

气体介质条件下的固井技术

陈忠实¹ 陈 敏¹ 常洪渠² 李旭春¹ 李 江¹ 刘世彬¹

1. 中国石油天然气集团公司川庆钻探工程公司 2. 中国石油西南油气田公司

陈忠实等. 气体介质条件下的固井技术. 天然气工业, 2009, 29(5): 63-66.

摘 要 近年来, 四川油气田大力推广应用了气体钻井技术, 对于大幅度提高机械钻速和避免井漏等钻井复杂情况起到了十分重要的作用。为了避免气体钻井结束后替入钻井液可能引发的井漏、井眼不稳定等复杂情况, 缩短钻井周期、降低钻井成本, 进一步提高固井质量, 在川渝地区探索实践了气体介质条件下 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 表层套管和 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 技术套管共 18 井次的干井筒固井作业, 基本形成了一套气体钻井后干井筒(井眼内为纯气体时的井筒简称为干井筒)固井工艺技术方案与措施。在干井筒固井施工过程中, 主要作业环节的工艺技术包括: 气体介质条件下井眼准备及下套管技术、非连续液相注水泥技术等, 并介绍了防井漏、防井壁失稳、防环空堵塞等技术。实践表明: 干井筒固井施工的固井质量明显高于常规固井的质量; 注水泥浆施工工程风险小; 可消除气体钻井结束后替入钻井液再固井作业可能带来的井下复杂情况。

关键词 深井 水平井 气体介质 下套管 注水泥 固井技术

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.05.012

0 引言

所谓气体介质条件下固井作业就是指在气体钻井结束后井内不替入钻井液, 直接进入下套管及注水泥固井的施工作业。这种新工艺的产生避免了过去气体钻井结束后替入钻井液产生的井漏、井壁不稳定等复杂情况的发生, 缩短了钻井周期, 同时也减少了钻井液总量, 降低了钻井成本, 固井质量与常规固井作业相比也得到明显提高。近几年来, 四川油气田针对川渝地区钻探施工作业中普遍存在井漏复杂、岩石可钻性差、钻井速度慢等技术难题, 重点研究、试验和推广应用了气体钻井新技术, 对解决钻井过程中的井漏和大幅度提高钻井速度, 取得了突破性的进展。气体介质条件下固井工艺技术的研究试验就是在这样的背景下产生的, 目前, 应用气体介质条件下固井工艺技术已实施了 18 井次。下面将主要介绍气体介质条件下的固井工艺技术特点及应注意的问题、各作业环节的工艺技术, 并对施工现场应用情况进行介绍。

1 气体介质条件下固井作业的特点及应注意的问题

- 1) 气体钻井后, 是否存在裸眼井段井漏情况不清楚。固井前应注意收集该地区已钻井情况, 具体设计注水泥工艺技术方案及措施, 要重点避免因井漏造成压空下塞并导致套管鞋附近环空无水泥环^[1]。
- 2) 气体介质条件下, 钻屑和井壁掉块由于没有钻井液悬浮将会沉积在井底。通井时应注意尽可能将井筒内钻屑, 特别是井壁掉块清除干净。注水泥浆之前应采用大排量清扫下套管所产生的砂屑, 清洁井筒, 以保持水泥浆在环空易于流动和界面的有效胶结。
- 3) 在气体介质条件下注水泥浆施工安全性高, 不存在钻井液污染水泥浆的问题, 水泥浆试验简单, 与常规固井相比可以节省不少水泥浆添加剂费用。
- 4) 在气体介质条件下井壁不存在滤饼, 两界面水泥胶结质量好, 固井质量能得到保障。
- 5) 即使存在井漏, 只要注意第一次正注施工将下部套管鞋段“鞋子”穿好, 采用多次反灌水泥浆就

作者简介: 陈忠实, 1956 年生, 教授级高级工程师; 1981 年毕业于原西南石油学院油气井工程专业, 现任川庆钻探工程公司副总工程师, 长期从事钻井技术研究与管理工 作。地址: (610051) 四川省成都市成华区府青路一段 3 号。电话: (028) 86011289。E-mail: dscchenmin@163.com

能将整个环空水泥环衔接起来,而不必担心环空夹一段钻井液的问题。

6)与常规固井相比,气体介质条件下固井作业,有利于作业区域环境保护,因为它不需要附加更多的水泥浆来驱替钻井液,从而避免了排泄到污水池的混浆,同时,也节约了材料费用。

