

铝合金钻杆的优越性及在地探深孔中的应用前景

鄢泰宁¹, 薛 维², 卢春华¹

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 合康科技发展有限公司, 北京 100036)

摘要:在归纳铝合金钻杆众多优点的基础上,介绍铝合金钻杆与钢接头的连接方式、过盈配合,举例分析铝合金钻杆可显著减少深孔钻进大钩载荷、转盘扭矩和泵压损失的效果,探讨了铝合金钻杆在地探深孔中的应用前景。

关键词:铝合金钻杆;钢接头;地质勘探;深孔钻探

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)02-0027-03

Superiorities of Aluminum Alloy Drilling Pipe and Its Application Prospects in Deep Holes for Geological Exploration/YAN Tai-ning¹, XUE Wei², LU Chun-hua¹ (1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Beijing Hekang Science & Technology Development Co., Ltd., Beijing 100036, China)

Abstract: On the basis of the summary on the advantages of aluminum alloy drilling pipe, this paper introduced connection methods and interference fit for aluminum alloy drilling pipe and steel joint in new national standard. Some examples were given to illustrate the advantages for adopting aluminum alloy drilling pipe in deep wells, which can evidently decrease hook load, rotary torque and pumping pressure loss. Finally, the paper discussed application prospects of aluminum alloy drilling pipe in deep holes for geological exploration.

Key words: aluminum alloy drilling pipe; steel joint; geological exploration; deep holes drilling

1 问题的提出

我国已全面启动新一轮的“国土资源大调查”。大量勘探工作必然投向以前因技术手段限制而工作程度很低的深部矿产资源的勘探开发,这就要求我们加速深部钻探技术的研究。有专家呼吁,“十二五”期间我国应在现有 2000 m 全液压岩心钻机成果的基础上,逐步形成具有我国自主知识产权的 3000 m、4000 m 全液压主导机型。这种提法从我国目前全液压钻机仅占 4.3% 的现状出发,强调了研制深孔钻机及其配套设备的重要性。但国外的经验证明,深部钻探不能仅着眼于大型深孔设备,还可以在钻杆柱的材质上想办法,在不更换大吨位钻机的前提下使钻孔钻得更深。因此,近年来轻质铝合金钻杆成了国内外同行关注的热点。

上世纪 60 年代初,苏联开始在钻井中使用铝合金钻杆,经过不断改进,目前俄罗斯已批量生产达世界领先水平的高可靠性铝合金钻杆并大量出口。欧盟在俄罗斯铝合金钻杆标准的基础上,于 2002 年制定了石油天然气工业用铝合金钻杆的国际标准(ISO 15546:2002),其地位与美国制定的钢钻杆 API 国际标准等同。由我国中石油管材所提出,高蓉等人承担制定的等同标准于 2006 年 12 月 15 日作为中华人民共和国国家标准 GB/T 20659-2006/

ISO 15546:2002《石油天然气工业铝合金钻杆》正式发布,自 2007 年 5 月 1 日起实施。因此,让国内钻探技术人员全面了解铝合金钻杆的特点及其在深孔中的应用前景是十分必要的^[1,2,3]。

2 铝合金钻杆的优越性(与钢钻杆相比)^[1,4,5]

(1)与传统钻杆材料钢相比,铝合金具有宝贵的物理力学性能。铝合金的密度和弹性模量几乎是钢的 1/3,而比强度(断裂强度极限与密度之比)却是钢的 1.5~2 倍。

(2)铝合金钻杆质量轻,在钻机能力一定的条件下,用铝钻杆能钻达钢钻杆无法达到的深度。俄罗斯曾用 400 t 能力的钻机钻成世界最深的 CF-3 井(12262 m),用 300 t 钻机钻成 7000 m 深井。

(3)铝合金在腐蚀环境中的稳定性非常好。它表面覆盖一层稳定的氧化膜阻止与环境的进一步反应,可用于任何浓度的硫化氢和二氧化碳环境,而且其抗腐蚀能力与温度无关。

(4)铝合金钻杆与井壁的磨阻小,可减轻起下钻的阻卡。铝钻杆的浮力系数比钢小得多,可节省 20%~25% 的起下钻时间,并节省燃料。所以,铝合金钻杆用于 3000 m 以深的钻井最有效。

