

国内勘探领域钻井冲洗液的研究应用现状综述

阮文军^{1,2}

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 广西电力工业勘查设计研究院, 南宁 530023)

摘 要: 文章总结了钻井冲洗液在国内大陆科学钻探、金属矿床钻探、石油钻井、煤田地质钻探、水井工程及地热井等领域的研究应用现状, 以及在废泥浆处理方面的研究进展。

关键词: 钻井冲洗液; 勘探; 理论研究; 应用

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2006)01-0035-05

0 引言

近年来, 国内大陆科学钻探、金属矿床钻探、石油钻井、煤田地质钻探、水井工程及地热井等勘探领域在钻井冲洗液方面的研究应用有了长足进展。本文通过系统总结国内钻井液的研究应用现状, 以期在宏观上提出一些规律性认识, 从而促进冲洗液理论成果和实践经验的推广应用, 明确冲洗液的发展方向。

1 各勘探领域钻井冲洗液的研究应用进展

1.1 中国大陆科学钻探

中国大陆科学钻探工程涉及到的泥浆问题主要有: 温度问题、流动阻力问题、摩擦阻力问题、钻杆内壁结垢问题和地应力问题^[1]。在我国第一口大陆科学钻探井——科钻一井(CCSD-1)的表层中, 采用了石油钻井常用的开孔泥浆: 人工钠土+CMC 体系。泥浆性能为: 密度 1.04~1.07 g/cm³, 粘度 30~45 s, 失水量<12 mL, 动切力 4~4.5 Pa; 二开钻进则采用螺杆马达驱动的 $\Phi=157$ mm 金刚石单动双管取心钻进, 泥浆为 CMG-LBM 复合泥浆体系, 采用除砂器与离心机的组合系统固控; 扩孔钻进采用牙轮钻头加液动锤的转盘回转钻进。在二开泥浆的基础

上, 加入约 2% 的人工钠土, 使泥浆性能达到: 密度 1.08~1.10 g/cm³, API 失水量<20 mL, pH=9~10。采用振动筛和低速离心机固控。以上措施为工程的顺利实施提供了技术保障^[2,3]。

1.2 煤田地质钻探

煤田地质钻探是在软岩进行的连续多作业过程, 在破碎岩石时必须用钻井液冲孔, 以排除岩粉、净化孔底、冷却钻头、润滑减阻。同时, 要采取各种护孔措施来防止孔壁坍塌、掉块、漏水和地层中高压气(液)涌喷等现象的发生。因此钻进中必须有性能较好的泥浆来保证。

从近年的应用情况看, 不分散低固相取得了较好效果^[4]。不分散低固相泥浆有双聚泥浆(组分为膨润土、Na₂CO₃、PHP、Na-CMC、FCLS、KHM)和 PTC 复合泥浆(组分为膨润土、Na₂CO₃、PTC 处理剂、KHM、801 堵剂)。在鸡西煤田永庆第三纪水敏性地层钻进中, 井壁遇水极易水化膨胀, 引起井壁坍塌、卡钻、缩径等事故。采用以 PAM 作选择性絮凝剂、CMC 为降失水剂的聚合物泥浆体系效果较好, 孔内事故率逐年下降^[5]。采用不分散低固相化学泥浆, 还从根本上解决了地面超深孔钻探和井下探水钻施工中的坍塌、掉块、缩径难题^[6]。

