

提高页岩气井固井施工质量的技术研究

马杰

(中国石油化工股份有限公司西南油气分公司页岩气项目部, 重庆 402160)

【摘要】近年来, 我国的页岩气勘探开发有了很大进展, 在钻井工程阶段作业中, 固井施工是非常重要的内容。固井的主要目标是保护井筒的完整性和为套管提供支撑, 为下步页岩气储层大规模改造及气井生产寿命提供基础。页岩气固井技术的发展对推动页岩气勘探开发具有重要的作用。本文就提高页岩气井固井施工质量的技术措施进行研究, 以供参考。

【关键词】页岩气井固井; 施工质量; 技术措施

引言

固井是一项复杂的系统工程, 随着固井施工监测技术向信息化、可视化、数字化、精细化方向发展, 改变现有固井施工现场有线采集与信息传输方式, 运用无线通信技术, 通过对固井施工动态参数实时监测, 及时掌握井下情况, 合理控制固井施工参数, 调整施工技术措施, 有助于提高固井质量, 降低固井施工作业风险, 是提高固井施工成功率的关键。同时开展固井数据库的开发, 实时数据分析, 实现固井作业过程仿真模拟、施工过程可视化、决策分析智能化, 合理调整施工措施, 避免固井施工复杂情况发生, 是提高固井信息化管理水平、增强市场竞争力的关键技术手段之一。

一、页岩气井固井施工的概述

在对钻井工程实际施工建设过程中, 需要在下管套施工完成之后, 及时开展注水泥固井工程, 确保上述工作都完成之后, 才能够开展接下来的大型压裂作业。如果固井的工程质量不符合标准, 就会对井筒完整性产生一定的影响。对在交付后进行大型压裂改造或生产过程会产生大的影响。固井施工工程的主要目的就是为对井下的压力及地层进行封隔, 帮助泥浆循环工程建立高质量的通道的同时还可以确保未来的钻井施工可以顺利开展, 同时为下步大型压裂提供精细分段作业的基础。为了避免出现井眼失去稳定性的情况, 导致井壁发生坍塌或压裂压力材料等发生窜层等各种各样的问题, 要采用科学合理的方式减少钻井周期, 提升钻井工作的工作效率, 保障压裂效果。站在现阶段石油固井工程的角度上来说, 在实际施工建设的过程中, 要采用科学合理的方式配置符合标准的水泥浆, 利用隔离塞以及前置液, 隔离石油固井中的液体和钻井液体。之后在井壁与套管之间注入高压管, 等待其凝固之后, 即能够形成相应的水泥环, 之后再借助相应的设备将井筒中的水泥塞钻穿, 油层达到有效分隔。将上述工作做完之后, 要严格按照相关规章制度对其进行检查, 确保其符合标准之后才开展接下

来的工作。通过这样的方式可以有效提升工程的整体质量。井眼以及地质的实际情况、施工要求、套管柱和水泥浆的影响以及钻井液的整体性能等因素都会对石油固井工程的整体质量产生严重的影响, 采用科学合理的方式将石油固井施工过程中的不足之处改善, 不光可以将石油固井工程的施工质量提升, 同时还可以将井筒实际使用寿命延长, 从而从根本上将油田生产效率提升。

二、页岩气井口带压原因分析及预防带压措施

分析各页岩气井带压情况, 环空带压主要原因如下: 1. 固井时钻井液顶替效率差。提高顶替效率是保证层间封隔和防止环空带压问题的一项重要措施, 防止环空带压的第一步就是要提高固井时的顶替效率。2. 水泥浆设计不合理。水泥浆的性能除满足施工要求外, 还要考虑水泥石(如杨氏模量、泊松比等)的力学性能由于井下温度、压力、应力变化能否满足长期封隔的需要。3. 井下条件变化导致水泥环密封失效。如试压、射孔、压裂等作业造成水泥环本身出现的机械破坏, 井内温度或压力变化造成水泥与套管、水泥与地层之间产生微环隙。对应井口带压原因, 需采取以下预防措施: 1. 采用高强度气密封完井管柱。2. 提高固井时顶替效率。3. 水泥石具有良好力学性能, 表现为杨氏模量较低、泊松比较高。4. 遵循平衡压力固井设计原则, 防止固井漏失、气窜。

