

# 大港油田多涂层预包防砂支撑剂研制与应用

李怀文<sup>1</sup>, 邵力飞<sup>1</sup>, 曹庆平<sup>1</sup>, 刘毅<sup>2</sup>, 刘伟<sup>3</sup>

(1. 中国石油大港油田公司石油工程研究院, 天津 300280; 2. 中国石油大港油田公司第五采油厂, 天津 300280; 3. 中国石油大港油田公司第六采油厂, 河北黄骅 061100)

**摘 要:**针对浅层低温(低于 50 ℃)防砂井化学材料难以固结、影响防砂效果的问题,研制了一种不需要外固化剂,就具有低温快速固化且高强度特点的多涂层包胶防砂支撑剂。从树脂胶结体系选择、固化体系选择、外包胶材料及包胶工艺选择、颗粒配方等方面进行了多涂层预包防砂支撑剂配方的研究。研制的防砂支撑剂分为 A 剂和 B 剂,其中 A 剂为树脂胶结支撑剂,B 剂为树脂固化支撑剂。对该支撑剂进行了性能评价,包括固化温度和固化时间对人工岩心固结强度和渗流能力的影响评价、耐酸碱介质性能评价、岩心稳定性及其他性能评价。性能测试发现,A 剂和 B 剂按质量比 1:1 充分混合,在 25 ℃下固化 4 h 后抗压强度能达到 6 MPa 以上,液相渗透率大于 1  $\mu\text{m}^2$ 。该防砂支撑剂在大港油田现场应用 4 口井,结果表明,该防砂支撑剂能够解决低温出砂井、生产大压差井、注水井和侧钻井的防砂难题,且防砂效果良好。

**关键词:**树脂 压裂支撑剂 低温 固化 化学防砂

**中图分类号:**TE358<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)04-0099-04

## Development and Application of Multi-Coated Pre-Encapsulated Sand Control Proppant in Dagang Oilfield

Li Huaiwen<sup>1</sup>, Shao Lifei<sup>1</sup>, Cao Qingping<sup>1</sup>, Liu Yi<sup>2</sup>, Liu Wei<sup>3</sup>

(1. *Petroleum Engineering Research Institute, Dagang Oilfield Branch, CNPC, Tianjin, 300280, China*; 2. *The Fifth Oil Production Plant, Dagang Oilfield Branch, CNPC, Tianjin, 300280, China*; 3. *The Sixth Oil Production Plant, Dagang Oilfield Branch, CNPC, Huanghua, Hebei, 061100, China*)

**Abstract:** In order to solve the problem of chemical material's difficult to consolidate in shallow low temperature wells (below 50 ℃). A multi-coated pre-encapsulated sand control proppant was developed which can consolidate quickly with high strength in low temperature without external curing agents. The formula of this consolidating system, multi-coating pre-encapsulated process, evaluation of proppant properties and field application were discussed. This proppant consists of component A and B, in which component A is resin consolidating proppant and B is resin curing agent. When component A with B were mixed completely at a ratio of 1:1, they can consolidate in water at 25 ℃ and the compression strength is higher than 6 MPa and its liquid permeability exceeds 1  $\mu\text{m}^2$ . This proppant has been used in 4 wells. The results showed that it is a novel chemical sand control propping agent and can solve the problem of sand control in low-temperature sand production wells, high-production pressure wells, water injection wells and side tracking wells.

**Key words:** resin; sand control proppant; low temperature; solidification; chemical sand control

## 1 概 述

大港油田大部分区块属疏松砂岩油藏,埋藏浅、胶结疏松、出砂严重,随着油田进入注水开发

**收稿日期:**2011-03-03; **改回日期:**2011-06-10。

**作者简介:**李怀文(1969—),男,四川营山人,1992年毕业于西南石油学院应用化学专业,高级工程师,主要从事油田采油工艺技术研究与应用工作。

**联系方式:**(022)25923433, lihuaiwen@163.com。

成熟期,井温普遍偏低( $30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),在该温度范围内,化学防砂材料难以固结。同时,提高采液强度的生产方式又对化学防砂的固结强度提出了更高的要求。

塑料预包砂防砂工艺是一种较为成熟的化学防砂工艺,在国内外油田得到了广泛应用,尤其在井温 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的中后期防砂井中应用塑料预包砂防砂更为有效,但在低于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 井温条件下防砂效果不理想<sup>[1-4]</sup>。大港油田曾使用过 $45, 50$ 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等不同温度系列的塑料预包砂,但 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下塑料预包砂粘结严重,施工不方便,且需要外固化剂,易固结不均匀从而影响防砂效果。而 $50$ 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 塑料预包砂在适宜温度条件下需要候凝固结 $5\sim 7\text{ d}$ ,占井时间长。

