

塔里木油田用钻杆失效原因分析及预防措施

周杰¹, 卢强¹, 吕拴录^{1,2}, 苏建文¹, 冯少波¹, 谢居良¹, 王中胜¹

(1. 塔里木油田, 新疆 库尔勒 841000; 2. 中国石油大学机电工程学院, 北京 100249)

摘要: 塔里木油田钻井条件苛刻, 钻杆受力情况复杂, 容易发生钻杆失效事故。分析了钻杆失效的原因, 介绍了相应的预防措施及其效果。认为现有钻杆标准不能满足塔里木油田的使用要求。多年实践证明, 塔里木油田通过制定钻杆订货补充技术条件和严格现场探伤规范, 有效地减少了钻杆失效事故, 延长了钻杆使用寿命。

关键词: 钻杆; 失效; 预防措施; 内加厚过渡带; 内螺纹接头; 内涂层

中图分类号: TE921+.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2010)04-0048-05

Investigation of Failure Causes for Drill Pipes Used in Tarim Oil Field and Relevant Preventative Actions

Zhou Jie¹, Lu Qiang¹, Lü Shuanlu^{1,2}, Su Jianwen¹, Feng Shaobo¹, Xie Juliang¹, Wang Zhongsheng¹

(1. Tarim Oil Field, Kuerle 841000, China;

2. Mechanical and Electrical Institute, China University of Petroleum, Beijing 100249, China)

Abstract: The well-drilling operation conditions in Tarim Oil Field are so harsh that drill pipes are under complicated loads, and thus apt to fail to operation. Failure causes of the said drill pipes are investigated, and relevant preventative actions and their effectiveness are elaborated. It is regarded that the prevailing drill pipe standard can be no longer satisfactory to the application requirements for drill pipes as used in Tarim Oil Field. Years' operation practices of the oil field have proven that drill pipe failure rate has been significantly reduced, and drill pipe service life prolonged, due to the supplementary technical terms for ordering, and the stringent site NDT specification as established by Tarim Oil Field.

Key words: Drill pipe; Failure; Preventative actions; Internally-upset transitional section; Internally-threaded connection; Inner coating

0 引言

近年来, 塔里木油田钻井数量不断增加, 对钻杆的需求量也不断增加。目前, 塔里木油田共有各种规格的钻杆 59 900 根, 能够保障 60 多口超深井同时作业。其中, $\Phi 127.0$ mm 钻杆 22 000 根, $\Phi 139.7$ mm 钻杆 6 000 根, $\Phi 88.9$ mm 钻杆 20 000 根。在用钻杆全部为 S135 钢级。

塔里木油田地质条件复杂, 高压盐水层、盐膏层分布广泛, 山前构造带地层夹层多、断层分布广、有巨厚的砾石层等。在钻井过程中井下蹩钻、

跳钻严重, 钻柱承受很大的拉伸、扭转和冲击等交变载荷; 在钻井过程中采用大钻压、高转速的大尺寸 PDC 钻头钻进的井段较长, 钻杆受力条件十分苛刻。由于井下的各种复杂工况交织在一起, 导致钻杆的使用环境非常恶劣, 失效事故频繁发生^[1]。本文将着重分析塔里木油田用钻杆失效的原因, 并介绍相应的预防措施及其效果。

1 钻杆失效原因分析

塔里木油田用钻杆的失效形式主要表现为钻杆内加厚过渡带刺漏、接头热裂和断裂。

1.1 钻杆管体内加厚过渡带刺漏

大量统计分析和失效分析研究结果表明, 塔里

周杰(1968-), 男, 高级工程师, 从事石油钻具使用、检验、维修、失效分析及管理工作。

木油田 90%以上的钻杆失效是钻杆内加厚过渡带刺漏^[2-3]，刺漏的主要井段在 $\Phi 244.475$ mm(9.625 in)套管内，钻杆刺穿属于疲劳裂纹失效(图 1)。



图 1 钻杆内加厚过渡带部位腐蚀疲劳裂纹形貌

钻杆刺穿的原因与钻杆的材料性能和内加厚成型质量较差有关，影响钻杆材料性能的主要指标是韧性和有害元素含量，影响钻杆内加厚成型质量的主要参数是加厚过渡带长度 M_{iu} 和过渡圆弧 R 。

