

铝合金钻杆在塔里木油田推广应用前景分析

吕拴录^{1,2} 骆发前² 周 杰² 刘远扬² 苏建文² 卢 强²

(1. 中国石油大学(北京) 机电工程学院, 北京 昌平 102249; 2. 中国石油塔里木油田公司 钻井技术办公室, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要:介绍了铝合金钻杆的结构特点和材料特性, 分析了其适用范围。认为: 铝合金钻杆在塔里木油田含 H_2S 井使用可有效防止钻杆发生应力腐蚀开裂和电化学腐蚀; 在水平井和大斜度定向井使用可以减缓钻杆接头的热裂问题; 在深井和超深井使用可减轻钻柱重量, 增加钻井深度; 在复杂井使用可增加套管下入深度。铝合金钻杆发生断裂事故之后容易将落鱼部分磨掉, 这有利于提高处理井下复杂情况或事故的能力。同时指出了使用铝合金钻杆存在的问题和应注意的事项。

关键词: 铝合金钻杆; 腐蚀; 断钻具; 塔里木油田

中图分类号: TE921⁺.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890(2009)03-0074-04

铝合金钻杆具有质量轻、强度与质量比大、耐腐蚀性强等特点。20 世纪 60 年代初, 在 Volgo-Urals 和西西伯利亚地区, 该钻杆已经被成功用于井深达 3 000 m 的直井、涡轮定向钻井及旋转钻井施工中。截至 20 世纪 80 年代, 铝合金钻杆在 Usur 的钻井进尺已占该地区总钻井进尺的 75%, 在西伯利亚和 Far North 地区也已经大量使用, 并被成功用载荷能力为 802.5 N 的车载钻机进行丛式井钻井。此外, 铝合金钻杆在无隔水管、水深达 1 800 m 的条件下, 在太平洋、大西洋、挪威海、黑海、地中海、墨西哥湾和其他地区都已经成功使用。目前, 铝合金钻杆已经在俄罗斯油气田的深井、定向井和大陆架海洋钻井中大量使用, 并取得了良好的效果。

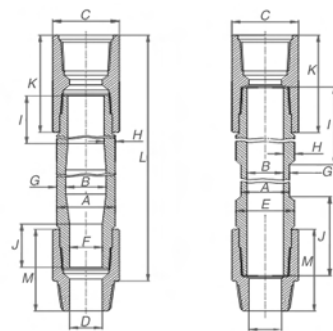
塔里木油田在含 H_2S 的区块钻井时, 发生了多起钢质钻杆应力腐蚀断裂事故, 在钻水平井和定向井过程中发生了多起钻杆接头热裂事故。因此, 分析研究铝合金钻杆的优缺点、在塔里木油田的适用范围以及推广应用前景很有必要。

1 铝合金钻杆的结构特点和材料特性

1.1 结构特点

铝合金钻杆分为钢接头铝合金钻杆和无钢接头铝合金钻杆两种, 前者使用比较多, 后者使用较少。钢接头铝合金钻杆的结构形状见图 1。

从图 1(b) 可看出, 钢接头外加厚铝合金钻杆接头内壁齐平, 钻井液流过时不会因为紊流而产生冲



(a) 内加厚 (b) 外加厚
图 1 钢接头铝合金钻杆示意

刷腐蚀。在实际使用过程中铝合金钻杆从来没有发生过冲刷腐蚀现象。

1.2 材料特性

铝合金钻杆材料强度比钢质钻杆低, 但其材料塑性比钢质钻杆好。铝合金钻杆材料与 API E75 钢钻杆材料的性能对比见表 1。

2 铝合金钻杆的性能特点

1) 在同样条件下, 使用铝合金钻杆比使用钢质

收稿日期: 2008-12-31; 改回日期: 2009-03-11

作者简介: 吕拴录(1957—), 男, 陕西宝鸡人, 1983 年毕业于西安交通大学金属材料专业, 教授级高级工程师, 从事石油管材失效分析和相关的技术监督工作。

联系电话: (0996) 2175446

表 1 铝合金钻杆材料的性能与钢钻杆材料的性能对比

钻 杆		屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	硬度(HB)/ N·mm ⁻²	伸长率,%	截面收缩率, %	密度/kg·L ⁻¹	弹性模量/ 10 ⁵ MPa
铝合金 钻杆	D16T	≥330	≥450	120	10.0~11.0	18~20	2.8	0.72
	1953T1	≥480	≥540	120~130	7.0~8.0	14~15	2.8	0.70
	AK41T1	≥350	≥410	130	11.0~12.0	24~26	2.8	0.73
E75 钢钻杆		517~724	≥689	—	≥18.5	—	7.8	2.10

