

◀设备与工具▶

# 气体钻井钻具失效因素与机理分析

祝效华<sup>1</sup> 蒋祖军<sup>1,2</sup> 童 华<sup>1</sup> 张 杰<sup>1</sup>

(1. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500; 2. 中国石化西南油气分公司 工程技术研究院, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 气体钻井中钻具失效事故频发, 严重阻碍了气体钻井技术的规模化应用。通过现场调研发现, 气体钻井钻具失效率为钻井液钻井钻具失效率的2~10倍, 且在钻杆、加重钻杆、钻铤处均有发生, 脆断特征明显。定性分析了导致气体钻井钻具失效的主要因素, 包括工作载荷、振动、热效应、冲蚀、腐蚀、井径扩大和冲击。指出剧烈振动和热积聚是除工作负载以外引起钻具异常失效的主要因素, 其次是冲蚀、腐蚀和井径扩大。动载效应和钻具局部热效应的耦合作用达到一定程度后, 钻具局部产生裂纹, 然后在上述因素的综合作用下, 裂纹快速扩展, 钻具发生脆断。

**关键词:** 气体钻井; 钻具失效; 影响因素; 失效机理

**中图分类号:** TE249; TE921<sup>+.2</sup> **文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-0890(2009)02-0060-03

气体钻井可大幅提高机械钻速, 且有利于发现及保护油气层, 因此该技术获得了快速发展。气体钻井的典型技术特征为<sup>[1-3]</sup>: 钻遇储层时保持循环介质(气体或气基流体)的井底压力低于储层压力, 实现可控的边喷边钻, 或(和)通过使用较低密度的气基循环介质, 减少对井底岩石的压持, 从而获得较高的机械钻速。该技术最初探索于20世纪50年代, 而直至20世纪90年代末, 才真正得以起步和发展<sup>[4]</sup>。据不完全统计, 截止2008年3月, 我国已完成了约200口井的气体钻井施工。但气体钻井在现场应用中还存在一些急需解决的技术问题, 如钻具异常失效、地层出水和井斜控制等, 下面笔者主要讨论钻具失效的原因及失效机理。

## 1 气体钻井钻具失效统计

气体钻井在现场实施过程中暴露了严重的钻具失效问题, 如在四川油气田气体钻井中, 自2005年初至2006年10月共实施42口井, 有30口井未发生一次钻具事故(七北101井、七里北2井、东升1井等), 有5口井发生一次断钻具事故, 有3口井发生两次断钻具事故, 有4口井(七北102井、普光101井等)发生两次以上断钻具事故<sup>[4]</sup>。上述数据显示, 在气体钻井中发生断钻具的井数占总实施井数的28.6%, 发生断钻具的井次占总实施井数的55%以上。

另外, 油田服务公司、油田公司和设计单位也做了相应的统计。

**统计1** 截至2007年1月, 已实施气体钻井的17口井中, 有9口井发生断钻具事故17次, 另发现钻具裂纹3次, 断钻具的井数占总实施井数的53%, 发生断钻具的井次占总实施井数的100%。

**统计2** 截至2007年7月, 普光区块已实施或正在实施空气钻井的27口井中, 21口井发生钻具事故43起, 断钻具的井数占总实施井数的77.8%, 发生井次占总实施井数的159%, 部分钻具损伤严重。

**统计3** 截至2007年12月, 在已实施和正在实施空气钻井的31口井中, 有19口井在钻进过程中发生钻具断裂、脱扣失效事件52次, 发生此类事故的井数占总井数的61.3%, 发生井次占总实施井

**收稿日期:** 2008-03-25; **改回日期:** 2009-01-15-0060-03

**基金项目:** 国家自然科学基金项目“气体钻井钻具与井壁碰撞机理及量化评价方法研究”(编号: 50804040)、油气藏地质及开发工程国家重点实验室开放基金项目“气体钻井钻柱振动机理研究”(编号: PLN0701)、四川省教育厅自然科学基金项目“气体钻井钻具频繁失效的力学机理分析与预防措施研究”部分研究成果

**作者简介:** 祝效华(1978—), 男, 山东菏泽人, 2000年毕业于西南石油学院机械制造专业, 2005年获西南石油大学机械设计及理论专业博士学位, 副教授, 主要从事杆管柱力学及井下工具等方面的研究工作。

**联系电话:** (028)83035262

数的 168%。

气体钻井钻具失效率远高于钻井液钻井 14% 的钻具失效率<sup>[5]</sup>。

在前期的统计中,钻铤失效居多<sup>[6-7]</sup>;在最新的统计中发现钻杆失效所占比例最大,其次是钻铤,再次是加重钻杆。

## 2 气体钻井钻具的断口形貌

气体钻井中钻具失效呈现出明显的脆断特征。失效不易察觉,征兆不明显;断口平齐,基本无缩径现象;部分断口有乌黑、发亮、泛蓝等特征。图 1 所示为部分气体钻井中钻具失效的形貌。

