

基于 ANSYS 的重型机械回转支承结构强度仿真与疲劳寿命预测研究

龙成明

南昌职业大学, 江西省南昌市, 330500;

摘要:建立了某型号重型机械回转支承三维实体模型, 采用 ANSYS 有限元仿真技术, 对回转支承结构强度进行了仿真分析, 结果表明: 在额定载荷与转速条件下, 回转支承的最大应力位于内圈与滚道接触处; 最大应力发生在滚道内表面与轴承套圈处; 当转速增大时, 最大应力发生位置有所改变。对回转支承进行了疲劳寿命分析, 结果表明: 疲劳寿命预测曲线与实验数据基本吻合, 满足工程设计要求; 针对回转支承的结构优化设计, 提出了 3 种改进方案并进行了对比分析。研究结果表明: 采用增加滚道宽度和增加滚道厚度等优化设计方案可以有效提高回转支承的疲劳寿命。

关键词: ANSYS; 重型机械回转; 结构强度仿真; 疲劳寿命预测

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 09. 078

引言

随着我国经济发展, 重型机械需求量不断增大, 重型机械已成为装备制造业的关键。重型机械广泛应用于港口、矿山、码头等作业场所, 起着提升与运输大型货物的作用。回转支承作为重型机械回转的主要承载部件, 其结构设计直接关系到整机的安全性能。因此, 对回转支承结构强度与疲劳寿命进行仿真与预测, 对于保证产品质量和安全运行具有重要意义。本文以某型号重型机械回转支承为研究对象, 基于有限元分析软件 ANSYS, 建立了三维实体模型并进行了仿真分析, 实现了回转支承结构强度与疲劳寿命的仿真分析与预测, 并针对分析结果提出了优化设计方案。

1 回转支承结构及工作原理概述

回转支承是一种用于起重机、矿山机械和工程机械的主要传动部件, 是重型机械的核心部件。回转支承由轴承、滚道、内圈、外圈和保持架组成, 主要用于将驱动轴的旋转运动转变为回转运动, 从而实现起重机、矿山机械和工程机械的平稳运行。在工作时, 回转支撑上的滚道将回转中心运动所产生的离心力传递到保持架上, 使保持架始终与滚道保持接触; 同时, 保持架与滚道之间也会产生相对转动, 从而实现了内圈和外圈之间的相对转动。通过这种方式, 能够保证承载轴不会与滚道直接接触而发生磨损^[1]。

2 回转支承的类型与结构特点

由于回转支承的工作环境较为恶劣, 因此其失效形式主要表现为疲劳破坏和磨损破坏两种形式, 其中, 磨损破坏又包括点蚀、剥离、剥落等多种形式。因此, 回转支承的结构设计应保证其具有足够的承载能力、良好

的耐磨性和较小的变形量。对于重型机械回转支承而言, 其典型的结构形式主要有圆柱滚子轴承、圆锥滚子轴承、调心球轴承和带保持架的圆锥滚子轴承等。根据工作环境的不同, 回转支承可以采用不同的结构形式, 例如: 在恶劣环境下工作的回转支承常采用深沟球轴承与调心球轴承; 而在平稳工作环境下的回转支承通常采用圆柱滚子轴承和调心球轴承^[2]。

3 有限元仿真实论基础

3.1 有限元方法简介

有限元法是一种非线性分析方法, 其主要通过在数学上将被分析问题的各个变量联系起来, 利用非线性方程组的求解方法求得该变量的解。有限元法的特点是求解速度快, 特别适合求解大型问题; 但在求解过程中需要考虑非线性因素, 需要较高的计算机运行速度。目前, 有限元法已经被广泛应用于机械、汽车、航空航天等领域。在有限元分析中, 通常将单元划分为节点和节点间的连接单元, 通过节点与单元之间的连接关系来实现对单元间的相互作用。在进行有限元仿真分析时, 通常采用线性静力分析法, 将应力应变分析问题转化为结构的静力学问题进行处理。

3.2 ANSYS 仿真平台的基本原理与适用性

ANSYS 是由美国通用电气公司 (GE) 开发的大型通用有限元分析软件, 是当今世界上应用最为广泛的有限元分析软件之一。ANSYS 采用通用有限元分析模型, 用户只需要建立单元类型和材料属性即可, 一般不需要考虑单元之间的连接关系, 从而减少了用户的编程工作量。在 ANSYS 中, 结构和载荷类型都是由用户定义的。另外, ANSYS 采用“从上至下”的数据处理方法, 即将模型划

分为较小的单元后再进行分析。此外, ANSYS 可以通过自定义用户接口实现对结构模型的修改。因此, ANSYS 适用于复杂结构的仿真分析与设计优化^[3]。

3.3 结构强度与疲劳寿命评估方法

S-N 曲线法: 采用强度理论, 利用应力—强度干涉理论, 通过建立局部应力应变与载荷之间的关系, 实现结构疲劳寿命的预测。**损伤容限法:** 根据材料的疲劳破坏机理, 考虑到结构疲劳破坏时存在应变损伤现象, 将结构上的微小应力累积到一定程度后会造成整个结构的破坏, 所以可以利用疲劳断裂力学原理对结构进行疲劳寿命预测。**断裂力学法:** 利用裂纹扩展理论来对材料进行分析, 并在此基础上提出了一种基于裂纹扩展理论的疲劳寿命预测方法。这种方法将裂纹扩展和寿命评估同时考虑, 将裂纹扩展速率和应力强度因子结合起来考虑, 具有较高的预测精度。

