

绳索取心钻杆丝扣结构力学仿真分析

尹峰¹, 张瑜², 熊菊秋¹, 熊亮³

(1. 湖北省罗田县建设工程质量监督站, 湖北 罗田 438600; 2. 河南省广播电影电视局 104 台, 河南 郑州 450053; 3. 河南省煤田地质局, 河南 郑州 450051)

摘要:以 $\varnothing 89$ mm 绳索取心钻杆为分析研究对象, 对其连接丝扣部分建立准三维模型, 运用 CAE 有限元软件 ANSYS 对其进行接触非线性力学分析, 得出钻杆连接丝扣处等效应力及变形云图, 结果显示最大等效应力出现的位置及变形状态与钻探现场钻杆常见断裂位置及形态完全一致, 表明所采用的研究手段和方法切实可行。

关键词: CAE; 钻杆; 丝扣; 结构力学; 仿真; 适用性评价

中图分类号: P634.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)01-0066-04

Simulation Analysis on Structural Mechanism of the Thread for Wire-line Drill Pipe/YIN Feng¹, ZHANG Yu², XIONG Ju-qiu², XIONG Liang³ (1. Construction Project Quality Supervision Station of Luotian Hubei, Luotian Hubei 438600, China; 2. Henan Administration of Radio Film and Television, Zhengzhou Henan 450053, China; 3. Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Zhengzhou Henan 450051, China)

Abstract: Take $\varnothing 89$ mm wire-line drill pipe as the research object, a quasi three dimensional model of the threaded connection part is established, with the analysis on the contact nonlinear mechanics by using CAE finite element software ANSYS, the equivalent stress and deformation nephogram at the threaded connection of drill pipe are obtained. The results show that the maximum equivalent stress position and deformation state is exactly consistent with the common position and the state of the drill pipe fracture in the drilling field, which shows that the above research means and methods presented in this paper are feasible.

Key words: CAE; drill pipe; thread; structural mechanics; simulation; applicability evaluation

0 引言

绳索取心是一种成熟而先进的岩心钻探技术, 广泛应用于地质、有色、煤田、石油等勘探领域, 但目前从我国深部勘探应用情况来看, 其优势的发挥受到了极大制约, 主要表现为: 钻杆连接部分薄弱, 深孔应用时事故率较高、钻杆整体使用寿命较短、钻探总成本居高不下等。

绳索取心钻杆采用丝扣连接, 由于单根长度限制钻杆接头数量较多, 随着钻孔延深, 钻进时作为一根长细比较大的柔性杆体, 钻杆将承受压、拉、扭、弯、振等交变应力, 工况极其复杂。据有关资料统计显示, 深孔、中深孔绳索取心钻探所有的钻杆断裂事故中丝扣处发生损毁比例占到 90% 以上。

实际生产中发生断裂事故的钻杆如图 1、图 2 所示。

因此对绳索取心钻杆丝扣结构力学进行深入分析十分必要。笔者以 $\varnothing 89$ mm 绳索取心钻杆丝扣部分为研究对象, 运用有限元软件 ANSYS/AWE 平台



图 1 发生断裂的钻杆管体



图 2 事故钻杆接头

对钻杆丝扣开展接触非线性力学分析^[1~3], 以便在最短的时间, 以最低的成本得到丝扣结构基础力学数据, 并对 CAE 技术应用于钻杆丝扣结构力学分析的适用性作出评价。

1 钻杆丝扣几何模型建立

1.1 三维实体模型

使用 SolidWorks 2008 来对实体进行三维建模, 然后在 ANSYS 11.0 版提供的 Workbench 平台上对其进行力学仿真分析。

收稿日期: 2013-07-09; 修回日期: 2013-10-22

作者简介: 尹峰(1978-), 男(汉族), 湖北黄冈人, 湖北省罗田县建设工程质量监督站工程师, 岩土工程专业, 从事建设工程质量监督检验工作, 湖北省罗田县, 36.8du@126.com; 张瑜(1984-), 女(汉族), 河南许昌人, 河南省广播电影电视局 104 台工程师, 机电自动化控制专业, 硕士, 从事机电及自动化控制系统科研工作, 河南省郑州市金水区经五路 2 号, 79372913@qq.com。

参照《金刚石绳索取心钻探钻具设备》(GB/T 16951-1997)(neq ISO 10098:1992)中HWL($\varnothing 89$ mm)规格钻杆结构参数,为了消除边界效应(约束对局部应力分布)的影响,钻杆管体模型长度取钻杆直径的2倍(设为180 mm),所建立的钻杆管体与接头的三维实体模型如图3所示。