1.2 钻杆内螺纹接头热裂

钻杆内螺纹接头热裂是困扰塔里木油田钻井工程的难题之一，在 2005 年之前，每年发生钻杆接头热裂(图 2)的数量都超过了 40 根。试验研究结果表明^[4-5]，钻杆内螺纹接头热裂是摩擦力和摩擦热共同作用的结果，钻杆内螺纹接头热裂实际上是摩擦裂纹(图 3~4)。由于摩擦裂纹一般较小，不容易发现，在随后继续使用过程中摩擦裂纹不断扩展，最终形成纵向穿透裂纹，往往在导致泵压下降之后才能发现。钻杆内螺纹接头热裂的原因主要与钻杆的旋转速度、侧向接触力和材料横向韧性有关。由于新钻杆接头外径大，与井壁摩擦的线速度高，热裂往往发生在新钻杆的内螺纹接头上。由于钻杆在狗腿度严重的井段承受的侧向力大，因此钻杆内螺纹接头热裂大多数都发生在狗腿度严重的井段。钻杆接头横向冲击功是影响接头热裂的一项重要指标。研究表明，接头横向韧性越低，越容易发生热裂；接头横向韧性越高，越不容易发生热裂。目前，API Spec 7、SY/T 5290 和 ISO/CD 11961 标准^[6-8]都没有对钻杆接头横向冲击功提出要求。

1.3 钻杆直线度偏差过大

钻杆直线度偏差的大小直接影响钻杆的使用性能。若钻杆直线度偏差过大，则在钻井过程中钻柱容易产生扭摆振动，加速钻杆与套管的磨损，从而导致钻杆早期失效。从新钻杆在第 1 口井使用的情况可以看出钻杆立柱明显弯曲。在钻井过程中，转



图 2 钻杆内螺纹接头热裂形貌



图 3 钻杆内螺纹接头表层摩擦热裂纹及摩擦热影响区形貌

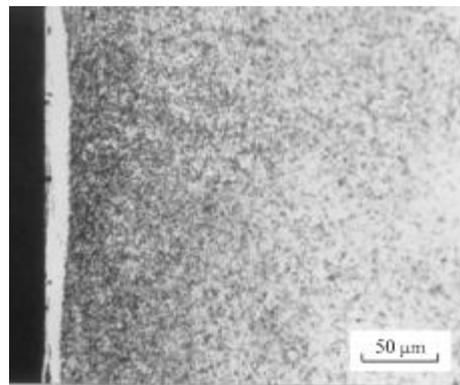


图 4 钻杆内螺纹接头表面白亮淬火层和高温回火层组织

盘转速超过 70 r/min 时钻柱剧烈扭摆震动，甩打井口，严重影响了钻井的正常生产。

钻杆管体和接头由摩擦焊接在一起，钻杆的直线度是由管体直线度和管体与接头对焊后的同轴度两部分决定的。钻杆管体直线度偏差越大，则钻杆管体与对焊接头的同轴度偏差就越大，钻杆的直线度偏差也就越大；管体两端镦粗加厚部分不同方向的外径差值越大，则对焊后管体与接头的同轴度偏差就越大。

钻杆管体是按 API Spec 5D 标准^[9]生产和检验的。API Spec 5D 标准规定所有 $\Phi 114.3$ mm 及更

大规格的钻杆都应进行直线度测量，直线度不得超出如下规定：①从管体一端至另一端的弦高不得超过管子总长度的 0.2%；②在每端 1.5 m 范围内，弦高不得超过 3.18 mm。

如果一根新钻杆管体长度为 9 m，则新钻杆管体允许的弦高就可以达到 18 mm 的偏差。有如此大的偏差，说明钻杆的弯曲已经非常严重。

API Spec 5D 标准规定，管体两端镦粗加厚部分不同方向的外径差值不应大于 2.36 mm。

管体与接头对焊后的钻杆是按 API Spec 7 标准生产和检验的。API Spec 7 标准规定，钻杆管体和对焊接头纵向轴线之间的同轴度在距焊缝 127~152 mm 的管体范围用座架规测量，最大同轴度偏差量表总读数不应大于 3.18 mm(偏心 1.59 mm)。

从钻杆使用方面考虑，SY/T 5369 标准^[10]对钻杆直线度提出了更严格的要求，规定钻杆管体全长直线度偏差(弦高)不超过 6 mm，在管体每端 3.0 m 范围内，弦高不得超过 3.0 mm。

