

特殊结构钻杆的研发与应用

樊继强, 王 委, 刘 亚, 许春田

(中国石化华东石油工程公司江苏钻井公司, 江苏 扬州 225261)

摘要:为解决常规钻杆采用双吊卡起下钻劳动强度大、气动卡瓦起下钻时卡瓦牙易咬伤钻杆本体, 严重缩短钻杆寿命等问题, 在常规钻杆基础上进行了优化设计。主要在钻杆母接头扣吊卡处的下方设计一个凸台, 改变坐气动卡瓦时钻杆本体受力方向。通过仿真模拟计算建模、边界条件设定及凸台所受应力分析等, 掌握了凸台长度、外径与所受应力关系, 优化设计出特殊结构钻杆。通过气动卡瓦无牙板动力卡盘设计, 消除了卡瓦牙对钻杆本体的伤害, 可有效延长钻杆使用寿命。现场应用表明, 使用特殊结构钻杆, 配合新型气动卡瓦, 在同等工况下, 起下钻作业时间节约 10% 以上, 钻杆寿命提高 50% 以上。

关键词:特殊钻杆; 结构设计; 模拟仿真计算; 参数优化; 现场应用

中图分类号:TE921 **文献标志码:**A

Development and application of special structure drill pipe

FAN Jiqiang, WANG Wei, LIU Ya, XU Chuntian

(Jiangsu Drilling Company of East China Petroleum Engineering Corporation, SINOPEC, Yangzhou 225261, China)

Abstract: In order to solve the problems that the labor intensity is high when using double elevators to trip conventional drill pipe, and the slip teeth are easy to bite the drill pipe body when using the pneumatic slip to trip the drill pipe, and the life of the drill pipe is seriously shortened, etc., the optimization is based on the conventional drill pipe design. A boss is mainly designed under the buckle of the drill pipe female joint to change the stress direction of the drill pipe body when the pneumatic slip of the seat is changed. Through simulation modeling, the boundary condition setting, and stress analysis of the boss, the relationship between the length and outer diameter of the boss and the stress was mastered, and the special structure drill pipe was optimized and designed. Through the design of the power chuck toothless plate of the pneumatic slip, the damage of the slip teeth to the drill pipe body is eliminated, and the service life of the drill pipe can be effectively prolonged. The field applications show that under the same working condition, using special structure drill pipe, and combined with the new type pneumatic slip, the tripping operation time can be save by more than 10% and the life of drill pipe can be increased by more than 50%.

Key words: special drill pipe; structural design; simulation calculation; parameter optimization; field application

多年来, 石油钻井使用的钻杆基本上都是由钻杆管体与公、母接头组成的结构, 起下钻时, 主要采用双吊卡或单吊卡加动力卡瓦的方式。双吊卡起下钻劳动强度大、工作效率低, 操作不当易出现单吊环起钻的危险情况; 单吊卡加动力卡瓦的方式, 卡瓦牙径向力易在夹持部位形成咬痕, 随着井深的增加, 卡瓦夹持力增大, 对钻杆本体损伤也随之加大, 严重时挤毁钻杆; 有伤痕的钻杆, 遇硫化氢极易产生氢脆, 增加安全隐患。

目前对钻杆的研究, 大部分关注于管体材料和接头螺纹连接形式。在满足特殊环境的高难度油气勘探需求方面, 国外一些公司开发了一些特种钻

杆, 如Grant、V&M批量生产了Z-140、V150新型高强度钻杆, 具有高达1 034 MPa的抗拉强度和优良的抗断裂韧性, 这种钻杆目前主要在大位移、超深井使用^[1-5]。本文介绍的特殊结构钻杆, 是在母接头下端增加一个凸台结构, 使用改进的气动卡瓦配合, 改变钻杆被夹持部位的受力方向, 既可实现单吊卡