针对目前大港油田开发现状和防砂工艺情况,研制出了一种能够满足低温( $25\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )快速固化( $4\sim 24\text{ h}$ 可控)、固化强度高( $\geq 6\text{ MPa}$ )要求的多涂层预包防砂支撑剂,来解决低温、大生产压差井、注水井和特殊井(侧钻井、套变井等)出砂的问题及化学防砂占井时间长的问题。

## 2 配方研究

### 2.1 树脂胶结体系的选择

#### 2.1.1 胶结树脂的选择

根据地层温度( $25\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )的要求,所用树脂应满足以下要求:1)具有低温固结的性能,固结温度为 $25\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;2)化学性质稳定,耐酸碱性能强,与地层流体配伍性好;3)树脂胶结强度高,要求人工岩心固结强度 $\geq 6\text{ MPa}$ ;4)在水中能快速固化。

通过大量的室内试验,从低温固结性能、反应活性、黏度和固化收缩率等方面考虑,优选环氧树脂做为胶结树脂。

#### 2.1.2 稀释剂的选择

考虑到原树脂的黏度在 $100\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 左右和纯树脂成本高等因素,优选了一种成本低廉、来源广泛的醇类稀释剂,在树脂使用前先把树脂稀释到黏度为 $20\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 左右,选择易于涂覆在石英砂表面。稀释剂的体积分数为 $10\%\sim 15\%$ 时,树脂胶结体系具有良好的流动性且不影响后续的干燥工序。

### 2.2 固化体系的选择

#### 2.2.1 固化剂的选择

固化剂是促进树脂固化的助剂,要求包胶防砂颗粒常温贮存时应稳定,且能在井下水中固化,只能选择常温固化剂。经过大量试验选择聚酰胺做为固化剂。聚酰胺属于无毒固化剂,其具有酰胺基等活性结构,反应活性好,并可在井下水环境中施工。

#### 2.2.2 偶联剂的选择

树脂包胶砂的抗破碎能力是由基体、树脂内聚强度和树脂与基体表面的附着力所决定的。要使树脂覆膜石英砂获得较高强度,需要偶联剂作为桥梁将树脂与石英砂粘结牢固。通过试验,优选了KH-550偶联剂。

#### 2.2.3 增韧剂的选择

树脂固化后具有较高的机械强度但脆性较大,加入增韧剂后能适当提高其韧性。经过室内试验,选择不易挥发且与树脂相溶性好的二甘醇做为增韧剂。

### 2.3 外包胶材料及包胶工艺的选择

外包胶材料的选择原则:1)包胶材料在常温干燥情况下具有隔离作用,能防止包胶好的颗粒相互粘连;2)包胶材料具有较好的水溶性,在一定时间内能够溶解于水,而且不影响防砂颗粒的胶结;3)包胶材料具有较好的耐酸碱性能。试验中选用水溶性包胶剂做为包胶材料。

包胶配套设备有树脂包裹机、传送系统、振筛分选系统。树脂包裹机能将包胶颗粒搅拌均匀,能控制包胶速度。传送系统可以控制颗粒流量。振筛机具有良好的筛分功能。

### 2.4 双涂层包胶防砂颗粒的配方

A剂配方中石英砂、环氧树脂、稀释剂、偶联剂和外包胶剂的质量比为 $100:8:6:0.6:1$ ;B剂配方中石英砂、聚酰胺固化剂、稀释剂、增韧剂和外包胶剂的质量比为 $100:2.4:6:1.8:1$ 。现场使用时A、B剂的质量比为 $1:1$ 。

### 2.5 双涂层包胶防砂颗粒人工岩心室内试验

根据A、B剂的使用配方,制作成若干人工岩心,在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行室内试验,测试其抗压强度和液

相渗透率,结果见表 1。

表 1 人工岩心室内试验结果

Table 1 Formula testing experiment of artificial core		
岩心编号	4 h 抗压强度/MPa	液相渗透率/ $\mu\text{m}^2$
1	6.72	1.62
2	6.87	1.58
3	6.61	1.65

