使用 COSMOSWorks 优化磨床中心架设计

上海理工大学 (200093) 樊堂堂
上海机床厂磨床研究所 (200093) 陈 锐

1. 轧辊磨床中心架的虚拟设计

随着轧钢行业的发展，轧辊的种类、规格越来越多。对于轧辊进行精加工的轧辊磨床其规格、品种也相应增多，(轧辊重量大，可达几十吨。为提高加工质量，一般在轧辊磨床上使用的中心架支撑工件) 中心架也就品种繁多。虽然结构大同小异，但是设计的工作量很大。简化设计过程，优化设计，是设计人员迫切希望解决的问题。

我们以 SolidWorks 为平台，以参数化技术为基础，对各种不同规格的中心架，建立统一的三维模型库，简化了设计过程 (参见图 1、图 2)。在此基础上再配合与 SolidWorks 软件集成的 COSMOSWorks 有限元分析组件对中心架的一些关键数据进行优化，从而提高了中心架的承载能力，有望显著提高轧辊的加工质量。

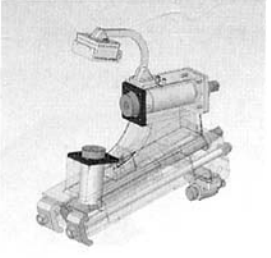


图 1 工作台移动式轧辊磨床用中心架



图 2 砂轮架移动式轧辊磨床用中心架

基于参数化技术的造型系统实质上就是一种尺寸驱动系统。这种尺寸驱动系统的驱动尺寸只可能是少数几种，所以需要对除驱动尺寸之外的其他尺寸进行关联、简化。我们采用水平支承轴与水平方向的夹角、垂直支承轴与垂直方向的夹角这两个参数作为驱动尺寸进行建模，而对其他一些尺寸，参照刚性最优的原则进行相应的关联。

2. 基于知识重用的产品数据库开发

采用 SolidWorks 强大的配置功能，基于产品模型的参数化设计，可以采用一套模型实现多种不同规格产品的设计。由于 SolidWorks 软件中的系列零件设计表与配置呈相互映射的关系，所以通过修改系列零件设计表可以进一步扩展产品的规格，以适应用户的需要。从而建立集成于设计对象的产品设计的多类型、多层次知识表达模型，达到了产品设计的知识重用。

基于知识重用的设计体系，称为设计重用。其原理是通过对不同层次知识的表达、组织以更有效地实现设计方案、设计过程及设计知识的重用。设计重用可有效缩短设计周期，提高设计质量，从而实现快速响应设计与制造。

3. 系统动态模型的建立

机械学研究有在原型上和在模型上进行的两个途径。在原型上研究能充分反映实际情况，但由于现场条件的限制及各种因素的影响，难以完全满足实验要求。根据相似原理建立并以此收集系统信息的客体称之为系统模型，按其性质又可分为实物模型与抽象模型。实物模型就是物理模型，而抽象模型是以功能相似及数学形式相似的数学原理来描述，统称为数学模型。采用计算机三维模型既可以作为原型的虚拟模型，也可以建立将物理模型和抽象模型相结合的虚拟模型。

系统动态模型的质量直接影响到分析的结果。建立动态分析模型的关键在于“合理简化”。首先要将原型简化，计算机强大的计算、分析能力也对付不了复杂形状零件装配体动辄几百、几千万节点、单元、自由度的分析。所以用原型来进行有限元分析是不现实的，也没

有必要，需要简化模型。

但是，简化也是有限度的，所以需要“合理”的简化。何谓合理，传统的方法比较多是采用相似性原理来简化，但是对于形状相对复杂的零件，尤其是装配体，建立哪怕是能够“自圆其说”的简化模型也很困难。

