



中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊
全国中文核心期刊
美国《化学文摘》(CA) 收录期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 收录期刊
EBSCO学术数据库收录期刊 (美)
AAPG协会期刊出版平台收录期刊 (美)
中国科技论文统计源期刊
RCCSE中国核心学术期刊

新疆玛湖地区致密油水平井套管螺纹扣型优选

舒博钊 赵文龙 王航 黄永智 张智 祝效华

The Optimization of Casing Thread Types for Horizontal Tight Oil Wells in Mahu Oilfield, Xinjiang

SHU Bozhao, ZHAO Wenlong, WANG Hang, HUANG Yongzhi, ZHANG Zhi, ZHU Xiaohua

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021041>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高强微弹水泥浆在延长油田致密油水平井中的应用

The Application of High-Strength Micro-Elastic Cement Slurry in the Tight Oil Horizontal Wells of the Yanchang Oilfield

石油钻探技术. 2019, 47(5): 40–48 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019082>

新疆玛湖油田砂砾岩致密油水平井钻井关键技术

Key Technologies for Drilling Horizontal Wells in Gluteneite Tight Oil Reservoirs in the Mahu Oilfield of Xinjiang

石油钻探技术. 2019, 47(2): 9–14 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019029>

吉林油田致密油水平井优快钻井完井技术

Optimized Drilling and Completion Technology for Horizontal Wells in Tight Oil Reservoirs in the Jilin Oilfield

石油钻探技术. 2021, 49(2): 9–13 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020123>

H级抽油杆许用应力计算及疲劳寿命预测方法

Allowable Stress Calculation and Fatigue Life Prediction for H-Class Sucker Rods

石油钻探技术. 2017, 45(6): 88–92 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201706016>

基于CQ指标的长庆油田长6—长8段致密油储层划分标准研究

The Standard Division of Tight Oil Reservoirs in Chang 6–8 Members of Changqing Oilfield based on CQ Index

石油钻探技术. 2020, 48(3): 114–119 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020064>

长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术

Shale Oil Horizontal Drilling Technology with Super-Long Horizontal Laterals in the Longdong Region of the Changqing Oilfield

石油钻探技术. 2020, 48(1): 9–14 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020029>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2021041

引用格式: 舒博钊, 赵文龙, 王航, 等. 新疆玛湖地区致密油水平井套管螺纹扣型优选 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(5): 51-56.

SHU Bozhao, ZHAO Wenlong, WANG Hang, et al. The optimization of casing thread types for horizontal tight oil wells in Mahu Oilfield, Xinjiang [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(5): 51-56.

新疆玛湖地区致密油水平井套管螺纹扣型优选

舒博钊¹, 赵文龙¹, 王航², 黄永智³, 张智⁴, 祝效华⁴

(1. 中国石油新疆油田分公司工程技术研究院, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油集团石油管工程技术研究院, 陕西西安 710077; 3. 天津钢管制造有限公司, 天津 300301; 4. 西南石油大学机电工程学院, 四川成都 610500)

摘要: 为了解决新疆玛湖地区致密油水平井下套管作业过程中的套管螺纹接头断裂失效问题, 采用有限元数值模拟方法和全尺寸套管实物试验方法, 对比分析了下套管作业上提-下放过程中 API-LC 长圆扣型和 TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头的连接强度和疲劳寿命。数值模拟和试验结果表明, 在相同上提拉力或下放压力作用下, TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头的应力水平明显低于 API-LC 长圆扣型套管螺纹接头; 在相同拉伸-压缩循环交变载荷作用下, TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头的疲劳寿命约为 API-LC 长圆扣型套管螺纹接头的 6.9 倍。研究表明, 新疆玛湖地区致密油水平井下套管作业时采用 TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头代替 API-LC 长圆扣型套管螺纹接头, 能够更好地满足现场下套管作业技术需求, 提高作业效率。

关键词: 致密油; 水平井; 下套管; 套管螺纹接头; 连接强度; 疲劳寿命; 扣型优选

中图分类号: TE931⁺.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)05-0051-06

The Optimization of Casing Thread Types for Horizontal Tight Oil Wells in Mahu Oilfield, Xinjiang