收稿日期: 2020-03-02; 改回日期: 2020-03-25。

第一作者简介:樊继强(1968—), 高级工程师, 主要从事油气井钻井工程研究与管理工作。E-mail: fanjq.oshd@sinopec.com。

基金项目:中石化石油工程技术先导试验和推广项目“特殊结构钻杆研究应用”(JPJ12007)。

起下钻,又减少了钻杆的损伤^[6-9]。

1 特殊结构钻杆

特殊结构钻杆主要是在API钻杆的基础上,于母接头下端增加一个凸台,此结构外径与母接头相

同,其它结构及性能均不变,见图1。

主要特点是:

(1)除在母接头下端增加一个凸台外,其余结构及参数与API钻杆相同,便于生产、维护及现场使用。

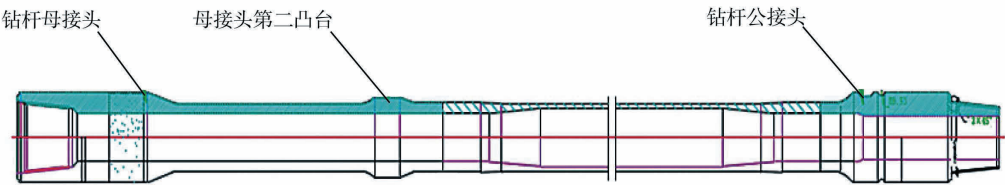


图1 特殊结构钻杆

(2)起下钻时,凸台坐在无牙板气动卡瓦上,钻杆承受轴向拉力,避免了牙板带来的损伤,延长钻杆寿命。

(3)凸台下端加厚部分与原钻杆母接头下端结构相同,不影响扣吊卡作业。

(4)凸台在母接头下端700~900 mm处,钻杆坐在气动卡瓦上,母接头端面正好位于适合的高度,便于上卸扣操作。

2 特殊结构钻杆设计

特殊结构钻杆是对普通钻杆局部结构进行改进,为分析这种改进是否影响钻杆本身应力结构,对改进后的钻杆进行了仿真模拟分析。

2.1 仿真模拟计算模型

模拟采用常规127 mm钻杆,主要参数:接头外径168.3 mm、管体外径127 mm、管体壁厚9.19 mm、内螺纹接头长度306 mm、钻杆总长9 400~9 550 mm之间。

(1)网格划分:钻杆是轴对称结构,在实际工作中受轴向拉伸、弯曲、扭转以及震动冲击等多种载荷的作用,受力较为复杂,本文选用高阶20节点solid95单元生成六面体网格进行计算(见图2)。

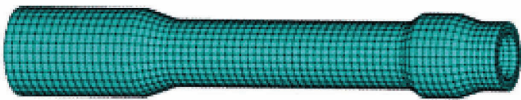


图2 特殊结构钻杆母接头网格图

(2)钻杆变形边界条件:钻杆左端面约束XYZ三个自由度,右端同时施加弯曲角位移5°/30 m,扭矩1 500 kN·m,轴力1 500 kN,三种载荷均为极限载荷(见图3)。

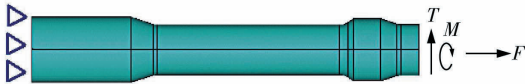


图3 特殊钻杆工作时边界条件

2.2 计算结果分析

图4为相同边界条件下,API钻杆与特殊结构钻杆应力云图,云图中相同的颜色表示相同的应力值,从图4a可以看出,API钻杆在拉弯扭组合极限载荷作用下,受力最大的区域在钻杆内螺纹接头下端,最大Mises应力为401.8 MPa;图4b可以看出,特殊结构钻杆在相同载荷作用下受力最大的区域也在钻杆内螺纹接头下端,最大Mises应力为430.6 MPa,特殊结构钻杆的最大Mises应力略大于API钻杆,如图所示内螺纹接头下端以及凸台上端和下端也都是应力相对集中的位置。

