

无氯低温早强剂及其在浅层水平井固井中的应用

于小龙¹, 王涛¹, 刘云², 李伟峰²

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075; 2. 延长油田股份有限公司勘探开发技术研究中心, 陕西 延安 716000)

摘要:基于水平井在低渗油藏开发方面的巨大优势,采用水平井已成为开发延长油田东部浅层油藏稳产增产的一项重要技术。由于该区域水平井具有井内温度低、垂深浅、后期压裂易产生水平缝等特点,要求水泥环有高的强度和密封性。通过室内试验筛选出一种新型的无氯复合型早强剂 M59S,与水泥中的铁离子、铝离子形成促凝早强的复合络合物,可大幅缩短低温下水泥水化时间,提高水泥石早期强度,辅之以其他外加剂形成了一套低温早强水泥浆体系。经室内性能评价,该体系稠化过渡时间短,浆体稳定性好,析水为0,失水量 < 40 mL/30 min,流变性能良好,20 °C 常压养护水泥石 48 h 抗压强度 > 20 MPa,能够满足低温浅层水平井固井的施工及技术要求。该低温早强水泥浆体系在延长东部浅层水平井中应用,固井效果良好。

关键词:低温;早强剂;水泥浆;浅层水平井;固井

中图分类号: TE256 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428(2016)04 - 0055 - 04

Chloride-free and Low Temperature Early Strength Agent and the Application in Cementing of Shallow Horizontal Well/YU Xiao-long¹, WANG Tao¹, LIU Yun², LI Wei-feng² (1. Research Institute of Yanchang Petroleum(Group) Co. Ltd., Xi'an Shaanxi 710075, China; 2. Oil Exploration and Development Technology Research Center of Yanchang Petroleum Group, Yan'an Shaanxi 716000, China)

Abstract: Based on the great advantages in low permeability reservoir development, horizontal well has been an important part of the development of shallow reservoir in Yanchang oilfield. For the characteristics of low temperature, shallow vertical depth and the horizontal seams creating in post fracture in this region, high strength and good sealing are required for the cement sheath. Through laboratory tests, a new type of chlorine-free composite M59S was selected, which was put with iron ion and aluminum ion in cement to form an early strength complex to greatly shorten the cement hydration time at low temperatures and improve the early strength of cement stone. A set of low temperature early strength slurry system is formed assisting by other additives. By the laboratory performance evaluation, this slurry system has a short thickening transition time, good stability and rheological characteristic, zero water precipitation and water loss less than 40mL. The compressive strength of cement stone reached more than 20MPa with ordinary pressure curing in the condition of 20°C for 48h. The construction requirements of low temperature horizontal well cementation were satisfied. This low temperature early strength slurry system has good cementing effects in its application for shallow horizontal wells in the eastern part of Yanchang oilfield.

Key words: low temperature; early strength agent; slurry; shallow horizontal well; well cementation

鄂尔多斯盆地延长油田东部储层埋深浅、物性差、自然产能低,为较难动用的致密砂岩油藏。采用常规直井压裂效果差,往往达不到经济有效地开发要求^[1-2]。基于水平井在低渗油藏开发方面的巨大优势,成为开发延长东部浅层油藏稳产、增产的一项重要技术^[3]。由于地层温度较低,油井水泥浆水化速度慢、早期强度低、候凝时间长,增加了建井周期,提高了建井成本,同时还易造成环空窜流,影响固井质量和作业安全^[4-6]。同时该区域垂深较浅,后期

压裂产生水平缝^[7],固井的水泥与传统的、适用于浅层固井的水泥浆主要以缩短候凝时间进行设计相比,其特殊性在于:要求水泥浆具有极好的稳定性,防止滤液污染储层,形成高边水带,成为油气水窜的通道;要求水泥浆早期强度发展快、后期强度高,且水泥环密封性好。为此,针对低温早强水泥浆体系开展研究,并将其应用于延长东部浅层大位移水平井的固井工程中,成为一个突出的重要技术难题。

收稿日期:2015-09-24; 修回日期:2015-12-28

基金项目:延长油田公司项目“延长东部浅层油藏水平井开发技术研究与应用——固井技术”(编号:ycsy2014xjs-B-2-9)

