

一种耐盐耐甲醇耐凝析油泡排剂的室内研究

白慧芳¹ 李颖川² 陈 勇³ 王小魏¹ 刘治彬¹

邓 琪¹ 石伟志¹ 石亮亮¹ 何乾伟¹

1. 西南石油大学石油与天然气工程学院, 四川 成都 610500;

2. 西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500;

3. 川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安 710000

摘 要:在天然气开采中后期,通常采用泡沫排水采气工艺来清除井底积液,但井筒积液具有较高矿化度,有时含有甲醇、凝析油等,都会影响泡排剂的性能。为了复配出性能更优的泡排剂,以6种常用的泡排剂为主剂,通过评价分析,优选2种泡排剂,确定最佳配比与浓度后,加入3种助剂,增加起泡高度以及半衰期,以改善泡排剂的起泡性能与稳定性能,最后对所复配出的泡排剂进行各项敏感性分析。最终,证明了所复配出的混合型泡排剂具有很好的耐盐性、耐温性、抗甲醇性以及抗凝析油性。

关键词:泡排剂;抗甲醇性;抗凝析油性;复配

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.02.013

0 前言

在天然气开采过程中,随着地层能量和产气量的降低,气井会逐渐在井底产生积液,严重时甚至会导致停产,因此要在井底积液威胁气井正常生产之前及时采用排水工艺,泡沫排水采气就是常用方法之一^[1-2]。其区别于其他排水采气方式的独特优势在于成本低、施工容易、收效快且不影响气井正常生产,特别是生产少量水的深井,泡排是非常经济的排水采气工艺。泡排的关键在于泡排剂的性能,即在一定的地层水矿化度、甲醇含量、凝析油含量及地层温度下,要求泡排剂有尽可能好的起泡能力、适中的泡沫稳定性和较高的携液量^[3-5]。本文通过室内实验研制出一种新型、高效,适用于高温、含高矿化度水的天然气井的泡排剂,以满足天然气开采需要。

1 实验部分

1.1 主要药剂与仪器

药剂:泡排剂 UT-11C、UT-12、UT-14,工业级,成

都孚吉科技有限公司;泡排剂 XHY-2、XHY-4 j、XHY-4 k,工业级,兴华科技有限公司;NaCl、Na₂SO₄、CaCl₂、MgCl₂ 盐类;十二烷基磺酸钠(AS)、十二烷基苯磺酸钠(ABS)、乙二胺四乙酸(EDTA)、三乙醇胺(TEA)、甲醇、凝析油等^[6-7]。

仪器:恒温水浴锅、Ross-Mils 泡沫仪、电子天平、烧杯、量筒等。

1.2 实验方法

实验按照 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稳定性能进行评价。

将 200 mL 泡排剂溶液从长 900 mm、内径 2.9 mm 的滴液管中流下,滴入 50 mL 同样温度和浓度的泡排剂溶液中,记录 200 mL 泡排剂溶液流完后不同时间的泡沫高度,记录泡沫高度下降一半时的时间。

表征起泡剂的起泡性能和稳定性能的参数分别为起泡高度和半衰期。起泡高度指 200 mL 泡排剂溶液流

收稿日期:2015-12-04

基金项目:国家科技重大专项课题“大牛地致密低渗气田特殊结构井渗流机理与采气工艺研究”(2011.ZX.05045-05-01)

作者简介:白慧芳(1990-),女,河南濮阳人,硕士研究生,主要从事泡沫排水采气工艺研究。

完时的泡沫高度。半衰期指泡沫高度下降一半时的时间^[4]。本实验中药剂浓度均为质量浓度,液体试剂含量均为体积含量。

2 实验结果与讨论

2.1 混合型泡排剂研究

2.1.1 主剂配比

为了研究单种泡排剂在地层水中的泡沫性能,在实验温度为 60 ℃ 时用倾注法测定了 UT-11 C、UT-12、UT-14、XHY-2、XHY-4 j 和 XHY-4 k 6 种泡排剂在矿化度为 10 g/L 的地层水中不同浓度时的起泡性能和稳定性能,进而记录每种泡排剂在起泡高度最高时的浓度和半衰期^[8-9],此时浓度为泡排剂的最佳浓度。实验表明,UT-11C、XHY-4 j 和 XHY-4 k 的起泡性能和稳定性能明显优于其他泡排剂,测试结果见表 1。

