



2004 年 固井技术研讨会论文集

《2004 年固井技术研讨会论文集》编委会 编

石油工业出版社

2004 年固井技术研讨会 论 文 集

《2004 年固井技术研讨会论文集》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是2004年在贵阳召开的固井技术研讨会的论文集,收录会议论文48篇,反映了固井材料和固井技术的现状、需求及发展趋势。主要包括:水泥浆降失水剂、超低密度水泥浆体系、防漏增韧水泥浆体系、胶乳水泥浆体系、高密度抗盐水泥浆体系、恒密度早强低密度水泥浆、锁水抗窜水泥浆、新型泡沫水泥浆、固井二界面封固系统、非常规固井技术、防漏堵漏水泥浆固井技术、水平井固井技术、复杂井固井技术、长封固固井技术、定向井固井技术等。

本书可供从事固井、完井的工程技术人员和相关石油院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

2004年固井技术研讨会论文集/《2004年固井技术研讨会论文集》编委会编.
北京:石油工业出版社,2005.8

ISBN 7-5021-5135-4

- I. 2...
- II. 2...
- III. 固井-学术会议-文集
- IV. TE256-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第074901号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:北京华正印刷厂

2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:23.25

字数:590千字

定价:90.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《2004 年固井技术研讨会论文集》

编 委 会

主 任：孙 宁

副主任：屈建省

编 委：（按姓氏笔画排序）

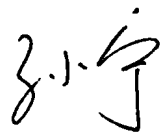
马开华	王益山	刘爱萍	刘硕琼	吕光明
许树谦	何育荣	张彦平	吴达华	陈 琳
陈星元	杨智光	胡世杰	郑新权	姚 晓
郭小阳	訾士龙			

序

固井作业是钻井工程的最后一个关键环节,它既意味着投资百万元到亿元钻井施工的结束又标志着持续几十年油气开发工程的开始,其工程质量与油气井生产寿命和油气采收率的提高直接相关。固井工程涉及多种学科(石油地质、材料科学与工程、钻井工程、流变学理论和矿场机械等),具有技术密集程度高、施工时间短、作业风险大、工程质量对后续工程措施影响程度大且难以补救(或补救无效)的特点。固井质量是油气井各种开发作业的基础保障,国际固井技术专家 Smith 认为:“固井作业是一口井整个施工过程中最重要的组成部分,没有任何因素比固井质量对油层产能的影响更大”。因此,如何提高固井质量一直是国内外石油工程界十分关注的问题,但由于固井作业是一项多因素相互干扰的系统工程,制约因素很多,使之成为国内外钻井工程界至今尚未很好解决的重大技术难题。

我国石油钻井规模宏大,相应的固井作业涉及世界上可能遇到的各种地层,经历了各种类型复杂情况的施工作业,从中积累了丰富的技术管理和施工经验。特别是最近十多年来,国内科研院所和各油田都把固井质量作为重点技术来抓,进行了大量的研究工作,在诸多方面取得较大进展,具体表现在:以质量和效益为目标的基础理论研究有突破,包括“双膨胀”防窜理论、环空壁面剪应力理论和水泥浆设计的最紧密堆积理论;发展了一批先进适用的综合配套技术,包括调整井固井、深井超深井固井、特殊工艺固井和天然气井固井技术;改进或完善了油井水泥外加剂和外掺料系列,研发出了晶体双膨胀材料、增韧材料、防漏材料、防窜材料和抗高温材料等特种固井材料,对复杂条件井的适应能力进一步提高;研制出了一批新型固井工具,包括带封隔器的尾管悬挂器和特殊材质的防腐蚀固井工具;出台了一批新的行业标准和企业标准;提出了保证油气井长期封隔质量、提高油气田开发整体效益的质量控制目标。但面对石油勘探开发技术的高速发展,仍需要解决 5 个方面的问题:固井定额成本与固井质量优质优价的结合;固井新材料与固井新工艺的结合;固井新装备、新工具与固井新工艺的结合;新型钻井液与完井液的结合;固井质量评价结果与固井施工过程质量控制的结合。

为了很好地总结我国在固井技术方面所取得的成果,提高我国固井行业的整体技术水平,中国石油天然气集团公司科技发展部和中国石油工程技术研究院组织召开了有中石油、中石化、中海油三大国有石油公司所属相关单位参加的固井技术研讨会,交流固井技术的经验,讨论“十一五固井科研规划”。会议围绕提高固井质量这一主线,从理论到实践对国内油田和海外市场的固井新技术进行了系统总结,会议论文内容几乎覆盖了我国主要油田和海外市场的固井技术动态,汇集了与固井相关的不同领域科技人员的智慧结晶。因此,本书的内容反映了我国石油固井技术的最新研究成果和技术现状,具有较高的学术水平和实用价值。可以预见,本书的出版不仅可以为油田固井技术人员提供参考和借鉴,而且必将对我国油田固井工程技术的发展起到良好的推动作用。



