

◀南方海相专题▶

川东北地区高压防气窜固井技术

牛新明¹ 张克坚² 丁士东² 陈志峰²

(1. 中国石油化工股份有限公司油田事业部,北京 100029;2. 中国石化石油勘探开发研究院 德州石油钻井研究所,山东 德州 253005)

摘要:川东北地区地层条件复杂,井深,气层压力高,固井防气窜的难度大。要提高高压气井的固井质量需要设计合理的液柱结构确保压稳,应用具有良好防气窜能力的高密度水泥浆体系,并采取合理的固井工艺。通过采用Gaudin-schutzmann粒度分布方程来优化高密度水泥浆体系的粒度分布,使其达到紧密堆积状态;优选防气窜能力强的添加剂,来提高水泥浆体系防气窜性能;应用新型分段气窜预测模型来进行防气窜预测与压稳设计,以优化环空液柱结构。高密度防气窜水泥浆体系在川东北地区的河坝2井、元坝2井等应用了10井次,入井水泥浆最高密度2.41 kg/L,气层固井质量均达到优质。

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⁺.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2008)03-0010-06

川东北地区海相地层多为碳酸盐岩裂缝性高压气藏,目的层埋藏深,一般为4 000~6 000 m左右。地层纵向上具有多套压力体系,而且地层横向差异性非常大。该地区深井固井主要面临以下技术难题:

1)气层压力高,温度高,气窜概率大。毛坝1井飞仙关组地层压力系数设计为1.36,实际达到1.90;河坝1井嘉陵江组地层压力系数设计为1.76,实际达到2.03,飞仙关组地层压力系数设计为1.80,实际达到2.20。普光1井气层固井时井底温度达到126 ℃(井深5 700 m),河坝1井井底温度达到122 ℃(井深5 007 m),河坝1井Φ193.7 mm和Φ139.7 mm尾管固井时,钻井液密度2.35 kg/L,水泥浆密度2.40 kg/L。经计算可知,该地区气层的潜气窜因子均大于5,气窜危险程度中等偏强。

2)漏失和压稳间的矛盾突出。飞仙关组气层的压稳和防漏问题比较突出,例如河坝1井进入飞3段地层后,多次发生井涌、井漏。不压井时发生气侵,压井时又发生井漏,钻井液密度由2.19 kg/L上升至2.35 kg/L。固井防气窜压稳是前提,但如果固井时发生漏失,会减小水泥浆液柱压力,导致不能压稳。

3)高密度高粘钻井液的顶替难度大。在高压气井钻井过程中,为保证井下安全,提高钻井液岩屑携带悬浮能力,须应用高密度高粘高切钻井液,如河坝1井钻进飞3段地层时的钻井液密度为2.33 kg/L,

粘度90 s,静切力12/29 Pa,塑性粘度60 mPa·s,动切力28 Pa。而钻井液密度越大,粘度切力越大,在固井时顶替难度就越大。

4)气层中富含H₂S和CO₂腐蚀性气体,对水泥环的长期稳定要求高,由水泥环密封引起的毒性气体泄漏,会导致安全隐患。

防止固井后环空气窜是高压气井固井首先要考虑的问题,要提高高压气井的固井质量需要设计合理的液柱结构以确保压稳,同时,需要研制与应用具有良好防气窜能力的高密度水泥浆体系以及采取合理的施工工艺。

1 高密度防气窜水泥浆优化设计

1.1 粒度优化

提高水泥浆密度的主要途径是削减充填水和提高加重材料与水泥的比例。但是配浆水不能无限度减少,而增加加重材料比例,如果颗粒选型不适当会造成水泥浆增稠或沉降。笔者认为,利用颗粒级配

收稿日期:2008-04-16

基金项目:中国石油化工股份有限公司重点科研项目“南方海相高压气井防气窜固井技术研究”(编号:P04073)部分研究成果

作者简介:牛新明(1959—),男,1982年毕业于西南石油学院钻井工程专业,高级工程师,主要从事钻井工艺研究和管理工作。

联系电话:(010)64998236

原理^[1-2],提高系统的堆积密度,使水泥干混物的堆积体积分数(PVF)最大,便可设计出高性能的加重水泥浆。

水泥和加重剂的混合物可以看成是连续尺寸颗粒的堆积,分析不同的粉体堆积模式,认为可以借鉴Gaudin-schutzmann 粒度分布方程^[3]来进行加重水泥浆体系的紧密堆积设计。

$$Y=100(D/D_L)^m \quad (1)$$

式中, Y 为小于粒径 D 的累积体积分数,%; D_L 为颗粒中的最大粒径, μm ; m 为模型参数,研究表明, m 在 $0.3\sim0.5$ 时有最佳的堆积率。