表 1 不同种类泡排剂最佳起泡性能和稳定性能对比

泡排剂种类	最佳浓度 / (%)	起泡高度 / mm	半衰期 / min
UT-11C	0.7	335	16
UT-12	0.4	300	12
UT-14	0.35	280	3
XHY-2	0.4	350	3.5
XHY-4 j	0.3	340	15
XHY-4 k	0.3	335	12

由上述实验可知,不同泡排剂的性能有较大差异。一般来说,随着泡排剂浓度的增加,起泡高度和稳定性能先增加后减小,存在一个性能最佳的浓度。从表 1 可知,UT-11C、XHY-4 j 和 XHY-4 k 的起泡性能和稳定性能明显高于其他泡排剂,同时 XHY-4 j 和 XHY-4 k 的最佳浓度较低。

为了获得性能更好的泡排剂,将 XHY-4 j 和 XHY-4 k 先后按照定浓度不同比例以及定比例不同浓度的方式进行实验。首先,确定泡排剂总浓度为 0.3 %,改变两种试剂比例,实验结果见图 1。然后,确定试剂比例,改变浓度,实验结果见图 2。

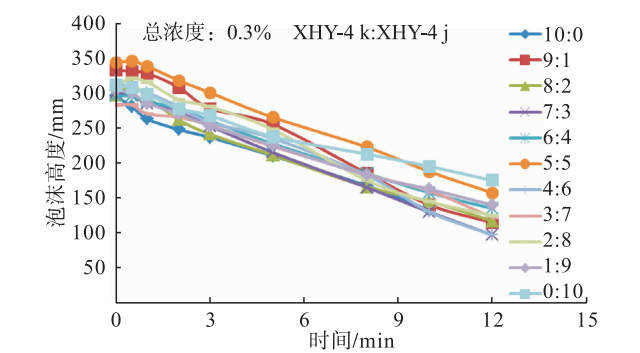


图 1 定浓度不同比例 XHY-4 j、XHY-4 k 性能

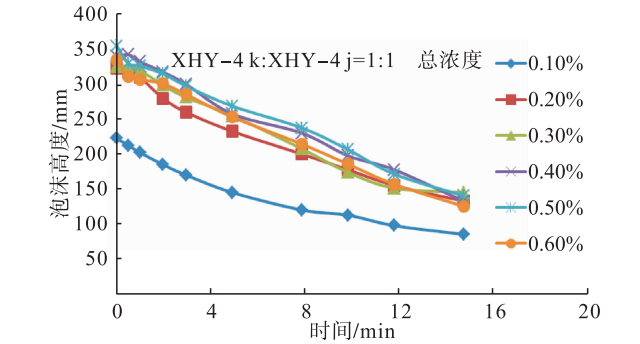


图 2 定比例不同浓度 XHY-4 j、XHY-4 k 性能

由图 1~2 可知,两种试剂比例不同其泡沫性质不同。当 XHY-4 k:XHY-4 j 为 1:1 并且总浓度为 0.5 % 时,混合泡排剂的起泡性能和稳定性能最好。

2.1.2 助剂优选

为了进一步获得起泡性能和稳定性能较好的泡排剂,可以在配方中加入适量的添加剂。本文选择 4 种添加剂(起泡剂十二烷基磺酸钠 AS、十二烷基苯磺酸钠 ABS,稳泡剂乙二胺四乙酸 EDTA、三乙醇胺 TEA),其中 AS 和 ABS 为阴离子表面活性剂,易溶于水,与其他试剂配伍性好,具有良好的乳化、发泡、渗透和分散性能,能够增强泡排剂的起泡性^[10-11]。EDTA 为钙镁离子掩蔽剂,可以减少地层水中钙镁离子对泡排剂的影响,能够增强泡排剂的稳定性。EDTA 是一种高黏度液体,加入后可进一步增强液膜强度,提高泡沫稳定性。

