

一种超细热稳定材料在油田固井水泥浆中的研究和应用探讨

许前富

中海油服油田化学研究院 河北 三河 065201

摘要: 为解决以API G级油井水泥为基础胶凝材料的高温固井水泥浆体系衰退问题, 通常需要在温度超过110°C时添加硅粉作为强度热稳定材料。本文结合颗粒级配技术及固井水泥浆高温固井作业性能要求, 开发了一种超细热稳定材料, 并探讨了其在多种应用场景中的性能。结果显示, 该材料具有改善流变性、增加悬浮稳定性、提高抗压强度及抗高温衰退能力等优良性能, 且对常规性能无不良影响, 具有非常好的应用前景。

关键词: 油井水泥; 高温强度衰退; 热稳定材料; 颗粒级配; 流变性

Research and Application Discussion on a Superfine Thermostable Material in Oilfield Cementing Cement Slurry

Xu Qianfu

Oilfield chemicals Division, COSL, Sanhe, Hebei, 065201

Abstract: In order to solve the problem of decline of HTHP cement system based on API G well cement, it is usually necessary to add silica powder as a strength stabilizing material when the temperature exceeds 110°C. This paper summarized the mechanism analysis of high temperature strength decline of oil well cement, combined with the particle size distribution technology and the performance requirements of high temperature cementing slurry, developed a kind of ultrafine silica powder, and discussed its performance in various application scenarios. The results show that the material has excellent properties such as improving rheology performance, increasing suspension stability, increasing compressive strength and resisting high temperature decline, and has no adverse effect on conventional properties, so it has very good application prospects.

Key words: Oil well cement; High temperature strength decline; Thermostable materials; Particle grading; Rheology

引言

在固井作业中, 当井底静止温度超过110°C或后期要进行注蒸汽作业的情况下, 要求在G级油井水泥中添加硅质材料来防止高温条件下水泥石发生强度衰退^[1, 2]。本文介绍了一种超细硅粉材料C-Si800, 它是由结晶态高纯石英经特殊工艺研磨分选制成, 由表1可知, 它的粒径显著低于其它油田固井常用粉体材料, 主要集中在1-3微米区间。它可以在防止油井水泥石强度衰退的同时, 为高温高压固井水泥浆体系的颗粒级配设计提供支持, 具有较好应用前景。

表1 油田固井常用粉体材料粒径分布

序号	名称	粒径, μm		
		D[10]	D[50]	D[90]
1	G级油井水泥	5	28	78
2	硅粉C-Si300	3	17	40
3	超细硅粉C-Si800	0.8	1.5	3
4	赤铁矿粉C-D2002	20	48	104
5	锰矿粉micromax	0.5	1.3	3.0

续表:

序号	名称	粒径, μm		
		D[10]	D[50]	D[90]
6	微硅粉C-GS12S	0.07	0.2	0.5
7	人造玻璃微珠C-P612	23	42	74
8	超细油井水泥	1.5	3.9	7.6

1 实验部分

1.1 实验材料

API G级油井水泥来自淄博中昌特种水泥有限公司; 硅粉材料均来源于天津渔阳超细矿粉加工有限公司, 赤铁矿粉加重材料来源于唐山中絮工业水处理有限公司, 配浆淡水为燕郊市政自来水^[1], 人造玻璃微珠C-P612来源于中钢马鞍山矿院新材料有限公司, C-FL34S来源于卫辉市化工有限公司, 其它材料均来源于蓝海博达科技有限公司。

1.2 实验仪器

符合API规范的OWC-9360搅拌机、OWC-9350A常压稠化仪、Chandler 3500旋转粘度计、Chandler7120型高温高压

搅拌式失水仪、OWC-9490HP高温高压养护釜、YJ-2001型抗压强度试验机、OWC-9480D高温高压稠化仪、Chandler 4265超声波抗压强度测试仪等。

1.3 实验条件及要求

分别使用超细硅粉超细硅粉材料C-Si800, 在多种条件下对比测试其在水泥浆中的性能。详细测试条件及要求如表2所示。

表2 超细硅粉材料 C-Si800对比测试内容及条件

序号	测试项目	密度g/cm ³	实验条件
1	抗高温衰退能力	1.90	180°C21MPa长期养护
2	高温水泥浆综合性能	1.90	BHCT/BHST/BHP=160°C/180°C60MPa60min
3	稠油热采固井水泥浆	1.56	60°C常压养护, 350°C21MPa高温养护
4	高密度水泥浆体系	2.30	BHCT/BHST/BHP=90°C/120°C67MPa60min
5	高渗透水泥浆体系	1.75	BHCT/BHST/BHP=52°C/60°C21MPa30min