模态分析为我们建立一个合理、合适的模型提供了较好的方法。用于模态分析的模型是采用 SolidWorks 实体三维模型修改而成，所谓修改就是去除一些孔、圆角等次要特征而形成的。至于简化后的模型是否和原型有相似的动态特性，可以通过对原型和模型的模态分析比较来验证。由于模态分析，尤其是低阶模态对系统的动态特性影响较大，因此通过比较模型的低阶模态和原型的低阶模态，一般两者相差不超过 3%就应该认为简化是合理的。我们的三维实体模型的基振频率是 710.89Hz（见图 3），而经过简化的有限元分析模型的基振频率是 729.37Hz（见图 4），两者相差 2.6%，因此，可以认为简化是成功的。

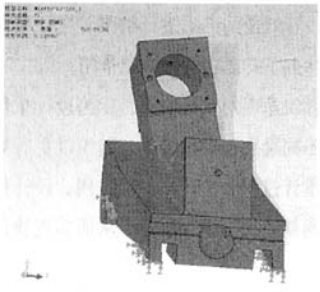


图 3　零件的基振频率

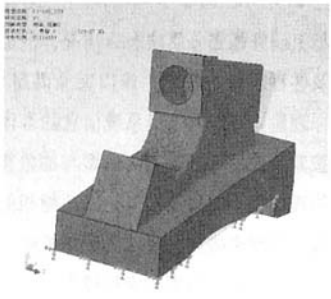


图 4　简化模型的基振频率

4. 基于 COSMOSWorks 的优化设计

优化设计首先要确定优化目标。一般零件的优化目标可以是重量最轻、零件受力以后的变形最小、扭曲最小等等。对于轧辊磨床的中心架，我们确定的优化目标就是模型的刚性最优。

从动态设计的观点来说，单采用静刚度来衡量刚性最优是不够的，还需要对模型采用动刚度的分析。采用 COSMOSWorks 的频率分析功能就能够实现模型的模态分析。通过模态分析及时发现零件机构中容易发生变形的地方和变形的形式，便于采取相应的措施。

由于磨床的主要激振源就是砂轮高速转动引起的振动，砂轮的转速是 3000r/min，相当于 50Hz。所以中心架的基振频率离激振频率越远，系统的动刚度越高。因此提高系统的基振频率就可以作为优化目标之一。

采用与 SolidWorks 无缝集成的 COSMOSWorks 进行系统的优化我们采用以下方法：

（1）静刚度最高　采用 COSMOSWorks 的静应力分析，比较各种配置（水平托头与水平方向之间的夹角、垂直托头与垂直方向的夹角为两个变量）的中心架模型加载后的位移量。优化目标是位移量最小。

如图 5 所示，工件与水平托头、垂直托头接触处的位移量不一样，由于变形的对应关系，所以中心架的水平、垂直托头的位移量也不相同，从而加大工件的圆柱度误差。相对比较，图 6 结构的中心架两个托头的变形差别不大，设计比较合理。

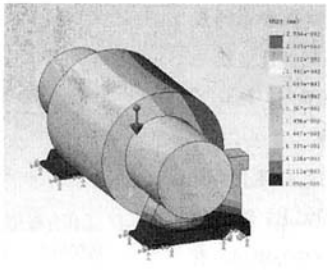


图 5　H1V25 中心架加载变形图

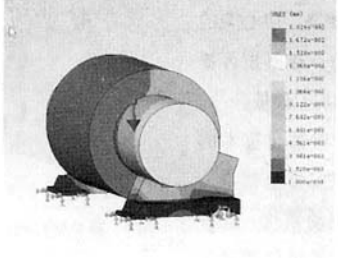
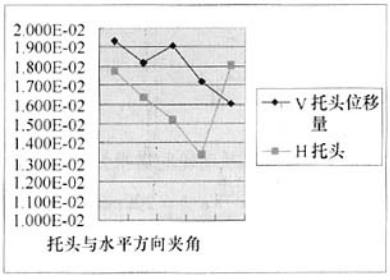


