

烷基糖苷及其衍生物钻井液发展趋势

魏风勇^{1*}, 司西强^{2,3}, 王中华², 魏军², 邱正松³

- (1. 中石化中原石油工程有限公司技术发展处, 河南 濮阳 457001;
2. 中石化中原石油工程有限公司钻井工程技术研究院, 河南 濮阳 457001;
3. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛 266555)

摘要: 烷基糖苷(APG)应用到钻井液中具有抑制性、润滑性良好, 易生物降解、无毒环保等优点, 但 APG 体积分数须 > 35% 才能充分发挥性能, 导致 APG 钻井液成本较高。综述了国内外对解决烷基糖苷钻井液高成本问题的相关研究进展。国外开展了通过烷基糖苷与无机盐的复配来减少 APG 加量的研究, 成为国外 APG 钻井液发展的主流方向; 国内开展了通过烷基糖苷的改性来达到减小加量、降低成本的目的, 主要得到了阳离子烷基糖苷(CAPG)、聚醚胺基烷基糖苷(NAPG)等改性产品, 并形成了相应的钻井液体系。最后提出了烷基糖苷及衍生物钻井液的未来发展趋势。

关键词: 钻井液; 强抑制; 烷基糖苷; 阳离子烷基糖苷; 聚醚胺基烷基糖苷; 衍生物

中图分类号: O643.36+4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)05-0048-04

Progress of alkyl glucoside derivatives as drilling fluid

WEI Feng-yong^{1*}, SI Xi-qiang^{2,3}, WANG Zhong-hua², WEI Jun², QIU Zheng-song³

- (1. Technology Development Department, Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., SINOPEC, Puyang 457001, China; 2. Research Institute of Drilling Engineering Technology, Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., SINOPEC, Puyang 457001, China; 3. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Abstract: Alkyl polyglycoside (APG) is applied to the drilling fluid due to its good inhibition, lubrication, biodegradability, non-toxic environmental protection, and so on. However, in order to have good performance in drilling fluid, the volume fraction of APG must be above 35%, which results in high cost. The high cost problems of APG drilling fluid is overviewed in this paper. The abroad studies show that the reduction of APG amount by combination of alkyl glucoside and inorganic salts becomes the main development direction of APG drilling fluid. In contrast, the modification of alkyl glucoside to decrease the APG dosage is performed in China, leading to the glucoside derivatives such as cationic alkyl sugar glucoside (CAPG), polyether amine alkyl glucoside (NAPG), etc, and the corresponding drilling fluid system. The future development trend of alkyl glucoside drilling fluid and derivatives are prospected as well.

Key words: drilling fluid; strong inhibition; alkyl polyglycoside; cationic alkyl polyglycoside; polyether amine alkyl polyglycosides; derivatives

目前在石油钻井领域, 钻遇强水敏性泥页岩及含泥岩等易坍塌地层时, 普通水基钻井液不能有效抑制泥页岩水化, 传统解决办法是采用油基钻井液, 但存在成本高、环境污染等问题, 限制其应用推广, 故寻求一种具有油基钻井液性能的高性能水基钻井液成为现场亟需^[1-5]。1994年国外首次提出了一种类油基的新型水基钻井液体系——烷基糖苷(APG)钻井液。最早将烷基糖苷应用于钻井液报道出现在1994年2月在美国达拉斯召开的IADC/SPE钻井工程会议上, 研究成果引起了与会者的广泛关注。烷基糖苷钻井液具有如下优点: ①吸附成膜, 有效抑制泥页岩水化(APG体积分数不小于35%, 理想用量45%~60%); ②良好的润滑性能; ③易生物降解, 无毒环保; ④储层保护效果较

好。但也存在加量大、成本高的问题, 限制了其大范围推广应用。针对上述问题, 综述了国内外对解决烷基糖苷钻井液高成本问题的相关研究进展, 并提出了烷基糖苷及衍生物钻井液的未来发展趋势, 以期对钻井液研究人员有一定的启发作用, 促进钻井液技术的进步。

1 烷基糖苷钻井液

1.1 国外

1995年, 为解决墨西哥湾浅海地区强水敏性页岩井壁失稳问题, 满足海洋钻井环保要求, 国外采用烷基糖苷钻井液施工2口井, 为达到强抑制效果, 同时降低钻井液成本, 将烷基糖苷与氯化钠复配使用, 即便如此, 烷基糖苷在钻井液中体积分数仍达到