图3 钻杆管体、接头三维实体模型

1.2 准三维实体模型

考虑到丝扣结构的复杂性,对三维结构应用有限单元法存在大量实际困难,参考国内外研究人员在对螺纹牙间进行接触分析时采用的各种简化模型,其中应用最多的当属二维轴对称模型,目前该模型的合理性、准确性也已得到工程界的广泛证实和普遍接受^[4,5]。

为研究方便,对钻杆管体和接头做如下假设:

(1)假设钻杆管体和接头的材料属性为均匀的各向同性体,承受载荷后,螺纹间接触处发生变形极其微小,且均在弹性范围内;

(2)由于螺纹螺距相对钻杆管体和接头的直径均较小,螺纹升角对载荷分布的影响可予以忽略;同时考虑到绳索取心钻进钻杆与孔壁间隙较小,钻杆弯曲效应亦可忽略,载荷也具有轴对称性,这样就可以将模型简化为空间轴对称问题来处理;

(3)建模时在XY平面上以钻杆管体与接头螺纹平面为基本平面(钻杆管体取长180 mm,厚5.5 mm;接头长120 mm,厚6 mm),延Z轴方向拉伸 d_z (取2 mm);

(4)为了消除螺纹牙间啮合干涉(过盈)影响,假定内外螺纹相应的牙底、牙顶宽度一致,内外螺纹螺距、牙高相等,边角部分倒圆一致,这样内外螺纹面即完全接触;

(5)钻杆管体和接头内外螺纹的接触关系定义为摩擦接触,满足库伦定律。

参照《金刚石绳索取心钻探钻具设备》(GB/T 16951-1997)(neq ISO 10098:1992)中HWL($\varnothing 89$ mm)规格钻杆结构参数(图4),用SolidWorks 2008来对实体进行准三维建模,见图5。

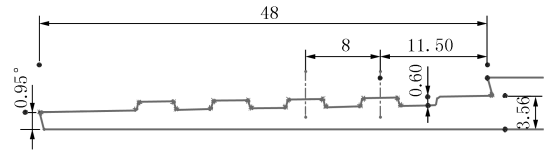


图4 绳索取心钻杆($\varnothing 89$ mm)管体外螺纹主要结构参数

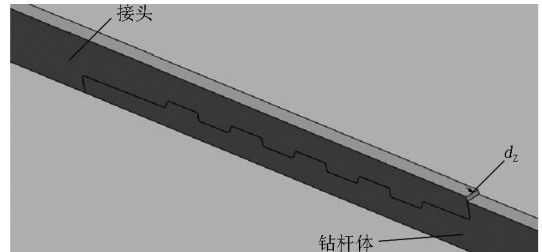


图5 钻杆管体、接头准三维实体模型

1.3 准三维实体模型载荷及边界条件定义

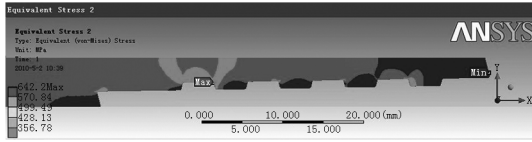
由于绳索取心钻杆在实际工况条件下所受影响极其复杂,包括钻机提供的扭矩和拉压力,孔内下部钻具对其施加的反扭矩和支反力,孔壁与钻杆之间摩擦力,钻杆弯曲产生弯矩所带来的附加力,钻杆内高压泥浆对钻杆的内压力,环空中泥浆对钻杆的外压力等。考虑到内外压对钻杆强度的影响较小,可予以忽略,扭矩可以将其转换成当量轴向力与原拉压力进行叠加形成等效轴向力来计算,为研究方便,其他载荷及边界条件均予忽略,故对改进的准三维模型进行载荷及边界条件定义时可以简化为仅考虑轴向力作用条件下的情况来处理。

2 钻杆丝扣接触非线性力学分析

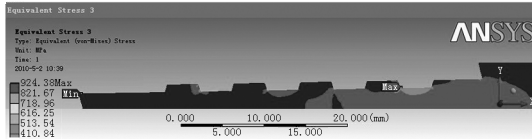
运用AWE下Design Simulation(DS)对模型进行接触非线性力学分析的应用步骤大致可分为以下几步:

