

复杂地层跟管钻进套管强度的有限元分析

庄生明, 王茂森, 博 坤, 白奉田

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘 要: 针对复杂地层的跟管钻进技术进行研究, 分析了跟管钻具的受力情况, 并对易损部件进行有限元分析, 对实践过程中出现的问题进行改进以及对套管螺纹结构的优化设计, 提出了改进方案。

关键词: 复杂地层; 跟管钻进; 有限元分析; 套管强度

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)03-0009-04

FEM Analysis on Casing Strength of Drilling with Casing in Complex Stratum/ZHUANG Sheng-ming, WANG Mao-sen, BO Kun, BAI Feng-tian (Construction College of Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: According to the study on the drilling with casing technology in complex stratum, analysis was made on the force condition of casing drilling tools and FEM analysis was made on the vulnerable parts. Improvements were put forward for the problems in drilling practice and optimization design of casing thread structure.

Key words: complex stratum; drilling with casing; FEM (Finite Element Method) analysis; casing strength

1 概述

复杂地层勘探一直是钻探工程领域的技术难题。在探矿过程中经常出现坍塌、掉块、漏失等严重情况, 甚至难以成孔, 对此类勘探技术难题, 经常采用以空气为介质的全孔反循环跟管钻进技术。该技术既能发挥套管的稳定孔壁和保护孔口作用, 又能发挥潜孔锤高效冲击碎岩的效果, 实现钻进、排屑、护壁 3 个工序同步进行。该技术的特点在于: 利用大冲击功破碎岩石, 同时将保护孔壁的套管跟入孔内, 待钻进到一定深度后, 再将潜孔锤从孔内提出, 仅将套管留在孔内, 对孔壁起保护作用。采用跟套管钻进工艺, 能够有效地解决极其破碎、坍塌地层或空区塌方区和空区处理区域内存在的钻探难题, 从而实现在该类型区域内进行地质勘探、空区探测等勘探工程的施工。

但是, 在实际研究应用过程中, 套管会由于冲击力过大或者设计的不合理, 常常导致套管的破坏, 最为显著的就是套管螺纹底部常发生疲劳破坏, 所以需要对接管的受力情况进行分析和优化改进。

2 套管螺纹的受力分析

在实际应用过程中, 套管需要承受纵向的钻具钻压及潜孔锤的冲击力, 其很可能在丝扣处破坏。由于套管的纵向拉力负荷远大于横向压力, 所以计算中我们只考虑纵向压力对接管的负载作用。套管

螺纹受力如图 1 所示。

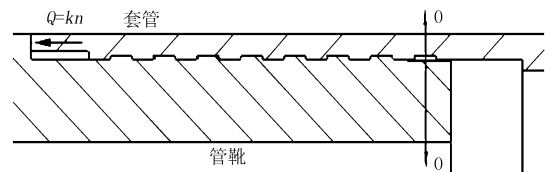


图 1 套管螺纹受力示意图

假设全部拉力负荷均匀分布在丝扣上, 套管工作部分的丝扣数为 n , 则每个丝扣上的平均负荷 $K = Q/n$ 。在套管第一丝扣处 0-0 断面上作用着由自重等所产生的最大拉应力, 因为通过这个减弱断面传递全部纵向力 Q , 其纵断面上所产生的拉应力为:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D \delta}$$

式中: A ——套管的危险面面积; D ——套管丝扣处管壁中间直径; δ ——丝扣处管壁厚。

考虑到丝扣牙上被压坏的情况, 如果螺纹高 h , 丝扣有 n 个螺纹, 承压面积为 $A = \pi D_{cp} hn$ 。

$$D_{cp} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$h = \frac{D_1 - D_2}{2}$$

式中: D_1 、 D_2 ——丝扣部分的内、外径。

则纵向破坏载荷为:

收稿日期: 2010-10-25; 修回日期: 2011-03-01

作者简介: 庄生明(1984-), 男(汉族), 陕西榆林人, 吉林大学在读硕士研究生, 岩土工程专业, 从事冲击回转钻进技术研究以及土建、公路、铁路施工地质勘察工作, 吉林省长春市吉林大学建设工程学院 2009 级硕士, restlove@163.com。

$$Q = \pi D_{cp} h n \sigma_s$$

3 套管螺纹强度有限元分析

实际应用过程中,套管的螺纹底部常发生疲劳断裂,所以需对套管的受力情况进行计算分析,并进行优化改进。由于套管主要承受钻具的自重力和潜孔锤的部分冲击力,并不承担过大的扭矩,所以在分析过程中,我们只考虑其受到的纵向力,忽略其承受的扭矩。利用有限元计算软件对套管及管靴的受力情况进行模拟分析。

