

文章编号: 1000-7393(2008)06-0104-04

钻杆NC50内螺纹接头裂纹原因分析

吕拴录^{1,2} 袁鹏斌³ 姜涛² 刘德英² 宋顺平⁴ 李中全²

(1. 中国石油大学, 北京 102249; 2. 塔里木油田, 新疆库尔勒 841000; 3. 上海海隆石油管材研究所, 上海 200949;
4. 长庆石油勘探局钻井工程公司管具公司, 宁夏银川 750006)

摘要: 为推广应用斜坡吊卡台肩钻杆, 对某井钻杆内螺纹接头直角吊卡台肩部位断裂和裂纹事故进行了详细调查研究, 并对一根内螺纹接头钻杆进行了失效分析。失效分析内容主要包括裂纹宏观分析和微观分析, 钻杆接头材料化学成分、力学性能和金相组织试验分析, 钻杆在钻井过程中受力条件分析等。通过失效分析, 认为钻杆接头为早期疲劳失效, 钻杆内螺纹接头直角吊卡台肩部位产生早期疲劳断裂和裂纹的原因是该部位结构尺寸不合理, 应力集中严重。在钻井过程中钻柱会承受交变的拉伸、扭转、弯曲、震动等疲劳载荷, 很容易在应力集中严重的内螺纹接头直角吊卡台肩部位产生疲劳断裂和裂纹。要从根本上防止钻杆接头断裂, 建议采用斜坡吊卡台肩钻杆。

关键词: 钻杆接头; 直角台肩; 裂纹; 断口分析

中图分类号: TE921.2 **文献标识码:** A

Cause analysis on crack of NC50 box tool joint

LV Shuanlu^{1,2}, YUAN Pengbin³, JIANG Tao², LIU Deying², SONG Shunping⁴, LI Zhongquan²

(1. Tarim Oil Field, Korla 841000, China; 2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Shanghai Hail Oil Tubular Goods Research Institute, Shanghai 200949, China; 4. Pipe Corporation of Changqing Petroleum Exploration Bureau, Yinchuan 750006, China)

Abstract: This paper gives a thorough investigation on the accident of the drill pipe crack at square shoulder root of tool joint in order to know the failure cause, and one sample of cracked tool joint is taken for failure analysis. Failure analysis comprises the macro and micro analysis, the experimental analysis of chemical composition, mechanical properties and microstructure of drill pipe joint, and the analysis of load borne on drill pipe during drilling. It is reckoned that the early fatigue fracture of square shoulder root is caused by the irrationality of the size of the root and the severe stress concentration at the square shoulder root of joint. Fatigue cracks easily occur at the square elevator shoulder root of joint, because the loads borne on drill string are tension, torsion, bend, and vibration that are continuously changed in drilling. It is suggested that taper elevator shoulder be used to prevent the crack of tool joint in essential.

Key words: tool joint; square shoulder; crack; fracture analysis

0 前言 preface

在钻井过程中, 如果发生钻具事故, 轻则造成打捞事故, 重则导致全井报废。钻杆工具接头有直角吊卡台肩和斜坡吊卡台肩 2 种, API SPEC 7^[1] 早就将直角吊卡台肩接头钻杆列为逐渐淘汰的产品, 并提倡使用斜坡吊卡台肩钻杆。由于直角吊卡台肩钻

杆使用寿命远低于斜坡吊卡台肩钻杆使用寿命, 国外油田早已全部采用斜坡吊卡台肩钻杆。在 20 世纪 90 年代之前, 国内斜坡台肩吊卡质量不过关, 在使用过程中存在打不开的问题。因此, 油田使用的多为直角吊卡台肩钻杆, 在使用过程中发生了多起钻杆工具接头直角台肩部位裂纹和断裂事故。进入 90 年代, 随着技术进步和质量提高, 国内斜坡吊卡质

量已经可以满足油田使用要求,大多数油田开始采用斜坡吊卡台肩钻杆,并显著提高了钻杆使用寿命。由于历史原因和认识问题,国内少数油田仍在使用直角吊卡台肩钻杆。近期,某油田在同一井队发生了 28 起钻杆直角吊卡台肩部位断裂和裂纹事故。因此,搞清直角吊卡台肩接头钻杆失效原因,全面采用斜坡吊卡台肩钻杆,防止类似事故再次发生,很有必要。