另外, 在松软煤层中钻进瓦斯抽放孔时, 由于既要成孔又要保持较高的瓦斯渗透率, 采用泡沫冲洗液钻进工艺, 取得了较好效果^[7]。

1.3 石油钻井

目前, 泥浆材料主要有水基泥浆(WBM)、油基

泥浆(OBM)和合成基泥浆(SBM)3大类。国内对油井泥浆理论和应用方面的研究都比较深入。

在泥浆应用上,国内不同地区所用的钻井泥浆各有特色。为解决辽宁盘锦双台子地区井壁坍塌问题,选定DZ31钻井液。其配方为:3.0%预水化般土浆+2.0%硅酸钾+0.4%PAC141(或大分子)+0.1% X_c (或0.3% $Hc2CMC$)+(0.5%~1.0%)聚乙烯醇+2.0%封堵材料WF21(或氧化沥青)+(2.0%~3.0%)聚合醇+(0.1%~0.5%)XY27+(0.1%~0.5%)醇基防塌剂IJ21。通过岩屑浸泡、岩屑回收率、页岩膨胀率等室内试验方法对其防塌性进行了评价^[8]。在鄂尔多斯北部工区深井和超深井中,华北石油局研制成功无固相和抗高温的两种泥浆体系。两种泥浆都具有较强的防塌性,为探索深层天然气和储层保护提供了条件。在地层压力较低的井段使用无固相钻井液,在进入超深井段的高温地层使用抗高温钻井液。经两口井现场使用,效果理想。为解决塔里木油田长裸眼井段井壁稳定、上部地层起下钻阻卡严重的问题,采用“低粘、低切、低坂含”的低固相强包被聚合物钻井液体系,成功地解决了上部井眼起下钻的阻卡问题^[9]。在江苏油田,在对地层的岩心矿物组分和理化性能进行分析的基础上,进行了地层分类及地层泥浆技术的适应性研究,研究推广了多种泥浆体系,包括钾盐类防塌泥浆、沥青类防塌泥浆、两性离子聚合物泥浆、阳离子聚合物钻井液和复合金属两性离子聚合物钻井液^[10]。在陕北工区,近20口超负荷井的实践证明,两性离子聚合物泥浆具有很强的适应性,具有良好的抑制防塌和润滑防卡特性。使用维护简单方便,综合经济效益好^[11]。国内钻井单位在哈萨克斯坦厚盐层(最厚900 m)、盐层中塑性泥岩夹层(最大泥浆密度2.15)等复杂地层钻进时,也采用两性离子聚合物泥浆体系使钻井难题得到了全面解决^[12]。华东石油地质局六普在泰国北部Banthi构造定向井施工中,发现晚中新统以上松散的砂岩、砂砾岩地层存在较严重的漏失现象,晚中新统和渐新统的泥岩极易坍塌掉块。为此在泥浆中加入1%~3%的无荧光防塌润滑剂,配制出超级润滑聚合物泥浆,使泥饼摩擦系数小于0.07。该泥浆不仅提高了钻速,而且解决了携砂、剥落掉块、漏失等复杂问题,提高了钻井效率^[13]。

在泥浆材料和性能方面,武玉民等以AMPS/AM/IA三元共聚物作为降滤失剂,研究了220℃老化前后淡水泥浆和盐水泥浆的中压滤失量和流变性

能,考察了高温老化前后淡水泥浆粒度分布的变化,探讨了该泥浆的高温稳定机理^[14]。张小平等针对钻井过程中泥页岩的水化膨胀导致井壁不稳定和泥浆性能恶化这一严重问题,研制了一种阳离子型聚合物抑制剂——JFT。该抑制剂具有好的水溶性、时间稳定性和热稳定性,其适应温度范围广(在30~95℃下不生成絮状沉淀),有效浓度为1%的JFT比5%KCl的抑制性还好^[15]。

在可以预见的未来,油井泥浆的发展仍将以前述3大类为主,新型泥浆的研制与应用主要以提高钻探综合效益且不污染环境为目标。水基泥浆技术将主要集中于解决四大技术问题:改善和提高水基泥浆稳定井眼的能力、提高泥浆的高温稳定性、避免或最大限度地减轻对储层的损害、满足环境保护对泥浆的要求。油基泥浆的发展则主要是研制新型的油基泥浆处理剂,尤其是高温高效乳化剂^[16]。

1.4 金属矿床钻探

金矿等一些金属矿床赋存于蚀变岩体中,岩石松散破碎严重,极易水敏,因此在钻进中往往出现岩心采取率达不到要求、夹埋钻事故频发、钻孔报废等一系列问题,有一些矿区甚至成了金刚石钻进无法施工的所谓“禁区”。