(5)在相同井眼曲率下,铝合金钻杆的弯曲应

收稿日期:2009-09-03; 改回日期:2009-12-12

作者简介:鄢泰宁(1945-),男(汉族),江西南昌人,中国地质大学(武汉)教授、博导,俄罗斯自然科学院外籍院士,享受国务院特殊津贴,探矿工程专业,从事钻探工程教学与科研工作,湖北省武汉市鲁磨路 388 号中国地质大学工程学院勘基系, tnyan@cug.edu.cn。

力远小于钢钻杆,从而适用于钻斜井、曲率半径小的定向井和水平段长的水平井。

(6) 铝合金钻杆具有和镍钴合金相似的无磁特性,方便随钻测量仪器的使用。

(7) 铝合金钻杆对裸眼和套管的作用力减小,能有效地保护套管,适应裸眼段更长的井。铝合金钻杆内泥浆的流动阻力小,可提高钻头的水功率。

(8) 铝合金钻杆的钢接头可按 API 标准加工丝扣,正常条件下,一般不会因丝扣磨损而更换钻杆。

(9) 钻探(井)属于高风险性行业,孔内事故在所难免,尤其是卡钻或钻杆折断事故时有发生。使用钢钻杆时处理孔内钻杆事故常需要漫长的时间,甚至造成钻孔报废。而处理铝合金钻杆事故时,用一般牙轮钻头就可把井下铝合金钻具“消灭掉”,钻速可达 30 m/h 左右。

3 钻杆材料的基本参数及其最大允许使用长度对比

目前世界上已有的钢钻杆、铝合金钻杆和钛合金钻杆基本参数对比见表 1,其中钢钻杆的密度、弹性模量最高,但自重过大对深孔钻机的提升能力要求高;铝合金钻杆的密度、弹性模量最低,线膨胀系数最高,可适用于陆地深孔钻进和海底钻进;钛合金钻杆的密度、弹性模量和线膨胀系数都居中,应该是理想的深孔钻探用管材,但其接近天文数字的价格使用户无法承受^[1,2]。

表 1 钢钻杆、铝合金钻杆和钛合金钻杆的基本参数对比表

| 材料 | 密度 /(g· cm ⁻³) | 纵向弹 性模量 /MPa | 剪切 模量 /MPa | 泊桑 系数 | 线膨胀系 数 × 10 ⁻⁶ /(°C) | 比热/[J · (kg· °C) ⁻¹] |
|-----|----------------------------------|--------------------|------------------|----------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 钢 | 7.85 | 210000 | 79000 | 0.27 | 11.4 | 500 |
| 铝合金 | 2.78 | 71000 | 27000 | 0.30 | 22.6 | 840 |
| 钛合金 | 4.54 | 110000 | 42000 | 0.28 | 8.4 | 460 |

国标(GB/T 20659-2006/ISO 15546:2002)^[3]中列举了 4 组铝合金钻杆。其中第二组钻杆最常用,价格也最低,其主要成分为 Al-Zn-Mg,最小屈服强度 480 MPa,最小抗拉强度 530 MPa(20 °C 时),最小伸长率 7%。虽然最高使用温度仅 120 °C,但对于地质勘探深孔作业而言足够了。

高可靠性铝钻杆的抗腐蚀性指标见表 2。其腐蚀速度表示每平方米面积的铝钻杆在不同介质中每小时因腐蚀造成的失重(克)。可见,铝钻杆在碱环境、酸环境下很少腐蚀,而在全饱和的 H₂S 环境下完全不腐蚀。这对于复杂地质条件下使用泥浆化学处理剂和钻进具有腐蚀性的矿产或地下水非常有利。

表 2 国标中 3 组铝合金在各种恶劣环境中的腐蚀速度对比表^[1,2]

| 合金系 | /[g·(m ² h) ⁻¹] | | |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | 第 1 组 Al-Cu-Mg | 第 2 组 Al-Zn-Mg | 第 4 组 Al-Zn-Mg |
| 碱环境, pH = 11 (5% NaCl + NaOH) | 0.49 | 0.21 | 0.34 |
| 中和环境, pH = 7 (5% NaCl) | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 酸环境, pH = 2.5 (5% NaCl + 0.5% CH ₃ COOH) | 0.05 | 0.04 | 0.01 |
| 全饱和 H ₂ S 环境 | 无腐蚀 | 无腐蚀 | 无腐蚀 |