36%。现场施工效果表明:①烷基糖苷钻井液固相容量限远超过其他水基钻井液;②施工过程中无钻头泥包、卡钻等问题;③无生物毒性,符合海洋钻井环保要求;④储层保护效果好,所钻井在平台上所有井中产量最高。

通过对国外烷基糖苷钻井液的应用情况进行分析总结,可以认为,烷基糖苷钻井液作为一种类油基钻井液为井壁稳定、环保、储层保护要求较高的地区钻井提供了较好的解决方案。但烷基糖苷加量大,成本高,限制了其大范围推广应用。近年来国外出现一些烷基糖苷钻井液的室内研究,主要是如何通过复配其他处理剂来减小烷基糖苷在钻井液中的加量^[6],同时满足强抑制性要求,最终目标是降低烷基糖苷钻井液的成本,为其推广应用提供技术优势。

1.2 国内

烷基糖苷钻井液以其良好的抑制性、润滑性、环保及储层保护性能引起国内广泛关注,1997年以来开展了相关研究及现场应用。

研究表明,将一定量的烷基糖苷加入到水基钻井液中,会改变该水基钻井液的性能。例如,加入体积分数为3%以上的烷基糖苷可以增大钻井液的屈服值和凝胶强度,从而提高钻井液的携岩能力;加入体积分数为15%以上的烷基糖苷则会减小钻井液的摩擦系数,提高钻井液的润滑性;加入体积分数为35%以上的烷基糖苷不仅可以有效地降低钻井液的水活度,而且可以形成理想的半透膜,阻止与钻井液接触的泥页岩水化膨胀,有效地维持井眼的稳定。形成的烷基糖苷钻井液的性能与油基钻井液相似,是一种类油基钻井液。

1999年烷基糖苷钻井液在新疆准噶尔盆地沙南油田沙113井^[7]首次现场应用。现场试验结果表明,该钻井液具有优良的抑制性、储层保护性能及独特的造壁护壁作用,解决了强水敏地层井壁垮塌问题,井径规则、电测取心一次成功。平均机械钻速为9.41 m/h,比临井提高47.8%。

2010年以来在胜利、西南等地区应用较多^[8-13]。其中胜利油田已经进行了多口井的烷基糖苷钻井液现场应用,郑斜41井试油射开沙一段1 277.5~1 297.4 m,油层4层15.1 m,完井投产后获日产油13.2 t/d;郑364井中途测试表皮系数为-2;郑369井中途测试表皮系数为0,日产原油21.0 t/d;KD104井试油结果为日产油57 t/d, KD105井试油结果为日产油46 t/d,高出邻井1倍,较好地满足了现场对储层保护要求。

2011年烷基糖苷钻井液在中原油田水平井卫383-FP1、文133-平1井初步应用。现场应用结果表明,烷基糖苷钻井液润滑性能优良,适于钻探致密砂岩地层。但为了控制成本,现场施工过程中烷基糖苷体积分数仅为15%,其抑制作用不能充分发挥,导致钻遇泥页岩及含泥岩等地层时未能很好地解决井壁失稳问题。

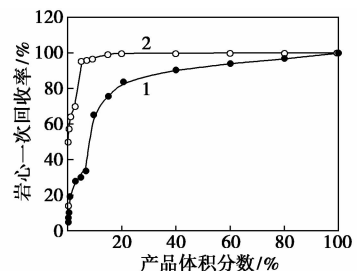
2 烷基糖苷衍生物钻井液

针对烷基糖苷在钻井液中体积分数应>35%,而国内为控制钻井液成本,体积分数仅为10%~15%,不能充分发挥烷基糖苷性能。为此国内中石化中原油田油田化学研究团队在王中华教授的指导下,通过分子设计和合成设计,研制了阳离子烷基糖苷CAPG^[14-22]、聚醚胺基烷基糖苷NAPG等改性烷基糖苷产品,以期达到在钻井液中加量降低、成本降低、性能提高的目的,并企望最终形成阳离子烷基糖苷类油基钻井液、聚醚胺基烷基糖苷高性能水基钻井液,以满足强水敏性泥页岩及含泥岩等易坍塌地层及页岩气水平井钻井的需要。下面对阳离子烷基糖苷及聚醚胺基烷基糖苷及其钻井液的研究进展情况做一简要介绍。