- (1)向AWE中导入SolidWorks 2008中创建的几何模型;
- (2)添加材料基本信息;
- (3)设定接触选项;
- (4)设定网格划分参数并进行网格划分;
- (5)施加载荷及约束,装配体一端施加“Fixed Support”,另外一端施加轴向拉力1 kN(必要时需要对某些方向作位移约束),其他条件暂不予考虑;

- (6) 选择分析类型,选择 Static Structural 分析;
- (7) 设定求解参数,选择 Equivalent Stress (Von - Mises 应力)及 Total Deformation(总变形);
- (8) 求解;
- (9) 观察求解结果,如图 6、图 7 所示。



(a) 接头内螺纹



(b) 钻杆管体外螺纹

图 6 准三维模型等效应力云图

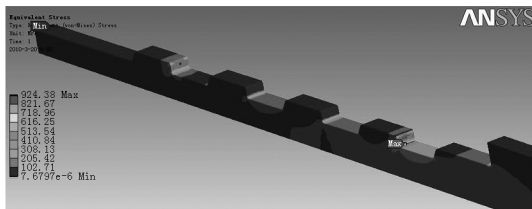


图 7 钻杆管体外螺纹等效应力云图 I



图 9 现场钻杆管体发生破坏情形



图 10 钻杆管体外螺纹总变形云图

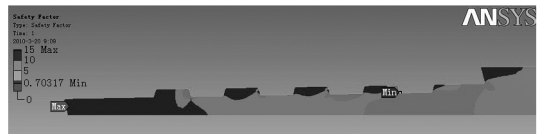


图 11 钻杆管体螺纹安全系数云图

3 钻杆丝扣结构力学仿真分析结果

(1) 由图 6~8 不难看出,最大等效应力 (Von - Mises 应力) 为 924.38 MPa,出现在钻杆管体连接螺纹倒数第二扣,即图 7、8 中标签 (Max) 处,这与钻探生产现场常见的钻杆断裂情形 (图 9) 完全相符。钻杆管体最大总变形为 0.1014 mm,出现在螺纹第二扣,即图 10 中标签 (Max) 处。



图 8 钻杆管体外螺纹等效应力云图 II

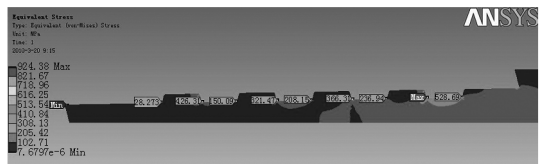


图 12 钻杆管体螺纹等效应力云图 (对各扣根部使用“Probe”功能)

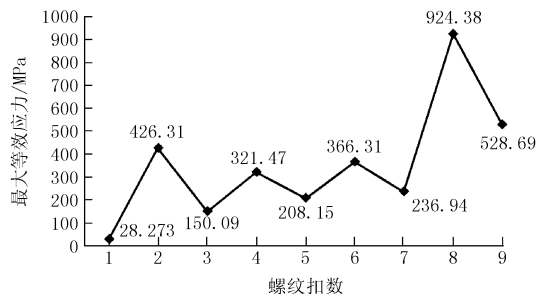


图 13 钻杆管体螺纹各扣根部最大等效应力分布

(2) 由图 11 可知,钻杆管体安全系数最小值为 0.70317,小于 1,说明该处 (亦即 Von - Mises 应力最大处) 应力集中现象十分明显,极有可能发生局部失效。

(3) 由图 10~14 可以知道,丝扣两端是发生应力分布恶化的始发点。

(4) 图 15 显示钻杆连接丝扣局部变形的细节情况,为了使观察更直观,设置变形放大倍数为 54 倍,但变形的实际数值仍保持不变。

由图 15 可见,钻杆在受载条件下,连接螺纹副间间隙增大,钻杆管体公扣有向内收缩的趋势,接头母扣则具有向外涨开的势头,这与现场常见的钻杆变形“喇叭口”形式完全相符 (见图 16)。

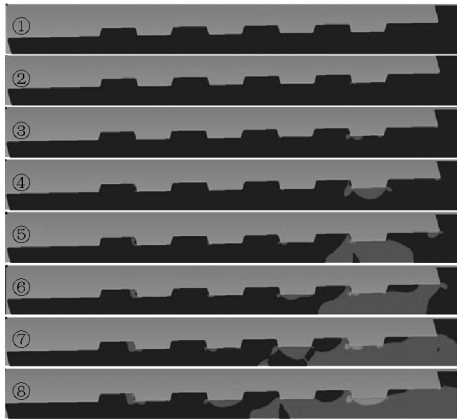


图 14 钻杆管体螺纹等效应力分布随时间轴渐变图(①~⑧)

