

早强低密度水泥浆体系提高低压易漏井固井质量

周剑¹ 高德伟² 严海兵³

1. 中国石油西南油气田公司生产运行处 2. 中国石油西南油气田公司川西北气矿

3. 中国石油川庆钻探工程公司井下作业公司

周剑等. 早强低密度水泥浆体系提高低压易漏井固井质量. 天然气工业, 2012, 32(4): 72-74.

摘要 川西南部地区储层段地层压力系数低, 采用常规密度水泥浆固井作业时易产生漏失, 造成储层伤害, 降低油气井产能, 且固井质量难以保证, 影响后期井筒完整性。为此, 采用颗粒级配技术, 利用不同密度不同粒径微硅(2.16 g/cm³、 ϕ 0.1 μ m)、漂珠(0.7 g/cm³、 ϕ 45~ ϕ 300 μ m)等外掺剂与水泥进行复配, 研制了一套密度介于1.25~1.40 g/cm³的早强低密度漂珠水泥浆体系。该水泥浆体沉降稳定性良好, 上、下密度差小于0.03 g/cm³, 稠化时间可调, 稠化过渡时间最长15 min, 最短5 min, 失水小于50 mL, 48 h抗压强度大于10 MPa, 有效地保障了低压气井的平衡压力固井作业, 加入复合纤维的早强低密度漂珠水泥浆增加了水泥石的塑性, 从而提高了低压易漏失产层段的固井质量。

关键词 早强低密度水泥浆 漂珠 颗粒级配 低压 易漏 固井质量

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.04.018

以往使用减轻剂材料如膨润土、粉煤灰、矿渣等配置的低密度水泥浆体系, 存在配制工艺复杂, 稳定性不佳, 水泥石强度低、渗透率高, 易开裂(如膨润土、粉煤灰、矿渣体系)等缺陷, 不能满足深井低压易漏失层段固井作业的要求^[1-2]。通过调研和对比试验研究, 以颗粒级配技术作指导, 确定了早强低密度水泥浆的水泥和减轻材料、增强材料等外加剂, 设计多组干混材料并配制低密度水泥浆, 对水泥浆的流变性和水泥石的质量进行室内实验评价, 得出不同密度的干混料最佳配比, 较好地解决了低密度水泥浆配制和强度不合格两方面的难题^[3], 提高了低压易漏井的井筒完整性。

1 川西南部固井难点与技术对策

川西南部地区所钻井为典型的四开四完井身结构, 如图1所示, ϕ 127.0 mm尾管主要封固上二叠统须家河组须二段储层, 压力系数仅1.05, 属于低压裂缝性产层, 因而采用低密度漂珠水泥浆体系进行平衡压力固井。

ϕ 127 mm尾管固井具有如下难点: ①须二段、须一段及雷口坡组储层地层压力系数低, 且裂缝及孔隙发育, 注替过程中易诱发井漏; ②井壁不稳定, 施工过程中易发生井壁垮塌; ③井斜较大, 环空间隙小, 下套

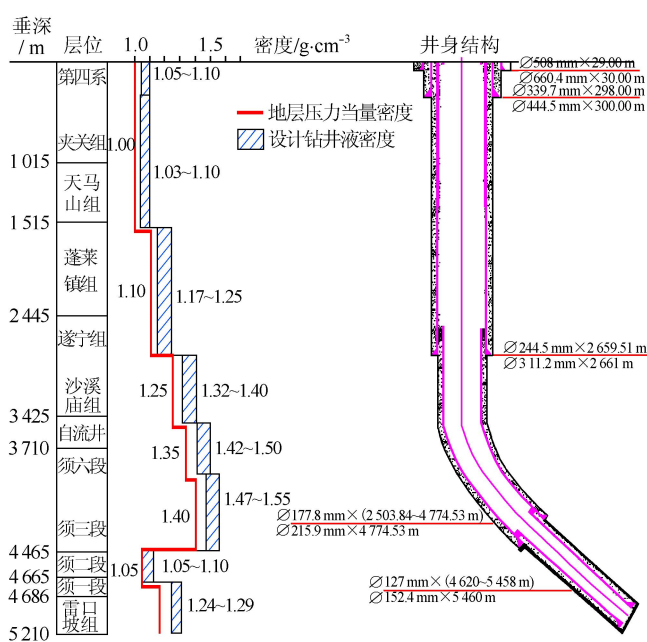


图1 川西南部典型井身结构图

管难度大, 套管不易居中, 且固井施工摩阻大, 泵压高; ④斜井固井, 井眼底边存在岩屑床, 且钻井液密度高, 黏切大, 顶替效率难以保证; ⑤钻具在套管中的摩阻高, 尾管重量轻, 尾管悬挂器座挂以及倒扣存在困难。