钻杆更能提高钻深。铝合金钻杆的密度大约是钢质钻杆的 1/3,铝合金钻杆强度与质量之比是钢质钻杆的 1.5~2.0 倍。在钻机能力一定的情况下,使用铝合金钻杆能够钻至钢质钻杆无法钻至的井深。例如,由于应用铝合金钻杆,用载荷能力为 4 000 N 的钻机钻出了井深 12 263 m 的 Kola 超深井;用载荷能力为 3 000 N 的钻机钻出了井深 7 000 m 的 Shevchenkovskaya 超深井和井深 5 000 m 的 Krivo-rozhskaya 超深井。

2) 铝合金钻杆可有效防止 H₂S 和 CO₂ 腐蚀。铝及其合金元素化学特性比较活跃,当其 与氧反应后会在表面形成稳定的氧化膜,阻止其与周围环境的进一步反应。实验室试验结果表明,铝合金钻杆在饱和 H₂S 溶液和 CO₂ 溶液里长期浸泡也不腐蚀。经过实际应用发现,铝合金钻杆在任何温度下都可有效防止 H₂S 和 CO₂ 的腐蚀。但铝合金钻杆钢接头不具有抗 H₂S 和 CO₂ 腐蚀的能力。不过,钢接头与铝合金管体接触,后者对它会起到阴极保护的作用,所以,铝合金钻杆钢接头的腐蚀速率很低。

3) 使用铝合金钻杆可提高钻井速度和效率。随着井深增加,换钻头起下钻所需的时间增加,钻进时间相对减少,处理井下复杂情况和事故更加困难。在井深超过 3 000 m 的井中使用铝合金钻杆是最有效的。在这种情况下,使用铝合金钻杆会减轻钻柱质量、提高起下钻速度、减小摩擦力、降低扭矩和压力、优化钻压,最终提高钻井的速度和效率。

4) 铝合金钻杆更适合于曲率大的定向井和水平井。铝合金钻杆弹性模量小,在曲率大的定向井和水平井中使用铝合金钻杆时,钻柱与裸眼井段和套管井段的摩擦力减小,而且铝合金钻杆具有良好的抗弯曲载荷性能,更适合曲率大的定向井和水平井,其最大水平井段可达 1 000 m。

5) 使用铝合金钻杆可显著降低大钩负荷。在钻井液密度相同的情况下,铝合金的浮力系数比钢的浮力系数小得多。例如,钻井液密度为 1.2 kg/L 时,铝合金的浮力系数为 0.57,几乎降低了铝合金

的一半重量;而钢的浮力系数为 0.85。因此,使用铝合金钻杆可显著降低大钩负荷,极大提高钻机和钢丝绳的使用寿命。

6) 铝合金钻杆具有无磁特性。无钢接头铝合金钻杆具有与镍钴合金相似的无磁特性,这对磁性测井是有利的。如果使用钢接头铝合金钻杆,可在测井段安装无钢接头的铝合金钻杆。

7) 铝合金钻杆适应的温度范围广,可钻的井深范围更大。1953T1 材料的铝合金钻杆额定最高使用温度为 120 ℃。D16T 材料的铝合金钻杆额定最高使用温度为 160 ℃,实际上在温度高达 220 ℃的 Kola 超深井已经安全使用过。AK41T1 材料的铝合金钻杆额定最高使用温度 240 ℃。目前最常用的铝合金钻杆材料为 D16T,规格为 φ147.0 mm×11 mm。

8) 铝合金钻杆不容易磨损套管。套管磨损取决于摩擦副的摩擦系数和施加在套管内壁的正压力。铝合金与钢构成摩擦副时摩擦系数为 0.32,钢与钢构成摩擦副时摩擦系数为 0.36。铝合金在套管里钻进时摩擦系数小,这有利于减小套管磨损;铝合金钻杆质量轻,刚度小,铝合金钻杆与套管接触时在套管内壁产生的正压力小,这有利于减小套管磨损。

9) 铝合金钻杆内径大,这有利于提高钻柱水力特性,减小水力损失,减轻起下钻阻卡。

3 铝合金钻杆的推广应用前景分析

3.1 铝合金钻杆在塔里木油田适用的井况

1) 含 H₂S 井。塔里木油田已经在多口井发现了 H₂S。例如,塔中 823 井井喷后喷出的天然气中含有大量 H₂S。2006 年 7 月 5 日,塔中 83 井溢流之后 2 根钢质钻杆已经发生 H₂S 应力腐蚀断裂事故(见图 2)^[1]。铝合金钻杆具有优良的抗 H₂S 应力腐蚀开裂的性能,在含 H₂S 井使用铝合金钻杆可以有效防止钻杆发生 H₂S 应力腐蚀开裂。