1 现场情况
Field instance

某井队配备的 302 根 (2914 m) $\varnothing 127\text{ mm} \times 9.19\text{ mm}$ G105 NC50 新钻杆,未打完 2 口井深不足 4500 m 的直井就发生了 28 起钻杆内螺纹接头吊卡台肩部位断裂和裂纹事故。该 2 口井钻井参数为: 钻压 30~220 kN, 转速 50~120 r/min, 泵压未超过 16 MPa, 最大悬重 155 t。最大井斜角 3.49° 。最大全角变化率为 $0.99 (^\circ)/25\text{ m}$ 。2 口井在井深不超过 3300 m 时全部使用 G105 钻杆, 井深超过 3300 m 后上部用 S135 钻杆, 下部用 G105 钻杆。在钻铤与钻杆之间未使用加重钻杆。钻杆使用情况见表 1。

表 1 钻杆使用情况
Table 1 The drill pipe use information

项目	累计进尺 /m	累计旋转时间 /h	井深 /m	备注
第 1 口井	4460	754	4460	有跳钻现象
第 2 口井	3883	352	4385	有跳钻现象

该批钻杆订货技术标准 API SPEC 7^[1]、API SPEC 5D、和 SY/T 5290-2000。

2 尺寸测量及裂纹形貌分析
Measurement and analysis on crack morphology

钻杆内螺纹接头尺寸测量结果见图 1。

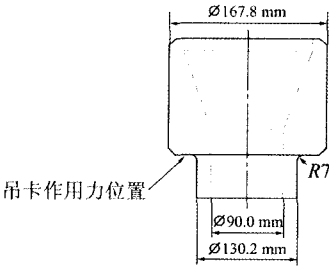


图 1 钻杆接头直角台肩部位结构尺寸
Fig.1 The configuration dimension at square shoulder of tool joint

钻杆接头裂纹位置在直角吊卡台肩根部。经着色探伤, 裂纹周向长度 147 mm, 裂纹中部 90 mm 范围已形成刺穿形貌 (图 2)。

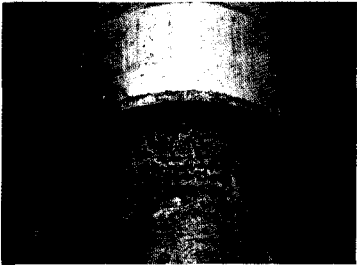


图 2 钻杆接头直角台肩部位裂纹和刺穿形貌
Fig.2 The morphology of crack and washing out at square shoulder of tool joint

打开断口发现裂纹起源于外表面, 裂纹尖端断口有明显可见的从外向里扩展的弧形断面。断口靠外壁侧约 3 mm 范围高低不平, 再往里断口平滑。

在裂纹尖端取样, 用扫描电镜观察断口形貌, 在裂纹尖端断口上有疲劳辉纹存在 (图 3)。这说明钻杆接头为疲劳断裂。

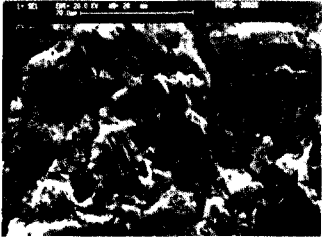


图 3 断口上的疲劳辉纹
Fig.3 The fatigue stria on fracture

3 材料试验
Material test

3.1 化学成分分析

Experimental analysis of chemical composition

接头化学成分分析结果见表 2。其中, API SPEC 7 规定 P 和 S 的含量要小于等于 0.03%。

表 2 化学成分
Table 2 The chemical composition

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ti	Cu
含量 /%	0.38	0.25	0.90	0.008	0.005	1.07	0.29	0.01	0.01	0.12

3.2 机械性能试验

Mechanical properties test

沿钻杆内螺纹接头纵向取直径为 12.7 mm, 标距为 50.8 mm 的圆棒拉伸试样, $10 \times 10 \times 55\text{ mm}$ 的 CVN 冲击试样和硬度试样。力学性能试验结果见表 3。

表 3 力学性能
Table 3 The mechanical property

项目	拉伸性能			冲击功 /J (21℃)	硬度 HB S10/3000
	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%		
结果	996	893	22.6	124	312
API SPEC 7	≥ 965	≥ 827	≥ 13	—	≥ 285
SY/T 5290-2000	≥ 965	≥ 827	≥ 13	54(-20℃)	≥ 285