针对金矿钻进的共性问题,长春工程学院开展了长期研究,于上世纪80年代研制成功DWY-II型无固相聚合物冲洗液(又称为PAA聚合物冲洗液或PAA无固相冲洗液)。该冲洗液在北京对石金矿、武钢金山店铁矿、山西刁泉金矿、山东招远金矿、辽宁宽甸硼矿等多个矿区的复杂地层得到应用推广,取得了显著效果。这种聚合物冲洗液由于选择了低聚合度、非离子型、结晶性好的高分子聚合物,用于有水浸润和冲蚀下立即散落的水敏坍塌层有良好的效果。该冲洗液中高分子链中的官能团在助剂A和助剂B的交联下,形成致密、坚韧、柔性好的网,在井壁表面或随冲洗液深入井壁形成比较坚韧的吸附薄膜或吸附圈。由于它们胶结性强,不脱落,致密不易透水,因此对松软水敏或松散破碎的孔壁岩石都有极强的胶结保护作用。

另外,武警黄金技术学校研制成功的WJ1冲洗液使用效果也很好。其配制材料是一种经过特殊加工处理制作的粉剂。粉剂使用前需预泡4h,加量为0.1%~0.2%^[17,18]。

目前,在武警黄金部队应用较多的和效果最好的仍然是这两种冲洗液,如在山东三山岛蚀变岩型特大金矿床、黑龙江省漠河县砂宝斯水敏性岩层矿

区、甘肃寨上水敏金矿区、河南省栾川县狮子庙蚀变破碎金矿区推广应用后,收到明显成效。河南省栾川县狮子庙矿区使用 PAA 聚合物冲洗液以后,钻探直接成本降低了 74.6%,钻孔事故率由 52% 下降到 0.2%,台月进尺、台月效率提高 3 倍,优质孔率达到 100%^[17, 19-23]。

吉林镍业公司在富家矿进行深部找矿勘察时,在应对石墨化、绿泥石化、蛇纹石化黑色片麻岩水敏地层时,也使用了 PAA 无固相冲洗液,成功地解决了这一难题^[18]。

有的矿区应用 DWY-II 型冲洗液(或称为 PAA 无固相冲洗液、PAA 聚合物冲洗液)时,发现聚合物在水中的溶解情况不好,特别是加入助剂以后,聚合物絮凝明显,与实验室的配制效果有明显差别。经检查发现是矿区水的酸性严重影响了聚合物胶联。针对上述情况,在配制冲洗液之前,向水池内加入一定量的 Na_2CO_3 ,使水的 pH 值调整到 7~8 之间,另加入 1% 的皂化油助溶,从而圆满解决了这一问题^[18, 20]。

国内勘探单位在可地浸砂岩型铀矿钻探施工中,应用了 GSP 广谱“双护”型泥浆,使得冲洗液不仅具有保护孔壁的作用,而且具有保护岩心的能力。其配方为:1 m³ 水,钙土 150 kg,纯碱 1.5~2.0 kg, GSP 护壁剂 1~3 kg。泥浆性能为:漏斗粘度 22~24 s,相对体积质量 1.15~1.25^[24]。

1.5 水井泥浆和地热井泥浆

在地下水资源评价中,往往因渗透系数的不确定而影响成果的准确性。含水岩土层水文地质参数中渗透系数评价一般是靠抽水试验获得。为了准确评价含水岩土层的渗透系数,对抽水试验的钻孔在施工中均有特殊的要求。

在复杂的地质条件下,抽水钻孔处在松散岩土层中,钻孔难以按设计要求施工。在含水层孔段钻进时,存在一个矛盾:要保证孔壁不坍塌,就要求冲洗液有良好的护壁性;而起护壁作用的泥皮或高分子吸附膜反过来却会堵塞孔壁和内部含水层的孔(空)隙,降低含水层的渗透性,从而会大大降低水井的出水量。那么,各种冲洗液对含水层的封堵作用各有多大、哪种冲洗液最容易洗出、哪种泥浆是最理想的水井冲洗液等问题仍有待深入研究。阮文军等针对各种典型冲洗液对含水砂层的封堵能力、是否容易被洗出以及护壁性能进行了专项研究。试验表明,普通泥浆对含水层的封堵作用强,而且不容易洗出。PHP-水玻璃无固相冲洗液既有较好的护壁效

