

◀ 固井与泥浆 ▶

川东北地区高密度防气窜水泥浆体系研究

邹建龙 高永会 朱海金 刘爱萍 汤少兵

(中国石油海洋工程有限公司 固井事业部, 天津 塘沽 300451)

摘 要:川东北地区地质条件复杂,存在多套压力系统,同一口井易出现塌、漏、涌、卡等异常情况,而且该地区气层活跃,经常钻遇高压气层,固井防气窜难度大。针对该地区高压气井固井难点,对水泥浆各项性能提出了要求,认为应制备具有良好防气窜能力的高密度水泥浆体系。通过优选高密度外掺料及高温防气窜剂,并以紧密堆积理论为指导,设计了高密度防气窜水泥浆。室内试验和现场应用结果均表明,设计的高密度防气窜水泥浆流动性好、浆体稳定、稠化易调、失水量小、强度高,防气窜性能良好,可满足川东北地区高压气井的固井要求。该水泥浆体系在川东北地区的龙 16 井、剑门 1 井和富顺 1 井等应用了 5 井次,入井水泥浆密度最高 2.50 kg/L,气层固井质量良好。

关键词:深井固井; 高密度; 水泥浆; 紧密堆积; 防气窜; 川东北地区

中图分类号:TE256⁺.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)01-0046-04

川东北地区是我国天然气工业增储上产的重要地区,近年来相继发现了普光、龙岗等大气田。该地区地质情况复杂,其主要目的层为裂缝性碳酸盐岩高压气藏,具有井深、裸眼段长、油气水显示层位多、压力系统多、压力体系差异大、地层压力高、地层温度高、H₂S 含量高等特点^[1-4]。同一口井在钻井过程中易出现塌、漏、涌和卡等异常情况,而且该地区气层活跃,在钻井过程中经常钻遇当量密度大于 2.00 kg/L 的高压气层,固井时易发生水泥浆失返、环空气窜等问题,固井质量难以保证。另外,防止井口带压是天然气井固井需要优先考虑的安全问题,井口带压与初始固井质量关系密切。要提高高压气井的固井质量需要设计合适的液柱结构以确保压稳并防止压漏,同时需要研制具有良好防气窜能力的高密度水泥浆体系,并采取环空加压候凝等相应技术措施。为此,笔者研究设计了高密度防气窜水泥浆,评价了其性能,分析了其现场应用效果。

1 川东北高压气井固井水泥浆要求

1) 密度高。高密度水泥浆对水泥浆制备、水泥强度发展、沉降稳定等性能都提出了较高的要求,特别是当密度超过 2.50 kg/L 时。高密度水泥浆应具有液固比小、流动性好、稳定性好等特征。

2) 耐高温。川东北地区 5 000 m 以深的深井

井底循环温度一般超过了 100 ℃,对外加剂的耐温性能提出了较高的要求。常规降失水剂超过 95 ℃ 后很难控制失水;常用的高温缓凝剂也存在各种缺陷,特别是当封固段长、温差大时容易引起超缓凝现象。

3) 防气窜。如何评价水泥浆的防气窜能力是一个争议较大的问题,虽无定论,但人们普遍认为防气窜水泥最好具备以下条件:水泥浆失水低,控制在 50 mL/30min 甚至 30 mL/30min 以下;稠化曲线过渡时间短,控制在 10 min 以内,最好是直角稠化;静胶凝强度发展快(从 48 Pa 到 240 Pa)。此外,一些特种水泥(如胶乳水泥、膨胀水泥)具有较好的防气窜性能。

4) 防漏失。为保证顶替效率,通常要求水泥浆密度比钻井液密度约高 0.2 kg/L。川东北地区高压气井压力窗口窄,为防止漏失,水泥浆与钻井液密度差经常小于 0.1 kg/L,甚至没有密度差。为防止漏失,要求水泥浆流动性好、摩阻小,同时必须保证

收稿日期:2009-03-02;改回日期:2009-11-24

基金项目:中国石油天然气集团公司科技项目“天然气井固井水泥环封隔性能研究”(编号:2008A-2304)部分研究成果

作者简介:邹建龙(1974—),男,江西高安人,1996 年毕业于南京化工大学高分子材料专业,1999 年获天津大学材料学专业硕士学位,天津大学应用化学专业在读博士研究生,高级工程师,主要从事固井技术研究工作。

