

文章编号:1673-5005(2012)01-0158-04

# 纤维水泥浆体系防漏性能评价及作用机制

华苏东, 姚 晓, 诸华军, 张 亮

(南京工业大学材料科学与工程学院, 江苏南京 210009)

**摘要:**在固井过程中遇到孔洞型或裂缝型漏失地层时,水泥浆会漏失低返,造成环空流速下降,降低顶替效率、影响胶结质量和油气井产能。运用自制设备评价多种防漏水泥浆体系的性能,并分析 S90 水泥浆体系防漏机制。结果表明:S90 纤维水泥浆体系模拟堵塞 3 mm 孔板和缝板,5 MPa 可承压 10 min;在 S90 纤维水泥浆体系中加入特种黏结剂 KE50 后,模拟堵塞 4 mm 孔板和缝板,7 MPa 可承压 10 min;在水泥浆漏失过程中,S90 体系中长纤维、短纤维和特种黏结剂形成致密的、牢固的纤维网格,减慢和阻止水泥浆体通过,在裂缝周围形成致密的滤饼后防漏效果显著;净浆、胶乳水泥浆和低密度水泥浆无防漏作用。

**关键词:**固井; 油井水泥; 纤维; 水泥浆漏失; 防漏性能

**中图分类号:** TU 473.1 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2012.01.028

## Anti-lost-circulation performance evaluation and function mechanism of fiber slurry system

HUA Su-dong, YAO Xiao, ZHU Hua-jun, ZHANG Liang

(College of Materials Science and Engineering in Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** The lost circulation of slurry appears frequently when the vuggy formation and crack formation are encountered during cementing. Lost circulation of slurry will decrease the annular velocity, the displacement efficiency, performance of interface bonding and oil well productivity. The performances of several kinds of anti-lost-circulation slurry systems were evaluated by self-made equipment, and the anti-lost-circulation mechanisms of S90 slurry were analyzed. The results show that the S90 fiber slurry system could plug 3 mm hole and crack plate, and it can bear the pressure of 5 MPa for 10 minutes. The S90 slurry system added special bonding element KE50 could plug 4 mm hole and crack plate, and it can bear the pressure of 7 MPa for 10 minutes. During the process of lost circulation of slurry, the long fibers, short fibers and cement could form tight and fast fiber net, which can slow and prevent slurry passing. A tight filter cake is formed around fractures, so the anti-lost-circulation effect is good. While the clean slurry, latex slurry and low-density slurry have no anti-lost-circulation effect.

**Key words:** cementing; oil-well cement; fiber; slurry lost circulation; anti-lost-circulation performance

漏失是指在钻井、完井和修井施工中全部或部分钻井液、完井液或水泥浆进入地层。根据地层特征,漏失可分为渗透型漏失、孔洞型漏失、裂缝型漏失和裂缝-孔隙型漏失<sup>[1-4]</sup>。固井水泥浆发生漏失,不能按照设计要求封隔地层,造成环空流速下降,影响顶替效率和胶结质量,致使地下流体层间互窜。另外,水泥浆漏失到产层,对油气层产生污染,影响油气产能,并导致油气井失控<sup>[5-8]</sup>。根据纤维搭桥作用机制,S90 复合纤维体系中的纤维可以搭桥阻止水泥浆的漏失。笔者对普通降失水仪进行改

造,并对 S90 水泥浆体系防漏机制<sup>[9-12]</sup>进行分析。

## 1 试验原料与仪器

原料包括:G 级油井水泥(江南水泥厂);KH500 纤维分散剂(四川);KE200 降滤失剂(南京);JR 丁苯胶乳(市售);S90 复合纤维体系(自制);KE50 特种黏结剂(自制);漂珠 PZ(市售)。S90 复合纤维体系中,长度 0~1 mm、1~2 mm 和大于 2 mm 的纤维含量分别为 60%~70%、10%~20%、0~10%,其中特种化纤占 10%~20%,特种矿纤占 80%~90%。

收稿日期:2011-09-03

基金项目:国家“863”高新技术计划项目(2003AA327120);江苏省企业博士基金项目(SBK200930213)

作者简介:华苏东(1981-),男(汉族),江苏淮安人,副教授,博士,研究方向为油井水泥固井外加剂。

仪器包括:自制模拟防漏试验装置,1 mm 孔板(60 个孔)和缝板(20 mm×1 mm)、2 mm 孔板(40 个孔)和缝板(20 mm×2 mm)、3 mm 孔板(20 个孔)和缝板(20 mm×1 mm)、4 mm 孔板(10 个孔)和缝板(20 mm×2 mm)。其中 3 mm 缝板和孔板见图 1。