7)由于套管内为气体,一次性注水泥浆返至地面或返高过多(内插管注水泥浆方式)时,可能挤坏套管、损坏浮箍及其他井下工具附件。因此,固井施工设计要进行抗外挤强度校核,设计水泥浆分几次注入及返高井深。

8)目前,气体介质条件下固井作业仅限于井筒内不产天然气的井应用。地层产天然气,如果直接注水泥浆固井,防气窜及可燃气体与空气混合发生燃暴风险的问题还需解决。

2 主要作业环节的工艺技术

2.1 钻具组合及下套管前的通井

气体介质条件下,下套管柱遇阻卡处理更加困难。因此,良好的井身质量和充分有效的井眼准备工作是保证套管柱安全顺利下入的先决条件。

1)钻井时注重采取保障井身质量的措施。根据气体钻井特点,科学设计钻具结构、钻头和钻井参数,尽可能地使钻出的井眼轨迹圆滑,避免形成井壁台阶和拐点。实践表明,带扶正器的钻具结构由于刚度大,钻出的井眼轨迹圆滑,能获得优良的井眼质量。

2)模拟下入套管柱的尺寸和刚度的钻具组合通井。根据下入套管柱的尺寸、刚度,设计相应通井钻具结构进行模拟通井,模拟通井钻具组合主要是下部30~40 m管柱的刚度不要小于套管柱的刚度。气体介质条件下模拟通井,钻具无钻井液浮力,管柱运行时产生极大的惯性,必须高度重视安全风险,遇阻划眼时应小心操作,慎防阻卡和钻具反转倒脱钻具。

3)应特别注意井眼的清洁净化工作。由于气体对岩屑几乎没有悬浮能力,因此,通井过程中应加强井筒内的砂屑清扫,特别要对井壁掉块进行碾碎后清除,循环气量应保持与钻进时的气量一致。应采取短起下钻方式探砂面和反复吹扫井筒,以确保下套管前井眼得到充分的清洁净化。

2.2 下套管技术

气体介质条件下套管与钻井液介质有显著的不同。由于套管柱始终处于空重状态导致管柱下行具有更大的惯性力,而套管柱受重力作用更加紧靠下

井壁即贴边更严重。因此,精心操作、优化设计管柱结构和合理加入套管扶正器,是确保套管柱安全顺利下入和水泥环均质封固的关键^[2-4]。

1)优化设计干井筒入井套管柱结构。底部管柱结构通常采用:引鞋+套管鞋+浮箍+套管+浮箍或内插管座+套管柱,由于井壁粗糙无光滑滤饼,为保证套管柱顺利下入应采用引导性好的引鞋,套管引鞋应采用抗破碎的刚质或铝质材料,避免使用玻璃钢或胶木等易碎材料,可使用一只浮箍。另外,考虑到气体携砂和悬浮岩屑的能力弱于钻井液,引鞋至井底之间的口袋比常规固井时多留0.5~1 m,尤其是套管头为锥挂式的井更应注意这一点。

2)优化设计套管扶正器。根据实际井眼轨迹,合理设计加入套管扶正器,扶正器的选择和安放应充分考虑两个方面的问题:一是通过能力,扶正器结构应具有使管柱易通过井壁阻点的能力;二是有效扶正居中。刚性扶正器应采用上下倒角螺旋结构,其最大外径应使管柱居中度不小于67%。

3)下套管精心操作。套管柱下入过程中,应严格控制下放速度,匀速下放,轻提轻放,防止高悬重时过大冲击载荷损伤接箍丝扣和套管碰撞井壁引起大的井壁掉块,确保套管柱的安全顺利下入。

4)遇阻后,注气循环,注意循环时间至少两周以上,并观察返出物情况。要防止砂子返至上部井筒时停止注气,而造成堵塞环空的情况出现。

2.3 气体介质条件下注水泥固井技术

井筒内为气体介质时的注水泥固井施工主要把握以下几点:

1)注水泥浆施工设计,工艺上不要注清水或隔离液。实践表明,干井筒注水泥浆施工过程中,注入浆体结构不适宜采用前置液,因为重力和密度差的作用,施工前期注入药水或钻井液,随后注入的水泥浆在管内及环空将与之发生严重的窜混,从而严重影响水泥浆性能和水泥环的界面胶结质量。考虑干燥井筒易造成水泥浆脱水,影响水泥浆流动性,可根据一次注入水泥浆总量的多少,注入5~10 m³,密度低于水泥尾浆的水泥领浆。水泥浆应控制好自由水和具有良好的沉降稳定性,还应使其在干燥环空运行的同时能保持良好的流动性。

