



周“油”刊国内  
油气精彩

# 油气增产背后的新材料力量

## PGA

### 材料特性

PGA(聚乙醛酸)是一种可完全生物降解的新材料,能够在自然环境中分解为二氧化碳和水,可有效减少对地质的伤害,而且具有绝佳的气体阻隔性、优良的机械性能和耐热性,能够承受油气开采过程中高温高压等复杂的地质条件,有助于减少油气资源流失、提高开采效率。

### 常见产品

●PGA暂堵剂、暂堵球和可溶桥塞能克服页岩油气井压裂承压、桥塞速度可控的需求,适用于非常规油气井的分段压裂和老井重复改造的暂堵转向压裂施工。目前,中国石化石油工程技术研究院生产的各类PGA压裂暂堵产品在江汉、西南、中原等油气田公司近百口井推广使用。



由中国石化石油工程技术研究院研制的PGA可溶桥塞。

### 企业应用



## PGA暂堵产品 让压裂液“撞上南墙”

□杨敬 雷洋

“曹陆页1HF井并结合设计采用了缝口、缝内双暂堵这一特殊工艺,在压力窗口受限的条件下,仍然成功完成了23段施工,且综合砂液比提高到8.2%。”提到PGA暂堵剂、暂堵球在曹陆页1HF井的成功应用,石油工程技术研究院油层改造技术研究所压裂工艺曹石恒毅打开了话匣子。

随着油气开发逐渐向非常规油气储层延伸,新的问题也随之而来。“非常规油气储层具有深层、致密、难开采等特点,传统的压裂技术难以胜任。”石恒毅说。

由于地下储层较为致密,孔道之间几乎不连通,如果不通过压裂的方式压开地层,油气将会以一座座“孤岛”的形式储存在地下,难以被开采出来。而常规压裂技术一般在地层中只能形成简单的双翼裂缝,缝与缝之间没有连通。

“也就是说,常规压裂技术无法完全打碎地层,油气不能被充分开采出来。现在常用的大型非常规体积压裂技术可充分“压碎”地层,形成蜘蛛网状的缝网结构,为油气的运移提供各种大小不一的“通道。”石恒毅介绍。

然而,通道多了,也不完全是“好事”。有些通道不是最优选择,在施工中常常需要将其临时封住,以免压裂液不按目的路线流动,因此,暂堵技术成为不可或缺的手段。而面对越来越高的环保要求,如何才能实现绿色施工?由石油工程技术研究院研制的PGA暂堵剂、暂堵球进入技术人员的视野。

### 企业应用



## 碳纤维复合材料 让采油设备“强筋健骨”

□朱益飞 刘海波 张瑾

从制作抽油杆到修复集输管道,近年来,碳纤维复合材料以其独特的性能优势,有效解决了传统金属材料存在的诸多问题,提升了油田生产的安全性、效率和经济效益。

早在2016年,胜利油田就设立了碳纤维抽油杆材料项目,开启了碳纤维的应用之旅,并在扁带形碳纤维抽油杆基础上,研制出了新一代圆形扁带形碳纤维抽油杆。碳纤维抽油杆克服了传统钢制抽油杆耐腐蚀性、寿命短、下深受限、能耗高、起下工作时间长等缺点,防腐延寿、深抽提液、节能降耗等效果显著。

胜利油田技术中心作为项目的核心研发团队之一,针对评价指标和方法体系缺失等问题,经过刻苦攻关,建立了碳纤维复合材料抽油杆检测评价指标和方法体系,实现了碳纤维抽油杆连续在线检测,为抽油杆的现场应用提供了技术保障。

围绕碳纤维抽油杆应用中遇到的杆体断裂等问题,研发团队从碳纤维固化时间、拉伸强度等生产工艺入手,全面测试分析了各项参数对杆体综合性能的影响规律,通过调整杆体结构、优化固化工艺等措施,不断提升产品性能,断裂失效率由36%降为0。

碳纤维复合材料虽然抗腐蚀能力强,但是在井下高温、高压、高矿化油水介质环境与交

### 阅读提示

油气行业的每一次飞跃,都离不开技术与材料的双重驱动。在新时代的浪潮中,新材料以其独特的性能和广泛的应用前景,成为推动油气勘探开发工程技术创新的关键力量。从增强型纤维的坚韧不拔到可降解聚合物的绿色智慧,每一种新材料在上游领域的应用,都是对油气生产极限的一次有力挑战,不仅提升了勘探开发的效率与效益,而且在保障生产安全、促进环境友好方面展现出了巨大的潜力。这是一场材料科学与油气工程的深度融合,更是一场未来能源发展的深刻变革。