对在使用过程中发现有弯曲问题的一批新钻杆回收后的检测结果表明，其几何参数均符合 API 标准规定。弯曲严重的钻杆超过了 SY/T 5369 标准规定，弯曲不严重的钻杆符合 SY/T 5369 标准规定。这说明 API 标准不能保证钻杆的直线度，而 SY/T 5369 标准也不能完全保证钻杆的直线度。

1.4 内涂层失效

内涂层可以有效地防止钻杆内壁腐蚀，大幅度地提高钻杆使用寿命。但是，如果内涂层质量不合格，就不能有效地保护钻杆。通过对钻杆解剖检查发现，凡是在钻杆内加厚过渡带消失区域内表面裂纹和腐蚀的位置涂层均已脱落(图 5)。失效分析表明^[11]，内涂层钻杆内加厚过渡带消失区域裂纹刺穿的过程为：内涂层首先脱落或破坏→腐蚀→裂纹→刺穿。这说明内涂层失效会降低钻杆的使用寿命。

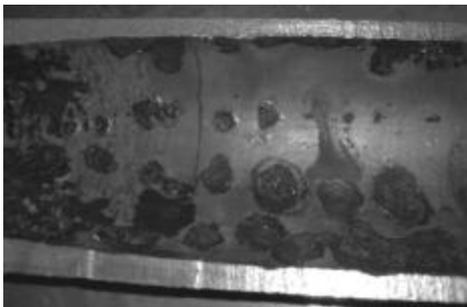


图 5 钻杆加厚过渡带消失区域内涂层损坏形貌

钻杆内涂层漏点是影响内涂层质量的主要指标之一。SY/T 0544 标准规定，每根内涂层钻杆在全长范围内的漏点数量不得大于 5 个。

在实际钻井过程中钻杆的受力条件十分苛刻，目前还没有在钻井条件下对钻杆内涂层质量进行评定的方法。如何提高钻杆质量，防止钻杆内涂层在使用过程中脱落是应当研究的问题。

2 预防措施及实施效果

2.1 有效控制钻杆刺漏事故

为了解决钻杆内加厚过渡带刺穿问题，塔里木油田根据失效分析研究结果采取了以下措施：①制定订货补充技术条件，对钻杆材料冲击韧性、有害元素含量、内加厚过渡带尺寸和过渡圆弧尺寸等提出了严格要求；②采用螺杆钻具；③采用垂直钻井技术。

通过采取以上预防措施，钻杆刺漏事故得到了有效控制(图 6)。2005~2008 年钻杆刺漏事故分别比上年下降了 27.5%、71.1%、42.9%及 35.0%。

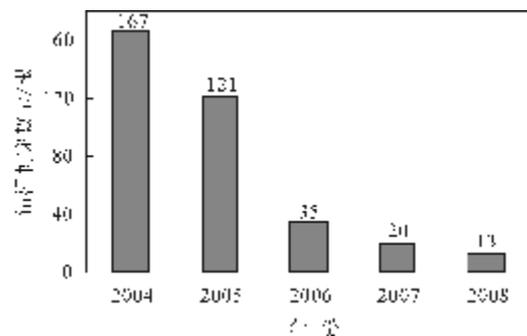


图 6 2004~2008 年塔里木油田钻杆刺漏数量统计

2.2 明显减少钻杆接头热裂数量

在钻杆接头上敷焊新型耐磨带不但可以防止钻杆接头直接与井壁或套管之间摩擦，有效地预防接头热裂，还能减少钻杆接头对套管的磨损。为了防止钻杆内螺纹接头热裂，塔里木油田依据试验研究结果，采取了以下措施：①对钻杆接头横向冲击功提出具体要求；②2003 年以后在钻杆接头上敷焊新型耐磨带材料；③采用 Power-V 垂直钻井技术，有效防止钻杆接头与井壁或套管之间的摩擦。

通过采取以上预防措施，塔里木油田钻杆接头热裂数量明显减少。钻杆接头热裂数量 2004 年以前每年超过 1.10 根/万m；2004 年下降至 0.78 根/万m，

2005 年为 0.13 根/万m, 2006 年为 0.20 根/万m。

2.3 对钻杆直线度提出严格要求

根据分析研究结果, 塔里木油田对钻杆直线度提出了如下补充技术要求: ①新钻杆管体直线度偏差比 API 标准和 SY/T 5369 标准要求更严; ②钻杆管体和对焊接头纵向轴线之间的最大同轴度偏差比 API Spec 7 标准要求更严; ③管体两端镟粗加厚部分不同方向外径差值比 API Spec 5D 标准要求更严。