2004 年 12 月

目 录

长城钻井公司海外固井技术现状及需求	王德坤 曾毅 刘若岩 陈光(1)
固井新材料的研究现状及展望	屈建省 吕光明 吴达华 谭文礼(9)
中国石油固井技术现状、需求分析和发展趋势	刘爱萍(19)
固井二界面封固系统及其研究现状	顾军 高德利 石凤歧 陈道元 李泽林(32)
非常规井固井技术存在的问题与研究方向	赵福祥 汪桂娟 李晓岚(42)
提高复杂井固井质量的关键因素探讨	郭小阳 杨远光 李早元 杨香艳(47)
油井水泥降失水剂研究现状及发展方向	邹建龙(57)
改善油井水泥固有缺陷的新材料特性评析	姚晓 吴叶成 黎学年 刘金余 胡中磊 徐德安(64)
超低密度水泥浆体系的研究	屈建省 高永会 聂臻(73)
防漏增韧水泥浆体系在涩北气田固井中的应用	肖登林 张永海 康世柱 余博 李元顺 沈勇 杨应奎 王翔飞(81)
胶乳水泥浆体系	孙富全 新建洲(90)
高密度抗盐水泥浆体系	吴达华 谭文礼 邹建龙 宋有胜(95)
巴48-31井防漏堵漏水泥浆固井技术	王野 李长荣 邓艳华 赵福祥(103)
恒密度早强低密度水泥浆技术	李跃明 张兴国 郝锐 刘晓兰(106)
锁水抗窜水泥浆在扶余调整井固井中的应用	步云鹏 姚忠义 于国栋 翁机智(110)
大港油田 $\phi 139.7\text{mm}$ 套管开窗侧钻井固井水泥浆技术	樊松林 宫英杰 安元华 于永新 孙亚珍 林志辉 尹伟 王贵宏(114)
新型泡沫水泥浆的研究与应用	屈建省 宋有胜 杜慧春(118)
泥浆转化为水泥浆技术及多功能钻井液技术	吴达华(128)
新疆油田新型 MTC 固井液技术	张兴国 许树谦 李跃明 柳健(137)
油井水泥复合型增韧剂 MD 的性能研究	华苏东 姚晓(146)
新型泡沫水泥浆在赵53井的应用	文湘杰 宋福军 宋艳霞 李永亮 郝永华 禹红菊(151)
新型广谱水基固井前置液的研究与应用	杨香艳 郭小阳 李早元 杨远光 熊腊生 孙勤亮 尹伟(155)
FM 固井隔离液研究与应用	林志辉 王贵宏 侯占东 闫振峰 李志芳 王凯(165)
全通径尾管固井技术研究与应用	王益山 蒋海涛 韩振强 曹雪洪(171)
S101井 $\phi 127\text{mm}$ 尾管贯眼完井固井技术	王兆会 李斌文 胡国强(177)
库克杜马拉克油田超低压油层水平井固井技术探讨	贾芝 杨茂存 胡富源(184)
冀东油田水平井固井技术	冯京海 白亮清 李祥银 赵树国(191)
可分段控制的水平井完井工艺	胡国强 周克钢 王兆会 杨道平(199)
复杂井固井特殊尾管悬挂器的研制与应用	马开华 郑晓志 姜向东 马兰荣(203)

吐哈油田长封固固井技术的研究和应用

..... 蒋鸿 邹和均 俞战山 张财金 杨官杰 薛伟强 詹宁(211)

长裸眼全井封固复杂地层压力固井技术 石凤岐 陈道元(219)

多套压力层系固井技术的应用研究 王希雄 刘兴林 马艳征 齐子祥(228)

鄂尔多斯盆地天然气井固井技术研究

..... 魏周胜 马海忠 刘硕琼 常占宪 蒋新立(234)

吉林油田多层系长封固段气井固井技术初探

..... 王顺利 项忠华 袁志军 丁树元 冯水山 彭戈(242)

苏里格气田的固井工艺技术 常占宪 冯文革(249)

氮气膨胀水泥浆防窜固井技术

..... 李长荣 赵德喜 赵福祥 王益山 潘卫国 王野(254)

大庆调整井固井技术研究与应用

..... 杨智光 程艳 和传键 陈晓楼 莫继春 徐明(261)

长庆调整更新定向井固井技术研究与实践 路宁 朱哲 陈小荣 林海(279)

新民地区中深调整井固井技术研究

..... 牛玉祥 李广华 冯水山 步云鹏 冷雪 王金凤 谭福军(286)

塔河油田石炭系盐层固井工艺技术 周仕明 郑建翔 韩卫华(292)

提高稠油热采侧钻小井眼固井质量实践与认识

..... 胡兴富 余雷 王希雄 李连江 丁文正(304)

陇东新区油田固井技术研究与应用

..... 魏周胜 马海忠 周兵 冯旺成 武美平 王俊青(308)

易漏失井固井前井眼准备技术研究 甄立杰 张克明 吴修宾(317)

提高油气层固井水泥浆顶替效率的研究与应用

..... 寇明富 孙梦慈 殷洋溢 于文华 段保平 朱敬祖 周芝琴(329)

固井质量评价技术探讨 齐奉忠 何爱国 唐纯静 庄晓谦 李爽(336)

固井技术在西气东输大口径管道封固中的应用 钟福海 宋振泽 邵春英(343)

套管 CO₂腐蚀机理与防腐技术..... 徐明 王广雷 马淑梅 张景富 郑家荣 富朝阳(348)

水泥浆验窜装置和试验方法 何全凯 吕光明(359)