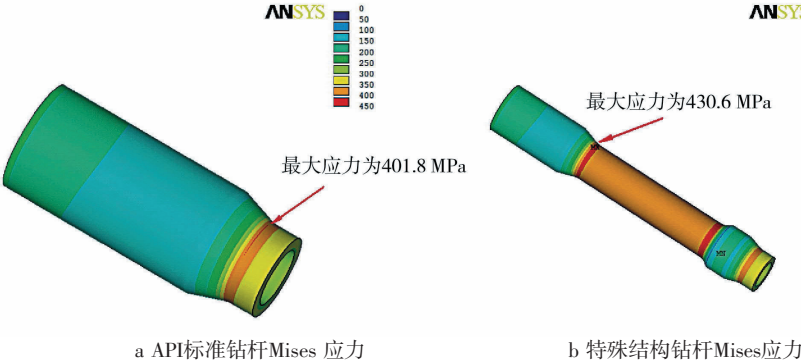


图4 两种钻杆应力对比

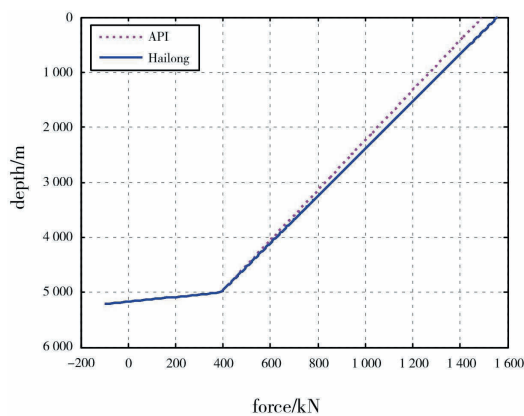


图5 API标准钻杆与特殊结构钻杆在直井中的轴力

2.3 特殊结构钻杆与API钻杆应力比较

特殊结构钻杆略重于API钻杆,在实际井眼中,由于重力的影响,特殊结构钻杆所受轴力会略大于API钻杆(见图5)。

图6a和图6b分别为斜井段API钻杆和特殊结构钻杆轴力图,从图中可以看出,越靠近井口,钻杆轴力越大;井斜越大,钻杆轴力越小。

表1为不同井眼中API钻杆与特殊结构钻杆受的最大轴向力、最大扭矩和最大弯矩时,钻杆的最大应力值。从表中可以看出,三种载荷同时作用于钻杆时,直井中钻杆的最大应力最大,定向井中钻杆的最大应力较小;相同井眼中特殊结构钻杆的最大应力比API钻杆大8.5%左右。