按下式可算出等尺寸条件下 3 类钻杆的最大允许使用长度^[4,5]:

$$L = \sigma_t / [n(\gamma_k + \gamma_f)] \quad (1)$$

式中: L ——等尺寸钻杆的长度; σ_t ——钻杆的强度; n ——安全系数; γ_k ——钻杆密度; γ_f ——钻井液密度。

据(1)式计算结果画出的 3 类钻杆最大允许使用长度见图 1,其中实线、虚线对应于不同的泥浆密度。可见,在同等条件下铝合金钻杆可适用的井深最大,钛合金次之,钢钻杆最小。

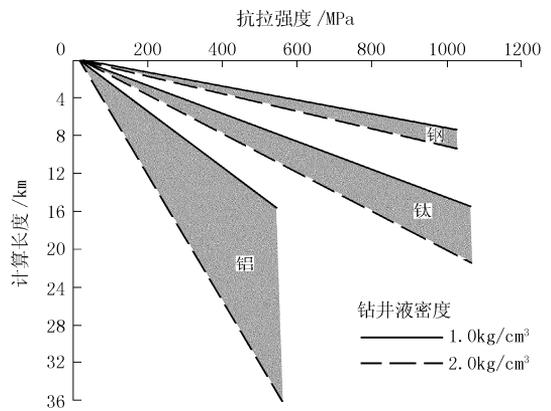


图 1 三类钻杆最大允许使用长度(理论值)

4 铝合金钻杆的连接方式与加工工艺

铝合金钻杆柱的关键结构要素是铝钻杆与钢接头的连接问题。俄罗斯传统铝钻杆采用无止推面的三角形丝扣连接(图 2 上),而高可靠性铝钻杆的连接方式(图 2 下)有 3 个特点:^[1,2]

- (1) 采用梯形丝扣与接头连接;
- (2) 铝钻杆设置了内支撑端面和锥形配合面;
- (3) 通过高温装配工艺实现丝扣、配合面及支撑端面的过盈配合。

在深井(尤其是斜井和水平井)钻进条件下,钻杆柱最容易发生疲劳破坏。而新型铝钻杆的锥形配合面及支撑端面可减轻丝扣的负担,明显提高接头的抗疲劳指标,比普通三角形螺纹提高抗疲劳强度

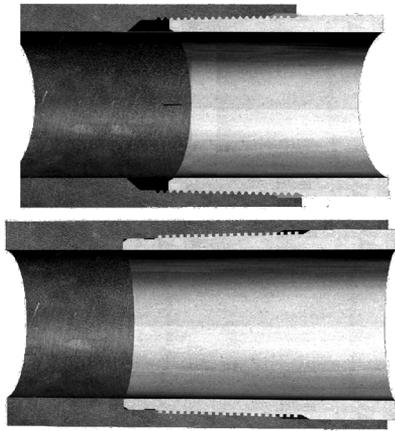


图 2 铝钻杆结构(深色为钢接头,浅色为铝钻杆体)

机钻进深孔的良好前景。

(1) 铝合金钻杆在俄罗斯 CT-3 超深井的应用^[1]。采用高可靠性铝合金钻杆是俄罗斯 CT-3 井创造世界超深井纪录的关键技术之一。现场 400 t 能力的钻机额定最大井深为 8000 m, 但用铝合金钻杆取代钢钻杆后钻成了世界最深的井(12262 m)。统计该井 195 个回次中 $\varnothing 147 \text{ mm} \times 11 \text{ mm}$ 规格的铝合金钻杆磨损情况表明, 最大磨损量发生在 7000 ~ 8000 m 井段, 其中钢接头最大磨损 6.8 mm, 由于钢接头的保护铝合金钻杆本体的最大磨损量仅为 0.92 mm。