钻杆直线度检验方法参照 API Spec 5D 标准执行。所有 $\Phi 114.3$ mm 及以上规格的钻杆都应进行直线度测量, 且不应在加厚消失处测量。直线度(偏离直线弦高)不得超出如下规定: ①管体全长直线度偏差不超过 0.04%; ②两端 3.0 m 范围内直线度不超过 1.5 mm。

在实施上述对钻杆直线度的技术要求之后, 塔里木油田订购的钻杆质量得到了明显改善, 再也没有发生由于新钻杆几何尺寸问题导致钻杆柱弯曲失效而影响钻井正常生产的情况。

2.4 严把内涂层质量关

为了提高钻杆内涂层质量, 塔里木油田根据分析研究结果, 要求每根钻杆在内涂层的全长范围内的漏点数量不得大于 3 个, 在加厚过渡带消失区域不得出现漏点。

对涂层质量提出补充技术要求之后, 塔里木油田所订购的钻杆内涂层失效事故明显减少。

2.5 严格钻杆探伤规范和管理

加强钻杆使用管理, 及时进行探伤检查, 可以有效地防止钻杆发生断裂和刺穿事故。塔里木油田采用钻杆分级管理, 建立了单根钻杆管理数据库, 每根钻杆都分配有唯一的身份证号码。所有钻杆在上井使用后, 不论时间长短, 都要回收进行整体检测和分级。采用的钻杆分级检测设备有进口管体漏磁检测设备、磁粉探伤仪、超声波探伤仪、射线探伤仪、涂层检测仪、硬度计以及磁记忆检测仪等。依据 SY/T 5824-1993 和 API RP 7G 标准^[12-13], 对管体腐蚀、接头磨损、螺纹状况、加厚过渡带疲劳裂纹等技术指标进行检测, 并确定钻杆的质量级别。所有的单根检测数据和使用历史都记录在单根管理数据库中, 可以统计钻杆单井接头的平均磨损量、平均外径、平均长度等。

塔里木油田制定了自己的检测分级标准, 包括钻杆螺纹超声波检测、加厚过渡带超声波探伤以及

钻杆的几何尺寸检测标准。对于钻杆内加厚过渡带、卡瓦牙咬伤部位和接头直角吊卡台肩根部均采用超声波和磁粉探伤相结合的方法进行检验。

在分级标准上相对于 API RP 7G 和 SY/T 5824-1993 标准, 最小剩余壁厚提高了 5%。钻杆接头外径采用的是最小外径, 而不是标准规定的平均外径。加厚过渡带超声波探伤灵敏度提高了 6 dB。加强了加厚过渡带内涂层状况的检查。

由于严格了钻杆探伤规范和管理, 在探伤检查过程中及时发现了有疲劳裂纹的钻杆, 有效地防止了钻杆断裂和刺穿事故。例如, 2005 年全年共检测分级钻杆 14.4 万根次, 检测出报废钻杆 2 632 根, 其中探伤发现有疲劳裂纹的钻杆 495 根。

为了保证正常的钻井生产, 塔里木油田规定了钻杆的现场探伤周期。新钻杆旋转时间为 $(2\ 500 \pm 100)$ h, 一级钻杆旋转时间为 (600 ± 100) h, 二级钻杆旋转时间为 (500 ± 100) h。探伤人员根据钻杆在井队的使用时间及时上井对钻杆加厚过渡带区域进行超声波检测, 并取得了良好的效果。例如, 2005 年共在井场检测钻杆 14.7 万根, 检出有伤钻杆 74 根, 有效地将事故隐患消除在萌芽阶段。

3 结 语

失效分析结果表明, 所有失效钻杆的机械性能指标和几何尺寸全部符合标准^[6-9]要求。事实证明, 现有的钻杆标准已经不能适应塔里木深井、超深井钻井工况对钻杆质量的要求, 需要提出补充订货技术条件进行严格要求。同时, 为了防止或减少钻杆失效事故, 应当加强钻杆探伤检查, 严格钻井工艺。

通过制定订货补充技术条件, 对内加厚过渡带成型质量、钻杆几何尺寸和钻杆材质等提出严格要求; 采用了螺杆复合钻具和垂直钻井技术, 使钻杆受力条件得到改善。最终有效地减少了钻杆失效事故。通过提高钻杆现场检验标准, 制定钻杆分级标准和现场探伤周期, 减少事故隐患。

