

◀“863”计划专栏▶

# 超高温缓凝剂DZH-3的性能研究

汪晓静 桑来玉 周仕明 杨广国

(中国石化石油勘探开发研究院 德州石油钻井研究所, 山东 德州 253005)

**摘要:**针对目前国内超深井对固井缓凝剂的需求,研制了高温缓凝剂A、B,然后将A、B以一定比例复配得到抗200℃的超高温缓凝剂DZH-3。评价了超高温缓凝剂DZH-3在150~220℃不同温度下及不同加量下的抗高温性能、高温稳定性能、高温抗压性能和综合性能等。结果表明:超高温缓凝剂DZH-3在不同加量下,水泥浆体系的稠化时间具有线性可调性且无超缓凝现象;加有DZH-3的配浆水在陈化14d后,浆体的稠化时间及稠化曲线仍具有重现性;浆体在高温下24h强度发展迅速,具有较高强度,无高温高压强度衰退现象;综合性能能满足固井现场的施工需求。

**关键词:**油井水泥;固井;高温;缓凝剂;抗压强度

**中图分类号:**TE256<sup>+</sup>.6   **文献标识码:**A   **文章编号:**1001-0890(2009)03-0022-04

近年来,我国深井、超深井钻井完井技术发展迅速,但在高陡、高温和高压等复杂地质条件下目前仍面临很大困难<sup>[1-4]</sup>,尤其是井下高温对钻井完井的影响巨大。如:胜科1井井底静止温度达到235℃(井深7 026 m)<sup>[5-6]</sup>,元坝1井井底静止温度达到165℃(井深7 170.71 m)<sup>[2,9]</sup>,贵州双1井完钻井底温度达到180℃(井深5 500.55 m)<sup>[2]</sup>。目前国内研制成功的超高温水泥外加剂很少,外加剂的抗高温性能已经成为制约深井超深井钻井完井技术进一步提高的技术瓶颈,因此,研制抗200℃超高温缓凝剂具有现实意义。

## 1 DZH-3的制备

利用新型单体、催化剂、30%的过氧化氢溶液和水混合均匀,在70℃温度下搅拌反应,再回流,过滤除去催化剂,加入浓硫酸,加热浓缩,冷却析出结晶,过滤,洗涤,干燥,得到高温缓凝剂A。利用乙烯系单体、引发剂在搅拌、通氮驱氧、水浴的条件下,反应10 h,即得到高温缓凝剂B。高温缓凝剂A、B以一定比例复配即得到超高温缓凝剂DZH-3。

## 2 DZH-3的室内性能评价

### 2.1 试验材料

实验室自制超高温缓凝剂DZH-3、超高温稳

剂DZW和高温降失水剂DZJ-Y;四川嘉华水泥厂产G级油井水泥;硅粉。

### 2.2 试验仪器

增压稠化仪8040D10;高温高压养护釜7375;胶凝强度分析仪5265;六速旋转黏度计;微控伺服压力机YAW-300C;高温高压失水仪。

### 2.3 抗高温性能试验

分别在150、160、180和200℃温度下,进行了缓凝剂DZH-3的抗高温评价试验,目的是测试其温度适用范围,考察该缓凝剂的抗高温稳定性能。结果见表1。

由表1可知,在相同温度下,水泥浆体系的稠化时间随超高温缓凝剂DZH-3加量的增加而成比例地延长,如在200℃、90 MPa试验条件下,缓凝剂DZH-3加量每增加0.5%,相应的水泥浆稠化时间增加30~40 min。

