

钻杆的失效分析

刘 辉^{1,2}, 付春艳^{1,2}, 周咏琳^{1,2}, 李 萍¹, 刘晓嘉³

(1.西南石油大学,四川 成都 610500;2.四川石油管理局安全环保质量监督检测研究院,四川 广汉 618300;

3.四川石油管理局质量安全环保部,四川 成都 610051)

摘 要:对某油井连续发生12次刺穿断裂事故进行了调查,用力学试验、化学分析、金相、扫描电镜、能谱分析等手段并结合现场实际情况对刺穿钻杆进行了失效分析。结果表明,由空气钻井改用泥浆钻井时,由于只改变了钻井方式和钻头,未改变钻具组合而导致钻具与井壁之间的间隙过大,从而导致钻杆的疲劳断裂。

关键词:钻杆;失效分析;疲劳断裂;钻具组合

中图分类号:TE249;TP273*.1

文献标识码:A

文章编号:1672-4984(2008)04-0119-03

Failure analyses of drilling pipes

LIU Hui^{1,2}, FU Chun-yan^{1,2}, ZHOU Yong-lin^{1,2}, LI Ping², LIU Xiao-jia³

(1.Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2.Safety Environment Quality Surveillance and Inspection Research Institute of CNPC Sichuan Petroleum, Guanghan 618300, China;

3.Quality Safety and Environment Department of CNPC Sichuan Petroleum, Guanghan 618300, China)

Abstract: The 12 continuous pier-cement fracture accidents were investigated, and failure analyses was conducted on pier-cement drilling pipes by means of mechanical analysis, chemical analysis, metallographic analysis, scanning electron microscopy (SEM), energy spectrum analysis according to the local situation. The result indicates that the fatigue fracture of drilling pipes is caused by the over wide clearance between the drilling tool combination and the well wall, and the over wide clearance is formed if only the drilling mode and bit are changed but the drilling tool combination not changed in the course from air drilling to mud drilling.

Key words: Drilling pipe; Failure analysis; Fatigue fracture; Drilling tool combination

1 引言

钻杆是石油钻井的主要工具之一,它是组成“钻柱”的主体。其上方接方钻杆,下方连钻铤。钻杆与钻杆、钻杆与方钻杆、钻铤之间通过短节、接头、接箍用螺纹连成整体。钻杆下接钻头,并利用钻铤的重量给钻头加压钻进。

由于钻柱在钻井作业中承担着在几千米深的井眼中传输钻井动力,其工作条件是十分苛刻的。这就对钻杆的工作性能提出了很高的要求。

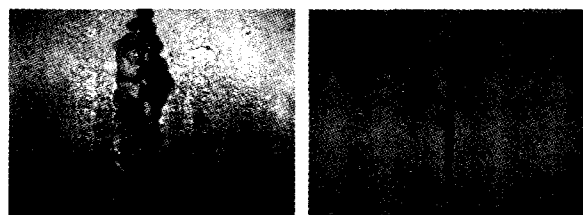
处于四川地区的某井,设计井深为5100m。在准备二开空气钻井烘干井壁施工中,因地层出水而不具备空气钻井条件,从而改用低固相泥浆钻进。在钻进过程中,半个月的时间内连续发生了12次钻杆刺穿,并且这些断裂的钻杆为不同生产厂家。

为了弄清钻杆频繁刺断的原因,避免或减少类似问题的发生,该井队的上级单位委托笔者所在单位对失效的 $5\frac{1}{2}$ "×9.19-S135钻杆进行失效分析。

2 外观检查

失效钻杆管体的宏观形貌见图1。由图1可以看出,除刺穿开裂部位外,内表面防腐层完好;外表面光滑,腐蚀情况较轻。

对管体外表面进行磁粉探伤,未发现缺陷。目测



(a)外表面

(b)内表面

图1 钻杆表面宏观形貌

收稿日期:2007-12-07;收到修改稿日期:2008-03-11

作者简介:刘 辉(1976-),女,工程师,主要从事理化性能检测工作。

管体内表面涂层完好。对裂纹附近进行了超声波测厚,裂缝附近:左侧的管壁厚度为:9.6 mm、9.5 mm、9.4 mm、9.5 mm、9.5 mm;右侧的管壁厚度为:9.6 mm、9.5 mm、9.4 mm、9.5 mm、9.4 mm;远离裂缝的管体上的管壁厚度为:9.5 mm、9.5 mm、9.5 mm、9.5 mm、9.5 mm。显然,管壁没有明显的变形减薄。

3 理化检验

3.1 材质检验

在失效的钻杆管体上取样进行化学成分分析,结果见表1。

表1 钻杆的化学成分分析结果

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
标准要求	/	/	/	≤0.030	≤0.030	/	/	/	/	/
实测含量(%)	0.28	0.26	1.42	0.006	0.004	0.26	0.03	0.42	0.04	0.046