如果水泥与铁矿粉的混合物中颗粒最大粒径为 $300 \mu\text{m}$,最小粒径为 $5 \mu\text{m}$,带入式(1)中可计算出最优的粒度分布(如图 1 所示)

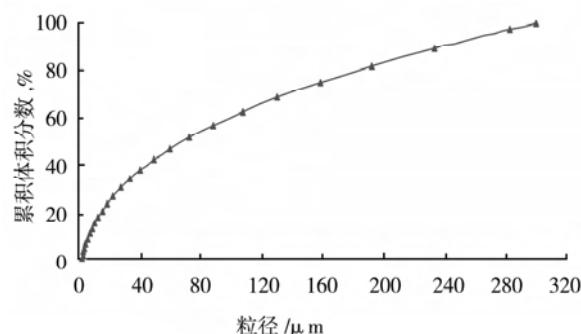


图 1 水泥与铁矿粉紧密堆积的最优颗粒分布

1.2 加重材料优选

水泥浆加重剂的选择范围不是很广,最常用的有钛铁矿石、赤铁矿石和重晶石等^[4-5],表 1 给出了它们的物理性能及一般能达到的水泥浆密度。

表 1 各种加重材料性能特性对比

加重剂	外观	密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	对水泥浆的影响	可配制的水泥浆密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$
重晶石粉	白色粉末	4.1~4.4	增加需水量较大,增稠	2.28
赤铁矿粉	暗红色粉末	4.8~5.2	增加需水量较小,稍增稠	2.60
钛铁矿粉	黑色细粒	4.4~4.5	增加需水量较小	2.40
Micromax	棕红色粉末	4.8~4.9	不增加需水量,无沉降稳定问题,有适当减阻效果	2.80

由表 1 可以看出,Micromax 是比较理想的加重材料^[6]。Micromax 是锰铁合金生产中的副产品,为球形颗粒,含氧化锰 96%~98%,密度 4.9 kg/L ,粒径为 $0.1\sim10.0 \mu\text{m}$,大部分粒子的粒径集中在 $0.5\sim1.0 \mu\text{m}$ 之间,比表面积约 $3.0 \text{ m}^2/\text{g}$,因此在水泥浆中悬浮性能好,浆体稳定,而且可以混配于水中而不沉降,还有助于控制失水和强度的发展,并保持良好的流动性能。但是 Micromax 价格非常昂贵,货源也不甚充分,很难推广应用。因此,通过对比分析,认为赤铁矿粉是比较理想的加重材料。室内优选了不同粒径、密度 5.0 kg/L 的赤铁矿粉作为加重材料,粒径有 $74, 25, 15$ 和 $10 \mu\text{m}$ 。

1.3 防气窜外加剂优选

由于常规防窜剂自身耐温性能所决定,在井温高于 110°C 的情况下水泥浆存在着失水量比较大的缺点。因此,为满足南方海相地区高温高压气井固井的需求,优选了 FSAM-J 防气窜外加剂。该外加剂是一种新型预胶联的液态成膜防气窜降失水剂,是将线型 PVA 分子与引发剂通过化学反应制成的具有一定立体网状结构和较高相对分子量的产品。

FSAM-J 防气窜剂降低滤失量和防气窜的主要机理不是增粘作用,而是通过初期瞬间滤失,使聚合

物浓度急剧升高,并通过交联作用在滤饼下面的滤失层表面形成一层有一定韧性的完整致密聚合物膜,这种膜对液体和气体的渗透率非常小,不仅具有优异的降滤失作用,而且可以有效阻止气窜。

FSAM-J 防气窜剂具有良好的抗高温能力,滤失膜在 120°C 时仍稳定不变,滤失量不显著增大。由于该防气窜剂已是预胶联的产品,所以现场施工时不需要加入胶联剂的预水化过程,简化了现场水泥浆配制过程,避免了胶联剂敏感性的影响。

