

固井技术发展与趋势研究

郭凯凯 朱庆国 范淑慧 任雪凤 任建棚
(山东科瑞机械制造有限公司 山东 东营 257000)

摘要: 中国石化固井技术以满足生产需求为目的,以超深井、复杂深井、页岩油气、低渗透、老油田调整井复杂压力系统等固井技术为主,更高效地服务于复杂油气藏的勘探开发。同时,提高跨界集成程度,开发多功能、广谱、智能化、一体化的新型固井胶结材料和高功率、自动化、智能化的固井胶结设备,集设计、监控于一体的固井胶结设备,在固井胶结技术的未来发展中十分重要。

关键词: 固井技术; 固井设备; 固井工具

0 引言

挖掘老油田潜力,勘探开发目标更加复杂,随着多级压裂技术应用越来越广泛,对水泥环密封完整性要求也越来越高。未来10年,在深层和超深层油气、致密油气和页岩油气的勘探开发上,中国石化将继续加大力度。固井难度越大,对质量的要求也越高。因此,围绕水泥环密封的完整性提升,研究开发水泥环密封的完整性理论、新型智能固井材料、多功能绿色油井水泥外加剂和水泥浆、新一代智能固井设备和工具,重点开发超深井复杂深井、低渗透和页岩油气、老油田调整井复合压力体系固井及相关技术,多方位提高固井质量,给油气资源的勘探开发提供强有力的技术支持,确保其安全高效进行。

1 在深井方向进行固井技术研究

当下,中国石化新疆分公司顺北、昭化区油气田海相油气藏勘探开发井的井深大部分都超过7000m,井下的压力和温度都很高(实际测试温度高达191.8℃,井底压力大于100Mpa)。固井段长度达到5000m以上,压力体系复杂,对水泥浆耐高温性、高温下水泥石强度的稳定性、固井工具耐高温性、水泥环的完整性和长期密封性提出了很高的要求。当下,我国的油井水泥外加剂具有性能单一、温度范围小的特点,没有多能量、广谱温度类型的外加剂,复杂化了油井水泥浆体系,同时也没有能耐180℃以上高温的缓凝剂和降失水剂。在稳定性与流变性上,高温高密度和超高密度水泥浆与国外有很大不同。为此,深井和超深井固井技术研究必须持续开展下去。

为了将“二高一低”水泥浆的性能进行提高,满足深井和超深井固井技术中的复杂地质条件,研制了超高密度(实际密度大于2.70kg/l)、超高温(耐温度大于200℃)和超低密度(实际密度小于1.20kg/L)水泥浆,并研发了多功能一体化的宽温度范围的油井水泥外加剂。研究结果表明:超高密度水泥外加剂具有良好的综合性能,为了保证水泥石在高温下的结构完整性和力学性能稳定性,为了提高水泥驱替效率,研制了高温防腐防窜水泥浆,加强了固井技术在深井窄安全密度窗口、小间隙、高压气井和高压盐层方面的研究。

1.1 深井、超深井固井技术

针对气温压高、活跃气层、安全密度窗口窄、压力稳定与防漏矛盾突出等问题,形成了深井、超深井“堵、封、压、快、控”固井技术。“封堵”就是进行压力封堵,杜绝水泥浆渗漏。“封气”是利用增强的抗气窜水泥浆,封气层;“压力”是指浆柱结构的合理设计和压力的阶段性稳定;“快”是指尽快清理反循环;“控制”是指条件不稳定时的压力控制固井过程。该技术已应用于塔河油田、顺北油气田和四川深海海相油气井一百多口井,有效解决了深井和超深井固井问题。

1.2 页岩气长水平段水平井固井技术

长水平段水平井的页岩气对水泥质量要求严格,而大规模分段压裂水平井对密封能力要求苛刻。因此,形成了以增韧、冲洗和扶正为核心的技术:“增韧”是基于水泥石的力学性能和弹性材料的发展,韧性增强,elastic-ductile水泥浆的形成,提高了水泥石的硬脆性,以满足压裂过程中对夹层密封和长期密封的需求;“冲洗”是进行预冲洗,设计四级预冲洗结构,设计合理的密度差和粘度差,可提高水泥的置换效率和水泥质量;“扶正”是指开发一种完整的套管扶正器,实现长水平井中套管扶正、安全下井的目的,保证套管能够顺利下井,同时将水泥浆的顶替效率大幅提高。该固井技术在涪陵、涪荣等地区200多口井中进行了应用,大大提高了页岩气井的固井质量,为页岩气的勘探开发提供了技术支持。

1.3 超长固井段温差大的固井技术

针对顺北等地区固井技术存在的固井段长、温差大、难以兼顾压力稳定和防漏、水泥浆顶部温度低与底部温度高的矛盾突出等问题,形成了超长固井段“封堵、广谱、扶正、优化”的大温差固井技术。“封堵”是指对地层压力进行封堵,将地层的承压能力予以提高;下套管前对井筒进行超纤维洗井,使固井安全密度窗口得以扩大。“广谱”是利用研制的温度广谱水泥缓凝剂和降滤失剂形成温度广谱水泥浆,解决大温差固井的技术难题。“扶正”可以选择弹性扶正器或者树脂旋流刚性扶正器。对套管密度的优化设计可以使用专业软件,保证套管密度不小于67%。“优化”是采用效能优异的预流体对料浆柱结构进行优化,前浆选用耐高温低密度水泥浆,中浆选用盐水低密度水泥浆,尾浆选用耐高温

