

鄂北工区 G-105 钻杆失效原因的探讨

宋宏喜¹, 荣士伟², 刘 杰²

(1. 中石化华北石油局第五普查勘探大队, 河南 新乡 453700; 2. 中石化华北石油局第九普查勘探大队, 山西 晋中 030600)

摘 要: 针对鄂北工区 30521HB 井队频发的 G-105 钻杆失效事故进行了分析和研究。钻具失效的主要原因是由于钻杆内壁未采用内涂层以及钻具的偏磨及氧腐蚀穿孔而造成。

关键词: 腐蚀疲劳; 钻杆失效; 内涂层

中图分类号: TE921+.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2004)07-0050-04

2002 年 3 月中石化华北石油局第九普查勘探大队自宝钢购进 $\varnothing 127 \text{ mm} \times 9.19 \text{ mm}$ IEU G-105 钻杆 3000 m, 其中 1000 m 钻杆进行了内涂层处理。该批钻杆 2002 年 4 月开始在内蒙古鄂尔多斯工区使用, 截止到 2003 年底, 累计钻井 7 口, 进尺 19969.06 m。自 2003 年施工 DK3 井开始陆续发生了 15 起钻杆本体刺穿、开裂失效事故, 给井队生产造成巨大经济损失。事故发生后第九普查勘探大队及宝钢针对频发的钻具失效事故进行了认真的分析和研究, 认为钻具失效的主要原因是由于未采用内涂层、钻具的偏磨及氧腐蚀穿孔造成的。

1 事故钻具情况概述

自 2003 年 3 月 24 日 DK3 井 1646.91 m 发生两根钻杆管体分别距公接头 4.6 m 刺穿、1.14 m 横向环形开裂起至 2003 年底共计发生 15 起(17 根钻杆)钻具失效事故(见表 1)。

钻杆的失效全部发生在管体上, 远距对焊接头部位, 多为刺穿孔、横向裂纹, 失效部位无明显的规律性。

2 事故钻具的调查

该批钻具由 30521HB 井队用于鄂北工区天然气勘探钻井, 所钻井多为开发及部分勘探直井, $\varnothing 311 \text{ mm} / \varnothing 216 \text{ mm}$ 二级井身结构。钻井参数一般控制在: 钻压 160~200 kN, 转盘转数 60~80 r/min, 泥浆泵排量 22~25 L/s, 泵压 6~13 MPa。钻井液主要采用钾基聚合物泥浆体系, 泥浆性能: 密度 1.04~1.1 g/cm³, 漏斗粘度 25~30 s, pH 值 8~9。

表 1 钻具事故统计表

井号	事故编号	事故钻杆编号	钻井井深 /m	井深位置 /m
DK3	1	1	1646.9	1035
		2	1646.9	147
	2	3	1646.9	147
		4	1820.55	186.2
	3	5	1962.7	245
		6	2222.5	852.6
DK9	7	8	2119.9	266
		9	2119.9	133
	8	10	2384.7	2112.8
		11	2758.4	1308.5
D33	10	12	2067.4	427.5
D36	11	13	1485.3	5
		14	1542.4	45
	13	15	1767	336.1
		16	2395.4	1836.4
	15	17	2623.2	1147.8

鄂北地区地层稳定井身质量较好, 30521HB 井队所施工的 7 口井工程质量优质率 86%, 只有 D33 井 540 m 井斜 6.65°, 井眼曲率 2.91°/30 m。

2002 年鄂北工区各钻井频发下部钻具失效事故, 换用进口钻铤、改变钻进参数后下部钻具失效事故基本消除。2003 年 30521HB 井队在用的宝钢 G-105 频发钻杆失效事故, 针对频繁发生钻具失效事故, 第九普查勘探大队联合宝钢对 30521HB 钻井队进行事故调查。根据井队反映在钻井过程中发现有钻杆接头偏磨、加单根时钻杆内壁有锈蚀物脱落现象。同时对失效钻具断口进行观察分析, 失效钻具断口多以管体横裂或横裂+刺孔形貌为主, 失效形式有一定的规律性。

收稿日期: 2004-06-03

作者简介: 宋宏喜(1968-), 男(汉族), 河南新乡人, 中石化华北石油局第五普查勘探大队助理工程师, 钻探工程专业, 从事钻井安全管理工作, 河南省新乡油田第五普总工办王金生收转, 13772332836。