1.4 测试方法

水泥浆的制备及性能测试按API 10B RP中的相关规定进行。

2 结果与讨论

2.1 抗高温衰退能力

使用35%BWOC加量不同目数硅粉, 在180°C21MPa条件下长期养护, 对比其抗压强度发展趋势。水泥浆配方为100%G级油井水泥, 35%不同粒径硅粉, 淡水, 0.5%消泡剂C-DF60L, 8%降失水剂C-FL80L, 0.5%分散剂C-F41L, 2%缓凝剂C-R40L, 设计密度为1.90g/cm³。该条件可覆盖绝大多数高温高压井需求^[3]。

结果表明, 基本上各粒径硅粉都可以保证水泥石的强度, 但更细的硅粉, 水泥石早期强度发展更快, 强度高值出现的更早, 初始强度更高。硅粉越细, 介入水泥石强度二次发展就越快, 水泥石强度的二次增长越明显, 越能抑制水泥石中早期强度发展的衰减趋势。

但该对比结果仅表明了超细硅粉具有较好的防衰退能力, 实际应用中发现其混配极其困难, 不具有现场操作性, 因此建议复配使用。

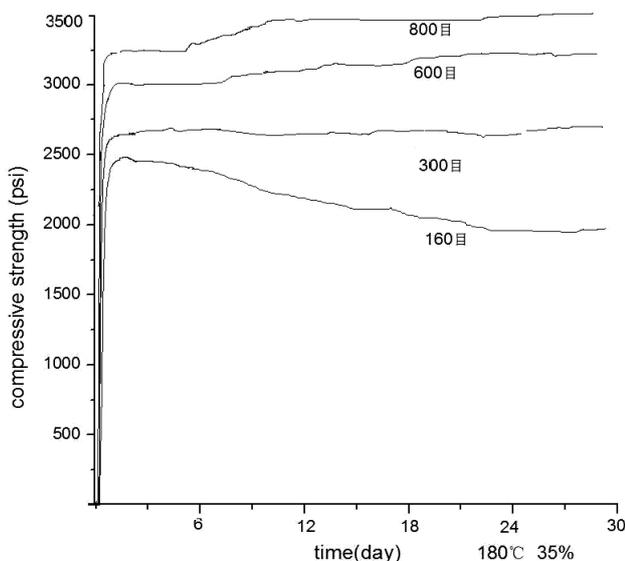


图1 180°C时不同目数硅粉对水泥石强度影响实验^[4]

2.2 高温水泥浆综合性能

在BHCT/BHST/BHP=160°C/180°C60MPa60min条件下对比不同硅粉配方的高温水泥浆综合性能。水泥浆配方为100%G级油井水泥, 35%不同粒径配比硅粉, 淡水, 0.5%消泡剂C-DF60L, 8%降失水剂C-FL80L, 3.0%分散剂C-F45L, 3%缓凝剂C-R40L设计密度为1.90g/cm³。

结果表明, 只使用800目无法配浆, 300目硅粉流变性能较差, 而按1:1~2:5比例复配硅粉有更优良的流变性能, 包括更短的混灰时间、更优良的流变性和失水控制效果, 同时稠化时间无突变。

2.3 稠油热采固井水泥石强度

在稠油热采固井作业中, 由于在注蒸汽前水泥浆面临的温度并不高, 因此对水泥浆的高温沉降稳定性可不用过多考虑; 而应更多考虑高温热冲击对水泥石带来的不利影响, 因此引入一种惰性填充材料C-P69, 该材料可以减轻水泥浆密度, 降低水泥浆成本, 同时获得更优良的流变性能^[4]。水泥浆配方为: 100%G级油井水泥, 50%不同粒径配比硅粉, 3%防窜增强剂C-GS12S, 33.3%惰性填充材料C-P69, 10%人造玻璃微珠C-P6006, 淡水, 0.5%消泡剂C-DF60L, 4%降失水剂C-FL87L, 4.0%分散剂C-F45L, 0.25%缓凝剂C-R21L设计密度为1.56g/cm³, 水泥浆固相体积分数为57%。

通过对比, 50%C-Si300配方无法配浆, 50%C-Si70配方沉降, 均无法应用。而采用35%C-Si70+15%C-Si800组合的配方, 混灰时间40秒, 60°C常压养护3天抗压强度为27.6MPa, 350°C21MPa养护7天抗压强度为29.4MPa, 性能优良。