作者简介:于小龙,男,汉族,1977年生,高级工程师,硕士,从事钻完井工艺技术的研 究及管理工作,陕西省西安市科技二路75号,595385177@qq.com。

通讯作者:王涛,男,汉族,1986年生,工程师,硕士,从事水泥浆体系及固井工艺研究,陕西省西安市科技二路75号,wt861104@126.com。

1 新型低温早强剂

在低温情况($<30\text{ }^{\circ}\text{C}$)下,常用固井水泥的主要熟料矿物硅酸三钙(C_3S)、铝酸三钙(C_3A)及硅酸二钙(C_2S)水化速率受到很大的抑制,显著地影响了水泥浆的凝结与结石体抗压强度的发展^[8-9]。从图1可以看出,随着温度降低水泥石抗压强度下降趋势明显。因此有必要向油井水泥中添加早强剂来提高水泥石的抗压强度,减少非生产时间,节约建井费用。

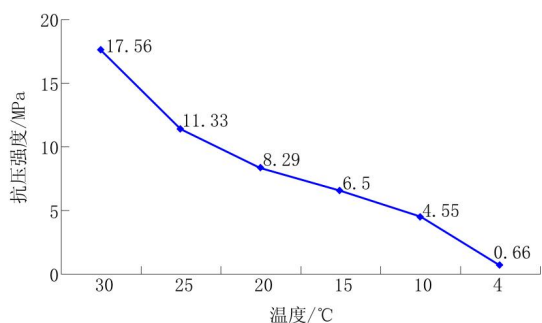


图1 嘉华G级水泥在不同温度下24h抗压强度变化情况

氯化钙是最常用、最经济有效的促凝早强剂,但在促进油井水泥早期凝结的同时,还存在以下缺点:(1)在水泥浆混拌的最初几个小时内放热速率大,使套管的温度升高而膨胀,水泥凝固后造成套管和水泥环脱离,导致“热微环隙”和层间窜流^[10];(2)水泥石的最终渗透率增大,导致其抗硫酸盐侵蚀能力下降^[11];(3)水泥石中氯离子浓度增大,导致氯离子和套管间产生较大的电极电位,对套管产生一定的腐蚀作用^[12];(4)低温下,当用量大时,低温下可使水泥浆的动切力值增大,水化放热后塑性粘度增大,导致水泥浆有较大的触变性,甚至出现“闪凝”现象。为此,在室内优选出了一种复合型早强剂M59S。

1.1 M59S早强剂机理分析

复合型早强剂M59S由多种无机和有机化合物按一定的比例复合而成。M59S加入水泥浆后,可改变液相中的离子分布,并与水泥中的铁离子、铝离子形成复合络合物。络合物成为硅酸盐的水化、结晶的晶核;同时M59S中的无机化合物与油井水泥中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应后,使整个液相中的 Ca^{2+} 浓度下降而 SiO_3^{2-} 浓度相应增加,致使包覆膜破裂,从而加速 C_3S 矿物的早期水化速度。随着 C_3S 水化速度的加快,在C-S-H凝胶显著增多的

同时,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等晶体的数量也迅速增加,有利于水泥石早期强度的发展。同时早强剂M59S中的有机化合物也能加速 C_3A 矿物的水化速度,并且改善水泥石的内部结构,使之更加密实,降低水泥石的渗透率。

1.2 M59S对强度的影响

复合早强剂M59S,不含氯离子,避免了对套管的腐蚀。图2是不同加量低温早强剂 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下水泥石的抗压强度变化情况。由图2可以看出,复合早强剂M59S的加入可大幅提高水泥石的抗压强度。当M59S加量为1.5%时,水泥石24h抗压强度提高了195.23%,48h抗压强度则为186.29%,8h早期抗压强度的增强率更是达到了13倍,可见M59S对油井水泥早期强度的增强效果是非常显著的。

