

油田压裂用暂堵剂技术

马如然 刘音 常青

中国石油集团渤海钻探工程技术研究院,天津 300280

摘要:随着高含水、低渗透油田开发的不断深入,对油层压裂技术的要求越来越高,施工难度越来越大。暂堵剂技术是在一定条件下向目的层中泵入暂堵剂,利用层内渗透率的差异,而改变原有液体的流入方向,达到产生新裂缝的目的。在需要增产的地层中使用暂堵剂技术可以降低压裂施工难度、减少分段工具的使用数量,还能够提高单位井段的改造效率,即在段内压出两条以上的裂缝,或使裂缝转向。该技术在提高单井产量的同时,有效降低压裂成本。

关键词:暂堵剂;压裂;增产措施;酸压

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2013.06.022

0 前言

我国低渗透油田石油地质储量丰富,其资源量约占全国石油总资源量的30%,在已探明储量中,低渗透油藏的比例约占全国储量的2/3以上,开发潜力巨大^[1]。大多数低渗透储层在压裂改造后虽增产幅度较大,但产量仍然不高。近些年,各大油田均在压裂施工中采用段内多裂缝技术或是裂缝转向技术,加大对低渗储层的改造力度,将储层产量最大化。此项技术中起决定性作用的一类试剂即为暂堵剂。

暂堵剂,又称转向剂(diverting agent),是一种广泛应用于油田生产中的处理剂,现已成熟应用于现场施工作业中,包括:钻井^[2]、增产措施、固井^[3]、修井^[4]、洗井^[5]等。早在1936年就有学者提出了将水溶/油溶性的CaCl₂盐作为暂堵剂应用于油田作业中^[6]的方法,解决了早期压裂中传统分段转向技术设备量大、生产费用高、作业效率低等缺陷^[7]。近年研究的适用于油田压裂的暂堵剂为:惰性有机树脂、固体有机酸(如美国使用的安息香酸)、遇酸溶胀的聚合物、惰性固体(硅粉、碳酸钙粉、岩盐、油溶性树脂、封堵小球)等^[8],其中使用最广泛的为聚合物和封堵小球。聚合物型暂堵剂得益于其牢固的化学交联网络结构,封堵效果良好。它分为地下交联型和地面一次交联型。地下交联型暂堵剂存在的问题有:小剂量达不到

所需压力,大剂量对地层造成新的伤害;虽可形成滤饼,但地下反应不稳定,达不到所需强度。地面一次交联的暂堵剂存在的问题有:黏度大、强度大,在地下很难形成滤饼,封堵效果不好,压裂液滤失量大。封堵小球的优点是封堵强度高,不易变形;但缺点是易脱落,如果嵌在炮眼处形成堵塞,还会因其不能自溶而难以解除。

1 新型暂堵剂类型

1.1 压裂酸化

压裂酸化是提高低渗透油田勘探开发水平的重要措施之一。目前,压裂酸化目的层日益复杂,因此对所需的暂堵剂要求越来越高。在压裂酸化施工中所使用的暂堵剂不但需要具有一定的抗压强度、韧性,还需具有一定的酸溶性和水溶性,使其最终可以返排出地层。

臧海宏^[9]等制备了一种水溶性压裂酸化暂堵剂,它由骨胶、磺化沥青、胍胶组成,在含水50%以上的油水混合溶液中溶解度大于90%,抗压能力达到22 MPa。此类暂堵剂不仅拥有优良的水溶性,对储层不造成污染,还对同层封堵也有着其它封堵技术不可替代的作用。相比较原有的发明专利,如CN1053631A,这种水溶性压裂酸化暂堵剂的封堵强度更高,且溶解速度更快,既可用于油井又可用于水井的压裂酸化施工。

收稿日期:2013-08-13

作者简介:马如然(1987-),女,天津人,助理工程师,硕士,主要从事压裂技术工作。

王稳桃^[10]等制备了一种酸化压裂暂堵剂,着重应用于油田深层长井段、跨度大的储层压裂与酸化作业。这种暂堵剂由树脂、地蜡、碳酸钙等组成,封堵率在96%以上,酸溶率98%以上,暂堵强度达50 MPa,可有效满足碳酸盐储层长井段压裂酸化暂堵分流,提高长井段的压裂酸化成功率。

