

塔河油田井筒管柱结构安全性分析

张 潇¹, 刘小琳², 刘 磊¹

(1. 中国石化 西北油田分公司 工程院修井所, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油 西南油气田公司 川西北气矿, 四川 江油 621700)

摘要:塔河油田井筒管柱失效事故逐年增加,通过对管体缺陷开展有限元数值模拟,揭示径向裂纹深度是影响管柱断裂的主要因素,并得出不同深度缺陷的临界提拉力,对现场施工及油管校核提供参考。通过分析螺纹机紧扣数,得出螺纹啮合接触应力分布呈现“马鞍”型,在螺纹连接两端应力很高,容易发生粘扣。通过模拟分析与现场实验数据相结合,能有效降低管柱失效发生。

关键词:螺纹脱扣;数值模拟;管柱失效;采油工程;塔河油田

中图分类号:TE35

文献标识码:A

Safety of wellbore string structure in the Tahe Oil Field

Zhang Xiao¹, Liu Xiaolin², Liu Lei¹

(1. Well Service Institute, Research Institute of Engineering Technology, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Northwest Sichuan Gas Field, Southwest Oil & Gas Field Company, PetroChina, Jiangyou, Sichuan 621700, China)

Abstract: Tube strings sometimes broke in the Tahe Oil Field. Finite element simulation was applied to study tube string accidents, and found out that the radial depth of cracks is the main factor controlling tube string breaks. The critical lift force of different defect depth was concluded, which provided reference for site operation and tubing check. According to the analysis of thread turns, the contact stress distribution of thread engagement is of "saddle" type, and in high stress on both ends of the threaded connection, prone to fastening. By combining simulation and field experiment, we can effectively reduce tube string failures.

Key words: thread tripping; numerical simulation; tube string failure; oil engineering; Tahe Oil Field

1 塔河油田现状

1.1 油气水井筒故障概况

塔河油田属碳酸盐岩缝洞型油藏^[1],随着油田开发不断深入,井下故障井逐年增多,井下落鱼、井壁坍塌、套损套变、井筒堵塞等现象越来越严重,打捞落鱼、处理井筒、修套补套、堵水作业成为塔河油田井下作业的主要内容。

从表 1 可以看出,井下落鱼占井筒故障井数比重最大,影响产量最多。落鱼故障的形成可分 2 种:一是管柱先遇卡,而后解卡作业中断脱;二是管柱腐蚀、疲劳等造成断脱。

1.2 修井作业管柱失效现状

塔河油田普遍属深井、超深井,井筒状况复杂,高温高压高含硫化氢环境下管柱失效事故频发。通过分析各厂管柱失效井数,揭示各区块失效分布状况及形成因素。

表 2 统计了各厂管柱断脱井的具体失效类型。

表 1 井筒故障统计

Table 1 Wellbore failure statistics

项 目	井筒落物	井壁坍塌	套损套变	井筒堵塞	复合故障	合计
井数/口	162	29	25	5	5	226
井数比重/%	71.7	12.8	11.1	2.2	2.2	100
影响产量/t	458	154	70	43	27	752
产量比重/%	60.9	20.5	9.3	5.7	3.6	100

表 2 塔河油田各采油气厂油管失效类型统计

Table 2 Tubing failure types of oil and gas plants in the Tahe Oil Field

项目	采油一厂	采油二厂	采油三厂	雅厂
油管断裂井数/口	16	25	15	5
油管脱扣井数/口	4	4	4	2
安全接头意外丢手井数/口	2	3	1	-

可以看出,各厂油管断裂占油管失效^[2]主要部分。油管断裂基本上表现为以下 2 种:(1)管柱解封困难、插旗杆、管柱遇卡,采用大吨位活动解卡、酸泡等拔断;(2)原井管柱腐蚀断落。油管脱扣表现为:(1)原井管柱螺纹腐蚀引起丝扣承载能力降低;(2)打捞管柱上扣不规范、紧扣扭矩不到位、倒扣作业频繁。