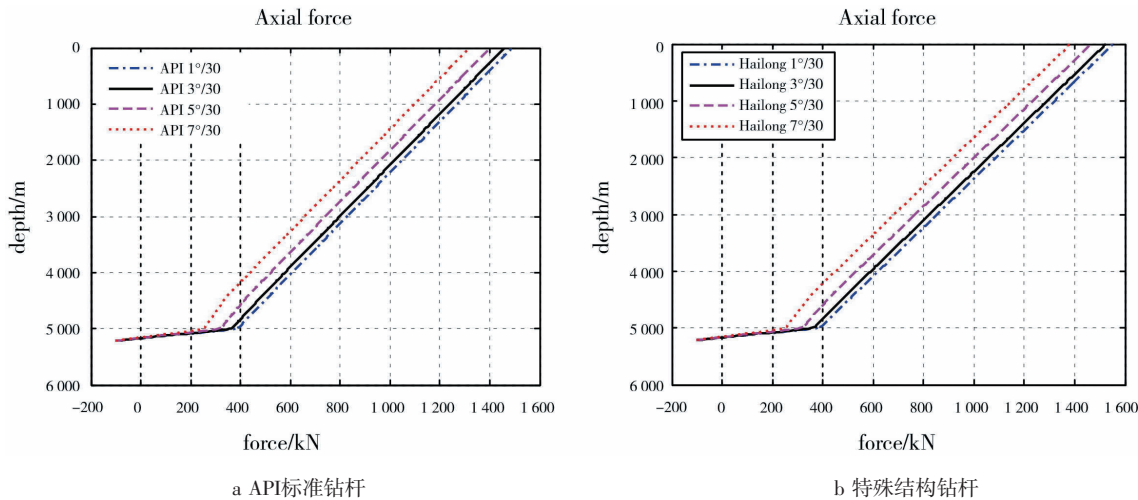


图6 API标准钻杆与特殊结构钻杆在斜井段的轴力

表1 API标准钻杆与特殊结构钻杆在井中最大应力

井别	API标准钻杆				特殊结构钻杆			
	轴力 /kN	扭矩 /(kN·m)	弯矩	最大应力 /MPa	轴力 /kN	扭矩 /(kN·m)	弯矩	最大应力 /MPa
直井	1 490.8	1 500	5° /30m	400.7	1 555.8	1 500	5° /30m	437.9
1° /30 m 定向井	1 487.1	1 500	5° /30m	400.2	1 552.1	1 500	5° /30m	437.4
3° /30 m 定向井	1 457.6	1 500	5° /30m	396.5	1 522.6	1 500	5° /30m	433.6
5° /30 m 定向井	1 400.0	1 500	5° /30m	389.3	1 465.0	1 500	5° /30m	426.1
7° /30 m 定向井	1 317.2	1 500	5° /30m	379.3	1 382.2	1 500	5° /30m	415.7

3 特殊结构钻杆凸台剪应力分析

3.1 模型与边界条件

在实际起下钻时,气动卡瓦夹持钻杆凸台下端,凸台靠自身剪应力“提起”整个钻杆,在深井和超深井中,钻杆数量较多,重量较大,凸台受到很大的剪应力。

为了准确模拟卡瓦夹持时凸台受剪状态,采用

非线性接触方法,计算凸台受力状态。接触问题是一种高度非线性行为,结果较难收敛,但能够较为准确地模拟钻杆受力状态。如图7所示,蓝色部分定义为接触面,钻杆右端受到轴向拉力。