张军^[11]等通过对原有专利产品的研究及改进,制备了一种油气储层裂缝暂堵剂。此类暂堵剂由超细碳酸钙、植物纤维、氧化沥青组成,对裂缝的暂堵率达99%以上,压裂和酸化反排率达80%以上,暂堵范围宽,且在暂堵结束后,用射孔和酸化可将其解除,弥补了原有暂堵剂存在的压裂酸化后不能自动解堵的缺陷。

李国锋^[12]等对ZD-10暂堵剂进行了研究,这类暂堵剂主要应用于深层、高温、长井段气层。它是在沸腾式制粒干燥机中,通过雾化喷涂作用,制备一种类似于微胶囊类型的微细固体颗粒,其外包装材料是石油树脂和地蜡的复合物,而内部材料是酸溶性组分碳酸钙和水溶性组分无机盐组成的固体颗粒。该暂堵剂已经成功应用于普光气田,封堵率达到99%。此项研究同样还解决了暂堵剂不能解堵的缺陷,在地层温度下依靠返排液中的残酸对暂堵剂进行溶解的效率能达到99%。

1.2 自清洁

能够产生物理阻碍的暂堵剂一般分为可降解类和不可降解类,许多商业上广泛使用的球型封堵小球或是实心固体材料或是拥有一层坚固的固体外壳。射孔球密封材料为组成封堵小球的不可降解材料,它在使用中还存在一定的条件限制,只适用于有套管、且有射孔井眼的措施井,对于裸眼完井或用割缝衬管完井后的措施井并不适用^[3]。可降解材料封堵小球在压裂施工后,可从井口回收或在处理间隙排出井口,减少了施工难度、时间和资金。

Fulton^[3]等合成了一种可降解的暂堵剂。其暂堵材料是一种混合物,原料有脂肪醇、酯、蛋白质等。在配制暂堵剂时,还需加入增塑剂和脱水混合物来保证整体材料的性能。此类暂堵剂不仅具有良好的封堵性能,还具有一定的降滤失性能。

Surjaatmadja^[6]合成了一种包含可降解材料的暂堵剂,并研究了压裂液体系以及使用方法。此类压裂液的配方为:可降解的暂堵剂、基液、增稠剂、其他添加剂等。

Fu Diankui^[13]合成了一种自清洁的压井液,此压井液体系的使用方法和工作原理同样适用于压裂施工,在未来的工作中可将其引入到压裂施工中。采用VES压裂液体系作为基液、聚乳酸颗粒作为主要暂堵材料,在需要封堵的地层形成段塞来降低封堵层的渗透率。当施工结束后,聚乳酸颗粒降解释放酸液使VES破胶排出地层,此

过程较为环保。

清洁类暂堵剂对其自清理能力要求较高,Reddy^[14]等对于聚乳酸类暂堵剂自清理能力进行了深入的研究。聚乳酸暂堵剂在使用时需要添加降解加速剂缩短降解时间,常用的加速剂分为四类:乙二胺类、乙醇胺类、多胺类和聚胺类。乙醇胺类加速剂对其降解速率能起到一定的作用,研究表明,无结晶态的聚乳酸降解速度是最快的。

Allison^[15]等研制了一种可以对储层进行重复增产的可生物降解暂堵剂,将其与常用的暂堵剂进行对比,通过对所选类型暂堵剂的温度稳定性、对环境的影响、自清理性等性能的考察,得出可生物降解暂堵剂性能优良。本暂堵剂所用的携带液体系为具有一定黏度的滑溜水压裂液体系,能封堵几何结构不清的地层,降解时间12 h以上,当粒径减小10%~15%时,可完全排出。对比前面所述的自清洁暂堵剂,可生物降解暂堵剂对地层的伤害最小,不用添加任何助剂,在施工结束后的一段时间内,暂堵剂就可生物降解并最终顺利排出地层,这是未来对暂堵剂研究的一个重要方向。

1.3 交联破胶

该类暂堵剂分为颗粒型和胶塞型,通过交联的方法,得到高黏度的流体后,进行烘干、剪切、造粒形成可用于暂堵的颗粒。也可通过交联的方法形成高黏性流体,注入地层后形成暂堵胶塞。但无论是固体或液体的暂堵剂体系,由于其自身不能降解溶解于水中,都需要加入破胶剂使其破胶,进而使体系顺利返排出地层。

