

新型高效泡排剂 LYB-1 的研制及其性能评价

李谦定 卢永斌 李善建 李恒娟

西安石油大学化学化工学院

李谦定等.新型高效泡排剂 LYB-1 的研制及其性能评价.天然气工业,2011,31(6):49-52.

摘 要 目前,我国多数气田已进入开采中后期,多数气井已出现井底积液的情况,普通泡沫排水剂难以满足现阶段天然气开采的需求。为此,通过正交设计实验法优化得到泡排剂的最佳配比,研制出了一种新型高效气井泡排剂——LYB-1。室内试验主要采用罗氏—迈尔斯评价方法,借助现场取得的地层水和凝析油对该泡排剂的起泡能力、携液能力、耐温能力、抗油能力、抗甲醇能力、缓蚀能力以及与地层水的配伍性等进行了系统的研究与分析。试验结果表明,该泡排剂与地层水具有良好的配伍性能和缓蚀性能,不仅具有优良的耐温能力、抗凝析油能力,而且具有较强的抗甲醇能力,是一种环保型的泡排剂。

关键词 泡排剂 甲醇 凝析油 缓蚀性能 配伍性 研制 评价 环境保护

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.06.009

我国气田不少已进入开采中后期,多数气井都出现了井底积液现象,有些气井积液后产量急剧下降,甚至被积液淹死^[1]。为了提高气田的采收率,采用了多种方法来消除井底积液,包括泡沫排水采气、井下节流排水采气、优选管柱排水采气、柱塞气举排水采气和增压抽吸排水采气等。其中泡沫排水法因投资小、见效快、操作简便等优点已成为解决井底积液的有效措施之一。泡沫排水采气技术是通过将泡排剂注入气井中,井底液体与泡排剂接触后,借助天然气流的搅动,生成大量的含水泡沫,随气流从井底携带到地面,从而达到增产、稳产和延长其自喷期的目的^[2]。泡沫排水采气技术的关键在于泡排剂的性能,即在一定的甲醇含量、地层温度、凝析油含量下,要求泡排剂具有尽可能高的起泡能力和携液能力。

1 实验部分

1.1 实验仪器与药品

罗氏—迈尔斯(Ross-Miles)泡沫仪、泡排剂 UT-11B、泡排剂 HY-3G、泡排剂 HY-5G、工业甲醇、凝析油、气田地层水(矿化度 4.7×10^4 mg/L, CaCl₂ 型)等。

1.2 评价方法

实验按照标准 SY/T 6465—2000《泡沫排水采气用起泡剂评价方法》和 GB/T 7462—1994《发泡力的测定》对泡排剂的起泡能力和携液能力进行评价。

2 实验结果与讨论

2.1 泡排剂研究

2.1.1 单一表面活性剂筛选

为了研究单一表面活性剂对地层水的起泡能力和携液能力,用倾注法测定了室内自制表面活性剂 L-1 和 L-2 以及市面销售的表面活性剂十二烷基磺酸钠(ABS)、 α -烯基磺酸钠(AOS)、脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸盐(AES)、十二烷基磺酸钠(SDS)、辛基酚聚氧乙烯 10 醚(OP-10)、甜菜碱和铵盐的起泡能力和携液能力,并记录了 0 s、30 s、3 min 和 5 min 的泡沫高度及 15 min 的泡沫携液量(表 1)。实验泡排剂溶液浓度为 0.5%,总液体量为 200 mL,地层水矿化度为 4.7×10^4 mg/L,水型为 CaCl₂ 型,实验温度为 30 ℃。

由表 1 可知,样品 L-1、L-2、铵盐和甜菜碱具有良好的起泡能力和携液能力,其他样品的起泡能力和携

表 1 单一表面活性剂在地层水中的起泡能力和携液能力测定结果表

种类	H_{0s} /mm	H_{30s} /mm	H_{3min} /mm	H_{5min} /mm	V_{15min} /mL
SDS	159	158	146	142	140.6
AES	166	152	139	120	136.4
甜菜碱	225	220	212	203	152.5
ABS	168	156	125	108	125.2
OP-10	125	120	112	99	83.6
铵盐	199	199	191	190	151.0
AOS	178	172	158	144	146.8
L-1	226	220	216	213	155.4
L-2	245	245	239	231	159.0

液能力相对较差。样品铵盐泡沫稳定性最好,明显优于其他样品。

2.1.2 复合配方研究

为进一步研究单一表面活性剂之间的复配效果,找出最佳的优化配比,选择单一表面活性剂起泡能力和携液能力较好的 L-1(A)、甜菜碱(B)、铵盐(C)和 L-2(D)进行优化实验。在优化实验中,采用正交设计实验方法,选取 4 因素 3 水平,正交表 $L_9(3^4)$ 对实验方案进行优化研究,然后采用直观分析法对测定的数据进行处理,可得到 LYB-1 型泡排剂的最佳配比,实验结果见表 2。实验泡排剂溶液浓度为 0.5%,总液体积量为 200 mL,地层水矿化度为 4.7×10^4 mg/L,水型为 $CaCl_2$ 型,试验温度为 30 ℃。