图7 特殊结构钻杆凸台受剪边界条件

3.2 凸台受剪应力计算结果分析

在起下钻时,卡瓦夹持凸台,凸台处所受剪切应力较大。受力云图(见图8)较为清晰地描述了凸

台内部的应力状态。云图中蓝色表示受压,红色表示受拉。图9为凸台受到的拉压应力云图,彩色部分显示了拉压应力状况,灰色部分无应力。

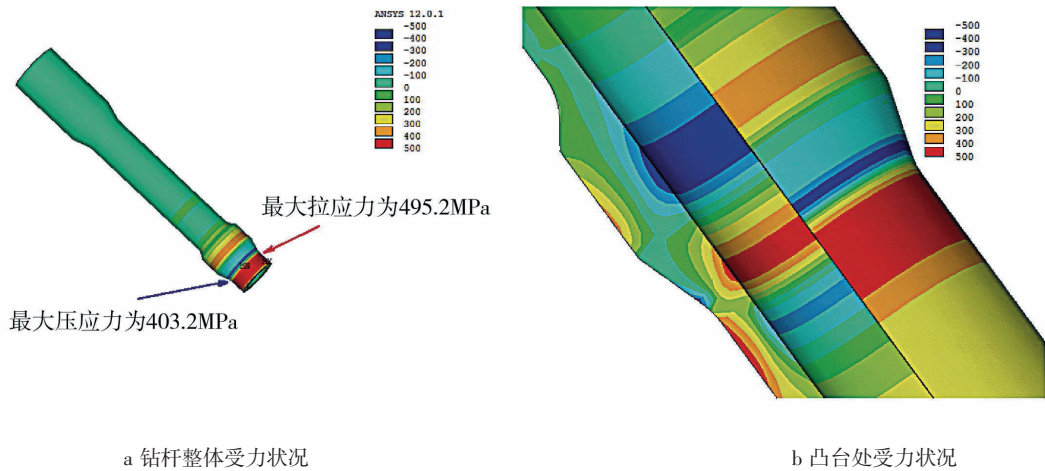


图8 特殊结构钻杆在卡瓦夹持时的受力情况

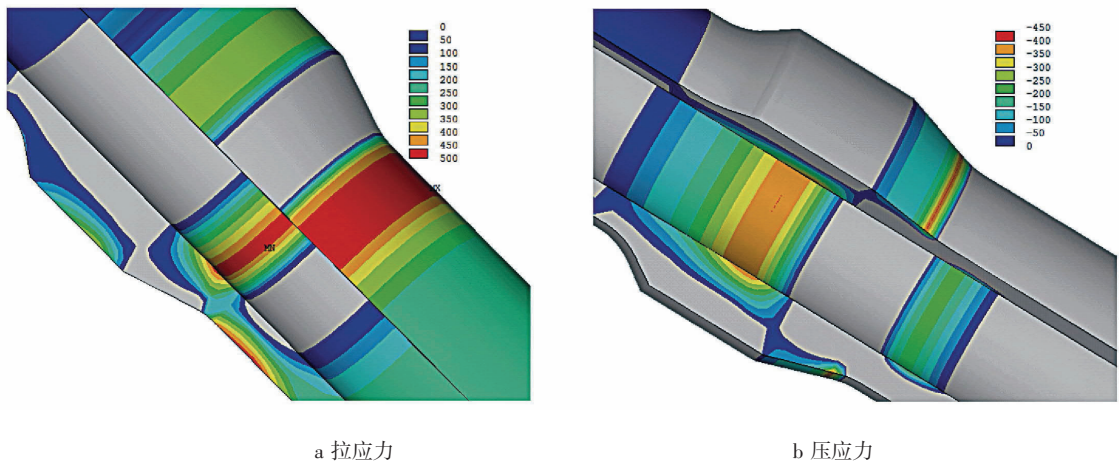


图9 凸台受轴向拉压应力

3.3 凸台长度对剪切应力的影响

凸台长度 L 与凸台承受剪切能力相关(见图10)。若 L 过短,可能强度不足以承受钻柱自重;若 L 过长,会加重钻杆整体重量。



图10 凸台的长度

分别对 L 为60 mm、70 mm、80 mm三种情况进行计算,从云图可以看出, L 越大,剪应力值越小(见图11、表2)。

表2 不同凸台长度对应的应力			
序号	凸台长度 /mm	最大拉应力 /MPa	最大压应力 /MPa
1	60	474.4	350.6
2	70	431.0	198.3
3	80	369.0	265.0