**收稿日期:**2009-02-06; **改回日期:**2009-03-19

**基金项目:**国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目“超深井高温高压复杂条件下固井技术研究”(编号:2006AA06A109-6)部分研究成果

**作者简介:**汪晓静(1981—),女,山东临清人,2004年毕业于济南大学高分子材料专业,2007年获南京工业大学材料学专业硕士学位,主要从事固井技术研究。

**联系电话:**(0534)2670109

表 1 缓凝剂 DZH-3 的抗高温评价试验结果

序号	试验配方	稠化条件	稠化时间/min
1#	基浆 + 0.5% DZH-3	150 ℃、75 MPa	300
2#	基浆 + 0.8% DZH-3		302
3#	基浆 + 2.0% DZH-3	160 ℃、80 MPa	384
4#	基浆 + 2.5% DZH-3		480
5#	基浆 + 1.0% DZH-3	180 ℃、90 MPa	226
6#	基浆 + 2.0% DZH-3		339
7#	基浆 + 1.5% DZH-3		256
8#	基浆 + 2.0% DZH-3	200 ℃、90 MPa	288
9#	基浆 + 2.5% DZH-3		318
10#	基浆 + 2.8% DZH-3		343
11#	基浆 + 1.0% DZH-3	220 ℃、100 MPa	172

注: 基浆为嘉华 G 级水泥 + 35% 硅粉 + 6% DZJ-Y + 3% DZW + 44% 水。

在缓凝剂 DZH-3 加量为 2.0%, 温度分别为 200、180 和 160 ℃ 时, 试验水泥浆的稠化时间依次为 288、339 和 384 min。由此可见, 不会出现超高温水泥浆返到顶部低温的超缓凝问题, 超高温缓凝剂 DZH-3 的稠化时间可调性良好, 易于固井施工中控制水泥浆的凝结时间, 能有效防止“灌香肠”等固井事故的发生。

图 1、2 分别为 180、200 ℃ 温度下不同配方水泥浆的稠化曲线。从图 1、2 可以看出, 不同配方的水泥浆体系初始稠度约为 20 Bc, 曲线走势平稳, 抗高温能力强, 且稠化过渡时间短, 有利于防止环空的油气水窜。

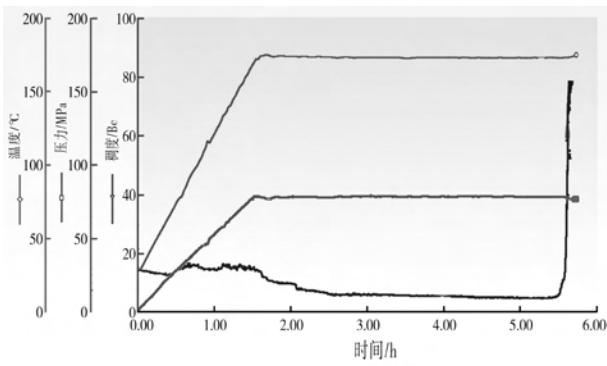


图 1 6# 配方水泥浆稠化曲线

## 2.4 高温稳定性试验

为了考察超高温缓凝剂 DZH-3 的陈化稳定性, 将 8#、9# 配方的配浆水陈化 14 d 后重复 200 ℃、90 MPa 条件的稠化试验。8# 配方水泥浆的稠化时间由原来的 288 min 变为 268 min(如图 3 所示), 9#

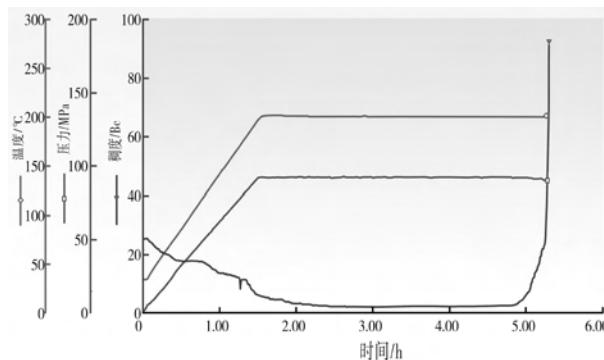


图 2 9# 配方水泥浆稠化曲线

配方水泥浆的稠化时间由原来的 318 min 变为 339 min(如图 4 所示)。由以上数据可知, 在配浆水陈化 14 d 后, 稠化时间的波动均在 20 min 以内, 陈化前后的稠化曲线走势也基本一致, 满足固井施工的要求, 所以缓凝剂 DZH-3 的陈化稳定性、稠化时间重现性优异。