薛小佳^[16]等研制了一种可控破胶的水平井分段压裂用暂堵剂。组成材料包括二元醇、无机氧化增强剂、硼酸盐、碳酸氢钠、缓释微胶囊破胶剂。将该暂堵剂注入地层,在一定温度下发生交联固化,降低了泵注难度。此暂堵剂体系可承受30 MPa的压力,在施工结束后,其破胶液黏度小于10 mPa·s,最终可以全部返排出地层,具有优良的返排能力,对地层无伤害。

尹晓宏^[8]等研制了一种水平井分段压裂用的暂堵剂。主要成分为:胍胶、三氧化铝、氧化镁、微胶囊破胶剂等。在一定温度下,经候凝后,形成耐压强度超过30 MPa的胶塞。此类暂堵剂在80℃时开始交联,降低了泵注压力和施工难度。

周法元^[17]等研究了一类转向重复压裂暂堵剂ZFJ,主要配方为聚合物A、交联剂铬离子、二交联剂和破胶剂X。该暂堵剂有效暂堵率达98.7%,强度大,由于其具有较好的耐碱、抗盐性和一定的耐酸性,可用于酸化后的地层和一系列已经受严重污染的地层。

邱玲^[18]等人对低压气井液体胶塞暂堵技术进行了研究,此类暂堵剂是一类已成功应用于修井作业的暂堵

剂,适用于致密低孔低渗、分均质性强、纵向含气井段长、多层叠置等中浅层气藏。其所使用的暂堵胶塞是一种隔离液,它由高分子稠化剂、交联剂、氧化破胶剂等组成。在现场试验中,其抗压达到11 MPa,破胶后对地层的伤害率仅为18.9%。将此类暂堵剂应用于压裂施工中时,需向体系中加入一定材料以提高其抗压能力。

李长忠^[19]等制备了一种适用于低渗透油田缝内转向压裂暂堵剂,这是一类耐温稳定性优良、具有黏弹性的小颗粒,原料组成为:骨胶粉、苯甲酸、改性淀粉、羟乙基纤维素、含F表面活性剂、交联剂等。经过烘干、剪切、造粒后,具有良好的温度稳定性、黏附稳定性和承压能力(30 MPa)。施工结束后,暂堵剂溶解在压裂液中完全返排出地层。

1.4 吸水膨胀

吸水膨胀型的暂堵剂在早期已成熟应用于油井堵水及储层保护。将吸水膨胀类的暂堵剂注入地层后,地层中存在着地层水使得暂堵材料吸水膨胀,在裂缝周围形成有弹性的滤饼,对裂缝进行良好封堵。

赖南君^[20]等人对新型重复压裂暂堵剂CLS-1进行了实验研究。该暂堵剂由丙烯酰胺、尿素、引发剂、催化剂通过自由基共聚的方法合成。在一定条件下,暂堵剂与壁面的黏附能力好,能够承受1.5 MPa的突破压裂,施工结束后能溶解于返排液中。此类暂堵剂对比国外优秀暂堵剂存在诸多优点,如承压能力高且可调、抗剪切稳定性及热稳定性强等,但是其返排能力仍有待提高。

1.5 油溶性颗粒

油溶性颗粒暂堵剂一般只适用油井,暂堵过程结束后,不需要加入其他试剂,暂堵颗粒可以溶解于储层流体中,然后返排出地层,不会对地层造成污染。

姜必武^[21]等对压裂蜡球暂堵剂进行了研究。此类暂堵剂适用于原有多方向裂缝十分发育的低渗、低压、低产油层。基本原料为松香、全炼石蜡、沥青、氯化钾、粉陶、EVA及石英砂。该封堵蜡球是油溶性的,抗压能力达4.5 MPa。

王忍峰^[22]等对多裂缝压裂工艺中使用的暂堵剂进行研究,其中包括了三种型号的暂堵剂:CQZ-1、CQZ-2、CQZ-3,均为油溶性颗粒。这三种暂堵剂按照一定比例针对不同的油井和地层搭配使用。通过现场试验的监测结果表明,此类暂堵剂达到了创造出多裂缝并扩大油井泄流面积的目的,提高了油井的产量。油溶性颗粒在使用上具有一定局限性,考虑到其返排,只能应用于油井的压裂施工中,在今后的研究中将向暂堵剂中添加一定表面活性剂来增加体系的水溶性,使其能拥有广泛的使用空间。