在此次优化过程中,主要螺纹参数的原始数据取自冶金工业部标准《地质钻探用管》(YB 235 - 70),载荷数据根据套管实际受力计算得出的数据,采用的主要量化指标为结构内部的 Von Mises 应力,通过应力等值线云图来对结果进行观察。

套管螺纹公称外径为 142 mm,内径为 140.5 mm,螺距为 6 mm,牙高为 0.75 mm,齿形倾斜角度为 5°,承受的载荷为 88 kN。套管为普通地质套管,材料为 D40,屈服强度 ≥ 390 MPa,抗拉强度 ≥ 680 MPa。在套管与管靴连接的状态下,对套管的螺纹有限元模型进行了非线性迭代求解,分别得到结构内部最大 Von Mises 应力值,并得到相应的应力分布云图。

3.1 套管有限元分析模型的建立

利用 3D 绘图软件 Solidworks 按实际尺寸绘制套管与管靴的螺纹装配图,并对套管与管靴的螺纹实体模型进行网格划分,如图 2、图 3 所示。

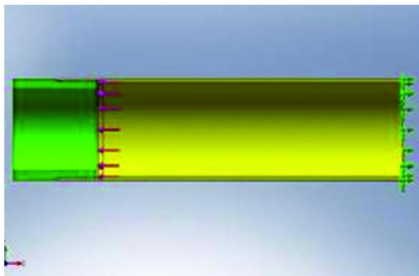


图 2 分析模型

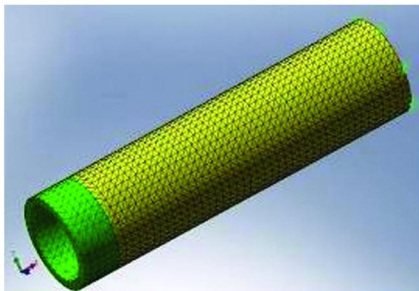


图 3 网络划分

3.2 设定约束及边界条件

选取套管和管靴连接部分以简化计算过程,在管靴台阶处施加 98 kN 的正应力,在套管上端施加固定约束,限制套管的位移。由于实际应用过程中,并为对套管施加额外的扭矩,所以此处分析扭矩忽略不计,主要考虑钻具自重力及潜孔锤冲击功对套管螺纹的影响。

3.3 有限元分析的结果

分析结果如图 4 ~ 7 所示。

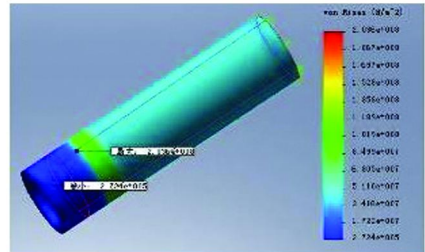


图 4 整体受力分布云图

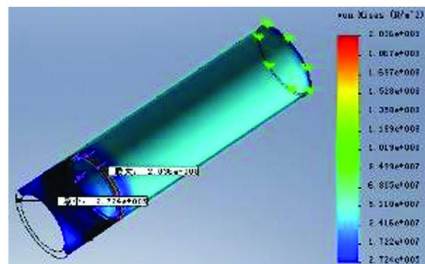


图 5 螺纹受力图

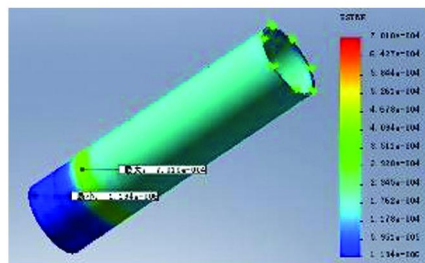


图 6 螺纹应力分布曲线图

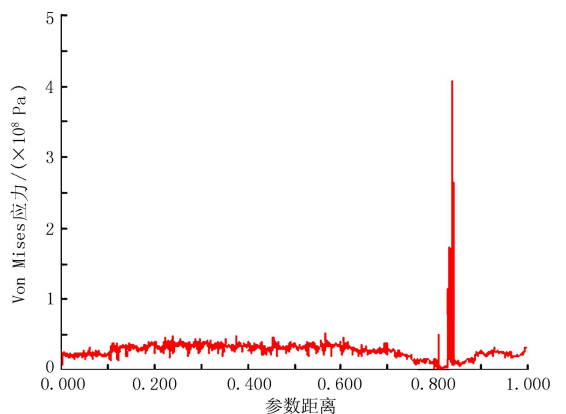


图 7 整体应变图

由于钻进过程自由中,管靴承受巨大的冲击力和自重力,带动套管下行,所以套管螺纹部位需承受很大的应力,在套管的螺纹部位形成较高压力的分布区,高应力分布在螺纹根部退刀槽的位置左右。最大应力出现在套管螺纹退刀槽位置,大小为 203.6 MPa,小于材料的屈服强度 390 MPa,尚未发生破坏。