基金项目 :2009年中国石油西南油气田公司固井新技术现场试验项目(编号:20090304KS02-01)。

作者简介 :周剑, 1981年生, 工程师; 2003年毕业于原西南石油学院石油工程专业, 从事钻井技术现场管理工作。地址: (610051)四川省成都市府青路一段3号。电话: (028)86011708, 18208165618。E-mail: zhou.jian@petrochina.com.cn

在做好固井前钻井液性能调整、通井及套管扶正器安放等技术措施的基础上,重点加强隔离液和水泥浆性能来确保固井质量:①采用隔离液来防止水泥浆和钻井液污染,要求隔离液与钻井液密度一致或略高且沉降稳定性好,与水泥浆的相容性好,形成密度差的浆柱结构有利于提高顶替效率^[4];②按地层漏失压力来确定水泥浆密度,确保作用于储层的液柱压力能平衡地层压力;③水泥浆中加入复合纤维提高浆体的防漏能力、增加了水泥石的塑性,更好地保证低压易漏失产层段的固井质量。

2 早强低密度水泥浆体系室内研究

2.1 水泥浆体系设计思路

根据 Furnas 颗粒堆积最密实级配原理配制低密度高强度水泥浆,即:在第一级大颗粒堆积空隙中充填进比第一级大颗粒小得多的第二级粒子,第二级粒子

充填满第一级颗粒空隙后,总体积不变;依次继续填入更小的粒子,使总体积不变,从而使混合体堆积空隙率最小^[5-7]。

颗粒级配技术可以增加水泥石的密实度,对不同密度不同粒径微硅(2.16 g/cm^3 、 $\varnothing 0.1 \mu\text{m}$)、漂珠(0.7 g/cm^3 、 $\varnothing 45 \sim \varnothing 300 \mu\text{m}$)等外掺剂与水泥进行复配,配制成有利于现场施工的不同密度的干混料。

2.2 水泥浆配方优化与讨论

选定了各种干混料后,按照需要的密度和经验水灰比确定所需干混料的混合密度,查表或计算机计算所需干混料组分比例。分别配制了 1.20 、 1.35 、 1.42 g/cm^3 的 3 套低密度水泥浆,对其实验室性能进行了考察,3 套配方的性能见表 1。

1[#] 配方:嘉华 G 级水泥+漂珠+微细材料+250 g H_2O +降失水剂+分散剂+缓凝剂(根据温度调节)+消泡剂,密度 1.42 g/cm^3 。

表 1 低密度水泥浆实验性能表

配方	温度/°C	压力/MPa	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$			API 失水量/ mL	析水量/mL	缓凝剂加量	稠化时间/ min	48 h 抗压 强度/MPa
			上	中	下					
1 [#]	60	30	1.42	1.42	1.42	42	0	0.07%	268	15.0
	80	40	1.42	1.42	1.43	48	0	0.10%	289	15.6
	105	50	1.41	1.43	1.43	65	0	0.2% (缓凝剂 1) 1.5% (缓凝剂 2)	327	17.0
2 [#]	60	30	1.35	1.34	1.35	42	0	0.09	305	13.0
	80	40	1.34	1.35	1.35	52	0	0.12	310	14.0
	105	50	1.35	1.35	1.36	76	0	0.2% (缓凝剂 1) 1.5% (缓凝剂 2)	365	14.0
3 [#]	60	30	1.20	1.19	1.21	42	0	0.09%	240	12.0
	80	40	1.19	1.21	1.21	56	0	0.12%	320	13.1
	105	50	1.17	1.20	1.22	80	0	0.2% (缓凝剂 1) 1.5% (缓凝剂 2)	298	14.0

2[#] 配方:286 g 嘉华 G 级水泥+漂珠+微细材料+300 g H_2O +降失水剂+分散剂+缓凝剂(根据温度调节)+消泡剂,密度 1.35 g/cm^3 。

3[#] 配方:251.5 g 嘉华 G 级水泥+漂珠+微细材料+325 g H_2O +降失水剂+分散剂+缓凝剂(根据温度调节)+悬浮剂+消泡剂,密度 1.20 g/cm^3 。

3[#] 配方水泥浆体系在 90°C 下的典型稠化曲线(图 2)和 3[#] 水泥浆配方养护水泥石和相同密度水泥浆养护水泥石的对比图(图 3),从图 3 中可以明显观察到,普通低密度水泥浆的水泥石出现严重的分层,强度不合格;而该低密度高强度水泥浆的水泥石无明显的分层现象,均匀致密,强度更高。