表 2 $L_9(3^4)$ 正交实验结果及分析表

试验号	单一表面活性剂用量/g				H_{0s} /mm	V_{15min} /mL
	A	B	C	D		
1	1	1	3	4	180	156.6
2	1	2	4	6	205	162.0
3	1	3	5	8	220	167.0
4	3	1	4	4	215	163.5
5	3	2	5	6	200	159.8
6	3	3	3	8	225	165.4
7	5	1	5	4	210	163.0
8	5	2	3	6	245	171.4
9	5	3	4	8	220	166.0
均值 1	201.667	201.667	216.667	200.000		
均值 2	213.333	216.667	213.333	213.333		
均值 3	225.000	221.667	210.000	226.667		
极差	23.333	20.000	6.667	26.667		

从表 2 可知,泡沫的携液量都在 150 mL 以上,其携液能力(携液能力=泡沫携带出的液体体积/总泡排剂溶液的体积 $\times 100\%$)^[3]都在 75% 以上。因此,以起始泡高(0 s)为考察指标进行分析,样品 L-2(D)是影响实验结果的最主要因素,单一表面活性剂 L-1(A)、甜菜碱(B)和铵盐(C)次之,最佳因素水平组合为 $A_3 B_3 C_1 D_3$ 。由于该配比不在原设计的试验方案中,为验证该配比的真实性,以该配比进行起泡能力和携液能力的测定,结果测得该配比的起始泡高度为 265 mm,携液量为 176.5 mL。与表 2 中的 8 号试验结果相比,可证明该配比是 9 次试验中最优的。因此通过正交设计实验确定泡排剂 LYB-1 的最佳质量配比为 L-1(A):甜菜碱(B):铵盐(C):L-2(D)=5:3:3:8。

2.2 泡排剂 LYB-1 的各项性能评价

在采用泡沫排水采气技术时,要求泡排剂具有一定的耐温能力、缓蚀能力、抗凝析油能力、抗甲醇能力和与地层水配伍性良好等。因此,需要对所研制出来的 LYB-1 型泡排剂进行各项性能评价。

2.2.1 耐温能力

通常温度升高,泡排剂溶液的黏度降低,泡沫易破裂,致使泡沫起泡能力和携液能力变差。为了评价该泡排剂的耐温能力,用地层水配制 0.5% 泡排剂溶液,测定了该泡排剂在不同温度下的起泡能力和携液能力(图 1)。

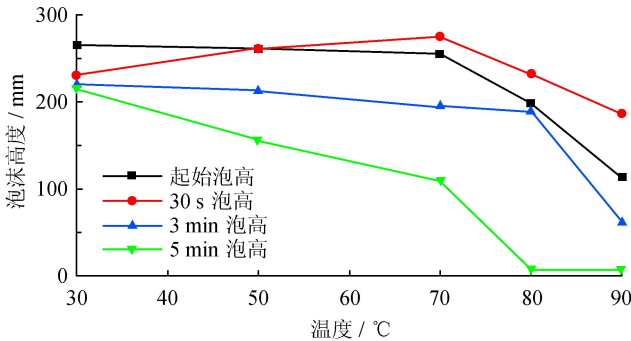


图 1 泡排剂 LYB-1 在不同温度下的起泡能力图

由图 1 中曲线可知,随温度的升高,泡排剂 LYB-1 的起始泡高、3 min 泡高和 5 min 泡高均逐渐降低,但 30 s 泡高首先增加,在 70 ℃ 时达到最大值 275 mm,然后逐渐降低。在 90 ℃ 时,泡沫的起始泡高仍能达到 113 mm,3 min 后降低到 62 mm。这是由于温度较高时,液膜的水分蒸发加快,液膜之间的排斥力减弱,致使液膜强度降低,泡沫稳定性下降^[4]。从图 2 中可以