4 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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(增刊): 12-16.
- [3] Lü Shuanlu, Feng Yaorong, Zhang Guozheng, et al. Failure analysis of IEU drill pipe wash out[J]. Fatigue,

- 2005(27): 1360-1365.
- [4] 吕拴录, 骆发前, 周杰, 等. 双台肩 NC50 钻杆内螺纹接头纵向开裂原因分析[J]. 石油技术监督, 2004, 20(8): 5-7.
- [5] 吕拴录, 骆发前, 周杰, 等. 钻杆接头纵向裂纹原因分析[J]. 机械工程材料, 2006, 30(4): 95-97.
- [6] API Spec 7. Specification for rotary drill stem element [S]. Washington: API, 2001.
- [7] SY/T 0544-2004, 石油钻杆内涂层技术条件[S].
- [8] ISO/CD 11961, Petroleum and nature gas industries steel drill pipe specification[S]. Version 2.1, 2004.
- [9] API Spec 5D. Specification for drill pipe[S]. Washington: API, 1999.
- [10] SY/T 5369-1994, 石油钻具的管理与使用 方钻杆、钻杆、钻铤[S].
- [11] 吕拴录. 一起 127.0×9.19 mm IEU G105 内涂层钻杆刺穿事故原因分析[J]. 石油工业技术监督, 2002, 18(4): 20-23.
- [12] SY/T 5824-1993, 钻杆分级检验方法[S]. 1993.
- [13] API RP 7G. Recommended practice for drill stem design and operating limits[S]. Washington: API, 1998.
- (收稿日期: 2010-03-01)

● 信 息

攀钢集团成都钢钒有限公司“抗 H₂S 腐蚀石油套管钢 110S 的冶炼方法”等发明专利获得授权

近日, 从中华人民共和国知识产权局获悉, 攀钢集团成都钢钒有限公司申请的发明专利“抗 H₂S 腐蚀石油套管钢 110S 的冶炼方法”、“高强韧性液压支柱无缝钢管”、“空心钢锭的浇铸模及其生产方法”、“一种耐火钢、耐火无缝钢管及其生产方法”等获得授权。

(攀钢集团成都钢钒有限公司 张先华)

中国石油集团渤海石油装备制造有限公司与宝钢集团新疆八一钢铁有限公司签署合作建厂战略合作协议

2010年7月19日, 中国石油集团渤海石油装备制造有限公司与宝钢集团新疆八一钢铁有限公司签订合作框架协议, 双方将联手在新疆建设钢管生产基地。

宝钢集团新疆八一钢铁有限公司是中国西部和中亚地区最具竞争力的现代化钢铁企业。中国石油集团渤海石油装备制造有限公司作为中国石油集团规模最大的综合性石油装备制造企业, 在保障国家“西气东输”等重点管道建设中做出过重大贡献。随着中国石油“气化新疆”战略的实施, 新疆和西部管道建设将进入新的高峰期。为最大限度满足市场需求, 双方通过在市场属地合作建厂, 使八一钢铁的板材优势、地缘优势与渤海装备的技术优势及设备优势结合, 开拓新疆及周边石油管道高等级螺旋焊管产品市场, 既解决装备制造业多年来受原材料制约的“瓶颈”问题, 又达到促进双方企业共同发展造福新疆的目的。

(中国石油集团渤海石油装备制造有限公司 李延丰)

四川三洲特种钢管有限公司 Φ630 mm 周期轧管机试轧成功

2010年6月29日, 四川三洲特种钢管有限公司 Φ630 mm 周期轧管机一次试轧成功, 并顺利生产出 Φ273 mm×27~60 mm、Φ299 mm×40~60 mm、Φ325 mm×25~50 mm、Φ426 mm×40~45 mm 等多种规格大直径厚壁无缝钢管。检测结果表明, 试轧钢管的外径、壁厚精度以及内外表面质量均符合相关标准要求, 力学及各项综合性能优异。

此次试轧成功, 为日后批量生产广泛用于核电、电站、锅炉、压力容器、石油和石化等领域的 Φ273~630 mm 特厚高合金、高强度和不锈钢无缝钢管奠定了坚实的基础。特别是一次试轧成功 Φ334 mm×40 mm TP304H 大直径厚壁不锈钢管, 对于推动我国大直径厚壁不锈钢管的国产化有着积极和重要的意义。

(四川三洲特种钢管有限公司 周贵禄)