低压、小产气井自生气药剂泡沫排水技术及其应用

熊　颖[1]　刘　爽[1]　龙顺敏[1]　雷英全[2]　李大鹏[3]
1.中国石油西南油气田公司天然气研究院　2.中国石油川庆钻探工程公司
3.中国石油西南油气田公司川中油气矿

熊颖等.低压、小产气井自生气药剂泡沫排水技术及其应用.天然气工业,2013,33(5):61-64.

摘　要　针对四川盆地中部地区上三叠统须家河组气藏低压、小产气井积液后排液困难的问题,将井下化学产气技术与起泡剂排水技术复合应用,利用自生气药剂的产气作用使井底压力达到起泡剂排水所需启动压力,并使起泡剂与积液快速、充分混合,改善了气井排水能力,形成了适合低压、小产气井的自生气药剂泡沫排水技术。采用多种产气物质复配物作为自生气药剂,其产气量最高可达 160 mL/g,抗盐能力可达 200 g/L。高温、低 pH 值有利于自生气药剂产气反应的进行,现场可以通过调节 pH 值来控制自生气药剂的产气量;采用一种两性离子表面活性剂作为起泡剂,在70℃、10% 凝析油条件下,起泡能力可达 109 mm,携液能力可达 135 mL。现场应用表明,2 口低压、小产气井采用自生气药剂泡沫排水技术获得了成功,快速将积液排除,提高了日产气量和产水量,转入普通泡沫排水作业后能维持正常排水生产。该排水技术为积液气井的排水作业提供了一种新方法。

关键词　自生气药剂　泡沫排水　积液　低压　起泡剂　四川盆地　中　晚三叠世
DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.05.011

Foam drainage technology by use of a self-foaming agent and its application in low-pressure and low-yield gas wells

Xiong Ying[1], Liu Shuang[1], Long Shunmin[1], Lei Yingquan[2], Li Dapeng[3]
(1. *Research Institute of Gas Production Engineering, Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan* 610213, *China*; 2. *Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Chengdu, Sichuan* 610051, *China*; 3. *Chuanzhong Division of Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Suining, Sichuan* 629000, *China*)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 5, pp.61-64, 5/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The drainage of accumulated fluids is a difficult problem for low-pressure and low-yield gas reservoirs of the upper Triassic Xujiahe Formation in the Sichuan Basin. In view of this, a composite technology is applied combining the technologies of downhole chemical gas generation and the foaming agent drainage. The gas generated from the self-foaming agent is used to make the downhole pressure up to the starting pressure as required by the foaming agent drainage; the foaming agent can be mixed with the accumulated fluids rapidly and completely, thus to improve the drainage capacity and to complete a process of self-generating drainage for low-pressure and low-yield gas wells. The self-foaming agent is a compound of multiple gas-producing substances, with a maximum gas output of 160 mL/g and salt tolerance of 200 g/L. Besides, high temperature and low pH value facilitate its gas production. Therefore, pH value can be adjusted on site to achieve a higher yield of this gas agent. In addition, a zwitterionic surfactant is used as the foaming agent; its foaming ability and liquid carrying capability can reach 109 mm and 135 mL respectively under the condition of 70℃ and 10% condensate oil. In case histories, the self-foaming drainage technology has been successfully implemented in 2 low-pressure and low-yield gas wells. The accumulated fluids were drained so quickly that daily gas output and water output were both increased. Moreover, normal drainage and production were also able to be maintained after the production was switched to regular foaming drainage operation. In conclusion, this technology provides a new method for water drainage of the gas wells with accumulated fluids.

