

# Construction of Cement Slurry System Suitable for Pinghu High Temperature and High Pressure Extended Reach Well Cementing

Jingtao Zhang

Shanghai Operation Company of Oilfield Chemistry Business Division of CNOOC Oilfield Services Co., Ltd.,  
Shanghai  
Email: zhangjt8@cosl.com.cn

Received: Mar. 11<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 14<sup>th</sup>, 2020; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The situation of oil and gas production in Pinghu oil and gas field is severe, and the distribution of remaining oil in the reservoir is more and more complex. There is a risk of gas channeling in cementing in this area, and there is a risk of cementing leakage and poor wellbore stability in the long sealing section. Based on technical analysis of cementing difficulties and technical analysis of cement slurry in Pinghu area, a set of high temperature resistant, tough, and anti-channeling cement slurry system suitable for Pinghu gas field is constructed, mainly aiming at the selection of elastic emulsion, enhanced anti-channeling agent GS12L, toughening and leakproof fiber, non-permeable and retarder agent material. The formulation of the cement slurry was optimized by adding the non-permeable agent bx82l to the cement slurry system. The experimental results show that bx82l can significantly improve the cementation strength of the interface between the cement slurry and the oil-based; the bond strength of interface I and II has been significantly improved. The cement slurry system has good anti-channeling performance and can effectively inhibit the upward channeling of oil and gas.

## Keywords

Pinghu Oil and Gas Field, High Temperature, High Pressure, Extended Reach Well, Cementing, High Temperature Resistant, Tough and Anti-Channeling Cement Slurry

---

# 适于平湖高温高压大位移井固井的水泥浆体系构建

张敬涛

中海油田服务股份有限公司油田化学事业部上海作业公司, 上海  
Email: zhangjt8@cosl.com.cn

收稿日期: 2020年3月11日; 录用日期: 2020年4月14日; 发布日期: 2020年6月15日

## 摘要

平湖油气田油气生产形势严峻, 油藏剩余油分布越来越复杂; 该地区固井存在气窜风险, 封固段较长存在固井漏失风险、井壁稳定性差等问题。通过固井技术难点分析及平湖地区水泥浆性能技术分析, 主要针对弹性乳液、增强防窜剂GS12L、增韧防漏纤维、非渗透剂及缓凝剂材料的筛选, 构建了一套适合平湖气田的抗高温韧性防窜水泥浆体系。通过在水泥浆体系中添加非渗透剂BX82L优化了水泥浆配方。试验结果显示, BX82L能够显著改善水泥浆与油基界面的胶结强度, I、II界面胶结强度均得到了显著提高。该水泥浆体系具有较好的防窜性能, 能够有效抑制油气上窜。

## 关键词

平湖油气田, 高温, 高压, 大位移井, 固井, 抗高温韧性防窜水泥浆

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

平湖油气田属于典型的高温环境, 高温对于悬挂尾管以及水泥浆的性能都是一种挑战, 需要有针对性筛选抗高温材料。而大位移井的井斜大、稳斜段长, 导致管柱摩阻和扭矩大幅度增加及井眼清洁困难; 测深大, 钻井时间长, 裸眼受钻井液浸泡时间长, 容易引发井下复杂和事故问题[1]。由于大位移井尾管固井对水泥浆高温沉降稳定性要求高, 根据 PH15 井施工资料, 平湖地区固井存在气窜风险, 因此水泥浆胶凝期要具有高防窜能力[2] [3]。要解决以上固井技术难点, 还要从高温高压大位移井固井工艺技术方面着手, 通过对大位移井固井技术难点分析, 室内针对水泥浆密度以及配方进行合理优化, 开展弹性乳液、增强防窜剂 GS12L、增韧防漏纤维、非渗透剂材料及缓凝剂的筛选, 构建抗高温韧性防窜水泥浆体系。

## 2. 平湖油气田固井技术难点分析

平湖油气田已测井底最高温度 183℃, 属于典型的高温环境。高温对于悬挂尾管以及水泥浆的性能都是一种挑战, 需要有针对性筛选抗高温材料; 目的层存在有沥青质煤层, 易造成掉块、坍塌现象, 大量发育的沥青质煤层对水泥浆的胶结质量会有不利影响, 需要提高水泥浆的胶结质量[4]。大位移井目的