SHU Bozhao¹, ZHAO Wenlong¹, WANG Hang², HUANG Yongzhi³, ZHANG Zhi⁴, ZHU Xiaohua⁴

(1. Engineering Technology Research Institute, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China;
2. CNPC Tubular Goods Research Institute, Xi'an, Shaanxi, 710077, China; 3. Tianjin Pipe Corporation, Tianjin, 300301, China;
4. School of Mechanical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China)

Abstract: To tackle the fracture failure of casing thread joints when running casing in horizontal tight oil wells in Mahu Oilfield, Xinjiang, numerical simulations of casing thread joints and full-scale experiments on casing were conducted to compare and analyze the connection strength and fatigue life of API-LC long round thread joints and TP-G2 special thread joints during the lifting and lowering process of casing running. The results of simulations and experiments showed that the stress of TP-G2 special thread joints was significantly lower than that of the API-LC long round ones under the same tension or compression forces, and further, the fatigue life of TP-G2 special thread joints was about 6.9 times of that of API-LC long round thread joints under the same cyclic and alternating tensile-compressive load. According to our research, TP-G2 special thread joints can play a better role than API-LC long round thread joints in meeting the technical demands for casing operation in horizontal tight oil wells in Mahu Oilfield, Xinjiang and in improving operation efficiency.

Key words: tight oil; horizontal well; casing running; casing thread joint; connection strength; fatigue life; optimization of thread type

新疆玛湖地区致密油采用水平井开发^[1], 下套管遇阻后上提-下放作业频繁, 导致套管螺纹接头常常发生断裂失效, 成为制约该地区钻采工程效益

的主要因素之一。目前, 新疆玛湖地区致密油水平井采用的套管螺纹主要为 API-LC 长圆扣型, 其连接强度一般只有管体的 70% 左右, 是套管柱中最薄

收稿日期: 2020-10-17; 改回日期: 2021-03-04。

作者简介: 舒博钊 (1987—), 男, 四川安岳人, 2010 年毕业于西南石油大学高分子材料与工程专业, 2013 年获西南石油大学材料物理与化学专业硕士学位, 工程师, 主要从事油气田压裂完井工具及管柱工艺研究工作。E-mail: shubozhao@petrochina.com.cn。

通信作者: 王航, wanghang008@cnpc.com.cn。

基金项目: 中国石油新疆油田分公司科研计划项目“玛湖地区水平井套管选用优化及技术规范” (编号: 管材-2019-QT-37) 资助。

弱的环节,现场80%的套管失效发生在套管螺纹接头处^[2-3],表明该扣型套管螺纹接头已不能满足致密油水平井的下套管作业需求。近些年,天津钢管制造有限公司开发的耐蚀合金TP-G2特殊扣型套管接头具有良好的连接强度、密封性能和抗腐蚀性能,并在中国石化西北油田成功应用。

针对套管螺纹接头的安全问题,国内外学者对套管螺纹接头的力学特性开展了大量研究,并建立了一些较为合理的预测模型^[4-7]。其中,大部分学者采用二维轴对称模型研究套管螺纹接头^[8-11],还有部分学者采用三维力学模型^[12-15],但主要集中于套管螺纹接头的静力学特性分析,未研究水平井下套管作业过程中套管螺纹接头的断裂失效问题。

为了解决新疆玛湖地区致密油水平井下套管作业中套管螺纹接头易发生断裂失效的问题,笔者采用有限元法^[16-18],建立了套管螺纹接头的有限元模型,通过数值模拟和全尺寸套管实物试验,对比分析了下套管作业上提-下放过程中API-LC长圆扣型和TP-G2特殊扣型套管螺纹接头的连接强度和疲劳寿命,优选了套管螺纹接头扣型,为套管螺纹接头的合理选取和安全使用提供了理论依据。

1 套管螺纹接头有限元计算模型

1.1 套管螺纹接头网格单元模型

以 $\phi 127.0\text{ mm} \times 11.1\text{ mm}$ API-LC 和 TP-G2 套管螺纹接头为对象,基于ABAQUS/Explicit显式动力学分析方法,建立2种套管螺纹接头的有限元计算模型。套管螺纹接头的钢级为P110,屈服强度为825.6 MPa,抗拉强度为914.7 MPa,弹性模量为210 GPa,泊松比为0.28。套管接头螺纹啮合面间的摩擦系数一般为0.015~0.025^[19],数值计算时摩擦系数取0.02。