Key words: self-foaming agent, foam drainage, accumulated fluid, low-pressure, foaming agent, Sichuan Basin, Mid-Late Triassic

作者简介:熊颖,1981 年生,工程师,博士;主要从事油气田开发方面的工作液(剂)研究工作。地址:(610213)四川省成都市华阳中国石油西南油气田公司天然气研究院。电话:(028)85604526。E-mail:xiong_y@petrochina.com.cn

四川盆地中部地区上三叠统须家河组气藏存在许多低压、小产气井，井底积液已严重影响到这类气井的生产[1-3]。由于气举、优选管柱、柱塞气举、机抽和毛细管等排水方式的作业成本较高，不适合这类低压、小产气井的排水作业。笔者采用自生气药剂泡沫排水技术来解决低压、小产气井的积液问题，将井下化学产气技术与起泡剂排水技术结合起来，利用自生气药剂的产气、增能作用来改善该类气井的排水效果。

1 自生气药剂泡沫排水技术基本原理

自生气药剂泡沫排水技术将井下化学产气技术与起泡剂排水技术复合运用，向井下注入自生气药剂和起泡剂，将井底积液转化为低密度泡沫，并随气流举升出井筒[4]。一方面，自生气药剂在井底条件下产生气体，释放热量，使得气井的井底压力增大，达到起泡剂排水所需启动压力；另一方面，由于自生气药剂与起泡剂混合注入，产生的气体使得起泡剂被快速推入油管中，与积液充分混合，利于积液转化为泡沫。此外，自生气药剂产气时释放出的热量可以溶解油套环空和井底的部分污物，使其在泡沫的包裹下被携带至地面。采用自生气药剂泡沫排水技术将井底积液排除后，气井生产状况得到改善，再转换为普通泡沫排水作业，可维持气井正常排水生产。

2 自生气药剂的研制及排水模拟实验

2.1 自生气药剂的研究

油气田用自生气药剂主要有氧化还原反应物质、碳酸盐分解物质和含氮有机物分解物质等。已报道的自生气药剂泡沫排水技术主要采用 $NH_4Cl+NaNO_2$、$CO(NH_2)_2+NaClO+NaOH$ 以及一些受热分解物质产生气体[4-5]。这些药剂的产气量较小，通常需要注入大量药剂才能产生足够的气体来增大井底压力。

笔者采用多种产气物质进行复配，调配出了一种产气量较大的自生气药剂，用量 10 g、环境温度 70 ℃情况下的产气性能是：3 min 为 304 mL，5 min 为 513 mL，10 min 为 765 mL，20 min 为 972 mL，30 min 为 1 113 mL，60 min 为 1 362 mL，90 min 为 1 503 mL，120 min 为 1 563 mL，180 min 为 1 623 mL。可以看出，自生气药剂具有良好的产气性能，180 min 后的产气量可达 160 mL/g。反应初始，自生气药剂的产气速率快，反应 90 min 后，产气反应趋于稳定。

2.2 自生气药剂产气性能影响因素

2.2.1 井底温度

由于井底温度差异大，而自生气药剂产气反应属于放热反应。因此笔者考察了井底温度对自生气药剂产气性能的影响，实验结果见图 1。

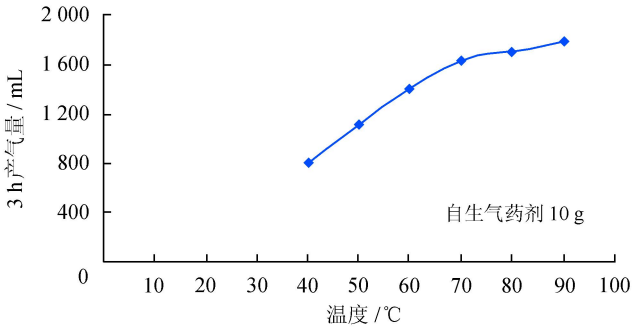

图 1 井底温度对自生气药剂产气性能的影响图

从图 1 可以看出，随着温度的上升，自生气药剂的产气量逐渐上升；当温度升至 70 ℃后，产气量较大，继续增大温度，产气量的增大幅度趋缓。川中须家河组气藏的地层温度一般为70 ℃，因此自生气药剂在井底条件下可产生大量气体。

2.2.2 积液 pH 值

井底积液的 pH 值受各种腐蚀介质、入井液体的影响而不同。自生气药剂在水中显微弱酸性，与井底积液混合后 pH 值发生变化，从而对产气反应造成影响。笔者采用无机酸碱调节积液的 pH 值，考察了积液 pH 值对自生气药剂产气性能的影响，实验结果见图 2。