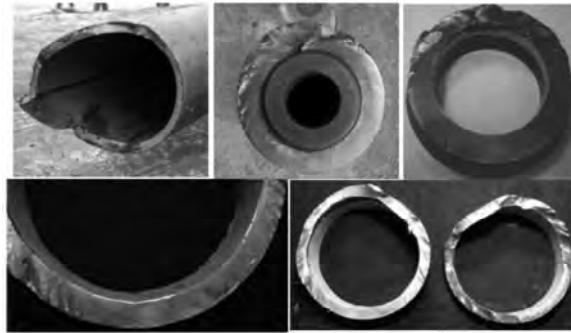


图 1 气体钻井钻具失效形貌

## 3 影响因素及失效机理分析

气体钻井中钻具失效频发,大幅增加了钻井成本,降低了气体钻井的经济效益。选择打捞作业不仅降低了钻井时效,而且容易引起井下复杂情况。

弄清气体钻井中钻具的失效机理是寻求针对性解决措施的关键。文献[6]指出振动是引起气体钻井钻具异常失效的主要因素,而经过更为广泛深入的现场调研和理论分析,笔者发现了更多可能导致钻具失效的因素,并定性分析了每个因素对失效的影响程度,探讨了钻具失效机理。可能导致钻具失效的主要因素有:工作载荷、振动、热效应、井径扩大、冲蚀、腐蚀和冲击。

**工作载荷** 气体钻井中的主动钻压略低于常规钻井液钻井,主动扭矩则基本相当。在工作载荷作用下钻具已产生较高的工作应力。

**振动** 气体钻井钻具与井壁间的碰撞强度和摩擦强度大,循环介质黏滞阻尼小,井眼扩大严重,因此激励横振(晃振)、扭振和纵振的波动幅度与强度必然也很大;振动越激烈,振动幅值越大,则动载系

数越大,形成的附加应力也越大。

**热效应** 气体钻井介质携热性能差,井下钻具运行一段时间后温度逐渐升高,钻具基体形成的热应力较小。但横振、扭振及井壁约束将引起钻具变速向后涡动,干摩擦、干碰撞将使气体钻井中钻具与井壁碰撞摩擦强度大于钻井液钻井,与井壁频繁碰撞摩擦的钻具局部热能积聚多,局部热应力高,积聚热能超过某临界值或反复升降的工况下钻具容易产生裂纹。

**井径扩大** 气体钻井使用质量较小的气体介质,岩石存在负压效应,机械钻速快,在提高井底破岩速度的同时,井壁扩大也很严重,扩径后钻具横向变形增大,产生的附加应力增大。

**冲蚀** 冲蚀发生的临界条件是循环介质流速足够高以及所携带固相颗粒粒度足够大,已有研究表明冲蚀只发生在很少一部分井段钻具上<sup>[8]</sup>。在大部分井段中均未达到冲蚀临界条件,钻具表面仅有磨蚀现象。

**腐蚀** 空气钻井中主要的腐蚀因素是氧,氧腐蚀较为缓慢。使用机械分离技术可提高氮气含量,目前的工艺可使注入氮气纯度达 96%,大幅减缓氧腐蚀作用。

**冲击** 气体钻井中主要的冲击因素是来自空气锤锤头上返的冲击波,冲击波在上行过程中耗散快,通常达不到上部钻杆,而截止 2007 年 12 月 31 日的气体钻井钻具失效统计表明,钻杆失效占总钻具失效的 35% 以上,这说明冲击不是引起钻具失效的主要因素,但是冲击加剧了裂纹扩展,是一个很大的辅助因素。

关于气体钻井钻具异常失效的机理,笔者认为<sup>[9-11]</sup>:钻具在工作负载(主要包括主动扭矩和静拉压力)作用下,产生一定幅值的额定工作应力;由于摩擦碰撞和井径扩大引起的剧烈大幅振动使钻具的实际工作应力大幅高于额定工作应力;与井壁频繁发生摩擦碰撞的钻具局部消耗了大量主动能量,并转化为热能,在局部形成了较高的附加热应力。振动和热积聚的耦合作用超过一定临界值时钻具产生裂纹,在其他因素(腐蚀、冲蚀)的协同作用下钻具发生脆性失效。