2 管柱失效分析

2.1 管柱失效特征分析

2.1.1 失效作业类型

统计分析各厂形成管柱失效时具体的措施作业类型(表 3),对出现事故次数较多的作业类型,定为危险措施作业。需加强施工方案设计,防范失效事故发生。

表 3 塔河油田管柱失效作业类型统计

Table 3 Operation types of tubing failure in the Tahe Oil Field

作业类型	一厂/ 井次	二厂/ 井次	三厂/ 井次	雅厂/ 井次	总计/ 井次
补孔改层	4	2	1	4	11
检泵	4	7	2	-	13
检管	4	3	-	1	8
酸压	3	-	2	-	5
转抽	2	8	7	-	17
处理井筒	-	3	2	1	6
大修	-	3	2	1	6
配合测试	-	1	2	-	3

通过表 3 可以看出,在进行转抽、检泵、补孔改层等作业时发生管柱失效次数较多。对于转抽作业,原井管柱腐蚀断脱、解封封隔器硬拔、安全接头脱手造成断脱是其主要原因;对于检泵作业,主要因为原井油管腐蚀、机抽管柱复合载荷作用引起断裂等;对于补孔改层作业,需要进行的挤堵、扫塞、射孔都是其失效的主要危险工序。

2.1.2 失效位置区间

通过统计管柱失效发生的位置,来分析评价危险区间。

从表 4 中可以看出,管柱断裂在 0~1 000 m 和 5 000~6 000 m² 个区间发生次数较多。0~1 000 m 区域,主要为油管静态断裂,包括上部管柱承受拉力较大,井口装置安装精度不够造成偏置力过大,以及管柱腐蚀使轴向剩余强度降低等。5 000~6 000 m 区域,主要发生动态断裂,油层腐蚀影响较大,同时井壁坍塌、解封封隔器困难等卡埋管柱,当上下活动解卡时造成疲劳断裂。

表 4 塔河油田管柱断裂区间统计

Table 4 Tubing fracture intervals in the Tahe Oil Field

失效区间/m	一厂/ 井次	二厂/ 井次	三厂/ 井次	雅厂/ 井次	总计
0~1 000	1	7	6	2	16
1 000~2 000	2	4	1	2	9
2 000~3 000	2	2	1	1	6
3 000~4 000	1	3	1	-	5
4 000~5 000	6	1	2	-	9
5 000~6 000	8	5	7	2	22
6 000 以上	-	5	2	-	7

2.2 管柱强度分析

2.2.1 管体强度分析

根据《SY/T6697-2007 钻杆管体》标准,对于钢级为 E75, X95, G105 的钻杆,径向深度大于规定壁厚的 12.5% 的线性缺欠或非线性缺欠,视为管体缺陷。(线性缺欠包括:裂纹、发纹、压痕、切口、折皱、凿槽等,非线性缺欠包括麻坑、圆底模印等)。不论腐蚀断裂还是提拉断裂,都由最初的缺陷发展形成,如腐蚀坑点、裂纹。通过分析存在缺陷的钻杆,在不同径向深度蚀坑下,计算出临界载荷^[3]。

具体模型:以 2⁷/₈" G105 斜坡钻杆为例,采用椭球体腐蚀坑作为缺陷分析模型(图 1)。2⁷/₈" G105 钻杆厚度为 9.19 mm,根据标准当径向深度大于 1.14 mm 时视为缺陷,计算出椭球体蚀坑不同参数下管柱的临界载荷(表 5)。

计算结果显示:(1)当径向深度(即短半轴) 1 mm 时,其小于 1.14 mm 的最小缺陷界定,因此可忽略其缺陷。计算结果也显示其最大应力集中在钻杆端部,而非腐蚀坑位。(2)根据分析表 5 计算所得临界拉力,钻杆轴向承载能力随腐蚀坑点或裂纹的径向深度增加而降低,随轴向长度(长半轴)的减小而降低。通过对比分析,径向深度是影响轴向承载能力的主要因素。

2.2.2 螺纹强度分析

以 3¹/₂" 油管为例,根据 API Spec5B^[4] 和 API Spec5CT^[5] 油管圆螺纹具体尺寸建立模型,分析机

表 5 不同椭球体参数下管柱临界提拉力

Table 5 Critical lift forces responsive to different ellipsoid model parameters

长半轴/mm	管柱临界提拉力/t					
	短半轴/mm					
	1	2	3	4	5	6
10	155	150	136	113	102	92
15	156	152	147	134	121	113
20	158	154	152	142	134	126