根据套管螺纹接头的结构和受力特点,对模型作如下假设:1)套管螺纹接头为各向同性、连续的均质体;2)套管螺纹接头为理想弹塑性模型。采用C3D8I六面体单元,对套管螺纹接头进行网格单元划分(见图1)。

模型边界条件为:1)在套管螺纹非螺纹端面中心建立一个参考点RP-1,将其与套管端面耦合,在该点施加紧扣扭矩和轴向载荷;2)在接箍非螺纹端面中心建立一个参考点RP-2,将其与接箍端面耦合,在该点施加固支边界条件;3)考虑可能存在的几何非线性和接触非线性的影响,计算时将几何非线性开关设为“on”,并采用罚函数法定义库伦摩

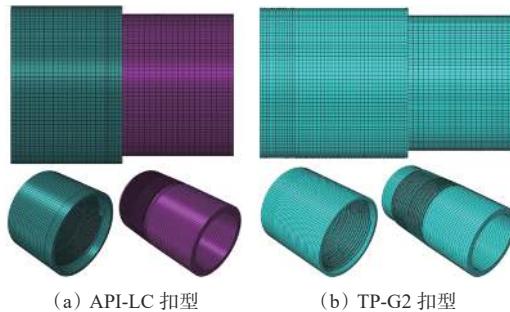


图1 套管螺纹接头网格单元模型
Fig. 1 Grid cell model of casing thread joints

擦形式的接触条件。

1.2 有限元计算模型验证

为了确保计算结果的可靠性,首先对建立的API-LC套管螺纹接头模型施加9.097 kN·m的上扣扭矩和3 182 kN的轴向拉伸载荷,然后进行分析计算,结果如图2所示。从图2可以看出,拉伸至螺纹滑脱失效时的最大Mises应力为903.8 MPa,小于材料抗拉强度914.7 MPa,说明API-LC套管螺纹接头的拉伸失效表现为滑脱失效,不会发生强度失效;拉伸至螺纹滑脱失效时的轴向拉力为3 182 kN,说明通过有限元计算的API-LC套管螺纹接头连接强度为3 182 kN。另外,全尺寸套管实物试验测得API-LC套管螺纹接头连接强度为3 280 kN,表现为螺纹处的拉伸滑脱,有限元计算结果和试验结果均表现为螺纹处的拉伸滑脱,且二者的连接强度相对误差仅为3.0%,表明建立的套管螺纹接头有限元模型具有较高的计算精度。

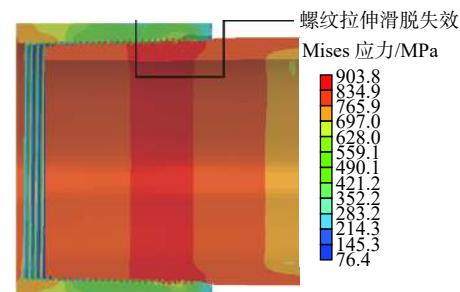


图2 API-LC 套管螺纹接头拉伸至失效时的应力云图
Fig.2 Stress distribution of API-LC casing thread joint stretched to failure

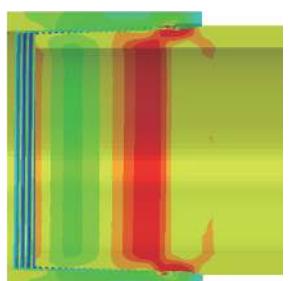
2 套管螺纹接头连接性能分析

2.1 上提作业

根据玛湖地区多口井下套管作业时的大钩负荷

曲线, 确定上提作业时的极限拉力不大于 2 500 kN。套管螺纹接头的数值模拟和全尺寸套管实物试验均采用玛湖地区多口井统计确定的上提最大拉力 2 500 kN 进行计算和分析。对紧扣后的 API-LC 和 TP-G2 套管螺纹接头(紧扣扭矩分别为 9.097 和 15.415 kN·m) 分别施加 2 500 kN 的上提拉力, 进行应力场计算, 对比分析 2 种套管螺纹接头在相同上提拉力工况下的连接强度。