长城钻井公司海外固井技术现状及需求

王德坤 曾毅 刘若岩 陈光

(长城钻井公司)

摘 要:长城钻井公司目前为海外 24 个国家提供钻井服务,但固井技术服务仅在伊朗、苏丹、哈萨克斯坦 3 个国家。本文将介绍在上述 3 个国家,气体钻井、盐下钻井条件下的固井服务不同技术要求和特点,同时也提出目前现场尚未解决的技术问题。

主题词:海外 固井 现状 需求

一、长城公司海外固井工作状况

1. 伊朗作业

1) 基本情况

TABNAK 气田是位于波斯湾近海岸的开放性背斜,南是 KHALAFANI 构造,东是 KUH - E DEHNOW 构造,西是 ASSALUYEH 气田,北是 VARAVI 气田。这是一个正如 GAVBANDY 背斜或 TARAKEMEH 背斜那样早已探明的构造。背斜构造地表有 80km 长和 15km 宽,该气田的发现并不是根据地震资料,而是基于地表和地质构造确定的。气水界面在水平面以下 2000m。该区块地温梯度在 2.5 ~ 3.0℃/100m。

2) 井身结构特点

伊朗南部 TABNAK 气田井深设计多在 3150m 左右,但由于地层原因,每口井下 5 层套管,多为裸眼完井,若为 5"尾管完井则单井口下 6 层套管,简述如下:

30" × (38 ~ 169)m(套管扣型 RL - 4 或 JV - LW),其主要作用是封隔表层漏失层,为下部空气钻井提供坚实的地表基础。

20" × (555 ~ 825)m(扣型 BTC 或 BIG OMEGA),其主要作用是封固水层,避免下部纯空气钻井中出现携砂困难等复杂情况。

13 $\frac{3}{8}$ " × (890 ~ 1090)m(扣型 BTC),该层段主要封固 LAFFAN, SARVAK, KAZHDUMI 页岩层,目前采用纯空气钻进成功,但钻至 LAFFAN 地层前,先处理井眼至 LAFFAN 顶部,然后再钻穿页岩地层后立即下套管。

9 $\frac{5}{8}$ " × (2290 ~ 2587)m(扣型 VAM),该层套管主要目的是封固 DASHTAK 层中的 S8 和 S6 盐水层,该井段主要采用纯空气、稳定空气泡沫、硬胶泡沫等钻井工艺。

7"套管 × (2667 ~ 2895)m(扣型 NEWVAM),该井段因为漏失井段多,主要采用随钻堵漏钻井工艺,该层套管封固 KANGGAN 地层的不稳定页岩和 DASHTAK 下部气层(BLUE ZONE)。

5"套管 $\times$ 3150m(扣型 VAMFJL), 6"井眼段为主产层段(KANGGAN 和 UPPER DALAN), 产气量一般 $280 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。多为裸眼完井, 少数如 TABNAK - 1, TABNAK - 2 井为尾管射孔完井。

3) TABNAK 固井技术

(1) 固井特点:

主要是在低压, 超低压的漏失条件下固井。

(2) 固井难点:

① 循环介质品种多样复杂如可循环泡沫泥浆、空气、空气泡沫、随钻堵漏泥浆等, 固井时难以实现平衡压力固井;

② 现场条件下所做的灰浆配方其密度最低值是 1.66 g/cm^3 , 难以实现超低压固井;

③ 井深大约 3100m, 但单井固井层次达 6 层, 下套管作业程序复杂, 如: 30" $\times$ 169m(扣型 RL-4 或 JV-LW), 20" $\times$ 823m(扣型 BTC 或 Big Omega), 13 $\frac{3}{8}$ " $\times$ 1090m(扣型 BTC), 9 $\frac{5}{8}$ " $\times$ 2587m(扣型 VAM), 7"套管 $\times$ 2895m(扣型 NEWVAM), 5"套管 $\times$ 3100m(扣型 VAMFJL), 套管程序多, 扣型复杂, 管串的连接和下入速度慢, 井底很可能出现大段沉砂或垮塌。

④ 表温度高, 夏季最高达 70 ~ 80℃, 使得水泥性能不稳定, 对固井施工带来威胁。

⑤ 井眼易形成台肩, 难以实现顺利下套管, 特别是刚性极大的 30"、20"、13 $\frac{3}{8}$ "套管。

⑥ 页岩层水敏性极强, 极易出现施工过程中水泥浆与地层接触而造成复杂。盐水层出水量大, 施工中易出现水泥浆与地层盐水的污染而造成井下复杂; 气层井段产量高, 但压力低, 难以实现优质封固气层段。

(3) 技术措施:

① TABNAK 构造地层漏失特征及循环介质的堵漏机理。

TABNAK 构造的孔洞裂缝性碳酸盐岩地层经常发生井漏, 而且, 这种漏失一旦发生, 往往是恶性的, 堵漏难度相当大。当多次堵漏无效、漏失液体太多, 井漏无法控制时, 常采用的措施是清水强钻。但清水强钻常常诱发井喷、井塌和卡钻等严重事故, 使得井下复杂情况处理更加困难。

