

低密度水泥浆在泰国Sirikit (S1) 项目的研究和应用

齐 营

中海油服油田化学事业部 河北 廊坊 065201

摘要: 本文描述了低密度水泥浆在泰国Sirikit (S1) 区块的研究和应用。在成本最优化的前提下, 通过筛选多种减轻材料, 并添加提粘剂和微硅粉等达到保持浆体稳定性和提升抗压强度, 并保证防气窜等各项性能。经研发和现场应用尽两年, 取得优异成果。

关键词: 低密度水泥浆; 抗压强度; 浆体稳定性

引言: S1陆地区块位于泰国北部的Phitsanulok盆地。地质构造主要为断层和砂岩结构^[1]。该油田于1983年开采至今。由于地址构造较弱, 再加上多年的开采, 易导致垮塌和漏失。井深结构分为浅井和深井两种。浅井为两层套管结构分别为: 9-5/8“表层和7”套管产层。深井为表层13-3/8“套管, 技术套管为9-5/8“套管, 产层为7“套管。表层套管下深在1000米左右, 领、尾水泥浆的密度分别为1.38sg和1.56sg; 技术套管的下深为2400米-3000米左右, 领、尾水泥浆的密度分别为1.38sg和1.90sg; 产层套管深度3000米-4000米的水泥浆的密度分别为1.56sg和1.62sg。地温梯度3℃/100m。

1 技术难点

1.1 全井段多采用低密度水泥浆, 对强度的要求较高。如表层领浆的比重只有1.38sg, 而强度要求为: 250psi@60℃*24hrs; 而且表层套管尾浆的6小时抗压强度不得低于400psi。产层的领、尾浆均为低密度设计, 不但对强度有较高的要求同时还得保证防气窜等性能。具体要求如下: 领、尾浆在井底110℃和135℃的12小时和24小时抗压强度都必须分别达到700psi和1500psi。

1.2 水泥浆的成本要求高。为了保证竞争力, 合理搭配低密度减轻材料和提粘剂才能保证抗压强度的同时, 确保浆体的稳定性。辅以微硅粉降低水泥石的渗透率和孔隙率, 提高防气窜能力。因此需要优选材料和大量的

实验。

2 材料选择

2.1 减轻剂

2.1.1 空心玻璃微珠 PC-P62S

使用玻璃漂珠材料能有效的提高浆体的固含量, 有助于抗压强度的发展。本研究采用国产PC-P62S漂珠, 该产品的比重为0.60sg左右, 承压能力为12000psi, 能有效降低水泥浆的水灰比, 而同时又不会被井底高压挤碎。激光粒径测定PC-P62S的d(50) = 50μm。

2.1.2 硅酸钠 PC-P70L

硅酸钠也称水玻璃, 广泛用于固井水泥浆。由于材料能跟Ca(OH)₂或CaCl₂形成硅酸钙凝胶, 进而提高浆体的粘度, 允许掺入更多的水而不会产生沉降和析出游离水, 能提高水泥浆的造浆率。另外, 该添加剂本身能加速水泥水化过程, 也兼做早强剂。该产品价格低廉, 易获得。他的缺点是在高温环境下很难调整稠化时间^[2]。

2.1.3 纳米胶凝材料 PC-P81L

该添加剂因其极小的颗粒(0.05μm), 能迅速的与水泥颗粒反应, 并在水泥表面形成凝胶, 起到悬浮水泥颗粒, 稳定浆体的作用^[3]。另外该产品能在缓凝剂的作用下高温使用。凝胶的形成能够增加水泥颗粒间的气窜阻力; 超细的颗粒有效的填补水泥颗粒间的空隙, 进而起到防气窜的作用^[4]。

表1 添加了PC-P81L, 密度1.68g/cm³水泥浆性能

RPM	流变性							静胶凝强度		游离液 (ml)	稠化时间 (压力5200psi)
	300	200	100	60	30	6	3	10''	10'		
27℃	36	32	27	25	22	17	15	15	17	4	NA
52℃	53	48	42	37	33	19	16	14	19	2	100Bc @ 2:09