2) 水平井和大斜度定向井。塔里木油田在水平

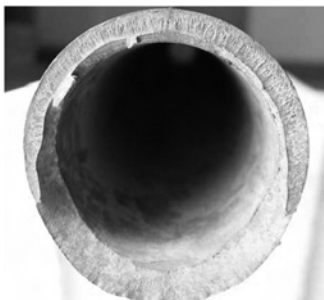


图 2 塔中 83 井 $\phi 88.9\text{ mm}\times 9.35\text{ mm}$ S135 钻杆断口形貌
井和大斜度定向井的钻井施工过程中发生了多起钻杆接头摩擦热裂事故(见图 3)^[2]。铝合金钻杆弹性模量只有钢质钻杆的 1/3,即在井眼曲率相同的情况下,铝合金钻杆弯曲应力只有钢质钻杆的 1/3。亦即,钻杆外壁与井壁的接触压力和摩擦力会降低。在水平井和大斜度定向井使用铝合金钻杆可以减缓钻杆接头热裂问题。

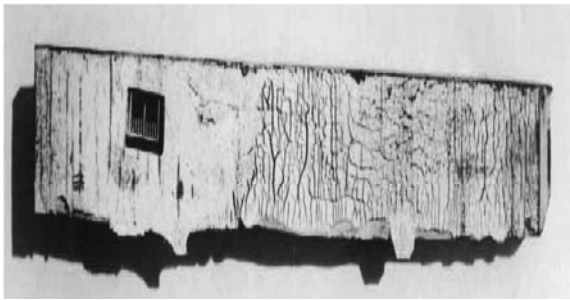


图 3 钻杆接头热裂形貌

3) 深井和复杂井。在深井使用铝合金钻杆可减轻钻柱质量,增加钻井深度。在复杂井使用铝合金钻杆可增加套管下入深度。

4) 处理复杂事故可钻性能好。铝合金钻杆发生断裂事故之后容易将落鱼部分磨掉。这有利于提

高处理复杂事故的能力。

3.2 铝合金钻杆在塔里木油田的适用性

铝合金钻杆的尺寸规格与塔里木油田现用钢质钻杆的尺寸规格其对比结果见表 2。从表 2 可看出,在不增加接头扣型的情况下,铝合金钻杆可以在塔里木油田应用。

表 2 塔里木油田现用钻杆与铝合金钻杆尺寸规格对比

钻 杆	接头类型	规格(D×t)/mm
现用钢钻杆	NC50	127.0×9.19
	5 $\frac{1}{2}$ FH	139.7×9.17
铝合金钻杆	NC50/5 $\frac{1}{2}$ FH	131.0×13.00
		147.0×11.00
	5 $\frac{1}{2}$ FH	147.0×13.00
		147.0×15.00

3.3 铝合金钻杆的性能

铝合金钻杆与 E75 钢钻杆的性能对比见表 3。从表 3 可看出,D16T $\phi 147.0\text{ mm}\times 13.00\text{ mm}$ 和 $\phi 131.0\text{ mm}\times 13.00\text{ mm}$ 铝合金钻杆的拉伸强度和抗挤强度与 API $\phi 127.0\text{ mm}\times 9.19\text{ mm}$ E75 钢质钻杆接近,但抗外挤强度和抗内压强度与 $\phi 127.0\text{ mm}\times 9.19\text{ mm}$ E75 钢质钻杆差别较大。1953T1 $\phi 147.0\text{ mm}\times 13.00\text{ mm}$ 铝合金钻杆的拉伸强度、抗挤强度和抗内压强度与 API $\phi 139.7\text{ mm}\times 9.17\text{ mm}$ E75 钢质钻杆相近,但抗挤强度较低。1953T1 $\phi 147.0\text{ mm}\times 15.00\text{ mm}$ 铝合金钻杆性能可达到 $\phi 139.7\text{ mm}\times 9.17\text{ mm}$ E75 钢质钻杆的性能。

表 3 铝合金钻杆与 E75 钢钻杆主要性能对比

钻杆类别	规格(D×t)/mm	拉伸强度/kN	抗扭强度/kN·m	抗外挤强度/MPa	抗内压强度/MPa
D16T	147.0×13.00	1 500.0~1 950.0	46.4~55.2	32.0	39.0
	131.0×13.00	1 493.0~1 750.0	51.0~61.0	34.0	38.0
1953T1	147.0×13.00	1 800.0~2 340.0	55.6~66.2	48.0	58.5
	147.0×15.00	2 076.0~2 436.0	62.8~73.8	58.5	64.5
API E75	127.0×9.19	1 760.1	55.8	68.7	65.5
	139.7×9.17	1 944.8	68.8	58.0	59.4