探测套管螺纹两个表面的受力情况为:最大应力 203.6 MPa,最小为 139.7 MPa,平均应力为 173.4 MPa,由应力分布云图和应力分布曲线图可知,在螺纹根部有一应力集中现象,从而导致最大应

力的出现。产生应力集中的部位位于螺纹根部退刀槽的位置。由于管靴螺纹尺寸限制,在该处是套管与管靴螺纹连接的一个临界点,两个螺纹并未完全啮合,而套管的壁相对又比较薄,导致应力集中。整个套管的位移也出现在退刀槽位置,大小为 0.1 mm,由于套管应力小于屈服强度,此时变形为弹性变形,且为轴向变形,并不影响径向尺寸上的配合。套管上的最大应变为 0.000701,最小安全系数为 1.9,均未达到破坏的程度,理论上使用是安全的。整个过程中套管内部的应力、位移、应变值如表 1 所示。

表 1 应力、位移、应变极限值

名称	类型	最大	位置	最小	位置
应力	VON:Von Mises 应力	203.6 MPa	(89.93 mm,47.33 mm, -51.84 mm)	1819.27 Pa 节点:42552	(-55 mm,68.0649 mm,26.385 mm)
位移	URES:合位移	0.00011629 mm 节点:38235	(60 mm,20.22 mm, -55.43 mm)	0 mm 节点:1743	(500 mm,63.22 mm, -36.5 mm)
应变	ESTPN:对等应变	0.000701 mm 单元:2860	(59.09 mm,54.58 mm, -44.02 mm)	0 mm 单元:3600	(59.09 mm,54.58 mm, -44.02 mm)

3.4 有限元分析结论

在使用过程中,管靴受到的正应力通过螺纹连接方式传递给套管,使得套管螺纹部位出现高应力分布区,但在螺纹根部出现应力集中区,该区域的最大应力为 203.6 MPa,小于材料的屈服强度 390 MPa,套管不会发生破坏。

在套管的实际应用过程中,当下套管深度超过 25 m 时,套管螺纹根部发生过断裂,与计算分析的结果不符,产生该类事故的原因主要为:

(1) 由于潜孔锤的瞬时冲击力很大,当作用到管靴时,会以应力波的形式传递到套管。而潜孔锤实际工作过程中,活塞对芯管的冲击力是以应力波的形式传递,而且并非是静压力,而是属于外加交变载荷,所以必须要考虑在多次循环冲击应力作用下所导致的疲劳损坏。

(2) 当钻孔深度较浅时,套管只承受一部分的潜孔锤冲击力 F' ,材料所受的应力并未达到许用应力,安全。

(3) 随着孔深的加深和孔壁摩擦力的增加,钻进速度随之降低,而套管承受的冲击力 F' 也随之上升,当冲击力 F' 增大到足够大时,套管螺纹尾部的应力就会超过其屈服强度,而容易导致套管的破坏。

3.5 疲劳损坏的有限元分析

由于套管在实际工作中受到的是频繁的冲击力,所以要对材料的疲劳强度特征进行校核。假设

套管承受潜孔锤荷载的同时,仍需承受来自孔底岩石的反作用力,此时交变应力的循环特征 $\gamma = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$ 。当循环次数设定为 5×10^4 次时,进行计算。

上述的计算求出的是芯管部件的“疲劳极限”,而所谓的“疲劳极限”是试样表面不产生疲劳裂纹(或不再扩展的微小疲劳裂纹)的最高应力水平。但实际情况并非如此,经过加工和使用过程中的构件由于种种原因,例如:锻造和轧制缺陷,焊缝裂痕、表面划痕等等都会产生各种形式的裂纹。含有这样裂纹的构件承受交变载荷作用时,表面裂痕会立即开始扩展,最终导致构件的破坏。所以在计算过程中,使用“疲劳强度缩减因子(K_f)”来解决实际情况疲劳破坏与 $S-N$ 曲线(理想状态)的矛盾。

有限元分析计算结果为:

- (1) 最大的破坏参数为 1.452,出现在套管的退刀槽位置;最小为 0.05;
- (2) 生命周期最小为 54000;
- (3) 整套系统中,套管应力最大处的最小安全系数为 0.897,将会发生疲劳破坏。