果,又对含水层有较小的封堵作用,且封堵后易于洗井,因而它可作为水井工程的首选钻井冲洗液^[25]。吕宪印等则利用煤矿供水勘探孔,进行了不同冲洗液及不同洗井方法条件下的抽水试验,研究不同冲洗液对井孔涌水量及含水岩层渗透系数的影响以及不同洗井方法对井涌水量及含水岩层渗透系数的影响。试验中采用的冲洗液有白灰泥浆、普通泥浆、清水钻进。试验结果表明,普通泥浆孔的涌水量小于清水孔的涌水量^[26]。因此可以说,无论是对含水砂层还是对含水岩层,泥浆成井对这些含水层的渗透系数都存在重大影响。

值得一提的是国内某单位在沙特阿拉伯利雅德地区以西的王子农场进行 2 300 m 深水井钻进中所用的泥浆。该地区地层剖面上以石膏层或其他岩层夹石膏层居多,遇水蠕变,极易造成缩径,形成卡钻事故。施工中严格控制泥浆的失水率。一开泥浆选用高坂土 CMC 聚合物泥浆体系,配方:水+10% 坂土粉+0.1% Na_2CO_3 +0.6% NaOH。钻进中采用 0.1% FA-367+0.1% HV-CMC 的胶液维护。二开井段采用聚合物体系,使用一开泥浆钻完灰塞后,加入适量胶液降粘切。钻进中采用 FA-367 抑制泥页岩分散,SK-2、JT-888 等控制失水^[27]。

关于地热井泥浆,陈礼仪等对地热钻井中泥浆的特点、类型、使用和配制方法进行了归纳和总结^[28]。在高温高压泥浆性能测试仪器方面,我国石油、地质等科研院所在 20 世纪 70~80 年代进口了 30 多台 Fann50C 高温高压泥浆流变仪。在应用中相继出现转速不稳、高速上不去、温度失调等故障而陷入了瘫痪。针对 Fann50C 高温高压泥浆流变仪存在的问题,赵建刚研制、开发了“Fann50 CHTHP 流变仪新型测控系统”^[29]。

2 废泥浆处理研究进展

钻井废弃泥浆是一种含粘土、加重材料、处理剂、污水、油污、钻屑的多相悬浮体。对废弃泥浆的调查分析表明,总铬、6 价铬、总汞、总砷、总镉、总铅、COD_{Cr}、石油类、pH 值等污染指标多半高于国家污染物综合排放标准(GB8978-1996)。我国每年废弃泥浆排放总量为 39 万余 t,基本上未经处理,就地堆放,存在严重的污染隐患。而国内基础工程等领域的废泥浆排放量也相当大。对废弃泥浆的处理问题亟待解决。对此,国内从凝固和固化两个方面对废

弃泥浆固化问题进行了一定程度的研究。

在选择混凝剂方面,胡超、李巨龙采用烧杯搅拌法评价了混凝剂对钻井废泥浆液的处理效果。混凝剂选用含有铁离子带硫酸根配位基的聚合氯化铝(PAFCS),助凝剂用聚丙烯酰胺(PAM)。用浊度作为处理效果评价指标。试验表明,用 PAFCS 处理废泥浆液絮体形成速度快,混凝效果好,价格低廉,具有良好的市场前景^[30]。