(2) 铝合金钻杆在塔里木某勘探井的应用。该井井深 7600 m, 水平位移达 1000 m, 基本钻进参数: 钻压 200 kN, 转速 65 r/min, 泵量 21 L/s, 钻井液密度 2.0 g/cm^3 , 钻速 1.8 m/h。钻进与提升时使用不同钻杆的效果对比见表 3。可见, 使用铝钻杆 + 钢钻杆除了钻杆伸长量有所增加外, 整个钻杆柱的重量、大钩载荷、总阻力、扭矩、水力损失等参数都明显下降。

60% ~ 80%^[1,3]。这类铝钻杆自 1993 年起已成功用于海洋深水钻井作业。^[1]

5 铝合金钻杆在深孔中的应用前景分析

铝合金钻杆已经在国内外的科学钻探和石油钻井(包括斜井和水平井)中应用, 展现了用小吨位钻

表 3 钻进与提升条件下使用不同钻杆的效果对比

| 参数 | 钻进时 | | | | | 提升时 | | | | | | |
|-----------|--------|------------|---------|--------|-----------|--------|----------|---------|---------|--------|---------|--------|
| | 设计井深/m | 在钻井液中重力/kN | 大钩载荷/kN | 总阻力/kN | 扭矩/(kN·m) | 最小强度储备 | 水力损失/MPa | 钻杆伸长量/m | 大钩载荷/kN | 总阻力/kN | 钻杆伸长量/m | 最小强度储备 |
| 钢钻杆 | 7000 | 2345 | 1965 | 67.0 | 23.2 | 2.0 | 21.6 | 14.6 | 2605 | 375 | 18.1 | 1.6 |
| 铝钻杆 + 钢钻杆 | 7000 | 975 | 679 | 28.7 | 12.2 | 3.0 | 18.8 | 20.9 | 1104 | 198 | 27.9 | 2.3 |

(3) 铝合金钻杆在水平井的应用^[1]。由于铝合金钻杆轻, 钻杆在斜井中位移和回转的阻力将明显减小。在 6370 m 水平井中的实钻对比结果表明, 采用铝合金钻杆可减少 35% 的大钩载荷, 约 40% 的转盘扭矩和泵压损失。

理论计算和计算机模拟结果表明, 在钻进参数相同(钻压 50 kN、转速 60 r/min、泵量 15 L/s、泥浆密度 1.14 g/cm^3 、钻速 9 m/h)的情况下, 仅使用钢钻杆的最大水平位移量为 11.2 km, 而采用铝合金钻杆 + 钢钻杆可达最大水平位移 14.5 km, 效果非常明显^[1]。

(4) 研制绳索取心铝合金钻杆是摆在我们面前的迫切任务。我国是铝土矿和铝型材生产大国, 铝合金钻杆也已开始用于石油勘探井, 为把其引入地勘深孔钻进创造了条件。考虑到地勘深孔钻进必须全取心, 所以研制以国产原料为基础的高强度、高可靠性的铝合金绳索取心钻杆是摆在我们面前的迫切任务。

6 结论

随着地质工作向深部发展, 随着我国自 2007 年 5 月 1 日起正式实施铝合金钻杆国家标准, 铝合金

钻杆成了国内同行关注的热点。

与传统钢钻杆相比, 铝合金钻杆在自重、比强度、弹性和耐腐蚀性等方面具有突出的优点。在钻机能力一定的条件下, 用铝合金钻杆能钻达钢钻杆无法达到的深度。

高可靠性铝合金钻杆采用与钢接头连接的新方法和高温装配工艺, 使其在深井、斜井和大位移水平井钻进中可明显提高抗疲劳强度, 在深孔、斜孔和水平孔中具有良好的应用前景。

铝合金钻杆耐腐蚀, 对天然气和煤层气开发(尤其在钢钻杆易发生“氢脆”的井区)具有重要的意义。

参考文献:

[1] 鄢泰宁. 访问俄罗斯有关铝合金钻杆科研生产单位资料[Z]. 2007.
 [2] BS ENISO 15546:2002, Petroleum and natural gas industries—Aluminium alloy drill pipe[S].
 [3] GB/T 20659-2006/ISO 15546:2002, 石油天然气工业铝合金钻杆[S].
 [4] 刘希圣, 等. 钻井工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
 [5] 鄢泰宁, 等. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.