层固井时，由于封固段较长，固井过程中易引起漏失，需要优化水泥浆防漏堵漏性能，提高封隔质量；封固段长高顶底温差不利于水泥环封隔，在满足长封固段大灰量施工时间的稠化性能同时，难以兼顾水泥浆顶部强度的发育速度，水泥浆的配方设计难度较大，对油井水泥缓凝剂等提出了较大的挑战[5]。在PH13井平湖组下段钻遇有异常高压油气层，针对异常高压油气层需要适当提高水泥浆密度压稳地层，同时还需要水泥浆具有较好的防窜性能来有效抑制油气上窜，需要针对水泥浆密度以及配方进行合理优化。

### 3. 平湖油气田固井水泥浆性能要求

1) **浆体稳定无沉降** 水泥浆的高温稳定性差，严重时表现为悬浮能力下降，产生沉淀，使浆体的性能如失水量、强度发育等完全偏离设计值。不稳定的水泥浆析水，固体颗粒沉降，析出的自由水易聚集起来形成油气上窜通道。所以水泥浆高稳定性是获得良好固井质量的基础。

2) **良好的防气窜性能** 大位移井封固段通常较长，要实现对不同目的层位的有效封固尤其是高压油气层的封固，水泥浆的防窜性能尤为重要。

3) **良好的胶结性能** 大位移井及油基泥浆壁面，顶替效率无法达到 100%。如何实现与少量油基泥浆存在下的壁面胶结质量是保障固井质量的关键。

4) **良好的抗温性** 井深温度高要求水泥浆具有良好的抗温性。为实现高压油气层的有效压稳，需要水泥浆具有良好的加重性能的同时保持良好的物理性能。

### 4. 抗高温韧性防窜水泥浆添加剂材料的筛选

#### 4.1. 弹性乳液加量的优选

弹性乳液是采用最新技术获得的稳定乳液，相对于普通胶乳其对配浆水质的要求更低，抗温性以及稳定性更优异。从试验结果(表 1)可以看出，弹性乳液具有良好的分散性和韧性，抗温性以及稳定性优异，有益于水泥浆致密结构滤饼的形成。随着弹性乳液加量的增加，抗窜性能呈先上升后下降的趋势，在弹性乳液加量为 20%时最大。

**Table 1.** Improving mechanical properties of cement paste with elastic emulsion

**表 1.** 弹性乳液改善水泥石力学性能

弹性乳液加量/%	抗冲击强度/(kJ·m <sup>-2</sup> )	弹性模量/GPa	抗窜能力/(MPa·m <sup>-1</sup> )
0	1.77	6.82	5.5
5	2.02	4.46	6.0
10	2.09	3.82	9.6
15	2.24	2.80	14.8
20	2.27	2.73	15.5
25	2.06	2.70	13.9
30	2.02	2.68	11.8

韧性水泥石二界面胶结性能的提高，也同样提高了水泥环的抗窜性能，抗冲击强度以及弹性模量都表现出更好的效果。

#### 4.2. 增强防窜剂 GS12L 优选

GS12L 是一种增强防窜材料，材料具有较大的比表面积，能够极大程度上束缚水泥浆固体颗粒隙间的自由水，有增强浆体稳定性的作用；该材料同时能够有效充填到水泥颗粒间，起到刚性填充的作用，起到降低水泥石的渗透率的作用；该材料具有明显的火山灰效应可以与氢氧化钙发生二次水化，能够促

进水泥浆中 C-S-H 凝胶的快速形成, 表现为水泥石强度发展更早, 有利于候凝期间水泥浆的防窜作用[6]。

试验结果(表 2)表明, GS12L 对水泥浆的流变影响小, GS12L 加入到水泥浆中可改善水泥石致密性, 增早强, 强度明显得到了提高。

**Table 2.** Effect of GS12L dosage on the performance of cement paste

**表 2.** GS12L 加量对水泥浆性能影响

水泥浆密度 (g·cm <sup>-3</sup> )	GS12L 加量/%	流变性能				24 h 抗压强度/MPa
		$N_{\Phi 300}$	$N_{\Phi 6}/N_{\Phi 3}$	$n$	$K/\text{Pa}\cdot\text{s}^n$	
1.90	0	137	5/3	0.8308	0.3936	24.75
	1.5	131	5/3	0.8067	0.4373	23.70
	3.0	141	6/5	0.9257	0.2241	26.80
	4.5	143	7/6	0.7755	0.5798	28.80

注:  $N_{\Phi 300}$ 、 $N_{\Phi 6}/N_{\Phi 3}$  表示六速黏度计上 300、6/3 r/min 的读数;  $n$  为流性指数;  $K$  为稠度系数。