图 3 为 API-LC 和 TP-G2 套管螺纹接头在紧扣扭矩+上提拉力作用下的应力场分布云图。从图 3 可以看出, 在紧扣扭矩+上提拉力作用下, 2 种套管螺纹接头的应力分布不均匀, 大端和小端螺纹牙根部位出现了明显的应力集中现象, 应力集中区域是套管螺纹接头发生早期失效的主要区域。在相同上提拉力作用下, API-LC 套管螺纹接头的峰值应力达到 861.3 MPa, 超过材料屈服强度, 发生一定的塑性变形; TP-G2 套管螺纹接头的峰值应力为 822.7 MPa, 小于材料屈服强度, 未发生塑性变形。计算结果表明: 在相同上提拉力作用下, TP-G2 套管螺纹接头的峰值应力比 API-LC 套管螺纹接头降低 4.5%; 上提作业时, 采用 TP-G2 套管螺纹接头相比 API-LC 套管螺纹接头能够更好地满足现场安全使用要求。



(a) API-LC 套管螺纹接头

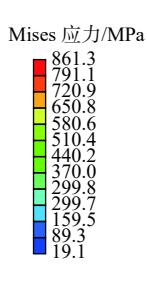


图 3 上提拉力作用下套管螺纹接头应力云图

Fig.3 Stress distribution of the casing thread joint under tension

从图 3 提取套管螺纹接头外螺纹和内螺纹牙根处的应力, 绘制紧扣扭矩+上提拉力作用下套管螺

纹接头外螺纹和内螺纹牙根处的应力分布曲线, 结果见图 4 和图 5(图中的螺纹牙序号从大端(右端) 第一个有效啮合螺纹牙依次为 1, 2, 3.....)。从图 4 可以看出, 在紧扣扭矩+上提拉力作用下, API-LC 接头外螺纹牙根处的应力分布呈现先减小后增大的趋势, 前 2 牙的应力水平较高, 承受了大部分载荷; TP-G2 接头外螺纹牙根处的应力分布呈“马鞍形”, 即两端应力水平高、中间应力水平低, 两端承受了大部分载荷。由此说明, API-LC 接头最易失效的位置是螺纹大端前 2 个有效啮合螺纹牙根处的危险截面; TP-G2 接头最易失效的位置是螺纹两端有效啮合螺纹牙根处的危险截面。从图 5 可以看出, 在紧扣扭矩+上提拉力作用下, 2 种套管螺纹接头内螺纹牙根处的应力分布均呈“马鞍形”, 即内螺纹两端应力水平较高、中间应力水平较低, 内螺纹的两端承受了大部分载荷, 内螺纹最易发生失效的位置是两端有效啮合螺纹牙根处的截面。在相同上提拉力作用下, 与 API-LC 套管螺纹接头相比, TP-G2 套管螺纹接头的总体应力水平更低、应力分布更为合理, 能够更好地满足现场安全作业要求。

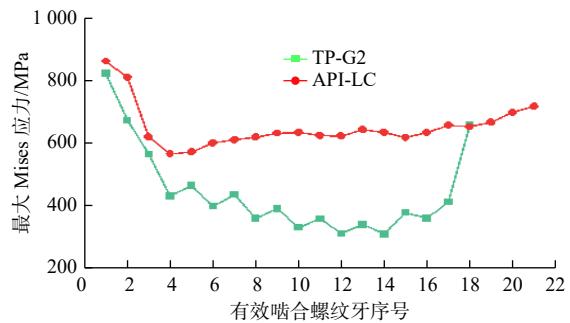


图 4 上提拉力下接头外螺纹牙根处的应力分布曲线

Fig.4 Stress distribution curve of the external thread root under tension

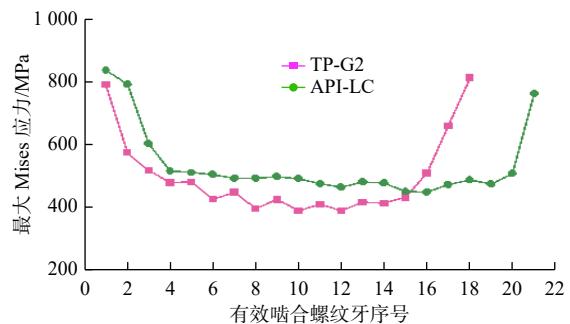


图 5 上提拉力下接头内螺纹牙根处的应力分布曲线

Fig.5 Stress distribution curve of inner thread root under tension

2.2 下放作业

根据井壁摩阻、井眼“紧点”摩阻、套管柱局部重量和大钩重量,下放压力取1372.5 kN,基于上提-下放作业的力学模型数值模拟结果和室内全尺寸套管试验验证结果,确定套管下放时的冲击压力不大于1372.5 kN。对紧扣后的API-LC和TP-G2套管螺纹接头(紧扣扭矩分别为9.097和15.415 kN·m)分别施加1372.5 kN的下放压力,计算其应力分布,对比分析2种套管螺纹接头在相同下放压力下的连接强度。