从表 1 可看出,该配方满足低温(25 ℃)下快速固化,固化强度高(4 h 抗压强度超过 6 MPa)的要求。

### 3 性能评价试验

#### 3.1 固化温度的影响

固化温度直接影响防砂支撑剂的适用范围,特别是在低温条件下这种影响更加明显。将制备的粒径为 0.425~0.850 mm 的多涂层预包防砂支撑剂放在不同温度的水浴中养护 4 h,测其固结强度和渗透率,结果见图 1。

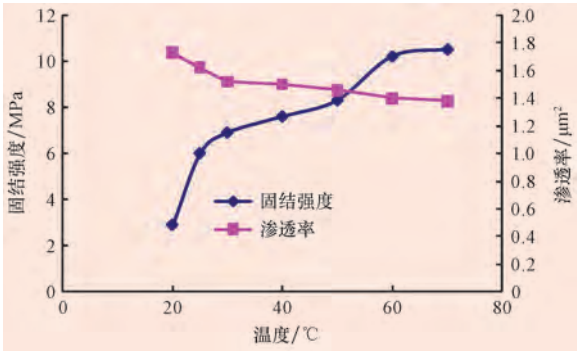


图 1 固化温度对人工岩心固结强度和渗透率的影响  
Fig. 1 The effect of solidification temperature on artificial core strength and permeability

从图 1 可以看出:固结强度随着固化温度的上升而逐渐升高,25 ℃时养护 4 h 的固结强度已经达到 6 MPa;岩心的渗透率随着固化强度的上升而有所下降。

表 2 多涂层包胶防砂支撑剂耐酸碱试验结果

浸泡时间/d	抗压强度/MPa				渗透率/ $\mu\text{m}^2$			
	地层水	港西原油	2%盐酸	2%NaOH	地层水	港西原油	2%盐酸	2%NaOH
3	11.56	1.52	10.83	1.40	11.74	1.49	10.52	1.62
7	12.76	1.35	11.59	1.21	12.81	1.29	11.41	1.39

#### 3.4 岩心稳定性试验

将多涂层包胶防砂支撑剂固结后的人工岩心分

#### 3.2 固化时间的影响

人工岩心的固化时间直接影响现场施工,由于现场情况比较复杂,所以要求多涂层预包防砂支撑剂至少具有 2 h 以上的初凝时间。将制备的粒径为 0.425~0.850 mm 的多涂层包胶防砂颗粒在 25 ℃下养护,测其不同固结时间下的固结强度和渗透率,结果见图 2。

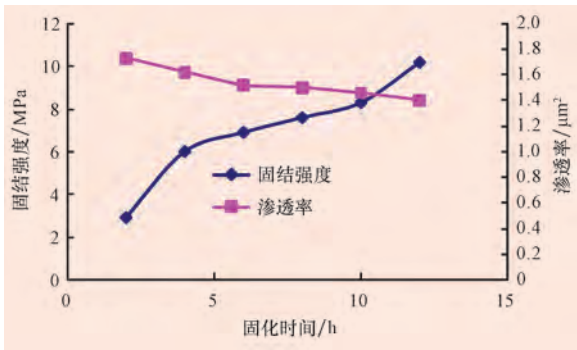


图 2 固化时间对人工岩心固结强度和渗透率的影响  
Fig. 2 The effect of solidification time on artificial core strength and permeability

由图 2 可知:多涂层预包防砂支撑剂在 25 ℃下 2 h 后开始初凝,4 h 后具有 6 MPa 以上的固结强度,10 h 以后固结强度大于 10 MPa;随着固化时间的增长,人工岩心的渗透率随着固化时间的延长而有所下降,但能满足防砂施工的基本要求。

#### 3.3 耐酸碱介质性能评价

将多涂层包胶防砂支撑剂固结后的人工岩心在室温下分别置于港西地层产出水、港西原油、2.0%盐酸、2.0%氢氧化钠溶液中浸泡,浸泡 3 d 和 7 d 后,测其抗压强度和渗透率变化,结果见表 2。从表 2 可以看到,4 种介质对人工岩心的抗压强度和渗透率没有明显影响,说明人工岩心对酸、碱和地层油水环境有较强的适应性。

别放置 3,7,15 和 30 d 后,测其强度和渗透率变化,结果见表 3。从表 3 可以看出,人工岩心性能基本保持不变,说明该材料具有良好的稳定性(25 ℃养护)。

表 3 人工岩心稳定性试验结果

Table 3 The stability experiment of artificial core

放置时间/d	抗压强度/MPa	液相渗透率/ $\mu\text{m}^2$
3	11.53	1.52
7	11.27	1.59
15	11.02	1.65
30	10.89	1.72