2.1 阳离子烷基糖苷及其钻井液

在烷基糖苷分子上引入合适的季铵阳离子基团,合成了跟烷基糖苷相比性能更优、加量显著降低的阳离子烷基糖苷产品。通过对烷基糖苷和阳离子烷基糖苷的原料成本对比,可以得到,烷基糖苷原料成本6 000元/t,阳离子烷基糖苷原料成本6 800元/t,两者成本相比,阳离子烷基糖苷略高于烷基糖苷。

烷基糖苷和阳离子烷基糖苷的抑制性能对比结果见图1。



1—烷基糖苷;2—阳离子烷基糖苷

图1 APG与CAPG抑制性能比较

由图1结果可以得到,在0.1%~100%的体积分数范围内,同等体积分数下,烷基糖苷岩心回收率

一直低于阳离子烷基糖苷。5% 阳离子烷基糖苷岩心回收率为 95.55%，浓度再升高，则岩心回收率趋于平稳；30% 烷基糖苷岩心回收率为 87.06%，浓度再升高，则岩心回收率趋于平稳；35% 阳离子烷基糖苷岩心回收率 99.80%，而 35% 烷基糖苷岩心回收率仅 89.04%。

自 2011 年以来，通过边研究、边试验、边完善，已形成具有自主知识产权的成熟阳离子烷基糖苷生产技术，截至目前生产出产品 205 t，分别在陕北和大牛地长段水平井、中原小井眼侧钻井现场试验 15 井次，取得了初步应用成果。具体施工井包括靖南 72-13H1 井、高桥 26-126H 井、高桥 46-118H1、中江 16H 井、春 17 侧井、DPH-90 井、DPS-50 井等。现场应用效果表现为：①抑制性能优异，井壁稳定能力突出（靖南 72-13H1 井裸眼浸泡 44 d 完井顺利）；②润滑性能优良，有助于提高机械钻速（高桥 26-126H 井无钻头泥包、定向托压问题）；③易生物降解，无毒环保。

阳离子烷基糖苷前期研究创新程度较高，且属于绿色化学领域，阳离子烷基糖苷除作为油田化学品外，在日用化工、矿物浮选、造纸、纺织、皮革助剂等其他领域也有广阔前景。

正是基于上述情况，该研究获得了“中国博士后科学基金第 50 批面上二等资助”（2011M501194）、“中国博士后科学基金第 5 批特别资助”（2012T50641）、河南省博士后基金匹配资助 2 项。

前期研究中申请相关国家发明专利 10 项，发表相关学术论文 20 余篇，“钻井液用阳离子烷基糖苷的研制”项目获中原油田科技进步一等奖 1 项，河南省百项职工优秀技术创新成果 1 项。

前期现场试验表明，作为抑制剂使用时，产品加入钻井液能较好地满足泥页岩及含泥岩等易坍塌地层的安全钻进。由于时间限制目前尚未形成成熟的阳离子烷基糖苷钻井液。

若以阳离子烷基糖苷为基础构建一种类油基钻井液，其成本远低于以烷基糖苷为基础的一类油基钻井液体系。下步需形成成熟的高性能、低成本、环保型阳离子烷基糖苷钻井液，用于泥页岩及含泥岩地层、页岩气水平井，充分发挥阳离子烷基糖苷钻井液类油基的特性，有望解决目前使用油基钻井液带来的环境问题，将会产生较好的经济效益和社会效益。

除本项目组开展阳离子烷基糖苷在钻井液中的相关研究及现场应用，国内外同行没有开展相关研

究的报道。阳离子烷基糖苷及低成本、高性能、无毒环保的阳离子烷基糖苷类油基钻井液可在中石化区域内强水敏性泥页岩及含泥岩等易坍塌地层、页岩气水平井进行推广应用，有效解决井壁失稳等井下复杂问题，缓解目前油基钻井液成本高、污染环境的问题，降低钻井成本，缩短钻井周期，解决现场难题。阳离子烷基糖苷及阳离子烷基糖苷类油基钻井液为现场亟需，目前已被中石化科技部定为推广项目进行推广，具有较强的市场需求趋势。