3.4 凸台外径对剪切应力的影响

凸台外径尺寸对剪切应力影响较大。相同长度下,凸台外径越大,抵抗剪切能力越强,另一方面也增加了钻杆自重。

将150 mm、160 mm外径的凸台进行比较,可以看出,外径增大,则所受剪切应力降低(见图12)。

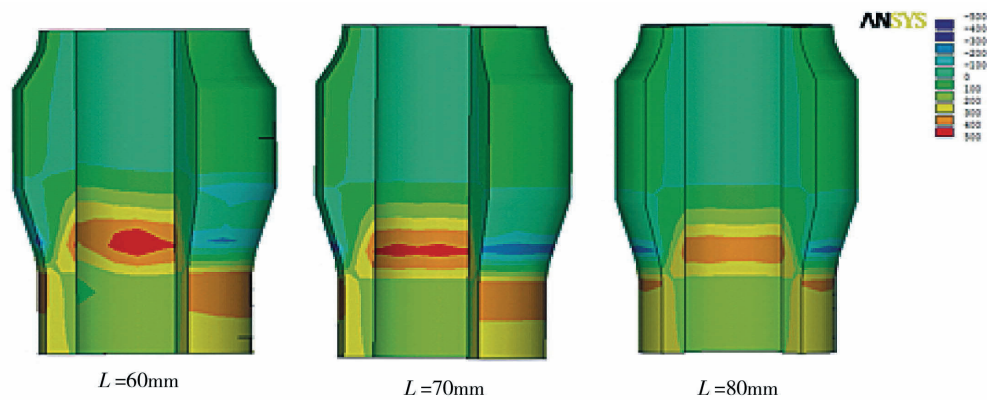


图11 不同长度凸台受拉时剪切应力

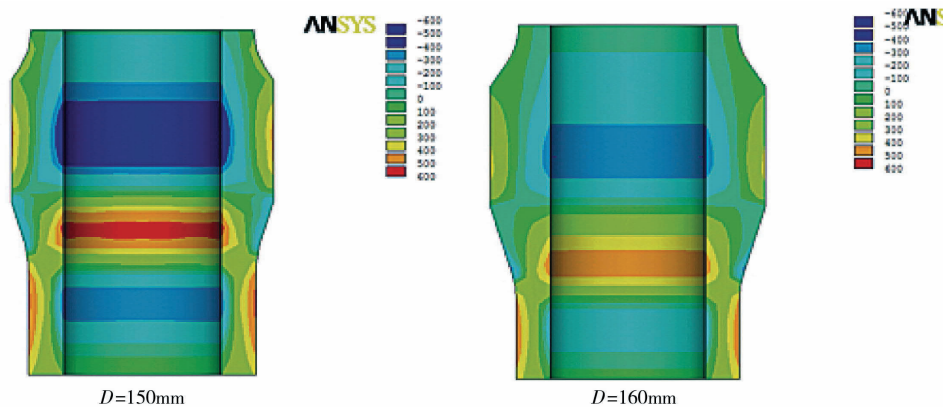
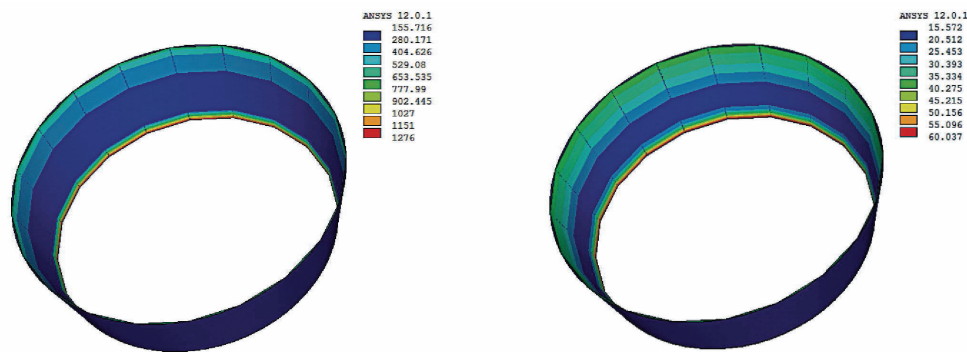


图12 不同外径凸台受拉剪切应力云图

4 特殊结构钻杆与卡瓦相互作用分析

4.1 凸台与卡瓦接触状态分析

卡瓦夹持凸台时，二者间接触压力和摩擦力如图13所示，两种力都呈现两端大、中间小的状态。



卡瓦与凸台接触压力 卡瓦与凸台之间的摩擦力

图13 卡瓦与凸台相互作用受力分布

卡瓦与凸台间相互接触,在夹持的过程中,有的部分相对滑移,有的部分贴附在一起(见图14),红色部分表示卡瓦上端始终与凸台贴附在一起,褐色部分表示卡瓦下端与凸台之间有相对滑移。

4.2 卡瓦受力分析

起下钻时,卡瓦夹持钻杆凸台,接触模型如图15所示。
在卡瓦与凸台接触过程中,卡瓦所受径向力如图16a所示,上端所受挤压作用较大,下端所受挤压作用较小;卡瓦所受环向应力如图16b所示,内壁上端受环向应力较小,下端受环向应力较大。