3.5 其他性能测试

参考标准 SY/T5184—2006《砾石充填作业用砂检测推荐作法》，时多涂层预包防砂支撑剂与石英砂性能指标进行了测试，结果见表 4。从表 4 可以看出，石英砂包覆环氧树脂膜及外包胶剂后，破碎率、浊度、圆度和球度等指标均得到明显改善。

表 4 多涂层预包防砂支撑剂与石英砂性能指标对比

Table 4 Property index contrasting between multi-coated encapsulated sand control proppin proppant and quartz sand

材料	14 MPa 下的 破碎率	浊度/NTU	圆度	球度
石英砂	1.94	120.00	0.70	0.70
多涂层预包 防砂支撑剂	1.22	40.00	0.80	0.80

4 现场应用

多涂层预包防砂支撑剂在大港油田的 4 口井中进行了应用，防砂后地层均不出砂。其中注水井 2 井次，油井 2 井次，防砂施工成功率 100%，防砂有效率 100%。截至 2010 年 12 月 31 日，注水井累计注水 44 549 m<sup>3</sup>，油井累计产油 939 t，累计增油 692 t。

西 2-11K 井，生产层为 18 井层（井段 1 287～1 291 m），因砂埋油层而停产，2010 年 11 月选用多涂层预包防砂支撑剂进行防砂施工。

前置液阶段，用液 40 m<sup>3</sup>，排量 1.2 m<sup>3</sup>/min，施工压力 22 MPa；加砂阶段，砂比由 3%逐步提高至 6%，施工排量 1.0～1.2 m<sup>3</sup>/min，压力 20～23 MPa，累计

加砂 9.1 m<sup>3</sup>；顶替阶段，顶替用液 3.7 m<sup>3</sup>，顶替排量 0.4 m<sup>3</sup>/min，顶替压力 16 MPa。

西 2-11K 井采用双涂层预包防砂支撑剂进行防砂试验，取得明显的防砂效果。防砂前日产液 1.28 m<sup>3</sup>，日产油 0.32 t，含水 75.00%；防砂投产后日产液 7.39 m<sup>3</sup>，日产油 3.13 t，含水 58.71%。该井累计恢复产油 195 t，累计增产原油 193 t。

5 结 论

1) 研制出了一种能够满足低温(25～50 ℃)快速固化(4～6 h 固化)、固化强度高(≥6 MPa)要求的多涂层预包防砂支撑剂，并形成了一种新颖的化学防砂工艺。

2) 根据现场 4 口井应用的防砂效果来看，多涂层预包防砂支撑剂防砂工艺可以解决低温出砂井、注水井、侧钻井出砂的难题。

参 考 文 献

[1] 大港油田科技丛书编委会. 防砂工艺技术[M]. 北京:石油工业出版社,1999:30-47.  
Dagang Oilfield Technology Series Editorial Board. Sand control technology[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1999:30-47.

[2] 万仁溥,罗英俊. 采油技术手册:防砂技术[M]. 北京:石油工业出版社,1991:113-128.  
Wan Renfu, Luo Yingjun. Oil technical manual: sand control technology[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1991:113-128.

[3] 朱锦波,桑晓明,杨贤金,等. 室温快固型环氧树脂的研究[J]. 机械工程材料,2006,30(4):44-45,63.  
Zhu Jinbo, Sang Xiaoming, Yang Xianjin, et al. Quick curing epoxy resin at room-temperature[J]. Materials for Mechanical Engineering,2006,30(4):44-45,63.

[4] 丘建辉. 快固型吸油性胶粘剂的试验研究[J]. 南京航空航天大学学报,1996,28(2):182-186.  
Qiu Jianhui. Experimental researches on an oil-absorbing and quick-curing adhesive[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics,1996,28(2):182-186.

我国陆上首口五级分支井投产

河 3-支平 1 井是国家科技重大专项“低渗油气田高效开发技术”的重点试验井，该井的第一分支完钻井深 2 489.00 m，垂深 2 116.21 m，水平位移 472.26 m；第二分支完钻井深 2 400.00 m，垂深 2 067.80 m，水平位移 476.77 m。该井采用了悬挂封隔器，保证了分支井眼连接处机械支撑的完整性、液力密封性能和井眼的选择性再进入性能，完井等级达到了 TAML 五级。该井现已投产，日产液 25 t，含水 56.8%。