 DOI: https://doi.org/10.12345/smg.v7i6.34319

Research and application of large-size long open-hole cementing technology in Shunbei Oilfield

Xuehai Wang Shuangjin Zheng

Yangtze University, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

The Shunbei block oil reservoir of Northwest Oilfield Branch is buried deep and has complex geological conditions. The Permian and Silurian formations have weak pressure bearing capacity and are prone to leakage during drilling and completion operations. In order to ensure smooth well completion and improve completion efficiency, the difficulties of long open hole cementing in the Shunbei block were analyzed, and the high-temperature resistant composite low-density cement slurry system and high-temperature resistant elastic toughness cement slurry system were developed. The large-sized long open hole cementing technology was improved, and the cementing construction of the long sealing section of the large wellbore in four wells in the block was successfully completed. The cementing excellence rate was 100%, which meets the requirements of later development and provides strong technical support for the direct cementing of large-sized and heavy casing in the future.

Keywords

Large wellbore; long sealing section; low-density cement slurry system; supporting cementing technology

顺北大尺寸长裸眼固井工艺技术研究应用

王学海 郑双进

长江大学，中国 · 湖北 武汉 430000

摘 要

西北油田分公司顺北区块油藏埋藏深、地质条件复杂，其中二叠系、志留系地层承压能力弱，在钻井及中完作业过程中极易发生漏失，为确保顺利成井及提高中完时效，通过分析顺北区块长裸眼固井难点，攻关抗高温复合低密度水泥浆体系和抗高温弹韧性水泥浆体系，完善大尺寸长裸眼固井工艺技术，顺利完成了该区块4口井大井眼长封固段固井施工作业，固井优良率100%，满足后期开发要求，为今后大尺寸大悬重套管直下固井提供有力的技术支撑。

关键词

大井眼；长封固段；低密度水泥浆体系；配套固井技术

1 引言

顺北区块位于塔里木盆地中西部顺托果勒低隆区域，资源储量丰富，预测油气当量总量达 17 亿吨，其中石油约 12 亿吨，天然气 5000 亿立方米，对我国战略油气田开发布局具有重要影响。该区域目的层属于奥陶系碳酸盐岩裂缝 - 洞穴型油藏，分布范围约 2700 平方公里，断裂带控制的有利储层发育区面积约 500 平方公里，平均埋深在 7500–8000 m 之间，地质构造十分复杂，其中上部地层二叠系、志留系地层承压能力弱，在钻井及中完作业过程中极易发生漏失，导致长井段的地层漏封，直接影响整井勘探开发进度及固井质量，亟需完善固化大尺寸长裸眼固井工艺技术。

【作者简介】王学海（1990–），中国江苏南京人，本科，高级工程师，从事固井工艺技术研究。

2 固井主要难点

顺北油田构造位于塔里木盆地，多属于深井、超深井，目的层为奥陶系鹰山组或蓬莱坝组设计五开制井身结构。为保证后期作业手段充足，全井大尺寸套管深下。现以顺北 11 井为例介绍，该井设计完钻井深 8625m，其中二开 Φ365.1mm 大尺寸套管直下 5578m。

2.1 套管顺利下入风险高

套管顺利下到位是固井的最大难点，表现为：①上部裸眼段长，砂泥岩互层，下套管粘附遇阻风险大；②套管吨位大，浮重 543 吨，吊环、吊卡安全系数低，另外井口套管轴向载荷大，下套管作业过程中套管接箍在轴向拉力作用下，易失稳变形，上扣连接困难，甚至导致丝扣滑脱断裂；③下套管时间长，钻机负荷大，处理异常情况难度大，下套管风险高 [1]。

2.2 易发生井漏

顺北区块大部分井的裸眼封固段均在 4000m 以上，且

二叠系地层承压能力低，在下套管或固井施工过程极易发生漏失，井漏是本井固井难点之一，表现为：①实钻二叠系长 688m，下套管过程中激动压力不易控制，易发生漏失；②套管下到位后开泵困难，易蹩漏地层；③循环及注替参数难控制，易在固井作业期间发生井漏；④被迫在井漏环境下进行固井作业，造成水泥浆返高不够，封固质量差。

2.3 水泥浆性能要求高

一方面水泥封固段长，底部与顶部的温度差较大，对水泥浆抗高温及大温差性能要求较高。另一方面固井注替量大，一级固井水泥量 125m³，替浆量 493m³ 左右，二级水泥浆量 275m³，替浆量 358m³，一二级固井作业时间长，对水泥浆稠化时间及浆体稳定性要求较高。

2.4 顶替效率低，固井质量无法保证

大尺寸套管固井环空间隙大（＞ 79.4mm），长裸眼固井注替施工量大，顶替效率差，窜槽现象严重，环空填充率难以保证，固井质量保障困难。

3 大尺寸长封固段固井技术

3.1 管柱结构设计和工具优选

套管柱设计。全井采用 365.1mm × 13.88mm × P110V 偏梯形螺纹套管，配套卡瓦式套管头。

分级箍位置优化。采用双级固井工艺，优化分级箍于 4000m，采用大陆架 Φ365.1mm YFZ-A 型机械式非抗硫分级注水泥器，确保工具负荷满足下套管和固井要求，主要性能见表 1。