## 4 结论与认识

1) 现场统计表明,气体钻井钻具失效率为钻井液钻井钻具失效率的 2~10 倍,且在钻杆、加重钻杆

和钻铤处均有发生。气体钻井中钻具脆断特征明显,基本无过载缩径现象。

2)冲蚀和腐蚀在一定程度上削弱了钻具基体的承载能力。除工作负载外,剧烈振动和热积聚是引起气体钻井钻具异常失效的主要因素。

3)与钻井液钻井相比,气体钻井钻具的实际工作应力多出了局部热应力,并且动载附加应力也大幅增加(促使裂纹快速扩展),所以钻具容易发生脆断。

4)改进钻杆结构,使用涂层技术,使用化学缓蚀剂或机械氮氧分离技术可以缓解冲蚀和井下氧腐蚀。

5)为减少气体钻井中的钻具失效,需重点研究和改善气体介质循环边界带来的机械学和热力学影响,减小振动幅度和摩阻扭矩,降低局部热积聚。

## 参 考 文 献

- [1] 孙宁,苏义脑,孟英峰,等.钻井工程技术进展[M].北京:石油工业出版社,2006.
  - [2] 李玉飞,孟英峰,聂政远,等.空气钻井提高钻速机理研究[J]

- 石油钻探技术,2006,34(4):9-11.

[3] 侯树刚,舒尚义,李铁成,等.空气钻井安全钻进特性分析[J].石油钻探技术,2007,35(6):50-53.

[4] 许期聪,刘奇林,侯伟,等.四川油气田气体钻井技术[J].天然气工业,2007,27(3):60-62.

[5] 李鹤林,李平全,冯耀荣.石油钻柱失效分析与预防[M].北京:石油工业出版社,1999.

[6] 祝效华,童华,刘广川.气体钻井钻具断裂机理分析[J].石油矿场机械,2008,37(1):5-8.

[7] 廖忠会,张杰,李群生,等.气体钻井断钻铤事故的原因分析及预防[J].钻采工艺,2007,30(6):6-8.

[8] 郭建华,余朝毅,李黔,等.气体钻井筒冲蚀作用定量分析及控制方法[J].石油学报,2007,28(6):129-132.

[9] 赵金海,唐波,韩来聚,等.气体钻井钻具组合瞬态动力学特性初探[J].石油钻探技术,2008,36(6):14-19.

[10] 邹海洋,狄勤丰,姚建林,等.气体钻井钻柱失效机理分析[J].石油钻探技术,2008,36(3):55-58.

[11] 侯树刚,刘新义,杨玉坤.气体钻井技术在川东北地区的应用[J].石油钻探技术,2008,36(3):24-28.

〔审稿 狄勤丰〕

## Failure Mechanism Analysis of Drill-String Accidents in Gas Drilling Wells

Zhu Xiaohua<sup>1</sup> Jiang Zujun<sup>1,2</sup> Tong Hua<sup>1</sup> Zhang jie<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory Of Oil & Gas Reservoir Geology & Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China; 2. Engineering Technology Research Institute, Southeast Oil & Gas Branch, Sinopec, Deyang, Sichuan, 618000, China)

**Abstract:** Drill-string failures occur frequently during gas drilling, which seriously restricted the large-scale application of gas drilling technology. In-situ investigations indicate that frequency of drill-string failure in gas drilling wells is 2–10 times as many as that in mud drilling wells. In addition, the failures occurred in drill pipe, drill collar, and heavy weight drill pipe with characteristics of brittle fracture. This paper analyzed qualitatively the main factors causing drill-string failure accidents in gas drilling wells, including working load, vibration, thermal effect, erosion, rusty, hole enlargement and impact. The paper pointed out that the reasons for failure are working load, vibration and thermal accumulation, followed by the erosion, rusty, hole enlargement and impact. When dynamic effect and local thermal effect combined to a certain degree, drill-string crack arises, and then the crack expands rapidly due to above impacts, resulting in drill-string brittle fracture.

**Key words:** gas drilling; drill tool failure; influencing factors; failure mechanism

SPE 112679, 2008

## Modeling of Three-Phase Flow in the Annuli During UBD Operations

## 欠平衡钻井作业期间环空内三相流的模拟

与常规钻井相比,欠平衡钻井具有对地层伤害小、能提高机械钻速、减少循环漏失、可边钻边生产油气的优点。通常认为欠平衡钻井成功的关键是:保持在根据地层压力、井眼稳定和地面设备容积确定的钻井液密度窗口下,保证井眼压力稳定。传统井眼压力预测模型大部分是完全根据经验总结出的,只适用于一些特殊条件。20世纪90年代开发了适用于多种油藏条件的机械模型。由于欠平衡钻井作业是一个动态的过程,一些研究人员最近集中精力开发了动态模型。

该文介绍了一个欠平衡钻井过程中预测井筒压力的改良机械模型,它包括一组判断流型和预测压力(泡状流、分散泡状流和段塞流内2相流参数除外)的关系式。使用最近开发的经验关系式确定PVT性质。这些关系式的准确度在伊朗的20多口井得到了验证。用Naseri等人和Almarhoun的关系式来确定活油和死油的黏度。Naseri等人的关系式起初是针对伊朗的油藏建立的,现在用到了该模型中。该关系式的应用范围会越来越广。