从表1所列实测数据可判断,钻杆的P、S含量符合标准SY/T 5987-1994《钻杆国外订货技术条件》的要求。

从钻杆上取样进行力学性能试验,其结果见表2。

表2 钻杆的力学性能试验结果

性能指标	屈服强度 ($R_{0.2}$)MPa	抗拉强度 (R_m)MPa	断后伸长率 (A)%	硬度 HB	冲击吸收 功 A_{KV} J
标准要求	931~1138	≥1000	≥11	/	≥43
实测均值	1105	1116	13.0	358	67.0

从表2所列实测数据可判断,钻杆所有的力学性能指标均符合标准SY/T 5987-1994《钻杆国外订货技术条件》的要求。



图2 断口宏观形貌

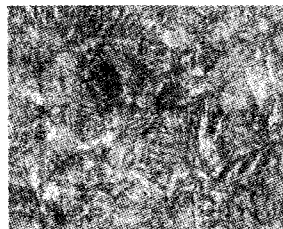


图3 金相组织(回火索氏体)×400

3.2 断裂形貌及金相分析

从裂缝处敲开,将断口表面清洗干净后观察,发现刺穿表面光滑,已丧失新鲜断口原貌,见图2。在失效钻杆刺穿断口处取金相试样,在显微镜下对纵向试验面进行观察,其基体组织为回火索氏体见图3。非金属夹杂物为D类(球状氧化物):2.5级;晶粒度等级为8级。管体非金属夹杂物和晶粒度等

级均符合标准要求;钻杆基体、断口附近的显微组织均为回火索氏体,无补焊等导致的异常组织。

4 电子显微分析

4.1 断口分析

由于裂缝被泥浆固-液双向流体冲刷得很光滑,用扫描电镜观察,在低倍下,难以发现断口中部冲刷光滑区的细节,其形貌如图4。在较高放大倍率下观察,发现其形貌为被钝化的辉纹,细节如图5。



图4 裂缝中部冲刷光滑区形貌(疲劳台阶)×30

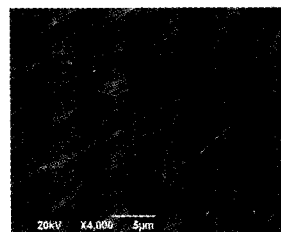


图5 裂缝中部冲刷光滑区形貌(辉纹)×4000

对裂缝断口处的金相试样沿管壁内外侧进行观察,发现试样上管壁外表面一侧有两个腐蚀小坑,其形貌见图6、图7。腐蚀坑深度分别为0.3 mm、0.4 mm。

4.2 能谱分析

对附着在断口上的产物做能谱分析,其结果为碳、氧、铝、硅、钾、钙和铁元素,这些元素为泥浆沉积物和泥土的组成元素。

5 断裂原因分析

从上述材料试验结果来看,此钻杆的各项材料性能指标均符合标准要求,钻杆失效与材料本身无关。因此,失效原因应从钻杆工作条件来分析。

在钻井过程中钻杆承受着多种载荷,主要有:

(1)在正常钻进及起下钻时,钻杆将承受正常的扭转、拉伸和振动力;(2)当井下钻具被卡阻而采取“解卡”措施时,钻杆可能承受比正常情况下更大的扭转力、拉伸力;(3)在打定向斜井或直井过程中,出现严重狗腿以及不正常操作,如利用钻杆加压

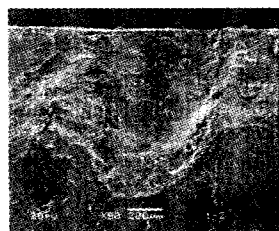


图6 裂缝中部腐蚀形貌×80

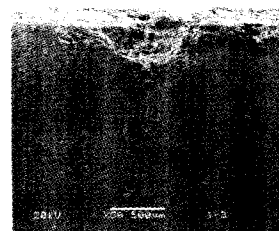


图7 裂缝尾端处腐蚀坑×50

时,钻柱中的钻杆组成段将因受压而弯曲,从而受到弯曲载荷的作用;(4)中途测试时,钻杆会因钻柱掏空而承受外挤压力;(5)深井涡轮钻及高压喷射钻井时,钻杆会承受较高的内压力。

在工作状态下,单从作用力与材料失效的关系讲,一般认为:只要作用力产生的合应力不大于钻杆材料的屈服强度,则钻杆便不会产生塑性变形;只要不超过钻杆材料的抗拉强度,钻杆便不会产生快速断裂。当工作状态下存在交变力作用时,只要合应力不大于钻杆材料的室温疲劳强度,则钻杆可以在此应力下长期工作而不会疲劳失效;但是,如果合应力大于钻杆材料的室温疲劳强度,则钻杆将在此合应力的作用下产生疲劳裂纹,随着疲劳裂纹的扩展而最终导致断裂。