为进一步探讨钻具失效的原因,随机抽样对 1、4 号事故钻杆采样进行了断口分析、材质检验,金相形貌、电子探针、X 射线衍射等化验分析。

2.1 失效部位的宏观断口分析

断口多为管体横裂或横裂+刺孔。引起钻杆失效的本质是钻杆疲劳,管体的刺孔有明显的疲劳裂纹扩展迹象。

2.2 材质检验

失效钻杆的接头和管体分别采用 DIN 36NiMo4、DIN 34CrMo4 钢。对采样经 SPEC TROVC-10000 型直读光谱仪和 CS-440 型碳硫分析仪分析,管体材质的化学成分符合 DIN 34CrMo4 钢要求;拉伸、冲击等机械性能检验测试均超过 API 标准;采样金相的晶粒度、非金属夹杂物、带状组织、金相组织分析均无异常;管理材质冶金质量较好,综合机械性能符合 API 标准要求。

2.3 金相形貌分析

采样失效钻杆内壁表面腐蚀严重,并形成多处腐蚀坑。为了进一步观察表面腐蚀及蚀坑形貌,沿管壁垂直截面取样,制成金相试样进行放大观察。

由失效钻杆采样可以看出,内壁表面已形成大面积腐蚀损伤。宏观看腐蚀属点腐蚀,在金属表面众多的腐蚀微坑沿管壁向纵深发展;微坑大小不一,形态各异,坑底平整,趋于圆滑过渡,没有坑底微裂纹及应力腐蚀开裂的特征。经测量,1 号失效钻杆采样内壁蚀坑深度一般不超过 $1\ \mu\text{m}$,蚀坑直径 $100\sim 300\ \mu\text{m}$ 者较多,最大蚀坑深度超过 $400\ \mu\text{m}$,蚀坑直径接近 $1\ \text{mm}$ 。钻杆内壁腐蚀扩展是先在边缘形成一个小点蚀坑,小蚀坑逐渐聚集长大,向金属内壁蔓延并不断地“吃掉”金属,形式典型的腐蚀损失机制。

失效钻杆采样的外壁腐蚀明显比内壁小很多,但也形成一些小的点蚀坑。

2.4 电子探针分析

为了确定腐蚀成因,保持管内壁表面腐蚀产物,沿截面垂直取样采用电子探针线扫描分析腐蚀产物从表至内的成分含量,结果见图 1。可以看出,腐蚀产物主要成分为铁和氧,在基体及锈蚀物层中有少量的 Cr 偏析。

2.5 X 射线衍射分析

为了确定产物的相结构,采用 X 射线衍射方法对 1 号失效钻杆采样内壁腐蚀产物进行物相扫描,并对扫描图谱进行物相分析,结果见图 2,可以看

出,腐蚀产物的相组成主要为 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 Fe_2O_3 以及 FeCr_2O_4 。

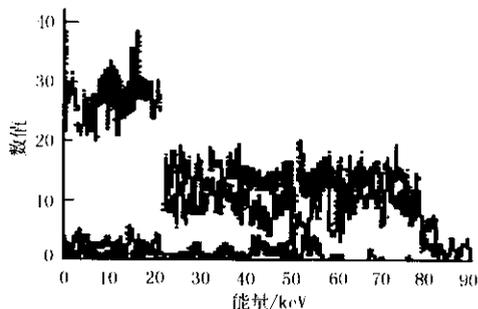


图 1 电子探针能谱图

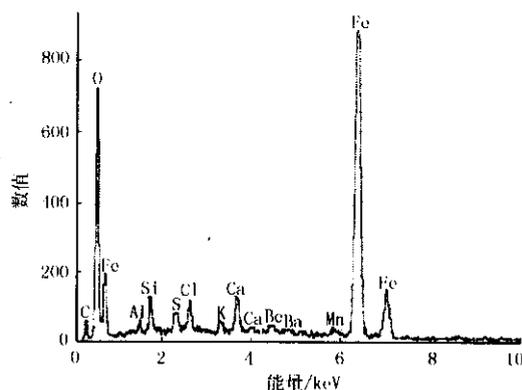


图 2 X 射线能谱图

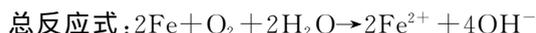
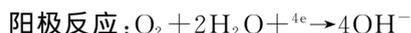
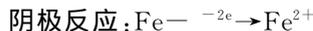
通过调查分析研究,认为钻杆的失效主要是管体内壁腐蚀、应力疲劳引起。

