

基于 Ansys Workbench 的梳齿钻头结构强度分析

高淑芳, 张新华, 李 斌, 马红月

(河北建勘钻探设备有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要:以 $\text{Ø}2500$ mm 梳齿钻头为研究对象, 利用三维绘图软件 Solidworks 建立了钻头的三维模型, 应用新一代多物理场协同仿真环境 Ansys Workbench 进行网格划分和静力分析, 得到整体结构的等效应力和位移云图, 获得了钻头在最大负荷工况和单翼板受力工况状态的最大变形值、最大应力值及最大应力点, 所获得数据对钻头的强度和刚度校核及钻头设计过程中的优化起到了非常关键的作用。

关键词:梳齿钻头; 结构强度; Ansys Workbench; 有限元分析; 等效应力

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)12-0068-03

Analysis on Structural Strength of Comb Bit Based on Ansys Workbench/GAO Shu-fang, ZHANG Xin-hua, LI Bin, MA Hong-yue (Hebei Jiankan Drilling Equipment Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: Take $\text{Ø}2500$ mm comb bit as the object, use three-dimension drawing software Solidworks to establish the three-dimension modal of the bit, apply a new generation of multi-physics field collaborative simulation environment Ansys Workbench for mesh generation and static analysis, the equivalent stress and displacement nephogram of the overall structure were got and the maximum deformation value, maximum stress value and the location of the maximum stress point of the bit under the maximum load and wing plate force condition were obtained. The data obtained are very critical to check the strength and stiffness of the bit and important in the optimization of design process.

Key words: comb bit; structural strength; Ansys Workbench; finite element analysis; equivalent stress

梳齿钻头作为与回转钻机配套使用的钻具, 同时承受着轴向压力和回转扭矩的作用, 加之钻杆偏心和不直、地层结构不均匀, 钻头还承受了复杂的动载荷。在设计和生产钻头时, 必须根据钻头的受载工况进行可靠性计算分析。由于此类钻头还没有一套完整的系列和规范, 设计时采用简单的力学模型, 不可避免地产生计算的误差, 且传统力学方法无法对整个结构的应力、位移分布进行全面了解, 更无法对局部的应力集中进行定量分析, 如梳齿钻头中翼板的应力分布情况就难以掌握, 因而易导致钻头设计时满足要求, 而工作中出现失效。有限元法的成熟和普及, 为进行精确地分析计算提供了有效的手段, Ansys Workbench 软件作为有限元分析中的一种新型的协同物理仿真环境, 采用实体单元进行强度校核, 较传统的计算更趋于真实, 本文利用 Ansys Workbench 有限元软件, 对 704E $\text{Ø}2500$ mm 梳齿钻头进行了有限元分析计算, 得出了钻头结构件在不同使用工况下的应力及位移, 完成了对钻头可靠性的评价。

1 梳齿钻头建模

1.1 钻头结构

收稿日期: 2013-10-17

作者简介: 高淑芳(1970-), 女(汉族), 河北人, 河北建勘钻探设备有限公司高级工程师, 机械设计专业, 主要从事产品研发及技术管理工作, 河北省石家庄市建华南大街 58 号, 455054861@qq.com。

704E 梳齿钻头钻孔 $\text{Ø}2500$ mm, 4 个翼板垂直焊接于 $\text{Ø}377$ mm \times 20 mm 的芯管上, 中心管底部焊有前导定心的小钻头, 翼板上刀排交错排列呈梳齿状, 钻头底部设置大截面过水吸渣口。钻头结构形式如图 1 所示。

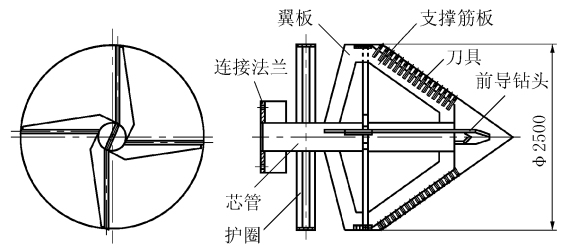


图 1 704E 梳齿钻头结构示意图

1.2 几何建模

将该梳齿钻头在 Solidworks 中进行三维建模, 建立了整个钻头包括护圈、翼板、连接法兰、芯管、前导钻头等部件在内的完整钻头模型, 其设计参数为: 钻头直径 2500 mm, 切削角 55° , 钻压 200 kN, 最大回转扭矩 120 kN·m, 转速 4~9 r/min。

1.3 有限元建模

1.3.1 模型

将利用 Solidworks 软件建立的 704E 三维模型导入 Ansys 软件中,模型包括了护圈、翼板、连接法兰、芯管、前导钻头。为便于计算分析,进行适当的模型简化是必要的,但是为使分析结果最大限度的接近实际情况,有限元建模简化程度应尽量少,确保计算结果真实的反映实际情况。704E 钻头 4 个翼板上刀排沿径向交错布置,即重叠系数为 2,本模型主要对刀排部分进行了简化,略去了硬质合金刀片的小尺寸细节,将钻头工作过程中刀排所受作用力等效施加于与刀排连接的翼板上,这也是钻头设计时力学模型的简化。梳齿钻头模型如图 2 所示。