2.4 高密度水泥浆体系

高温高密度水泥浆需要添加高密度加重材料来提高密度, 同时也需要硅粉用于防止水泥石高温强度衰退^[5,6]。使用超细硅粉C-Si800作为超细级配材料, 或可代替进口球形微锰加重材料, 在大幅度降低材料成本的同时达到更优的抗压强度。

水泥浆配方为: 100%G级油井水泥, 35%不同粒径配比硅粉(C-Si70或C-Si800), 70%不同的加重材料(常规赤铁矿

粉加重材料C-C2002, 或超细微硅加重材料micromax), 3%防窜增强剂C-GS12S, 淡水, 0.5%消泡剂C-DF63L, 2%降失水剂C-FL80L, 2.0%分散剂C-F45L, 8%胶乳C-GS21L, 0.50%缓凝剂C-R40L设计密度为 $2.30\text{g}/\text{cm}^3$, 水泥浆固相体积分数为53%。

通过对比, 35% C-Si800+70% C-D2002配方与35% C-Si70+70% Micromax配方混灰时间、稠化时间、失水等性能接近, 但前者的抗压强度显著高于后者, 显示出较为明显的优势。结合其低成本特点, 具有非常好的应用潜力。

2.5 高渗透水泥浆体系

胶凝材料选用了超细油井水泥, 配方为: 100%超细水泥+50%超细硅粉C-Si800+淡水+0.5%消泡剂C-DF60L+1.36%降失水剂C-FL34S +1.5% C-F45L + 0.4% C-R21L, 设计密度 $1.90\text{g}/\text{cm}^3$ 。该配方混灰时间小于60秒, 浆体流动性能优良无触变, 50°C 常压养护24小时抗压强度为 36.2MPa ^[4]。

其中, 固相颗粒中超细水泥的D[90]为 $7.6\mu\text{m}$, 超细硅粉的D[90]为 $3.0\mu\text{m}$ 。而API失水实验中用到的滤网上层为325目, 即45微米, 主要起过滤作用, 拦截水泥浆; 下层为60目滤网, 即250微米, 起支撑滤网强度的作用。双层滤网的孔径均大于浆体最大颗粒的直径。失水实验中, 在 6.9MPa (1000psi)压差作用下, 水泥浆大部分均穿过滤网全部流出, 显示出极佳的流体渗透性。

在针对小裂缝、小间隙的修补挤注水泥浆作业中, 具有穿透效果好的高强度、低渗透率水泥浆可大幅度改善注入条件, 提高补救注水泥的成功率。同时, 它也可成为封堵废弃井的合适材料, 可于其它胶凝材料不能修补的井眼问题^[7]。

3 结论

(1) C-Si800是一种由超细硅粉组成的油井水泥热稳定材料, 具有较好的抗高温强度衰退能力;

(2) 在常规密度水泥浆中, C-Si800与其它粒径材料搭配使用, 可获得更优良的流变性、稳定性及抗压强度等, 改善水泥浆综合性能;

(3) 在高固相水泥浆中, C-Si800可单独或与其它粒径材料搭配使用, 可获得更优良的流变性、抗压强度, 或大幅度降低水泥浆成本;

(4) C-Si800也可与超细水泥共同使用, 可获得具有高渗透性的挤注作业用水泥浆体系。

参考文献

[1] Nelson E B. Well Cementing[M]. USA: Elsevier Press, 1990,9.1-9.19

[2] 张景富, 俞庆森, 徐明, 高莉莉, 肖海东. G级油井水泥的水化及硬化[J]. 硅酸盐学报. 2002, (2):167-171+177.

[3] 罗宇维, 赵琥, 宋茂林等, 中国海油固井技术发展现状与展望, [J]. 石油科技论坛:32-36[2017-2-21]

[4] 王景建, 冯克满, 许前富, 等, 高温下加砂G级油井水泥强度发展规律研究[J], 钻井液与完井液, 2011, 8(3):52-54.

[5] 符军放, 掺硅粉高水灰比水泥石高温强度衰退现象分析[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(01): 112~115

[6] 黄柏宗, 紧密堆积理论优化的固井材料和工艺体系[J]. 钻井液与完井液, 2001, 18(6): 1~9

[7] 李坤, 徐孝思, 黄柏宗, 紧密堆积优化水泥浆体系的优势与应用[J], 钻井液与完井液, 2002, (01), 1-6+9+51+8+13