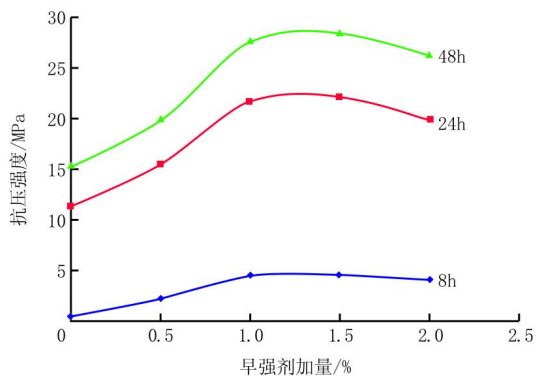


图2 M59S加量与水泥石强度的变化关系

1.3 M59S对稠化时间的影响

表1是 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、5 MPa下M59S对水泥浆稠化性能的影响。从表1可以看出,M59S的加入能大大缩短水泥浆的稠化时间,40~100 Bc稠化过渡时间也明显缩短,有利于防止气窜的发生。M59S加量在1.0%~1.5%之间时,对初始稠度基本无影响,加量增至2.0%时,浆体明显增稠,对初始稠度有明显影响。

表1 不同M59S加量下水泥浆稠化性能变化

| 早强剂加量/ % | 初始稠度/ Bc | 40 Bc稠化时间/ min | 100 Bc稠化时间/ min |
|-------------|-------------|-------------------|--------------------|
| 0 | 12.0 | 405 | 480 |
| 1.0 | 13.0 | 239 | 272 |
| 1.5 | 14.0 | 194 | 227 |
| 2.0 | 20.5 | 175 | 203 |

2 低温早强水泥浆体系性能评价

在G级水泥中加入丙酮甲醛类分散剂USZ和聚乙烯醇类降失水剂M83S分散剂、降失水剂、低温

早强剂,形成低温早强水泥浆体系,按照标准及现场要求对其进行室内加量优化,得出最优配方为:嘉华G+1.5% M59S+0.8%分散剂+1.0%降失水剂+0.2%消泡剂+44%水。

2.1 游离液和滤失量

低温早强水泥浆体系的滤失量和45°角的游离液进行测试,结果见表2。由表2可以看出,低温早强水泥浆体系的滤失量<40 mL/30 min,可有效防止水泥浆滤液漏失造成储层污染引发储层吸水反应;45°角的游离液为0,说明该水泥浆体系在水平井水平段具有优异的稳定性,可防止形成高边水带所引发的环空气窜。

表2 低温早强水泥浆体系的游离液和滤失量

| 温度/℃ | 滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹] | 45°倾斜下的游离液/mL |
|------|----------------------------------|---------------|
| 20 | 26 | 0 |
| 25 | 30 | 0 |
| 30 | 36 | 0 |

2.2 稠化性能

对低温早强水泥浆体系进行稠化性能评价,在25℃、10 MPa条件下的稠化曲线见图3。从图3可以看出,该水泥浆的初始稠度为20 Bc,稠化时间为141 min,稠化曲线线形正常,没有发生“鼓包”、“闪凝”等现象,40~100 Bc稠化过渡时间仅为15 min,近似“直角稠化”,对水泥浆的防气窜是极其有利的。

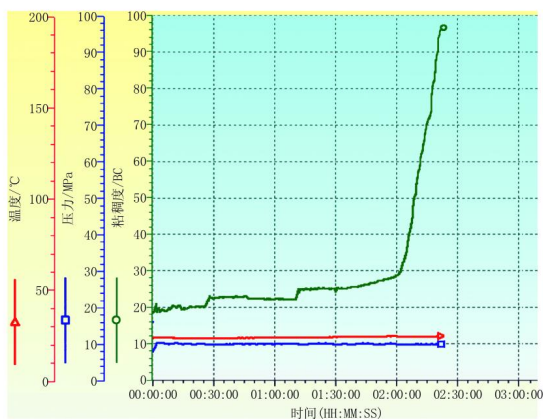


图3 低温早强水泥浆稠化曲线

2.3 水泥石强度

图4为常压养护不同温度下水泥石的抗压强度变化情况。从图4中可看出,在30℃养护条件下,水泥石的48 h抗压强度可达到31 MPa以上;在10℃养护条件下,水泥石的48 h抗压强度可达到14