3 钻具腐蚀成因分析

3.1 失效钻具的腐蚀物来源

从腐蚀的物相分析结果可以看出,1 号和 4 号失效钻杆腐蚀产物主要是 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 Fe_2O_3 以及 FeCr_2O_4 等。单从腐蚀产物以及腐蚀层间成分变化的定性分析来看可以确定主要是氧腐蚀,而且是比较严重的氧腐蚀。

一般认为,当钻井液中有溶解氧存在时,由于钻杆内壁直接裸露在含氧介质中,其表面金属易发生吸氧腐蚀反应。



亚铁离子随后水解生成 $\text{FeO}(\text{OH})$,脱水和进一步氧化后变成 Fe_2O_3 ,可以从钻杆表面上的黄色 $\text{FeO}(\text{OH})$ 和棕红色 Fe_2O_3 等腐蚀产物得到证实。腐蚀产物对腐蚀的动力学影响很大,一般情况下, Fe_2O_3 和 $\text{FeO}(\text{OH})$ 都是疏松多孔的,在钻杆管体上附着力差,不起保护作用,使氧腐蚀可以无阻碍地继

续进行下去^[1]。

3.2 失效钻具的腐蚀环境分析

钻井过程中,钻井液循环系统是完全开放的,大气中的氧气以及地表、地下水中的氧会通过泥浆罐、泥浆泵等设备在钻井液的循环过程中混入其中成为游离氧;部分氧会溶解在钻井液中,甚至会达到饱和状态^[2]。当泥浆中含有一定量的溶解氧后,就会形成对钻杆服役过程中有氧腐蚀的环境。文献^[2]研究认为,氧在水相中的溶解度对钢铁表面腐蚀速率存在如下关系式:

$$V \approx 3[O_2]$$

式中:V——钢表面腐蚀速率,mm/y;[O₂]——水相中溶解氧浓度,ppm。

显然水相液体中溶解氧含量增加,对钢铁表面的腐蚀速率亦呈线性增加(见图 3)。

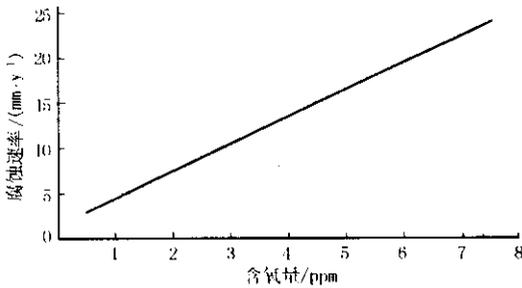


图 3 含氧量对碳素钢腐蚀速率影响

在钻井过程中,泥浆中的氧与钻杆壁接触受钻井液密度、泵压、泥浆流速以及相对粘持时间和温度等因素的影响。当停钻接单根或处理事故停泵循环时,泥浆中含氧腐蚀介质在钻杆壁表面停留时间相对增长,会促使钻杆发生氧腐蚀。另外,泥浆密度低、井下温度高等都有利于泥浆中氧的溶解,从而加大对钻杆的腐蚀。

3.3 钻井液的性能对腐蚀的影响

研究表明,泥浆中 pH 值大小对钻杆表面的吸氧腐蚀也有很大影响,当 pH 值 ≥ 9.5 时,含氧腐蚀介质与钻杆表面铁反应生成 FeO(OH) 或 FeO(OH)₂,且会在钻杆表面被腐蚀处形成致密的保护膜,使表面钝化,腐蚀速率大大降低。实际施工中井队钻井液 pH 值控制在 8~9,不利于抑制钻杆壁表面的吸氧腐蚀发生。文献^[5]研究表明:含 NaCl 24.5% 的泥浆中 pH 值由 8 升至 10,钻杆腐蚀速率由 0.33 mm/y 下降到 0.07 mm/y,可降低 79%。钻杆的腐蚀速率基本上受氧的扩散控制,即提供给钻杆表面的氧越多,腐蚀速率越大。钻杆内壁表面属氧腐蚀,是钻井液中溶解氧引起的严重腐蚀。

