

文章编号: 1001-1986(2009)02-0026-03

# 煤层气井清洁压裂液破胶剂的筛选

黄 霞, 郭丽梅, 姚培正, 张 丽  
(天津科技大学, 天津 300457)

**摘要:** 为解决清洁压裂液在煤层气井中的破胶问题, 通过考察破胶剂的种类、温度、用量及 pH 值对破胶时间的影响, 筛选了 4 种适合于不同压裂深度的煤层气井的新型温敏化学破胶剂——PJJ-25、PJJ-30、PJJ-35 和 PJJ-40。结果表明: 这 4 种破胶剂用量为 0.02%~0.03%; 破胶时间在 0.5~5 h 之间可控制; 破胶后体系粘度小于 3 mPa·s; 表面张力低于 30 mN/m; 残渣低于 0.1%。实践证明, 这 4 种破胶剂均有良好的破胶效果, 破胶液与地层的配伍性良好, 且对煤层伤害较轻。

**关 键 词:** 煤层气井; 清洁压裂液; 破胶剂; 筛选

中图分类号: P618.11 文献标识码: A

## The selection of gel breaker for clearing fracturing fluid in CBM well

HUANG Xia, GUO Limei, YAO Peizheng, ZHANG Li

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** To solve gel breaking problems in CBM well, through studying the influence of sort, temperature, dosage and pH value on gel-breaking time, four new type of temperature-sensitive chemical gel breakers—PJJ-25, PJJ-30, PJJ-35 and PJJ-40 were screened for different depths of CBM well. The research showed that the dosage of such gel breakers is 0.02%~0.03%, gel-breaking time can be controlled between 0.5~5 h, after gel breaking the viscosity less than 3 mPa·s, surface tension less than 30 mN/m, residue content below 0.1%. Practice has proved that the adopted gel breakers have satisfactory gel breaking results. The gel-breaking liquids have good compatibility with the formation, and the damage to coal bed is small.

**Key words:** CBM well; clean fracturing fluid; gel breaker; screening

清洁压裂液是近年来研制的一种无聚合物的新型压裂液。它的出现解决了油气田压裂中常规水基压裂液破胶、返排不彻底及在地层中形成滤饼等问题<sup>[1]</sup>。煤层气是煤化作用过程中有机质受温度压力作用而形成的以甲烷为主、伴有少量非烃成分的多元混合型气体。与石油天然气相比, 煤层气井用清洁压裂液的研究很少, 理论不成熟, 仍处于试验阶段。

一般认为, 清洁压裂液遇石油及天然气可以破胶, 不需要添加破胶剂<sup>[2]</sup>。然而研究表明, 清洁压裂液遇煤层气不可能破胶。因此, 清洁压裂液应用于煤层气井压裂增产必须添加破胶剂。一些文献选用高分子物质<sup>[3]</sup>或轻烃组分<sup>[4]</sup>等做破胶剂, 但因破胶时间都过短, 不能很好地完成携砂任务, 导致压裂失败, 并造成压裂液对地层的伤害。本文采用非离子或阴离子型表面活性剂作为破胶剂, 通过这些破胶剂与阳离子表面活性剂反应, 从而消耗阳离子表

面活性剂, 进而破坏胶束, 最终达到破胶的目的。并通过筛选, 对破胶剂的种类、使用温度、用量及 pH 值对破胶时间的影响进行研究, 筛选了一系列适合低温煤层的新型温敏型化学破胶剂, 研究了此类破胶剂的破胶性能。

### 1 试验材料及方法

#### 1.1 仪器与药品

使用仪器: RV20 旋转粘度计(德国 HAKKE 公司); K12 全自动张力仪(德国 KRÜSS 公司); 恒温电热干燥箱; 恒温水浴锅; 80-2 电动离心机。

使用药品: 清洁压裂液 VES(由 C<sub>16</sub> 烷基季胺盐及水杨酸等组成), 自制品; 破胶剂(非离子或阴离子表面活性剂前体), 自制品。

#### 1.2 方法

在体积为 100 g 的压裂液体系中, 加入一定量破胶剂混合均匀, 装入密闭容器内, 放入恒温水浴

收稿日期: 2008-07-09

作者简介: 黄 霞(1984—), 女, 江西鹰潭人, 硕士研究生, 从事压裂液研究。

锅,使其在一定温度及 pH 下静止破胶。在试验中,每隔 20 min 测定其粘度。待完全破胶后,记下破胶时间,并测定破胶液性能。

## 2 结果与效果分析

### 2.1 破胶剂种类筛选

目前,开发的煤层气深度一般在 1 000 m 左右<sup>[5]</sup>,煤层温度一般低于 40 °C。本文试验的温度为 25~40 °C。在压裂施工过程中,将清洁压裂液、破胶剂和支撑剂混合后泵送至地下。由于施工有一定的时间要求,清洁压裂液不能过早破胶,否则会降低施工效率,影响携砂造缝能力;但若破胶时间过长,返排时清洁压裂液未彻底破胶,不仅影响返排效率,而且残留物会对地层造成伤害。