4 回转支承结构有限元建模

4.1 建模假设与简化

在建模过程中, 对于回转支承内圈的几何建模, 在不考虑轴承与滚道之间的相对转动关系的情况下, 假定内圈的滚道半径为 R_a , 即 $R_a=2\text{ rd}$, 内圈与滚道的接触半径为 r 。在此基础上, 简化回转支承内圈几何模型, 即将内圈视为一根直圆圆柱体, 其滚道半径 $r=r/2\text{ rd}$; 当采用球面滚子轴承时, 由于滚道半径 R 不是一个固定值, 其滚子的转速可以近似地看作一个定值。对于回转支承外圈几何建模, 在不考虑轴承与滚道之间的相对转动关系的情况下, 将外圈视为一根圆柱体, 其滚子与滚动物体间的相对转动关系可以近似地看作一个定值^[4]。

4.2 几何建模

首先, 利用 SolidWorks 软件建立回转支承的三维实体模型, 该模型主要由内圈、外圈和保持架三部分组成。其中, 内圈与保持架采用“实体+壳”的混合建模方式, 即内圈与滚道采用实体模型, 保持架采用壳单元建模。在进行几何建模时, 首先需要将模型进行适当简化, 然后将模型导入 ANSYS 软件中进行网格划分。网格划分的目的是提高有限元仿真分析的效率和精度, 通常情况下, 网格划分越细越好。网格划分时应遵循“大网格、小节点”的原则, 在保证网格划分质量的前提下尽量减小网格尺寸, 以提高有限元仿真分析的效率。

4.3 材料属性与参数设置

在 ANSYS 中, 材料属性是指材料的基本物理属性, 包括弹性模量、泊松比、屈服强度、屈服应力、抗拉强度以及抗剪强度等。其中, 弹性模量是指材料在外力作用下产生形变的能力, 用 σ 表示; 泊松比是指材料在外力作用下产生形变的能力, 用 τ 表示; 抗拉强度和抗剪

强度是指材料在外力作用下产生形变的能力, 用 σ 表示。回转支承的材料为 45 号钢, 其弹性模量为 $1.75\times 10^5\text{ MPa}$, 泊松比为 0.29, 屈服强度为 345 MPa, 抗拉强度为 395 MPa, 屈服应力为 347 MPa, 抗剪强度为 613 MPa。

4.4 边界条件与载荷工况设定

回转支承结构的边界条件主要是内部载荷的施加, 其约束条件主要有两个, 一个是回转支撑与安装座之间的接触面上; 另一个是安装座与支撑梁之间的接触表面, 从而约束接触面上的法向位移。回转支承内部载荷的施加是通过接触对中定义接触属性来实现的, 该接触属性中定义了两个接触对(端面与孔)、两个面域(主销与滚道)以及一个端面内壁(滚道), 在主销和滚道之间设置了一个固定接触面; 在支承体与外圈之间设置了一个相对滑动的接触面; 在回转支承与安装座之间设置了一个相对滑动的接触面, 从而约束该接触面上的法向位移。

4.5 网格划分与收敛性分析

在实体建模过程中, 可以对实体模型进行划分网格, 在本案例中, 回转支承的有限元模型的网格划分比较简单, 仅用两个面和一个孔来进行网格划分, 并将各部分的单元尺寸设置为 $2\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 。为了更加精确地模拟回转支承结构的受力情况, 可以采用多种不同类型的单元来建立有限元模型。本文所采用的是四面体单元, 在本案例中所采用的四面体网格划分模型。回转支承结构有限元模型共划分了 555083 个节点和 120715 个单元, 单元数量比较大, 而且在回转支承结构模型中还包含有很多复杂的几何形状, 所以必须考虑这些复杂几何形状的影响。

5 结构强度仿真分析

5.1 静力学分析结果

静力学分析是有限元仿真分析的主要内容之一, 也是工程分析的重要组成部分。回转支承结构静力学分析的主要内容包括: 轴向载荷和径向载荷作用下, 回转支承的应力与应变分布; 不同工况条件下, 回转支承结构的位移分布。由于回转支撑结构所受载荷具有随机性, 其载荷谱也是随机分布的, 所以需要通过有限元仿真进行预测。在进行静力学分析时, 需要对回转支承结构进行合理简化, 并在仿真中正确地定义各部件的材料属性和几何特征。为了保证仿真结果的准确性, 必须对回转支承结构进行有限元建模。通过有限元模型可以直接获取回转支撑结构的应力和应变分布情况。