众多由新材料制成的产品装备正源源不断地应用于钻井施工现场。

## 纳米材料

### 材料特性

纳米材料因具有独特的高分散性、特殊的表面活性、粒径及分布特性等,已逐渐成为解决油气田勘探开发各环节技术难题的关键材料,拥有巨大的应用潜力。合理使用合适的纳米材料,可有效提高各种油田化学工作液,如钻井液、固井水泥浆、压裂液等的工作效率,从而大幅提高油气产量、提高油气采收率,具有极大的社会效益和经济效益。

### 常见产品

●纳米驱油剂可利用纳米材料的高表面积、高扩散率、高渗透性和更好的吸附作用,在油藏中促进油气流动,提高采收率,还可增强水与油之间的亲合力,减少油界面张力,实现更高效驱油开发。

●纳米封堵剂是一种能在井壁裂隙和孔隙中定向聚集并形成一层密封屏障以防止油气流动的微米级颗粒,常被添加到钻井液中,为井壁封堵提供技术手段。

### 企业应用

## 纳米乳液驱油体系 进入更小孔隙“洗”出更多原油

□徐博洁 闻林刚

7月30日,在江苏油田采油二厂6-1井现场,装满纳米乳液的药剂通过设备正缓缓流入注水井。

纳米乳液并非传统意义上的纳米材料,而是一种包含了表面活性剂、有机相多元组分的稳定乳液体系。2019年以来,该技术已规模应用于16个区块54个井组,累计增油3.52万吨,为江苏油田难动用储量高质量开发提供了有力支撑。

如何实现中低渗油藏的高效开发,一直是老油田增产产难的难题。江苏油田中低渗油藏储量占比超过80%,孔隙直径大多小于4微米,常规水驱注水困难,且“表面活性剂+聚合物”等传统驱油体系存在注入困难、易造成堵层堵塞等问题。

为提高老区采收率,探寻适合江苏油田低渗油藏的驱油技术势在必行。江苏油田工程院科研人员从2017年起就着手开展纳米乳液驱油体系研究,经过多年攻关,研发出了一种“尺寸足够小、分散剂聚并”纳米乳液驱油体系。

相较于常规表面活性剂,纳米乳液体系活力更高,能把吸附在岩石孔隙里的原油驱出来。“就像洗衣服上的污渍,用水洗不干净,用洗衣液洗就干净了。”江苏油田工程院油化室主任钱志涛说。

由于界面张力的作用,表面活性剂会有一些吸附在岩石孔隙口。因此,科研人员想方设法降低其界面张力,使驱油液能够“钻进”孔隙内部,增强洗油效果。

经过多次实验,科研人员认为,改变分子间力的作用方式,采用离子型和非离子型分子构型及组对改性等手段,可大幅降

低吸附程度,将驱油体系的油水界面张力降低1~2个数量级。这就意味着,纳米乳液可快速使油膜从岩石表面剥离,驱出更多滞留在孔隙深处的原油。

同时,科研人员还在纳米乳液中引入“锁水、携油”功能。进入地层后,纳米乳液通过亲水基团束缚水分子,给水分子穿上“沙袋”,让水跑得慢;通过亲油基团携带油,给油分子加上“引擎”,让油跑得快,从而减少水窜。

为达到更好的驱油目的,科研人员勇于创新思路,将纳米乳液直接降到70纳米,相当于头发丝的千分之一,可进入更多纳米、微米级的孔隙中,大幅扩大驱油剂的波及体积。

石5块是典型的低孔低渗油藏,平均渗透率仅为7毫达西。石5-5井组在纳米乳液注入前,采收率仅0.38%。技术人员根据基础低渗、压裂缝水窜的工艺特点,有针对性地进行“锁+驱”的工艺设计,延长了乳液的作用时间。目前,该井组日增油2.1吨。