万方数据

4 钻具疲劳分析

4.1 偏磨引起钻具强度降低

钻具在井眼中旋转运动是一个复杂问题,一般公认井下钻具旋转时存在着自转、公转、自转和公转共存 3 种形式。自转引起钻具的均匀磨损,公转引起钻具的偏磨,磨损后的钻杆几何尺寸影响着机械性能。2004 年 2 月通过对磨损后的钻杆壁厚的随机抽样测量结果同宝钢新钻杆平均壁厚^[6]对比见图 4。该批钻杆平均壁厚 9.04 mm,最小壁厚 8.04 mm,为新钻杆 9.54 mm 的 95%。个别钻杆磨损更严重,如第 16 号失效钻杆失效部位采样酸洗后实测壁厚为 7.4 mm。钻具的磨损加上钻杆内壁的腐蚀总体上使钻杆强度大大下降。

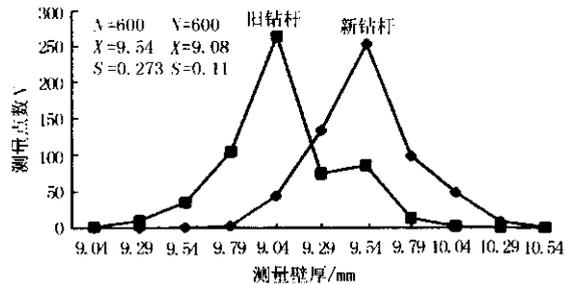


图 4 新旧 G-105 钻杆平均壁厚对比

4.2 钻杆的疲劳寿命影响

4.2.1 疲劳交变应力的影响

腐蚀疲劳受腐蚀环境和疲劳载荷两种因素的支配,但不是简单的叠加,在腐蚀介质和交变载荷作用下,钻具疲劳寿命显著降低,见应力破断($\sigma-N$)曲线(图 5),一般认为疲劳应力下钻杆断裂循环次数为 10^7 ,旋转钻井中疲劳应力是影响钻具疲劳寿命的关键。腐蚀介质加速了裂纹的萌生和扩展,交变载荷或变形又促进了腐蚀过程的发展。腐蚀坑点处的应力集中促使裂纹萌生,疲劳变形促使腐蚀钝化膜开裂,加速金属在介质中发生阳极溶解形成微观沟槽,最终形成疲劳裂纹。

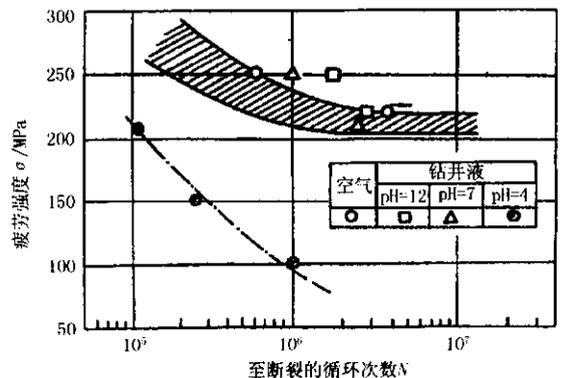


图 5 G-105 钻杆在大气和不同 pH 值钻井液中 $\sigma-N$ 曲线

4.2.2 累积腐蚀疲劳损伤的影响

井眼曲率意味着钻具承受弯曲交变载荷,钻具在严重井斜段弯曲交变应力下承受的交变循环应力损伤不可恢复,累计断裂循环次数至疲劳极限时即发生断裂(一般认为疲劳应力下钻杆断裂循环次数为 10^7)。井斜段下部钻具疲劳断裂寿命参数可由图 6 求得。