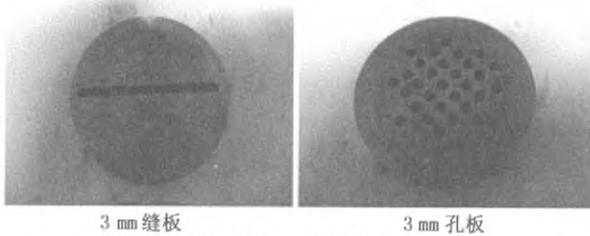


图 1 3 mm 孔板和缝板

Fig.1 3 mm hole and crack plate

## 2 试验方法

(1)制浆。方法 1:根据 API 规范<sup>[13]</sup>制浆,水灰比为 0.44,外加剂采取外掺法;方法 2:手动搅拌 5 min,水灰比为 0.44,外加剂采取外掺法。

(2)防漏性能测试。在 80 ℃、0.1 MPa 的条件下,将配置好的 500 mL(920 g)水泥浆在稠化仪中搅拌 20 min 后装入圆筒中;接上氮气源,以 0.5 MPa/min 的速度加压,压力升到 7 MPa 后憋压 10 min,卸压并拆除装置;测量流出液体和浆筒中水泥柱的质量。

## 3 结果分析

对净浆(J)、胶乳水泥浆(JR)和不同纤维水泥浆进行防漏性能评价,滤液质量和保存在浆筒中水泥柱质量用来评价材料的防漏效果,滤液质量小且浆筒中水泥柱质量高,则防漏效果好。由于复配纤维中高弹模纤维很容易被瓦楞搅拌机高速旋转(2 000 r/min)的浆叶打断,使得复配纤维中长纤维的数量减少,而在实际固井时采用高压喷射混合水泥浆,不会因打断纤维而影响长纤维的数量,故试验分别对机搅和手搅水泥浆进行防漏性能评价。不同水泥浆体系模拟堵塞孔板和缝板试验结果见表 1。

表 1 不同水泥浆体系模拟堵塞孔洞和缝板试验结果

Table 1 Test results of different slurries simulation plugging hole plate and crack plate

模拟堵塞类型	序号	配方	制备方法	漏失情况	滤液质量 $m_L/g$	水泥柱质量 $m_C/g$
1 mm 孔板	1	J+1.2% KE200	机搅	漏完	920	0
	2	15% JR+0.1% KH500	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	3	15% PZ+0.2% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	4	2% S90+0.4% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 7 MPa 承压 10 min	920 520	0 400
	5	2% S90+0.6% KH500+1.2% KE200+0.5% KE50	机搅 手搅	4 MPa 承压 10 min 7 MPa 承压 10 min	570 265	350 655
1 mm 缝板	1	J+1.2% KE200	机搅	漏完	920	0
	2	15% JR+0.1% KH500	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	3	15% PZ+0.2% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	4	2% S90+0.4% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	4 MPa 承压 10 min 7 MPa 承压 10 min	795 517	125 403
	5	2% S90+0.6% KH500+1.2% KE200+0.5% KE50	机搅 手搅	4 MPa 承压 10 min 7 MPa 承压 10 min	610 308	310 612
4 mm 孔板	1	J+1.2% KE200	机搅	漏完	920	0
	2	15% JR+0.1% KH500	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	3	15% PZ+0.2% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	4	2% S90+0.4% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 3 MPa 承压 10 min	920 685	0 235
	5	2% S90+0.6% KH500+1.2% KE200+0.5% KE50	机搅 手搅	4 MPa 承压 10 min 7 MPa 承压 10 min	750 494	170 426

续表 1

模拟堵塞类型	序号	配方	制备方法	漏失情况	滤液质量 $m_L/g$	水泥柱质量 $m_C/g$
4 mm 缝板	1	J+1.2% KE200	机搅	漏完	920	0
	2	15% JR+0.1% KH500	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	3	15% PZ+0.2% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 漏完	920 920	0 0
	4	2% S90+0.4% KH500+1.2% KE200	机搅 手搅	漏完 2.5 MPa 承压 10 min	920 741	0 179
	5	2% S90+0.6% KH500+1.2% KE200+0.5% KE50	机搅 手搅	4 MPa 承压 10 min 7 MPa 承压 10 min	810 625	110 295

由表 1 可知,净浆、胶乳水泥浆和低密度水泥浆在一定的层压下无防漏作用,使用 1 mm 的孔板和缝板进行模拟试验时,水泥浆全部漏失。相同的纤维水泥浆体系,采用两种制备方法(机搅和手搅),模拟堵塞相同尺寸的孔板和缝板,手搅制备水泥浆的防漏性能明显优于机搅制备水泥浆的防漏性能。S90 水泥浆体系具有优异的防漏性能,在相同的配浆条件下,使用相同尺寸的孔板和缝板进行模拟试验时,其滤液质量较小,保留在浆筒内的水泥柱质量较大。用 S90 水泥浆体系(配方 3)模拟堵塞 3 mm 孔板和缝板时,5 MPa 下可承压 10 min,滤液质量分别为 552 和 584 g,保留在浆筒内的水泥柱质量分别为 368 和 336 g;模拟堵塞 4 mm 孔板和缝板时,2.5 MPa 下可承压 10 min。在 S90 水泥浆体系中加入特种黏结剂 KE50(配方 4),模拟堵塞 4 mm 孔板和缝板时,7 MPa 下可承压 10 min,滤液质量分别为 494 和 625 g,保留在浆筒内的水泥柱质量分别为 426 和 295 g,防漏效果优异。

