

曲柄钻模的模态分析及曲柄加工工艺优化

Modal Analysis of Crank Jig and Optimization Process for Crankshaft

吴萍 茅启园

Ping Wu Qiyuan Mao

常州工业职业技术学院
中国·江苏 常州 213164

Changzhou Vocational Institute of Engineering,
Changzhou, Jiangsu, 213164, China

【摘要】论文应用 ANSYS Workbench 对内燃机车曲轴的曲柄钻模进行了模态分析,提出了曲柄钻模的改进方案及曲轴定位销孔的加工工艺优化方案,解决了曲轴与平衡块组装偏斜的惯性质量问题,提高了产品质量。实践证明,有限元技术对提高产品的制造质量具有较强的指导作用。

【Abstract】By using ANSYS Workbench, this paper analyzed the modal analysis of crank jig of diesel locomotive, put forward the improvement scheme of crank jig and the optimization scheme of crankshaft locating pin hole, solved the problem of inertia mass in assembling deflection of crankshaft and balance block, improved the quality of the product. Practice has proved that the finite element technique has a strong guiding role in improving the manufacturing quality of products.

【关键词】曲柄钻模; ANSYS Workbench; 模态分析; 工艺优化

【Keywords】crank jig; ANSYS Workbench; modal analysis; optimization process

【DOI】10.36012/etr.v2i4.1677

1 引言

某型号大功率内燃机车曲轴在与平衡块装配过程中,总是出现偏斜现象,而且这种偏斜是随机的,装配时只能先预装,检测偏斜量及位置,再拆卸,铣去平衡块的偏斜部分,再组装平衡块。这样不仅影响了正常的生产,还影响了曲轴的动平衡精度,从而影响了柴油机的整体质量。

2 平衡块偏斜的因素分析

曲轴体长约 4000mm,其曲柄与平衡块的安装是通过 $\Phi 32$ 的定位销与 $\Phi 12$ 的弹簧销进行定位的,安装孔的加工设备为摇臂钻床 Z3080。经检测,造成曲轴、平衡块组装偏斜的主要原因是其定位孔的位置度超差引起的。

平衡块定位孔的加工是利用平衡块钻模(见图 1),以平衡块的端面及侧面定位,采用钻、铰工艺加工定位销和弹簧销孔。只要控制平衡块的端面、安装面与侧面的垂直度,保证平衡块的长度及厚度的尺寸精度,定位孔的位置精度是可以保证的。实践证明,通过控制相关的尺寸精度及形位公差,平衡块的定位孔位置精度能够满足要求。

曲轴曲柄安装面定位孔的加工是利用曲柄钻模(见图 2),以连杆颈外圆及主轴颈端面定位,采用钻、铰工艺加工定位销和弹簧销孔。理论上讲,在钻模合格的前提下,只要控制主轴颈、连杆颈的相关尺寸精度,即可加工出合格的产品,但实际加工状态检查发现:由于曲轴体长达 4m 左右,在曲柄的不同

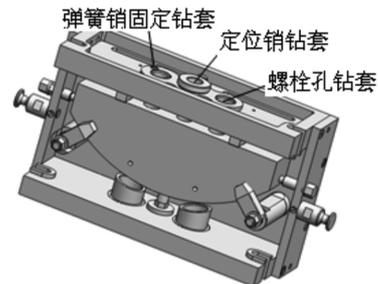


图 1 平衡块钻模

位置,钻模体的上模板出现了左右摇摆及颤振现象,且摆动幅度不定,这是造成曲轴定位孔位置度超差的主要原因。

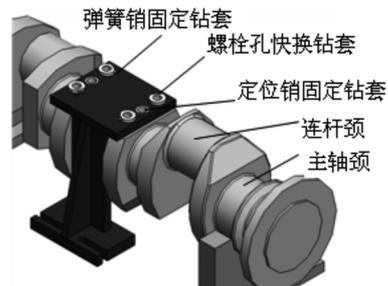


图 2 曲柄钻模

要减小切削加工过程中的振动,一般通过改变切削参数和优化夹具系统的结构来解决,通过优化夹具系统结构的固有频率来减小振动,防止共振现象的发生^[1]。论文利用 ANSYS Workbench 对该夹具系统进行模态分析,根据模态分析结果改进钻模体的结构,提高零件的制造精度。

3 夹具系统的有限元模态分析

3.1 有限元模态分析理论与方法^[2,3]

模态分析可以确定一个结构的固有频率和振型，固有频率和振型是承受动态载荷结构设计中的重要参数。由于结构的振动特性决定结构对各种动力载荷的响应情况，可以将夹具系统简化成一个线弹性系统^[1]。