### 4.3. 纤维类型的优选

BZX-6 液体纤维是将纤维经过分散到水溶液中做成流体纤维, 具有更好的水分散性和水泥颗粒的胶结性, 添加到水泥石中分散性良好, 在起到了防漏的作用的同时还能够大幅度提高纤维水泥石韧性。试验结果(表 3)表明, 液体纤维对水泥石的强度性能、柔韧性能都有一定程度提高, 水泥石的总体韧性较好。考虑性能和成本综合因素, 室内选择液体纤维作为备选的增韧材料。

**Table 3.** Effect of fiber type on mechanical properties of cement paste

**表 3.** 纤维类型对水泥石力学性能的影响

纤维种类	$N_{\Phi 300}$	抗压强度/MPa	抗折强度/MPa	抗冲击功/(kJ·m <sup>-2</sup> )	弹性模量/GPa
空白	146	20.6	4.8	1.78	2.96
杜拉纤维	225	20.8	5.6	2.17	2.50
液体纤维	159	23.0	5.4	2.16	2.54
玻璃纤维	205	20.3	5.1	2.08	2.60
凯夫拉纤维	--	20.6	5.0	2.05	2.65

### 4.4. 非渗透剂加量的筛选

试验结果(表 4)表明, 随着非渗透剂加量的升高, 水泥浆抗压强度先升高后下降。抗压强度试验满足平湖高温高压井段的设计要求, 该体系 BX82L 非渗透剂加量推荐为 3%。

**Table 4.** The influence of the amount of non permeable agent on the compressive strength of cement paste

**表 4.** 非渗透剂加量对水泥浆抗压强度的影响

BX82L 加量/%	条件	流变性能			24 h 强度/MPa	失水量/ml
		$N_{\Phi 600}/N_{\Phi 300}$	$N_{\Phi 200}/N_{\Phi 100}$	$N_{\Phi 6}/N_{\Phi 3}$		
0	养护前	-/208	180/88	8/6	23.6	44
	养护后	-/180	105/88	4/2		
3	养护前	-/232	170/101	10/6	24.4	40
	养护后	218/117	83/44	3/1		

### 4.5. 缓凝剂的优选

试验结果(表 5、表 6)表明, 无论是中温缓凝剂还是高温缓凝剂与固井添加剂均具有良好的适应性。

通过调节缓凝剂加量水泥浆的稠化时间均能有效延长，未表现出异常现象；缓凝剂不同加量下，稠化转化时间短，均能满足固井作业要求。

**Table 5.** Medium temperature cement slurry system (thickening time regulated by retarder dosage)

**表 5.** 中温水泥浆体系(缓凝剂加量调节稠化时间)

缓凝剂加量/%	稠化时间/min	初始稠度/BC	稠化转化时间/min
0	150	19	12
0.125	186	20	11
0.25	220	20	12

试验条件：80℃ × 45 MPa。

**Table 6.** High temperature cement slurry system (thickening time regulated by retarder dosage)

**表 6.** 高温水泥浆体系(缓凝剂加量调节稠化时间)

缓凝剂加量/%	稠化时间/min
1.00	186
1.17	236
1.33	281
1.50	325

试验条件：120℃ × 45 MPa。

## 5. 抗高温韧性防窜水泥浆体系构成

### 5.1. 体系配方

根据平湖油气田高温高压大位移井对固井水泥浆性能设计分析和对添加剂材料的筛选，确定了抗高温韧性防窜水泥浆体系的配方：

1) 1.90 g/cm<sup>3</sup> **中温配方** G 级水泥 + 27.5% 水 + 2% GS12L + 3% CG88L 降失水剂 + 0.2% CX601L 消泡剂 + 10% 弹性乳液 + 1% CF44L 分散剂 + 0.13% H21L 缓凝剂 + 0.5% EXP-1 膨胀剂 + 3% BX82L 非渗透剂 + 3% FIB-1 液体纤维。

2) 1.90 g/cm<sup>3</sup> **高温配方** G 级水泥 + 34% 淡水 + 3% GS12L + 4% CG88L 降失水剂 + 0.2% CX601L 消泡剂 + 10% 弹性乳液 + 1.5% CF44L 分散剂 + H63L 缓凝剂 + 35% 硅粉 + 3% BX82L 非渗透剂 + 3% FIB-1 液体纤维。

3) 2.20 g/cm<sup>3</sup> **高温配方** G 级水泥 + 48% 淡水 + 4% GS12L + 4% CG88L 降失水剂 + 0.2% CX601L 消泡剂 + 8% 弹性乳液 + 100% W1200 加重剂 + 2% CF44L 分散剂 + H63L 缓凝剂 + 35% 硅粉 + 3% BX82L 非渗透剂 + 3% FIB-1 液体纤维。