2 结论

国内越来越多的油田通过加入暂堵剂达到裂缝转向以及段内多裂缝的效果,最大限度地提高储层采出率,节省施工成本。

a)酸压类暂堵剂不但适用于酸化压裂施工,还适用于单纯的压裂施工,由于其中一般都含有不溶于水的碳酸钙,而常规的压裂施工所使用的压裂液呈碱性,所以后期处理可通过射孔等方法排出。

b)自清洁类暂堵剂虽具有优良的返排性能以及良好的环境相容性能,但是它的抗压性能有待提高。不但如此,目前所提出的暂堵颗粒,如聚乳酸、聚乙醇酸、聚酯,其现成的合成产物比较稀缺、合成工艺较复杂,并且这类暂堵剂在使用上还需配合相应的携带液。

c)交联破胶型的暂堵剂适用性较广,有固态和液态两种不同存在形式,可应用于不同类型的地层。其组成与压裂液的成分类似,在压裂施工中与压裂液配伍良好。

d)吸水膨胀型的暂堵剂应用在出水的地层中更能发挥其良好性能。此类暂堵剂应用较为成熟,在堵住地层的的同时能够吸收地层多余的水分,有效降低地层滤失。

e)油溶颗粒暂堵剂目前在使用上更适用于油井,在未来的应用中可向处理液中添加一系列的表面活性剂,使颗粒溶解在后续注入地层的清理液中排出地层,将其优良的暂堵性能发挥在气井的压裂施工中。

参考文献:

- [1] 尹建,郭建春,曾凡辉.低渗透薄互层压裂技术研究及应用[J].天然气与石油,2012,30(6):52-54.
Yin Jian, Guo Jianchun, Zeng Fanhui. Research and Application of Low Permeability and Thin Interbed Fracturing Technology[J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30(6): 52-54.
- [2] 顾军,向阳,何湘清,等.裂缝-孔隙型储层保护钻完井液体系研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(2):184-186.
Gu Jun, Xiang Yang, He Xiangqing, et al. Research of the Drilling and Completion Fluid System for Fracture-Pore Type Reservoir Protection [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003,30(2): 184-186.
- [3] Luo Hongyu, Fulton D D. Degradable Diverting Agents and Associated Methods[P]. US: 8109335, 2012-02-07.
- [4] 樊国祿,王永林,盛玉江,等.有机铬暂堵剂研制及其应用[J].中国化工贸易,2012,4(6):286.

