

纳米材料在油田化学工程中的研究进展

程刚¹ 刘晓雷² 方勇¹ 黎力³ 马帅帅¹ 尚延峰¹ 乔少珂³

1 陕西延长油田压裂材料有限公司 陕西延安 716000; 2 延安市质量检测研究院 陕西延安 716000; 3 陕西延长油田检验技术服务有限公司 陕西延安 716000

摘要: 随着社会的发展,科技的进步,纳米材料以其独特的性能被广泛地应用于各个领域。近几年,在油田化学中,纳米材料得到了越来越多的应用。将纳米技术引入到油田化学中,以提高油气开发的成功率,是目前油气开发中亟待解决的问题。但是,纵观国内石化化工产业的发展过程,目前,基于纳米材料产生的环保问题、将纳米材料加入到钻井液中产生的实际情况、纳米材料的价值高昂和其后期管理困难等,文章通过对油田化学领域中纳米材料的深入研究,就其在油田化学领域中的使用现状展开了深入研究,并对其出现的若干问题展开了论述,希望对油田化学领域中纳米材料的研究和产业化提供一定借鉴。

关键词: 纳米材料; 油田化学; 工程; 研究进展

纳米技术是九十年代开始发展的,是一个交叉性、前沿性的新兴学科,该技术从纳米尺度上深入研究了物体的特性和功能,在纳米尺度下,材料的特性和结构都会出现巨大的改变。纳米材料是一类新型的物质,它的存在正极大地推动着人类社会的发展。

一、纳米材料概述

纳米材料的主要组成成分是非常细小的晶粒,从特征维度上看,在0.1nm至100nm之间,是一种固态材料。由于纳米材料的尺寸介于微观与宏观之间,因此与普通的材料相比,它具有多种作用,主要的研究内容包括:量子尺度效应,表面效应,小尺寸效应,宏观量子隧穿效应,介电限制效应等。比如表面效应,是指纳米材料的表面原子序所占总原子数的比例,由于颗粒尺度的缩小,会突然增加,由此导致了纳米材料的物理化学特性的改变。即较小的粒子尺度,较大的比表面积,与较大的表面分子之间所占的比例颗粒直径在0.1 μm 以上时,其表面效应基本可以忽略;在0.1 μm 以下,其表面原子密度急剧上升,具有高度的反应活性和极不稳定性,极易与其它原子相结合。

此外,最近几年,随著我国油田化学工程科技的提高与不断发展,纳米材料在油田化学工程中的运用已显得越来越普遍,需要发挥纳米材料的功能,大大提高油田化学工程的效益与水平。

二、纳米材料在油田化学中存在的问题

根据大量试验经验来分析,目前,纳米技术在油田化学中的应用已经取得了一定的成果,同时也展现出了巨大的发展前景。但由于纳米材料自身的特点,如果不能很好地解决纳米材料存在的问题,就不能充分地发挥纳米技术的作用。因此,只有把纳米技术和油田化学技术相结合,才能更好地解决上述问题。

(一) 纳米材料添加到钻井液中的问题

在近场钻井液中加入纳米粒子,一方面会提高固相体系的浓度,另一方面会导致纳米粒子含量的升高,从而影响其流变特性;另一方面,还会吸附一部分处理剂,降低其有效浓度。将纳米材料直接添加到钻井液中,由于其表面性质较高,且具有较高的组分活性,因此极易发生聚合,且聚合后的纳米材料体积较大,在搅拌时很难将颗粒分散,且会丧失其特性。

(二) 三次采油中纳米技术应用存在的环境问题

当前,虽然在纳米材料的应用和驱油实验中的使用上有着比较

好的结果,但是在驱油中所处的环境条件较为特殊,所以其实际效果和室内实验中有着很大的差别。现在实验室研究得到的产物,大部分都是在非采油环境下得到的,所以,在具体应用上,也总会遇到一些困难,比如三次采油的先驱技术,在这种技术的实际应用中使用的主要是石油磺酸盐等的表面活性剂,虽然这些化合物只能通过加入强碱就可以得到超低界面张力,但是在强碱性的影响下,低渗透也就意味着会对油层产生危害,因此必须研发出一种新型的表面活性剂,只有在添加碱的情况下,才能获得一种低界面张力。

(三) 纳米材料本身的成本问题

在成本方面,纳米材料的成本很高,例如,用在油田处理过程中的纳米TiO₂,目前市面上的纳米TiO₂的价格在500-800元/公斤左右,相对于常规的水处理工艺,其成本约高一个量级,因此,需要大幅减少其在实际应用中的用量,直接导致了纳米材料在野外大规模应用的局限性。