表 1 Φ365.1mm YFZ–A 型分级箍主要性能表

额定负荷（KN）	密封能力（MPa）	打开压力（MPa）	关闭压力（MPa）	本体最大外径（mm）	本体内体（mm）
5520	25	5	4.5	402	337

优选附件。为节约扫塞时间，采用水泥式浮箍浮鞋，另外选取加长带侧流孔浮鞋，为套管到位后顺利开泵创造条件，设计“浮鞋 +2 根套管 +1# 浮箍 +2 根套管 +2# 浮箍 +2 根套管 + 塞座”的安放模式保留 60m 下塞，防止管鞋替空，主要性能见表 2。

表 2 水泥式附件主要性能表

规格（mm）	外径（mm）	内径（mm）	最小流孔（mm）	反向承压（MPa）	反向试压（MPa）
365.1	393.9	337.8	80	21	16.5

3.2 保障套管顺利到位的主要措施

3.2.1 模拟套管刚度的钻具组合通井

通井钻具组合中加入扶正器，特别是对钻进过程中挂卡、遇阻及全角变化率大的井段要反复上提下拉，以此来修整井壁，破除台阶，使井眼平滑到底，通井到底后要大排量循环一周以上，垫入高黏钻井液后起钻，使井眼干净、无垮塌、无沉砂、无后效。通井完起钻前要在井内裸眼段加入固体润滑剂，减小下套管的摩阻，确保套管顺利下到井底。

3.2.2 合理使用套管扶正器

在套管入井过程中，套管所受的摩擦阻力与摩擦系数、接触面积、正压力、滑动速度有关。同一材质的套管在同一井段的摩擦系数是相同的，套管所受的正压力也是基本相同的，而下套管的速度在整个下套管过程中也是相差无几的，因此套管所受摩擦阻力大小是由套管与井壁的接触面积决定的。

$$f_{摩擦阻力} = \mu * F * S * V$$

μ ------ 摩擦系数　　F---------- 正压力

S--------- 接触面积　　V--------- 滑动速度

只要减小接触面积就能有效减小套管与井壁的摩擦阻力，而合理的安放套管扶正器后就能将套管与井壁的面接触转换成扶正器与井壁的点接触，这样就能达到减小摩擦阻力的目的，因此合理安放套管扶正器有利于套管顺利入井。

合理安装套管扶正器还可以有效提高套管居中度，达到提高顶替效率的目的，因此我们采用模拟软件分析得到扶正器的安放位置，居中度达到 70% 以上，这样安装套管扶正器既可以降低套管入井时的摩阻又可以提高套管居中度，套管居中度模拟见图 1。

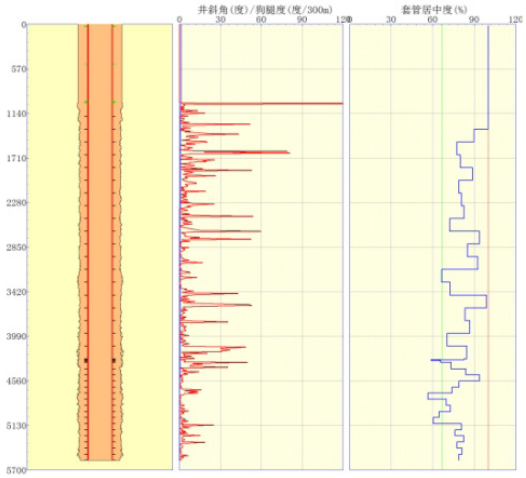

图 1 居中模拟图

3.3 水泥浆体系及性能

有效封固复杂地层，一级固井采用双凝双密度水泥浆体系。为降低二叠系漏失风险，领浆采用 1.60g/m³ 飘珠加粉煤灰复配的低密度水泥浆体系；为提高管鞋固井质量，尾浆采用 1.88g/m³ 弹韧性短侯凝水泥浆体系 [2]。

提高井口固井质量，二级固井采用双凝双密度水泥浆体系。为保证井口固井质量，0-1000m 采用 1.88g/m³ 防沉降水泥浆封固；为降低液柱压力，尾浆采用 1.60g/m³ 粉煤灰低密度水泥浆体系封固。

根据水泥浆设计要求，一是优选粉煤灰和高抗挤玻璃微珠减轻材料，二是优选配套抗高温外加剂及外掺料，三是水泥浆综合性能及水泥石力学性能进行评价。最终优选出一

套稳定性好、强度高、综合性能能满足施工要求的双凝双密度水泥浆体系。领浆抗高温复合低密度水泥浆体系以飘珠、粉煤灰为减轻剂材料，耐温 130℃以上，API 失水＜ 50mL，抗压强度＞ 14MPa/48h，50℃顶部强度＞ 7MPa/48h；尾浆抗高温弹韧性水泥浆体系中，加入弹性粒子，降低水泥石弹性模量，加入硅粉，以延缓下部封固井段水泥石高温强度的衰减，耐温 180℃，API 失水＜ 50mL，水泥石弹性模量＜ 8GPa，抗压强度＞ 20MPa/24h。配方如下：