1.4 水泥浆密度的确定

高密度水泥浆设计,首先要确定水泥浆的设计密度,通过式(2)可以计算出水泥和加重剂以及硅粉(井底温度超过 110°C)的混合物其单位质量,即绝对密度。

$$S_G = (\rho - v) / (1 - v) \quad (2)$$

式中, S_G 为混合物绝对密度, kg/L ; ρ 为水泥浆密度, kg/L ; v 为水固比,通常取 $20\% \sim 30\%$ 。

然后利用式(1)和式(2),通过粒度分析,将粒径为 $74, 25$ 和 $15 \mu\text{m}$ 的铁矿粉按一定比例与水泥混合,在粒度分析和密度分析(混合物中各组分的绝对密度)的基础上由式(3)计算出混合物各组分的比例关系。

$$\left(\frac{1}{3.15} + \frac{w_1 + w_2 + w_3}{5.0} + \frac{w_4}{2.7} \right) = \frac{S_g}{1 + w_1 + w_2 + w_3 + w_4} \quad (3)$$

式中, w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 分别表示粒径为 74、25 和 15 μm 的铁矿粉及粒径为 74 μm 的硅粉与水泥的质量比。

用激光粒度仪分析粒度分布, 与理论计算结果进行对比(结果如图 2 所示)。从图 2 可以看出, 两条曲线的拟合效果比较好。按照优化的颗粒分布进行高密度水泥浆密度设计, 不仅使加重剂比例增加更容易, 也提高了高密度水泥浆体系的综合性能和稳定性。

2 高密度防气窜水泥浆性能评价

2.1 水泥浆综合性能

表 2 为不同配方和不同密度的FSAM-J防气窜水泥浆综合性能试验结果以及与国外某公司类似高密度水泥浆性能的对比情况。

表 2 高密度防气窜水泥浆综合性能试验结果

配方	密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	温度/°C	n	$K/\text{Pa} \cdot \text{s}^n$	API 失水/mL	稠化时间/min	过渡时间 min	SPN 值	24 h 强度/MPa
1	2.25	115	0.7835	0.7499	21	166	7	1.05	17.9
2	2.25	115	0.7657	0.8282	19	266	10	1.07	20.0
3	2.30	115	0.9309	0.2283	16	240	15	1.44	18.0
4	2.40	120	0.9104	0.2901	15	302	15	1.20	21.2
5	2.50	115	0.8242	0.5390	18	244	18	1.93	22.0
6	2.40		0.6800	1.2000	30	492	约 35	4.40	17.5

注: 配方 1 为 JHG+稳定剂+加重剂+8.0%FSAM-J+0.7%分散剂 DZS+2.0%膨胀剂 DZP-2+0.8%缓凝剂 DZH-2, 水固比 29%; 配方 2、配方 3、配方 4 和配方 5 与配方 1 仅为缓凝剂加量的不同, 加量分别为 2.0%、1.2%、0.8% 和 0.6%, 水固比均为 29%; 配方 6 为国外某公司用普通铁矿粉配制的高密度水泥浆。

2.2 防气窜能力

FSAM-J防气窜水泥浆体系稠化时间具有可调性, 而且成直角稠化, API 失水控制在 50 mL 以下, SPN 值均小于 3, 利用 7150 型气窜模拟分析仪对表 2 中配方 4 的水泥浆进行气窜模拟试验, 最终测得的气窜量是 0, 证明该水泥浆具有很好的防气窜能力。

2.3 流动能力

FSAM-J防气窜水泥浆体系在常温下具有良好的流变性, 流性指数大于 0.7。该水泥浆体系具有较好的流动度, 密度 2.38 和 2.40 kg/L 的水泥浆其马氏漏斗粘度分别为 58 和 72 s, 而且水泥浆放置一

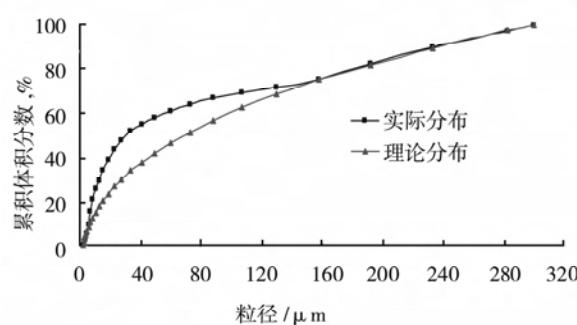


图 2 水泥与铁矿粉紧密堆积的理论与颗粒分布对比

由表 2 可以看出, FSAM-J防气窜水泥浆的流性指数 n 大于 0.7, API 失水小于 50 mL, 24 h 高温抗压强度大于 14 MPa, 稠化时间在 240~360 min 间可调, 防窜性能系数 (SPN 值) 均小于 3, 各项性能指标均能满足川东北地区高压气井防气窜固井的要求。而且该水泥浆有些性能指标, 例如流变性、过渡时间和 24 h 抗压强度等超过了国外知名公司的高密度水泥浆性能, 说明采用紧密堆积原理设计的高密度防气窜水泥浆具有良好的综合性能。