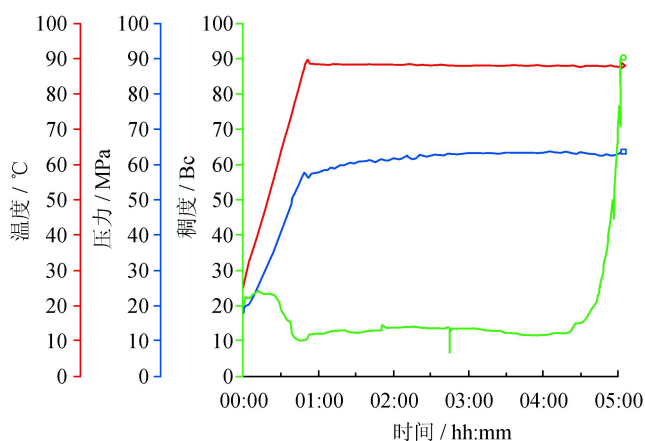


图 2 3[#] 配方典型稠化曲线图



图3 不同水泥浆养护水泥石对比图

实验结论:室内配制密度介于 $1.20 \sim 1.45 \text{ g/cm}^3$ 的低密度水泥浆体系,适用温度范围 $60 \sim 110 \text{ }^\circ\text{C}$,浆体稳定性好(上下密度差小于 0.03 g/cm^3),流变性能好,失水小,稠化时间可调,稠化过渡时间短,48 h 抗压强度大于 10 MPa ,且水泥石无明显的分层现象,均匀致密。

讨论:配制密度为 1.20 g/cm^3 的水泥浆时,浆体出现微沉的情况,在高温($3^\#$ 配方 $105 \text{ }^\circ\text{C}$)上下密度差达 0.05 g/cm^3 ,浆体稳定性不易控制。温度过高,稠化时间不易控制($3^\#$ 配方实验做到 $90 \text{ }^\circ\text{C}$)。这是由于漂珠粒径较大,空心程度较高,在拌浆或增压养护过程中更容易碎裂进而渗水,因此,自由水容易进入漂珠内部,进而影响低密度水泥浆的密度和稠度,根据实验结果,控制水泥和外掺料(漂珠、微硅)的质量才能保证低密度水泥浆的性能指标。

3 试验井固井质量分析

在川西南部地区 $3\ 500 \sim 5\ 400 \text{ m}$ 的井深范围内进行了 $\varnothing 127 \text{ mm}$ 尾管段应用早强低密度($1.30 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$)漂珠水泥浆体系固井应用,声波测井评价固井质量结果见表2。

表2 $\varnothing 127 \text{ mm}$ 尾管声波测井评价固井质量结果表

井号	井段/ m	温度/ $^\circ\text{C}$	稠化时间/ min	测井 合格率	测井 优质率
莲花 000-X5	4 340~4 540	101	403	80.9%	75.73%
莲花 2	4 695~5 370	120	382	92.5%	64.10%
灌口 003-2	4 790~5 356	112	409	99.6%	86.62%
平落 006-5	3 519~4 009	90	277	82.6%	58.37%
张家 001-1	3 695~4 120	85	347	93.6%	56.90%

从表2统计的声波检测结果明显看出,早强低密度漂珠水泥浆有效克服了本区井壁不稳定、井漏风险大的固井难题,试验井尾管固井合格率超过 80% ,优质率超过 55% 。

4 认识与建议

1)形成了一套针对川西南部地区低压易漏失产层尾管固井作业的早强低密度漂珠水泥浆体系,密度介于 $1.25 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$,浆体沉降稳定性良好,上下密度差小于 0.03 g/cm^3 ,稠化时间可调,48 h 抗压强度大于 10 MPa 。

2)早强低密度漂珠水泥浆可有效解决低压易漏井的尾管固井作业,防止固井作业发生井漏,现场共应用5井次,优质率超过 55% ,合格率超过 80% 。

3)低密度水泥配方复杂,干混料因密度差大在运输过程中,由于车辆颠簸,可能发生二次分层导致不均匀,尤其是密度低于 1.25 g/cm^3 的低密度干混料,更容易出现这种现象。因此,低密度水泥运输到井场后,在检查水泥质量与出库时不一致时,必须进行一次立式灰罐之间的倒混,更好地满足特殊施工要求。

4)室内配制拌浆或增压养护过程中漂珠碎裂渗水,进而影响低密度水泥浆的密度和稠度。因此,建议进一步对漂珠的质量进行控制和改进,更好地保障入井水泥浆质量,从而有效地提高固井质量。

参 考 文 献

- [1] 刘德平.漂珠低密度水泥固井技术研究[J].天然气工业,1997,17(3):14-17.
- [2] 郭小阳.提高注水泥质量的综合因素[J].西南石油学院学报,1998,20(3):55-59.
- [3] 李明,齐奉忠,靳建洲,等.适合煤层气井固井的低密度水泥浆体系[J].天然气工业,2011,31(7):63-66.
- [4] 马勇,刘伟,唐庚,等.川渝地区“三高”气田超深井固井隔离液应用实践[J].天然气工业,2010,30(6):77-79.
- [5] 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,2002,19(1):14-16.
- [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):17-20.
- [7] 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):23-26.