2种套管螺纹接头在紧扣扭矩+下放压力作用下的应力分布云图如图6所示。从图6可以看出,在紧扣扭矩+下放压力作用下,2种套管螺纹接头的应力场分布不均匀,螺纹牙根部位出现了明显的应力集中,这些应力集中区域是套管螺纹接头发生早期失效的主要区域。在相同下放压力作用下,API-LC套管螺纹接头的峰值应力为619.9 MPa,TP-G2套管螺纹接头的峰值应力为529.1 MPa。计算结果表明:2种套管螺纹接头的峰值应力均位于外螺纹的啮合螺纹牙根部位,且峰值应力均小于材料屈服强度,不会发生强度失效;在相同下放压力作用下,与API-LC套管螺纹接头相比,TP-G2套管螺纹接头的峰值应力降低14.6%。研究表明,现场套管下放作业过程中,与API-LC套管螺纹接头相比,TP-G2套管螺纹接头能更好地满足现场安全使用要求。

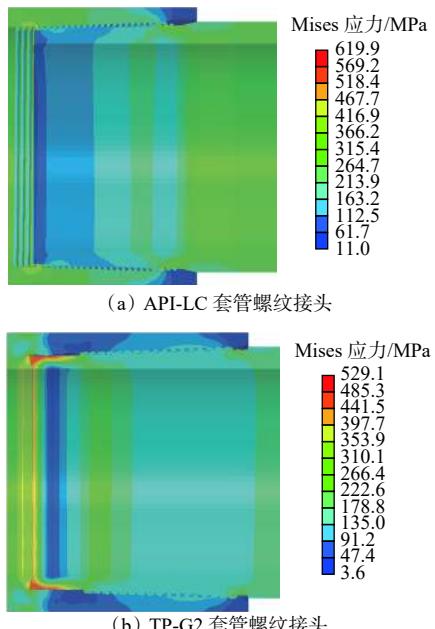


图6 下放压力作用下套管螺纹接头应力云图

Fig.6 Stress distribution of the casing thread joint under compression

从图6提取套管螺纹接头外螺纹和内螺纹牙根处的应力,绘制紧扣扭矩+下放压力作用下套管螺纹接头外螺纹和内螺纹牙根处的应力分布曲线(见图7和图8,图中的螺纹牙序号从大端(右端)第一个有效啮合螺纹牙依次为1,2,3……)。