联系方式:(022)66315612,zoujl@cnpc.com.cn

浆体的沉降稳定性。

5) 防腐蚀。地层中 CO₂、H₂S 等酸性气体对水泥环具有腐蚀作用,容易导致层间窜流、封隔失效。在不改变主体胶凝材料的情况下,制备低渗透致密水泥和胶乳水泥是提高水泥环防腐蚀性能的较优选择。

2 高密度防气窜水泥浆设计

2.1 外掺料组成

外掺料包括硅粉和加重剂。

当井底静止温度超过 110 ℃ 时,需加入硅粉。硅粉的掺量通常为水泥量的 35% 左右,其密度为 2.65 kg/L,有 80 目和 120 目两种规格供选择。

为提高加重效率,加重剂应选密度较高、需水较少的材料。笔者优选了两种加重剂。一种是钛铁矿粉,其密度达到 5.05 kg/L,需水量小,是常用的加重剂,有 200 目和 300 目两种规格供选择;另一种是 BCW-500S 特种加重剂,其密度为 4.90 kg/L,外观为球形,粒度很细,比表面积为水泥颗粒的 10 倍,在水中具有良好的悬浮稳定作用,可密实地填充在其他外掺料缝隙中。

2.2 外加剂组成

外加剂包括降失水剂、防气窜剂、缓凝剂和消泡剂等。

降失水剂选用 BXF-200L^[5-6],该产品为 AMPS 多元共聚物,不增稠,具有适度的分散作用,耐温达 180 ℃ 以上,可以保证水泥浆稠化曲线具有直角稠化的特征。

防气窜剂选用 BCT-800L^[7],该产品为特种丁苯胶乳,具有防气窜、防腐蚀、降失水、提高水泥抗冲击强度的功能,耐温达 180 ℃ 以上。经千德乐公司 7150 窜流分析仪测试,BCT-800L 与 BXF-200L 配合

使用可以发挥更好的防气窜功能。

缓凝剂可选用 BXR-200L、BCR-220L 或 BCR-300L。BXR-200L 是中高温缓凝剂,为小分子有机物,使用温度为 50~120 ℃;BCR-220L 也是中高温缓凝剂,为低分子量 AMPS 共聚物,使用温度为 50~150 ℃,该缓凝剂有利于长封固段水泥强度发展;BCR-300L 是高温缓凝剂,为小分子有机物,使用温度为 120~190 ℃。

消泡剂选用 D50 和 G603。胶乳水泥浆容易起泡,而常规消泡剂效果不好。D50 和 G603 一种起抑泡作用、一种起消泡作用,复配使用效果很好。

2.3 按紧密堆积原理设计水泥浆

参考紧密堆积原理^[8-9]来设计高密度水泥浆。体系中各组分按平均粒径由大到小为:硅粉(150~180 μm)、钛铁矿粉(50~75 μm)、水泥(20~40 μm)、BCW-500S(1~10 μm)。为实现水泥浆中各组分的紧密堆积,除了其粒径分布必须符合紧密堆积理论的要求外,还必须高效减阻剂的协同作用。所选降失水剂和缓凝剂中的低分子聚合物或有机物具有这种功能,它们吸附在粒径最小、数量最大的 BCW-500S 球形颗粒表面形成水化膜,产生静电斥力。由于 BCW-500S 粒子很小,而且是球形,所以它可以在其他大颗粒之间起“滚珠”的作用,减小摩阻,使水泥浆体流动性增加。经过大量的试验,设计出综合性能良好的高密度水泥浆。其具有较小的液固比,水泥浆流动性好且稳定,水泥石致密且强度高。

3 高密度防气窜水泥浆性能

设计了密度为 2.20 和 2.50 kg/L 的高密度防气窜水泥浆,并对其综合性能进行了评价,结果见表 1 和表 2。

表 1 高密度防气窜水泥浆配方											g	
配方	JHG 水泥	硅粉	钛铁矿	BCW-500S	水	BXF-200L	BCT-800L	BXR-200L	BCR-220L	BCR-300L	D50	G603
1	100	33.3	36	18	46.0	4.5	4.5		1.1		0.5	0.25
2	100	33.3	36	18	45.6	4.5	4.5		1.5		0.5	0.25
3	100	33.3	36	18	45.2	4.5	4.5		1.9		0.5	0.25
4	100	33.3	36	18	44.4	4.5	4.5			3.0	0.5	0.25
5	100	33.3	36	18	44.1	4.5	4.5			3.3	0.5	0.25
6	100	33.3	140	50	68.8	5.0	5.0	0.7			0.5	0.25
7	100	33.3	140	50	68.4	5.0	5.0	1.1			0.5	0.25
8	100	33.3	140	50	67.9	5.0	5.0	1.6			0.5	0.25

