

The Study of the Technology of Expansion Elastic Self-Sealing Cement Slurry and Its Application

Guofang Zhang¹, Xiaoliang Wang^{2,3*}

¹Drilling Company of Sinopec Jiangnan Petroleum Engineering Company, Qianjiang Hubei

²Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas (Yangtze University), Wuhan Hubei

³Jiahua Technology Co. Ltd., Jingzhou Hubei

Email: *13972384660@163.com

Received: May 30th, 2017; accepted: Jun. 7th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

Fuling Jiaoshi Shale Gas Field was the first national shale gas demonstration area for commercial development. The geological structure of Fuling Shale Gas was special, where large volume fracturing completion technology was widely used; the integrity of the cement sheath was easy to be damaged in fracturing. The wellhead pressure problem not only affected the operation at the late stage, but also increased the risk of completion. Therefore, the key for improving the sealing performance of the whole cement sheath and preventing gas channeling was the key to solve the problem of the shale wellhead pressure. By analyzing the reasons of cement sheath sealing failure, the design principle and method of elastic expansion self sealing cement slurry system are put forward, the experimental evaluation and field application show that the expansion and elastic self sealing cement slurry was obvious effect of sealing in the gas wells.

Keywords

Shale Gas, Wellhead Pressure, Self Sealing, Expansion Elastic, Cement Slurry

*通信作者。

弹性膨胀自密封水泥浆技术研究与应用

张国仿¹, 王晓亮^{2,3*}

¹中石化江汉石油工程公司, 湖北 潜江

²非常规油气湖北省协同创新中心(长江大学), 湖北 武汉

³荆州嘉华科技有限公司, 湖北 荆州

作者简介: 张国仿(1962-), 男, 硕士, 高级工程师, 现主要从事钻井工程方面的研究和管理工作。

Email: 13972384660@163.com

收稿日期: 2017年5月30日; 录用日期: 2017年6月7日; 发布日期: 2017年8月15日

摘要

涪陵焦石页岩气田是我国第一个投入商业化开发的国家级页岩气示范区。涪陵页岩气井地质构造特殊, 普遍采用大型体积压裂技术完井, 水泥环的完整性极易在压裂施工中受到破坏。井口带压问题不仅影响着后期的施工作业, 也增大了完井风险。因此, 提高水泥环的整体密封性, 防止环空气窜是改善页岩气井井口带压问题的关键。笔者通过对水泥环密封失效的原因分析, 提出了膨胀弹性自密封水泥浆体系的设计原理和思路, 通过实验评价和现场应用发现, 膨胀弹性自密封水泥浆在气井中具有明显的封固和密封作用。

关键词

页岩气, 井口带压, 自密封, 膨胀弹性, 水泥浆

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

涪陵页岩气井压裂前各层套管固井质量均较好, 经过数次全井筒压裂(>100 MPa)后, 大部分井出现井口带压现象, 分析原因可能是固井 I、II 界面胶结面, 在经历数次井筒加压/放压过程后形成微环隙、微裂隙而造成密封性能失效; 对于储气库井, 需要经过反复的储气增压/放压过程[1], 同样会产生环空气窜通道问题。同时, 气井井口带压不仅不利于气井的开采同时也对井口安全造成威胁。因此, 提高水泥环的整体密封性, 防止环空气窜是页岩气井以及储气库井固井工程必须要解决的问题。膨胀弹性自密封水泥浆由于具有良好的封堵效果, 能够很好满足环空密封性能要求。

2. 气窜原理分析

2.1. 微裂隙的产生原因分析

水泥环的完整性遭到破坏, 水泥石基体出现裂缝, 形成气窜通道。水泥石本身为塑性材料[2], 当超过承压极限, 相应的屈服值降低, 水泥石就会破碎, 出现微裂缝, 形成气窜通道。

2.2. 微环隙的产生原因分析

水泥环受施工作业的影响,在水泥环内部产生微裂隙,在水泥浆与套管的胶结面上也形成了微环隙,这些微环隙为气体上窜形成了通道[3] [4]。

微环隙产生的原因主要包括 3 个方面:①水泥浆在形成水泥石的过程中体积收缩产生微环隙,形成气窜通道;②水泥石与套管、井壁胶结质量差,容易产生微环隙,形成气窜通道;③加压-放压过程套管产生一定的形变,本身为塑性材料的水泥环与套管形变不一致,胶结面产生微环隙,形成气窜通道。