### 5.2. 体系性能评价

根据平湖油气田高温高压大位移固井特点分析，室内针对抗高温韧性防窜水泥浆体系流变性能、稳定性、胶结强度进行了性能对比评价(表 7)。

**Table 7.** Performance evaluation data of high temperature and toughness anti channeling cement slurry

**表 7.** 抗高温韧性防窜水泥浆性能评价数据表

钻井液侵污比例/%	$N_{\Phi 600}/N_{\Phi 300}$	$N_{\Phi 200}/N_{\Phi 100}$	$N_{\Phi 6}/N_{\Phi 3}$	稠化温度/℃	稠化时间/min	抗压强度/MPa
0	298/173	121/76	7/8	90	292	17.34
5	200/110	79/45	5/4	90	232	12.58
10	177/99	70/41	5/4	90		5.62

试验结果表明,该水泥浆体系不仅具有抗高温体系稳定性强、降失水效果好、防气窜性能强等优点,而且水泥浆凝固后能形成致密的水泥环,满足高温条件下的抗压强度,符合平湖高温高压的固井需要。

水泥浆经过高温高压稠化仪 130℃ 养护 30 min 后,冷却到 90℃ 取出,倒入 50 cm 高的细管中,反复震荡 50 次,静置待凝固后测试水泥石密度。结果表明,1.90 g/cm<sup>3</sup> 水泥浆上下密度差 0.02 g/cm<sup>3</sup>, 2.20 g/cm<sup>3</sup> 水泥浆上下密度差 0.04 g/cm<sup>3</sup>, 满足现场固井作业需求。

通过在水泥浆体系中添加非渗透剂 BX82L 优化了水泥浆配方。采用胶结强度测试仪进行胶结强度测试,测试结果如表 8、表 9 所示,可以看出 BX82L 能够显著改善水泥浆与油基界面的胶结强度, I、II 界面胶结强度均得到了显著提高。

**Table 8.** Influence of casing wall performance on interface cementation and shear strength

**表 8.** 套管壁面性能对界面胶结、剪切强度的影响

套管壁面状态	胶结强度/(kg·m <sup>-2</sup> )	剪切强度/(kg·m <sup>-2</sup> )
油基钻井液管壁	1150	4750
水基钻井液管壁	6424	10,520
20 划痕/100cm <sup>2</sup>	7028	>45,000

**Table 9.** The influence of the second interface property on the interface cementation and shear strength

**表 9.** 第二界面性质对界面胶结、剪切强度的影响

类别	泥饼类型	胶结强度/(kg·m <sup>-2</sup> )	剪切强度/(kg·m <sup>-2</sup> )
泥岩井壁	油基钻井液泥饼	998	3850
	水基钻井液泥饼	4960	23,730

备注: 试验结果用胶结强度测试仪测得。

## 6. 结论

1) 通过对弹性乳液加量的优选,确定了弹性乳液加量为 20%; GS12L 作为增强防窜材料,显著降低了水泥石的渗透率,促进水泥石早期强度发展快; 优选液体纤维作为添加剂配置水泥浆,使得力学性能效果最佳,水泥浆韧性优异。

2) 通过在水泥浆体系中添加非渗透剂 BX82L 优化了水泥浆配方。试验结果显示, BX82L 能够显著改善水泥浆与油基界面的胶结强度, I、II 界面胶结强度均得到了显著提高。

3) 该抗高温韧性防窜水泥浆体系,不仅具有抗高温体系稳定性强、降失水效果好、防气窜性能强等优点,而且水泥浆凝固后能形成致密的水泥环,满足高温条件下的抗压强度,符合平湖高温高压大位移井的固井需要。

## 基金项目

国家科技重大专项《海外复杂地层固井及修井液技术》(2017ZX05032004-004)。

## 参考文献

- [1] 隋梅. 胜利油田深探井固井技术难点与对策[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(3): 73-79.
- [2] 宋健, 陈勉, 金衍. SIPC 高压油气井固井技术难点与对策[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(5): 71-75.
- [3] 杨建雄, 杨宝国, 胡小兰. 高温高压固井防气窜技术[J]. 江汉石油职工大学学报, 2009, 22(2): 34-36.
- [4] 邹建龙, 高永会, 朱海金, 等. 川东北地区高密度防气窜水泥浆体系研究[J]. 石油钻探技术, .2010, 38(1): 46-49.
- [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] 罗宇维, 张光超, 刘云华, 等. 海洋高温高压气井固井防气窜水泥浆研究[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(6): 18-20.