

Pro/Mechanica 在大型轴承受力研究中的多界面接触问题及其分析

撰文 / 重庆科创职业学院 刘祥

本文研究的是诸如风电、水电等大型发电设备上使用的大型轴承的受力问题，使用软件为 Pro/ENGINEER 的 Mechanica 有限元分析模块。在结构力学中接触问题向来是有限元分析中的难点，在大型轴承的分析中所涉及的是更加复杂的多界面接触问题。利用 Pro/Mechanica 模块在分析中简便、高效的优点，多界面接触问题能够较好地得到解决，从而对大型轴承的受力和疲劳能进行有效的分析。

一、引言

目前利用有限元分析零件强度的软件很多，基本的步骤都是前处理、主分析和后处理。Pro/Mechanica 可以定义静力、模态、翘曲、疲劳、预紧力、动态分析、标准分析、敏感度分析和优化分析研究。静态分析 (Static) 可根据约束载荷条件计算模型的应力、应变和位移等内容，在分析时要对模型进行简化，保留关键的特性，将一些非重要的特征略去，从而保证了分析结果的可靠性。

本文以风电、水电等大型发电设备上使用的大型轴承的受力为出发点，着重研究大型齿轮在工程使用中的受载及应力变化情况。就以风电轴承为例，如偏航、变桨风电中使用的轴承大多为进口轴承，国内如洛轴等国企也在生产。此种轴承的内、外套圈均采用 42CrMo 钢作为原材料。由于风电轴承特殊的服役条件，用户对其低温冲击功和常温力学性能的要求越来越高。低温冲击功和常温力学性能是决定风电轴承寿命及可靠性的重要性能指标，风电轴承套圈调质热处理工艺参数也是影响它们的重要因素之一。

二、结构造型设计

- (1) 在 Pro/ENGINEER 中绘制模型单个零件，包括内圈、外圈和滚子。
- (2) 使用 Pro/ENGINEER 装配功能组装成简化轴承模型如图 1 所示。

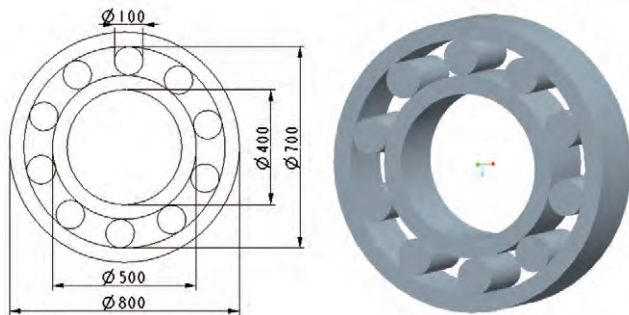


图 1 简化的轴承模型

三、结构前处理

Pro/Mechanica 的前处理功能可方便地完成三维建模、施加载荷、定义材料和多边界，主分析功能可自动定义和生成网格等。结构设计时主要有 3 个步骤。

(1) 完成装配功能后, 直接进入 Pro/Mechanica 模块。在 Mechanica 模型设置中, 模型类型选择结构, 缺省界面选择接触, 属性选择生成兼容的网格。设置材料定义时, 按照轴承用合金钢 42CrMo 的相关参数进行设置。需设置钢 42CrMo 的密度、泊松比和杨氏弹性模量等。然后进入设置材料制定, 设定轴承外圈、内圈和滚子的材料属性, 材料使用刚才设置的合金钢的材料属性。

(2) 设置轴承内圈内表面的全约束, 此仿真设置的是内圈过盈安装在一个固定轴上, 而由外圈带动结构件旋转, 故约束类型为全约束。设置轴承外圈侧面的部分约束, 其中 X 向和 Z 向的平移约束取消。设置滚子侧面的部分约束, 其中 X 向和 Z 向的平移约束取消。

(3) 设置轴承外圈表面的承载载荷, 由于内圈固定不动, 由外圈带动结构件旋转, 故结构件的所有重量加载在外圈外表面上方, 并以承载载荷形式呈现, 载荷值设定为沿 Z 轴负方向 20000N。设置界面定义时, 每个滚子都要和外圈内表面重新设置接触定义。每个滚子也要和内圈外表面重新设置接触定义。所有载荷与约束都设置完成后如图 2 所示。