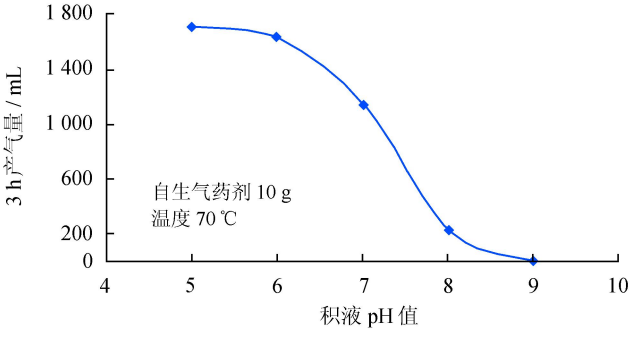

图 2 积液 pH 值对自生气药剂产气性能的影响图

从图 2 可以看出，积液 pH 值对自生气药剂产气性能的影响较大，酸性条件有利于药剂产气，可以利用这一特性来控制自生气药剂的产气反应。

2.2.3 积液矿化度

积液中含有大量盐类，矿化度对各种入井工作液的性能有较大影响。通过室内模拟不同矿化度的积液，考察了积液矿化度对自生气药剂产气性能的影响，实验结果见图 3。

从图 3 可以看出，积液矿化度对自生气药剂的产气性能无明显影响，表明自生气药剂具有良好的抗盐

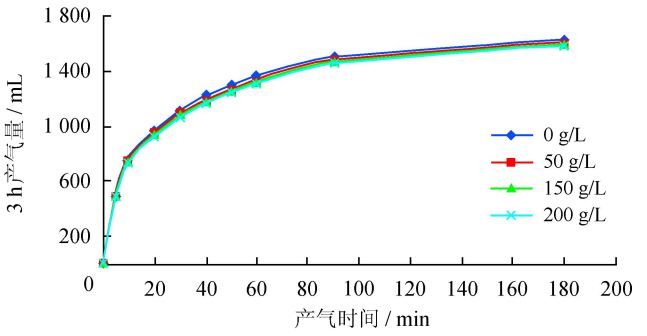

图 3　积液矿化度对自生气药剂产气性能的影响图

能力,可在各种含盐地层水中应用。

2.3　配套起泡剂性能

自生气药剂泡沫排水技术将积液转化为泡沫举升过程中,除需要自生气药剂产气外,还需要能使积液形成较稳定泡沫的起泡剂。川中须家河组气藏属于凝析气藏,许多气井积液中含有凝析油(目前该地区低压、小产积液气井的凝析油含量通常小于 10%)。凝析油对泡沫具有较强的消泡作用,可降低起泡剂的泡沫排水性能。笔者采用一种分子主碳链较长的两性离子表面活性剂作为自生气排水用起泡剂,对其表面活性和泡沫排水性能进行了评价,实验结果见表 1、2。评价方法参照石油天然气行业标准 SY/T 5761—1995“排水采气用起泡剂 CT5-2”进行[6]。

表 1　起泡剂在地层水中的表面活性表

水样	起泡剂浓度	表面张力/(mN·m^{-1})	界面张力/(mN·m^{-1})
川中须家河组	0	59.8	31.7
	2.5‰	33.8	1.6

表 2　起泡剂在地层水中的泡沫排水性能表

模拟积液		起泡剂用量	温度/℃	起泡能力/mm	携液能力/mL
须家河组地层水用量	凝析油用量				
100%	0	1.0‰	70	150	137
95%	5%	1.5‰	70	103	133
90%	10%	2.0‰	70	109	135

从表 1 可以看出,川中须家河组气藏地层水的表、界面张力较高,不利于泡沫产生。加入起泡剂后,其表、界面张力大幅降低,有利于克服表面能做功,使得起泡容易。

从表 2 可以看出,在 70 ℃、无凝析油条件下,该起泡剂的起泡能力可达 150 mm,携液能力可达 137 mL,表现出良好的泡沫排水性能;在70 ℃、含 10% 凝析油条件下,通过增大起泡剂的用量可使其起泡能力达到 109 mm,携液能力达到 135 mL,表明起泡剂具有较好的抗凝析油能力。该起泡剂的分子主碳链较长,使得产生的泡沫液膜具有一定黏度,液膜强度高,因此抗凝析油能力较好。考虑到川中须家河组气藏积液中凝析油含量的不确定性,笔者将自生气排水的起泡剂用量确定为 2.0‰。