室内实验显示,通过大幅增强分子活力,纳米乳液洗油效率较水驱提高14个百分点以上。为方便现场使用,配伍剂通过配合、配伍工艺上开发了低成本低粘度、形成了模块化、模块化、智能化的“四化”注入模式,以及调驱、驱-洗一体化全生命周期注入工艺,实现了现场快速、精准注入,有效保证了驱油效果。

近日,江苏油田工程院还在纳米乳液体系的基础上强化吸附置换原油能力,开发形成了适应致密、非常规储层的渗吸洗油剂,已在现场推广应用取得良好效果,进一步拓宽了纳米乳液系列技术的应用范围。

## 纳米改性水泥浆 提高固井质量 延长油井寿命

□徐军涛 彭大为 吴波

经过几十年的开发,胜利油区面临注采压力体系不平衡、层间窜漏、固井后管外水窜流严重等挑战,常用的补救措施效果差、费用高。而固井过程中所使用的水泥属于脆性材料,在井下温度、压力、酸化等复杂条件下,易产生微裂缝,严重影响油藏、全井套管大型压裂、薄隔层、密集层的多炮眼开采方式等也对水泥环完整性提出了更高要求。

为此,胜利石油工程固井技术服务中心自主研发了纳米高致密防窜水泥浆体系,采用水泥与新组份活性矿物颗粒配伍,在水泥浆体系中加入粒径更小的纳米级颗粒起到填充作用,能有效提高水泥石的致密度、抗渗性、抗腐蚀和抗冲刷能力,降低渗透率,有利于改善水泥环与套管、地层的界面胶结,保证水环的完整性。

此外,随着研究不断深入,新材料在油气上游领域的应用将呈现多样化、智能化和可持续发展的趋势,推动油气勘探开发技术快速迭代,为行业带来更多创新和发展的机遇。

“自愈合聚合物材料是一类能够通过自我修复的新材料,有助于延长井下工具、设备材料的寿命,以提高安全性。其原理是,一旦包含某种自愈合聚合材料微结构的物质出现了裂缝,这些微结构便会破裂,释放出愈合剂。愈合剂一般是相应的未硬化的聚合物,会渗入到破裂处,发挥聚合作用,修复破裂区域。目前,自愈合材料的一些成品已投入应用,斯伦贝谢开发了可自动愈合水泥环中微裂隙的水泥水凝胶。该体系的成分和充浆方式与普通水泥不同,体系中的一定成分会接触油气之前一直处于休眠状态,与油气接触后会被激活,使水泥环在数小时内不间断于干燥便自动愈合。这一特性会在固化过程中避免产生不利情况,如套管外周液体的窜流、持续的井口窜流、表层套管渗漏及交叉流等。”

“可膨胀聚合物”

可膨胀聚合物用于膨胀封隔器,用来进行层间封隔和井筒堵水。在层间封隔应用中,先将一系列未经膨胀的泡型封隔器下入井中,遇到油气时,这些封隔器便会膨胀,从而封隔地层,形成相互隔离的层段。可控水封隔器,要在井内注入一个未经膨胀的水凝胶型聚合物凝胶,当水注入井筒时,封隔器便会发生膨胀封住井筒,从而减少漏入的流量,提高油气产量。膨胀封隔器一般成本较低,没有活动的部件,并且不需要机械或液压传动装置,与常规封隔器相比具有明显优势。



胜利石油工程固井技术服务中心的研究人员正在进行材料测试。

## 新材料引领油气勘探开发迈进新时代

对于油气勘探开发过程中的极端环境,如高温、高压、高腐蚀等,哪些新材料具备出色的适应性和性能表现?



吕明福  
北京化工研究院  
高级工程师



沙鸽  
上海石油化工研究院  
高级专家

新材料的应用如何提高油气上游领域的防腐和开泵效率?

沙鸽:新材料的使用能有效提升油气勘探开发效率,并使开发成本发生根本改变。在钻完井工程中,碳纤维材料的应用使抽油杆抗拉强度达到1800吨轴以上(是钢杆的两倍,但密度仅为钢杆的1/4),克服了以往抽杆需要套杆连接,起下工作间长,金属材料易腐蚀、使用寿命短,运行中耗电量大的缺点。在驱油过程中,低渗透油藏普遍存在聚合物滞留问题,极大提高了高深部深部油气勘探开发能力,也为高温地热能开发提供强有力的技术支持。