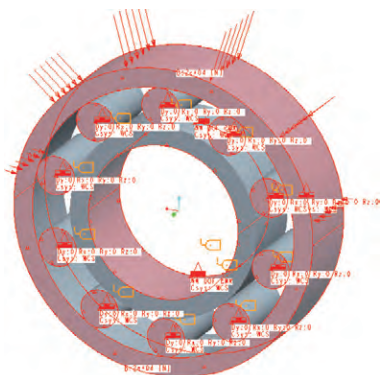


图 2 载荷与约束设置

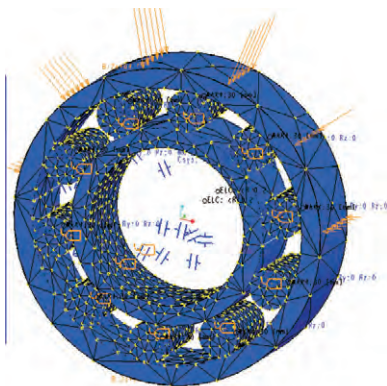


图 3 创建生成网格

四、主分析设置

(1) 设置【AutoGEM 控制】, 【类型】选择边长度除以曲率, 【参照】选择分量, 零件选择轴承外圈和内圈, 【属性】设置为 0.2 或更低, 可使得网格划分更细, 计算也更为精准。对滚子采用最大元素尺寸进行设置, 元素尺寸设置为 30。

(2) 启动网格创建, 对外圈、内圈和所有滚子都进行网格划分。创建出的网格结果共 10145 个单元和 2997 个节点, 结果如图 3 所示。

(3) 保存网格结果, 否则无法进行分析。

五、结构后处理

Pro/Mechanica 的后处理特点是很方便地查看应力、位移等多种结论。在工程使用中 Pro/Mechanica 的优点是可减少开发成本, 通过便于工程用户使用的界面执行分析测试, 从而提高生产效率。分析类型包括线性静态、模态、弯曲、接触和稳态热学性能。可解决非线性大位移、预应力、动态和瞬态热分析问题。对高级材料特性进行仿真, 例如超弹性、弹塑性、各向异性、正交各向异性和复合层压板。还可支持高级建模实体, 例如质量 / 弹簧理想化、预加负载的螺栓和装配接触点上的摩擦力。通过精确仿真复杂系统, 减少产品性能的不确定性。结构后处理可简单分为两个步骤。

(1) 设置分析和设计研究, 选择【新建静态分析】。设置静态分析定义, 在【非线性】选项中勾选【包括接触】, 输出设置中选择输出应力与反作用力选项。开始运行, 运行中启用自诊断功能。