3. 自密封水泥浆体系研究

3.1. 如何改善水泥环的密封性能

为了改善水泥环的密封性能,主要有 3 个途径:①提高水泥石径向周向形变能力(弹性)。在地层围压的环境下,水泥石可与套管同步形变不破裂[5],避免了微裂缝、微环隙的出现;②提高胶结质量,使胶结面不易产生微环隙;③提高自我封堵能力,不易形成连续的通道。

3.2. 膨胀弹性自密封水泥浆体系设计

3.2.1. 提高水泥石强度

物体的塑性和弹性是个矛盾关系,在基础值不变的情况下提高弹性就会损失部分塑性(抗压强度)。塑性剂 ZS-6 含增强剂,可提高水泥石的塑性;特殊纤维,该纤维表面经过特殊处理,亲和性强,分散性好,不易结团,提高了与水泥石的黏结力,可显著提高水泥石的韧性。

3.2.2. 改善水泥石的弹性

自密封材料 TX-2 是经过特殊工艺加工的弹性颗粒,均匀分散于水泥颗粒间,显著提高了水泥石的弹性,在遇到天然气或石油气体能够产生 10%~50%的体积膨胀,增加了水泥环径向周向形变能力。在原浆水泥石中加入 TX-2 后,水泥石力学性能如表 1 所示。水泥环在压裂时不易破碎,与套管同步形变,避免了微裂缝、微环隙。弹性封堵剂 TX-2 均匀分散于水泥石颗粒间,自密封材料封堵水泥环裂缝示意图如图 1 所示。正常水泥环中的弹性封堵剂 TX-2 是均匀分散于水泥石颗粒间(其平均粒径为 0.4 μm),一旦水泥环产生裂缝,有气体进入, TX-2 的体积会发生体积膨胀,7 d 体积膨胀率最高可达 300%。利用其体积膨胀性将裂隙封闭,起到封堵作用。

室内首先测试了加自密封材料前后原始岩心和加自密封材料前后预制裂纹岩心,这 4 种岩心的渗透率结果如表 2 所示;然后将预制裂纹后的水泥石岩心在甲烷气体介质中分别养护 2、4、6、8、10 h;最后测试预制裂纹的水泥石岩心在养护前后的渗透率,结果如表 3 所示。

Table 1. The mechanical data of set cement

表 1. 水泥石力学性能数据表

试样	抗压强度/MPa	抗折强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比/1
原浆水泥石	27.0	4.5	8.1	0.18
原浆 + 5% TX-2 水泥石	25.9	4.6	4.5	0.25

注:水泥石试样密度为 1.90 g/cm^3 ;实验条件为常温 \times 常压 \times 48 h。

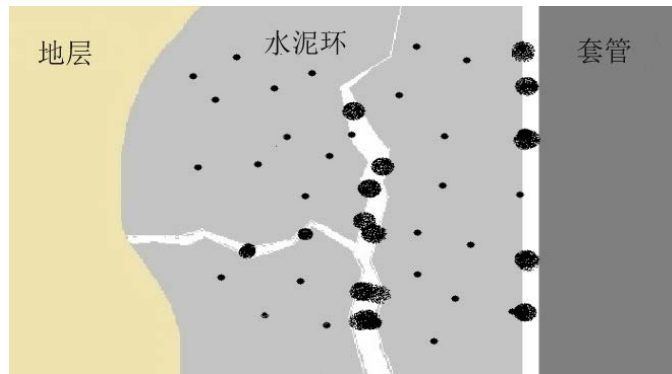


Figure 1. The sketch cement sheath fracture sealed with self-sealing material

图 1. 自密封材料封堵水泥环裂缝示意图

Table 2. The permeability of 4 kinds of rock cores

表 2. 4 种岩心渗透率

岩心	长度/cm	直径/cm	入口压力/MPa	出口压力/MPa	围压/MPa	气体流量/(mL·min ⁻¹)	渗透率/mD
加自密封材料原始岩心	4.62	2.47	0.7	0.1	3	49	0.51
加自密封材料预制裂纹岩心	4.62	2.47	0.4	0.1	3	72	1.73
未加自密封材料原始岩心	4.04	2.47	0.64	0.1	3	51	0.62
未加自密封材料预制裂纹岩心	4.04	2.47	0.38	0.1	3	62	1.84