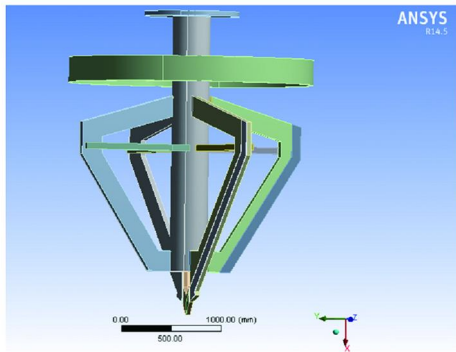


图 2 梳齿钻头几何模型

1.3.2 材料属性

梳齿钻头各部件材料性能见表 1。

表 2 704E 梳齿钻头各部件材料性能参数

零件	材料	弹性模量 /(N·m ⁻²)	泊松比	质量密度 /(kg·m ⁻³)
护圈/筋板	Q235	2.06E+11	0.26	7.85E+03
芯管	20	2.06E+11	0.28	7.85E+03
法兰盘/翼板	Q345	2.06E+11	0.3	7.85E+03

1.3.3 网格划分

网格划分是有限元前处理中的主要工作,也是整个有限元分析的关键工作。网格划分的质量和优劣将对计算结果精度产生相当大的影响。为了得到较好的网格,在本模型建模时进行了多次 slice 处理,以便于后续的网络划分。通过对几何模型的详细处理,网格划分时将钻头整体结构划分为了全六面体实体单元。采用六面体单元与原来 Ansys 中的四面体单元相比,具有网格质量高、节点数较少及计算分析时稀疏矩阵的非零元素较少的优点。模型共有 2366 个单元,15865 个节点。划分结果如图 3 所示。

1.3.4 边界约束条件及载荷边界条件

1.3.4.1 边界约束条件的处理

钻机的回转钻进是一个动态过程,但由于在钻进时采用的是恒定转速,大口径钻头转速相对较慢,

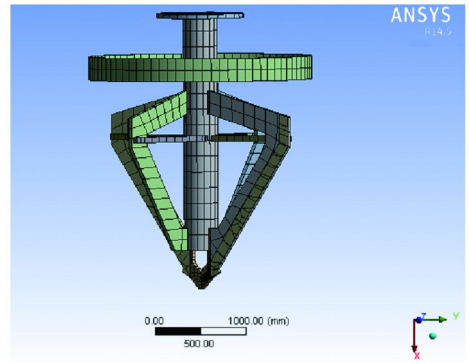


图 3 钻头网格划分

因此可认为钻头在每个位置都处于受力平衡状态。基于此假设,可以将前导钻头尖部采用全约束作为位移边界。

1.3.4.2 载荷约束边界条件

钻机在最大扭矩和最大轴压力作用下,钻头构件要有足够的刚度和强度,分 2 种工况分析。

工况一:均匀地层,钻进平稳,每个翼板同时承受钻机扭矩,所受载荷相近,这种情况较为常见;

工况二:不均匀地层,在覆盖层钻进时,钻头有可能遭遇孔内存在的掉块等情况,此时各翼板所受载荷不同,尤其是单个翼板承受全部回转扭矩时钻头工况最为不利。

(1) 工况一:均匀地层时钻头载荷条件

钻机轴向压力和回转扭矩通过连接法兰施加到钻头克服孔底负载做功。连接法兰处施加竖直向下压力 200 kN、回转方向扭矩 120 kN·m,每个翼板处施加与扭矩方向相反等效力 46 kN,垂直于翼板侧面的轴压力反作用力 28 kN。

(2) 工况二:不均匀地层时钻头载荷条件

连接法兰处施加竖直向下压力 120 kN、回转方向扭矩 120 kN·m,单个翼板处施加与扭矩方向相反等效力 180 kN,每个翼板施加轴压力反作用力 112 kN。

2 704E 梳齿钻头有限元分析求解

定义相应载荷后,进入 Result 模块,Ansys 对实体单元进行强度校核,输出结果采用 von Mises 应力,这是一种复合应力,考虑了弯矩和扭矩的共同作用,较为全面的反映钻头结构的受力情况。等效的 von Mises 应力的计算公式:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 2\sigma_s^2$$