表 2 高密度防气窜水泥浆综合性能试验结果

段时间后, 仍具有良好的流动度, 未有触变现象, 具有良好的压稳作用。

2.4 沉降稳定性试验

利用水泥浆沉降稳定仪, 测量密度分别为 2.25、2.30 和 2.38 kg/L 的防气窜水泥浆体系的沉降稳定性, 试验条件: 24 h \times 21 MPa \times 120 °C。试验结果为: 密度 2.25 kg/L 水泥浆的最大密度为 2.234 kg/L, 最小密度为 2.208 kg/L, 上下密度差 0.026 kg/L; 密度 2.30 kg/L 水泥浆的最大密度为 2.312 kg/L, 最小密度为 2.289 kg/L, 上下密度差 0.023 kg/L; 密度 2.38 kg/L 的水泥浆最大密度为 2.374 kg/L, 最小密度为 2.352 kg/L, 上下密度差 0.022 kg/L。由此可见, FSAM-J防气窜高密度水

泥浆体系具有较好的沉降稳定性,能够满足现场施工的要求。

3 新型分段气窜预测模型

国内外的多种气窜预测模式基本把环空水泥浆液柱当成一个整体,但事实情况并非如此,封固段上下有一定的温差,水泥浆的水化速度不一样,一般来说自上而下水泥浆水化速度随温度的增加而越来越快,不同深度的水泥浆静胶凝强度发展不同,产生的压力损失不同。基于这种考虑,笔者提出对水泥浆进行分段分析,根据不同井段水泥浆的水化状态,来计算静胶凝强度发展的临界值,然后计算各段的静液压力损失,累积后计算水泥浆液柱对气层的压稳系数,称之为新型分段气窜预测模型。该预测模型能够比较真实地预测固井后环空气窜的危险性,从而指导防气窜固井压稳设计,避免盲目过压稳或欠压稳。

3.1 基本条件

在水泥浆胶凝失重理论的基础上,针对南方海相地区固井工程的特点,制定了气窜预测的基本条件和压稳设计的基本条件:

1)环空液柱当量密度小于地层的破裂压力或最低漏失压力当量密度;

2)采用双凝水泥浆,尾浆的静胶凝强度在达到 240 Pa 时的环空液柱压力与气层压力比 $F_{\text{sur}} \geq 1$;

3)水泥浆性能设计时,要发挥领浆的压稳作用,使尾浆与领浆的静胶凝强度呈阶梯状发展,即尾浆的静胶凝强度在达到 240 Pa 时,领浆的静胶凝强度要小于 48 Pa,因为水泥浆静胶凝强度在 48~240 Pa 之间的过渡期内发生气窜的危险性最大;

4)前置液的液柱压力按钻井液柱近似计算。

3.2 计算方法

1)领浆最大失重 p_{ls}

上述气窜预测和压稳设计基本条件中要求,尾浆的静胶凝强度在达到 240 Pa 时,领浆的静胶凝强度要小于 48 Pa,所以计算时按领浆的许可最大值 48 Pa 计算失重压力。故有:

$$p_{ls} = \frac{0.192 l_{cl}}{D_h - D_p} \quad (4)$$

式中, p_{ls} 为领浆最大失重, MPa; D_h 为井眼直径, mm; D_p 为套管外径, mm; l_{cl} 为领浆长度, m。

2)尾浆最大失重 p_{ts}

同上,尾浆静胶凝强度按 240 Pa 计算失重压力,故:

$$p_{ts} = \frac{0.96 l_{c2}}{D_h - D_p}$$

式中, p_{ts} 为尾浆最大失重, MPa; l_{c2} 为尾浆长度, m。

但是,水泥液柱失重后最低当量液柱压力是静水压力,所以当式(5)计算的失重压力大于该段水泥浆的最初液柱压力时,失重压力以最初的液柱压力与静水压力之差来计算。即:

$$p_{ts} = (\rho_{c2} l_{c2} - \rho_w l_{c2}) / 100 \quad (6)$$

式中, ρ_{c2} 为水泥浆尾浆密度, kg/L; ρ_w 为水的密度, kg/L。

3)最终环空液柱压力 p_{fc}

最终环空液柱压力即为初始环空液柱压力(钻井液柱和水泥液柱压力之和)与水泥浆液柱失重压力的差值,即:

$$p_{fc} = \frac{\rho_{cl} l_{cl} + \rho_{c2} l_{c2} + \rho_m l_m}{100} - (p_{ls} + p_{ts}) \quad (7)$$