三、纳米材料在油田化学中的应用

(一) 在油田化学钻井液工作中的应用

在钻井液中,主要是通过加入纳米材料,或加入纳米复合材料,来提高井壁稳定性,达到防渗漏的目的。而在钻井过程中,由于钻井过程中所处的工作环境比较复杂,因此,在钻井过程中,适当使用纳米材料和钻井工艺,可以有效地提高钻井速度,降低钻井时间。需要指出的是,如果采用直接加入的方法,将纳米物质加入到钻井液中,则有可能因纳米物质间的相互作用而发生凝聚反应,进而引起纳米材料的稳定性降低。为了合理地实现纳米材料的优异特性,如湿漉漉、成膜物质以及非线性流变等,必须充分地研究纳米材料的均匀分散问题。例如在纳米材料中添加某些表面活性剂,可以增加其安全性。我们在实际中归纳出,在钻井工程中,最常见的两类纳米材料为双金属层状氢氧化物水滑石和蒙脱土。其中,双金属层状氢氧化物水滑石的片层具有正电特性,在层间负离子的中和和剥离作用下,有效地形成了大面积的表面,并露出了大量的正电物质,与阴电性地层粘土产生了强电特性相互作用,并产生了接触滞留效应,使钻井液的护壁能力得到了明显的提升。而美国宾州的滑石粉,可以产生超过30mV的电位,对盐类有良好的耐盐性,粘度和剪切力都超过300%。为此,中国一些研究人员选用了MMTs作为前

驱物,并将 MMTs 用于制备粒径 20-70 纳米的蒙脱石,并发现 MMTs 比单纯的蒙脱石-PAM 体系具有更高的钻井液粘度。此外,有研究显示,通过溶剂法制备出可溶于水的聚乙烯醇-聚氧化乙烯及 MMTs 的纳米复合物,并应用于钻井液中,可获得增强的滤失效果、良好的抗盐效果、耐高温等诸多优势。

(二) 纳米材料在压裂增产过程中的应用

目前,低渗油藏和非常规油气已经成为我国油气开采与发展的主要方向,为了实现这类油气的高效开采,压裂改造是必然选择,而非非常规油气开采的特殊性决定了其对压裂技术的要求越来越高。压裂液的选择对压裂效果起着至关重要的作用。将纳米材料加入到压裂液中,使其与高分子发生交联,与表面活性剂发生协同作用,与胶束发生可逆交联,从而提高压裂液的性能。将其应用于低渗油藏和非常规油气资源高效开采,可很好地解决大排量、高泵压的“恶性循环”问题。Alharbi 等对纳米材料对高分子基压裂液的流变特性进行了研究,研究人员发现,在高压环境中添加纳米物质能够降低瓜尔胶压裂液中由硼酸盐交联而成的粘性损耗。在 8000psi 的压力下,添加 0.02% 的活性纳米粒子 I、0.04% 的活性纳米粒子 II,可使压裂液的粘度提高 6、9 倍,从而使压裂液的携砂性得到明显提高。研究表明,在压裂液中加入纳米颗粒后,可以更好地实现支撑剂的输送。研究发现,在 70℃ 时,含有 3wt%EAPB+1wt%SiO₂ 的复合体系,其排泄速度显著降低,并发现添加纳米粒子可以降低气体在泡沫中的扩散速度,从而延缓气泡的粗化进程,使泡沫体系更加稳定。

总体而言,纳米颗粒的加入可以改善压裂液的流变特性、悬浮性,从而形成更优质的缝网,从而强化压裂施工效果,提升压裂改造效率。为了满足目前低渗透油藏和非常规油气资源的高效开采,开发在油藏环境中具有较高稳定性的纳米材料和构建新型的纳米压裂液体系是未来发展的一个重要趋势。

(三) 在油田化学驱油工作中的应用

驱油剂的使用,有效地提高了采用传统的采油技术和工艺手段难以产油的部分油田的采收率。同时,将纳米材料应用于化学驱作业,也是一种可行的方法。例如,分子沉积膜就是一种纳米膜,它被用于驱油过程中,就会形成一种新型的纳米膜驱油技术,与传统的化学驱油技术相比,它所用的驱油剂数量更少,而且驱油效率也更高,大约可以提高 10%;同时,分子沉淀膜驱具有操作简便、造价低廉、解决了高温高矿化度对聚合物粘度和其他性质的不利影响等优点;另外,通过对分子量沉积膜的合理使用,可以对复杂地层起到良好的效果,从而提高原油的采收率。