本文实验采用逐个加入的方式,改变助剂浓度确定最佳比例,所得实验结果见图 3,加入助剂后泡沫最佳性能见表 2。

表 2 不同助剂加入后泡沫性能

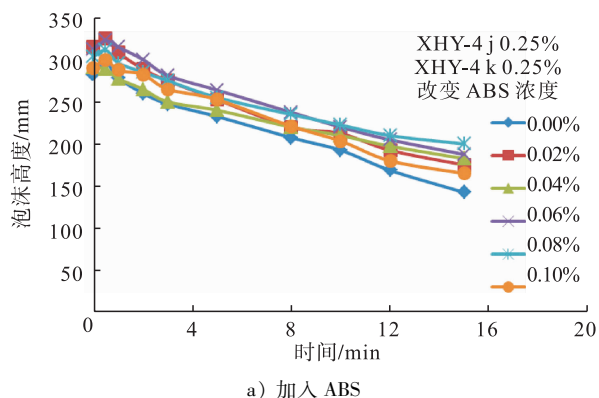
试剂种类	起泡高度 / mm	半衰期 / min
0.25 % XHY-4 k 0.25 % XHY-4 j	295	14.5
加入 0.02 % ABS	325	16
再加入 0.04 % AS	380	19
再加入 0.015 % EDTA	385	25.5
再加入 0.020 % TEA	350	24

由图 3 及表 2 可知,逐渐加入各种助剂能够很明显地提高泡排剂的起泡性能和稳定性能。其中,ABS 与 AS 能够增加起泡高度,最佳浓度分别为 0.02 %、0.04 %,EDTA 能够增强泡沫的稳定性,最佳浓度为 0.015 %,而加入少量 TEA 后试剂性能略微降低。

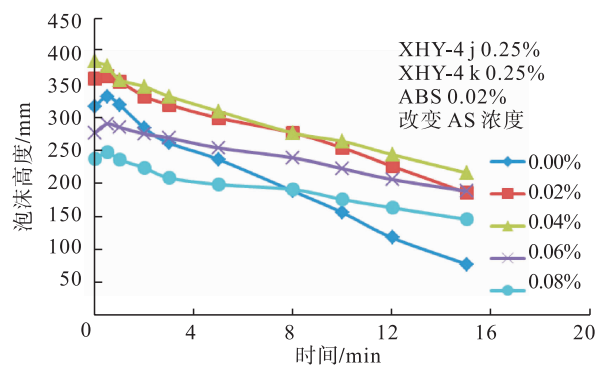
2.2 混合型泡排剂性能评价

现场应用泡排工艺的井往往是含有凝析油、甲醇等成分的生产井,同时伴随有高温、高压、高矿化度等特点,要求泡排剂具有一定的耐盐、耐温、抗甲醇和抗凝析

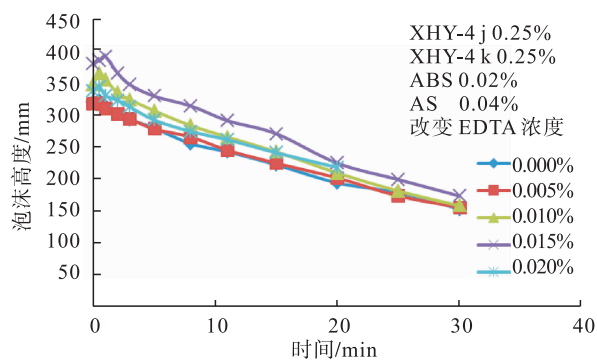
油能力。因此,需要对所配置的混合型泡排剂进行各种敏感性分析^[12-13]。



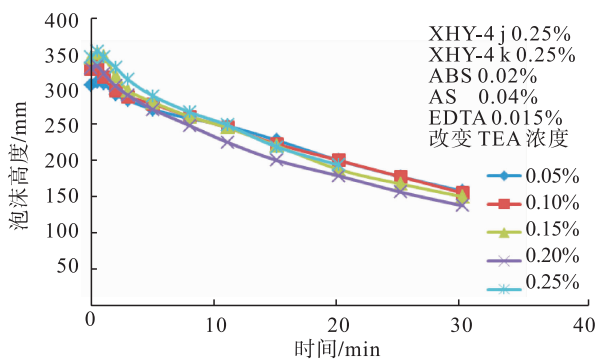
a) 加入 ABS



b) 加入 AS



c) 加入 EDTA



d) 加入 TEA

图3 不同助剂加入后泡沫高度随时间变化曲线

2.2.1 耐盐性能

地层水矿化度较高时,一些泡排剂的起泡能力和稳

泡能力会受到很大影响,尤其是阴离子表面活性剂可与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子发生反应产生沉淀^[14-15]。因此,本文实验测试了混合型泡排剂在不同矿化度下的起泡性能和稳定性能,结果见图4、表3。