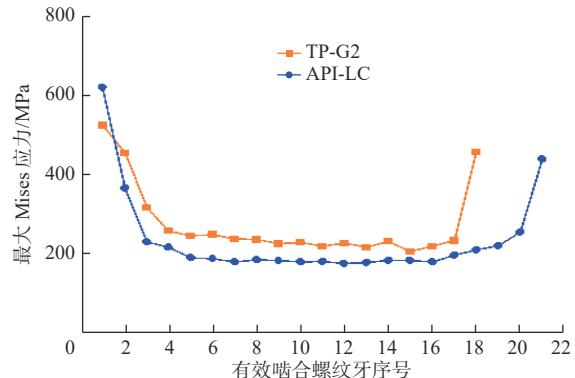


图7 下放压力下接头外螺纹牙根处的应力分布曲线

Fig.7 Stress distribution curve of the external thread root under compression

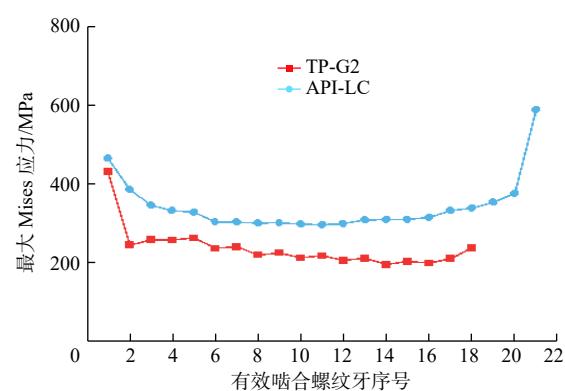


图8 下放压力下接头内螺纹牙根处的应力分布曲线

Fig.8 Stress distribution curve of inner thread root under compression

从图7可以看出,在紧扣扭矩+下放压力作用下,API-LC接头和TP-G2接头外螺纹牙根处的应力分布呈“马鞍形”,即具有两端应力大、中间应力小的特点,前2牙和最后1牙的应力水平较高,承受了大部分载荷。在下放压力作用下,API-LC接头和TP-G2接头外螺纹最易失效的位置是两端有效啮合螺纹牙根处的危险截面。从图8可以看出,在紧扣扭矩+下放压力作用下,API-LC接头内螺纹牙根处的应力分布呈“马鞍形”,即内螺纹两端应力水平较高、中间应力水平较低;内螺纹的峰值应力位于最后1牙,该位置为API-LC接头内螺纹的危险位置;TP-G2接头内螺纹牙根处的应力分布呈现逐渐减小的趋势,内螺纹牙根的峰值应力位于第1个有

效啮合螺纹牙根处, 该位置是 TP-G2 接头内箍螺纹发生失效的主要位置。计算结果表明: 在相同下放压力作用下, 与 API-LC 套管螺纹接头相比, TP-G2 套管螺纹接头的峰值应力水平相对更低, 且分布更为合理, 能够更好地满足现场安全作业的要求。

3 套管螺纹接头抗疲劳性能分析

为了对比上提-下放作业时 2 种套管螺纹接头的抗疲劳性能, 将 2.1 节中 2 种套管螺纹接头的应力计算结果导入 Fe-safe, 添加材料特性和循环载荷(见图 9), 表面粗糙度 R_a 取 $6.3 \mu\text{m}$, 残余应力设为 0, $S-N$ 曲线比例系数取 1.0, 计算 2 种套管螺纹接头在拉-压循环载荷下的疲劳寿命, 结果如图 10 所示。

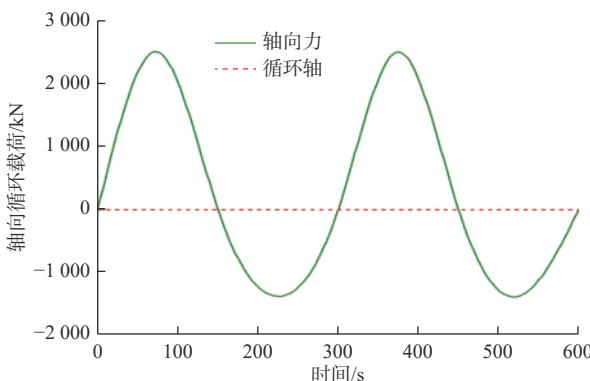


图 9 拉-压循环载荷

Fig.9 Cyclic load of tension and compression

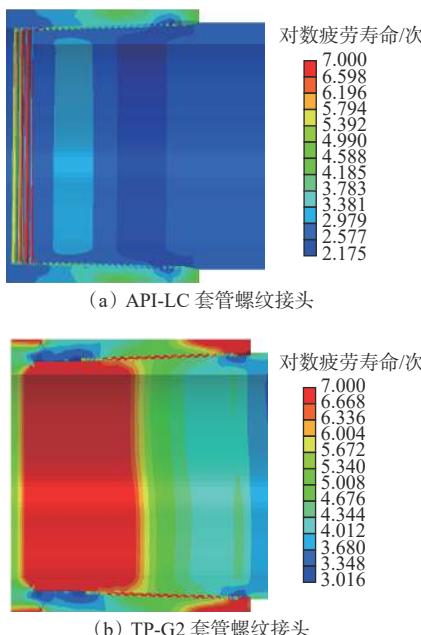


图 10 拉-压循环载荷作用下套管螺纹接头疲劳寿命云图
Fig.10 Fatigue life of the casing thread joint under cyclic tensile-compressive loads