式中, ρ_{cl} 为领浆密度, kg/L; ρ_m 为钻井液密度, kg/L; l_m 为钻井液长度, m。

4 现场应用

FSAM-J高密度防气窜水泥浆体系和分段压稳气窜预测与设计方法在川东北地区河坝 2 井、马 1 井、马 2 井、元坝 2 井以及元坝 4 井等应用了 10 井次。入井水泥浆最大密度 2.41 kg/L, 气层固井质量均达到优质。笔者以两口井为例介绍现场应用情况。

4.1 元坝 2 井 $\phi 193.1$ mm 尾管固井

元坝 2 井是元坝地区的一口重点探井, $\phi 241.3$ mm 井眼完钻井深 6 153 m, 钻井液密度 2.05 kg/L, 粘度超过 110 s。 $\phi 193.1$ mm 尾管封固井段 3 729~6 153 m, 重叠段长 150 m, 尾管段长 2 424 m, 主要是封固须家河组高压气层。该井面临的主要固井难题:一是近 2 500 m 的长封固段;二是压稳防气窜难度大,出 $\phi 273.1$ mm 技术套管鞋即是须家河组高压气层,处于封固段的上端,候凝期间不易压稳。

经过分析地层承压能力和分段压稳防气窜计算,设计的液柱结构:隔离液密度 2.08 kg/L, 领浆密度 2.08 kg/L, 尾浆密度 2.12 kg/L, 压稳系数达

到 1.06。

水泥浆主要性能见表 3。其中水泥浆配方为: 领浆为 $JJG + 40.0\% 铁矿粉 + 3.0\% 微硅 + 2.0\% 膨胀剂 DZP-2 + 5.0\% 降失水剂 DZJ-Y + 1.5\% 缓凝剂 DZH-2 + 40.0\% 配浆水$; 尾浆为 $JJG + 30.0\% 铁矿粉 + 40.00\% 加重剂 + 3.00\% 微硅 + 2.00\% 膨胀剂 DZP-2 + 5.00\% 降失水剂 DZJ-Y + 0.95\% 缓凝剂 DZH-2 + 36.00\% 配浆水$ 。

表 3 元坝 2 井 $\phi 193.1\text{ mm}$ 尾管固井水泥浆主要性能

水泥浆	密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	剪切应力读数	API 失水/ mL	自由液/ mL	流动度/ cm	稠化(过渡)时间/min	抗压强度/MPa
领浆	2.08	229/136/99/56/5/3	41	0.2	21.0	385(2)	19.8 ^①
尾浆	2.12	277/163/118/67/6/4	40	0.2	20.5	241(5)	17.9 ^②

注: 稠化试验条件为 $118\text{ }^{\circ}\text{C} \times 130\text{ MPa} \times 100\text{ min}$; ①的养护条件为 $115\text{ }^{\circ}\text{C} \times 48\text{ h} \times 21\text{ MPa}$; ②的养护条件为 $140\text{ }^{\circ}\text{C} \times 24\text{ h} \times 21\text{ MPa}$, 为超声波强度。

隔离液配方为: 水 + 12.0% MS + 3.0% MS 助剂 + 210.0% 铁矿粉 + 3.0% 微硅, 其主要性能参数为: 密度 2.08 kg/L, 塑性粘度 22.7 mPa · s, 动切力 16.9 Pa, 流性指数 0.4, 稠度系数 2.5 Pa · sⁿ。

该井 $\phi 193.1\text{ mm}$ 尾管固井注入密度 1.05 kg/L 的冲洗液 4 m^3 , 密度 2.08 kg/L 的 MS-R 隔离液 15 m^3 , 密度 2.08 kg/L 的防气窜领浆 38 m^3 , 密度 2.12 kg/L 的防气窜尾浆 30 m^3 。加重隔离液和高密度水泥浆具有良好的易混性和可泵性, 固井施工过程顺利。声幅测井解释结果表明, 气层段封固质量为优质, 综合评定为优质。