对于地层孔隙压力高于静水柱压力的地层, 采用低密度钻井液或清水就可解决井漏问题。如果地层压力低于静水柱压力, 则必须采用特殊技术使钻井液密度低于清水密度, 最有效、最简单的办法是向钻井液内充气。

“可循环泡沫钻井液”是通过机械搅拌将空气充入钻井液中, 用表面活性剂降低气—液界面张力, 把大气泡变成微细气泡, 用较高的胶凝强度使微气泡均匀地分散在钻井液中, 形成稳定又可泵注的气—液—固三相硬胶泡沫。由于它具有低的密度和高的胶凝强度, 既可降低井筒液柱压力, 又可在近井壁形成一个类似于“液体套管”的滞留层, 因而在钻井过程中具有较好的防漏作用。

井眼钻好之后要下套管固井。固井水泥浆的密度一般在 1.85 g/cm^3 左右, 远远高于可循环泡沫钻井液的密度。注水泥浆时, 可循环泡沫钻井液在近井壁形成的滞留层是要被顶替的, 不然就没有好的固井质量。这时, 可循环泡沫钻井液就失去了防漏作用, 固井水泥浆的漏失是必然的。那么, 如何防止固井过程中的水泥浆漏失呢? 众所周知, 要想取得好的堵漏效果, 只有堵漏材料进入漏层才是有效的。

“微泡沫钻井—粗泡沫堵漏工艺”,就是首先用稳定的可循环泡沫钻井液穿过漏层,然后,在钻井液中加入破胶剂,配成不太稳定的可循环泡沫,缩短泡沫稳定时间,并适当提高泡沫密度,故意让泡沫液进入裂缝。当泡沫液进入漏层后,在低流速或静止状态下,很短时间内,就会聚结变成“蜂窝”状的结构很强的泡沫凝胶,对漏失通道产生“气锁”和“凝胶”封堵。

粗泡沫堵漏之后,再用少量 LCM 和 HALS 桥堵段塞对近井壁裂缝进行填塞,增强裂缝内“充填物”的抗挤强度。这样为固井注水泥创造良好的井眼条件。

使用泡沫钻井的井眼特点:泡沫的携砂能力强,很少重复破碎岩屑,井眼较规则,此特点有利于提高套管与井壁的胶结质量。

② 气体钻井后的固井工艺技术。

插入固井:在下完套管和插入内管柱后,按程序进行插入密封,必须检验密封效果和井眼是否畅通,可以采用用纯空气或者用液注检验。然后进行水泥施工,水泥浆很少会返到地面,所以一般情况下会考虑反注水泥作业,第一次反注水泥:向环空注入 120 ~ 150s 以上的高粘泥浆并且加入 10% ~ 15% 的堵漏材料。然后注入 5 ~ 10m³ 快干(稠化:20 ~ 30min)水泥浆,反注可通过外插管,也可根据井下情况通过环空井口闸门进行。第二次反注一次性可以考虑直接将水泥浆(密度 > 1.90g/cm³)灌满。不行再继续反注,达到要求为止,请注意千万不要将套管鞋替空,或者井内出现过多水泥塞。

双胶塞固井,对于空气泡沫形成的井眼,使用上下两只胶塞可以保护浮箍和引鞋等附件,橡胶件可以减小过大的水泥浆对浮箍的冲击力,检验井眼是否畅通仍然十分重要,方法可以采用用纯空气或者用液注检验,根据井下情况而定。

带封隔器的尾管悬挂工艺与低密度水泥浆体系相结合,8½"井段为低压漏失(泥浆密度一般为 1.03g/cm³),但气测值高达 460000mL/m³,针对此特点,我们在固井工具上选择了带封隔器的尾管悬挂器,并与低密度水泥浆相结合,利用低密度水泥浆封固下部气层和其他复杂层,在施工结束,坐封隔器,防止因地层压力低,水泥浆不能返至重合段而造成气窜等异常现象。

③ TABNAK 水泥浆体系。

根据 Tabnak 气田实钻情况,伊朗项目部固井技术人员研究出成型的水泥浆配方体系,具体简介如下:

30"套管:

设计:水泥组分 水泥 + CA903S。

每吨水泥造浆量约 0.757m³ ≈ 4.762bbl。

施工:完钻井深 169m,2001 年 12 月 24 日固井。CA903S 溶于混合水中,掺量 3.5%。40m³ 水 + CA903S 136 袋 (3087kg)。注水泥浆 47m³,固井施工正常,水泥浆返出井口。

20"套管:

设计:水泥组分 水泥 + G60 - S + CA903S。

每吨水泥造浆量约 0.757m³ ≈ 4.762bbl。

施工:完钻井深 825m,2002 年 1 月 28 日固井。CA903S 溶于混合水中,掺量 0.5%。40m³ 水 + CA903S 20 袋 (450kg)。注水泥浆 34m³,固井施工正常。

施工:2002 年 1 月 29 日、30 日、31 日进行 4 次反灌作业,分别注水泥浆 11m^3 、 10m^3 、 17m^3 、 2m^3 ,水泥面至井口。

13 $\frac{3}{8}$ "套管:

设计:水泥组分 水泥 + 50% PZW - B + 28% 硬沥青 + 109% 水 + G60 - S + 调凝剂。

每吨水泥造浆量约 $1.84\text{m}^3 \approx 11.57\text{bbl}$ 。

施工:完钻井深 1000m,2002 年 2 月 28 日固井。领浆低密度水泥配灰:57t 水泥 + 14.7t PZW - B + 10t 硬沥青, JR - L 溶于混合水中, 掺量 0.11% (占水质量)。注水泥浆领浆 70m^3 , 尾浆 20m^3 , 固井施工正常, 水泥浆返出井口。

9 $\frac{5}{8}$ "套管:

设计 1:水泥组分 水泥 + 50% PZW - B + 28% 硬沥青 + 109% 水 + G60 - S + 调凝剂。

每吨水泥造浆量约 $1.84\text{m}^3 \approx 11.57\text{bbl}$ 。

设计 2:水泥组分 水泥 + G60 - S + 缓凝剂。

每吨水泥造浆量约 $0.757\text{m}^3 \approx 4.762\text{bbl}$ 。

施工 1:完钻井深 2300m,2002 年 4 月 5 日固井。领浆低密度水泥配灰:70t 水泥 + 18t PZW - B + 12t 硬沥青 + 1.4t G60 - S, 尾浆配水泥 60t + G60 - S68 袋 (1544kg), JR - L、CF40 - L 溶于混合水中, 115m^3 水 + 260 kg JR - L + 352 kg CF40 - L。注水泥浆领浆 42m^3 , 尾浆 38m^3 , 固井施工正常。72h 声幅测井显示 1700m 以下质量优, 水泥面返深 1200m。

施工 2:2002 年 4 月 28 日、29 日进行二次反灌作业,分别注水泥浆 14m^3 、 21m^3 , 第一次反灌使用了 CaCl_2 速凝剂, CaCl_2 溶于混合水中, 掺量 6.6% (占水重)。 6m^3 水 + CaCl_2 8 袋 (400kg)。水泥面至井口。

7"尾管:

设计:水泥组分 水泥 + G60 - S + 调凝剂。

每吨水泥造浆量约 $0.757\text{m}^3 \approx 4.762\text{bbl}$ 。

施工:完钻井深 2605m,2002 年 4 月 25 日固井。JR - L、CF40 - L 溶于混合水中, 29m^3 水 + 65 kg JR - L + 100 kg CF40 - L。注水泥 19m^3 , 固井施工正常。

7"尾管固井水泥浆体系的改进:在 7"尾管固井中,在大量的室内试验之中研制出来的新型低密高强水泥浆,其密度只有 $1.66\text{g}/\text{cm}^3$, 由于在水泥中加入适当比例的 PZW - B 增强剂和 G60 - S 降失水剂以及膨润土,保证了水泥浆具有较低的密度和较高的水泥石强度,同时其失水只有 50mL,该水泥浆具有良好的防气窜性质,可以进一步解决 7"尾管固井漏失、气窜问题。在下一步的工作中,可以考虑再降低水泥浆的密度,在不失高强度和低失水性质的前提下,减少漏失的程度。

2. 苏丹作业

1)2001—2004 年苏丹长城固井施工作业井次

2001 年度苏丹长城固井施工作业 21 井次(3/7 区固井施工作业 21 井次)。

2002 年度苏丹长城固井施工作业 71 井次(3/7 区固井施工作业 58 井次, 6 区固井施工作业 13 井次)。

2003 年度苏丹长城固井施工作业井次呈跨跃式增长,长城 1/2/4 区固井施工作业 58 井

次,长城 3/7 区固井施工作业 122 井次,长城 6 区 76 井次,3 个区块固井施工作业井次总计 256 井次。

2004 上半年度苏丹长城固井施工作业井次如下:长城 1/2/4 区固井施工作业 94 井次,长城 3/7 区固井施工作业 236 井次,长城 6 区 22 井次。共计 352 井次。

2001—2004 年长城固井在苏丹共完成固井作业 700 井次。

2) 区块固井作业技术

(1) 1/2/4 区块中浅井一般 1700m 到 2200m 左右,油层在下部,深井一般 2800m 到 4000m 左右,油层在下部,1500m 内的浅井极少。油层多为轻质油,油显示好,含气井少。斯伦贝谢和长城固井(吉林油田)在此区块作业,双方实力相当,长城固井略好(1/2/4 区块是斯伦贝谢投入设备和人员最大的地方,也是他最赚钱的地方),在深井固井中常用 $1.18 \sim 1.45 \text{ g/cm}^3$ 的低密度水泥浆体系,固井质量双方差不多,极少数井低于 1.00 g/cm^3 的低密度水泥浆体系长城固井没有,相关设备也没有,但斯伦贝谢固井有。

(2) 3/7 区块主要为浅井,浅井一般 1500m 内,也有少数深井,一般 2200m 到 3000m 左右,但主产层均在 1000 ~ 1400m。少数井 2200m 或 2500m 左右有 1 ~ 4m 的油层。油层多为轻质油,油显示好,含气井少,但多为油水层间杂。斯伦贝谢和长城固井(四川油田)在此区块作业,长城固井较好于斯伦贝谢(其设备和人员较差),常规密度固井是其主要手段,极少数井要求低密度水泥浆固井,长城固井暂无,但斯伦贝谢固井有。