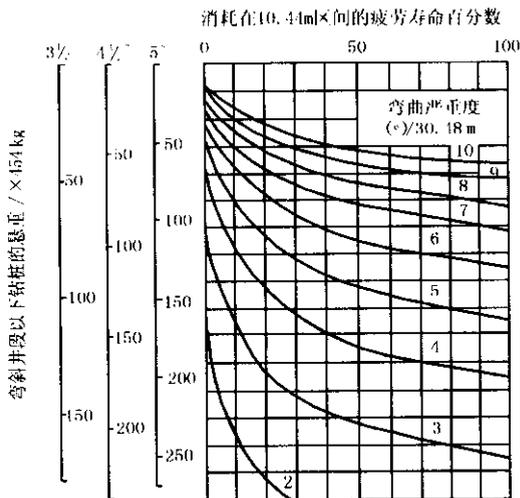


图 6 严重腐蚀介质中钻杆在平缓变化的弯斜井段的腐蚀疲劳损伤

$$D_i = D_{oi} \times (\text{实际转速}/100) \times (10/\text{实际钻速})$$

式中： D_i ——钻杆的寿命消耗百分数； D_{oi} ——10.44 m 钻杆的寿命消耗百分数。

该批钻杆服役中尽管已经发现了钻杆接头的偏磨等问题,没有引起足够的重视,偏磨钻杆继续入井

导致钻杆工况恶化,影响钻杆使用寿命。

5 结论和建议

(1)该批钻杆化学成分、金相组织、机械性能、内加厚过渡区结构等各项指标均符合 API 标准、SY/T5987 标准和用户订货技术条件。

(2)钻杆管体断裂、刺穿、裂纹均属于腐蚀疲劳。

(3)造成钻杆失效原因有:①失效钻杆没有内涂层,加速了内壁的腐蚀;②钻井液 pH 值 $<10\sim12$,有添加缓蚀剂,加速了钻杆服役中遭受严重腐蚀;③钻杆接头的偏磨、个别井斜段钻杆管体在弯曲应力下的疲劳循环损伤不可恢复性促进了管体的疲劳裂纹扩展、刺穿及断裂。

(4)建议进行内涂层及接头喷焊耐磨合金带处理后降级使用。

参考文献:

[1] 李鹤林,等.石油钻杆失效分析与预防[M].北京:石油工业出版社,1999.
 [2] 编委会.钻井手册(甲方)[M].北京:石油工业出版社,1990.
 [3] 陈理中,等.美国钻井手册[M].北京:石油工业出版社,1985.
 [4] API RP7G 钻柱设计与操作限度的推荐作法(第 14 版)[Z], 1990.
 [5] 卢绮敏,等.石油工业中的腐蚀与防护[M].北京:化学工业出版社,2001.
 [6] 张毅,等.石油专用管柱失效分析案例集[Z].上海:宝钢股份有限公司,2001.

(上接第 49 页)

部层理清晰,未扰动岩心直径大于 80 mm。取心率见表 1。

表 1 实际取心效果表

孔号 (位置)	层位	岩性	总进尺 /m	总回次	岩心总长 度/m	取心率 /%
HQ1(江苏黄桥)	Q ₃₋₄	粘性土 35%、砂土 65%	0~70.6	41	67.2	91
HM1(江苏海门)	Q ₃₋₄	粘性土 30%、砂土 70%	0~80.4	49	78.2	93.5
NBI(浙江宁波)	Q ₁₋₄	粘性土 30%、砂土 70%	0~104.6	52	98	93.7

5 结语

就目前的取心效果看,基本满足研究的要求,而且工期短,成本低,值得推广。当然,该钻探技术在其它地区的适应性尚不得而知,有待于今后的尝试。是否适用于其它地层,也都需要进一步试验探索。

需要特别指出的是,在第四纪地质研究中取心决不是一个简单的钻探工作,应予以高度重视,否则会影响研究的精度。在实际钻探过程中,应加强科研人员、钻探设备开发者、钻井工程师以及操作工人等多方面的密切合作。针对实际情况,合力攻关,现场及时发现与解决问题,甚至提前预测可能出现的问题,及时调整钻探工艺,以达到理想的取心效果,为后续研究打下坚实的基础。

参考文献:

[1] 刘宝林,何跃文,司敬成.湖泊环境科学钻探施工技术[J].探矿工程,1999,(2):47-49.
 [2] 朱荣汉,孙福堂.粘性土、砂土保真取心技术[J].勘察科学技术,1991,(5):60-63.
 [3] Reiner, H. 泥状岩样取心钻进方法及钻具[J].探矿工程,1992,(4):57-59.