2.2 聚醚胺基烷基糖苷及其钻井液

目前国内外对烷基糖苷、聚醚胺分别在钻井液中的应用开展了大量研究，但尚未将两者结合在一起形成一个聚醚胺基烷基糖苷分子整体进行应用的研究，聚醚胺基烷基糖苷产品预计具有聚醚胺和烷基糖苷复配无法达到的效果，一方面，分子中聚醚胺结构的超强吸附及拉紧作用可充分保证强抑制性，另一方面，分子中烷基糖苷结构的位阻效应可充分保证钻井液的分散稳定性，同时通过吸附作用发挥一定的抑制性能。总的来说，聚醚胺和烷基糖苷两者作为一个聚醚胺基烷基糖苷分子上的 2 个不同的结构单元，实现了钻井液稳定性和抑制性 2 种性能的和谐统一，达到既不会破坏钻井液稳定性能，又能满足强抑制性能的目的。

本研究组通过分子设计，合成了聚醚胺基烷基糖苷产品。对产品性能进行了测试，结果表明：①产品与常规水基钻井液配伍性好；②体积分数为 0.1% 产品水溶液对岩屑一次回收率 >96%，相对回收率 >99%，体积分数为 0.7% 产品对钙土相对抑制率 >95%；③产品可使无土基浆和有土基浆的抗温性能由 110℃ 提高到 160℃；④产品体积分数超过 7% 时，润滑系数 <0.1；⑤体积分数为 3% 产品水溶液静态或动态污染岩心后，静态渗透率恢复值大于 96%，动态渗透率恢复值大于 91%。总的来说，聚醚胺基烷基糖苷产品具有超强抑制性、配伍性和其他性能优良，适用于长水平段泥页岩等易坍塌地层及页岩气水平井的钻井施工，应用前景较广。该产品目前已形成成熟的生产工艺，生产出 20 t 产品，已经发至新疆塔中地区顺南 6 井及策勒 1 井进行现场试验，表现出突出的预防井壁坍塌及井壁坍塌后的现场补救能力。

通过室内研究，已形成强抑制、润滑好、无毒环保的高性能聚醚胺基烷基糖苷钻井液优化配方：3% NAPG + 1% 土 + 0.2% HV-CMC + 0.3% XC + 0.8% LV-CMC + 3% CMS + 2% 膏状沥青 + 3% 无

渗透 + 24% 工业盐。该配方性能如下:①抑制性,岩屑一次回收率 97.05%, 相对回收率 99.64%;②抗温性,抗温 > 160℃;③润滑性,极压润滑系数 0.041;④滤液表面活性,滤液表面张力 31.2 mN/m;⑤降滤失性,API 滤失量 1.8 mL, HTHP 滤失量 14 mL;⑥抗污染性,抗盐饱和、抗钙 10%, 抗土、抗钻屑 20%, 抗水 40%, 抗原油 20%;⑦储层保护,静态渗透率恢复值大于 92%, 动态渗透率恢复值大于 90%。通过分析,可以看到该钻井液配方具备高性能水基钻井液性能,可在强水敏性泥页岩及含泥岩等易坍塌地层适用,并有望在页岩气水平井应用,缓解目前油基钻井液造成的成本、环境问题。

3 结论及展望

3.1 结论

(1) 针对 APG 在钻井液中加量大、成本高的问题,国内外形成了不同的解决办法,对比之下,国内研究进展远远领先于国外。

(2) 国外开展了通过烷基糖苷与无机盐的复配来减少 APG 加量的研究,成为国外 APG 钻井液发展的主流方向,无实质性技术进步。

(3) 国内开展了通过烷基糖苷的改性来达到减小加量、降低成本的目的,主要得到了阳离子烷基糖苷 CAPG、聚醚胺基烷基糖苷 NAPG 等改性产品,并形成了相应的钻井液体系,可有效解决泥页岩及含泥岩等易坍塌地层的井壁失稳问题,并有望用于页岩气钻井,缓解油基钻井液造成的成本、环境问题。

3.2 展望

以阳离子烷基糖苷为主剂,配合其他处理剂,形成具有油基钻井液性能的强抑制、低成本、无毒性的阳离子烷基糖苷类油基钻井液;以聚醚胺基烷基糖苷为主剂,配合其他处理剂,形成强抑制、润滑好、无毒性的聚醚胺基烷基糖苷高性能水基钻井液;阳离子烷基糖苷类油基钻井液和聚醚胺基烷基糖苷高性能水基钻井液都将会成为解决油基钻井液使用过程中出现的成本高、污染环境问题的优先措施,推广后将会是国内钻井液技术的一个较大发展。

参考文献

[1] Patel A, Stamatakis S, Young S, *et al.* Advances in inhibitive water-based drilling fluids—can they replace oil-based muds? [C]//International Symposium on Oilfield Chemistry. Society of Petroleum

Engineers, 2007.