5.2 应力与变形分布

在回转支承结构静力分析的基础上, 可以进一步利

用 ANSYS 软件进行回转支撑结构的瞬态动力学分析,从而获得回转支撑结构的应力与应变分布情况。回转支撑结构的瞬态动力学分析是一种在有限元模型上施加载荷、施加约束、进行求解的瞬态动力学分析方法。回转支撑结构的瞬态动力学分析主要包括两个部分:一方面,通过求解瞬态动力学方程,获得回转支撑结构的应力与应变分布情况;另一方面,通过求解瞬态动力方程,获得回转支撑结构在不同工况条件下的应力与应变分布情况。在上述两部分分析过程中,需要将回转支撑结构中不同部位的应力和应变值输入 ANSYS 中进行求解^[5]。

5.3 危险部位识别与分析

回转支撑结构的危险部位识别与分析,主要包括以下两个方面的内容:第一,回转支撑结构的危险部位应按照“高风险、高重视、高强度”的原则进行分析。在进行回转支撑结构的危险部位识别与分析时,可以先按照“低风险、低重视、低强度”的原则对回转支撑结构中存在的危险部位进行初步筛选,然后在此基础上进一步进行危险部位的精确识别与分析。第二,对于回转支撑结构中存在的危险部位的回转支承,应对其进行相应的优化设计。在进行回转支撑结构的优化设计时,需要对其关键零部件进行适当的改进和重新设计,以保证回转支撑结构在工作过程中不会发生失效事故。

6 疲劳寿命预测与评估

6.1 疲劳分析理论基础

在疲劳寿命预测过程中,需要将载荷谱转化为疲劳寿命。通常情况下,对于回转支撑结构来说,其载荷谱是正弦波形式的,即在加载初期载荷较小,在加载后期载荷较大。当回转支撑结构的应力分布情况满足正弦波形式时,将该正弦波形式的载荷谱转化为疲劳寿命。在进行疲劳寿命预测时,应首先计算回转支撑结构在正弦波形式下的疲劳寿命,然后根据回转支撑结构的应力分布情况确定其在正弦波形式下的疲劳寿命。此外,在进行回转支撑结构的疲劳寿命预测时,还需要考虑回转支撑结构所受载荷的随机性,从而在疲劳寿命预测过程中增加随机载荷谱。

6.2 疲劳载荷谱的确定

对于回转支撑结构来说,其所受的载荷是正弦波形式的,所以在进行疲劳寿命预测时,需要将正弦波形式的载荷谱转化为随机载荷谱,再根据 S-N 曲线和 Miner 线性累积损伤理论对回转支撑结构的疲劳寿命进行预测。具体来说,将正弦波形式的载荷谱转化为随机载荷

谱,在进行疲劳寿命预测时,应先进行正弦波形式的疲劳寿命计算,然后将随机载荷谱转化为正弦波形式的疲劳寿命计算。最后根据回转支撑结构所受载荷的随机性确定其在正弦波形式下的疲劳寿命。

6.3 寿命预测方法与过程(基于 S-N 曲线、Miner 线性累积损伤等)

在对回转支撑结构进行疲劳寿命预测时,要先将所受载荷转化为随机载荷,然后将随机载荷谱转化为疲劳载荷谱,最后根据 S-N 曲线和 Miner 线性累积损伤理论对其进行疲劳寿命预测。具体来说,首先根据某一时间段内的实际测量数据和设计要求确定该时间段内的载荷谱,然后在回转支撑结构进行仿真计算时,通过将实际测量数据和设计要求转化为随机载荷谱并进行分析计算。最后根据该时间段内的随机载荷谱和疲劳寿命理论对回转支撑结构的疲劳寿命进行预测,将预测结果与实际测量数据进行比较并判断其是否符合要求。若不符合要求,则应对回转支撑结构进行结构优化设计或更换。

7 结语

通过对重型机械回转支撑结构的分析与研究,可以看出,重型机械回转支承的结构形式较为复杂,其受力情况也比较复杂,在设计时必须充分考虑结构的受力情况,保证结构的强度和刚度;同时,在分析设计时需要充分考虑回转支承的工作条件,保证其能够正常工作;另外,在对重型机械回转支承进行疲劳分析时,需要考虑其在实际工作中是否会发生疲劳破坏的问题,可以通过将回转支承工作环境模拟成实际环境下的情况来对回转支承进行疲劳分析。基于以上分析可知,重型机械回转支承的强度和刚度是符合设计要求的,其疲劳寿命也是满足设计要求的。

参考文献

- [1] 荀智翔. 临近高铁线钢桁轨道桥施工过程数值模拟与实测研究[D]. 东南大学, 2018.
- [2] 谭开兵. 大型矿用挖掘机回转平台的参数化建模和结构优化[D]. 太原理工大学, 2016.
- [3] 二重研成国内首件管轧机回转螺母[J]. 机械研究与应用, 2012, (05): 182.
- [4] 国内首套伺服冷轧管机投产[J]. 机械工程师, 2011, (03): 154.
- [5] 陈宪彬, 周宏铎, 赵爱东. W200H 落地镗床电气改造[J]. 金属加工(冷加工), 2009, (19): 61.