### 4 S90 水泥浆体系防漏机制

随着压力不断增加,纤维水泥浆不断从孔洞或者裂缝流出,在流动过程中,长纤维难以通过孔洞或裂缝,不断在孔洞或裂缝处聚集且乱向分布,形成纤维网(见图 2)。短纤维填充纤维网格,无机长纤维

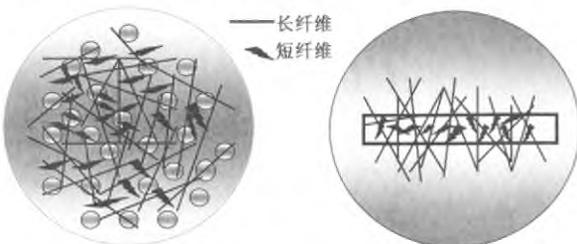
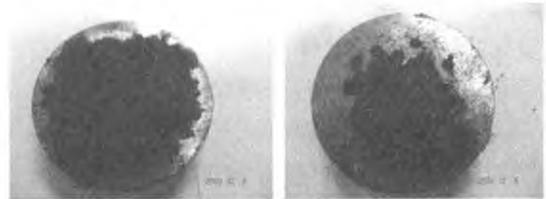


图 2 纤维堵塞孔洞和裂缝示意图

Fig. 2 Sketch map of fiber plugging the hole and crack 吸附水泥颗粒,特种黏结剂 KE50 提高了纤维之间、纤维与水泥颗粒之间的黏接性能,纤维网格变得更

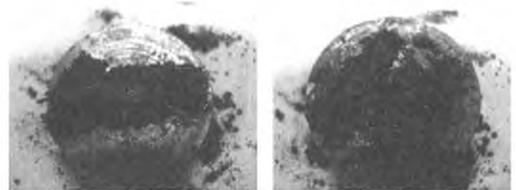
致密和牢固,减慢了水泥浆体通过速率,阻止水泥颗粒通过纤维网格。随着部分滤液不断流失和水泥浆体的水化,纤维水泥浆稠度增加,在孔洞和裂缝周围形成致密的滤饼后(图 3、4),堵漏成功。



(a) 正面(与水泥浆接触面) (b) 反面(与漏水口接触面)

图 3 模拟堵塞 3 mm 孔板

Fig. 3 Simulation plugging 3 mm hole plate



(a) 正面(与水泥浆接触面) (b) 反面(与漏水口接触面)

图 4 模拟堵塞 3 mm 缝板

Fig. 4 Simulation plugging 3 mm crack plate

### 5 结 论

(1)净浆、胶乳水泥浆和低密度水泥浆无防漏作用,使用 1 mm 的孔板和缝板进行模拟试验时水泥浆全部漏失。相同的纤维水泥浆体系,采用两种制备方法(机搅和手搅)模拟堵塞相同尺寸的孔板和缝板,手搅制备的水泥浆的防漏性能明显优于机搅水泥浆。

(2)S90 水泥浆体系模拟堵塞 3 mm 孔板和缝板时,5 MPa 可承压 10 min,滤液质量分别为 552 和 584 g,保留在浆筒内的水泥柱质量分别为 368 和 336 g。在 S90 水泥浆体系中加入特种黏结剂 KE50,模拟堵塞 4 mm 孔板和缝板,7 MPa 可承压 10 min,滤液质量分别为 494 和 625 g,保留在浆筒内

的水泥柱质量分别为426和295 g,防漏效果优异。

(3)短纤维填充纤维网格,无机长纤维吸附水泥颗粒,特种黏结剂KE50提高了纤维之间、纤维与水泥颗粒之间的黏接性能,纤维网格变得更致密和牢固,减慢了水泥浆体通过速率,阻止水泥颗粒通过纤维网格。随着部分滤液不断流失和水泥浆体的水化,纤维水泥浆稠度增加,在孔洞和裂缝周围形成致密的滤饼后,堵漏成功。