在固化研究方面,费立等提出了一种利用粉煤灰处理废泥浆的技术方法^[31]。秦坚等通过用压出法测定在模拟井下温度条件下养护的固井材料与不同组成的泥浆所浸泡的模拟岩心之间的二界面粘结强度,发现纯泥浆与堵剂间无法形成有效的粘结,而掺加高钙粉煤灰的泥浆内部可以发生轻微的水硬化反应,使其与堵剂很好地固化成一体,形成一个良好的粘结层。使用掺加高钙粉煤灰的改性泥浆浸泡岩心,其二界面粘结强度可比纯泥浆浸泡的岩心提高 2 倍以上。这说明用高钙粉煤灰固化泥浆可能具有较好的应用前景^[32]。

在絮凝固化理论和试验方面,屈玉成等对固化体进行了早期强度试验、抗压强度试验,对固化体浸出液作了水质分析。试验表明,只要温度不是太低($\leq -5^{\circ}\text{C}$),废浆的固化处理都可以进行,废弃泥浆经固化后的 COD_{Cr} 和总 Cr 浓度逐渐变小;固化 7 d 后固化体浸泡液的各项指标都能达到环保要求;要提高固化效果,除了提高固化体的抗压强度外,还应设法减小空隙通道,促进颗粒胶结^[33]。

为研究泥浆固液分离效果的影响因素,刘勇健运用正交设计原理进行了试验。研究结果表明,混凝效果的影响因素依次为:混凝剂种类、泥浆浓度、加量和搅拌时间。当泥浆浓度低时,无机混凝剂还能起作用;但对于高浓度泥浆的效果则不明显。与无机混凝剂相对比,有机絮凝剂效率高、产生絮团大、沉降快、用量少、较经济^[34]。

3 结语

从国内近年来的研究应用情况来看,钻井冲洗液在煤炭行业仍将以不分散低固相泥浆为主;在金属矿床勘探的复杂地层钻进中聚合物冲洗液的作用不可替代;水基油井泥浆将主要集中于解决四大技术问题:改善和提高泥浆稳定井眼的能力、提高高温稳定性、减轻或避免对储层的损害、满足环保要求。

油基泥浆材料的发展主要是研制新型油基泥浆处理剂,尤其是高温高效乳化剂;在水文水井钻探中,泥浆对含水层的封堵作用大,严重影响水井涌水量,而 PHP-水玻璃无固相冲洗液可望在解决这一问题中发挥关键作用;用高钙粉煤灰处理废泥浆实验效果明显,应用前景看好。

参考文献:

- [1] 杨甘生. 科学钻探泥浆性能要求与分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, (增刊): 237-238.
- [2] 贾军. 中国大陆科学钻探先导孔及扩孔钻井泥浆工艺[J]. 探矿工程, 2003, (3): 57-60.
- [3] 陈小明, 李传武, 孙德宇, 等. “科钻一井”一开泥浆技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, (6): 63-64.
- [4] 梁国军. “双聚泥浆”在钻探中的配制和应用[J]. 西部探矿工程, 2003, (7): 123-124.
- [5] 薛永久. PAM-CMC 聚合物泥浆钻进永庆第三纪地层的应用[J]. 煤炭技术, 2004, 23(7): 88.
- [6] 张现才. 化学泥浆在矿区钻探中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2001, (4): 44.
- [7] 金永军. 泡沫冲洗液在松软煤层中钻进瓦斯抽放孔的应用[J]. 中国矿业, 2003, 12(3): 37-39.
- [8] 董伟, 周宏敏, 赵长海. DZ231 防塌泥浆体系的研究和应用[J]. 矿物岩石, 2001, 21(4): 82-84.
- [9] 杨君明. 塔里木探区上部井眼防阻卡钻井液技术[J]. 西部探矿工程, 2004, (9): 88-90.
- [10] 薛芸. 江苏油田易塌地层分类及泥浆技术的研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(1): 55-58.
- [11] 梁福成, 王卫国. 两性离子聚合物泥浆的应用实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, (5): 50-51.
- [12] 邓小刚. 两性离子聚合物泥浆技术在哈萨克斯坦的成功应用[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(1): 46.
- [13] 陈亮. 超级润滑聚合物泥浆在泰国北部 Banthi 构造定向井中的使用[J]. 陕西地质, 2004, 22(1): 63-67.
- [14] 武玉民, 孙德军, 吴涛, 等. 耐温抗盐降滤失剂 AMPS/AM/IA 共聚物泥浆性能的研究[J]. 油田化学, 2001, 18(2): 101-104.
- [15] 张小平, 张依华, 梅平, 等. 钻井泥浆抑制剂 JFT 的实验研究[J]. 湖北化工, 2002, (3): 16-17.
- [16] 何远信. 国内外泥浆材料的现状及发展趋势[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, (5): 47-49.
- [17] 王从新. 无固相冲洗液在复杂地层钻进中的应用[J]. 西部探矿工程, 2003, (12): 102-103.
- [18] 裴向军. PAA 冲洗液在吉镍千米钻的配制与使用[J]. 地质找矿论丛, 2001, 16(2): 140-142.
- [19] 孙传欣. PAA 冲洗液在三山岛蚀变岩型金矿中的应用[J]. 探矿工程, 2003, (6): 41-42.
- [20] 舒本耀, 李漪. 仿 DWY-II 型无固相冲洗液在砂宝斯矿区水敏层的应用[J]. 探矿工程, 2002, (5): 43, 45.