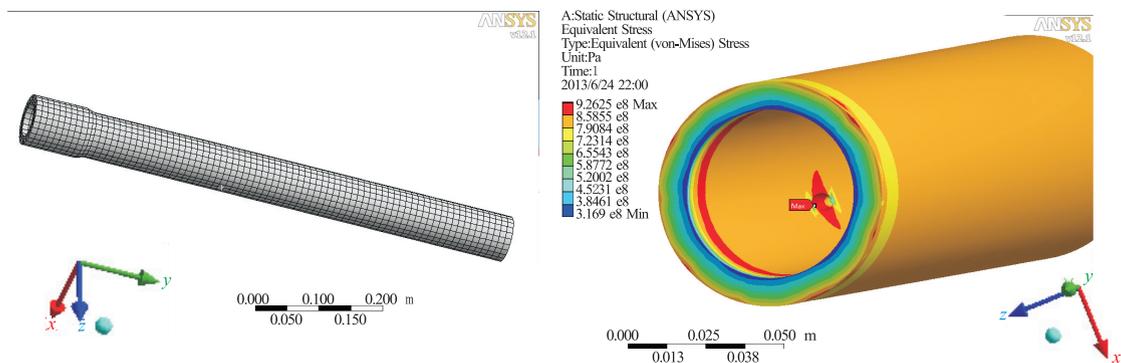


图 1 含椭球体缺陷钻杆模型及强度分析

Fig.1 Ellipsoid defect model of drill pipe model and strength analysis

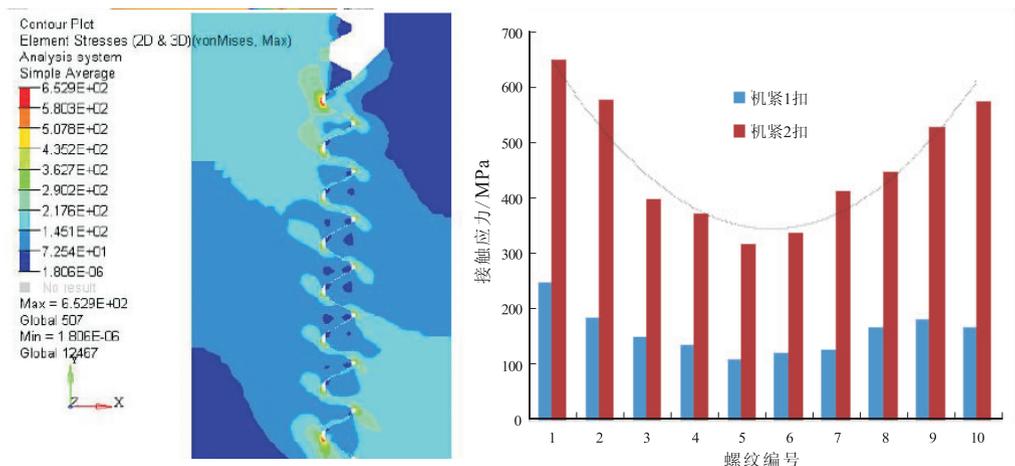


图 2 机紧 2 扣时的接触应力分布及统计

Fig.2 Contact stress distribution and statistics with screw thread 2 laps

紧 1-2 扣时, 啮合面接触应力的分布情况(图 2)。

通过预加过盈量实现机紧:

$$D = tpn$$

式中: D 为直径上的过盈量, mm; t 为接头锥度, mm/mm; p 为螺纹螺距, mm; n 为机紧扣数。

通过计算获得丝扣啮合处的最大接触应力值(表 6)。计算结果显示:(1)啮合螺纹的接触应力呈“鞍马”形, 两端接触压力很高, 中段应力分布较平均;(2)接箍起始端螺纹牙形根部应力集中, 易发生粘扣。管体螺纹应力向大端面增加, 这是由于螺纹存在升角, 壁厚增加应力降低。

3 结论

(1)塔河油田管柱断裂为主要失效形式, 且在 0~1 000 m 和 5 000~6 000 m 为多发井段。通过采用有限元数值模拟管体缺陷, 得出了在不同径向深度下, 管柱的临界提拉力, 为修复油管检测和现场施工提拉吨位提供参考。