表 2 高密度防气窜水泥浆性能

配方	密度/ kg·L ⁻¹	液固比	温度/℃	流动度/ cm	90℃密度差/ kg·L ⁻¹	API 失水/ mL	初始稠度/ Bc	稠化时间/ min	过渡时间/ min	SPN 值	抗压强度/ MPa
1	2.20	0.303	110	24.5	0.03	30	18	161	4	0.87	—
2	2.20	0.303	110	24.5	0.03	30	18	228	4	0.73	21.6 ^①
3	2.20	0.303	110	24.5	0.03	30	18	330	5	0.76	12.5 ^②
4	2.20	0.305	130	25.0	0.04	48	16	322	5	1.23	19.7 ^③
5	2.20	0.305	130	25.0	0.04	48	16	478	6	1.21	—
6	2.50	0.248	110	24.0	0.04	36	18	151	3	0.81	—
7	2.50	0.248	110	24.0	0.04	36	18	246	3	0.63	10.2 ^④ /14.7 ^⑤
8	2.50	0.248	110	24.0	0.04	36	18	354	4	0.70	—

注:①、④的测试条件为 130℃、24 h;②的测试条件为 90℃、24 h;③的测试条件为 150℃、24 h;⑤的测试条件为 72 h。

从表 2 可以看出:密度 2.20 和 2.50 kg/L 的水泥浆流动性好(>21 cm)、初始稠度低(<20 Bc)、浆体稳定(上下密度差<0.05 kg/L)、失水量小(<50 mL)、稠化时间与缓凝剂掺量线性关系较好、过渡时间短(<10 min)、防窜性能系数(SPN 值)均小于 3,抗压强度较高,具有良好的综合性能,可以

满足高压气井固井施工的要求。

4 高密度防气窜水泥浆的应用

该水泥浆体系已在川东北地区 3 口重点预探井 5 井次的固井作业中得到应用,固井质量合格(见表 3)。

表 3 高密度防气窜水泥浆在川东北地区应用情况

井次	井深/m	井底静止 温度/℃	井底循环 温度/℃	钻井液密度/ kg·L ⁻¹	水泥浆密度/ kg·L ⁻¹	施工时间
龙 16 井 φ177.8 mm 尾管	5 776	129	110	2.18	2.20	2007.04
龙 16 井 φ127.0 mm 尾管	5 977	139	126	2.34	2.38	2007.12
剑门 1 井 φ177.8 mm 尾管	5 004	121	103	2.42	2.46 ^①	2008.02
富顺 1 井 φ177.8 mm 套管	3 575	94	80	2.47	2.50 ^②	2008.05
富顺 1 井 φ127.0 mm 尾管	4 317	109	98	2.30	2.45	2008.09

注:①、②水泥浆密度均创四川石油管理局川渝地区固井施工最高纪录。

下面以剑门 1 井 φ177.8 mm 尾管固井为例详细介绍固井情况。

剑门 1 井是中国石油西南油气田分公司、四川石油管理局布署的一口重点预探井。四开 φ215.9 mm 钻头从井深 4 207.90 m 钻至井深 5 003.57 m,φ177.8 mm 尾管下至井深 5 002.59 m,悬挂器位于井深 3 709.47 m 处。该井在须家河组地层钻遇异常高压地层,钻井液密度提高至 2.24 kg/L 时出现井漏,至中途完钻共钻遇 5 个漏层,累计漏失钻井液近

2 000 m³,钻井液密度最高达到 2.47 kg/L。由于地层钻井液安全密度窗口窄,下套管和固井施工时都存在漏失返的可能,因此决定采用正注反挤固井工艺以减小漏失风险。固井施工前钻井液密度调至 2.42 kg/L,使用密度为 2.46 kg/L 的水泥浆正注封固 4 500.00~5 003.57 m 井段,反挤封固 3 709.47~4 995.00 m 井段。尾管鞋留水泥塞 100 m,悬挂器顶部留水泥塞 200 m。按固井设计要求进行了水泥浆配方的设计和性能的调试,水泥浆性能见表 4。

表 4 剑门 1 井 φ177.8 mm 尾管固井水泥浆性能

类型	密度/ kg·L ⁻¹	液固比	井底循环 温度/℃	流动度/ cm	90℃密度差/ kg·L ⁻¹	API 失水/ mL	初始稠度/ Bc	稠化时间/ min	过渡时间/ min	SPN 值	72 h 强度/ MPa
正注	2.46	0.255	103	23.0	0.03	36	20	173	5	1.26	14.5
反挤	2.46	0.255	90	23.0	0.03	36	20	158	4	1.05	14.6