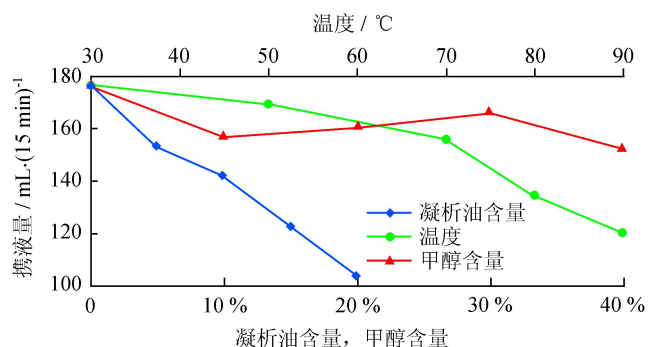


图 2 泡排剂 LYB-1 在不同温度、凝析油含量和甲醇含量下的携液能力图

看出,随温度的升高,其携液能力逐渐降低。在 30 ℃ 时,泡沫的携液量为 176.5 mL,在 90 ℃ 时,其携液量降低到 119.8 mL,这表明泡排剂 LYB-1 具有良好的耐高温能力。

2.2.2 抗凝析油能力

在天然气开采过程中,井底积液经常含有一定量的凝析油,但由于凝析油具有较强的消泡作用,易使泡沫性能变差^[5]。因此,要求泡排剂具有一定的抗凝析油能力。如图 3 所示,30 ℃ 时测定了该泡排剂溶液浓度为 0.5% 在含有不同浓度凝析油的地层水中的起泡能力和携液能力。

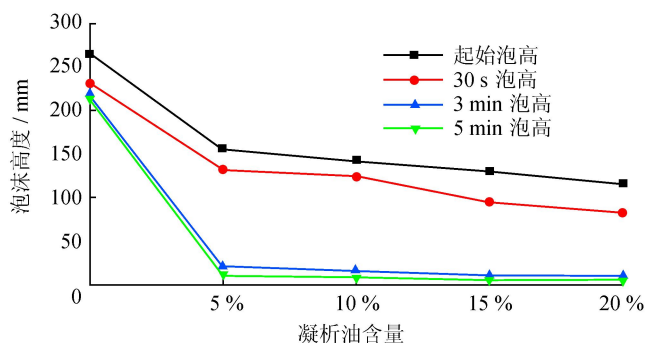


图 3 泡排剂 LYB-1 在不同浓度凝析油含量下的起泡性能图

从图 3 可以看出,在 30 ℃ 时,不含凝析油地层水的泡沫起泡性能最好,起始泡高最高为 265 mm,5 min 后降到 215 mm。但随着凝析油含量的增加,凝析油的消泡作用逐渐增强,泡沫高度均逐渐降低。当凝析油含量达到上限 20% 时,泡沫的起始泡高仍能达到 116 mm,3 min 后降低到 10 mm,但仍能满足天然气开采的要求。由图 2 可以看出,随着凝析油含量的增加,泡沫携液量都逐渐减少,当凝析含油量为 20% 时,泡沫携液量仍能达到 103.6 mL。以上数据表明泡排

剂 LYB-1 具有良好的抗凝析油能力。

2.2.3 抗甲醇能力

向气井中注入甲醇,既可以起到防冻的作用,又可以防止井内管柱和集输流程的水合物堵塞,从而在一定程度上影响了液体泡排剂在气井使用的成功率。因此,要求泡排剂具有一定的抗甲醇能力。如图 4 所示,30 ℃ 时测定了该泡排剂溶液浓度为 0.5% 在含有不同浓度甲醇的地层水中的起泡能力和携液能力。

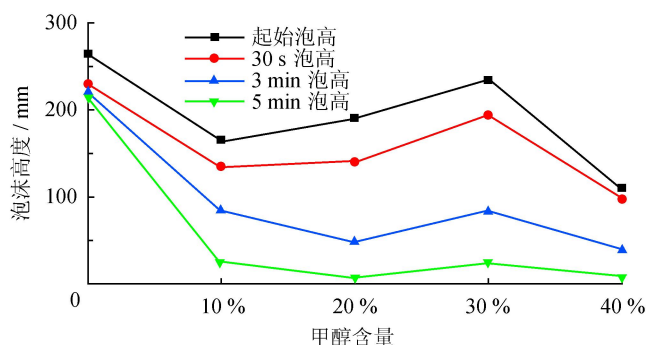


图 4 泡排剂 LYB-1 在不同浓度甲醇含量下的起泡性能图

从图 4 可知,泡排剂溶液不含甲醇时,泡沫高度最高且稳定。但随着甲醇含量的增加,泡沫高度都出现了先降低后增加再降低的趋势。甲醇含量从 10% 增加到 30% 时,泡沫高度都呈上升趋势。当甲醇含量为 30% 时,起始泡高最高达到 235 mm,5 min 泡高降到 25 mm。这是由于甲醇含量达到一定值时,可以降低表面活性剂溶液的 surface 张力,从而增加了泡沫的起泡能力和携液能力^[6]。甲醇含量为 40% 时,起始泡高仍能达到 110 mm,说明该泡排剂具有较强的起泡能力。当甲醇含量超过上限 40% 时,泡沫高度都随之降低。这是由甲醇的分子结构所决定,甲醇分子间受力不平衡,在液膜表面上排列疏松,形成的新液膜极不稳定,在极短的时间内就发生破裂^[7]。从图 2 中可以看出,甲醇含量从 10% 增加到 30% 时,泡沫的携液量从 156.8 mL 增加到最大值 165.2 mL。当甲醇含量达到上限 40% 时,泡沫的携液量为 152.2 mL,其携液能力仍能在 75% 以上,这充分说明泡排剂 LYB-1 抗甲醇能力极佳。