(3) 6 区块主要为中深井,一般 2200 ~ 3600m,浅井一般 1800m 内,油层在下部,重油为主,轻油较少,但地层垮塌较严重。中原和长城固井(四川油田)在此区块作业,长城固井较好于中原,常规密度固井是其主要手段,极少数井要求低密度水泥浆固井,长城固井暂无,中原有。

3. 哈萨克斯坦作业

1) 肯基亚克油田油层固井情况的现状

自 2000 年 9 月 30 日 234 井开钻以来,肯基亚克共完成 15 口盐下井的钻井施工,其中水平井 7 口,直井 8 口,钻井成功率 100%。

在完成的 15 口井中,有 4 口井采用射孔完井方式,包括 234、8002、8001、8022 井,完井套管均下到井底;3 口井采用先期完井的方式,包括 235、8017、7038 井,完井套管下到石炭系 KT2 油层顶界,再使用 $\phi 139.7 \text{ mm}$ 或 $\phi 149.2 \text{ mm}$ 钻头钻开油层完井;有 8 口井采用裸眼完井的方式,包括 8011、8010、8031、8033、8005、8101、8018、8012 井,这些井均使用 $\phi 215.9 \text{ mm}$ 钻头钻至完钻井深后完井套管下至石炭系 KT2 油层顶界,固井后钻穿油层套管附件,并通井到井底后完井。

在已完成的 15 口井中,油层固井质量合格率均低于 50%,其中有 9 口井固井合格率低于 10%,包括 8033、8005、235、8031、8005、8010、8101、8012、8018 井。

2) 固井工艺存在的主要问题

通过对肯基亚克油层固井质量分析,在油层固井工艺中,一直以来存在着以下主要问题:

(1) 油层压力系数高,油气异常活跃,固井时因气窜导致固井质量下降的问题。

(2) 由于现场使用的水泥加重剂(钛铁砂、赤铁矿等)无法使水泥浆与完井泥浆的密度差拉大(完钻时泥浆密度一般是 $2.02 \sim 2.05 \text{ g/cm}^3$,饱和盐水水泥浆最高只有 2.10 g/cm^3 左右,

密度差仅有 0.1g/cm^3), 注水泥替泥浆时顶替效果差, 极易窜槽、混浆, 导致严重影响到油田的封井质量问题。

(3) 肯基亚克盐下油田井有的油层和水层之间的隔层很薄(只有 5cm 左右), 固井后隔层处封固质量难以保证, 容易导致油水互窜, 严重影响到油井的产量。

(4) 完井固井时使用的 OMEX - 89L 降失水剂不抗盐, 盐水水泥浆失水控制不下来。该体系在盐存在时外加剂会产生“盐析”现象, 导致水泥浆胶凝(似豆腐状)和水泥浆体系不具有失水控制能力。如 234、235、8001、8002 井盐层固井质量都较差。

二、经验总结与需求

1. 伊朗

1) 经验总结

针对 TABNAK 构造的主要问题是钻进过程中遭遇裂缝, 地层完全漏失, 甚至连泡沫都返不出来。为了提高固井质量, 采取的技术措施如下:

(1) 完善井眼畅通措施。如使用双扶正器甚至 3 扶正器通井, 确保套管顺利下入, 使用纯空气或液注检验井眼是否畅通。

(2) 可靠的固井设备, 特别是在高温, 井下情况复杂条件下施工, 精心使用和检查的各种固井工具和附件。保证其正常工作。

(3) 固井工程是一个风险工程, 必须精心组织, 密切配合, 减少人为失误。

(4) 强化技术措施的贯彻执行。

2) 不同套管段技术特点

(1) 在 $30''$ 、 $20''$ 套管固井时, 在水泥浆中加入速凝剂, 在保证固井施工安全的前提下, 尽量缩短稠化时间, 以减少水泥浆的漏失。同时对 $30''$ 、 $20''$ 大尺寸套管采用内插法注水泥固井工艺。简化施工过程, 保证固井质量。

(2) 在 $13\frac{1}{2}''$ 套管固井时, 优化水泥浆配方, 通过在水泥浆中加入(CH - 20L) 缓凝剂, 调节水泥浆的稠化时间, 保证施工安全。为降低水泥浆流动阻力, 改善其流动性能, 减少漏失, 还加入了(CF - 40L) 分散剂。

(3) 在 $9\frac{1}{2}''$ 套管固井中, 由于该井段发生完全漏失, 泡沫也返不上来, 为了保证一级固井的水泥返高和固井质量, 我们采取: ①增加水泥浆的注入量, 设计注入水泥 75.0m^3 , 尽量提高水泥返高; ②严格控制水泥浆失水, 保证在严重漏失地层处失水小于 100mL 。③采用抗盐水泥浆体系固井, 防止下部地层盐水污染水泥浆。这样, 在一级固井后, 水泥浆返高达到 1500m , 固井质量优良。

(4) 在各层次套管反灌水泥作业过程中, 为了减少漏失, 尽可能地提高水泥浆的返高, 在作业中全部使用了速凝水泥, 控制水泥浆稠化时间在 1h 左右, 甚至更短, 并且采用上一次作业水泥浆初凝后才进行下一次作业的方式, 逐步将水泥返至地面。

