

国外钻杆产品发展动向

赵鹏^{1,2} 李俊^{1,2}

(1 东北大学材料与冶金学院,沈阳 110004; 2 宝山钢铁股份有限公司,上海 201900)

摘要 钻杆是石油钻柱的主要组成部分,服役环境异常苛刻,受力状态十分复杂。从钻杆品种的发展、钻杆扣型的发展两方面介绍国外钻杆产品的发展动向,内容包括超高强度钻杆、抗硫钻杆、钛合金钻杆、智能钻杆、超高抗扭接头以及快速上扣超高抗扭接头。

关键词 钻杆品种 钻杆扣型 发展趋势

Development Trend of Overseas Drill Pipe Products

Zhao Peng^{1,2} and Li Jun^{1,2}

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;
2 Baoshan iron and Steel Co Ltd, Shanghai 201900)

Abstract Drill Pipe is main component part of oil drill-stem, its service environment is extremely severe and stress conditions are very complicated. The development trend of overseas drill pipe products is presented from both development of drill pipe grades and connector including ultra high strength drill pipe, sour service drill pipe, titanium alloy drill pipe, intelligent drill pipe, ultra high torque tool joint and fast make-up ultra high torque tool joint.

Material Index Drill Pipe Grade, Drill Pipe Connector, Development Trend

钻杆是石油钻柱的主要组成部分,主要用以传递扭矩、输送泥浆以及钻进使用。本文将从钻杆品种的发展和钻杆扣型的发展两方面介绍国外钻杆产品的发展动向。

1 钻杆品种的发展

1.1 超高强度钻杆

API SPEC 5D-2001 标准中规定了钻杆包括 E-75、X-95、G-105、S-135 四种钢级,其屈服强度依次增高。在上述四种钢级中,X-95、G-105、S-135 称之为高强度钻杆。随着超深井技术的不断发展,即使是 S-135 钢级钻杆也不能满足井深的要求,超高强度钻杆应运而生。Grant Prideco 公司的 V-150 钻杆是其中的典型代表,它综合了专有的化学成分和快速冷却的调质热处理过程。在增强屈服强度的同时提供优异的扭转和拉伸强度,并且增强了抗内外压的能力。

超高强度钻杆能否大规模投入应用的关键是如何在屈服强度达到 1 034 MPa 以上时仍获得令人满意的冲击韧性。目前,150 钢级超高强度钻杆在 -20 ℃ 条件下,全尺寸冲击韧性可达到 85 J 以上,但其最高冲击韧性尚没有超过 100 J^[1]。下一步的目标应是在相同试验条件下全尺寸冲击韧性保证值达到 100 J 以上。这可以通过进一步降低 P、S 含

量,添加 Mo 等合金元素以及合理的调质热处理工艺来达到。

1.2 抗硫钻杆

目前抗硫钻杆主要是按 IRP 标准生产的。IRP (Industry recommended practice,工业推荐作法)是加拿大石油安全委员会负责制订的有关石油安全生产作业方面的推荐作法。目前共有 19 卷,涵盖石油与天然气生产开发中的钻井、完井、采油采气及相关的管材、设备、工具等各个领域。IRP 标准中涉及抗硫钻杆的有 IRP1 标准与 IRP6 标准,其中按 IRP1 标准生产的抗硫钻杆主要用于含 H₂S 的苛刻酸性井,按 IRP6 生产的抗硫钻杆主要用于苛刻酸性井的欠平衡钻井施工。表 1、表 2 分别列出 IRP1 与 IRP6 标准抗硫钻杆的性能参数^[2,3]。

从表 1 可以看出,满足 IRP1 标准的 SS 系列抗硫钻杆有 75、95、105 三个钢级。其管体必须通过按

表 1 IRP1 标准抗硫钻杆性能
Table 1 Properties of sour service drill pipe, standard IRP1

钢级	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	冲击功*/ J	抗硫性能**
SS75	517 ~ 655	655 ~ 793	≥88	85% SMYS
SS95	655 ~ 758	724 ~ 896	≥100	
SS105	724 ~ 827	793 ~ 965	≥100	
工具接头	758 ~ 862	862 ~ 1 000	≥90	65% SMYS