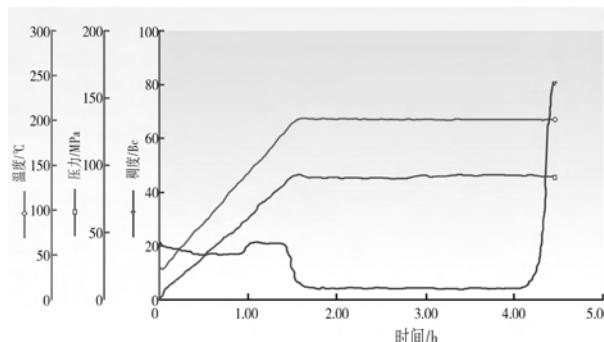


图 3 8# 配方水泥浆陈化 14 d 后的稠化曲线

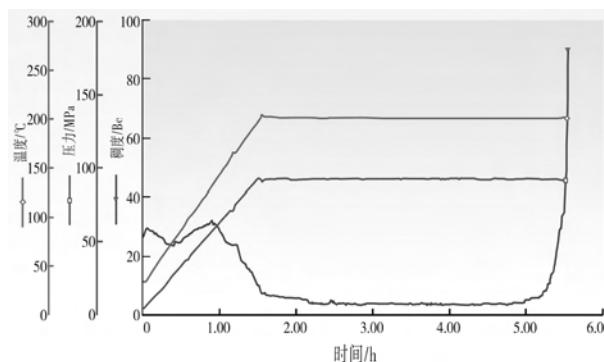


图 4 9# 配方水泥浆陈化 14 d 后的稠化曲线

## 2.5 高温高压强度试验

在固井施工中经常会遇到在高温下水泥石强度发展缓慢的现象, 一般形成强度的时间在 72 h 以上, 特别是当水泥浆被顶替到低温井段候凝时, 水泥石的强度发展会变得更为缓慢, 这对于高压油气井固井质量极为不利。为此, 考察了加有超高温缓凝剂 DZH-3 水泥浆体系的强度发展情况(见表 2)及

1# 配方水泥浆的胶凝强度曲线(见图 5,试验条件 150 ℃、20 MPa)。

表 2 DZH-3 在高温高压条件下的抗压强度

配方	试验条件	24 h 抗压强度/MPa
2#	160 ℃、10 MPa	14.7
3#	160 ℃、10 MPa	15.3
4#	160 ℃、10 MPa	28.3
5#	180 ℃、10 MPa	27.4
6#	180 ℃、10 MPa	37.5
7#	200 ℃、10 MPa	19.2
8#	200 ℃、10 MPa	15.1
9#	200 ℃、10 MPa	24.9

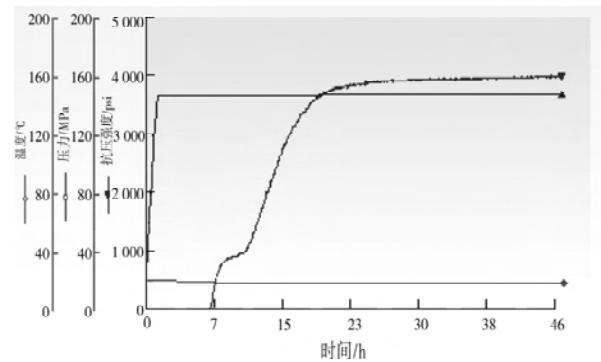


图 5 1# 配方水泥浆的胶凝强度曲线

由表 2 可知,加有高温缓凝剂 DZH-3 的水泥浆体系的高温高压强度并没有出现明显的高温衰变现象,在 24 h 内强度发展迅速,并且强度均大于 14 MPa。压裂的水泥石试块内部结构致密,颜色均一,热稳定性好,因此该水泥浆体系满足固井施工对强度的要求。