三、石油固井施工质量提升技术的措施

(一) 套管下入技术

1. 通井技术措施。在下套管前使用高于套管串刚度的组合钻具(如采用双扶、三扶等不同钻具组合)进行通井, 并采用“稠浆”携砂, 为套管顺利下到位和固井创造良好的井眼条件。2. 扶正器优化及套管居中。电测数据显示, 西南页岩气工区油层目的层威远、永川及丁山区块石牛栏组、龙马溪组及井研-犍为区块龙王庙、峨眉山玄武岩组时有掉块出现, 井径不规则, 对扶正器的性能提出了更高的要求。整体式弹性扶正器具有较高的复位力, 聚酯旋流刚性扶正器不仅在下

套管中能减轻遇阻冲力,而且对环空水泥浆产生旋流,提高顶替效率。设计中采用在三开裸眼段至井底井段采用聚酯旋流刚性扶正器和弹性扶正器交叉使用的方式,保证套管居中度在80%以上,既利于提高顶替效率,也利于提高环空水泥环均匀性。3. 套管安全下入计算。下套管速度是影响波动压力大小的关键,波动压力过大容易造成井涌或井漏。套管柱在充有流体的井内运动相当于一个柱塞排出流体,使流体在井内运动。因此环空流速与运动管柱底端结构及几何尺寸有关。在深井送放套管时,每隔一定深度要中途循环,破坏泥浆结构力,降低开泵启动压力,预防井漏。但在通过渗透性井段时,下套管应连续平稳通过,防止发生压差卡钻。

(二) 监测模块功能及参数设计

系统包括流量—压力采集器、密度采集器、无线接收器、防爆电池、信号电缆线等主要硬件。其中,采集器负责流量、压力、密度数据采集、信号转换与无线发送;无线接收器负责流量、压力、密度数据监测端接收;防爆电池用于采集器内部电源不足时的持续供电;信号电缆线用于采集器与压力表、流量脉冲传感器、水泥车密度之间的连接。

(三) 油基钻井液对水泥浆的流变行为的影响

较好的流变性,可以改善泵送效果,还可以影响水泥黏附在管壁和岩层上的强度。随着油基钻井液含量的增加,塑性黏度和屈服点也会增加。塑性黏度表示存在的固体颗粒的数量,但随着油基钻井液体积的增加,可以水化的固体(例如水泥)将进一步增加塑性黏度,从而降低水灰比。随油基钻井液含量的增加,自由水中的孔隙量减少。具体的微观变化为:随混合物中的水含量不断降低,混合物流变行为逐渐恶化。被油基钻井液包裹的水泥浆没有产生相应的水合作用。当油基钻井液含量增加到25%以上时,水泥浆被其完全包裹。当水泥浆中的含水量高于含油量时,油基钻井液的乳液结构被破坏。当油基钻井液含量低25%时,水泥浆混合物在95℃时的流变行为有所改善。在较高温度下,破乳对低油基钻井液含量的混合物流变行为影响较小。当油基钻井液含量达到50%时,混合浆料的渗透压最大,导致浆料流变性变化最大。高油基钻井液含量保证了乳液的稳定性,但渗透压会随着温度的升高而增加,这将显著增加的浆料的流变参数。由于水泥浆和油基钻井液不兼容,添加油基钻井液通常会降低混合浆料的流变特性,甚至使水泥无法泵送。本研究结果表明,流变性能的这些变化是由渗透压和破乳作用引起的,渗透压和破乳作用改变了混合浆料中存在的游离水量,混合浆料中较高的OBM含量会使浆料干燥和增稠,使其难以在井底温度下泵送。