图 6　H15V25 中心架加载变形图

由于结构关系，两个托头的变形的发展趋势可能并不一样，如图 7 所示。H20V20（近水平托头与水平方向的夹角为 20°；近垂直托头与垂直方向的夹角为 20°；

以下类推）的中心架加载时垂直托头的位移量较小；而H20V15的中心架加载时水平托头的位移量较小。这两个托头的位移都会影响工件的加工质量。这样，最后选择优化结果时选H20V20还是H20V15，很难确定。



角度	垂直托头变形量/mm	水平托头变形量/mm
1°	1.930E-02	1.775E-02
5°	1.817E-02	1.636E-02
10°	1.906E-02	1.525E-02
15°	1.719E-02	1.337E-02
20°	1.604E-02	1.805E-02

图 7

（2）模态分析　每个构件都有其特定的振动频率，称为共振频率。这种频率由此构件特有的振动形式所决定。一旦受到共振频率激励，此构件就以一定形式振动，称为模态振动。

频率分析可认为是动态分析中最简单的形式，我们通过研究在缺少阻尼和激振力情况下的自由振动来分析构件的动态性能。

我们利用COSMOSWorks的频率分析功能，研究了64式砂轮架移动式中心架。经过对各种配置的中心架模型的频率分析，测出V5H5中心架模型的基振频率为247.85Hz，而H18V25中心架的基振频率是319.98Hz，显然，H18V25型的也就是托头与水平、垂直方向夹角较大的中心架模型其动刚度比较高，工作较稳定。同时，通过分析我们还了解到对于基振频率，其激振形式是左右晃动，由此可以通过在适当处加筋板来提高刚度。

（3）自动优化　以上对于中心架的优化实际上可以看成是通过枚举方法，比较不同的配置来实现最优的选择。其结果是离散的，也就是说，你即使知道某一角度的优化值是在20°～30°之间，你也不知道到底是几度，更重要的是由于是多变量的优化，因此，当其他角度改变了，原来的优化值，可能不一定再是优化值了。

COSMOSWorks为多变量优化提供了容易上手的处理。我们采用的是装配体的优化，先进行静应力分析，得到系统在指定载荷下的位移量，然后进行装配体的频率分析，计算其基振频率。在此基础上进行优化设计，选位移量最小作为优化目标，而以基振频率增加作为约束。用水平托头与水平方向之间的夹角、垂直托头与垂直方向的夹角作为两个设计变量，对整个系统进行分析计算，由于整个模型采用参数化建模的，所以这两个角度的上限、下限的选择就很重要。选择不合适就可能导致模型重建失败，优化也就失败了。此优化研究经过八次迭代，结果收敛，得到了满意的结果，见图8。最后得到的优化结果是H13.53V24.67（见图9），与采用多配置枚举法获得的相对最优值H20V25的结果很接近，优化成功。优化过程和最终设计值见图10、11。