2.4　自生气排水模拟实验

采用自生气药剂和起泡剂进行自生气排水模拟实验,考察了自生气药剂用量对模拟排液能力的影响。模拟实验参照起泡剂携液能力测定方法进行,不采用氮气鼓气发泡,利用自生气药剂产生的气体进行发泡,并以携液率表征模拟排液能力。

从图 4 可以看出,随着自生气药剂用量的增大,模拟排液能力逐渐上升。当自生气药剂用量增大到 25% 后,其携液率可达 65% ,继续增大其用量对模拟排液能力的影响较小。因此,确定采用 25% 的自生气药剂来开展自生气排水现场实验。

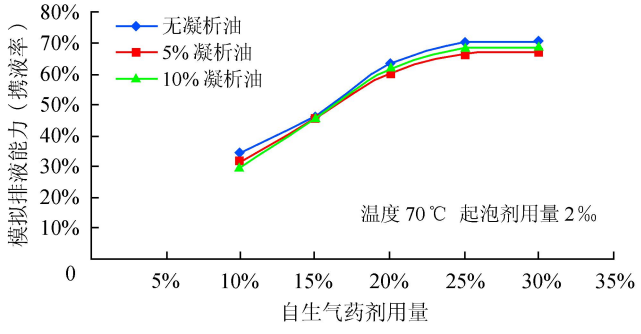

图 4　自生气排水模拟实验情况图

3　现场实验

3.1　低压连开气井

X1 井为川中须家河组气藏 1 口低压连开气井,井底温度约70 ℃。施工前,该井产气 2 100 m^3/d,产水 2 m^3/d,油套压差较大(5.7 MPa)。

2010 年,采用普通泡沫排水技术作业,未取得明显排水效果。2011 年 10 月,采用自生气药剂泡沫排水技术对该井进行排水作业。自生气药剂和起泡剂混合溶液采用泡排车由油套环空注入井底,注入 3 h 后井底积液开始被排出,首日产气量升至 8 898 m^3,后续 3 日产气量为 4 300～6 500 m^3/d,产水量 5～6 m^3/d,油套压差减小至 3.8 MPa,转入普通泡沫排水作业后,产气量为 3 200～4 300 m^3/d,产水量约 3 m^3/d,能长时间维持排水生产。图 5 为 X1 井施工前后生产情况对比。

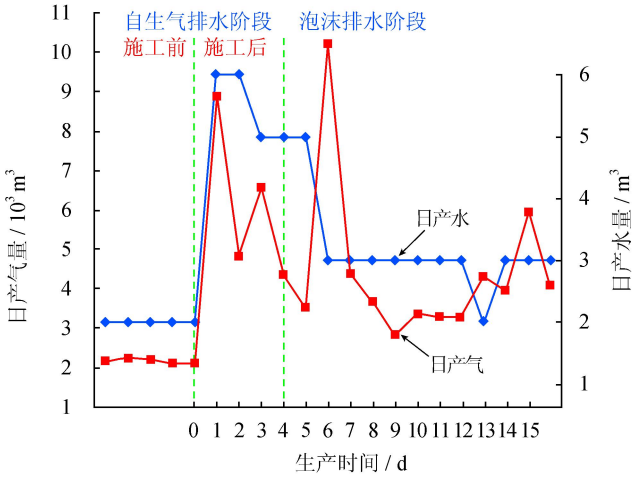

图 5 X1 井施工前后生产情况对比图

3.2 低压间开气井

X2 井为川中须家河气藏 1 口低压间开气井，井底温度约70 ℃。施工前，该井开 2 d 关 1 d，开井时产气 200～5 000 m^3/d，产水 1～3 m^3，油套压差较大(4.5 MPa)。