#### 参考文献:

- [1] NICK Low, GERARD Daccord, JEAN-PHILIPPE Bedel. Designing fibered cement slurries for lost circulation applications: case histories[R]. SPE 84617, 2003.
- [2] MCELFFRESH, PAUL M, GO Boncan, et al. Applications of foam cement[R]. SPE 11203-MS, 1982.
- [3] HARMS W M, FEBUS J S. Cementing of fragile-formation wells with foamed cement slurries[J]. Journal of Petroleum Technology, 1985(7):1049-1057.
- [4] ROMERO S N, MONROY R R, JOHNSON C, et al. Preventing lost circulation by use of lightweight slurries with reticular systems: depleted reservoirs in Southern Mexico[J]. SPE Drilling & Completion, 21(3):185-192.
- [5] 姚晓, 吴叶成, 樊松林, 等. F27A 油井水泥防漏增韧剂的研究及应用[J]. 天然气工业, 2004(6):66-69.  
YAO Xiao, WU Ye-cheng, FAN Song-lin, et al. Study and application of F27A anti-loss circulation and toughness reinforce agent for cementing[J]. Natural Gas Industry, 2004(6):66-69.
- [6] DAVID J Mack, DANIEL Kendrick. Low density, lost circulation control slurry utilizing a unique LCM allows successful, single-stage cementing of extremely long production intervals in the appalachian basin[R]. SPE 84838-MS, 2003.
- [7] DON Hall. Bridging effectiveness of perlite for light weight cements and lost circulation[R]. SPE 141-G, 1951.
- [8] MESSENGER J U, MCNIEL J S. Lost circulation corrective: time-setting clay cement[J]. Society of Petroleum Engineers, 1952,152(2):59-64.
- [9] FREDDY Mata, MANUEL Veiga. Crosslinked cements solve lost circulation problems[R]. SPE 90496-MS, 2004.
- [10] LECOLIER E, HERZHAFT B, ROUSSEAU L, et al. Development of a nanocomposite gel for lost circulation treatment[R]. SPE 94686-MS, 2005.
- [11] FIDAN E, BABADAGI T, KURU E. Use of cement as lost circulation material-field case studies[R]. SPE 88005, 2004.
- [12] HASSAN I Ei Hassan, RAAFAT Abbas, HAITHAM Jarouj. Using a novel fiber cement system to control lost circulation: case histories from the Middle East and the Far East[R]. SPE 85324, 2003.
- [13] API. API recommended practice 10B specification for materials and testing for well cements[S]. Washington DC: IHS, 1997.
- [14] RAMACHANDRAN S, TSAI B L, BLANCO M, et al. Self-assembled monolayer mechanism for corrosion inhibition of iron by imidazolines [J]. Langmuir, 1996,12(26):6419-6428.
- [15] SUN H. Compass: an ab initio force-field optimized for condensed-phase applications overview with details on alkane and benzene compounds [J]. Phys Chem B, 1998,102(38):7338.
- [16] HEERMANN D W. Computer simulation methods in the theoretical physics [M]. Beijing: Peking University Press, 1996.
- [17] ANDERSEN H C. Molecular dynamics simulations at constant pressure and/or temperature [J]. Chem Phys, 1980,72(4):2384-2393.
- [18] 吴兴惠, 项金钟. 现代材料计算与设计教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [19] LEACH A P. Molecular modeling: principles and application [M]. England: Person Education Limited, 2001.
- [20] KORNHERR A, TORTSCHANOFF A, ERWIN P C. Modelling of aqueous solvation of eosin Y at the rutile TiO<sub>2</sub>(110)/water interface [J]. Chem Phys Lett, 2006,430(4/6):375-379.
- [21] 胡松青, 胡建春, 高元军, 等. 月桂基咪唑啉对 Q235 钢的缓蚀吸附作用[J]. 化工学报, 2011, 62(1):147-155.  
HU Song-qing, HU Jian-chun, GAO Yuan-jun, et al. Corrosion inhibition and adsorption of lauryl-imidazolines for Q235 steel [J]. CIESC Journal, 2011, 62(1):147-155.

(编辑 刘为清)

(上接第157页)

- [18] 吴兴惠, 项金钟. 现代材料计算与设计教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [19] LEACH A P. Molecular modeling: principles and application [M]. England: Person Education Limited, 2001.
- [20] KORNHERR A, TORTSCHANOFF A, ERWIN P C. Modelling of aqueous solvation of eosin Y at the rutile TiO<sub>2</sub>(110)/water interface [J]. Chem Phys Lett, 2006,430(4/6):375-379.
- [21] 胡松青, 胡建春, 高元军, 等. 月桂基咪唑啉对 Q235 钢的缓蚀吸附作用[J]. 化工学报, 2011, 62(1):147-155.  
HU Song-qing, HU Jian-chun, GAO Yuan-jun, et al. Corrosion inhibition and adsorption of lauryl-imidazolines for Q235 steel [J]. CIESC Journal, 2011, 62(1):147-155.

(编辑 刘为清)