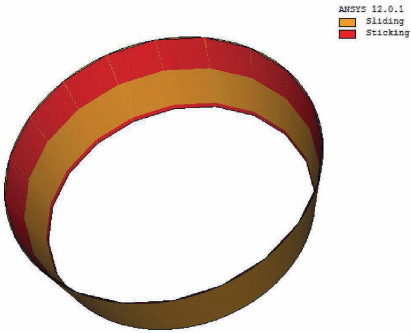


图14 卡瓦与凸台之间的接触状态

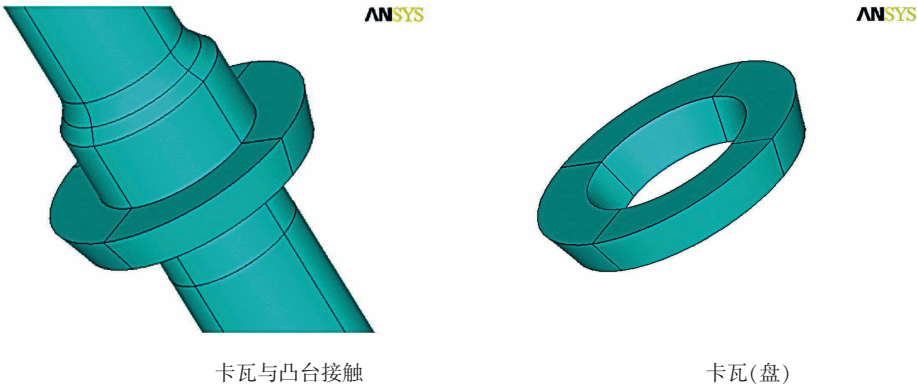


图15 凸台与卡瓦模型

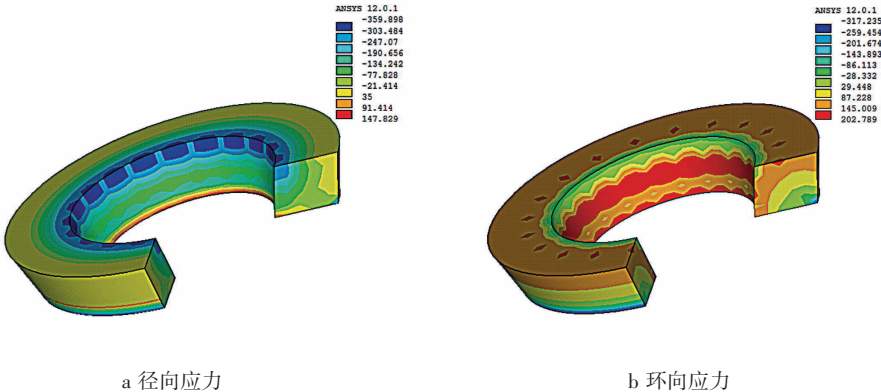


图16 卡瓦径向和环向应力

卡瓦所受轴向剪切应力如图17所示,卡瓦内壁
上端所受轴向剪切应力较小,卡瓦内壁下端所受轴
向剪切应力较大,这也是导致图14卡瓦与凸台接触
面下端滑移、上端贴附的原因。

图18为卡瓦mises应力云图,卡瓦内部受力较
大,外部受力较小,主要靠内部的变形支撑钻杆重
量。

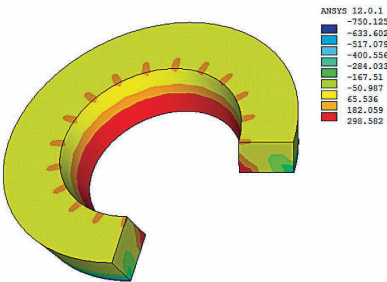


图17 卡瓦轴向剪切应力

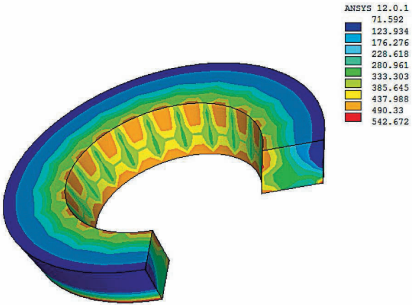


图18 卡瓦mises应力

4.3 卡瓦改进

常规卡瓦利用牙板卡紧夹持钻杆,依靠两者间的摩擦力来承载钻杆重量,卡瓦牙板易“咬伤”钻杆。改进的卡瓦取消了牙板,起下钻时,钻杆凸台下端坐落在无牙板动力卡盘上,轴向承载钻柱重量,消除了卡瓦牙齿尖对钻杆本体的伤害,显著延长了钻杆使用寿命^[10]。