根据施工要求,用不同结构的非离子和阴离子表面活性剂为基础自制了 5 种破胶剂进行筛选。分别对 5 种破胶剂在 25~30 °C 温度下的破胶时间进行试验,结果如表 1 所示。

表 1 (不同温度下)不同破胶剂的破胶时间 min

Table 1 Gel-breaking time affected by different gel breakers under different temperatures

温度/°C	破胶剂 1	破胶剂 2	破胶剂 3	破胶剂 4	破胶剂 5
25	40	90	150	不破胶	不破胶
30	30	70	140	不破胶	不破胶
35	30	60	70	270	400
40	10	20	20	240	300

由表 1 可知,此类破胶剂对温度敏感,随着温度的升高,破胶速度加快,破胶时间缩短。破胶剂 1、2 的破胶时间在 90 min 之内,破胶时间过短;破胶剂 5 的破胶时间过长,在压裂施工中都不能选用;破胶剂 3 和破胶剂 4 的破胶时间可以满足 20~30 °C 与 30~40 °C 的施工要求。故煤层温度为 25 °C 和 30 °C 时,应选用破胶剂 3,温度为 35 °C 和 40 °C 时应选用破胶剂 4。

### 2.2 破胶剂用量的选择

研究表明,破胶剂用量太多,破胶后在压裂液体体系表面形成一层油状物质,直接导致地层渗透率降低,加大了对地层的伤害,而且过早破胶会使压裂液无法正常输送到足够的深度,达不到预期的压裂效果。不同温度下破胶剂用量如表 2 所示。

从表 2 可以看出,破胶剂用量越大,破胶时间越短。25 °C 时控制破胶剂 3 用量为 0.03% 左右;30 °C 时应控制破胶剂 3 用量为 0.02% 左右;35 °C 时应控制破胶剂 4 用量为 0.03% 左右;40 °C 时应控制破胶剂 4 用量为 0.03% 左右。

表 2 (不同温度下)不同用量破胶剂的破胶时间 min  
Table 2 Gel-breaking time affected by the dosage of gel breaker under different temperatures

温度 / °C	破胶剂 种类	破胶剂用量/g·hg <sup>-1</sup>					
		0.010	0.015	0.020	0.030	0.035	0.040
25	破胶剂 3	不破胶	200	150	100	40	30
30	破胶剂 3	不破胶	180	140	75	40	25
35	破胶剂 4	不破胶	500	270	170	55	35
40	破胶剂 4	不破胶	330	240	160	50	35

### 2.3 pH 值的选择

破胶剂在与压裂液反应过程中与 pH 值有关。从表 3 可看出,当体系为中性时,清洁压裂液与破胶剂几乎不反应,不破胶;随着 pH 值的升高,清洁压裂液破胶时间明显变短。这表明清洁压裂液在强碱性条件下,易与破胶剂发生反应。但 pH 值过大,又会使得破胶时间过短,导致输送失败,且对地层造成污染。因此,25~30 °C 时控制 pH 值在 10 左右,破胶后压裂液体系 pH 值小于 8,不会造成碱性伤害。在 30~40 °C 时,控制 pH 值在 8 左右,破胶后压裂液体系 pH 值小于 7.5。

表 3 (不同温度下)不同 pH 值下的破胶时间 min

Table 3 Gel-breaking time affected by pH under different temperatures

温度 / °C	压裂液体系 pH 值					
	7	7.5	8	9	10	11
25	不破胶	不破胶	250	175	100	100
30	不破胶	440	275	190	140	120
35	不破胶	300	170	100	70	65
40	500	320	240	110	70	60

### 2.4 破胶过程粘度的变化

根据对破胶剂种类、用量及 pH 值的筛选,可以看出研究的破胶剂为温度敏感型。因此,设计了适合不同地层温度的破胶剂体系:PJJ-25,用于 25 °C 左右地层温度破胶;PJJ-30,用于 30 °C 左右地层温度破胶;PJJ-35,用于 35 °C 左右地层温度破胶;PJJ-40,用于 40 °C 左右地层温度破胶。加入破胶剂后,破胶过程体系粘度的变化如图 1 所示。