4.2 河坝 2 井 $\phi 146.1\text{ mm}$ 尾管固井

河坝 2 井是川东北地区河坝构造上的一口重点开发井, 四开应用 $\phi 165.1\text{ mm}$ 钻头钻进, 采用 $\phi 146.1\text{ mm}$ 无接箍尾管封固飞 2 段高压气层。该井四开完钻井深 5 222.11 m, 电测平均井径

$DZH-2 + 40.0\% 配浆水$; 尾浆为 $JJG + 30.0\% 铁矿粉 + 40.00\% 加重剂 + 3.00\% 微硅 + 2.00\% 膨胀剂 DZP-2 + 5.00\% 降失水剂 DZJ-Y + 0.95\% 缓凝剂 DZH-2 + 36.00\% 配浆水$ 。

表 3 元坝 2 井 $\phi 193.1\text{ mm}$ 尾管固井水泥浆主要性能

水泥浆	密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	剪切应力读数	API 失水/ mL	自由液/ mL	流动度/ cm	稠化(过渡)时间/min	抗压强度/MPa
领浆	2.40	166/91/65/36/8/8	42	0	346(9)	18.9 ^①	
尾浆	2.41	173/90/65/36/9/6	25	0	251(3)	16.6 ^②	

注: 稠化试验条件为 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \times 110\text{ MPa} \times 55\text{ min}$; ①的养护条件为 $95\text{ }^{\circ}\text{C} \times 48\text{ h} \times 21\text{ MPa}$; ②的养护条件为 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \times 24\text{ h} \times 21\text{ MPa}$ 。

隔离液配方: 水 + 12.0% MS + 2.0% MS 助剂 + 290.0% 铁粉 + 2.0% 微硅, 其主要性能参数为: 密度 2.35 kg/L, 塑性粘度 28.1 mPa · s, 动切力 13.6 Pa, 流性指数 0.48, 稠度系数 1.46 Pa · sⁿ。

该井 $\phi 146.1\text{ mm}$ 尾管固井要求既要压稳气层, 又要防止漏失, 因而采用了平衡压力固井工艺, 入井水泥浆平均密度 2.37 kg/L, 最高密度 2.43 kg/L。整个固井施工过程顺利, 没有发生漏失, 固井质量综合评定为合格, 气层部位封固优质。

5 结 论

169.37 mm, 封固段为 5 212.86~4 644.79 m, 尾管段长 568.07 m, 重叠段长 310.97 m。钻井液主要性能为: 密度 2.27 kg/L, 粘度 90 s, 塑性粘度 56 mPa · s, 初切/终切 8/18 Pa, 动切力 16 Pa, API 滤失 2.2 mL, 固含 50%, 泥饼厚 0.5 mm, pH 值 11。

经过分析地层承压能力和分段压稳防气窜计算, 设计的液柱结构: 隔离液密度 2.35 kg/L, 领浆密度 2.40 kg/L, 尾浆密度 2.41 kg/L, 压稳系数达到 1.06。

水泥浆主要性能见表 4。其中水泥浆配方为: 领浆为 $JHG + 120.0\% 铁粉 + 30.0\% 硅粉 + 3.0\% 微硅 + 2.0\% 膨胀剂 DZP-2 + 8.0\% 防气窜剂 FSAM + 2.5\% 分散剂 DZS + 3.5\% 缓凝剂 DZH-2 + 25.0\% 配浆水$; 尾浆为 $JHG + 60.0\% 铁粉 + 35.0\% 硅粉 + 7.0\% 微硅 + 2.0\% 膨胀剂 DZP-2 + 8.0\% 防气窜剂 FSAM + 1.2\% 分散剂 DZS + 3.3\% 缓凝剂 DZH-2 + 25.0\% 配浆水$ 。

表 4 河坝 2 井 $\phi 146.1\text{ mm}$ 尾管固井水泥浆主要性能

水泥浆	密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	剪切应力读数	API 失水/ mL	自由液/ mL	稠化(过渡)时间/min	抗压强度/MPa
领浆	2.40	166/91/65/36/8/8	42	0	346(9)	18.9 ^①
尾浆	2.41	173/90/65/36/9/6	25	0	251(3)	16.6 ^②