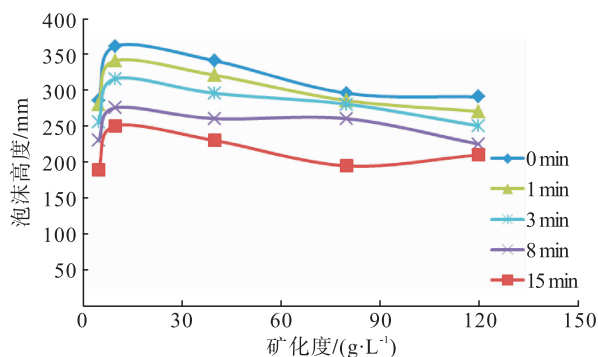


图4 不同矿化度含量混合型泡排剂泡沫高度随时间变化曲线

表3 不同矿化度时混合型泡排剂性能

泡排剂类型	矿化度 / ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	起泡高度 / mm	半衰期 / min
混合型泡排剂	5	285	30
	10	360	27.5
	40	340	30
	80	295	25
	120	290	35
XHY-4 j	10	340	15
XHY-4 k	10	335	12

由图4及表3可知,混合型泡排剂在很低矿化度时起泡性能略差,随着地层水矿化度的上升,起泡性能先上升后下降。总体来说,混合型泡排剂在任意矿化度地层水中的起泡性能都较好,且泡沫寿命较长。

2.2.2 耐温性能

温度对泡沫稳定性影响较大。当温度升高时,气泡中分子运动加剧,气体膨胀,液体蒸汽压力增加,导致液膜变薄。同时,温度升高也会使泡排剂黏度降低,泡沫稳定性下降,易破裂,导致泡排剂起泡能力降低,寿命变短^[16-17]。因此,本文测试了混合型泡排剂在不同温度时的起泡性能和稳定性能,结果见图5、表4。

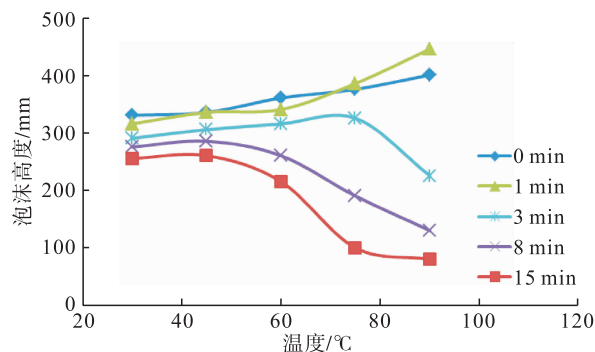


图5 不同温度泡沫高度随时间变化曲线

表 4 不同温度混合型泡排剂性能

泡排剂类型	温度 /℃	起泡高度 / mm	半衰期 / min
混合型泡排剂	30	330	40
	45	340	35
	60	360	22.5
	75	375	8
	90	400	4
XHY-4 j	60	340	15
XHY-4 k	60	335	12

由图 5 及表 4 可知,随着温度的升高,泡排剂的起泡性能逐渐增强,而稳定性能却逐渐减弱。随着温度的上升,起泡高度和 1 min 后泡沫高度一直上升,而 3 min、8 min 以及 15 min 后的泡沫高度先上升后下降。总之,该混合型泡排剂在任意温度下都能充分起泡,在小于或等于 75℃ 时泡沫寿命较长,携液时间充裕。

2.2.3 抗甲醇性能

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,但是甲醇的加入很大程度上会影响泡排剂的起泡效果及稳定性能^[18-19]。因此,测试了含有不同比例甲醇混合型泡排剂的起泡性能和稳定性能,甲醇体积分别为混合型泡排剂溶液的 10%、20%、30% 及 40%,结果见图 6、表 5。

