930kW 采煤机有限元静力学分析和模态分析

吕晓丹
晋中信息学院，山西 晋中 030800

DOI: 10.61369/TACS.2026080039

摘　　要： 本文以 930kW 电牵引采煤机为研究对象，借助 UG NX8.0 软件完成整机三维建模与有限元仿真。针对摇臂处于最大采高、最低窝底两种极限工况开展静力学分析，获取整机应力与位移分布规律，完成结构强度与刚度校核；同时分别开展自由模态与约束复合模态分析，求解得到整机前 20 阶自由模态、前 18 阶复合模态的固有频率及振型特征。结果表明，整机最大位移与最大应力均出现在结构局部尖角、孔边等位置，整体结构满足强度与刚度要求；明确了易引发共振的频率区间。研究成果可为该型采煤机的结构优化、动态设计及现场故障诊断提供数据支撑与理论参考。

关 键 词： 采煤机；UG NX8.0；有限元；静力学分析；模态分析

Finite Element Statics Analysis and Modal Analysis of a 930kW Coal Shearer

Lv Xiaodan
Jinzhong College of Informatio, Jinzhong, Shanxi 030800

Abstract: This paper takes the 930kW electric haulage shearer as the research object, and completes the three-dimensional modeling and finite element simulation of the entire machine with the help of UG NX8.0 software. Static analysis is conducted for two extreme operating conditions: when the rocker arm is at the maximum mining height and the lowest floor level, to obtain the stress and displacement distribution laws of the entire machine and complete the structural strength and stiffness verification. At the same time, free mode and constrained composite mode analysis are carried out separately to solve for the natural frequencies and mode shapes of the first 20 free modes and the first 18 composite modes of the entire machine. The results show that the maximum displacement and maximum stress of the entire machine occur at local sharp corners and hole edges of the structure, and the overall structure meets the strength and stiffness requirements; the frequency range prone to resonance is clarified. The research results can provide data support and theoretical reference for the structural optimization, dynamic design, and on-site fault diagnosis of this type of shearer.

Key words: shearer; UG NX8.0; finite element; static analysis; mode analysis

引言

930KW 采煤机是一种采用机载式交流变频调速装置的新型电牵引采煤机，它由多电机驱动，采用横向抽屉式布置方式，适用于缓倾斜、中硬煤层长壁式综采工作面，可在有瓦斯、煤尘或其它爆炸性混合气体的煤矿中使用。采煤机割煤时，受较大的冲击载荷，产生大量煤尘，工作环境比较恶劣，采煤机零部件容易损坏，从而影响采煤机的使用性能和工作寿命[1-3]。

本文利用软件 UG NX8.0 对采煤机整机在额定功率下、摇臂处于最大采高和最低窝底位置时的结构进行有限元静力和模态分析，校核了结构的安全可靠性，评价了系统动态特性，验证了设计方案的可行性。

一、模型准备

（一）建立三维实体模型

利用软件 UG NX8.0，按实际尺寸对930KW 采煤机摇臂体、外牵引、内牵引、泵站、高压箱、控制箱及主机架等主要部件进行实体建模，并将其装配成采煤机整机，其模型如图1所示。为方便有限元静力分析时对采煤机施加约束，对销排和刮板简化建模，并将其装配到整机模型，如图2所示。



图1 采煤机三维模型图



2 装配模型图

（二）建立有限元模型

在 UG NX8.0高级仿真环境下，建立930KW 采煤机装配

项目编号：项目信息：2024年山西省教改项目 _J20241761_ 面向应用型人才培养的《工业机器人实训》综合实践课程改革；2025晋中信息学院教改项目 _2025433014_ 新工科视域下数控技术课程思政的“四维融合”模式构建与实践。

作者简介：吕晓丹（1981—），女，硕士，山西长治人，毕业于太原理工大学，现就职于晋中信息学院，高级工程师，研究方向：机械工程、CAE 分析的教育及科学研究。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

FEM 和仿真模型；对其整机模型各部件进行简化处理，对简化后部件模型分别划分网格。

根据装配关系，在采煤机相关面间定义相应的面对面接触或面对面粘合。根据施加载荷、约束状况，在采煤机滚筒与其受力点间、销轴联接处等建立1D 单元连接。

930KW 采煤机进行静力分析时整机的装配 FEM，共有1848669个单元，509767个节点，其模型如图3所示。

930KW 采煤机进行模态分析时整机的装配 FEM，共有1838253个单元，个505723节点，其模型如图4所示。

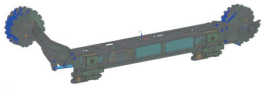
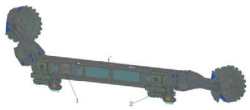