通过以上分析可知,单次冲击力并不会对套管造成破坏,但随着循环次数的增加,原本很稳定的套管开始产生疲劳破坏,当达到一定的循环次数的时候就会发生损坏,也就造成了套管的断裂。预计生命周期为 34000 次,将会发生损坏。

4 结论

4.1 现场使用过程中出现的问题

(1) 套管在浅孔时,跟管速度很快,套管承受冲击载荷的时间较短,而其自身的强度能够满足跟管钻进的需要,并未发生过破坏。

(2) 随着孔深的增加,冲击载荷时间大幅度增加,此时,在套管的最后一道螺纹和退刀槽位置发生疲劳破坏,导致套管与管靴连接位置断裂。而容易发生套管疲劳破坏的钻孔深度大于 26 m,套管承受的冲击力次数已超过生命周期 54000,套管断裂的位置与疲劳破坏的生命周期,与有限元分析的结果基本一致。

(3) 随着套管的重复利用,套管螺纹疲劳破坏情况严重,套管螺纹位置也产生形变。导致跟管或拔管过程中螺纹发生脱扣。

4.2 就现场出现的问题的改进方案

为了使跟管钻进技术能够在更深孔中得到应用,以及延长套管的使用寿命,我们对套管结构进行优化设计,采取的主要措施为:

(1) 处理套管材料,使其力学性质和耐摩擦能力得到提高,适当时可使用加套管接头的方法来保

证其刚性。

(2) 增加套管的厚度,将套管与管接头加工成内外同径,套管的壁厚采取 7 mm,使套管的屈服强度大幅度提高。

(3) 重新设计套管螺纹的尺寸表,提高其套管的抗拉和抗疲劳强度。我们采取的套管螺纹为梯形螺纹,公称外径为 140.5 mm,内径为 137.5 mm,螺距为 6 mm,牙高为 1.5 mm,齿形倾斜角度为 5°。

参考文献:

- [1] 王茂森. 全孔反循环潜孔锤参数优化及其钻进工艺研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2007.
- [2] 博坤, 殷琨, 王茂森. 贯通式潜孔锤反循环钻进技术在矿区勘探中的应用研究[J]. 金属矿山, 2009, 393(3): 133-136.
- [3] 王茂森, 殷琨, 陈宝义, 等. 复杂地层钻进中贯通式潜孔锤的应用及反循环钻头的改进[J]. 煤田地质与勘察, 2005, 33(5): 79-80.
- [4] 李冬霜, 王茂森, 梁毅. 洛阳栾川钼矿复杂地层钻进工艺研究与实验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(6): 10-12.
- [5] 赵建勤, 李子章, 石绍云, 等. 空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(7): 55-59.
- [6] 耿瑞伦. 跟套管钻进技术及其应用[J]; 地质装备, 2000, (3).

(上接第 8 页)

(3) 在造斜段, 使用了适宜的钻具组合, 根据设计造斜率适时更换适宜弯度的螺杆, 根据标志层 U4 对矿层 U6 走势的判断计算程序的计算, 通过定向钻进轨迹计算程序, 提前调整轨迹使之准确进入了主矿层 U6;

(4) 在水平段, 定向钻进轨迹计算程序很好地确保了钻进轨迹在碱层中行进;

(5) 高精度磁测中靶系统与随钻仪器结合应用, 对 H024U 与 V024U 的连线方位值进行了修正, 并通过定向钻进轨迹计算程序的计算, 设计出了准确的钻进轨迹, 实现了精确中靶。

H024U 与 V024U 的精确连通表明, 高精度磁测中靶系统与随钻仪器结合应用对水平井组中靶起到了关键的作用。在远靶点区域, 利用定向钻进轨迹计算程序的计算和良好的轨迹设计方案, 使钻进始

终保持在矿层中行走; 在进入近靶点区域后, 利用高精度磁测中靶系统对随钻测斜仪产生的误差进行修正, 可实现精确中靶, 从根本上解决了传统工艺的低中靶连通率的问题。

参考文献:

- [1] 江天寿. 受控定向钻探技术[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [2] 刘海翔, 向军文, 刘志强. 基于 EXCEL 的定向钻井应用程序及其工程应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2): 14-16.
- [3] 向军文. 关于定向井数据的精确处理问题探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(9): 37-38.
- [4] 韩志勇. 关于子午线收敛角校正问题[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(4): 1-4.
- [5] 杨涛. 定向井井身轨迹的计算方法[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(1): 74-75.
- [6] 向军文, 胡汉月, 刘志强. 土耳其天然碱 30 对对接井钻井工程[J]. 中国井矿盐, 2007, 38(5): 25-28.