2008 年 2 月 18 日该井实施固井作业,控制正注水泥排量 10 L/s,注水泥过程中未发生漏失;控制反挤水泥排量 20 L/s,采用间歇式挤注,憋压 5.0 MPa 候凝。施工过程顺利,实现了设计目标。胶结测井测深 4 885 m,合格井段占 80.2%,优质井段占 22.0%。悬挂器以下 134 m 优质,测深以上 87 m 优质。测深井段内 6 个储层,3 个优质胶结,2 个中等胶结。

5 结 论

- 1) 针对川东北地区高压气井固井的难点,通过优选高密度外掺料及高温防气窜剂,并以紧密堆积理论为指导,设计了高密度防气窜水泥浆。
- 2) 室内试验及现场应用结果均表明,设计的高密度防气窜水泥浆综合性能良好,可满足川东北地区高压气井固井施工的要求,具有良好的应用前景。
- 3) 所设计的高密度防气窜水泥浆具有良好的易混性、流动性和稳定性,一次批混即可达到设计

密度。

参 考 文 献

[1] 蔡利山,苗锡庆,李应有,等.川东北地区陆相地层井眼失稳原因分析[J].石油钻探技术,2008,36(6):39-43.

[2] 牛新明,张克坚,丁士东,等.川东北地区高压防气窜固井技术[J].石油钻探技术,2008,36(3):10-15.

[3] 杨玉坤.川东北地区深井井身结构优化设计[J].石油钻探技术,2008,36(3):33-36.

[4] 刘新义,张东清.川东北地区探井快速钻井技术[J].石油钻探技术,2008,36(3):37-40.

[5] 邹建龙,屈建省,吕光明,等.新型固井降失水剂BXF-200L的研制与应用[J].钻井液与完井液,2005,22(2):20-23.

[6] 邹建龙,朱海金,谭文礼,等.新型抗盐水泥浆体系的研究及应用[J].天然气工业,2006,26(1):56-59.

[7] 靳建洲,孙富全,侯薇,等.胶乳水泥浆体系研究及应用[J].钻井液与完井液,2006,23(2):37-39,46.

[8] 黄柏宗.紧密堆积理论的微观机理及模型设计[J].石油钻探技术,2007,35(1):5-12.

[9] 周仕明,魏娜,陈玉辉.紧密堆积水泥浆体系的堆积率计算[J].石油钻探技术,2007,35(4):46-49.

[审稿 丁士东]

Research of High-Density Cement Slurry to Prevent Gas Migration in Northeast Sichuan

Zou Jianlong Gao Yonghui Zhu Haijin Liu Aiping Tang Shaobing

(Cementing Division, China Petroleum Ocean Engineering Co. Ltd., Tanggu, Tianjin, 300451, China)

Abstract: Geology in Northeast Sichuan is very complicated. There exist multiple pressure systems which cause a lot of accidents, such as well bore collapse, mud losses, well kick and pipe sticking. High pressure gas zones are often encountered, and it is difficult to prevent gas migration. In order to solve these problems, high-density cement slurry which can effectively prevent gas migration is required. Based on the theory of close packing, through carefully selecting high-density materials and anti-gas migration additives, high-density cement slurry for high-pressure gas well is developed. Experiment studies and field tests show that this high-density cement has good rheology, low fluid loss, high compression strength and effective anti-gas migration. Its comprehensive performance can meet the technical requirements for cementing operation in high pressure gas zones. The high-density gas migration prevention cement slurry has been used 5 times in wells of Long-16, Jianmen-1 and Fushun-1 in Northeast Sichuan. The highest density is up to 2.50 kg/L, and all cementing job are qualified.

Key words: deep well cementing; high density; cement slurry; close packing; gas migration prevention; Northeast Sichuan

华北油田研制成功钻井液超低渗透处理剂

华北油田研制成功一种超低渗透钻井液处理剂 DLS-06,该处理剂抗盐抗钙抗高温,加少量就可将各种体系的钻井液转化为超低渗透钻井液,在井壁岩石表面形成致密超低渗透封堵薄层(膜),在井壁外围形成保护层,有效封堵不同渗透性地层和微裂缝泥页岩地层,使钻井液及其滤液与地层完全隔离,起到防止井壁垮塌、防漏、保护储层和减少压差卡钻的作用。在束 3 井的应用表明,该处理剂的效果良好。