硅水泥浆,从而有效封堵不同压力系统的地层。该工艺已应用于新疆、四川等地区的一百多口井中,使超长裸眼段的有固井成为可能。顺北4井固井段长5700m,温差105℃。

2 对页岩气和致密油气层的固井进行技术研究

随着我国天然气战略的大力发展实施,中石化在四川、鄂尔多斯等地加大了天然气(包括页岩气和致密气)的勘探开发技术研究,固井质量面临着许多技术问题,比如长套管在水平段难以下入、油基钻井液冲洗困难、水泥固井质量和水泥石弹性在分段压裂中要求高等,同时也要求水泥环具有更高的密封完整性。因此,迫切需要加强致密油气和页岩气固井技术研究,将水泥环的密封完整性能进行提高。可以采取的技术措施有对水泥环微裂缝的形成机理进行分析,定量评价油气水窜方法,分段压裂和高能射孔是否影响到水泥环密封能力,水泥环密封失效判据等,以此来研究水泥环密封能力的提高方法。研究长水平井安全下套管技术,水泥弹性改性技术,水平井提高顶替效率技术,开发高性能非固相堵漏材料,用压力处理技术强化天然气井环空。

3 对复杂井进行压力体系研究和固井技术研究

中石化胜利油田、河南油田、江苏油田等华东老油田的勘探开发进入后期。固井技术将要解决的主要问题有:地层压力由于多年注采而变得比较复杂,油气层上下层压差大,对薄夹层封堵特别是第二界面封堵要求有很高的质量。为了提高复杂压力环境下薄互层水泥的固井质量,迫切需要加强复杂压力体系下老油田调整井的固井技术研究,研究泡沫水泥浆和低密度低成本水泥浆固井技术,研究水平井、侧钻水平井等固井技术。

4 对新型的化学固井材料进行研究

常规油井水泥浆固有的脆性和收缩性决定了水泥环腐蚀、长期力学性能劣化和防渗漏等技术问题。为此,需要加强新型固井材料的研究与开发:水泥环在特殊地层以及复杂流体中,有特殊要求。因此,研究与开发新型固井材料,如新型固化树脂、多功能一体化钻井液固井液、水泥石纳米改性等;加强智能材料的研究与开发。对智能固井材料(环境或时间响应型)的研究与开发主要包括:研究开发智能材料,使其能够在有气时膨胀或产生二次水化,将环空气窜问题从根本上予以解决;研究开发具有形状记忆功能的聚合物材料,对水泥浆渗漏、堵塞和回弹改性技术问题予以彻底解决;研究开发新型胶凝智能材料,具有井下激发功能,可以真正实现固井液与钻井液的一体化,将水泥浆与钻井液不相容的问题彻底解决。

5 超高温高压、复合酸性气体腐蚀和超窄压力

“十三五”期间,针对超高温高压、复合酸性气体腐蚀、压力窗口超窄等难题,在超高温高压(超高温高压、深水高

温高压、高温高压、常规高温高压)复合井上进行了成功的探索,取得了较好的效果。然而,在超高温高压、深水高温高压、CO₂/H₂S复合腐蚀井固井实践方面还不够充分,也没有开发经验。今后15年,南海中南部的乐东、陵水、琼东南和中南部等地区将要勘探开发的构造具有超高温高压的特点,渤海渤中区块的深部构造也是高温高压,东南亚的宁波区块海外气田项目,英国北海气田项目等。为此,有必要开发一种能满足油层深度的综合固井技术,井下工具温度要求耐温225℃,保证能工作在4000m~7000m、温度200℃~240℃、压力120MPa~150MPa、CO₂和H₂S复合腐蚀、压力窗口0.05-0.10g/cm³的环境下。

6 对固井自动化和智能化设备进行研究

近年来,勘探开发已逐渐进入深海、非常规石油、天然气,工作环境和地质构造特殊,常规固井设备不能满足这些环境下的固井作业要求,需要提高固井设备的功率、自动化水平以及智能化程度。建议研制具有自主知识产权的新一代大功率全自动注水泥成套设备及配套工具,在互联网技术的基础上,进行优化固井技术,完善现场监控系统,从而彻底达到固井设计与现场监控一体化的目的,提高固井作业能力,实现数字化、自动化控制。

7 结语

(1)开发了防腐蚀、智能密封、温度宽谱、液态硅油气窜等水泥浆体系,形成了高温高压、大温差、超深井和页岩油气固井技术,对中国石化油气勘探开发的需要予以满足。

(2)在关键井下工具、主要设备和软件方面取得突破,如性能优良的尾管悬挂器、一体化氮气泡沫固井系统、分级固井工具、自动化水泥车、优化设计固井技术的软件等,提高了固井技术服务范围。

(3)中石化将继续加大深层、超深层、致密油气和页岩气方面的勘探开发力度。以需求为导向发展固井技术,将超深井固井技术、复杂深井低渗透、页岩油气固井技术和复杂压力系统下老油田调整井固井技术作为发展重点。

(4)通过进行多学科联合研究,来研究多功能、广谱、智能化、集成化的新型固井的化学材料和自动化、大功率、智能化、设计和监控一体化固井的设备,这将是未来的主体发展方向。

参考文献:

- [1]路保平,丁士东,何龙,等.低渗透油气藏高效开发钻完井技术研究主要进展[J].石油钻探技术,2019,47(1):1-6.
- [2]杜金虎,何海清,杨涛,等.中国致密油勘探进展及面临的挑战[J].中国石油勘探,2014,19(1):1-9.