注: * 室温全尺寸纵向冲击功单个值; ** 采用 NACE 0177-2005 标准 A 方法在 A 溶液中进行试验。

表2 IRP6 标准抗硫钻杆性能

Table 2 Properties of sour service drill pipe, standard IRP6

钢级	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	冲击功* / J	抗硫性能**
SU75	517 ~ 621	621 ~ 758	管体 ≥ 125 加厚端 ≥ 100	管体 95% SMYS 加厚端 80% SMYS
SU95	655 ~ 758	724 ~ 896	管体 ≥ 138 加厚端 ≥ 113	焊缝 80% SMYS
工具接头	724 ~ 827	793 ~ 965	≥ 120	80% SMYS

注: * 室温全尺寸纵向冲击功单个值; ** 采用 NACE 0177 标准 A 方法在 A 溶液中进行试验。

NACE 0177-2005 标准 A 方法进行的门槛值为 85% SMYS 的抗硫试验, 接头必须通过门槛值为 65% SMYS 的抗硫试验, 加厚端与焊缝不进行抗硫试验。

从表 2 可以看出, 满足 IRP6 标准的 SU 系列抗硫钻杆仅有 75、95 两个钢级(标准制定者认为该标准过于严格, 按目前的技术水平, 无法生产出满足该标准的 105 钢级抗硫钻杆)。其管体必须通过按 NACE 0177-2005 标准 A 方法进行的门槛值为 95% SMYS 的抗硫试验, 接头、加厚端与焊缝必须通过门槛值为 80% SMYS 的抗硫试验。

目前 Grant Prideco、NKK-t、V&M 都可以按 IRP1 标准供应 SS75、SS95、SS105 钢级的抗硫钻杆。由于 SU 系列的欠平衡抗硫钻杆不但要求管体与接头通过极高门槛值的抗硫试验, 而且要求加厚端与焊缝必须通过门槛值为 80% SMYS 的抗硫试验, 难度极高, 因此目前还没有生产厂家可以生产 SU 系列抗硫钻杆。

1.3 钛合金钻杆

为了解决钢制钻杆在短半径水平井钻探时出现早期疲劳问题, Grant Prideco 公司与 RTI 能源系统公司联合研制了钛合金钻杆^[4]。这种钻杆具有很高的强度, 而且质量轻, 耐腐蚀。

钛合金钻杆与钢制钻杆相比有如下特点: (1) 比重低(钢的 56%); (2) 高屈服强度(最小 827 MPa), 强度质量比为钢的 1.54 倍; (3) 低弹性模量, 钛的弹性模量为 1.17×10^5 MPa, 而钢为 2.07×10^5 MPa; (4) 疲劳寿命提高(疲劳寿命在钻井环境中保持不变); (5) 在钻井液与井下腐蚀性流体中显示出优异的抗腐蚀与抗冲刷特性。

钛合金钻杆管体采用低成本普通的钛合金 Ti-6Al-4V 制造, 重量低, 柔性好, 坚固耐用。钛合金钻杆的工具接头可以采用钢制的 XT、HT 或 API 标准接头。工具接头采用机械方式装配到管体 Ti-6Al-4V 的加厚端上。

钛合金钻杆在钻短半径水平井、大位移井、超深

井等特殊工况井中显示出良好的优越性。对于上述苛刻井钻井来说, 钛合金是性能稳定可靠的钻杆材料, 能够满足这些苛刻的钻井条件要求, 而且在某些环境下, 可以通过钢制钻杆与钛合金钻杆组合使用, 从而获得性价比最优的钻柱组合。