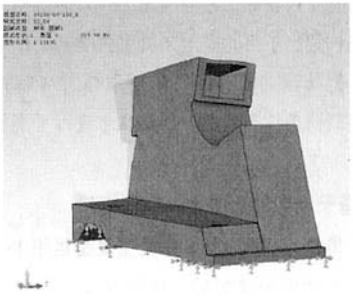


图8　H18V25中心架模型

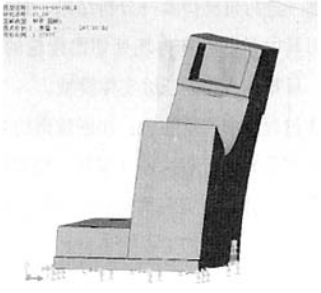


图9　V5H5中心架模型

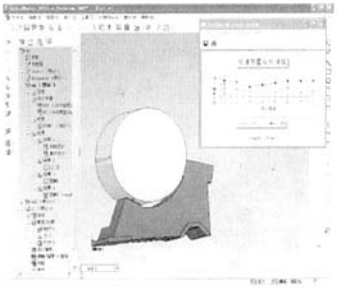


图10　中心架优化的设计和过程

基于齿轮加工原理的精确建模及 ANSYS 有限元分析

湖南工业大学科技学院 （株洲 412008） 戴 进

齿轮是最重要的零件之一。它具有功率范围大，传动效率高，传动比正确，使用寿命长等特点，但从零件失效的情况来看，齿轮也是最容易出故障的零件之一。据统计，在各种机械故障中，齿轮失效就占故障总数的60%以上。其中轮齿的折断又是齿轮失效的主要原因之一。本文基于齿轮加工原理利用 Pro/E 的机构运动仿真功能精确构建出了齿轮模型，然后利用 Pro/E 与 ANSYS 的接口，把所建立的三维实体模型导入 ANSYS，对齿轮在一定载荷条件下的应力分布状态进行了实例分析和研究。

1. 基于滚齿加工的齿轮模型构建

（1）齿轮的建模步骤 本文主要是运用 Pro/E 的机构运动仿真功能来建模的。这种方法无需推导曲线方程，操作过程简单且容易掌握。其流程为：创建机构→添加驱动器→进行机构仿真→分析结果，最后利用分析结果生成刀具的包络线在齿坯处切出齿轮的一个齿槽。通过阵列，可得到齿轮的三维实体模型。

在操作过程当中，需注意：在创建机构之前必须在零件设计模式下完成所有构件（零件）模型的建立，即在 PART 模块下建立好刀具和齿坯的参数化模型，并在装配模块下根据齿轮的加工方式将齿坯和刀具按一定的约束关系进行装配。

（2）具体实例 某工厂一对渐开线直齿圆柱齿轮在工作过程当中，发现其从动轮的齿根处发生断裂。其主要参数为 $m = 10$，$z = 78$，$b = 200\text{mm}$，$\alpha = 20°$，精度为 6 级，输入功率 $P = 90\text{kW}$，输入转速为 $n = 490\ \text{r/min}$，材料为 45 钢，单向连续运转，负载较平稳。

考虑到该齿轮采用的是滚—磨工艺加工的，而滚齿是目前应用最广的切齿方法。磨前滚刀根据其轴向齿形尺寸有不带凸角和带凸角之分，而该齿轮的齿数大于20，故选用带凸角形式的滚刀。而滚齿的实质是将刀具与齿坯按照齿条与齿轮的啮合原理进行的加工，则根据前述建模步骤，可得到磨削前的一个齿槽的三维模型。对于齿廓的磨削，可根据留磨量将刀具的某部分轮廓线往外偏移，形成新的刀具后再在原齿廓上用同样方法虚拟仿真，即可得到能保证一定精度的齿廓，通过阵列，就可得到精确的齿轮实体模型。图 1 为刀具的零件模型图，里面的为刀具的实际轮廓线，最外端的为考虑留磨量的轮廓线。图 2 为滚齿加工图，图 3 为创建好的齿轮实体模型。

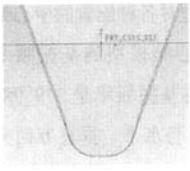


图 1 刀具的零件模型图

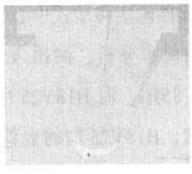


图 2 滚齿加工图

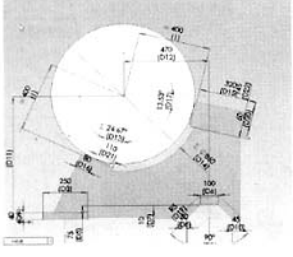


图 11 最终设计值

5. 结语

通过对轧辊磨床中心架的优化设计，我们尝试了采用 COSMOSWorks 软件进行优化设计，结果是满意的。对照采用数学优化方法对模型的优化方法，无论建模、运算都要方便、直观。

（收稿日期：20071018）