- [2] 王中华. 国内钻井液及处理剂发展评述[J]. 中外能源, 2013, 18(10): 34-43.
- [3] 王中华. 钻井液处理剂现状分析及合成设计探讨[J]. 中外能源, 2012, 17(9): 32-40.
- [4] 王中华. 2011—2012 年国内钻井液处理剂进展评述[J]. 中外能源, 2013, 18(4): 28-35.
- [5] Simpson J P, Walker T O, Jiang G Z. Environmentally acceptable water-based mud can prevent shale hydration and maintain borehole stability[A]. SPE 27496, 1995.
- [6] Issam I, Ann P H. The application of methyl glucoside as shale inhibitor in sodium chloride mud[J]. Jurnal Teknologi, 2009, 50(s1): 53-65.
- [7] 张琰, 钱续军. MEG 钻井液在沙 113 井试验成功[J]. 钻井液与完井液, 2001, 18(2): 27-29.
- [8] Zhang Y, Cheng Z, Yan J N, *et al.* Investigation on formation damage control of the methylglucoside fluids[A]. SPE 39442, 1998.
- [9] 吕开河, 邱正松, 徐加放. 甲基葡萄糖苷对钻井液性能的影响[J]. 应用化学, 2006, 23(6): 632-636.
- [10] 欧阳伟, 杨刚, 贺海, 等. MEG 钻井液技术在剑门 1 井超长小井眼段的应用[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(6): 21-23.
- [11] 黄达全, 宋胜利, 王伟忠, 等. MEG 钻井液在滨 26X1 井的应用[J]. 钻井液与完井液, 2008, 25(3): 36-38.
- [12] 雍富华, 余丽彬, 熊开俊, 等. MEG 钻井液在吐哈油田小井眼侧钻井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2006, 23(5): 50-52.
- [13] 付国都, 董海军, 牛广玉, 等. 双保仿油基改性 MEG 的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2005, 22(s1): 8-10, 117-118.
- [14] Weuthen M, Kahre J, Hensen H, *et al.* Cationic sugar surfactants: US, 5773595 [P]. 1998-06-30.
- [15] Stuart B P, Harold L M, Joseph P P, *et al.* Alkoxylated alkyl glucoside ether quaternaries useful in personal care: US, 5138043 [P]. 1992-08-11.
- [16] Allen D K, Tao B Y. Carbohydrate-alkyl ester derivatives as biosurfactants[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 1999, 2(3): 383-390.
- [17] 王中华. 关于聚胺和“聚胺”钻井液的几点认识[J]. 中外能源, 2012, 17(11): 1-7.
- [18] 司西强, 王中华, 魏军, 等. 钻井液用阳离子烷基糖苷的合成研究[J]. 应用化工, 2012, 41(1): 56-60.
- [19] 司西强, 王中华, 魏军, 等. 钻井液用阳离子甲基葡萄糖苷[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(2): 21-23.
- [20] Si Xiqiang, Wang Zhonghua, Wei Jun, *et al.* Study on synthesis of cationic methyl glucoside which was used in drilling fluid[J]. Prepr Pap-Am Chem Soc, Div Pet Chem, 2012, 57(1): 102-103.
- [21] Si Xiqiang, Wang Zhonghua, Wei Jun, *et al.* Performance test for cationic methyl polyglucoside which was used in drilling fluid[J]. Prepr Pap-Am Chem Soc, Div Pet Chem, 2012, 57(1): 86-87.
- [22] Si Xiqiang, Wang Zhonghua, Wei Jun, *et al.* Influence of catalyst on the synthesis of cationic alkyl glucoside[J]. Prepr Pap-Am Chem Soc, Div Energy Fuels, 2013, 58(2): 336-337. ■