2)内插管式注水泥浆,应根据水泥浆设计密度校核套管抗外挤强度,控制好水泥浆返高,确保套管安全。另外,还应计算环空充满一定高度的水泥浆后,套管柱是否会因为浮力而上顶,若存在这种风险,则应在套管内灌入相应的清水或钻井液。

3)根据所钻井地区邻井地层压力、固井是否出现井漏的情况决定采用什么样的注水泥浆工艺。若邻井地层压力正常、固井水泥浆返至地面没有出现井漏,则可以一次性正注入水泥浆返至地面;若所钻井地区属于低压易漏地区,邻井固井出现较严重的井漏,应特别注意管内水泥浆量要留高些,防止所替钻井液将水泥浆全部压出管鞋,造成下部环空无水水泥环。对于这类井推荐采用先“穿鞋子”,后反灌水泥浆的方法来施工,具体做法是:第一次注水泥浆后不替钻井液,让水泥浆在管内外自找平衡,水泥浆终凝后,分几次从环空反灌水泥浆(每次反灌的隙隔时间,以稠度值达100 Bc的时间定),反灌水泥浆不再考虑领浆。为了缩短施工周期,反灌水泥浆可用快干水泥浆。

3 现场应用情况

3.1 现场应用情况

近两年川渝地区实施干井筒下套管注水泥固井共 18 井次,主要应用于 $\varnothing 444.5$ mm井眼及 $\varnothing 311.2$ mm井眼的表层和技术套管,固井井深为 600~2 600

m。根据固井井深和地层承压情况,井深在600 m左右的 13 井次均采用一次性注水泥返至地面,5 井次采用正反注相结合的注水泥工艺。固井质量总体情况及质量分类对比评价见表 1。从表 1、2、3 可以看出,总体固井质量优于钻井液介质的常规固井和使用套管扶正器的固井质量明显优于未用扶正器的井,若剔除LG30、36、001-8井3口质量差的井,其总体质

表 1 LG 构造气体介质条件下各井固井质量测井总体评价表

套管层次	井次	评价段长 (m)	优质率 (%)	合格率 (%)
$\varnothing 339.7$ mm	15.0	9 859.0	70.0	83.3
$\varnothing 244.5$ mm	2.0	4 890.0	74.4	94.1

表 2 气体介质条件下套管柱使用扶正器与未使用扶正器的固井质量测井评价对比表

施工类型	井次	评价段长 (m)	优质率 (%)	合格率 (%)
使用扶正器	6	4 927.5	74.47	91.42
未使用扶正器	6	3 281.5	54.16	67.04

表 3 具有可比性的 $\varnothing 339.7$ mm套管气体介质固井与钻井液介质固井质量测井评价对比表

施工类型	井次	评价段长 (m)	测井评价					
			好(m)	(%)	中(m)	(%)	差(m)	(%)
气体介质固井	11	7 655.00	6 287.00	82.12	1 057.00	13.81	311.00	4.06
钻井液介质固井	27	17 477.50	8 478.55	48.51	4 296.89	24.59	4 702.11	26.90

注:表中 1 747.50 m 为川渝地区累计评价段长。

量优质率达到 80.40%,质量差仅占 4.15%。分析影响固井质量的主要原因有如下几个方面:

1)没有严格执行固井测井规定程序,先试压后电测导致环空出现微环隙。如 LG001-8 井,固井后先对套管柱试压 15 MPa,再进行电测致使固井质量测井评价失真。

2)使用了套管弹簧扶正器且加入数量偏少,没有有效扶正入井套管柱;注入水泥原浆,高失水的水泥浆(实验表明:原浆 API 失水量高,介于 600~1 000 mL)进入干燥井筒后快速失水,严重影响其流动性并可能导致井壁失稳;注入领浆密度偏低,用量偏大等都严重影响了固井质量。如 LG30 井 $\varnothing 339.7$ mm 套管下深 600 m,仅加入 7 只弹簧扶正器,注入领浆密度为 1.69 g/cm³,用量达 20 m³,这些都是导致该井固井质量差的主要原因。