(2)油管脱扣主要由上扣扭矩过大造成, 通过分析螺纹机紧 1-2 扣情况下接触应力呈“马鞍”形

表 6 丝扣啮合处的最大接触应力值

Table 6 Maximum contact stress values of thread engagement

丝扣编号 (如图 2 从上至下)	接触应力/MPa	
	机紧 1 扣	机紧 2 扣
1	252	653
2	187	581
3	153	402
4	138	375
5	113	322
6	125	341
7	130	416
8	169	451
9	185	532
10	169	578

分布, 揭示丝扣连接两端容易发生粘扣现象。通过参考出厂上扣标记以及推荐上扣扭矩合理紧扣, 可减少螺纹脱扣事故的发生。

参考文献:

[1] 周玉琦, 黎玉战, 侯鸿斌. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2001, 23 (4): 363-367.

表 4 改进后的抽稠泵阀球直径及阀罩间隙

Table 4 Valve ball diameter and valve cover gap of improved heavy oil pump

抽稠泵 型号	泵常数	当量 泵径/ mm	原进油 阀直径/ mm	改进后 进油阀 直径/mm	改进后的 阀罩阀球 直径间隙/ mm
56/38	1.91	41.1	28.6	38.1	4.5
70/44	3.35	54.4	34.93	42.88	4.7
70/32	4.39	62.3	42.88	42.88	5

度,易造成关闭滞后而漏失,推荐选择密度较大的

阀球,如硬质合金阀球。

参考文献:

[1] 王世杰,林江,梁尚斌.塔河油田碳酸盐岩深层稠油油藏开发实践[M].北京:中国石化出版社,2005:121-134.

[2] 张荣军,李海军,任月玲.塔河油田深层稠油掺稀降黏技术[J].西安石油大学学报,2009,24(3):84-87.

[3] 马德昌.抽稠泵在塔河油田高黏原油开采中的应用[J].石油钻探技术,2003,31(3):50-51.

[4] 陈德春,薛建泉,等.抽油泵合理沉没压力的确定方法[J].石油钻采工艺,2003,25(5):75-77.

(编辑 徐文明)

(上接第 99 页)

[2] 陈冠良,刘恒录,程艳会,等.层内自生弱酸降压增注技术在文南油田的应用[J].内蒙古石油化工,2006(5):158-159.

[3] 谭俊领,解立春,吕亿明,等.地层自生弱酸解堵技术在安塞低渗透油田的应用[J].油田化学,2008,25(4):328-331.

[4] 王晓磊,柳海,达勇,等.克拉美丽气田火山岩气藏储层改造技术[J].天然气工业,2010,30(2):63-65.

[5] 郑延成,黄倩,贾跃立.自生二氧化碳络合酸化体系的性能研究[J].石油天然气学报,2010,32(5):21-24.

[6] 刘中信.接力式酸降压增注工艺技术的应用[J].石油与天然气化工,2004,33(6):440-441.

[7] 刘同斌,唐永帆.四川油气田压裂酸化液体技术新进展[J].石油与天然气化工,2002(S1):47-53.

[8] 李小刚,杨兆中,胡学明,等.酸压裂缝中酸液流动反应行为研究综述[J].钻井液与完井液,2008,25(6):70-74.

[9] 赵晓珂,孙铭勤,刘业文,等.国内外酸化用胶凝剂的发展及应用现状[J].承德石油高等专科学校学报,2006,8(4):17-21.

[10] 刘京.清洁自转向酸液的研制及性能评价[J].石油天然气学报,2009,31(3):302-305.

[11] 刘长龙,赵立强,邢杨义.油气井酸化过程中铁离子的沉淀及其预防[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2009,11(6):13-15.

[12] 杨衍东,李尚贵,任山,等.胶凝酸腐蚀实验中添加剂的配伍性研究[J].油田化学,2009,26(1):28-30.

(编辑 徐文明)

(上接第 102 页)

[2] 王志勇.钻具失效的分析及预防[J].西部探矿工程,2008(8):61-62.

[3] 李子丰,马兴瑞,黄文虎.钻柱力学基本方程及其应用[J].力学学报,1995,27(4):406-414.

[4] American Petroleum Institute. API STD 5B specification for

threading, casing, and thread inspection of casing, tubing, and line pipe threads [M].14ed.USA:USA API,1996.

[5] American Petroleum Institute. API SPEC 5CT specification for casing and tubing[M].16ed. USA:USA API,1998.

(编辑 徐文明)