力学性能试验结果, 钻杆接头符合标准要求。

3.3 金相分析

Micro-structure analysis

在裂纹尖端部位取样进行金相分析, 金相分析结果可知。裂纹起源于外壁, 裂纹始端垂直于外表面, 裂纹开始部位有分支, 裂纹尖端呈折线状, 裂纹两侧组织与其他区域相同 (图 4~5)。外壁及心部组织为 S_回, 靠内壁组织为 S_回 + 少量 B_上。晶粒度为 9.5 级。夹杂物为 A1.5, B0.5, D0.5, D0.5e。

金相分析结果, 钻杆接头金相组织正常, 裂纹具有疲劳裂纹的特征。



图 4 裂纹始端形貌及组织 (100 倍)

Fig.4 The morphology of crack and micro structure at crack original position

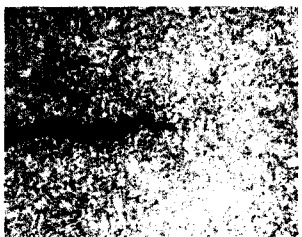


图 5 裂纹尖端形貌及组织 (500 倍)

Fig.5 The morphology of crack and microstructure at crack tip

4 结果分析

Results analysis

试验结果表明, 钻杆接头材质符合标准要求, 钻杆接头为疲劳裂纹失效。疲劳裂纹是在低于材料屈服强度的交变应力作用下使用一段时间之后才产生。疲劳裂纹一般产生于构件的危险部位, 疲劳失效要经过裂纹萌生、扩展和断裂 3 个阶段。该批钻杆没有打完井深不足 4500 m 的 2 口直井, 累计进

尺 8343 m, 累计旋转时间 1006 h, 就有 28 根钻杆内螺纹接头 (占 9.3%) 吊卡台肩部位产生裂纹或断裂。钻杆接头使用时间很短就产生裂纹或断裂, 属于早期疲劳失效。钻杆接头发生早期疲劳失效的原因与钻杆接头直角吊卡台肩根部存在较大应力集中有关。

从图 1 可明显看出, 钻杆接头直角台肩部位为结构突变部位。该部位最大壁厚为 39.0 mm, 最小壁厚为 20.2 mm, 两者之比为 1.93, 存在较大的应力集中。在钻进过程中, 钻杆要受到拉伸、扭转、冲击等交变载荷, 在结构突变的应力集中部位受力更大。在起下钻过程中, 吊卡与接头台肩配合来提伸或下放钻柱。由于吊卡与接头台肩作用力位置距接头台肩根部有一定距离, 接头吊卡台肩根部除受正常拉力之外, 还要受附加的弯矩作用。因此, 钻杆接头直角台肩根部受力条件更苛刻, 容易产生疲劳裂纹。

日本平川贤尔用 Ø88.8 mm E75 钻杆直角台肩和 18° 台肩 NC38 接头 (水眼直径 68.3 mm 与 API SPEC 7 规定的公接头水眼直径相同) 做的实物疲劳试验结果表明, 直角台肩根部应力集中系数为 2.08, 18° 台肩根部应力集中系数为 1.19。前者是后者的 1.75 倍。

管材研究所对不同结构的钻杆接头实物进行旋转弯曲疲劳试验结果表明, 直角吊卡台肩钻杆内螺纹接头水眼直径大于公接头标准水眼直径时, 钻杆失效位置在吊卡台肩根部。

由于直角台肩根部存在的应力集中系数大于 18° 台肩根部的应力集中系数, API SPEC 7 标准早已把直角台肩钻杆接头列为逐渐淘汰的产品。

接头内径越大, 台肩部位的壁厚差别越大 (图 1), 应力集中越严重; 接头内径越大, 水力损失越小。API SPEC 7 标准对 Ø127 mm G105 钻杆公接头规定的水眼直径为 82.6 mm, 内螺纹接头水眼由工厂自己选择。失效钻杆内螺纹接头水眼为 90.0 mm, 大于公接头水眼, 其吊卡台肩根部的应力集中系数会更大。增大内螺纹接头水眼直径虽有利于减小水力损失, 提高钻井速度; 但会增加吊卡台肩根部应力集中, 降低接头连接强度。因此, 采用增大内螺纹接头水眼直径的方法来提高钻井速度时, 应考虑直角吊卡台肩根部应力集中对钻杆接头连接强度的影响。