3)井下地层后期出水,井壁失稳;注入水泥浆与

地层水混合后被严重稀释,引起体系沉降分层,致使水泥石强度低,胶结质量差。如 LG36 井注水泥浆施工过程中,先发现水返出地面后再见水泥浆返出。

4)注水泥前未充分净化井筒使井内仍存在较多砂屑;正反注水泥浆排量偏大对井壁冲刷严重引起掉块垮塌甚至发生环堵等,也导致部分井的固井质量不理想。

3.2 现场应用实例

1)空气介质内管注水泥固井技术在 LG61 井 $\varnothing 365.1$ mm套管固井中的应用。

2)内管注水泥井身结构示意图(图 1)。

3)井眼准备及下套管作业。井眼准备方面,该井采用 $\varnothing 444.5$ mm 空气锤和牙轮钻头加塔式钻具及 $\varnothing 413$ mm 扶正器钻具组合,用空气钻至井深 1 814 m,所钻井眼平均井径为 459.04 mm,扩大率仅为3.3%,井斜为1°~5°,取得了较好的井身质量。

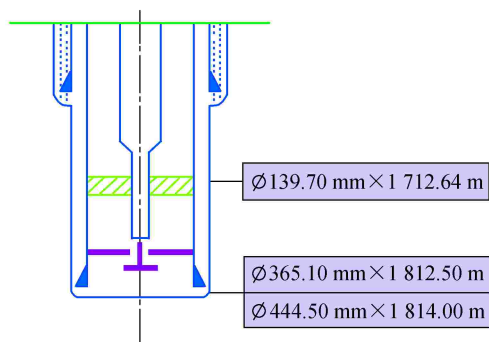


图1 内管注水泥井身结构示意图

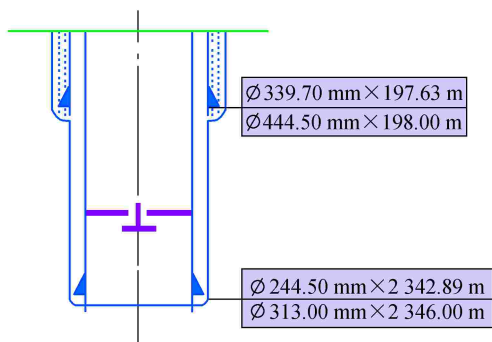


图2 常规注水泥井身结构示意图

下套管前进行了模拟通井,采用了单扶正器和三扶正器两套钻具组合进行通井作业。通井遇阻坚持划眼和短程起下钻,为大尺寸套管柱的安全顺利下入提供了良好的井筒条件。入井管串结构为:引鞋+套管鞋+ $\varnothing 365.1$ mm 套管 1 根+内置式浮箍+ $\varnothing 365.1$ mm 套管 2 根+内置式浮箍+ $\varnothing 365.1$ mm 套管 6 根+内置插管座+ $\varnothing 365.1$ mm 套管 155 根+双公短节+联顶节。为保证入井套管柱居中,加入了外径为 $\varnothing 300$ mm 螺旋倒角刚性扶正器共 40 只。

4)注水泥施工工序。采用内管注水泥和正反注水泥相结合的施工工艺。下入 $\varnothing 139.7$ mm 光钻杆带内插管至要求井深 1 712.64 m,并验正有效插入插座,根据内插管座承载和密封能力,计算出第一次允许向内插管与套管环空最大灌入量为 39 m^3 ,实际灌入 35 m^3 密度为 1.15 g/cm^3 的钻井液。为了避免施工中发生井漏,第一次正注水泥浆按返高 1 000 m 设计,其当量密度为 1.05 g/cm^3 ,控制排量正注水泥领浆 10 m^3 ,密度为 1.80 g/cm^3 ;正注夹江 G 级高抗水泥浆 75.0 m^3 ,密度为 1.90 g/cm^3 ,同时采用与注水泥浆排量相匹配的排量连续向内插管与套管环空灌浆,并计算出最大和最小灌入量,以控制施工动态过程中管内外压差始终保持在允许范围内。正替配浆水 18 m^3 ,替浆结束检查无回流,起插入管串。候凝、接反注管线,正注水泥浆候凝至稠度值达 100 Bc 后开始反注,同时继续向内插管与套管环空灌浆,反注密度为 1.91 g/cm^3 的水泥浆 50 m^3 返出地面,至此正反注施工完毕,候凝。

5)空气介质常规胶塞注水泥固井技术在 LG160 井 $\varnothing 244.5$ mm 套管固井中的现场应用。

6)常规注水泥井身结构示意图(图 2)。

7)井眼准备及下套管作业。该井采用 $\varnothing 313$ mm 空气锤加塔式钻具组合,气体钻井至固井深度 2 346 m。所钻井眼平均井径为 345.7 mm,扩大率为