5 现场应用

该类型特殊结构钻杆主要有两种规格,Ø127 mm用于浅井到中深井,Ø139 mm用于深井、超深井。已经在江苏、新疆及重庆等工区40多口井推广使用,其中8口水平井。

5.1 使用效果分析

(1)与常规钻杆相比,特殊结构钻杆第二台阶外径增大,环空间隙相对减小,钻井液流经时的流速会加快,高流速更有助于岩屑运移,起到提高井眼净化效果的作用^[11]。

(2)特殊结构钻杆增加了凸台台阶,钻具与井壁间接触面积变大,但从现场应用情况看,并没有出现摩阻增大现象,如H88P6井水平段超过400 m,摩阻仅5~10 t,低于同区块同类井施工摩阻。

(3)起下钻时效分析表明,使用特殊结构钻杆,在新型气动卡瓦的配合下,起下钻时间比常规方法节约13.4%,有助于缩短钻井周期。

5.2 使用寿命分析

由于避免了卡瓦牙对钻杆的咬伤,延长了钻杆使用寿命。目前普遍采用的Ø127 mm常规钻杆,一般累计进尺 6×10^4 m以后,因钻杆本体被卡瓦牙损伤,都要降级使用,中深井、高难度定向井、水平井、复杂井等,卡瓦牙对钻杆本体的损害更为严重,有的使用 $(3 \sim 4) \times 10^4$ m就要降级。而一套已使用30多口井的Ø127 mm特殊结构钻杆,累计进尺已超过 8×10^4 m,因为本体未受到伤害,仍可以在深井、中深井使用。

6 结论与认识

(1)从剪应力分析结果可知,凸台长度越大,应

力值越小,凸台外径越大,应力越低,但增加凸台长度及外径,钻杆的自重也会增加。因此,需通过优化,选择合适的凸台长度及外径。

(2)使用特殊结构钻杆能实现单吊卡起下钻,可减轻工人的劳动强度,能节省起下钻时间,缩短钻井周期。

(3)改进的气动卡盘工作性能稳定,与特殊结构钻杆的凸台匹配,托持稳定可靠,消除了卡瓦对钻杆的损伤。

(4)使用该类型特殊钻杆时,由于开、扣吊卡的位置要求精度高,安装二层台时,要考虑到起下钻操作的方便,并使用相应高度的钻铤及加重钻杆。

参考文献:

- [1] CHANDLER R B, JELLISON M J, PAYNE M L, et al. Performance driven drilling tubular technologies[R]. SPE 79872-MS, 2003.
- [2] 赵鹏,李俊.国内外钻杆产品发展动向.特殊钢,2010,31(4):35-38.
- [3] 李建强,于丽松,牛成杰,等.石油钻杆的生产现状与发展趋势[J].焊管,2011,34(11):20-22.
- [4] 田锐,李清.超深井钻井推动钻具技术的革新[J].国外油田工程,2009,25(10):39-42.
- [5] 马文英.新型钻杆提高了在ERD和深水中的钻进能力[J].国外油田工程,2001,17(8):36-39.
- [6] 任辉,高连新,鲁喜宁.新型双台肩钻杆接头研究与应用[J].石油机械,2011,39(3):63-66.
- [7] 张毅,王治国,刘甫青.钻杆接头双台肩抗扭应力分析[J].钢管,2003,32(5):7-10.
- [8] 张林,罗增林,元华,等.双台肩螺纹接头参数与应力应变关系研究[J].石油矿场机械,2010,39(4):21-23.
- [9] 钱国全,储明来,丁建林,等.复合接头钻杆钻井新技术[J].石油机械,2011,39(10):192-193.
- [10] 秦春,李禹,陈小元,等.新型特殊结构钻杆在塔河油田超深井的应用[J].复杂油气藏,2016,9(3):83-86.
- [11] 曲晶瑛.基于双流体模型的岩屑清洁工具流场分析[D].大庆:东北石油大学,2018.

(编辑 韩 枫)