注: 1. 水泥浆配方: TPI G级水泥 + 3.2%(BWOC) PC-P81L + 淡水

上面数据说明: 在低密度水泥浆中, PC-P81L能提高造浆率, 同时对自由水的控制良好, 但是由于超细材料

与水泥的水化反应强烈, 导致稠化时间较短, 使用过程中需加大缓凝剂的用量。

2.1.4 提粘剂 PC-J62L

为了保证浆体的稳定性，使用提粘剂势在必行，高效液体提粘剂PC-J62L能有效增稠，且用量少。该产品在140℃以内不会出现“热稀”现象^[5]，能保障高温浆体的稳定性。

表2 添加了PC-J62L，密度1.68g/cm³水泥浆的沉降稳定性

试样	密度 (g/cm ³), 52℃*24小时
1 (顶部)	1.686
2	1.694
3	1.687
4 (底部)	1.684

表3 水泥浆流变性能

流变性								静胶凝强度		游离液 (ml)
RPM	300	200	100	60	30	6	3	10''	10'	
27℃	39	34	27	23	20	13	12	12	14	14
52℃	41	37	30	27	23	13	11	11	18	14

注：水泥浆配方：TPI G级水泥 + 0.57%(BWOC) PC-J62L + 淡水

从上面数据可以看出，水泥浆在只添加PC-J62L的情况下，水泥柱各段密度差都在0.1g/cm³以内，说明水泥浆的稳定性良好。同时也发现自由水偏高，导致养护后的水泥石各段密度均大于设计密度。具体使用过程中应该复合使用降失水剂或者微硅粉等材料控制自由水。

的水润湿，因此水泥浆不易沉降，同时也达到了增稠的作用。也是因为超细的粒径，可以有效的填充水泥颗粒和其他固体材料间的缝隙，达到增强的作用。本项目选择了非压缩型微硅粉，堆积密度200kg/m³-350kg/m³，激光粒径测定d(50) < 0.2μm，确保在水泥和微硅粉干混时能有效分散并均匀的混合。

2.1.5 微硅粉 PC-GS12S

微硅粉由于粒度很小，比表面积大，所以需要更多

表4 添加了PC-GS12S，密度1.80g/cm³水泥浆性能

流变性								静胶凝强度		游离液 (ml)	抗压强度 (MPa) 60℃, 8hrs
RPM	300	200	100	60	30	6	3	10''	10'		
27℃	105	97	86	79	68	35	24	66	195	0	5.20
52℃	115	98	95	89	55	48	16	71	146	0	

注：水泥浆配方：TPI G级水泥 + 5%(BWOC) PC-GS12S + 淡水

表5 纯水泥密度1.90g/cm³水泥浆性能

流变性								静胶凝强度		游离液 (ml)	抗压强度 (MPa) 60℃, 8hrs
RPM	300	200	100	60	30	6	3	10''	10'		
27℃	131	102	87	72	57	18	16	15	19	NA	11.95
52℃	130	113	93	78	59	24	19	17	18	18*	

注：水泥浆配方：TPI G级水泥792g + 淡水349g。*自由水为API SPECIFICATION 10A纯水泥检验方法测得

数据显示，即使掺量只有5% (BWOC) 的情况下，在1.80g/cm³的低密度水泥浆中PC-GS12S就可以达到良好的增稠效果，且游离液控制出色。浆体有触变现象。在不添加任何添加剂的情况下，1.90g/cm³的G级纯水泥浆是有自由水的，而且粘度相较添加PC-GS12S的水泥浆略稠。

3 开发的水泥浆

3.1 无玻璃微珠水泥浆

表层领浆，密度1.38g/cm³，配方：TPI G水泥 + 3%(BWOC)PC-GS12S微硅粉 + 0.26%(BWOC)PC-X60L消泡剂 + 1.61%(BWOC)PC-A97L早强剂 + 4.9%(BWOC)PC-P70L 减轻剂+ 4.94%(BWOC)PC-P81L减轻剂 + 0.8%(BWOC)PC-R23L缓凝剂 + 淡水

3.2 玻璃微珠水泥浆

3.2.1 表层尾浆，密度1.56g/cm³，配方：TPI G水泥 + 12%(BWOC)PC-GS12S微硅粉 + 5%(BWOC)PC-P62S玻璃微珠 + 0.18%(BWOC)PC-X60L消泡剂 + 0.28%(BWOC)PC-J62L提粘剂 + 0.9%(BWOC)PC-A97S早强剂 + 9.36%(BWOC)PC-G712L降失水剂 + 1.21%(BWOC)PC-P81L减轻剂 + 淡水