(5) 在 $13\frac{1}{2}''$ 、 $9\frac{1}{2}''$ 套管固井中, 采用双胶塞固井, 防止水泥浆在套管内的混窜, 有利于提高固井质量。

(6)在7"尾管固井中,我们使用了在大量的室内试验之中研制出来的新型低密高强水泥浆,其密度只有 1.57g/cm^3 ,由于在水泥中加入适当比例的PZW-B增强剂和G60-S降失水剂以及膨润土,形成的水泥浆具有较低的密度和较高的水泥石强度,同时其失水只有50mL,该水泥浆具有良好的防气窜性质,可以进一步解决7"尾管固井漏失、气窜问题,施工过程中第一次未发生漏失,泥浆返出一直正常。在工具方面,我们合理优化悬挂器上各销钉的剪切值,减小施工中压力激动,防止造成漏失。在施工之前,先用干净泥浆循环洗井一周,将井底的堵漏泥浆全部循环出来,然后坐挂、倒扣、施工,这也是保证该井不漏失的一个有效办法。进一步优化施工参数,强调小排量和连续施工,注替施工排量均控制在 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 以内,从施工工艺上降低漏失风险。

目前正在施工的SHANUL构造钻井项目,井身结构与TABNAK不同,但固井方式与TABNAK相同,由于井的深度达4000m,水泥浆用量远高于TABNAK,设计参数有所调整。

2. 苏丹固井作业技术需求

(1)3/7区和6区要准备相关的低密度水泥浆体系;

(2)从整体来看中国缺少大温差条件下,高低温都满足的长稠化时间—低失水—低析水—短候凝—高强度的低中高密度的药品分别为液体或固体的水泥浆体系(在1/2/4特别需要)。

3. 哈萨克斯坦固井作业技术需求

根据钻井合同规定,套管、套管附件、固井水泥、水泥添加剂由甲方提供,因此,我们已在2004年4月份建议CNPC-阿克纠宾油气股份公司采取以下4个方面的措施以提高肯基亚克盐下油井的固井质量:

(1)解决因油气活跃固井气窜问题,可在水泥中加入防气窜剂,或采用膨胀水泥固井。在方案选择上可采用具有封隔器的尾管结构。

(2)解决固井中注水泥替浆时水泥浆与泥浆密度差小而引起窜槽的问题,应在水泥浆中加入赤铁矿等水泥加重剂,同时增加干混设备,以适当增加水泥浆密度从而提高顶替效率,减少和防止窜槽、混浆现象的发生,从而达到提高固井质量的目的。同时干混装置还能把四种OMEX系列的添加剂直接用干混装置先混合在水泥中,还可以节约昂贵的OMEX系列添加剂的量。目前,OMEX四种添加剂均加入水中,由于备用量必须有一定的富余,固井施工完剩余部分放掉,造成很大浪费。

(3)要解决油、水层之间薄隔层固井质量问题,在固井方案选择上可采用套管串加管外封隔器的方法解决。这可以大大提高隔层的封固质量,从而解决水往油层窜的问题。

(4)关于水泥降失水剂的问题,目前在3口井上试用了中国石油集团工程技术研究院的降失水剂(抗盐、抗高温)来替换OMEX-89L降失水剂,效果较理想。建议在多做几次试用后进行分析,并予以推广。

目前,固井气窜问题和水泥加重问题仍没得到解决,肯基亚克盐下井的油层固井质量未能得到有效的解决,这也对肯基亚克完井后的开采工作带来影响。随着油气公司开发重点向肯基亚克的转移,肯基亚克的油层套管固井问题将会越来越突出,我们也将致力于固井工艺的

进一步完善,以提高肯基亚克盐下井的固井成功率。

三、结束语

长城钻井公司海外固井作业,在国内相关油田固井技术服务公司的大力支持下,基本上满足了业主钻井设计要求,同时,在施工作业中,我们还不断总结经验教训,以进一步提高服务质量。本文所提到的尚待解决的问题,还需与各位专家、同行共同探讨、研究,并提出解决方案,促使长城钻井公司海外固井作业更具有国际竞争力。

固井新材料的研究现状及展望

屈建省 吕光明 吴达华 谭文礼

(中国石油集团工程技术研究院)

摘 要:本文对近几年来我国比较关注的特殊固井水泥、外加剂和水泥浆体系的国内外现状及存在的问题进行比较详细的讨论,并提出今后应该结合高温、高压、低温、低压以及漏、窜、压稳和盐的特殊条件,开展水泥外加剂和水泥浆体系研究,完善我国的水泥外加剂和水泥浆体系,结合特殊钻井技术、新资源井和海外工程开展配套的固井技术的研究和整合;完善水泥石和水泥浆的性能的评价方法和标准化的建议。