从图 10 可以看出, 在给定的拉-压循环载荷作用下, API-LC 套管螺纹接头的疲劳寿命为 149.6 次($10^{2.175}$ 次), TP-G2 套管螺纹接头的疲劳寿命为 1 037.5 次($10^{3.016}$ 次), TP-G2 套管螺纹接头的疲劳寿命约为 API-LC 套管螺纹接头疲劳寿命的 6.9 倍。另外, 全尺寸套管实物试验结果表明, API-LC 套管螺纹接头经过 134.5 次拉-压循环后接头螺纹发生疲劳断裂; TP-G2 套管螺纹接头经过 500 次拉-压循环后接头螺纹结构仍保持较好的完整性, 表现出良好的抗低周疲劳能力。全尺寸套管实物试验和数值模拟测得的 API-LC 套管螺纹接头疲劳寿命分别为 134.5 次和 149.6 次, 二者之间的误差为 11.2%, 进一步验证了数值模拟结果具有较高的可靠性。

以上研究表明, 新疆玛湖致密油水平井下套管作业过程中采用 TP-G2 套管螺纹接头代替传统的 API-LC 套管螺纹接头, 能够更好地满足现场下套管作业技术需求, 提高作业效率。

4 结论与建议

1) 玛湖区块的整装砾岩致密油气藏埋深大、地质条件复杂, 在该区块致密油水平井的下套管作业中套管遇阻频繁, 需要频繁地进行上提-下放作业, 导致套管螺纹接头常常发生断裂失效, 给下套管作业带来了极大的挑战。

2) 针对玛湖区块致密油水平井下套管作业中套管螺纹接头易发生断裂失效的问题, 通过数值模拟和全尺寸套管实物试验, 从常规 API-LC 长圆扣型和 TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头中优选出了更符合该区块的套管螺纹扣型, 形成了玛湖区块致密油水平井套管螺纹扣型优选技术。

3) 试验结果表明, TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头的连接性能和抗疲劳性能优于 API-LC 长圆扣型套管螺纹接头, 建议玛湖区块致密油水平井使用 TP-G2 特殊扣型套管螺纹接头, 以更好地满足该区块的下套管作业技术需求, 提高作业效率。

参 考 文 献

References

- [1] 路宗羽, 赵飞, 雷鸣, 等. 新疆玛湖油田砂砾岩致密油水平井钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(2): 9-14.
LU Zongyu, ZHAO Fei, LEI Ming, et al. Key technologies for drilling horizontal wells in glutenite tight oil reservoirs in the Mahu Oilfield of Xinjiang[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 9-14.