3.2.2 产层水泥领浆，密度 1.56g/cm³，配方：TPI G水泥 + 25%(BWOC)PC-GS12S微硅粉 + 8%(BWOC)PC-P62S玻璃微珠 + 35%(BWOC)PC-C83S 硅粉 + 0.26%(BWOC)PC-X60L消泡剂 + 0.28%(BWOC)PC-J62L提粘剂 + 9.85%(BWOC)PC-G712L降失水剂 +

2.54%(BWOC)PC-H21L缓凝剂 + 淡水

3.2.3 产层水泥领浆，密度 $1.62\text{g}/\text{cm}^3$ ，配方：TPI G 水泥 + 8%(BWOC)PC-P62S玻璃微珠 + 3%(BWOC)微硅粉 + 35%(BWOC)PC-C83S 硅粉 + 0.26%(BWOC)PC-X60L

消泡剂 + 0.70%(BWOC)PC-J62L提粘剂 + 10.83%(BWOC)PC-G712L降失水剂 + 1.52%(BWOC)PC-H40L缓凝剂 + 淡水

表6 水泥浆性能

性能	表层领浆		表层尾浆		产层领浆		产层尾浆	
	技术指标	实验结果	技术指标	实验结果	技术指标	实验结果	技术指标	实验结果
屈服值(lbf/100ft ²)	18-22	18	20-25	21.5	20-30	26.75	25-30	25
10分钟胶凝强度(lbf/100ft ²)	< 25	21	< 30	14	< 30	17	< 40	16
游离液 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
API失水(ml)	无		< 175	40	< 50	26	< 50	42
静胶凝过渡时间(min)	无		无		< 40	27	< 40	15
CHA测窜	无		无		无气窜	无气窜	无气窜	无气窜
UCA抗压强度, 6小时 (psi)	无		> 400psi	642	无		无	
UCA抗压强度, 12小时 (psi)	无		无		> 700psi	1526	> 700psi	1001
UCA抗压强度, 24小时 (psi)	> 250psi	319	> 1200psi	1769	> 1500psi	1762	> 1500psi	1858
稠化时间 (hr:min) @70Bc	4:00-4:30	4:14	3:00-3:30	3:30	6:30-7:00	6:46	6:30-7:00	6:30

注：1. 表层井底循环温度和静止温度分别为50℃和60℃。
2. 产层领浆井底循环温度和静止温度分别为95℃和110℃。
3. 产层尾浆井底循环温度和静止温度分别为120℃和135℃。

4 现场应用

以上水泥浆在泰国Sirikit(S1)项目两年来，近100口井的固井作业中，施工无事故发生，测井质量优良率100%。

5 结论

针对泰国Sirikit (S1) 项目的低密度水泥浆做了研究，优选了提粘剂，纳米胶凝材料、微硅粉和空心玻璃微珠。在保证性能达到指标要求的情况下，最大限度的控制空心玻璃微珠这类高价材料的加量。现场应用取得了成功。

5.1 减轻剂的选择除了空心玻璃微珠外，采用了大量的硅酸钠和纳米胶凝材料，这类材料不但能提高造浆率，也能缩短稠化时间，能够有效解决高水灰比的水泥浆中由于水泥含量少而导致的稠化时间偏长的问题。

5.2 提粘剂的使用，进一步提高了水泥浆的稳定性，并保证水泥浆有足够的粘度，对隔离液和钻井液驱替至关重要。经计算机模拟显示，从顶替速率大于0.8桶/分钟

就可以达到泥浆/隔离液/水泥领浆/水泥尾浆的流变梯度

5.3 微硅粉的使用不但能够提高水泥浆的粘度，增强了水泥抗压强度，更提升了水泥浆的防窜性能。

参考文献

- [1]C & C Reservoirs, 区块评价报告-Sirikit区块[C], 彭世洛盆地, 泰国, 2009: 1。
- [2]Erik B. Nelson, Dominique Guillot, 固井[M], 2006: 60。
- [3]符军放, 硅溶胶在固井水泥浆中的应用性能研究[J], 2013 (5): 80。
- [4]Audun Bjordal, K.L. Harris, S.A. Olausson, 硅溶胶水泥: 描述和在北海作业中的应用[J], SPE26725, 1993: 431。
- [5]R. C. Navarrete, 用于钻井、钻入、完井、隔离和连续油管流体的新型生物聚合物, 第二部分[J], SPE64982, 2001: 10。