、摩擦系数等参数. 计入接触热阻的有限元网格划分要求为: 1) 不同零组件定义为不同接触体; 2) 零组件网格之间要有明确的接触面,并且与模型的接触面一致.

2 高速电主轴网格划分

2.1 整体分析

有限元网格划分有自低向高和自高向低 2 种方式,大型装配体通常采用自低向高的方法. 如果把装配体模型导入分析软件进行整体网格划分^[8],可能会出现以下问题: 一是装配体模型复杂,无法进

行映射格划分,而采用自由网格划分得到的单元质量较差;二是模型较大,需要占用较多的计算机资源;三是不方便后续单元管理等. 基于以上原因,综合利用 Solidworks, Hypermesh, Marc 对零组件逐个进行网格划分,然后装配,可以快速高效地获得高质量的有限元网格. 这种网格划分方法步骤为: 1) 几何清理. 其核心问题是清理对分析影响不大的微特征以及模型缺陷. 2) 零组件网格划分. 采用自下而上的方式,在 3D 模型的基础上划分网格. 整个过程中对模型合理分析选用适当的网格生成方法尤为重要. Patran 和 Hypermesh 是两款非常优秀的前处理软件,本文选用 Hypermesh. 3) 零组件网格装配. 关键问题在于实现零组件网格导入和位姿调整. 网格划分流程见图 2.



图2 网格划分流程图

2.2 几何清理的关键问题

几何清理是划分网格的基础,几何清理的效果直接影响网格质量和计算精度. 由于导入模型存在缝隙、重叠、错位等缺陷,如果不进行几何清理会影响单元质量,严重时还会导致单元扭曲以至于无法求解或结果失真. 另一方面,由于模型存在一些微小结构特征,在分析时对结果影响不大,而且需要很多小单元,如果不进行几何清理会导致求解时间过长,甚至无法生成网格. 适当的几何清理可以提高网格质量和美观度,减少单元数量,提高计算速度和精度^[9]. 前处理软件不能胜任所有几何清理的工作,这就需要用三维实体建模软件对一些微小特征进行必要的处理. 首先利用 Solidworks 对倒角、圆角、阶梯等微小特征和局部特征进行初步清理;然后把装配体的 step 文件导入 Hypermesh 进行深度几何清理,处理导入数据时产生的一些缺陷. 利用 Hypermesh 的 Geom, 2D 和 Tool 面板多项功能可以进

行手动和自动几何清理,将自动和手动清理相结合可以达到最佳效果.以法兰套几何清理为例,首先清理冷却水通道、密封圈槽、螺纹孔等对分析影响不大的微小特征,然后在 Hypermesh 中修复导入时的模型缺陷(见图3).

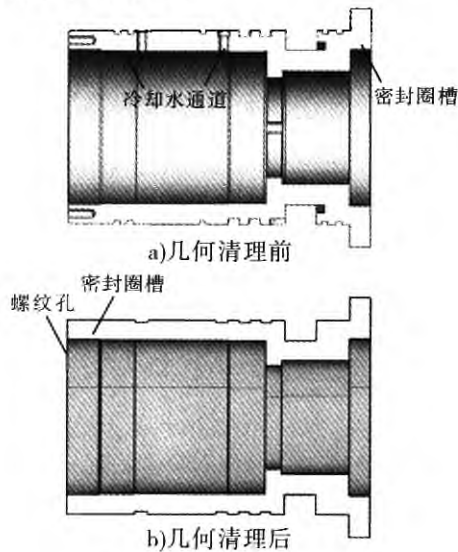


图3 法兰套几何清理

2.3 网格划分的关键问题

在网格划分过程中,合理的模型拆分、合并,能提高网格质量和计算速度.对于电主轴系统的热特性分析,可将一些固定连接小型简单零件视为一个组件进行单元划分,以减少接触体数量,提高计算速度.例如前法兰和前挡块可以划分为一体,后法兰和后挡块可以划分为一体,本系统定子和转子按体发热处理可以划分为一体.轴承是由多个构件组成的零件,如果采用面发热的方式进行仿真,必须分别对内外圈和滚子进行建模和单元划分;如果采用体发热的方式仿真,可以简单建模,不需细分内外圈和滚子.在该分析模型中,轴承生热是装配体的主要热源,并且滚子和内外圈的摩擦是生热的主要原因.为了保证分析的精确性,轴承采用面发热的方式,滚子、内圈、外圈需要单独建模,单独划分单元.没有微特征的零件,可以将单元划分得稍微粗大些,对于有微特征的零件,则需要做网格的局部细化.对于标准旋转体,可以先生成二维网格,然后旋转生成三维网格;对于界面相同的模型,则可以通过拉伸二维网格生成三维网格;非规则体可以切分成多个简单规则体后划分网格,但要保证网格连续.

利用 Hypermesh 的 1D,2D,3D 面板可以进行单

元自动、半自动和手动划分.对于已划分的单元可以通过 Tool 面板进行检查、修改和管理. Hypermesh 与其他多种 CAD 和 CAE 软件有良好的接口^[10],通过 file\export 菜单选择 NSTRAN 模板可以输出 bdf 格式的网格文件.为了快速获得高质量网格,可采用映射的方法,通过参数方程,把参考网格的参数域映射到实际域上^[11].如果在划分网格时导入的是零件模型,划分网格的坐标原点是零件模型的坐标原点;如果导入的是装配体模型,划分网格的坐标原点是装配体模型的坐标原点;为了方便后续网格装配,避免位置和姿态调整,在划分零件网格时尽量采用导入装配体模型方式,然后逐个划分零组件网格.如果装配体模型非常大,占用较大的内存空间,导入装配体模型后,把暂时不需划分网格的零组件删除,可以释放部分内存,提高网格划分速度,并且装配时不需做位姿调整.