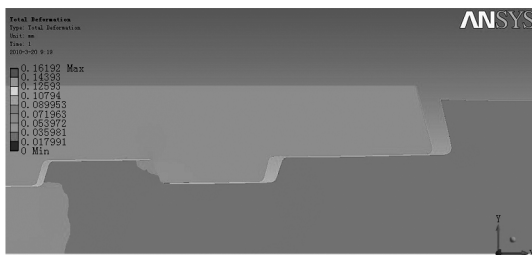


图 15 钻杆连接丝扣处公母扣变形细节图
(显示放大 54 倍但实际值不变)

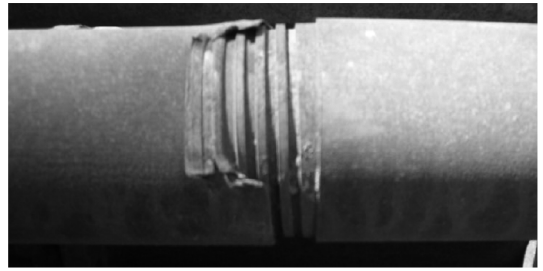


图 16 钻杆接头母扣膨胀变形破坏

可极大地方便工程设计人员对连接丝扣处结构内部的应力分布及变形情况作较直观、准确的分析,该手段的运用加深了对绳索取心钻杆失效破坏机理的认识,大大地缩短了研究周期,降低了设计成本。如果能进一步结合实际需要,完全能够有针对性地对绳索取心钻杆丝扣结构参数的改进和优化工作进行指导,同时,这也进一步表明本文所采用的研究手段和方法是切实可行的。

参考文献:

- [1] 王国强. 实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实践 [M]. 陕西西安:西北工业大学出版社,1999. 1-3.
- [2] 李皓月,周田朋,刘相新. ANSYS 工程计算应用教程 [M]. 北京:中国铁道出版社,2003. 1-5.
- [3] 许明财. ANSYS Workbench 10.0 中文培训资料 [Z]. 北京:ANSYS-CHINA 北京办事处,2006. 3-12.
- [4] 黄麟森. 基于 ANSYS 的钻杆螺纹结构形式分析 [J]. 煤矿机械,2009,30(7):3-5.
- [5] 申昭熙. 材料形变强化和摩擦系数对圆螺纹接头滑脱性能的影响 [J]. 应用力学学报,2008, 25(2): 293-296.

4 结语

研究表明,借助现代计算机辅助设计(CAE)技术,运用 CAD 建模和有限元分析软件 ANSYS 对绳索取心钻杆丝扣连接部分进行结构力学仿真分析,

(上接第 65 页)

报警器在古贤水利枢纽工程的勘探工作中应用,现场应用情况良好。

试验孔的地层以砂岩为主,钻探设备采用 XY-2 型钻机,BW250 型泥浆泵,钻进工艺采用金刚石双管钻进。报警器的报警阈值设置为 28~50 L/min,即当流量小于 28 L/min 或大于 50 L/min 时,报警器报警。

从现场应用来看,当流量出现异常状况时,报警器能够提前报警,提醒现场操作人员及时采取措施,防止钻探事故的发生。

报警器的应用取得了良好的效果,既降低了操作人员的劳动强度,又有效避免了钻进事故的发生。从长远角度来看,报警器的应用可以有效地提高钻进质量和劳动效率,节约成本。

4 结论

报警器的研制与应用取得了多方面的技术成果,它将电子技术成功应用到传统的水利水电钻探工作中,促进了钻探技术的信息化和自动化发展,改善了钻机操作过程中依靠人为经验判断流量的落后状况,为钻机操作人员提供了真实的流量数据,降低了工人劳动强度。也能更好地避免因孔内流量突变引起的事故,进而提高工作质量和效率、降低成本。

参考文献:

- [1] 张毅刚. 单片机原理及应用 [M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [2] 黄晓君,周志斌. 浅谈远传水表系统 [J]. 科技信息,2008,(16).
- [3] 黄宝森,孔昭育,景永芳,等. 电磁流量计 [M]. 北京:原子能出版社,1981.
- [4] 刘克林. 浅析烧钻事故的发生及处理 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5).
- [5] 赵玉刚,邱东. 传感器基础 [M]. 北京:北京大学出版社、中国林业出版社,2006.