2.2.4 缓蚀能力

气井的油管与地层水接触后会使得井底油管等金属材料产生腐蚀。因此需要测定该泡排剂的缓蚀能力。在 90 ℃ 下,用 N80 油管钢制成长约 3 cm、宽 1.5 cm、厚 0.35 cm 的钢片,放入地层水和 0.5% 泡排剂溶液

中浸泡 72 h,采用挂片失重方法,测定 0.5% 泡排剂溶液和地层水对 N80 钢片的缓蚀能力。试验结果表明,地层水对 N80 钢片的腐蚀速率为0.288 4 mm/a,0.5% 的泡排剂溶液对 N80 钢片腐蚀速率降低到 0.058 8 mm/a,缓蚀率为 79.6%,这表明泡排剂 LYB-1 具有优良的缓蚀能力,因而对井底油管具有一定的保护作用。

2.2.5 泡排剂与地层水的配伍性试验

考虑到泡排剂能否和气井地层水发生反应而产生沉淀,造成地层堵塞,影响排水效果。因此,要求泡排剂与气井地层水具有良好的配伍性能。用地层水分别

配制 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、1.0% 的泡排剂溶液,室温下静止 48 h 后,结果显示泡排剂溶液均一透明,无沉淀产生和分层现象。从而说明该泡排剂与气井地层水配伍性良好。

2.3 抗甲醇能力对比

为了充分说明泡排剂 LYB-1 具有较强的抗甲醇能力,30 ℃时将该泡排剂与现场应用较多的泡排剂 UT-11B、HY-5G 和 HY-3G 进行了对比,试验结果见表 3。表 3 数据表明,泡排剂 LYB-1 具有较强的抗甲醇能力,明显优于其他 3 种泡排剂。

表 3 不同型号泡排剂抗甲醇能力对比表

名称	试验条件		罗氏泡沫高度/mm				15 min 携液量/mL
	甲醇含量	泡排剂浓度	0 s	30 s	3 min	5 min	
UT-11B	40%	0.5%	55	43	3	1	106.6
HY-5G	40%	0.5%	43	32	5	1	99.8
LYB-1	40%	0.5%	110	99	40	10	152.2
HY-3G	40%	0.5%	68	62	50	31	130.4

3 结 论

1)通过对 9 种单一表面活性剂起泡能力和携液能力的研究,筛选出 4 种起泡能力和携液能力较好的单一表面活性剂 L-1、L-2、铵盐和甜菜碱,通过正交设计实验方法确定泡排剂 LYB-1 的最佳质量配比为 L-1 : 铵盐 : 甜菜碱 : L-2= 5 : 3 : 3 : 8。

2)该泡排剂不但具有优良的缓蚀能力,而且与地层水配伍性良好。

3)通过对该泡排剂的耐温能力、抗凝析油能力及抗甲醇能力的研究与分析,充分说明了所研究出来的泡排剂具有良好的耐温能力、抗凝析油能力和较强的抗甲醇能力。

4)该泡排剂与现场应用较多的 UT-11B、HY-5G 和 HY-3G 泡排剂进行了抗甲醇能力对比,结果表明该泡排剂具有较强的抗甲醇能力,明显优于其他 3 种泡排剂。

参 考 文 献

[1] 杨川东.采气工程[M].北京:石油工业出版社,1997:119.
[2] 鄢友军,李农.新型抗高温高矿化度的泡沫排水剂[J].天然气勘探与开发,2003,26(4):26-31.
[3] 赖崇伟.新型抗油—抗盐起泡剂体系的研究[D].成都:四川大学,2007:17-18.
[4] 王显光,王琳,任立伟,等.新型阴—非离子型表面活性剂的泡沫性能[J].油田化学,2009,26(4):357-361.
[5] 彭年穗.气井泡沫排液起泡剂 CT5-2[J].天然气工业,1989,9(3):45-49.
[6] 陈伟章,徐国财,张建忠,等.阴离子表面活性剂溶液泡沫性能与静态力学模型研究[J].日用化学工业,2007,37(2):71-75.
[7] 李强,田喜军,周玉荣,等.子洲—米脂气田泡沫排水采气技术研究与应用[J].石油化工,2010,29(4):47-53.

(修改回稿日期 2011-03-30 编辑 韩晓渝)