10.45%,井斜为 $0^\circ \sim 1.3^\circ$,取得了较好的井身质量。下套管前采用了双扶正器钻具组合进行模拟通井。通井遇阻坚持划眼和短程起下钻,通井过程中发现井底沉砂多达 10 多米,经反复吹扫井筒直至短起钻检查井底基本无沉砂,为套管柱顺利下入提供了良好的井筒条件。入井套管串结构为: $\varnothing 244.5$ mm 引鞋+ $\varnothing 244.5$ mm 套管鞋+ $\varnothing 244.5$ mm 浮箍+ $\varnothing 244.5$ mm 套管 4 根+ $\varnothing 244.5$ mm 浮箍+ $\varnothing 244.5$ mm 套管柱+井口套管悬挂器+联顶节。为保证入井套管柱居中,重合段加入了外径为 $\varnothing 308$ mm 普通刚性扶正器 3 只,裸眼段加入了外径为 $\varnothing 295$ mm 的螺旋倒角刚性扶正器 43 只。套管柱顺利下至设计井深。

8)注水泥施工工序。采用水泥头、胶塞和正反注水泥浆相结合的注水泥工艺。为避免发生井漏,第一次正注水泥浆量按环间水泥浆返高为 1 480 m 设计,控制排量正注水泥领浆 10 m^3 ,密度为 1.80 g/cm^3 ,正注嘉华 G 级水泥浆 55.0 m^3 ,密度为 1.90 g/cm^3 ,车注 2 m^3 清水压胶塞,泵替入清水 86 m^3 。候凝、接反注管线,正注水泥浆候凝至稠度值达 100 Bc 后开始反注,为防漏,第一次反注密度为 1.90 g/cm^3 的水泥浆 32 m^3 。候凝 1.5h 后第二次反注密度为 1.90 g/cm^3 的水泥浆 20 m^3 ,地面见返,至此正反注施工完毕,候凝。LG61 井、160 井固井质量测井评价结果见表 4。

4 结论与认识

1)现场实践表明,气体介质条件下的固井具有钻井液介质无可比拟的优势,它能够实现环空水泥浆的全充填,解决了常规固井技术无法避免的受井壁滤饼和钻井液介质的影响,水泥浆顶替效率低和二界面胶结差的技术难题,它对于提高固井质量,缩短钻井周期,降低钻井成本,减少环境污染,具有重要的现实意义和良好的社会效益。

表 4 LG61 井、LG160 井质量测井评价结果表

井 号	套管层次 (mm)	评价段长 (m)	测井评价(CBL)					
			优(m)	℅)	中(m)	℅)	差(m)	℅)
LG61	365.1	1 633.000	1 316.375	80.61	288.25	17.650	28.375	1.74
LG160	244.5	2 268.500	1 717.500	75.71	460.69	20.310	90.310	3.98

2)要高度重视气体钻井的井眼的稳定和净化工作,充分了解和掌握井眼状况和井身质量,采取具有针对性的井眼准备和注水泥工艺技术措施,是确保套管柱安全顺利下入和固井质量的关键。

3)套管柱居中对固井质量影响突出,气体介质条件下的入井套管柱应更加注重加入套管扶正器,以避免套管在重力作用下的下贴边效应,使水泥环难以实现对套管柱的均质封固。

4)固井质量测井评价结果表明,注入水泥浆结构是否合理(不能使用前置液、领浆量和密度需合理控制)、地层是否出水、井眼清洁稳定与否等,也是直接影响固井质量好坏的重要因素。

5)理论研究表明,气体介质条件下的固井质量应具有更理想的效果,但实际应用结果却存在较大

的差距,由此说明在这一新的技术领域仍需要不断实践、认知、总结、提高和完善。

参 考 文 献

[1] 顾军,高德利.固井二界面封固系统及其研究现状[M].北京:石油工业出版社,2004.

[2] 郭小阳,杨远光,李早元,等.提高复杂井固井质量的关键因素探讨[M].北京:石油工业出版社,2004.

[3] 刘崇建,黄柏宗,徐同台,等.油气井钻井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001.

[4] 赵福祥,汪桂娟,李晓岚.非常规固井技术存在的问题与研究方向[M].北京:石油工业出版社,2004.

(收稿日期 2009-03-07 编辑 钟水清)