(2) 运行结束, 查看应力分布结果, 显示类型选择【位移】、【向量应力】和【条纹应力】。显示位移和应力图如图 4 ~ 图 6 所示。

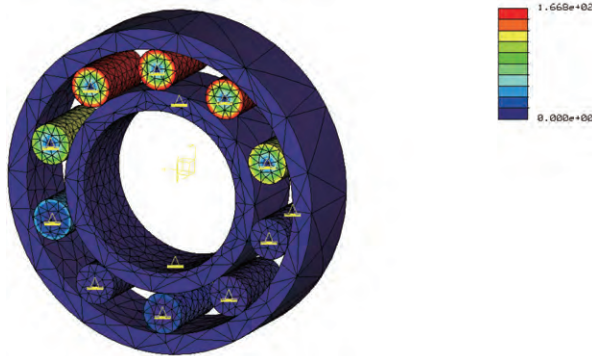


图 4 位移条纹分布结果

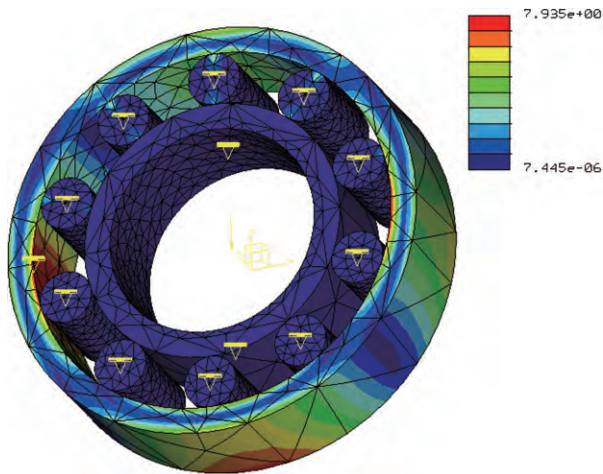


图5 应力条纹分布结果

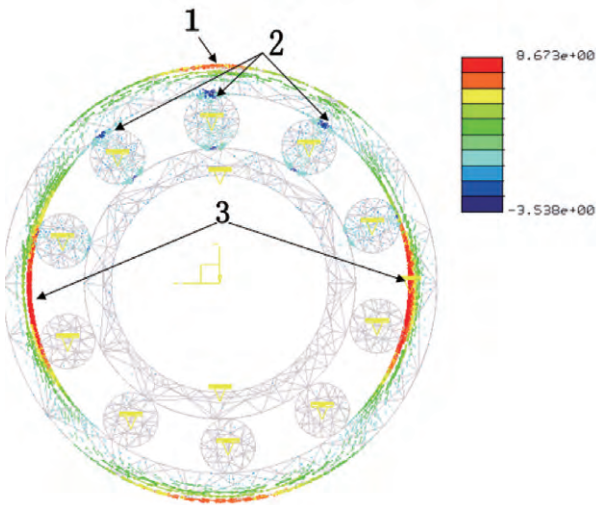


图6 应力向量分布结果

六、分析与结论

由图4~图6的位移和应力分布图可以得出以下结论。

(1) 图中1区域由于此处承载力最大，导致应力也较大，但由于轴承外圈是不断旋转运动的，所以此部分的应力是较大的交变载荷。

(2) 图中3区域是轴承外圈内表面两处较大的应力分布，这是因为处在轴承外圈两侧的承载力对轴承两侧边部造成了下压作用，迫使外圈内表面产生拉伸效应所致。

(3) 由于轴承外圈的内、外表面不断的交替的应变载荷，最有可能造成轴承外圈的疲劳破坏。

(4) 图中2区域是轴承外圈与三个滚轮之间的接触应力分布，由于此部分接触形式是线接触形式，应力分布形式呈现的是点状分布，所以当每个滚轮经过此处都会呈现

出较大的局部应力，虽然滚轮都是不断旋转运动的，但同样会因为交变载荷的作用产生疲劳破坏。

(5) 轴承内圈是固定不动的，所以轴承内圈的部分区域也有一定的接触应力，只是这种应力状态表现得没有轴承外圈那么明显。

从以上结论分析来看，软件的仿真结果与理论分析是比较接近的，分析结论也是可信的。

七、接触设置要点

从软件的命令设置来看，除了要遵循软件设置的步骤，设定所需的相关参数以外，着重需要注意的地方还有四点。

(1) 在Mechanica模型设置中，缺省界面要选择【接触】，属性选择【生成兼容的网格】。

(2) 设置界面定义时，每个滚子都要和外圈内表面再次设置【接触定义】，每个滚子也都要和内圈外表面再次设置【接触定义】，否则分析时会出错。在实际分析中，我们也发现了即使已经二次设置了【接触定义】，计算时在采用交互式诊断的情况下同样出现了报错的情况，只是这种报错并不影响最终结果的生成。但如果没有二次设置【接触定义】，则根本无法进入计算状态。

(3) 对于圆形零件设置AutoGEM控制时，类型可选择【边长度除以曲率】，可使网格划分更为合理并提高计算精度。但是这种网格划分形式似乎并不很适合形状较小的滚轮，因此将滚轮的网格划分形式改为最大元素尺寸进行设置，元素最大尺寸限制在30以下，虽然这会使滚轮在网格划分时被额外分割出几千个单元，但是计算的精确度得到了很大的提高。

(4) 设置静态分析定义时，必须选择【非线性】计算方式，在非线性选项中使用【包括接触】选项，否则无法进行接触问题的计算。

八、结构分析中的不足

(1) 由于此仿真设置的为风电轴承载荷，载荷值设定为20000N，但实际计算发现20000N（即2吨）的负载远远低于常见风机的叶片及外壳的实际重量和离心力，承载力设置的不足对结构分析的准确性造成了一定的影响。

(2) 需设置轴承外圈和滚子侧面的部分约束，否则在分析时会出现约束不足的错误。但是为了得到更加准确的分析结果，在轴承外圈和滚子的中心面处设置对称约束则更为合适。