其静力方程为

$$[K]\{u\}=\{P\} \quad (1)$$

动力平衡方程为

$$[M]\{\ddot{u}(t)\}+[C]\{\dot{u}(t)\}+[K]\{u(t)\}=\{R(t)\} \quad (2)$$

式中， $[M]$ 为系统总体质量； $[C]$ 为阻尼矩阵； $[K]$ 为刚度矩阵； $\{u\}$ 为结构位移向量； $\{R(t)\}$ 为强迫力列阵。

ANSYS 环境下的模态分析过程如下：①建立模型，论文利用 SolidWorks 软件建立模型，直接导入 ANSYSWorkbench 中，定义材料属性。②划分网格。③加载并求解 (Solution)，定义分析类型和分析选项，施加约束，进行有限元计算求解固有频率。④扩展模态 (Mode Expansion)，在后处理中观察到振型，就必须先进行模态扩展。⑤查看结果和后处理 (Postprocessor)^[4-6]。

3.2 夹具系统的有限元模态分析^[7,8]

将 SolidWorks 建立的夹具系统模型导入 ANSYSWorkbench，夹具体的材料主要为 Q235-A 钢，密度 7890kg/m^3 ，杨氏模量为 $2.1 \times 10^{11}\text{MPa}$ ，泊松比为 0.28。加工工件曲轴的材料为合金钢，密度 7860kg/m^3 ，杨氏模量为 $1.75 \times 10^{11}\text{MPa}$ ，泊松比为 0.3，采用自由网格划分方法，接触设置为 bonded。约束夹具底面自由度。对夹具和工件进行模态分析，模态提取方法选用分块 Lanczos 法，模态振型如图 3 所示，影响加工动态特性的主要因素是夹具工件系统的低阶固有频率，根据振形图 (见图 4) 可以发现夹具工件系统的薄弱环节在夹具体的主要在钻模的上部板，曲面钻模的变形量达 0.029m ，不能满足定位孔的位置度要求，因此需要进一步改进夹具的结构，提高整个夹具体的刚度。

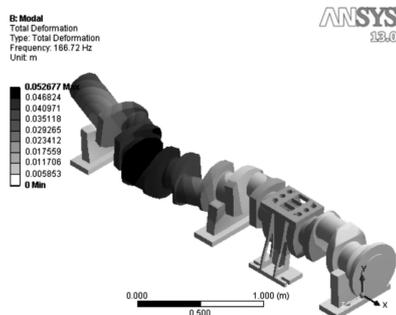


图 3 夹具系统的 1 阶频率

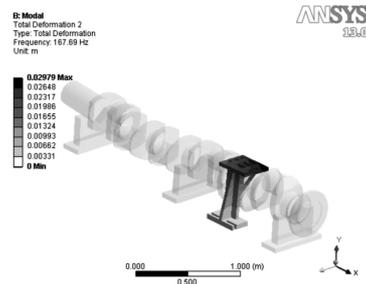


图 4 夹具的 1 阶频率

3.3 曲柄钻模的结构优化

为提高钻模的刚性，采取了钻模板的背面增加两个加强筋并增加了减重孔等措施，减轻钻模的重量，图 5 和图 6 为钻模改进前后的结构对比，并对改进后的钻模进行模态分析。

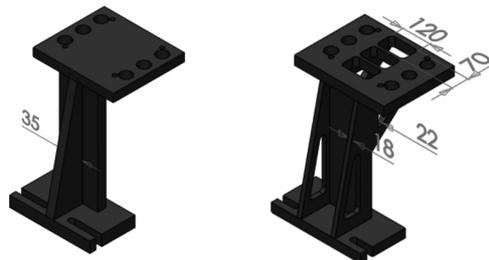


图 5 改进前夹具的结构 图 6 改进后夹具的结构

改进后的模态分析，根据振形图 (见图 7) 可以发现改进后整个夹具工件系统的 1 阶频率 116.72Hz 同样远高于实际加工中的临界加工频率，但曲柄钻模变形量 (见图 8) 从改进前的 0.03m 降低为改进后的 0.0088m ，实际加工发现，定位孔的位置精度得到较大改善，但仍不能完全满足设计要求。