[21] 王从新, 徐宝东, 赵一军. 无固相冲洗液在复杂地层钻进中的应用[J]. 黄金地质, 2003, 9(3): 78-80.

[22] 王政敏. PAA 高分子聚合物冲洗液在复杂地层钻探中的应用[J]. 地质与勘探, 2001, 37(4): 83-84.

[23] 李振学, 张社明. PAA 无固相冲洗液的研究与应用[J]. 黄金地质, 2003, 9(2): 72-75.

[24] 刘晓阳, 段隆臣, 姜德蓉, 等. 松辽盆地可地浸砂岩型铀矿钻探施工技术[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(4): 130-134.

[25] 阮文军, 黄有魁. 钻井冲洗液对水井出水量影响规律的模拟试验研究及其应用[J]. 地质与勘探, 2001, 37(6): 76-79.

[26] 吕宪印, 成胜权, 王润秋, 等. 冲洗液及洗井方法对井涌水量的影响[J]. 黑龙江水专学报, 2000, 27(2): 33-36.

[27] 孟庆刚, 王怀芝, 王立超, 等. 关于水井泥浆运用的几点认识[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(9): 87-88.

[28] 陈礼仪, 苏宁. 地热钻井泥浆的使用[J]. 探矿工程, 2003, (增刊): 244-246.

[29] 赵建刚. 泥浆高温高压流变特性测试方法及装置的应用[J]. 探矿工程, 2002, (4): 42-43.

[30] 胡超, 李巨龙. 混凝剂处理钻井废泥浆液的研究[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(4): 58-60.

[31] 费立, 陈礼仪. 废泥浆固化处理与粉煤灰的利用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, (增刊), 287.

[32] 秦坚, 阎语渝, 杨振杰. 改性钻井泥浆固化的试验研究[J]. 建筑材料学报, 2003, 6(3): 268-273.

[33] 屈玉成, 梅平, 许产铭, 等. 钻井废弃泥浆固化研究[J]. 湖北化工, 2001, (1): 16-18.

[34] 刘勇健. 废泥浆固液分离的正交试验研究[J]. 探矿工程, 2000, (6): 12-14.

ON PRESENT STATE OF RESEARCH AND APPLICATION
OF DRILLING FLUIDS USED IN EXPLORATION TRADE OF CHINA

RUAN Wen-jun^{1,2}

(1. Dept. of Geotechnical Engineering, Shanghai 200092, China;
2. Institute of Guangxi power Industrial Design and prospecting, Nanning 530023, China)

Abstract: The paper systematically generalizes the present state of research and application of drilling fluids in CCSD, non-ferrous exploration, oil drilling, coal exploration, water well drilling and geothermal well, and progress of waste mud treatment.

Key words: drilling fluid; exploration; research; application