领浆：G 级水泥 +60% 粉煤灰 +8% 飘珠 +8% 微硅 +7% 降失水剂 +3% 膨胀剂 +2.3% 缓凝剂 +0.1% 消泡剂 +110% 水；

尾浆：G 级水泥 +35% 硅粉 +8% 微硅 +3% 弹性材料 + 2.5% 降失水剂 +2% 膨胀剂 +0.65% 缓凝剂 +0.1% 消泡剂 XP-1+44% 水；

注：实验条件 95℃、85MPa、140min

3.4 提高顶替效率

针对大尺寸套管固井顶替效率不易保证，提出了提高顶替效率技术，具体措施如下：

固井前泥浆性能调整一致，泵入和返出密度均匀，无沉砂；

为保证套管居中度，要优化扶正器，提高水泥浆的顶替效率：井口两根套管设计刚性扶正器，扶正片的最大外径与上层套管的通径尺寸保持一致，保证套管居中度不低于 70%；

优化前置液设计，充分冲洗套管壁残余泥浆，保证冲洗液量不低于 30m^3，提高水泥浆顶替效率；

套管下到设计井深后，采用大排量循环洗井两周以上，彻底清洁井底沉砂，保证井眼干净，循环结束后要尽快转入注水泥固井施工；

优化替浆参数。替浆初期大排量紊流顶替，排量为 3.6-4.0m^3/min，保证环空水泥浆上返速度不低于 1.2m/s，水泥浆过漏层降排量塞流顶替，排量为 1.0-1.2m^3/min。

3.5 其他配套工艺

根据现场实际工况条件，结合固井技术难点，提出针对性的配套工艺技术措施，完善技术方案，保证施工安全，提升封固质量。

3.5.1 强化下套管措施

根据地层及井口返浆情况，严格控制套管下放速度，防止激动压力过大，每根套管下放速度保持在 90-120s 范围内，预防井漏；下套管采用连续灌浆方式，减少套管静止灌浆时间，降低套管粘卡概率；下套管过程中根据返浆情况，可进行分段循环，为套管顺利到位后，顺利开泵创造条件；最后一根套管在场地先接上固井队提供的快装接头，防止套管接箍变形无法上扣；下套管前进行钻台减负，底座满足承载提高要求，出表层套管前使用 750 吨吊卡下套管，之后使用下卡盘下套管。

3.5.2 严控施工参数

套管下至设计井深后，先小排量顶通，根据压力及返出情况，逐渐提高循环排量，直至提至固井施工排量，充分循环 2 周后方可进行固井作业。固井注替过程中，施工参数根据循环期间环空上返速度与作业时排量、压力进行实时调整。

3.5.3 优化侯凝时间

一级、二级固井间隔时间根据一级领浆顶部强度时间确定；若一级固井发生漏失，则延长侯凝时间。要充分考虑施工过程中每一个环节，依据电测井底温度和施工工艺所需时间，合理设计领浆稠化时间，避免领浆超缓凝现象。

3.5.4 做好应急预案

如果一级固井前发生漏失，需备足一级替浆量和开孔所需钻井液量方可施工；如不漏或者漏失较少，要考虑罐面盛放量，切不可漫灌，造成环保事故。由于大井眼套管固井窜槽现象严重，一级固井施工按照设计注入水泥浆量，二级固井在井径计算的基础上可以适当减少注入水泥浆量，二级施工结束 24h 后进行反灌，确保井口固井质量 [3]。

4 现场应用效果

通过将以上的固井技术措施在西北油田进行推广应用，顺利完成了该区块大尺寸套管、大井眼环空的固井施工作业，固井优良率 100%，具体统计数据见表 3：

表 3 大尺寸固井质量统计表

井号	套管下深 m	套管尺寸 mm	固井方式	套管浮重 t	固井质量
顺北蓬 1	5348	339.7	双级固井	454	优秀
	7560	244.5+250.88	双级固井	517	优秀
顺北 4	6429	273.1	正注反挤	460	良好
顺北 56X	4815	365.13	双级固井	495	良好
顺北 11	5578	365.13	双级固井	543	优秀

5 结语

针对顺北区块的地质特点和固井难点，形成了适用于顺北区块的抗高温复合低密度水泥浆体系和抗高温弹韧性水泥浆体系。

形成了配套的顺北区块大尺寸长裸眼的固井工艺技术，现场试用了 4 口井，可有效解决大尺寸长封固段井固井漏失问题，保证固井质量，取得了良好的应用效果。

形成的工艺技术也可以在国内其它地区相同类型固井中进行推广应用，有助于提高国内深井固井技术及水泥环长效密封技术的进步和发展，经济效益和社会效益显著。

参考文献

[1] 莫军.川西大尺寸套管长封固段固井技术[J]. 西部探矿工程，2006（S0）：158-160.

[2] 王东.塔深 1 井固井技术[J].石油钻采工艺，2007，29（4）：23-27.

[3] 孙万兴.深井大尺寸套管固井技术在塔里木油田的应用[J]， 石油钻采工艺，2015，37（5）：54-57.