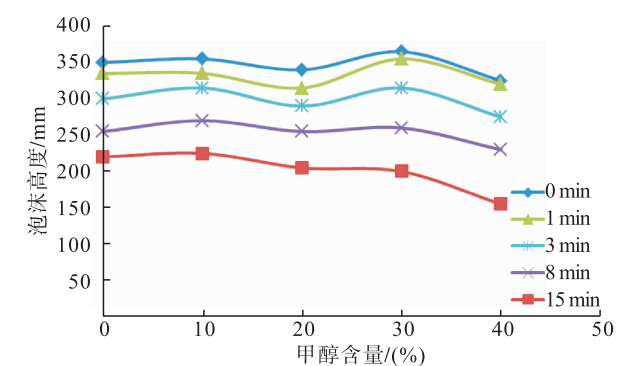


图 6 不同甲醇含量泡沫高度随时间变化曲线

表 5 不同甲醇含量混合型泡排剂性能

泡排剂类型	甲醇含量 / (%)	起泡高度 / mm	半衰期 / min
混合型泡排剂	0	350	26
	10	355	23
	20	340	20
	30	365	17.5
	40	335	15
XHY-4 j	20	280	10
XHY-4 k	20	325	12.5

由图 6 及表 5 可知,随着甲醇含量增加,泡排剂起泡高度小范围内波动变化,而半衰期缓慢缩短。其原因是甲醇分子不具备两亲分子的结构,在泡沫表面排列输送,形成液膜不稳定,更容易破裂,泡沫寿命降低。由此可知,甲醇含量多少对混合型泡排剂的起泡性能影响不大,却使泡沫稳定性降低,但在甲醇含量为 40% 时,半衰期为 15 min,携液时间充裕。

2.2.4 抗凝析油性能

凝析油会影响表面活性剂水溶液体系的性质,进而影响泡沫的生成。在天然气开采过程中,井底积液常常含有一定量的凝析油,会有消泡作用^[20-21]。因此测试了含有不同比例凝析油混合型泡排剂的起泡性能和稳定性能,凝析油体积分别为混合型泡排剂溶液的 10%、20%、30% 以及 40%,结果见图 7、表 6。

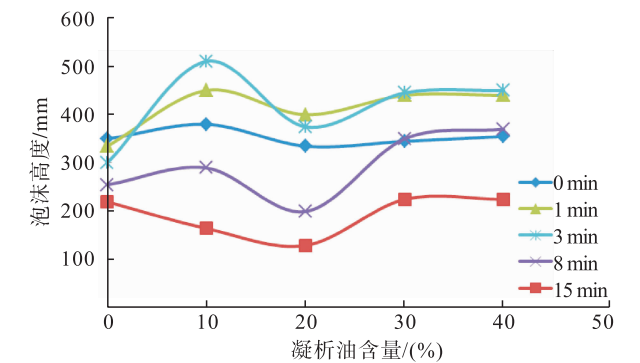


图 7 不同凝析油含量泡沫高度随时间变化曲线

表 6 不同凝析油含量混合型泡排剂性能

泡排剂类型	凝析油含量 / (%)	起泡高度 / mm	半衰期 / min
混合型泡排剂	0	350	26
	10	380	13.5
	20	335	10
	30	345	17.5
	40	355	20
XHY-4 j	20	315	3
XHY-4 k	20	340	3.5

从表 6 可知,随着凝析油含量的增加,泡排剂起泡高度小范围内波动变化,而半衰期先缩短再增长。从图 7 可知,凝析油的存在能够延缓泡沫的生成,滴液管中液体流完 3 min 后的泡沫高度最大,任意含量凝析油下产生的最高泡沫高度均高于不含凝析油下产生的泡沫高度。而泡沫半衰期随着凝析油含量的增加先缩短后增长,在较高凝析油含量下泡沫寿命较长,携液时间较为充裕。

3 结论

1) 利用倾注法, 采用正交实验方式, 通过主剂配比以及助剂不同加量研究, 确定混合型泡排剂的最佳配比为 0.25 % XHY-4 j、0.25 % XHY-4 k、0.02 % ABS、0.04 % AS 和 0.015 % EDTA。

2) 通过对泡排剂耐盐性、耐温性、抗甲醇性以及抗凝析油性的研究, 证明了所复配出的混合型泡排剂具有一定的耐盐性、耐温性、抗甲醇性以及抗凝析油性。

参考文献:

- [1] 杨川东. 采气工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 335-343.
Yang Chuandong. Gas Production Engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 335-343.
- [2] 春 兰, 魏文兴. 国内外排水采气工艺现状[J]. 吐哈油气, 2004, 9(3): 255-261.
Chun Lan, Wei Wenxing. Drainage Gas Recovery Technology Status Domestic and Overseas [J]. Tuha Oil & Gas, 2004, 9(3): 255-261.
- [3] 彭年穗. 气井泡沫排液中的起泡剂 CT 5-2[J]. 天然气工业, 1989, 9(3): 45-49.
Peng Nianhui. CT 5-2 Foaming Agent for Fluid Withdrawal By Foam from Gas Wells [J]. Natural Gas Industry, 1989, 9(3): 45-49.
- [4] 李世伦. 天然气工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 314-353.
Li Shilun. Natural Gas Engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 314-353.
- [5] 何顺利, 顾岱鸿, 田树宝, 等. 国外油气勘探开发新进展丛书(六) 气井排水采气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 93-99.
He Shunli, Gu Daihong, Tian Shubao, et al. New Progress in Series of Foreign Oil and Gas Exploration and Development-Gas Drainage Gas Recovery [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 93-99.
- [6] 巫 扬, 刘世常. 气井泡沫排水起泡剂的研究与应用[J]. 天然气技术, 2007, 1(2): 46-48.
Wu Yang, Liu Shichang. The Research and Application of Foam Drainage Foaming Agent in Natural Gas Well [J]. Natural Gas Technology, 2007, 1(2): 46-48.
- [7] 赵国玺. 表面活性剂物理化学(修订版)[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991: 419-420.
Zhao Guoxi. Physico-Chemistry of Surfactants (Revised Version) [M]. Beijing: University Press, 1991: 419-420.
- [8] 廖久明, 杨 敏. 抗温耐盐耐油泡排剂的室内研究[J]. 石油与天然气化工, 2006, 35(1): 60-62.
Liao Jiuming, Yang Min. The Indoor Study of Temperature Resistance, Salt Resistance and Oil Resistance Foam Agent [J]. Oil and Natural Gas Chemical Industry, 2006, 35(1): 60-62.
- [9] 张新庄, 高 新, 李稳宏, 等. 天然气井用泡沫排水剂的筛选及应用研究[J]. 精细化工, 2009, 26(12): 1230-1234.
Zhang Xin Zhuang, Gao Xin, Li Wenhong, et al. Selection and Application Research of Foam in Agent Gas Wells [J]. Fine Chemistry, 2009, 26(12): 1230-1234.
- [10] 李谦定, 卢永斌, 李善建, 等. 新型高效泡排剂 LYB-1 的研制及其性能评价[J]. 天然气工业, 2011, 31(6): 49-52.
Li Qianding, Lu Yongbin, Li Shanjian, et al. Development and Performance Evaluation of a New Efficient Foam Discharging Agent LYB-1 [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(6): 49-52.
- [11] 马华成. 一种高温泡排剂的实验室评价[J]. 精细石油化工进展, 2007, 12(8): 37-39.
Ma Huacheng. Lab Evaluation of a High Temperature Foam Agent [J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2007, 12(8): 37-39.
- [12] 蒋庆哲, 宋昭峥, 赵密福, 等. 表面活性剂科学与应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2006: 297.
Jiang Qingzhe, Song Zhaozheng, Zhao Mifu, et al. The Surfactant Science and Application [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2006: 297.
- [13] 王 柳, 付善勇, 徐 境. 毛细管加注泡沫排水采气新技术[J]. 海洋石油, 2009, 20(3): 63-65.
Wang Liu, Fu Shanyong, Xu Jing. A New Technology of Dewatering Gas Lift by Bubble Through Capillary [J]. Offshore Oil, 2009, 20(3): 63-65.
- [14] 蒋泽银, 唐永帆, 石晓松, 等. 中 21 井泡沫排水技术研究及效果评价[J]. 天然气工业, 2006, 26(7): 97-99.
Jiang Zeyin, Tang Yongfan, Shi Xiaosong, et al. Foam Drainage Technology Research and the Effect Evaluation of Zhong 21 Well [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(7): 97-99.
- [15] 周效全, 龙顺敏. 出水气井泡沫排水采气化学剂的应用技术[J]. 天然气技术, 2007, 1(5): 43-45.
Zhou Xiaoquan, Long Shunmin. Application Technology of Chemical Additives Used for Foam Drainage Gas Recovery in Water-bearing Gas Well [J]. Natural Gas Technology, 2007, 1(5): 43-45.
- [16] Yang J, Jovancicevic V, Ramachandran S. Foam for Gas Well Deliquification [J]. Colloids Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2007, 309(1-3): 177-181.