2010 年，采用普通泡沫排水技术作业，未排出井底积液。2011 年 11 月，采用自生气药剂泡沫排水技术对该井进行排水作业。施工后，井底积液被快速排除，首日产气约 5 000 m^3，产水 8 m^3，后续 2 日产气 5 000 m^3/d，产水 6～8 m^3/d，油套压差减小至 1.8～3.0 MPa，转入普通泡沫排水作业后，产气约 5 000 m^3/d，产水 5～6 m^3/d，能连续稳定生产 6 d，关井 1 d 后，采用泡沫排水技术又能连续生产 6 d(未采用自生气排水作业前，泡沫排水无效)。图 6 为 X2 井施工前后生产情况对比。

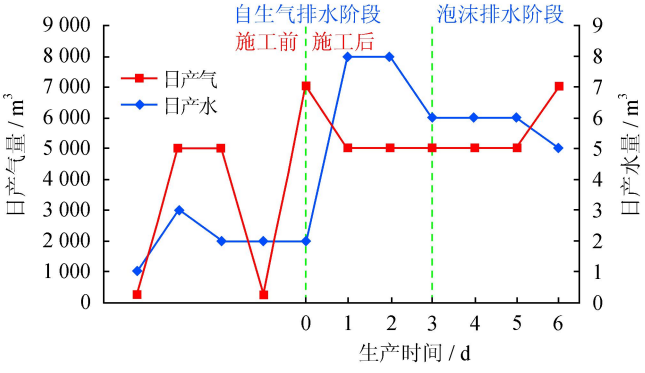

图 6 X2 井施工前后生产情况对比图

4 结论

1)将井下化学产气技术与起泡剂排水技术复合应用，利用自生气药剂的产气、增能作用，开发出了适合低压、小产气井的自生气药剂泡沫排水技术及配套药剂。

2)与气举、电潜泵、柱塞式气举等机械排水方式相比，该技术具有成本低、工艺简单等特点，且注入设备与普通泡沫排水技术相同，不增加设备投入。

3)在川中须家河组气藏低压连开井、低压间开井中的成功应用，表明该技术适用于这类气井的排水作业，有助于积液气井生产状况的改善，稳定有水气田生产。

参 考 文 献

[1] 熊颖，贾静，刘爽，等.抗高温泡沫排水用起泡剂的研究与性能评价[J].石油与天然气化工，2012，41(3)：308-310.
XIONG Ying，JIA Jing，LIU Shuang，et al.Research and performance evaluation of a high temperature resistant forming agent for drainage[J].Chemical Engineering of Oil & Gas，2012，41(3)：308-310.

[2] 聂翠平，蒲春生，张荣军，等.板桥凝析油气田排液采气工艺技术研究及其应用[J].天然气工业，2005，25(6)：83-86.
NIE Cuiping，PU Chunsheng，ZHANG Rongjun，et al.Study and application of techniques for gas recovery by liquid drainage in Banqiao condensate oil/gas field[J]. Natural Gas Industry，2005，25(6)：83-86.

[3] 汤勇，杜志敏，孙雷，等.解除低渗凝析气井近井污染研究现状及进展[J].天然气工业，2007，27(6)：88-91.
TANG Yong，DU Zhimin，SUN Lei，et al.Current status and future development of the study on removal of near-well bore damage in low-permeability gas condensate wells [J].Natural Gas Industry，2007，27(6)：88-91.

[4] 倪军.自动发泡液体系的研究及在油气开采中的应用[D].成都：西南石油学院，2002.
NI Jun.The research and application of self-foam foaming liquid systems in the oil and gas extraction[D].Chengdu：Southwest Petroleum Institute，2002.

[5] 吴文刚，熊颖，王君，等.自生气发泡液体系研究与应用[J].油田化学，2007，24(2)：106-108.
WU Wengang，XIONG Ying，WANG Jun，et al.A self-foaming solution for bottom liquid removal in gas wells[J].Oilfield Chemistry，2007，24(2)：106-108.

[6] 中国石油天然气总公司.SY/T 5761-1995 排水采气用起泡剂 CT5-2[S].北京：中国石油天然气总公司，1996.
CNPC.SY/T 5761-1995 The foam agent of deliquification and gas production CT5-2[S].Beijing：China National Petroleum Corporation，1996.

(修改回稿日期 2013-03-08 编辑 韩晓渝)