- Fan Guolu, Wang Yonglin, Sheng Yujiang, et al. Preparation and Evaluation on Organic Chromium Temporary Blocking Agent [J]. China Chemical Trade, 2012, 4(6): 286.
- [5] 吉克智.油井暂堵剂SJ-2及其储层保护技术[J].内蒙古石油化工,2012,(11):80-81.
- Ji Kezhi. The Technology of Reservoir Protection of SJ-2 Temporary Plugging Agent for Oil Wells [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2012, (11):80-81.
- [6] Surjaatmadja J B, Todd B L. Fracturing Fluids Comprising Degradable Diverting Agents and Methods of Use in Subterranean Formations [P]. US: 7506689, 2009-05-24.
- [7] 赵杰,罗森曼,张斌.页岩气水平井完井压裂技术综述[J].天然气与石油,2012,30(1):48-51.
- Zhao Jie, Luo Senman, Zhang Bin. Review on Completion Fracturing Technology for Horizontal Shale Gas Well [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30(1):48-51.
- [8] 尹晓宏,周宗强,李宪文,等.一种水平井分段压裂用暂堵剂及其制备方法[P].中国专利:201010134590.9,2011-09-28.
- Yin Xiaohong, Zhou Zongqiang, Li Xianwen, et al. A Type of Diverting Agent which Used in Horizontal Well Fracturing and Its Preparation [P]. CN:201010134590.9,2011-09-28.
- [9] 臧海宏.水溶性压裂酸化暂堵剂[P].中国专利:200410009408.1,2005-03-23.
- Zang Haihong. Water-soluble Fracture Acidizing Diverting Agent [P]. CN: 200410009408.1,2005-03-23.
- [10] 王稳桃,王安培,王栋,等.酸压暂堵剂[P].中国专利:201110330609.1,2012-07-25.
- Wang Wentao, Wang Anpei, Wang Dong, et al. Acid Fracturing Diverting Agent [P]. CN: 201110330609.1,2012-07-25.
- [11] 张军,汪建军,温银武,等.油气储层裂缝暂堵剂[P].中国专利:200710049168.1,2008-11-26.
- Zhang Jun, Wang Jianjun, Wen Yinwu, et al. Gas and Oil Reservoir Fissure Diverting Agent [P]. CN: 200710049168.1, 2008-11-26.
- [12] 李国锋,李洪升,张国宝,等.ZD-10暂堵剂性能研究及其在普光气田酸压中的应用[J].河南化工,2012,29(3):23-26.
- Li Guofeng, Li Hongsheng, Zhang Guobao, et al. Performance Study of ZD-10 Temporary Plugging and Its Application in Puguang Gas Field Acid Pressure Process [J]. Henan Chemical Industry, 2012, 29(3):23-26.
- [13] Fu Diankui, Russell S, Samuel M. Self-cleaning Well Control Fluid [P]. US:7691789, 2010-04-06.
- [14] Reddy B R, Cortez J. Activator Development for Controlling Degradation Rates of Polymeric Degradable Diverting Agents [C].New York: SPE164117,2013.
- [15] Allison D, Curry S, Todd B. Restimulation of Wells Using Biodegradable Particulates as Temporary Diverting Agents [C].New York: SPE 149221,2011.
- [16] 薛小佳,周宗强,慕立俊,等.一种可控破胶的水平井分段压裂用暂堵剂及其制备方法[P].中国专利:201010550327, 2010-11-18.
- Xue Xiaojia, Zhou Zongqiang, Mu Lijun et al. A Type of Controllable Gel Breaking Diverting Agent which Used in Horizontal Well Fracturing and Its Preparation [P]. CN: 201010550327, 2010-11-18.
- [17] 周法元,蒲万芬,刘春志,等.转向重复压裂暂堵剂ZEF的研制[J].钻采工艺,2010,33(5):111-113.
- Zhou Fayuan, Pu Wangfen, Liu Chunzhi, et al. The Preparation of Turning Re-fracturing Diverting Agent ZEF [J]. Drilling & Production Technology, 2010, 33(5): 111-113.
- [18] 邱玲,黄小军,黄贵存,等.低压力井液体胶塞暂堵技术研究及应用[J].断块油气田,2011,18(3):393-396.
- Qiu Ling, Huang Xiaojun, Huang Guicun, et al. Research and Application of Temporary Blocking Technology Using Gel Plug in Low-pressure Gas Well [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2011, 18(3): 393-396.
- [19] 李长忠,纪凤勇,杜向前,等.一种低渗透油田缝内转向压裂暂堵剂及其制备方法和应用[P].中国专利:200910092094.9,2011-04-20.
- Li Changzhong, Ji Fengyong, Du Xiangqian, et al. The Preparation and Application of Turing Fracturing Diverting Agent Used in Low Permeable Sublayer Oil Field [P]. CN: 200910092094.9, 2011-04-20.
- [20] 赖南君,徐辉,叶仲斌,等.新型重复压裂暂堵剂的实验研究[J].大庆石油地质与开发,2010,29(3):111-113.
- Lai Nanjun, Xu Hui, Ye Zhongbin, et al. Experimental Researches of New-type Refracturing Temporary Blocking Agent [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2010, 29(3): 111-113.
- [21] 姜必武,慕立俊.低渗透油田重复压裂蜡球暂堵剂性能研究[J].钻采工艺,2006,29(6):114-116.
- Jiang Biwu, Mu Lijun. Study on the Performance of Wax-Bead Temporary Blocking Agent Used for Refracturing in Low-permeability Reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(6): 114-116.
- [22] 王忍峰,付振银,任雁鹏,等.多裂缝压裂工艺在超低渗透层中的应用[J].钻采工艺,2010,S1(33):41-44.
- Wang Renfeng, Fu Zhenyin, Ren Yanpeng, et al. Application of Multi-fracturing Technology in Super-low Permeable Reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2010, S1(33): 41-44.