MPa以上。试验证明,低温早强水泥浆具有优异的低温早强性能,可以满足固井后期射孔、压裂等工艺需要。

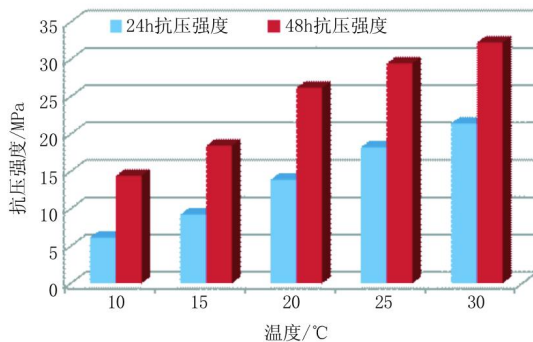


图4 不同温度下水泥石抗压强度变化情况

2.4 水泥浆流变性能

对低温早强水泥浆体系的流变性能进行了测试,结果见表3。由表3中可知,M59S的加入对水泥浆流变性能有一定的影响。随着M59S加量的增大,稠度系数逐渐增大,水泥浆浆体越稠,但水泥浆流性指数>0.5,流动度>20 cm,水泥浆仍保持良好的流动性能,可以满足泵送要求。

表3 低温早强水泥浆体系的流变性能

| 水泥浆配方 | Φ_{600} | Φ_{300} | Φ_{200} | Φ_{100} | Φ_6 | Φ_3 | 流性指数 | 稠度系数/(Pa·S ⁿ) | 流动度/cm |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|------|---------------------------|--------|
| 基浆+1.0% M59S | 152 | 83 | 59 | 33 | 9 | 7 | 0.84 | 0.23 | 24.8 |
| 基浆+1.5% M59S | 171 | 94 | 73 | 47 | 20 | 12 | 0.63 | 0.94 | 22.5 |
| 基浆+2.0% M59S | 194 | 112 | 88 | 64 | 29 | 20 | 0.51 | 2.39 | 20.7 |

3 现场应用

鄂尔多斯盆地东部延长组油藏埋深浅、温度低、油层变化快,延长油田采用水平井分段压裂对其进行开发,先后采用低温早强水泥浆进行了多口水平井的固井施工,水平段固井质量优良,为压裂施工提供了良好的水泥环密封条件,以下以2个实例进行说明。

3.1 七平1井

七平1井是延长油田首口浅层大位移水平井,完钻井深1366 m,垂深499 m,水平位移1003 m,水平段长723 m,位垂比达到2.01,储层温度25℃。使用低温早强水泥浆体系一次性上返至井口,固井质量良好。该井分段压裂施工各段压力平稳均匀,压后产液50 m³/d,最高日产油27 m³/d,证明水平段优质的水泥环为分段压裂裂缝的延伸和扩展提供

了良好的隔层和密封环境。

3.2 2198平1井

2198平1井位于延长县黑家堡张家巷北山,属鄂尔多斯盆地伊陕斜坡构造,完钻井深1132 m,垂深502.3 m,考虑防漏及防窜的需要,对该井采用低

温早强水泥浆两凝体系一次上返,领浆密度: $1.70 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$,尾浆密度: $1.85 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$,施工连续正常,水泥返至地面,电测结果见图5,声幅值普遍低于5%,一二界面均为优质胶结,固井质量为优。