4 铝合金钻杆的缺点及使用注意事项

1) 容易磨损。铝合金钻杆耐磨性比钢质钻杆差,在使用过程中容易磨损,可采用中间加厚的方式

解决。

2) 在搬运和使用操作过程中容易损伤。铝合金钻杆硬度低,在搬运和使用操作过程中容易损伤,应配套专用的工具。

3) 抗盐腐蚀能力差。铝合金钻杆虽然抗 H₂S

和 CO₂ 腐蚀,但含盐量超过 14%时会产生一定程度的腐蚀。

4)靠接头部位容易被腐蚀。在长期存放过程中,铝合金钻杆管体对钢接头起阴极保护作用的同时,靠接头部位铝合金钻杆管体容易发生腐蚀^[3]。

5)油田现场修复有一定困难。铝合金钻杆的钢质接头与管体采用 ISO 15546 标准螺纹(φ138.0 mm×5.08 mm×1:32)热过盈连接,给油田现场的修复造成一定困难。

6)钢质钻杆与铝合金钻杆组合使用更安全。铝合金钻杆弹性伸长范围大,当铝合金钻杆柱受到大的拉伸力或过载时与拉伸的弹簧相似。一旦铝合金钻杆断裂时,断口上部的管段容易上窜。解决上述问题的方法是在钻柱上部配一段钢质钻杆。

7)严格控制转速。铝合金钻杆刚度小,推荐的最大转速为 80 r/min。如果能与螺杆钻具配合使用,转速可以满足塔里木油田的要求。

5 结论及建议

1)铝合金钻杆具有许多优良的性能。与钢质钻

杆相比,它更能提高钻深、可有效防止 H₂S 和 CO₂ 腐蚀、可提高钻井速度和效率、可显著降低大钩载荷、更适合曲率大的定向井和水平井、具有无磁性、可适应的温度范围广、不易磨损套管及有利于提高钻柱水力特性等。

2)铝合金钻杆在塔里木油田含 H₂S 井、水平井、大斜度定向井、深井和超深井钻井中应用,可以解决许多常见钻井问题,具有独特的技术优势,推广应用前景广阔。

3)铝合金钻杆也有许多缺点,比如容易磨损、抗盐腐蚀能力差、修复较为困难等,使用时应采用一些配套工具或配套措施,并严格执行铝合金钻杆的使用操作规程。

参 考 文 献

[1] 吕拴录,骆发前,周杰,等.塔中 83 井钻杆断裂原因分析及预防措施[J].腐蚀科学与防护技术,2007,19(6):451-453.
[2] 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].石油工业技术监督,2004,20(8):5-7.
[3] 郭生武,袁鹏斌.油田腐蚀形态导论[M].北京:石油工业出版社,2005.

[审稿 吴姬昊]

Prospects of Aluminum Alloy Drill Pipe in Tarim Oilfield

Lv Shuanlu^{1,2} Luo Faqian² Zhou Jie² Liu Yuanyang² Su Jianwen² Lu Qiang²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Chang-ping, Beijing, 102249, China; 2. Drilling Technology Office, Tarim Oilfield Company, CNPC, Kuerle, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: This paper introduces feature and material characteristic of aluminum drill pipe and analyzes its application. It is believed that using aluminum drill pipe can prevent drill pipe from stress corrosion crack and electrochemistry corrosion in wells containing H₂S, protect tool joints from friction crack in horizontal and directional wells, can decrease drill stem weight and increase drilling depth in deep and extra deep wells, and can add casing running down depth in complex wells in Tarim Oilfield. Using aluminum drill pipe can improve capability of treating complex accident because aluminum drill pipe can be easily worn if fracture happens. It is also pointed out that there are some problems during using aluminum drill pipe.

Key words: aluminum drill pipe; corrosion; drill tool breaking; Tarim Oilfield

“教授专家专栏”征文启事

为推动我国石油工程技术的不断发展,促进国内石油工程界科研人员间的不断交流,本刊自 2001 年第 3 期开始,开辟了“教授专家专栏”栏目。该栏目主要刊登国内外石油工程界知名教授、专家的文稿,以期能对我国石油工程技术的发展起到一定的导向作用。为此,本刊向社会征稿,只要具有一定的理论高度或一定的导向性,石油钻井、完井、钻井液、采油、机械方面的稿件均可。所有稿件一经采用,稿费从优。来稿请注明“教授专家专栏”栏目征文。

《石油钻探技术》编辑部