图3 采煤机 FEM 图



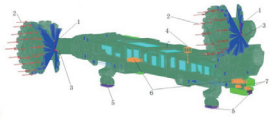
1面对面粘合 2面对面接触

图4 装配体 FEM 图

二、边界条件及载荷的定义

（一）施加约束

采煤机进行整机有限元静力分析时，销排、刮板均与地面接触，故对销排、刮板的底面施加固定约束；导向靴与销排、平滑靴与刮板联接面间施加了面对面接触，采煤机整机沿 X 轴向平移自由度未被约束，故对导向靴销轴圆面处施加只约束 X 轴平移自由度的约束[4-6]；采煤机模型中齿轮传动部分均未建模，整机质量减轻，为避免截割反力将最大采高侧机身脱离抬起，对与销排水平接触的导向靴底面，施加只约束 Z 轴平移自由度的约束，如图5所示。

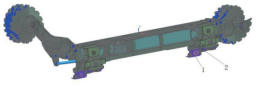


1 F_c 力 2 F_s 力 3 F_{df} 力 4 重力 5 固定约束

6 X 固定约束 7 Z 固定约束

图5 采煤机静力分析约束、载荷施加图

采煤机进行整机有限元模态分析时，对与销排接触的导向靴面处施加固定约束，对平滑靴底面施加释放 X、Y 轴平移自由度及 X 轴旋转自由度的自定义约束，如图6所示。



1自定义约束 2固定约束

图6 采煤机模态分析约束施加图

（二）施加载荷

采煤机滚筒截割落煤工况下，载荷主要包含截割反力 Fc、侧向力 Fs 和牵引阻力 Fdf。截割机构电机带动滚筒截齿切削煤层，进而产生截割反力与侧向力两类载荷，前者作用方向为滚筒圆周切线向，后者沿滚筒轴向分布；牵引阻力是行走电机驱动设备向前移动，克服接触面摩擦形成的阻力，其作用方向和采煤机行进方向呈反向。单一滚筒对应的截割反力、侧向力、牵引阻力荷载大小如下

$$F_c = \frac{9550P}{n_0} \cdot i \cdot \frac{2}{d} = 116845.54N$$

P——截割电机额定功率，P=400Kw；

n_0——截割电机额定转速，n_0=1480r/min；

i——摇臂传动比，i=45.27；

d——滚筒直径，d=2m；

Fs= 30% ·Fc=35053.662N

$$F_{df} = \frac{F_d}{2} - \frac{f}{2} = \frac{F_d}{2} - \frac{mg\mu}{2} = 347678.169N$$

F_d——整机牵引力，F_d=750000N；

f——整机所受的摩擦力，单位为 N；

m——掘进机整机质量，m=55702Kg；

g——重力常数，g=9.81m/s^2

μ——摩擦因子，取 μ=0.1。

向装配 FEM 施加竖直向下的重力。采煤机进行整机有限元静力分析受力如图5所示。

三、有限元静力学分析

针对采煤机整机开展有限元静力学仿真计算，设备受载后会发生形变位移，该变形会降低设备传动平稳性与传动精度，整机刚度性能也由位移变形特性直接决定；载荷作用下结构内部会生成应力场，应力水平关乎设备作业性能与运行安全稳定性，是评判整机结构强度的核心依据，位移与应力两项指标均需完成校核验算[7-8]。图7 为采煤机分别处于最大开采高度、最低卧底截割工况下的整机静力位移云图，结合云图结果能够看出，整机受力后整体变形分布规律均匀，最大变形量为 22.55mm，该极值位置位于最大采高一侧滚筒的斜上沿区域。

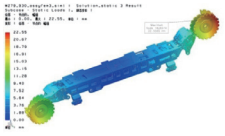


图7 采煤机位移云图

采煤机整机在最大采高和最低窝底位置割煤时的静力分析应力云图如图8-9所示，由图可知，采煤机受到的最大应力为309.345MPa，且出现在最大采高侧外牵引安放链轮轴的外边缘尖角位置附近，此处有圆角过度，可减小应力集中。

由分析结果可知，主机架受到最大应力170.700 MPa 出现在最大采高侧远离煤壁端与提升托架的连接孔边缘处，摇臂壳体受到最大应力195.983 MPa 出现在右摇臂上表面孔边缘处。

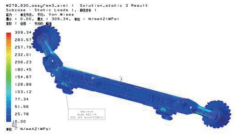


图8 采煤机应力云图

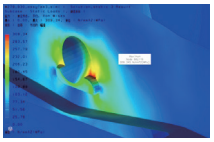


图9 采煤机局部放大应力云图

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

四、有限元模态分析

采煤机整机有多阶固有频率，其在每阶固有频率下工作都可能使其零部件损坏，影响其正常工作，故在采煤机整机结构分析基础上，对其进行结构模态分析。采煤机井下割煤时，所受冲击载荷不断发生变化，承受各种不规则振动，其振动与自由状态不同，需对其结构自由状态和约束状态进行有限元模态分析[9-10]。

（一）自由模态分析

对采煤机整机自由状态进行有限元模态分析，求解了其前20阶模态特性。前6阶自由模态为刚体模态，固有频率很小，不予考虑。16阶模态开始为高阶模态，高阶模态对采煤机结构工作影响较小，不予考虑。7~15阶自由模态固有频率如表1所示，其振型如图10所示。