(四) 重点监督实际施工过程并对施工过程进行全方面的管理

页岩气井固井工程在实际施工建设过程中,要将

固井施工设计的要求以及相关标准进行明确。采用科学合理的方式对固井施工进行监督,能够及时发现施工过程中的问题,并制定完善的措施将问题解决。加大对固井施工进行监督和管理,能够从根本上提升固井工程的施工质量。如果固井的结构以及地质条件都没有变化,为了提升固井施工的整体质量,就需要借助相应的技术手段优化固井施工技术。由于地层也会对固井工程的整体施工质量产生影响,通过借助止漏堵水技术可以避免对固井工程的影响,提升地层承载能力的同时还可以提升水泥浆固结的稳定性,并最终形成相应的水泥环。如果想要减少腐蚀对固井工程的影响,要加大对水泥浆实际性能进行分析和研究,研发出性能更好的水泥浆,从而有效地提升水泥浆的强度。站在腐蚀的角度上来说,要重点关注水泥环防腐处理工作,巩固并提升固井的整体效果。此外,采用科学合理的方式选择水泥浆,提升水泥环强度的同时,也可以减少由于水泥浆窜槽而产生水泥返高的情况,拉长井筒的寿命,提升固井效果。如果裸眼井段比较长也会对固井工程的整体施工效率产生一定程度的影响。所以,要借助相应的设备对裸眼井段较长的部位进行设计和优化,提升水泥浆的实际用量,形成高质量的水泥环。采用科学合理的方式对井壁以及管套中的环形部位开展封固工作,提升井壁稳定性。此外,要加大防腐套管处理工作的工作力度,提升水泥的防腐性能,加大对其进行分析和研究,从而研发出高质量的水泥浆。此外,将高质量的水泥浆和固井工程施工相互结合,可以更好地符合固井工程施工的整体质量以及相关标准。

(五) 页岩气井固井的水泥环防腐措施

根据固井的水泥环腐蚀影响因素的分析,在制定水泥环防腐措施需要考虑的具体方面如下:1. 通过优选复合减轻剂,可避免固井漏失,降低水泥浆密度,并按照水泥浆性能,构建低密高强水泥浆基础体系;2. 精准控制尾浆稠化时间,加强水泥环早期强度与抗水侵性能,达到固井水泥浆优质胶结的目的;3. 通过提升水泥浆的致密性,提升其防腐蚀性能,即提升固井的防腐能力,以确保水泥浆基础性能为前提,添加非渗透剂与缓蚀剂,通过前者提升水泥环抗腐蚀离子的迁移能力,降低其水泥环的穿透性能,在固井水泥浆与地层间产生一道隔离屏障。通过加入后者,其内部缓蚀因子可抑制金属表面的阴阳极反应,降低水泥环腐蚀时的腐蚀电流,提升水泥环的缓蚀效果,降低水泥环的腐蚀速率。优选非渗透剂的分析如下:以环氧树脂为非渗透剂,提升水泥环基体的密实度,避免腐蚀介质渗入水泥环,延缓水泥环的腐蚀速率。在水泥浆内加入该非渗透剂后,其和水泥浆会产生三维立体结构,提升非渗透剂的力学性能,使其固化体颗粒紧紧围在一起,提升水泥环的完整性与韧性,缓解地层水对水泥环的损坏程度,延长石油固井的使用寿命。

优选缓蚀剂的分析如下：通过考虑水泥环内碱性物质含量、腐蚀化学反应抑制效果、水泥环的原始抗压强度，合理选择缓蚀剂。按照电化学缓蚀成膜原理，利用阴、阳极缓蚀材料与硫酸盐还原菌抑菌，制备缓蚀剂。第一种材料的作用区间为阴极区，以产生钝化膜的形式，增加阴极间的电阻，抑制水泥环的电化学反应，提升水泥环的防腐性能。第二种材料的作用区域为阳极区，其作用机理与第一种材料的作用机理一样。第三种材料通过抑制微生物细胞膜的通透性，避免水泥环表面附着氨基酸，降低细菌生长速度，提升水泥环的防腐性能。分析不同非渗透剂与缓蚀剂添加量时，石油固井水泥环的渗透率与稠化时间，渗透率越小，稠化时间越长，水泥环的防腐性能越佳。随着非渗透剂添加量的增长，水泥环的渗透率不断下降，稠化时间不断延长，最小渗透率为0.011mD，最长稠化时间为60min，即石油固井水泥环的防腐性能越佳；随着缓蚀剂添加量的增长，水泥环的渗透率并未发生改变，但稠化时间有所增长，最长稠化时间为59min；当非渗透剂添加量为12%，缓蚀剂添加量为3%时，水泥环的渗透率最低为0.008mD，稠化时间最长为61min。为此，最佳的非渗透剂添加量为12%，最佳的缓蚀剂添加量为3%，可有效提升石油固井水泥环的防腐性能。