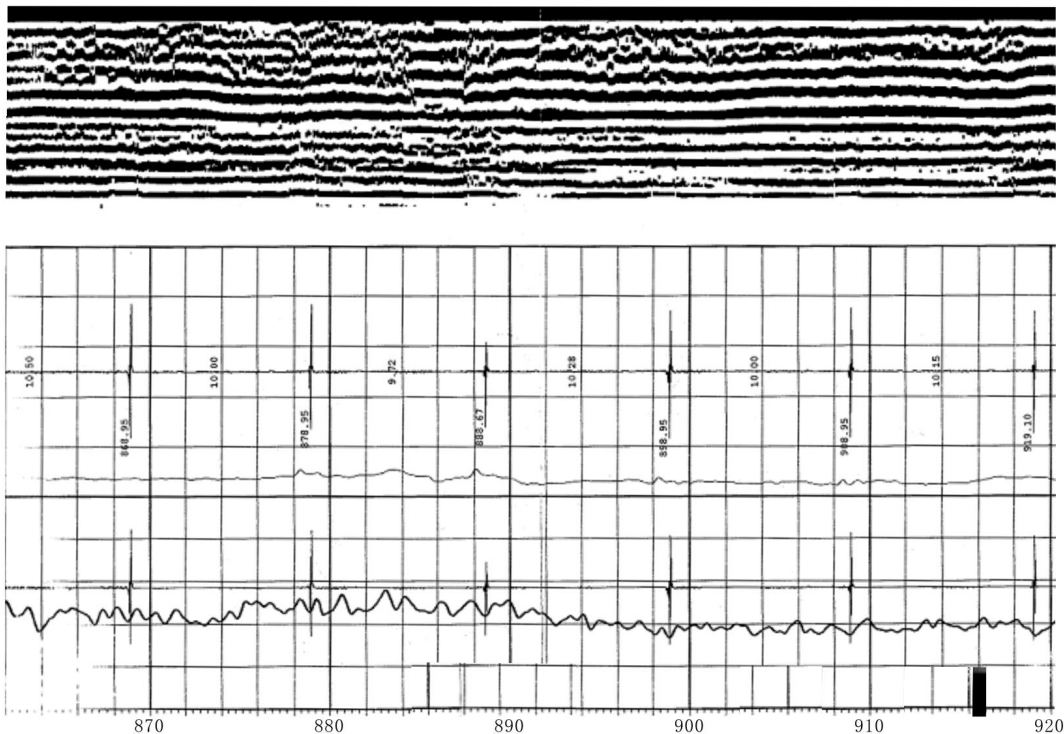


图5 2198平1井固井质量电测图

4 结论

(1)新型复合早强剂 M59S 对油井水泥低温下强度增强效果显著,8 h 强度增强 13 倍以上,且对水泥浆其它性能无影响。

(2)低温早强水泥浆体系在低温($\leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$)条件下,具有候凝时间短、早期强度高特点,且水泥浆体系的 API 失水量 $\leq 40 \text{ mL}/30 \text{ min}$ 、 45° 角游离液为 0,过渡时间短等性能符合水平井固井的要求。

(3)低温早强水泥浆先后应用于延长东部多口浅层低温水平井固井,固井质量优良,密封性好,为储层分段压裂提供了良好的基础。

参考文献:

[1] 王华军,胡涛,李明,等.低渗透油气田水平井开发特点及影响分析[J].石油化工应用,2011,30(1):66-68.
 [2] 陈晓华.富县区块中浅层水平井优快钻井技术探讨[J].长江大学学报(自科版),2013,10(26):89-91.
 [3] 陶红胜,杨全枝,于小龙,等.鄂尔多斯盆地东部低浅层渗透油

藏大位移水平井钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):37-40.
 [4] 卢拥军.压裂用破乳助排剂的研究与应用[J].油田化学,2007,14(2):123-126.
 [5] 邓红琳,王锦昌.超浅层大位移水平井钻完井技术[J].特种油气藏,2014,21(3):142-144.
 [6] 邵晓伟,范志勇.低温浅层油气井固井技术[J].钻井液与完井液,2003,20(5):29-31.
 [7] 陶红胜,王涛,于小龙,等.延长石油浅层大位移水平井固井技术[J].石油矿场机械,2015,44(6):17-21.
 [8] 屈建省,许树谦,郭小阳,等.特殊固井技术[M].北京:石油工业出版社,2006:4-14.
 [9] 王瑞和,王成文,步玉环,等.深水固井技术研究进展[J].中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(1):77-81.
 [10] 许桂莉,杜华平,等.油井水泥浆促凝剂体系的室内研究[J].精细石油化工进展,2007,8(10):12-14.
 [11] 刘崇建,黄柏宗,徐同台,等.油气井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001:84.
 [12] 王瑞和,齐志刚,步玉环,等.一种新型曼尼希碱促凝剂的性能研究[J].石油钻探技术,2009,37(3):13-16.
 [13] 李早元,周超,刘威,等.低温短候凝水泥浆体系室内研究[J].石油钻探技术,2012,40(2):46-50.