主题词:水泥 特种水泥 外加剂 外掺料 水泥浆

一、前言

固井就是将水泥浆注入井壁与套管之间的环空中的过程,其目的是为了层间封隔和支撑及保护套管,固井质量的好坏直接关系到油气井的寿命和资源保护,因此必须充分考虑固井作业的各个环节,如:井眼准备、固井材料、固井工具及附件、固井工艺、固井装备和固井施工等,而固井材料作为层间封隔和保护套管目的的主要载体,一直是固井设计的重中之重的环节,也是固井领域研究的主要方面,它包括:基本水泥、混合水、外掺料和外加剂。基本水泥是一些可以发生水化反应并能够形成足够力学性能的胶凝材料;外掺料主要是用来提高或降低水泥浆的密度,改善水泥石的高温性能、渗透率、韧性等力学性能等的材料;外加剂则是可以改变水泥浆的凝结时间、流变性能、稳定性能和提高水泥浆的防窜性能与保护油气层,并对水泥石的力学性能产生影响等材料。经过近百年的研究和实践,已形成了一系列的水泥、外加剂和外掺料,并建立了可适用于各类井固井、各种钻井技术以及油田勘探开发需要的水泥浆体系,如:防水窜、防气窜、韧性、胶乳、高密度、泡沫、含盐、普通低密度、抗高温和高强度低密度水泥浆体系,水平井、调整井、地热井、浅气层井和深井固井水泥浆体系,小井眼钻井和欠平衡钻井配套的水泥浆体系,多功能钻井液和泥浆转化为水泥浆技术等。但随着新的钻井技术的不断出现,天然气、煤层气、地热井等资源的不断被重视,环保要求的不断提高、深层的能源和难开采储量的开发,我国石油工业不断向海外拓展业务,给我国固井行业不断带来了新的挑战,对固井材料提出了新的课题,本文将讨论我国的固井材料的现状及未来的发展展望。

作者简介:屈建省,中国石油天然气集团公司工程技术研究院院长,高级工程师,1989年毕业于石油大学研究生院,一直从事油井水泥及外加剂和固井技术的研究工作。地址:天津市塘沽区津塘公路40号,电话:66318865, E-mail:qujs@cnpccom.cn。

二、特种水泥

虽然波特兰水泥匹配外加剂和外掺料已基本能满足固井的需要,但为了满足一些特殊地质、环境和工程需要,如:严重漏失、窄间隙、超低密度、超高温等,就需开发一些特种水泥。在美国,基本水泥除了 API 油井水泥外,还包括高铝水泥、矿渣、矿渣和水泥混合物、酸溶水泥和合成树脂水泥等特种水泥,而且还市售一些不同细度和不同密度的水泥及混合物,使用起来非常方便。我国对特种水泥的研究发展相对较缓慢,初期由于借鉴了前苏联的按温度进行区别的水泥标准,形成了 45℃ 水泥、75℃ 水泥、120℃ 水泥等系列,使用起来很不方便,同时水泥与外加剂的相容性也较差。进入 20 世纪 80 年代末期,随着我国对 API 油井水泥规范的认识和理解,逐渐借鉴美国材料学会的油井水泥规范(通常称为 API 规范),从而形成了 A、B、C、D、E、F、G、H、J 九类油井水泥,但对特种水泥的研究相对较少,和国外的先进水平有一定的差距,本节将重点研讨矿渣水泥、热合水泥、磷酸盐水泥和沸石型无机聚合物水泥等特种水泥在固井领域应用的可能性。

1. 矿渣水泥

高炉矿渣是利用高炉冶炼生铁时的副产物,是一种代替水泥的廉价水化材料,它是在 1400 ~ 1500℃ 下由铁矿石的土质和石灰石助溶剂熔融化合而成,经过水淬处理后成为玻璃体结构的具有潜在活性的胶凝材料。在激活剂的作用下,它能在常温下与波特兰水泥一样发生水化反应,但形成低钙的水化产物(C-S-H 凝胶),由于它密度比水泥轻,和泥浆相容性好,形成的水泥石结构致密,高温下形成稳定的水化产物,盐对它的水化进程影响小,凝结时间短,水泥石不收缩,而且随温度的提高,激活剂掺量将逐渐减少的特点,已经成为 MTC 技术的主体材料。目前长庆、吐哈、江苏、大港、胜利、新疆和滇黔桂等油田已将矿渣低密度水泥和普通密度矿渣水泥广泛地应用于长封固段固井、调整井固井及隔离液体系。但根据矿渣水泥的特点,将会在含盐地层固井、高温环境的深井固井、热采井固井和地热井固井中将有比常规水泥固井更大的优势,但必须进行比较详细的力学性能和长期稳定性方面的研究。

2. 热合水泥

大家知道,水泥是有石灰石和黏土矿物烧结而成,其能发生水化反应的主要矿物是 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF ,而且它们的反应速度和反应历程不是很相同,尤其是水泥中含很多不起反应的杂质和灰质成分,它们对水泥石的抗压强度所起作用较低。而且水泥在高温下起到关键作用的化学成分是 CaO 和 SiO_2 ,当温度高于 110℃ 时,水泥石会发生强度衰退现象,强度退化问题通常采用的方法是在水泥浆中掺入石英粉或硅粉,将水泥浆中的 C/S 摩尔比降为 0.8 ~ 1,随着温度的提高水泥浆中硅粉掺量也要求不断上升,有的甚至可以高达水泥量的 60%。热合水泥是根据 α -石英粉与水化的石灰在温度高于 95℃ 既可以发生水化反应的特征派生的高温水泥,由于高温性能比水泥稳定,不含杂质,形成的产物防腐蚀性能好,和水泥一样可以根据需要调节稠化时间,因此在前苏联经常将这种水泥应用于高温井和含 CO_2 和 H_2S 气体井的固井