图 5 更直观地描述了水泥浆体系强度的发展趋势:在 7~11 h 内强度发展主要是由于硅酸三钙水化生成水化硅酸钙凝胶和氢氧化钙晶体,11~19 h 内强度的发展则以填充于水泥颗粒间隙的硅粉与水化产物生成凝胶体为主,在 24 h 时体系强度达到 27.3 MPa(3 900 psi)。

## 2.6 综合性能试验

表 3 为加有高温缓凝剂 DZH-3 的水泥浆体系综合性能评价结果。由表 3 可知,加有高温缓凝剂 DZH-3 的水泥浆体系在常规密度下有很好的流动性能,便于施工泵送;其中流性指数  $n$ 、稠度系数  $K$  则反映出该浆体符合幂律流体,可以较好地顶替裸眼井段的钻井液,并且水泥浆与套管和地层能良好胶结;盐水配浆与淡水配浆的稠化时间变化不大,DZH-3 具有抗盐性能。因此加有 DZH-3 的水泥浆体系能满足固井施工的综合要求。

表 3 加有 DZH-3 的水泥浆体系的综合工程性能

配方	流动度/cm	剪切应力读数	流性指数 $n$	稠度系数 $K/\text{Pa} \cdot \text{s}^n$	失水量/mL	稠化时间/min
1#	25	269/217/126/75/9/5	0.967	0.267	34	289
2#	24	220/198/115/85/7/6	0.769	0.836	41	310
5#	25	247/200/120/79/7/6	0.844	0.529	45	233

注:1# 配方、2# 配方及 5# 配方水泥浆稠化条件分别为 150 ℃、75 MPa,160 ℃、80 MPa 和 180 ℃、90 MPa;各配方水泥浆的密度均为 1.90 kg/L;用 10% 的盐水配浆。

## 3 结论与建议

1) 在相同温度(150~200 ℃)下,高温缓凝剂 DZH-3 加量不同,水泥浆体系的稠化时间线性可调;相同加量、不同温度下,无超缓凝现象;加有 DZH-3 的配浆水在陈化 14 d 后,浆体的稠化时间以及稠化曲线仍具有重现性。

2) 加有高温缓凝剂 DZH-3 的水泥浆在高温下 24 h 的强度发展迅速,具有较高强度,无高温高压强度衰退现象,并且其综合性能亦满足固井现场的施工要求。

3) 室内评价表明,超高温缓凝剂 DZH-3 基本可以满足目前现场固井施工的要求,建议推广应用。

下一步应开发满足 240 ℃ 井温需求的高温缓凝剂以及相应的水泥浆体系。

## 参 考 文 献

- [1] 曾义金,刘建立.深井超深井钻井技术现状和发展趋势[J].石油钻探技术,2005,33(5):1~5.
- [2] 信廷富,张宏军,王建仓,等.海相油气田超深井完井固井技术[J].石油钻采工艺,2008,30(2):14~22.
- [3] 孙金声,杨泽星.超高温(240℃)水基钻井液体系研究[J].钻井液与完井液,2006,23(1):15~18.
- [4] 王志刚.国内外深井钻井技术比较分析[J].长江大学学报(自然科学版),2008,5(1):282~284.
- [5] 赵金洲,孙启忠,张桂林.胜利 1 井钻井设计与施工[J].石油钻探技术,2007,35(6):5~9.
- [6] 裴建忠,刘天科,孙启忠,等.胜利 1 井钻井事故的预防与处理[J].石油钻探技术,2007,35(6):18~21.