实践已经证明^[2], 使用加重钻杆可有效地保护钻杆, 减少钻杆失效事故发生。该两口井钻具组合中没有使用加重钻杆, 这一问题必须引起重视。

跳钻会使钻具受力条件恶化,降低钻具使用寿命^[3-5]。在这2口井钻井过程中均有跳钻现象,这可能会对钻杆使用寿命有一定影响。

钻杆接头为早期疲劳裂纹失效。钻杆接头的使用寿命与所受应力成反比,钻杆接头所受应力越大,使用寿命越短^[6,7]。该批钻杆在2口4500 m的井使用期间未发生异常钻井事故,最大狗腿度仅1.0(°)/25 m,但却有近1/10的钻杆接头在吊卡台肩部位产生裂纹或发生断裂事故。这说明该种结构尺寸的钻杆接头不适宜在该类深井使用。

5 结论

Conclusions

(1) 钻杆内螺纹接头直角吊卡台肩根部裂纹属于疲劳裂纹。裂纹原因主要是该处结构突变,应力集中。同时接头水眼大,加剧了该部位的应力集中。

(2) 建议选用斜坡台肩钻杆接头。

参考文献:

References:

- [1] API SPEC 7. Specification for rotary drill stem element. 40th ed. Washington(DC): API, 2001-11.
- [2] LV Shuanlu, FENG Yaorong, ZHANG Guozheng. Failure analysis of IEU drill pipe wash out [J]. Fatigue, 2005, 27: 1360-1365.
- [3] 吕拴录, 骆发前, 高林, 等. 钻杆刺穿原因统计分析及预防措施 [J]. 石油矿场机械, 2006, 35(S1): 12-15.
- [4] 高洪志, 吕拴录, 李鹤林, 等. 随钻震击器断裂事故分析及预防 [J]. 石油钻采工艺, 1991, 13(6): 29-35.
- [5] GAO Hongzhi, LV Shuanlu, LI Helin, et al. Failure analysis and prevention of drilling jar [J]. Oil Drilling & Production Technology, 1991, 13(6): 29-35.
- [6] 袁鹏斌, 吕拴录, 孙丙向, 等. 在空气钻井过程中钻杆断裂原因分析 [J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(5): 34-37.
- [7] YUAN Pengbin, LV Shuanlu, SUN Bingxiang, et al. Cause analysis on drilling pipe rupture in air drilling [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(5): 34-37.
- [8] 王新虎, 薛继军, 谢居良, 等. 钻杆接头抗扭强度及材料韧性指标研究 [J]. 石油矿场机械, 2006, 35(S1): 20-21.
- [9] WANG Xinhui, XUE Jijun, XIE Juliang, et al. Study of the torsion strength and material toughness criteria of drill pipe tool joint [J]. Oil Field Equipment, 2006, 35(S1): 20-21.
- [10] 吕拴录, 王新虎. WS1 Ø88.9 mm 四方钻杆断裂原因分析 [J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(5): 47-49.
- [11] LV Shuanlu, WANG Xinhui. Analysis on Ø88.9mm square kelly break in well WS1 [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2004, 26(5) 47-49.

(修改稿收到日期 2008-11-09)

[编辑 薛改珍]

径向流核桃壳过滤技术应用效果良好

笔者近日获悉,大港油田采油三厂官一联污水处理站应用径向流核桃壳过滤技术后,已经连续11个月实现稠油污水水质达标。目前,在进水要求含油量 ≤ 100 mg/L、悬浮物固体含量 ≤ 40 mg/L的情况下,该站处理后污水平均含油为2.4 mg/L,平均悬浮物固体含量为5.6 mg/L(过滤精度根据生产需要可调),完全满足含油量 ≤ 20 mg/L,悬浮物固体含量 ≤ 15 mg/L的生产水质指标要求。

近年来,该厂技术人员为彻底解决官一联污水处理系统水质不达标问题,探索应用了多种污水水质治理技术,经过反复试验论证,于2007年底优选了山东海吉雅环保设备有限公司“径向流核桃壳过滤”技术。该技术将混凝、离心分离除油、微涡旋除污降浊等多种

功能集于一体,实现一体代多级和一器多能,大大简化水处理流程、降低了工程投资和运行成本。同时充装滤料采用机械化,具有不停产补充滤料的功能,在反冲洗过程中采用滤料罐体外循环搓洗再生方式,使滤料冲洗更彻底。通过近一年的试验应用,该技术彻底解决了官一联稠油污水水质治理难题。

径向流核桃壳过滤技术的成功应用,不仅有效改善了该站的污水处理效果,降低了管理难度,还为其他污水站水质治理达到环保指标提供了可借鉴经验,使大港油田采油三厂污水水质治理工作取得了新进展。

(供稿:李孝东 李才雄 何永明 郭洪香)