对于短半径井来说, 使用钛合金钻杆可以显著增加钻柱寿命。与钢制钻杆相比, 在弯曲井段可减少约 45% 的应力, 而且允许钻杆在旋转状态下通过短半径弯曲井段。

对于大位移井来说, 使用钛合金钻杆可以减少扭矩和刹车阻力, 降低大钩负载, 在现场施工中容易控制井眼轨迹, 命中大位移井靶点。

对于超深井来说, 使用钛合金钻杆可以提高强度/重量比, 允许采用更深、更安全的钻柱设计, 同时避免了通常采取的大尺寸钻杆 + 小尺寸钻杆的钻柱组合方案, 提高了水力性能。而且, 钛合金是超深井钻探中理想的抗 H₂S 腐蚀高强度材料。

1.4 智能钻杆

随着技术的不断发展, 在钻井过程中能够实时获得地层评价资料和井眼导向数据, 从而极大地节省了钻机时间及钻井作业费用。随钻测井(LWD)及随钻测量(MWD)系统利用泥浆脉冲将井下测量数据传递到地面, 在一定程度上满足了实时数据传输的需要。但由于泥浆脉冲的传输速率只有有限的 6 ~ 10 bit/s, 因而限制了某些数据密集型测量方法, 如地震及地层评价测量方法的应用。对于使用泡沫钻井或空气钻井的欠平衡钻井方法, 则不能使用泥浆脉冲方法传输井下测量数据, 因此石油行业一直在不断寻求其它方法, 以实现真正意义上的高速实时随钻数据传输。

在美国能源部的资助下, Grant Prideco 公司与 Novatek 公司共同开发了智能钻杆系统。这一系统采用了 Grant Prideco 公司的 XT 超高抗扭接头作为平台, 应用非接触感应方式作为钻杆接头之间传输数据的方法, 数据传输速度高达 2 Mbit/s。智能钻杆系统实现了地面和井下的双向通信, 指令既可以下传至底部钻具组合以及沿钻柱的其它节点, 也可以从井下各个节点上传至地面。

智能钻杆系统在每根钻杆内壁安装了电缆, 电缆两端各有一个感应线圈, 分别嵌入钻杆公接头外端面与母接头内台肩的环形槽内^[5]。钻杆公母接头上扣后, 在两个感应线圈之间存在一个微小的间隙, 数据就是以感应方式通过此间隙双向传输。

智能钻杆系统目前已商业化, 并形成了可以与

钻杆共同传输数据的顶驱短节、加重钻杆及钻铤、震击器、稳定器等一整套装置。2004 年以来,两套智能钻杆分别由 BP 公司在美国俄克拉荷马州及 Anadarko 公司在加拿大阿尔伯达省钻探了 18 口井,纯钻时间达 6 000 h,总进尺达 180 000 ft。

智能钻杆系统彻底解决了钻井过程中实时数据的传输速率瓶颈,实现了高速数据传输,为近 25 年来钻井技术最重大的进步之一。

2 钻杆扣型的发展

2.1 超高抗扭接头

超高抗扭接头一般是指抗扭强度与 API 钻杆接头相比提高 70% 左右的钻杆接头。目前超高抗扭接头主要有三类产品。一类是采用双台肩设计的超高抗扭接头,这类产品包括 Grant Prideco 公司 XT 接头、V&M 公司的 VM TAURUS 接头、OMSCO 公司的 TorqMaster TM4 接头。第二类是既拥有超高抗扭能力又具有气密封能力的超高抗扭接头,即 Grant Prideco 公司 XT-M 接头。第三类是另类设计的楔形螺纹超高抗扭接头,即 Hydril 公司的 WT 接头。