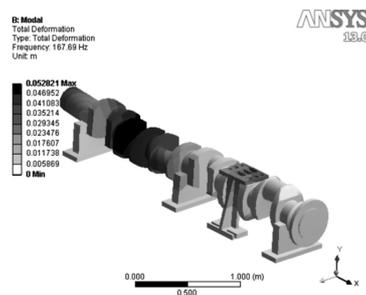


图 7 改进后夹具工件系统的 1 阶频率

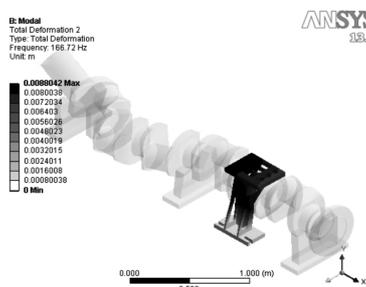


图 8 改进后夹具的 1 阶频率

4 曲轴定位销孔加工工艺的优化

从以上分析可知,由于本方案钻模体本身的结构限制,单纯靠增加钻模体厚度以及加强筋来提高刚性效果有限,必须辅以考虑优化曲轴定位孔的加工工艺。理论和实验表明,钻小孔时,转速超过 700~900rpm 时一般不会产生震颤^[9],因此,定位孔加工时,先钻孔径为 $\Phi 11.7$ 的弹簧销孔,转速 1000rpm,然后在对角的弹簧销孔里插入定位销,再加工 $\Phi 32$ 的定位销孔。实践证明,采用该工艺加工的曲轴定位孔的位置精度达到了设计要求。

5 结语

利用 ANSYSWorkbench 对曲柄钻模进行了模态分析,并对其结构进行了优化,通过改进定位孔的加工工艺,提高了钻模体的刚性,使定位孔的位置精度达到设计要求,解决了曲轴组装偏斜问题。实践证明,有限元分析技术对提高夹具的设计质量,缩短生产周期,提高产品质量具有较强的指导意义。

参考文献

- [1]荆忠亮,赵彤涌,宋志强.基于 Solidworks 和 Ansys Workbench 的液压支架顶梁负载仿真分析[J].煤矿机械,2015,36(5):240-242.
- [2]邹文俊,杨建国,刘国良.基于模态分析的高精密夹具优化设计[J].机床与液压,2012,40(21):87-40.
- [3]傅志方,华宏星.模态分析理论与应用[M].上海:上海交通大学出版社,2000.
- [4]曾攀,雷丽萍,方刚.基于 ANSYS 平台有限元分析手册:结构的建模与分析[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [5]许京荆.ANSYS13.0Workbench 数值模拟技术[M].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [6]Moaveni S.有限元分析—ANSYSL 理论与应用(第三版)[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [7]李雅堂,赵宣,李贵明.基于 SOLIDWORKS、ANSYS 软件曲轴的有限元分析[J].高校实验室工作研究,2012,113(13):61-62.
- [8]江征风,张仲甫,程耀楠,等.Z3040-16 摇臂钻床的模态分析[J].武汉工学院学报,1989(1):33-45.
- [9]胡培民,黄玉美.钻床固有频率及振型的计算方法[J].机械研究与应用,1997(1):24-26.

(上接第 70 页)

止皮带系统的运行,组织人员进行故障原因排查,在有现场总线控制系统应用的皮带输送系统中,一般都会有故障报警提示,可以指示出故障设备或者问题环节出现在什么地方,大大提高了问题故障处理的效率。在没有查明原因并且妥善处理之前,不能再次启动皮带输送系统,避免不明原因致使的问题故障进一步扩大,给整个皮带散料输送系统造成更大的损失。如果是局部电流过大或者是灰尘过多引起的控制系统短路,更是要及时处理,如果没有及时处理而继续运行时,就很有可能使智能控制系统中的电路板受损或者熔断,更加大了问题故障处理的难度,也造成了不必要的经济成本投入。

5.3 增设应急装置

现场总线控制系统是较为智能的自动化控制系统,但是其程序设定都是人为进行的,可能会存在一些不经常发生的特殊情况是编程设计人员没有考虑到的,如紧急进行散料的输运时,需要超负荷地进行运作,或者出现意外事故等。因此,还有必要在现场总线控制系统中增设应急装置,如一键停止运行、转人工操作控制等,需要根据生产实际进行针对性的调整。另外,增设应急装置还应考虑到企业的经济效益,不能

增设太多,使应急装置的实际成本投入过大。应急装置本就不能为企业带来实质的经济效益,只是为了应对一些突发紧急的事件,所以增设应急设备应当本着简单有效的设计原则。增设应急装置能进一步保障皮带散料输送系统的安全稳定性,确保一旦意外发生能够第一时间采取措施,避免造成更大的经济损失。

6 结语

将现场总线运用于皮带散料输送控制系统之中,能够显著提高皮带散料输送的工作效率,较好地实现皮带散料输送系统智能化、自动化运行,一定程度上降低皮带散料输送系统的能耗。因此,应当积极探索并不断完善现场总线控制技术,以便于更好地运用在皮带散料输送控制系统之中,进一步提高散货码头输送工作的效率和质量。

参考文献

- [1]李显军,段仁君,袁应文.现场总线在皮带散料输送控制系统中的应用[J].采矿技术,2016(4):68-69.
- [2]田海,张海涛.基于现场总线的管皮带机同步监控[J].建材与装饰,2019(4):204-205.