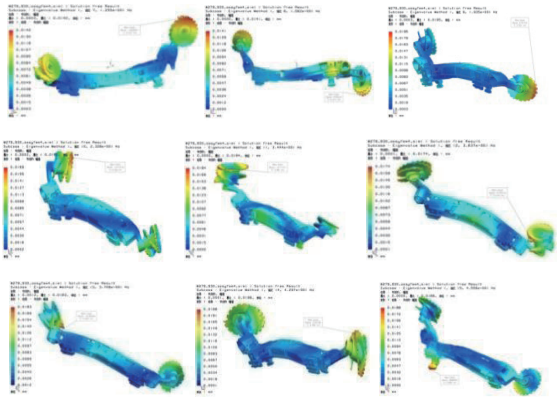


图10 7~15阶自由模态振型图

表1 7~15阶自由模态固有频率表

阶数	频率（Hz）
7阶	12.55
8阶	15.62
9阶	19.35
10阶	23.28
11阶	34.44
12阶	36.37
13阶	37.08
14阶	42.97
15阶	45.96

表2 1~10阶复合模态固有频率表

阶数	频率（Hz）
1阶	11.63
2阶	13.00
3阶	14.10
4阶	15.34
5阶	26.58
6阶	32.28
7阶	33.47
8阶	35.88
9阶	38.77
10阶	43.09

（二）复合模态分析

在给定整机约束边界条件下开展采煤机有限元模态仿真，提取得到结构前 18 阶复合模态参数。其中前 4 阶模态振动主要集中在左右摇臂与滚筒部件；从第 5 阶开始，振动形式转变为整机耦合振动，各阶对应的结构振型详见图 11。观察振型结果能够发现：模态阶次逐步提升时，结构固有频率同步增大，振动形变形式也愈发复杂；第 11 阶及以上属于高阶模态，对采煤机主体结构动态特性影响微弱，后续分析可忽略不计。1 至 10 阶复合模态对应的固有频率统计结果见表 2。

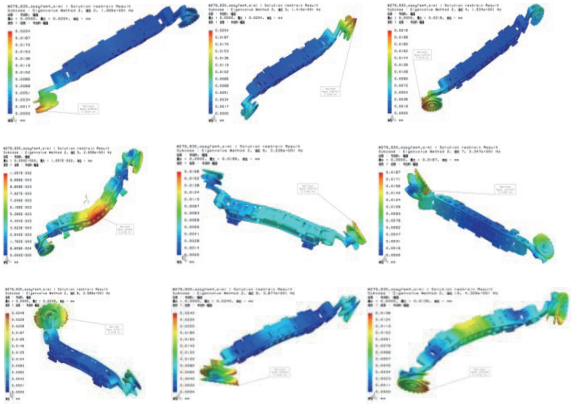


图11 2~10阶复合模态振型图

图10、11为采煤机在12.55~45.56Hz 的频率范围内，在外部和内部各种振源作用下的实际振动响应特性。采煤机的实际工作频率，应避开这些频率，以免产生共振造成采煤机的极大损坏。此分析为采煤机的结构的动态设计、故障诊断提供一定的依据。

五、结语

本文通过对 930Kw 采煤机整机开展有限元静力分析与模态分析，获取了设备整体应力、变形分布特征以及固有频率、对应振型等关键参数，一方面完成了采煤机结构安全可靠性校验，另一方面也为设备动态优化设计、运行故障诊断提供数据支撑；整体分析结果有效验证了该采煤机设计方案的可行性，可为其各零部件的结构设计、性能优化与加工制造提供科学参考，对同类型采煤机相关研究具备一定借鉴价值。

参考文献

[1] 邵云鹏 . 采煤机扭矩轴的设计及分析验证 [J]. 煤矿机械 , 2024, 45(1):9-10.

[2] 高晋峰 . 采煤机牵引机构动力学性能分析与优化探索 [J]. 煤 ,2025,34(9):99-103.

[3] 王宏伟 , 郭军军 , 梁威 , 等 . 采煤机滚筒载荷特性研究与预测 [J]. 矿业研究与开发 , 2024, 44(9):176-185.

[4] 张宝军 , 乔永航 . 煤矿液压牵引采煤机截割路径多目标规划方法及其工程应用 [J].Hydraulics Pneumatics, & Seals, 2024, 000(9):7.

[5] 邢宝明 . 采煤机行走箱故障及应对处理方法研究 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2024(003):000.

[6] 景星星 . 采煤机导向滑靴断裂问题分析与优化设计 [J]. 机械管理开发 ,2025,40(9):176-178.

[7] 杨鸿飞 . 采煤机摇臂壳体断裂问题分析与优化设计 [J]. 机械管理开发 ,2025,40(9):152-154.

[8] 戎旭泽 . 采煤机特效渲染技术的智能化应用与效果分析 [J]. 能源与节能 , 2025(9):242-244.

[9] 周雁鹏 . 采煤机牵引电机故障分析及预防措施研究 [J]. 能源与节能 , 2025(9):117-119.

[10] 王超 . 采煤机截割部行星架疲劳磨损失效问题分析与优化设计研究 [J]. 机械管理开发 ,2025,40(9):182-184.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.