（六）油基钻井液对水泥浆的污染机理

典型的油包水钻井液由油包水乳液组成，这些乳液由乳化剂提供稳定性，其他成分被添加到其中来满足钻井液标准。将油基钻井液混入水泥浆中时，其乳液部分会分布到水泥浆中，并会去除水泥浆中的水分，将其吸收到钻井液中。水泥浆含水量的降低会缩短稠化时间，同时对水泥的流变性能产生负面影响。水泥浆中的油基钻井液会阻碍水化作用，导致不完全水化和蜂窝结构的形成，从而降低水泥石的强度。减缓水化作用会影响水泥浆凝固，并通过如下四个步骤进行：1. 油基乳液均匀分散在水泥浆中；2. 水泥浆由于乳化剂的存在而发生乳化；3. 包裹水泥颗粒的油相发生部分水化；4. 形成水泥的骨架结构。但是，由于水泥颗粒不能完全水化，并且颗粒被油相包围，因此形成了蜂窝结构，最终造成水泥石的抗压强度明显降低。

（七）实时顶替效率优化

智能分析决策系统在固井注替施工过程中，根据现场实际静态基础参数，实时采集动态固井施工参数，在线模拟仿真顶替效率，以便实时优化顶替参数，提高顶替效率。实时顶替效率模拟包括：基础参数获取模块、顶替效率模型模块、顶替效率确认模块、顶替效率云图绘制模块四个部分。在固井施工过程中，通过参数获取模块读取固井设计软件中的目标井基础参数和实时采集系统中的固井动态参数，输入到顶替效率模型模块进行水泥浆顶替情况计算，并输出到顶替效率确认模块，形成数据矩阵，最后再由顶替效率云图绘制模块绘制出当前时刻的井筒顶替效率计算云图，

以供固井施工指挥 / 专家参考，进行实时施工参数优化决策。

（八）固井外加剂取得进展

作为钻井作业的一部分，水泥浆是由水泥、水和其他添加剂混合制备的，然后沿着套管一直流到环形空间。与建筑行业使用的水泥相比，油井水泥需要暴露在不同的地层条件下。固井工作的目的之一是确保在套管外具有设计量的水泥，确保窜槽不会发生。油井水泥的强度通常取决于固化时间、环境条件、配方设计和添加剂的使用等因素。水泥中需要添加许多添加剂，以增强水泥的各种性能。水泥凝结时间的减少可以通过使用促进剂来实现，水泥的增稠时间可以通过添加缓凝剂等来实现。此外，我们还可以使用不同的添加剂来提高水泥的抗压强度及弹性，减少水泥内的流体损失并增加水泥的密度。氯化钠和氯化钙可作为水泥浆中的促进剂，减少水泥的凝结时间。重晶石或赤铁矿等加重剂广泛用于增加水泥浆的密度。除了这些常用的添加剂外，许多特殊添加剂，如稀释剂、填充剂、密度减轻剂、缓蚀剂、膨胀添加剂、硫化氢清除剂、除氧剂等，都是根据固井要求添加到水泥中的。由于氧化石墨烯纳米片边缘有-COOH基团，水泥浆中的钙离子可以与之发生反应，该反应可产生由水泥颗粒和氧化石墨烯的水化产物组成的强化空间结构。

结语

总体来说，在进行页岩气钻采工作时，固井工作不光可以提升钻井工作的安全性，同时还可以帮助该工作开展得更加顺利。如果想要帮助钻井工作顺利开展和运行，要采用科学合理的方式提升页岩气井固井工程的施工质量。在固井工程实际施工过程中，要借助相应的技术手段对施工设计进行优化和创新，选择性能比较高的水泥浆体系，通过这样的方式不光可以从根本上减少由于各种因素对固井工程整体质量的影响，同时还能够提升井筒的使用年限，降低开发成本的同时还能够提升固井工程的质量，从而提升钻采工作的效率、后续大型压裂改造效果及气井生产寿命。

参考文献：

- [1] 李彬. 提高石油固井施工质量的技术措施[J]. 化工管理, 2020(11): 172-173.
- [2] 冯志云. 关于提高石油施工井固井质量的探讨[J]. 中国化工贸易, 2019, 11(22): 182.
- [3] 郭文成, 张天翼. 提高石油固井施工质量的技术措施[J]. 石化技术, 2018, 25(10): 332.
- [4] 李国栋. 智能技术在石油固井施工中的应用探究[J]. 百科论坛电子杂志, 2020(17): 475.
- [5] 王占峰. 提升油气井固井施工质量的技术探究[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(11): 81-82.
- [6] 阴子钧, 丁刚, 陈江, 等. 石油固井机械设备的维护方法探究[J]. 石化技术, 2023, 30(06): 146-148.