从该钻杆断口的宏观照片上可以看到,断裂面上连续不断的一个个台阶,这就是扭曲疲劳形成的贝壳纹。每次合应力幅值的变化会产生一条贝壳纹。这些台阶的大小反映了疲劳作用应力幅值的变化。台阶越大,证明了应力变化越大,作用时间越长。该钻杆的疲劳台阶大多在1 mm以上。由此可推断造成钻杆疲劳断裂的应力变化很大。

从扫描电镜断口照片(图5)上,可以看到明显的疲劳裂纹扩展产生的疲劳辉纹。由于受到了冲刷,疲劳辉纹已经钝化变圆。疲劳辉纹的宽度反映了交变应力幅的大小。交变力造成的合应力越大,每次应力循环产生的疲劳辉纹越宽,疲劳裂纹扩展的速度越快,钻杆越容易在短时间内断裂失。

众所周知,材料的疲劳强度远低于材料的抗拉强度和屈服极限。在空气介质中,材料的疲劳强度一般只有强度极限的40%~60%;在腐蚀介质中,材料的疲劳强度则更低,而且随腐蚀介质种类和具体成分而剧烈变化。同时,疲劳断裂还对材料内部的缺陷比较敏感,因为材料内部的夹杂、表面的缺陷和腐蚀坑会导致应力集中,可使局部应力增大至工作应力的数倍。因而这些部位有利于成为疲劳开裂的源点。钻杆外表面上存在少许腐蚀坑,因此,不排除其作为疲劳开裂源的可能。

据用户介绍该井原为空气钻井,二开钻进出水后钻井方式从气体钻进改为钻井液钻进,将空气锤改为127/16" PDC钻头,钻进方式改变了而钻具组合未变,未及时按设计补充增加 $9\frac{1}{2}$ "和9"钻铤,导致钻具与井壁之间的间隙过大,使钻头与钻具极不

稳定,因钻铤刚性,钻杆柔性导致钻具在钻铤与钻杆连接区域不断发生圆摆而产生交变应力(弯曲应力)。同时,由于使用大尺寸PDC钻头,转盘驱动,钻杆承受了较大的扭矩。当钻头遇到卡阻时,为了“解卡”势必采用更大的扭矩。这三者就是导致疲劳断裂的交变应力产生及其幅值大幅变化的根源。

当钻杆不断受到上述交变的弯曲和扭曲应力的作用下,在应力幅值大于材料的疲劳强度时,经过疲劳裂纹萌生期后,疲劳裂纹源就会在受应力最大(弯曲最大处的钻杆外表面)处,特别是表面缺陷(腐蚀坑)处形成并逐步扩展。当裂纹扩展至钻杆内壁附近时,泥浆在内压作用下喷射而出,使裂纹处受到强力冲刷而快速扩大。

6 结束语

通过上面的分析可以推断钻杆的断裂过程应该是:钻杆在扭转、弯曲和内压力的作用下造成的合应力超过材料的室温扭曲疲劳强度后,因钻杆外表面材料承受的应力最大,因此,疲劳源点首先在钻杆外表面上生成。尤其当外表面上存在腐蚀坑等缺陷时,则疲劳源点将优先在这些部位生成。疲劳源点生成之后,在扭转、弯曲和内压三者及其他力产生的合应力作用下快速扩展,最终形成疲劳裂纹。当裂纹扩展至接近管体内壁时,由于管内钻井液的高压作用而最终导致管壁被刺穿。管壁刺穿之后,钻杆内部的钻井液随之喷出,高速的钻井液固-液双相流体立即冲刷管壁断裂面。随着冲刷时间的增加,断裂面先冲刷变光滑,然后逐步形成凹坑。凹坑的形貌反映了钻井液流体的扩张形貌。

参考文献

- [1] 杨自林,游华江,蹇宗承.钻具失效事故的原因分析及对策[J].天然气工业,2000,20(3):57-59.
- [2] 李伟华,黄建欣.钻杆在定向孔中的疲劳破坏及造斜强度选择[J].煤田地质与勘探,1995,23(4):66-70.
- [3] 周梦雄,彭国良,邱宇.石油钻杆裂纹分析[J].钢管,2004,33(5):11-13.
- [4] 李连诗.钢管塑性变形原理[上册][M].北京:冶金工业出版社,1985:114-116.
- [5] 吕建国,桂暖银,胡远彪.钻杆失效理论分析方法初探[J].探矿工程,2001(5):55-57.
- [6] 孙智,江利,应鹏展.失效分析-基础与应用[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [7] SY/T 5987-1994,钻杆国外订货技术条件[S].1994.
- [8] 上海交通大学.金属断口分析[M].北京:国防工业出版社,1979.