式中: σ_x 、 σ_y 、 σ_z ——分别为 x 、 y 、 z 三个方向的主应力。

3 梳齿钻头有限元分析结果

求解得到结果如图4~7所示。

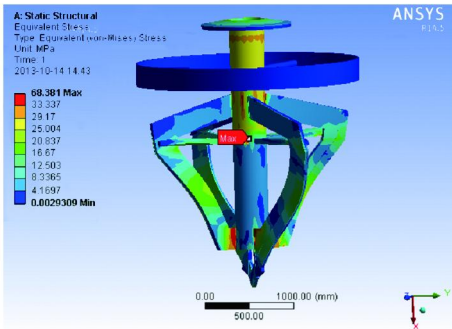


图4 工况一钻头受力应力图

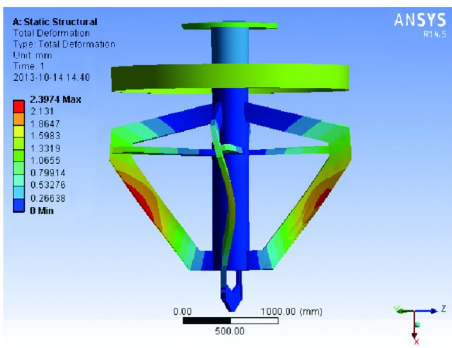


图5 工况一钻头受力位移图

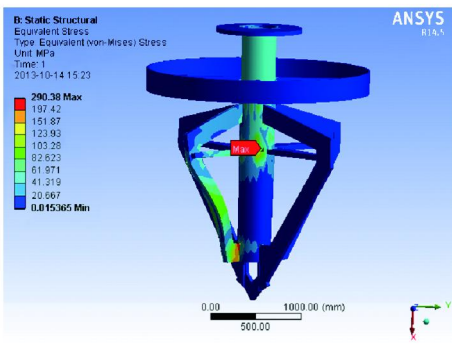


图6 工况二钻头受力应力图

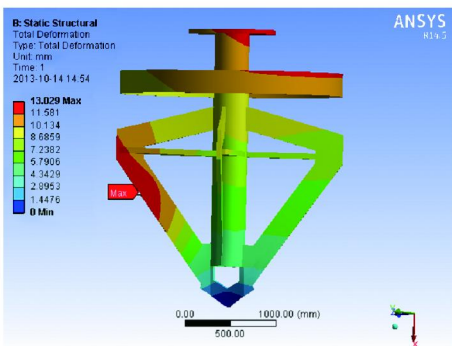


图7 工况二钻头受力位移图

3.1 工况一分析

从图4可以看出,第一种工况下,四翼板同时承

受扭矩,各翼板受力情况相近,应力分布相似,翼板及支撑筋板与芯管连接根部受力较大,最大应力点位于加强筋板与芯管连接处,最大应力值68 MPa,材料的屈服极限 $\sigma_s = 345$ MPa,安全系数为:

$$S = \sigma_s / \sigma = 345 / 68 = 5.1$$

图5显示,第一种受力工况下,最大位移发生在翼板近中点处,最大位移量为2.3 mm,根据施工使用经验,梳齿钻头翼板变形量 ≥ 20 mm,可见本钻头变形量微小,结构刚度完全满足使用要求。

3.2 工况二分析

在最大轴压力情况下,单个翼板承受最大扭矩时,最大应力点为该翼板支撑筋板与芯管连接处,最大应力值290 MPa,此时钻头安全系数:

$$S = \sigma_s / \sigma = 345 / 290 = 1.2$$

此种情形属于一种极不常见工况,此时钻头的结构强度仍然可以满足使用需要。

最大应力工况时的最大位移点同于第一种工况,最大位移值13 mm,结构刚度满足使用要求。

4 结语

(1)梳齿钻头结构简单,加工容易,在大口径施工中应用广泛,尤其适用于覆盖层和沙砾石层,只要钻头的设计加工符合要求,即可大大降低钻掘工程的成本。

(2)大多施工单位在加工制造梳齿钻头时往往采用类比法来确定各个构件的尺寸,不准确性较大,钻头零件尤其是翼板经常由于强度不够而发生变形、断掉等问题,严重时会造成孔内事故,给施工质量和工期带来很大的影响。

(3)有限元的多物理场协同仿真环境使得钻头设计验证成为可能。运用有限元分析使得钻头开发始终处于可预见可控制状态,从而缩短设计周期,降低开发成本,已经成为了设计技术主流。

参考文献:

- [1] 吴长才. 武汉天兴洲长江大桥3号主塔墩 $\varnothing 3.4$ m大直径深孔钻孔设备选型[J]. 铁路工程造价管理, 2008, (1).
- [2] 许刘万, 史兵言, 王兴无, 等. 大直径钻孔用刮刀钻头的设计与应用[J]. 探矿工程, 2001, (S1).
- [3] 席云峰. 卵砾石层大直径反循环桩孔钻进用钻头[J]. 探矿工程, 2003, (4).
- [4] 王文明, 吴初兴. 东海大桥主墩大直径钻孔灌注桩钻头设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(12).
- [5] 马能霞. 刮刀钻头结构及切削要素的经济性设计[J]. 探矿工程, 2003, (5).