仍以法兰套为例.法兰套简化后是一个旋转体,先划分旋转面二维网格,然后绕转轴旋转生成三维网格,其剖切图见图4.

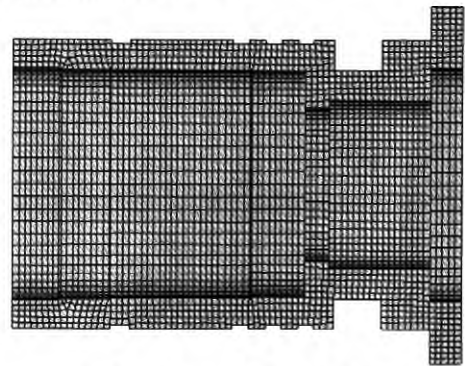


图4 法兰套网格剖切图

2.4 网格装配的关键问题

Marc 是一款处理非线性问题的有限元软件,能够胜任复杂电主轴系统的温度场分析.该软件具有多种软件接口和网格调整功能,能够方便地导入网格以及调整位姿.网格装配步骤如下:1)导入零组件网格,通过 MSC 的 File 面板导入网格文件.2)网格装配,Mesh Generation\ Move 面板可以进行网格位姿调整.需要沿各坐标轴方向移动的距离可以从装配体模型中量取,即零件坐标原点与装配体坐标原点沿相应坐标轴方向的距离.网格需要旋转的角度等于相应零件坐标平面与装配体坐标平面的夹角.如果零件网格的坐标原点与装配体坐标原点重合,那么零件网格则不需要位姿调整.把所有零件

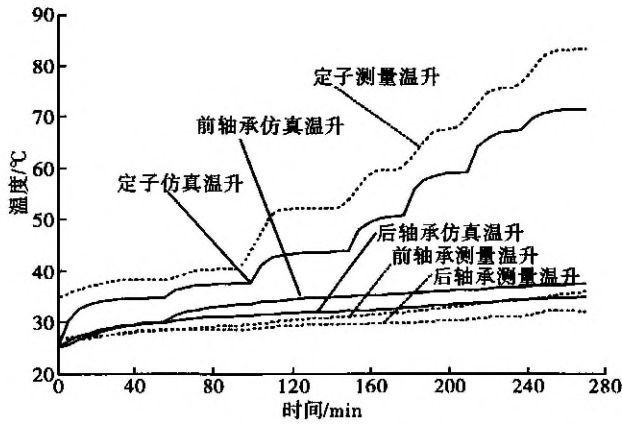


图 8 仿真分析与测量结果

Inc: 45
Time: 1.620e+004

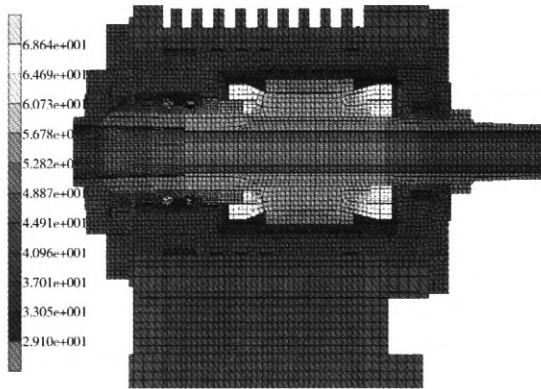


图 9 温度场云图

件划分单元、装配网格, 零组件间通过定义接触传递热量、力等, 这种方法不仅方便、易操作, 而且加载过程与实际工况更接近. 这种方法同样适用于其他大型装配体的网格划分.

参考文献:

- [1] 沙志宏, 陈子辰, 傅建中. 高速切削加工及其机床发展 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003(11):6.
- [2] 张耀满, 高冠滨, 王旭东, 等. 加工中心主轴部件及其主轴箱的热特性有限元分析 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(4):43.
- [3] 郭军, 张伯霖, 肖曙红, 等. 电机后置式电主轴热态特性的分析与研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004(12):18.
- [4] 文怀兴, 王美妍. 高速电主轴热态性能的有限元分析及温升控制 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(9):52.
- [5] 张明华, 袁松梅, 刘强. 基于有限元分析方法的高速电主轴热态特性研究 [J]. 制造技术与机床, 2008(4):29.
- [6] 胡秋, 何东林. 数控机床电主轴单元热-结构特性动态分析 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2006(12):5.
- [7] 金晶, 吴新跃. 有限元网格划分相关问题分析研究 [J]. 计算机辅助工程, 2005, 14(2):75.
- [8] 李瑞明, 郭连水, 王巧霞, 等. 复杂装配体有限元网格生成方法的研究 [J]. 机械工程师, 2007(4):120.
- [9] 刘荣军, 吴新跃, 郑建华. 有限元建模中的几何清理问题 [J]. 机械设计与制造, 2005(9):145.
- [10] 于开平, 周传月, 谭惠丰. HyperMesh 从入门到精通 [M]. 北京: 科学出版社, 2005:7-10.
- [11] 郑志镇, 李尚健, 李志刚. 曲面网格划分算法的分类与比较 [J]. 计算机辅助工程, 1998, 7(1):53.