- [7] 李延伟,李智勃,邓子波,等.胜科 1 井  $\varnothing 139.7$  mm 尾管及回接固井工艺技术[J].石油钻探技术,2007,35(6):30-33.
- [8] 孙玲,张宏军,李延伟,等.胜科 1 井超高温水泥浆体系的设计与应用[J].石油钻探技术,2007,35(6):34-36.
- [9] 王光磊,侯健,于承朋,等.元坝 1 井钻进设计与施工[J].石油钻探技术,2008,36(3):41-45.

[审稿 毛克伟]

## Lab Research on DZH-3: an Ultra-High-Temperature Retarder

Wang Xiaojing Sang Laiyu Zhou Shiming Yang Guangguo

(Dezhou Petroleum Drilling Research Institute, Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec, Dezhou, Shandong, 253005, China)

**Abstract:** In order to meet the demands of cementing retarders on ultra-deep wells, the retarders A and B were developed. Mixing A and B in certain ratio, an ultra-high-temperature retarder, DZH-3 is formed. Its anti-thermal stability, compressive properties and comprehensive performances under various temperatures ranging from 150 to 220°C with different DZH-3 content were tested. The results indicate that the thickening time can be adjusted linearly according to different addition of DZH-3 without over-retardance, after the serofluid containing DZH-3 aging 14 days, the thickening time and curve can repeat regularly, the slurry can quickly get high compressive strength in 24 hours without recession, also the integrated engineering performances can satisfy the requirements of cementing fields.

**Key words:** oil well cement; well cementing; high temperature; retarder; compressive strength

## “863 计划专栏”征稿启事

1986 年 11 月,党中央、国务院批准启动了以跟踪国际高技术水平、缩小同国外的差距、力争在我国有优势的高技术领域有所突破为目标的“国家高技术研究发展计划”,简称“863 计划”。这项具有明确国家目标的国家科技计划,经过“七五”以来四个五年计划的成功实施和广大科研人员的不懈努力,取得了一大批丰硕成果。目前“十一五”863 计划正在有序实施,将增强我国在关键高技术领域的自主创新能力,解决事关国家长远发展和国家安全的战略性、前沿性和前瞻性高技术问题,落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》提出的前沿技术和部分重点领域中的重大任务,统筹安排高技术的集成应用和培育新兴产业生长点,发挥高技术引领未来发展起到先导作用。

能源技术是 863 计划的重要研究领域,石油作为一种战略资源,对国家经济安全有着举足轻重的影响,对国民经济的可持续发展起着重要作用。随着中国经济的迅速发展,对石油的需求量越来越大,迫切需要实现石油勘探开发的重大突破,以保证国家的能源安全。钻井工程作为石油工业上游的三大支柱性专业之一,与勘探、开发一并成为实现油气勘探开发重大突破的关键所在。多年来,有很多石油工程技术项目被列入 863 计划,项目的实施促进了我国石油工程技术的发展和提高,缩短了与国外先进技术的差距,为满足我国油气资源勘探要求奠定了坚实的基础。

为了展示近年来 863 计划石油工程技术成果及其对促进相关技术产业化所发挥的重要作用,进一步提高钻井工程效率,降低钻井工程直接成本,从而最终提高勘探开发整体效益,经主办单位领导同意,《石油钻探技术》期刊计划自 2008 年第 5 期开始设立“863 计划专栏”,现特向广大工程技术人员征稿,来稿请注明 863 计划名称和编号。

1. 征稿范围。凡属于国家 863 计划项目支撑的论文,包括钻井、固井、开采、钻井液、工具、工程管理等均可。

2. 稿件刊载。所有 863 稿件一旦通过本刊审稿,将在 3 个月内刊出。

3. 注意事项。稿件最后请注明:863 计划名称及编号;详细联系方式(包括办公电话、手机、电子信箱、邮寄地址、邮编等);第一作者的详细简介,具体格式请参考本刊近期期刊。论文正文请用 5 号宋体、1.5 倍行距、单栏编排,其他格式请参考本刊近期期刊。