生物可降解材料聚乙醛酸(PGA),具有优异的力学性能、耐热性和可降解性。采用PGA制备的暂堵球、暂堵剂和井下工具,能在一定的高温环境中仍具有良好的抗压强度,且使用后可在地层环境中自行降解,无须酸化解堵,对地层结构影响小、施工成本低。

今后,随着碳纤维复合材料在油田生产中的深入应用,其在提高能源开采效率、降低运营成本、促进环境保护等方面展现出的巨大潜力,将进一步推动我国油气行业向更加智能、高效、绿色的方向发展。

与此同时,科研团队仍在不懈攻关,持续拓展提升材料性能,以满足油气上游领域快速发展的需求。超耐磨、耐高温、耐高压材料,将显著提升井下采油装备的耐腐蚀性能,延长设备寿命和检修周期,减少维护成本。智能材料,如形状记忆合金、自修复材料等的应用,将提高油气设备的自适应性和自修复能力,减少维护需求。

未来,随着研究不断深入,新材料在油气上游领域的应用将呈现多样化、智能化和可持续发展的趋势,推动油气勘探开发技术快速迭代,为行业带来更多创新和发展的机遇。

“自愈合聚合物材料是一类能够通过自我修复的新材料,有助于延长井下工具、设备材料的寿命,以提高安全性。其原理是,一旦包含某种自愈合聚合材料微结构的物质出现了裂缝,这些微结构便会破裂,释放出愈合剂。愈合剂一般是相应的未硬化的聚合物,会渗入到破裂处,发挥聚合作用,修复破裂区域。目前,自愈合材料的一些成品已投入应用,斯伦贝谢开发了可自动愈合水泥环中微裂隙的水泥水凝胶。该体系的成分和充浆方式与普通水泥不同,体系中的一定成分会接触油气之前一直处于休眠状态,与油气接触后会被激活,使水泥环在数小时内不间断于干燥便自动愈合。这一特性会在固化过程中避免产生不利情况,如套管外周液体的窜流、持续的井口窜流、表层套管渗漏及交叉流等。”

“可膨胀聚合物”

可膨胀聚合物用于膨胀封隔器,用来进行层间封隔和井筒堵水。在层间封隔应用中,先将一系列未经膨胀的泡型封隔器下入井中,遇到油气时,这些封隔器便会膨胀,从而封隔地层,形成相互隔离的层段。可控水封隔器,要在井内注入一个未经膨胀的水凝胶型聚合物凝胶,当水注入井筒时,封隔器便会发生膨胀封住井筒,从而减少漏入的流量,提高油气产量。膨胀封隔器一般成本较低,没有活动的部件,并且不需要机械或液压传动装置,与常规封隔器相比具有明显优势。

“自愈合聚合物材料是一类能够通过自我修复的新材料,有助于延长井下工具、设备材料的寿命,以提高安全性。其原理是,一旦包含某种自愈合聚合材料微结构的物质出现了裂缝,这些微结构便会破裂,释放出愈合剂。愈合剂一般是相应的未硬化的聚合物,会渗入到破裂处,发挥聚合作用,修复破裂区域。目前,自愈合材料的一些成品已投入应用,斯伦贝谢开发了可自动愈合水泥环中微裂隙的水泥水凝胶。该体系的成分和充浆方式与普通水泥不同,体系中的一定成分会接触油气之前一直处于休眠状态,与油气接触后会被激活,使水泥环在数小时内不间断于干燥便自动愈合。这一特性会在固化过程中避免产生不利情况,如套管外周液体的窜流、持续的井口窜流、表层套管渗漏及交叉流等。”

“可膨胀聚合物”

可膨胀聚合物用于膨胀封隔器,用来进行层间封隔和井筒堵水。在层间封隔应用中,先将一系列未经膨胀的泡型封隔器下入井中,遇到油气时,这些封隔器便会膨胀,从而封隔地层,形成相互隔离的层段。可控水封隔器,要在井内注入一个未经膨胀的水凝胶型聚合物凝胶,当水注入井筒时,封隔器便会发生膨胀封住井筒,从而减少漏入的流量,提高油气产量。膨胀封隔器一般成本较低,没有活动的部件,并且不需要机械或液压传动装置,与常规封隔器相比具有明显优势。

本版文图除署名外由 尹慧博 马兰琴 刘 秦 任丽丽 王鹤麟 潘亚男 柏诗哲 提供