- [2] 袁光杰. API 圆螺纹接头力学性能的数值仿真与实验研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
YUAN Guangjie. Numerical simulation and experimental study on mechanical properties of API round thread joint [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2014.
- [3] 于桂杰, 陈晓强, 段安琪. 冲击载荷作用下套管螺纹连接的有限元分析 [J]. 石油机械, 2017, 45(9): 14-20.
YU Guijie, CHEN Xiaoqiang, DUAN Anqi. Finite element analysis of casing thread connection under impact load [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(9): 14-20.
- [4] 李玉飞, 程建平, 张健涛, 等. 页岩气井用生产套管螺纹连接选用分析及评价 [J]. 焊管, 2019, 42(10): 1-8.
LI Yufei, CHENG Jianping, ZHANG Jiantao, et al. Selection and evaluation of production casing threaded connection for shale gas wells [J]. Welded Pipe and Tube, 2019, 42(10): 1-8.
- [5] 徐德奎. 复杂载荷作用下套管特殊螺纹接头密封性能有限元分析 [J]. 石油矿场机械, 2019, 48(2): 20-26.
XU Dekui. Finite element analysis of sealing performance of special threaded of casing under complex loads [J]. Oil Field Equipment, 2019, 48(2): 20-26.
- [6] 胡志立. 套管特殊螺纹接头性能有限元仿真分析 [J]. 钢管, 2017, 46(5): 64-67.
HU Zhili. Finite element simulation analysis of performance of casing premium connection [J]. Steel Pipe, 2017, 46(5): 64-67.
- [7] 白鹤, 张章, 李超, 等. 锥度设计对套管特殊螺纹接头密封性能影响 [J]. 焊管, 2020, 43(5): 8-11, 16.
BAI He, ZHANG Zhang, LI Chao, et al. Effect by taper design on sealing performance of casing premium connection [J]. Welded Pipe and Tube, 2020, 43(5): 8-11, 16.
- [8] 刘源, 纪爱敏, 李堑, 等. 油套管特殊螺纹接头密封性能的有限元分析 [J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(6): 21-24.
LIU Yuan, JI Aimin, LI Qian, et al. Finite element analysis on the sealing performance of the casing premium connection [J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2017, 46(6): 21-24.
- [9] 李渭亮, 白松, 陈晓华, 等. 基于 ISO 13679 的套管特殊螺纹极限承载能力仿真评价 [J]. 钢管, 2017, 46(3): 66-70.
LI Weiliang, BAI Song, CHEN Xiaohua, et al. ISO 13679-based simulation evaluation of ultimate bearing capacity of casing premium connection [J]. Steel Pipe, 2017, 46(3): 66-70.
- [10] 吴翔实, 高连新, 袁鹏斌, 等. 特殊螺纹石油套管接头密封结构优选 [J]. 石油机械, 2017, 45(6): 30-35.
WU Xiangshi, GAO Lianxin, YUAN Pengbin, et al. Selection of sealing structure of casing connection with premium thread [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(6): 30-35.
- [11] 祝效华, 郭迎春, 董亮亮. 高压井中套管缺陷对连接螺纹强度行为研究 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2020, 42(2): 166-174.
ZHU Xiaohua, GUO Yingchun, DONG Liangliang. Research on strength behavior of casing thread with defects in high pressure wells [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2020, 42(2): 166-174.
- [12] 王志寰, 李成兵, 赵明建, 等. 井眼弯曲段 API 油套管长圆螺纹力学分析及仿真 [J]. 塑性工程学报, 2019, 26(2): 317-323.
WANG Zhihuan, LI Chengbing, ZHAO Mingjian, et al. Mechanical analysis and simulation for long-thread of API tubing and casing at the curved portion of borehole [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2019, 26(2): 317-323.
- [13] 祝效华, 董亮亮, 童华, 等. 拉弯复合载荷作用下的 API 短圆套管螺纹力学行为 [J]. 石油学报, 2013, 34(1): 157-163.
ZHU Xiaohua, DONG Liangliang, TONG Hua, et al. Mechanical behaviors of short-round thread of the API casing under combined load of stretching and bending moment [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 157-163.
- [14] 祝效华, 高原, 贾彦杰. 弯矩载荷作用下偏梯形套管连接螺纹参数敏感性分析 [J]. 工程力学, 2012, 29(10): 301-307.
ZHU Xiaohua, GAO Yuan, JIA Yanjie. The parameter sensitivity analysis of buttress casing connecting thread under action of bending loading [J]. Engineering Mechanics, 2012, 29(10): 301-307.
- [15] 祝效华, 张智, 常学军, 等. 复杂结构井磨损套管连接螺纹的三维力学行为 [J]. 石油学报, 2015, 36(6): 748-753.
ZHU Xiaohua, ZHANG Zhi, CHANG Xuejun, et al. Three-dimensional mechanical behavior of worn casing connecting thread in complex structural well [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(6): 748-753.
- [16] 张永强, 刘立, 陆金福, 等. 基于 API 圆螺纹的气密封螺纹开发及评价 [J]. 天然气工业, 2017, 37(5): 68-75.
ZHANG Yongqiang, LIU Li, LU Jinfu, et al. Development of gas-tight threads based on API round threads and its evaluation [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(5): 68-75.
- [17] 童华, 唐晓鸿, 祝效华, 等. 套管在对称载荷下其螺纹牙应力分布计算公式 [J]. 系统仿真学报, 2018, 30(10): 4014-4020.
TONG Hua, TANG Xiaohong, ZHU Xiaohua, et al. Stress distribution formula of threads casing joint under symmetrical load [J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(10): 4014-4020.
- [18] 高连新, 史交齐, 金烨. 上扣扭矩对圆螺纹套管连接强度的影响 [J]. 天然气工业, 2005, 25(2): 87-89.
GAO Lianxin, SHI Jiaoqi, JIN Ye. Influence of make-up torque on connection strength of round thread casing [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(2): 87-89.
- [19] 习俊通, 聂钢, 梅雪松, 等. 套管螺纹接头连接性能的接触有限元分析 [J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(11): 63-66.
XI Juntong, NIE Gang, MEI Xuesong, et al. Contact and connection behavior in finite element analysis of casing thread joints [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1999, 33(11): 63-66.

[编辑 滕春鸣]