XT 接头是 Grant Prideco 公司拥有专利的第二代双台肩旋转台肩连接^[6]。与第一代 HT 接头一样,XT 接头也设计了加长的公接头大端、公接头小端和母接头镗孔段。这些部分被精确加工以便在上扣时提供辅助的弹性变形,从而确保接触应力在两扭矩台肩上均匀分布。XT 接头与 HT 接头的主要区别在于:HT 接头采用标准的工具接头锥度,即 1:6,而 XT 接头采用标准的油套管接头锥度,即 1:16。由于 XT 接头锥度比较平缓,因此与 HT 接头相比,明显地增加了辅助内台肩的接触面积,从而大幅度提高了接头的扭转能力。

2.2 快速上扣超高抗扭接头

虽然超高抗扭接头的抗扭性能非常优异,但其普遍存在一个问题,即接头的上扣速度明显低于 API 接头。而那些迫切需要超高抗扭接头的苛刻井,动辄井深达 6 000 m 以上,钻井日费极其昂贵,为节约资金同时也迫切需要提高接头的上扣速度。这一性能与速度的矛盾严重地制约了超高抗扭接头的发展与应用。为解决这一问题,Grant Prideco 公司研究开发了第三代双台肩旋转台肩连接-快速上扣超高抗扭接头 Turbo Torque^[7]。

Turbo Torque 接头是工业上首次应用双线螺纹的钻杆接头,因此与 XT 接头相比,上扣速度可提高

1 倍以上,达到甚至超过 API 接头的上扣速度。不仅如此,该接头还是首次针对不同规格进行优化设计的钻杆接头产品。如表 3 所示,虽然不同规格的钻杆对包括拉伸性能、扭转性能、水力性能、上扣速度等性能要求的优先级不同,但是此前所有的钻杆接头都采用同一种模式设计。

表 3 不同规格钻杆对性能要求的优先级

Table 3 Design preferred rating for performance requirement of different size drill pipe

钻杆尺寸/ mm	设计优先级			
	1	2	3	4
60.3 ~ 73	拉伸性能	扭转性能	水力性能	上扣速度
88.9 ~ 114.3	扭转性能	上扣速度	水力性能	-
127 ~ 149.2	上扣速度	水力性能	扭转性能	-
168.3	上扣速度	扭转性能	水力性能	-

针对上述要求,通过采用双线螺纹,以及对不同规格的接头采用不同的螺纹齿形、螺纹锥度、螺纹长度的设计,与 XT 接头相比,Turbo Torque 接头全面提高了上扣速度、抗扭性能、水力性能以及疲劳性能。

3 结论

为满足日益苛刻的钻井作业要求,国外钻杆生产厂家在钻杆的品种、扣型方面取得了长足的进步,开发出一系列满足最新钻井技术要求的钻杆新产品。与国际最高水平相比,国产钻杆在快速上扣超高抗扭接头、智能钻杆等方面,还要做许多工作。

参考文献

- 1 Brett Chandler R, Michael Jellison, Michael L Payne, et al. Performance Driven Drilling Tubular Technologies. IADC/SPE 79872
- 2 Canadian Petroleum Safety Council. Critical Sour Drilling Industry Recommended Practice Volume 1, 2004: 155
- 3 Canadian Petroleum Safety Council. Critical Sour Underbalanced Drilling Industry Recommended Practice Volume 6, 2004: 61
- 4 Jackie E Smith, Brett Chandler R, Patrick L Boster. Titanium Drill Pipe for Ultra-Deep and Deep Directional Drilling. IADC/SPE 67722
- 5 Michael E Reeves, Michael L Payne. Intelligent Drill String Field Trials Demonstrate Technology Functionality. IADC/SPE 92477
- 6 Michael J Jellison. New Development in Drill Stem Rotary Shoulder Connections. IADC/SPE 62785
- 7 Muradov, Audrei, Chandler, et al. Fast Make-up Fatigue Resistant Rotary Shouldered Connection. United States Patent 7455329, 2008

赵 鹏(1974-),男,博士生,高级工程师,油井管新产品开发。

收稿日期:2010-01-20