因此,无论是在钻井液中,还是在调剖、堵水和驱油中,都可以使用纳米材料。随着纳米材料技术的不断发展,其应用于油气田污水处理、环境友好裂液处理、修井液处理等方面,具有广阔的应用前景。然而,将纳米材料用于油田化学领域也有一些问题,如:如果向钻井液中加入纳米材料,会导致钻井液等固相和纳米颗粒的含量增大,从而对其流变学性质产生影响;除此之外,一些纳米级的物质,其价值同样不菲,像纳米级的二氧化钛,其价值就远超普通的化学物质。因此,为了促进纳米材料在油田化学领域中的应用,需要加强理论与技术的研究,深入研究纳米材料的突变特点,在技术及工艺应用上有所突破,以进一步提升纳米材料在油田化学工作领域中的应用价值。

四、解决纳米材料在油田化学应用中存在问题的途径

纳米材料在油田化学领域中的应用,可以显著地提升油气钻井的效率,与此同时,石油天然气的经济效益等都会有新的突破,有着很好的发展前景。然而,针对以上所述的一系列问题,在将纳米材料和油田化学应用技术相结合的时候,需要注意以下几个问题。

(一) 将纳米技术应用的切入点找准

在钻井时,由于纳米材料具有较大的比表面积和较高的表现活性,可在钻井时在井壁及钻头表面生成一层纳米膜,可有效减小钻井时的摩擦阻力,为水平井、大斜度井等钻井作业提供更大的便利。同时,通过纳米材料的特性,可以明显改善钻井液的耐高温性能,进一步加强其防渗漏和抗污染能力,从而大大提高了在复杂地质条件下的钻井液技术水平,也可以有效地加强对特殊储层的钻探。

(二) 使纳米材料的使用量尽量减少

前面已经说过,由于纳米材料的成本很高,因此需要尽可能减少其用量。要想减少纳米材料的使用量,就要寻找适合的储层,有选择地使用,才能显著提升油气田的开发效率。

(三) 加强油田化学和纳米材料的联合应用

当前,随着纳米材料越来越广泛地应用于石油、化工等领域,因此,对于化学界的专业人士来说,其知识也显得尤为重要。由于任何一种物质都有其两面性,有利也有弊,因此,我们不能被利用纳米材料给我们带来的好处所蒙蔽双眼,而是要冷静地去研究,去理解石油和化学药剂的关系。这为将纳米材料应用于石化领域提供了全新的思路和方法。要从其物理化学功能入手,因为其生成的物质具有很高的活性,因此也就有很高的突变稳定性,因此,要理解其在石油和化工领域的应用意义,必须结合不同的环境和开采系统的实际情况进行研究。从科学的观点来看,纳米材料始终是科技的先锋,在机械、电子、信息、生化等领域占据着举足轻重的地位。同时,采用主动修复孔隙、固相污染等手段,可大幅降低其使用成本。

结语:

因为纳米材料具有许多优点,所以可以被广泛地应用于油田化学领域,例如,将其用于钻井液工作,可以增强其滤失效果、良好的抗盐效果和良好的耐温效果;将其应用于驱油作业,可有效提高原油的采收率。在此基础上,结合油田化学生产实践,提出了将纳米材料用于油田化学生产的可行性和科学性。但是,还需要关注纳米材料在今后的发展前景,加强理论和技术研究,不断提高纳米材料技术工艺水平,让其在油田化学工作中发挥出更加明显的价值,从而让我国油田化学工作行业实现可持续发展。

参考文献:

- [1]李小刚,谢诗意,杨兆中,等.纳米材料在油田化学工程中的研究进展[J].应用化工,2021,50(2):465-469.
- [2]晁雷辉.纳米材料在油田化学工程中的研究进展[J].中国化工贸易,2021(24):197-198.
- [3]潘一,廖松泽,杨双春,等.纳米材料在提高原油采收率中的研究进展[J].中国材料进展,2021,40(3):210-217.
- [4]刘成成.纳米材料在油田化学中的应用[J].化工设计通讯,2019,45(5):75-76.
- [5]彭振,王中华,何焕杰,等.纳米材料在油田化学中的应用[J].精细油田化学进展,2011,12(7):8-12.
- [6]张培霖.浅谈纳米材料在油田化学中的应用进展[J].中国化工贸易,2015(12):109-109.