征和固井难点, 认为压稳和防漏矛盾以及第二界面胶结质量差是川东北地区引起固井后气窜的主要因素。

2) Gaudin-schutzmann 粒度分布方程可用来优化高密度水泥浆体系颗粒分布, 使高密度水泥浆体系达到紧密堆积。

3) 经粒度优化的高密度水泥浆体系结合优选的防气窜外加剂, 使高密度水泥浆具有良好的综合性能和防气窜性能。

4) 新型分段气窜预测方法能够接近实际情况分析气窜的危险性, 能够实际指导防气窜固井压稳设计, 具有很好的适用性和操作性。

5) 现场应用表明, 达到颗粒紧密堆积的高密度

1) 通过研究分析川东北地区海相地层的地质特

水泥浆不仅具有良好的稳定性、流动性和易混性,而且现场水泥浆配制不需要额外的设备和工艺。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 曾凡,胡勇平. 矿物加工颗粒学[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2001.
- [4] 周仕明. 优质高强低密度水泥浆体系的设计与应用[J]. 钻井液与完井液,2004,21(6):33-36.
- [5] 张宏军. 深井固井工艺技术研究与应用[J]. 石油钻探技术,2006,34(5):44-48.
- [6] 张清玉,邹建龙,谭文礼,等. 国内外高温深井固井技术研究现状[J]. 钻井液与完井液,2005,22(6):57-61.

Gas Migration Prevention Cementing Technologies in Northeast Sichuan Area

Niu Xinming¹ Zhang Kejian² Ding Shidong² Chen Zhifeng²

(1. Oil and Gas Development Business Unit, Sinopec, Beijing, 100029, China; 2. Dezhou Petroleum Drilling Research Institute, Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec, Dezhou, Shandong, 253005, China)

Abstract: It is very difficult to prevent gas migration during cementing job in Northeast Sichuan area due to complex formations, large buried depth, and high gas pressure. In order to improve cementing quality of high-pressure gas wells, proper slurry structure to balance pressure, high-density cement slurry which can effectively prevent gas migration and proper cementing techniques are required. The particle distribution of high-density cement slurry was optimized for a close packing state using the Gaudin-schutzmann particle distribution equation. The additives with high gas-migration-prevention capacity to prevent gas migration were selected; and new gas migration prediction model for predicting gas migration and pressure balance design to optimize slurry structure was used. The high-density gas migration prevention cement slurry has been applied ten times on wells of Heba-2 and Yuanba-2 in Northeast Sichuan area, the highest density is up to 2.41 kg/L, and all cementing job in gas zones are excellent.

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

欢迎订阅 2008 年《石油与装备》杂志

《石油与装备》(网址:www.cippe.net)是由香港振威国际能源传媒集团有限公司主办、中国石油与化工设备工业协会及北京振威展览有限公司合办、中国图书进出口(集团)总公司负责国内发行的石油装备类专业性综合期刊,读者遍布全国各大油田、钻井、工程公司、科研院所和装备制造公司,主要以石油石化行业的高层管理者、决策者、科技人员及物资采购人员等为重点读者对象。

《石油与装备》杂志报道石油石化相关行业、领域内最新的政策信息及相关专家学者权威的行业观点;详尽、真实地记录石油装备制造工业的科技发展进程;提供勘探钻井、炼油化工、工程项目和安全环保等生产环节需要的新技术、新设备、新工艺和新经验;刊登国内外石油装备制造企业的设备和企业宣传广告。从 2007 年 8 月起,为满足读者需求,调整了主要栏目,调整后主要有“热点聚焦”、“技术应用”、“解决方案”、“工程项目”和“装备商桥”等。

《石油与装备》杂志以“中国国际石油石化技术装备展览会”(cippe 振威国际石油展)为依托,立足于“cippe 振威国际石油展”每年庞大的、不断更新的数据库,力争为石油石化产业提供详实的资讯、更多的商机和更好的推广服务。欢迎联系广告业务。

本刊为双月刊,逢双月 1 日出版;十六开彩色全铜版纸印刷,国内、外公开发行;国际连续出版物号:ISSN 1990-5947。期刊定价:港澳台 25 港元,中国大陆 20 元,其他国家和地区 5 美元。

编辑部地址:北京市朝阳区北苑路 170 号 E 座 801-803;邮编:100101;电话:010-58236535,58236542;传真:010-58236567;联系人:杨磊。