Table 3. The permeability recovery performance of the set cement

表 3. 水泥石渗透率恢复性能

测试时间/h	未加自密封材料			加入自密封材料		
	养护前岩心渗透率/mD	养护后岩心渗透率/mD	渗透率恢复率/%	养护前岩心渗透率/mD	养护后岩心渗透率/mD	渗透率恢复率/%
0	1.84	1.84	0	1.73	1.73	0
2	1.84	1.83	0.82	1.73	1.61	9.84
4	1.84	1.83	0.82	1.73	1.49	19.67
6	1.84	1.80	3.28	1.73	1.11	50.82
8	1.84	1.77	5.74	1.73	0.88	69.67
10	1.84	1.76	6.56	1.73	0.70	84.43

可以看出，当水泥石中未加入自密封材料时，水泥石岩心渗透率几乎没有变化。在加入自密封材料的水泥石中，随着水泥石岩心在甲烷气体介质中养护时间的增加，岩心渗透率下降明显，渗透率恢复率升高。从第 4 h 开始，渗透率下降明显增大，说明岩心在甲烷气体养护过程中，从第 4 h 开始自密封材料被激活，10 h 内渗透率恢复率大于 70%，表现出良好的自密封性能，能有效防止气体在微裂缝间窜流。

3.2.3. 提高胶结质量

表面活性剂 BX86L 可使界面更亲水, 改善了胶结环境。膨胀剂 BOND 可使水泥石体积微膨胀, 产生径向预应力, 提高了胶结强度。

4. 膨胀弹性自密封水泥浆现场应用情况

4.1. 现场水泥浆配方及物理性能

配方: 嘉华 G 级水泥 + 45% 淡水 + 2% 表面活性剂 BX86L + 0.4% 缓凝剂 RET-M + 1% 分散剂 DISP-S + 2% 降失水剂 FLO-S + 1% 膨胀剂 BOND + 5% 自密封材料 TX-2 + 0.5% 消泡剂 DESIL + 3% 增塑剂 ZS-6 (密度为 1.90 g/cm^3 ; 配方中的百分数为质量分数)。

室内对膨胀弹性自密封水泥浆体系的性能进行了测试, 结果见表 4, 水泥浆具有良好的物理性能, 其强度、稳定性以及稠化时间均能满足现场作业需要。

Table 4. The basic physical property of cement slurry

表 4. 水泥浆基本物理性能

40℃初始稠度 /Bc	100Bc 稠化时间 /min	25℃流动度 /cm	游离液含量 /%	40℃沉降密度差 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	抗压强度 /MPa
10	192	21	0	0	14.1

4.2. 现场应用概况

在重庆焦页 67 井的表层套管固井施工中, 返挤时使用了膨胀弹性自密封水泥浆, 很好地封固上部的地层, 使浅层气无法上窜至井口, 解决了井口带压的问题。同时, 在该井的技术套管施工时, 同样返挤时将膨胀弹性自密封水泥浆最后打入环空, 抑制了气体的上窜, 固井后测试井口无带压。

5. 结论

1) 水泥环密封失效形成窜流通道主要是在水泥环内部或水泥环一、二界面上, 提高水泥石韧性、改善水泥环胶结性和自密封效果是解决环空带压问题的关键技术。

2) 自密封材料 TX-2 能够显著改善水泥环的韧性, 在甲烷气体中养护 4 h 后, 加入 TX-2 的水泥环的渗透率恢复程度显著, 在养护 10 h 后, 水泥石的渗透率最高恢复值可达 70%, 表现出优良的自密封效果。

3) 膨胀弹性自密封水泥浆体系应用于现场固井作业中, 施工顺利, 井口未有明显带压现象出现, 说明该水泥浆体系具有良好的推广应用价值和空间。

参考文献 (References)

- [1] Moroni, N., Bellabarba, M., Belleggia, E., *et al.* (2008) Preserving Stored Gas Reserves: Self Repairing Cement Sheath Protects Underground Gas Storage Investment. IPTC12682.
- [2] 李绍晨. 遇水膨胀水泥浆体系的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2013, 31(3): 67-69.
- [3] 齐静, 王云, 马疆, 等. 弹性膨胀水泥浆在储气库固井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2013, 31(4): 52-55.
- [4] 王野, 杨振杰, 赵秋羽, 等. 氮气膨胀水泥浆防窜固井技术的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2007, 25(2): 73-76.
- [5] Thomas, J., Musso, S., Catheline, S., *et al.* (2014) Expanding Cement For Improved Wellbore Sealing: Prestress Development, Physical Properties, And Logging Response. SPE170306.

[编辑] 帅群

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org