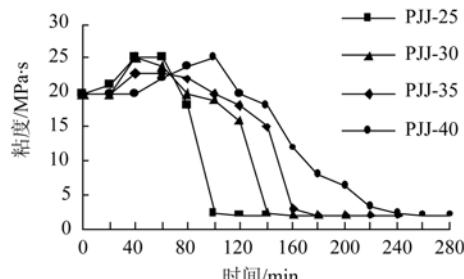


图 1 破胶时间与粘度的关系

Fig. 1 The relation between gel-breaking time and the viscosity

从图 1 可看出，随时间的增加，溶液的表观粘度呈现先升高再迅速降低的态势，当到达各温度所需的施工时间时，粘度下降至 2.2 mPa·s 左右，和水的粘度接近。这充分说明，破胶剂不会影响施工过程中压裂液的携砂能力，而且能够在所需时间内破胶，及时返排，提高返排效率，不会造成裂缝导流能力的损害，从而可能减轻压裂液对煤储层的伤害。

## 2.5 破胶液表面张力

传统压裂液一般要加入一定量的助排剂，使压裂液易返排。清洁压裂液由于其主剂是表面活性剂，具有很好的降低表面张力的能力，能够大大减小油与水之间的作用力，使得其返排容易且更彻底。不同破胶体系在破胶前后表面张力的测量结果见表 4。

表 4 破胶前后表面张力  
Table 4 Surface tensions of clean fracturing fluids and gel-breaking liquids

破胶体系	破胶前表面张力	破胶后表面张力
PJJ-25	29.2	16.0
PJJ-30	28.8	25.8
PJJ-35	29.1	14.7
PJJ-40	28.6	14.6

从表 4 数据可知，4 种体系破胶前后均具有较低的表面张力，而且破胶后表面张力有所下降，这说明破胶后表面活性反而增加。因此，清洁压裂液不需要添加任何助排剂，就能达到很好的返排效果，从而减少对储层的伤害。

## 2.6 破胶液残渣含量

煤层气井压裂液的伤害不仅是液体造成的，而且破胶液中的固相含量对煤层的伤害也很大<sup>[6]</sup>。表 5 为清洁压裂液破胶液的残渣含量。

表 5 破胶液残渣含量  
Table 5 Residue content of gel-breaking liquids

破胶剂	PJJ-25	PJJ-30	PJJ-35	PJJ-40
残渣含量	无残渣	0.54%	无残渣	无残渣

由表 5 可见，破胶液残渣含量很少。说明清洁压裂液的清洁效果好，几乎不会在地层中留下残渣，不堵塞煤层裂缝及裂隙网络的毛细管孔道，对煤层伤害小。

## 2.7 与地层的配伍性

取破胶液与地层水分别按 1:2、1:1、2:1 的体积比混合静置后，发现液体透明，不分层，无沉淀。这表明清洁压裂液与地层水的配伍性较好，破胶液与地层流体之间的配伍性良好，有利于破胶液返排出地层，不会滞留在地层而造成地层伤害。

## 3 结 论

a. 清洁压裂液在煤层气井压裂使用中，需要添加破胶剂，地层温度不同，破胶剂不同。不同地层温度的破胶剂体系为：

25 左右地层温度，使用 PJJ-25 体系，破胶剂 3 用量 0.03%，pH=10；

30 左右地层温度，使用 PJJ-30 体系，破胶剂 3 用量 0.02%，pH=10；

35 左右地层温度，使用 PJJ-35 体系，破胶剂 4 用量 0.03%，pH=8；

40 左右地层温度，使用 PJJ-40 体系，破胶剂 4 用量 0.02%，pH=8。

b. 本文筛选的 4 种破胶剂(PJJ-25、PJJ-30、PJJ-35 和 PJJ-40)均有很好的破胶效果：破胶后粘度小于 3 mPa·s；表面张力低于 30 mN/m；残渣含量低于 0.1%；与地层的配伍性良好；对煤层伤害较轻。

## 参 考 文 献

- [1] 陈馥,王安培,李凤霞,等.国外清洁压裂液的研究进展[J].西南石油学院学报,2002,5(24):65-67.
- [2] 崔会杰,王国强,冯三利,等.清洁压裂液在煤层气井压裂中的应用[J].钻井液与完井液,2006,4(23):58-610.
- [3] 赵波,贺承祖.粘弹性表面活性剂压裂液的破胶作用[J].新疆石油地质,2007,28(1):82-84.
- [4] 吴琼,苏志鹃,尚岩,等.FPF 清洁无聚携砂液的研制与应用[J].钻井液与完井液,2007,24(3):55-56.
- [5] 黄元海,王方林,蔡彩霞,等.凝胶压裂液的研究及在煤层改造中的应用[J].煤田地质与勘探,2000,28(5):20-22.
- [6] 丛连铸,陈进富,李治平,等.煤层气压裂中压裂液吸附特性研究[J].煤田地质与勘探,2007,35(5):27-30.