- [17] 刘竞成, 杨敏, 袁福锋. 新型气井泡排剂 SP 的起泡性能研究[J]. 油田化学, 2008, 25(2): 111-114.
- Liu Jingcheng, Yang Min, Yuan Fufeng. Foam Properties of New Foaming Composition SP for Bottom Liquid Withdrawal from Gas Production Wells [J]. Oilfield Chemistry, 2008, 25(2): 111-114.
- [18] 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.
- Lai Chongwei. Research of a New Foaming Agent System with Salt-resistance and Oil-resistance [D]. Chengdu: Sichuan University, 2007: 17-18.
- [19] 胡世强, 刘建仪, 刘建华, 等. 凝析气井泡排剂 LH-1 的泡沫性能研究与应用[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(2): 44-48.
- Hu Shiqiang, Liu Jianyi, Liu Jianhua, et al. Foam Performance Study and Application of the Foaming Agent Lh-1 in Condensate Gas Well [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(2): 44-48.
- [20] 费海虹. 盐城气田泡沫排水采气用起泡剂的室内实验筛选[J]. 油田化学, 2006, 23(4): 329-333.
- Fei Haihong. Laboratory Experimental Screening of Foaming Agent for Gas Well Production with Water Foaming and Withdrawing in Yancheng [T]. Oilfield Chemistry, 2006, 23(4): 329-333.
- [21] 李农, 赵立强, 缪海燕, 等. 深井耐高温泡排剂研制及实验评价方法[J]. 天然气工业, 2012, 32(12): 55-57.
- Li Nong, Zhao Liqiang, Miao Haiyan, et al. Research & Development of a Heat-Resistant Foaming Agent for Deep Wells and Its Experimental Evaluation Methods [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12): 55-57.

能源互联网建设锁定十大重点先期开展试点示范

由国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部联合制定的《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》(以下简称《意见》), 日前发布。《意见》提出, 能源互联网建设近中期将分为两个阶段推进, 先期开展试点示范, 后续进行推广应用, 并明确了 10 大重点任务。

《意见》明确了能源互联网建设目标: 2016~2018 年, 着力推进能源互联网试点示范工作, 建成一批不同类型、不同规模的试点示范项目; 2019~2025 年, 着力推进能源互联网多元化、规模化发展, 初步建成能源互联网产业体系, 形成较为完备的技术及标准体系并推动实现国际化。

《意见》明确了能源互联网建设 10 大重点任务: 一是推动建设智能化能源生产消费基础设施。鼓励建设智能风电场、智能光伏电站等设施; 鼓励煤、油、气开采加工及利用全链条智能化改造, 实现化石能源绿色、清洁和高效生产; 鼓励建设以智能终端和能源灵活交易为主要特征的智能家居等。二是加强多能协同综合能源网络建设。推动不同能源网络接口设施的标准化、模块化建设, 大幅提升可再生能源、分布式能源及多元化负荷的接纳能力。三是推动能源与信息通信基础设施深度融合。促进智能终端及接入设施的普及应用, 促进水、气、热、电的远程自动集采集抄, 实现多表合一。四是营造开放共享的能源互联网生态体系, 培育售电商、综合能源运营商和第三方增值服务供应商等新型市场主体。五是发展储能和电动汽车应用新模式。积极开展电动汽车智能充放电业务, 探索电动汽车利用互联网平台参与能源直接交易、电力需求响应等新模式。六是发展智慧用能新模式。建设面向智能家居、智能楼宇、智能小区、智能工厂的能源综合服务中心, 通过实时交易引导能源的生产消费行为, 实现分布式能源生产、消费一体化。七是培育绿色能源灵活交易市场模式。建设基于互联网的绿色能源灵活交易平台, 支持风电、光伏、水电等绿色低碳能源与电力用户之间实现直接交易; 构建可再生能源实时补贴机制。八是发展能源大数据服务应用。实施能源领域的国家大数据战略, 拓展能源大数据采集范围。九是推动能源互联网的关键技术攻关。支持直流电网、先进储能、能源转换、需求侧管理等关键技术、产品及设备的研发和应用。十是建设国际领先的能源互联网标准体系。

(曾妍 摘自中国石油新闻中心网)