

穆 剑 主编 张克勤 副主编

钻井液及处理剂 评价手册

ZUANJINGYE JI CHULIJI PINGJIA SHOUCE



石油工业出版社

钻井液及处理剂评价手册

穆 剑 主编
张克勤 副主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中国石油钻井液工作 20 多年的概括和总结, 是中国钻井液技术水平的展示。本书主要包含三部分内容, 第一部分是介绍新中国成立以来钻井液技术的发展过程; 第二部分是有关国内外钻井液标准化方面的问题及技术要求; 第三部分是与钻井液有关的必要基础数据及基础知识。

本书为钻井液工作人员及质量检测人员提供了钻井液的有关知识、基础数据和相关标准, 并方便其查阅和工作中使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

钻井液及处理剂评价手册/穆剑主编.

北京: 石油工业出版社, 2007. 11

ISBN 978-7-5021-6209-2

I. 钻…

II. 穆…

III. ①钻井液-技术手册

②钻井液-处理剂-技术手册

IV. TE 254-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 116668 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 32

字数: 800 千字 印数: 1—1500 册

定价: 130.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

编委会名单

主 编：穆 剑

副主编：张克勤

编 委：高圣平 王 欣 宋 芳 王鲜胜
汪桂娟 耿东士 刘长安 王文英
张国兴

前 言

钻井液是钻井过程中保证安全、快速钻达目的层和发现开发油气层的重要因素。因此，是否依据标准保证钻井液的质量，直接影响钻井效果及对目的层的认识。

鉴于钻井液的重要作用，我们组织编制了《钻井液及处理剂评价手册》，目的是为钻井液工作人员及质量检测人员提供钻井液的有关知识、基础数据和相关标准，方便其查阅和工作中使用。随着中国的日益繁荣强大，国际地位日益提高，中国的钻井工程技术日益提高，石油工业“走出去”战略的实施带动了钻井液技术走出国门。中国在伊朗、苏丹、委内瑞拉等国的钻井液服务均获得了好评。编写本书也是为适应并满足国际接轨的需要。

自成立了石油工业标准化钻井液标准审查委员会（1983年）至今的20多年间，石油工业钻井液标准取得了巨大的成绩，不仅制定了API 13类所有的产品标准和操作程序，同时还结合中国石油行业的发展制定了具有中国特色的钻井液行业标准35项，评价方法标准18项，先后2次全文翻译了API 13类标准和OCMA标准（1983年版和1991年版），本书将对这些标准进行收集整理，以便于大家使用。

本书是中国石油钻井液工作20多年的概括和总结，是中国钻井液技术水平的展示。

本书主要包含三部分内容，第一部分是介绍新中国成立以来钻井液技术的发展过程；第二部分是有关国内外钻井液标准化方面的问题及技术要求；第三部分是与钻井液有关的必要基础数据及基础知识。

在本书编制的过程中，先后得到了刘雨晴、王奎才、黄林基、曹治中、张孝远、郭才轩、宋明全、卢甲举、张佩等同志及《钻井液与完井液》编辑部的多方面支持和帮助，一并表示衷心的、诚挚的谢意。限于水平、功力有限，必有错误之处，请批评指正。

编者

2007年3月

目次

第一章 综 述	(1)
第一节 中国钻井液技术发展概述	(1)
第二节 国内外钻井液处理剂发展动态	(14)
第三节 国内外钻井液技术标准化工作综述	(22)
第二章 基础资料	(53)
第一节 钻井液常用术语	(53)
第二节 钻井液小辞典	(56)
第三节 国内外钻井液处理剂对照表	(70)
第四节 钻井液材料安全数据	(87)
第三章 钻井液测试程序	(93)
第一节 钻井液现场测试 第1部分：水基钻井液 (GB/T 16783.1—2006)	(93)
第二节 油基钻井液现场测试程序 (GB/T 16782—1997)	(142)
第四章 国内钻井液处理剂评价程序及方法	(180)
第一节 钻井液用絮凝剂评价程序 (SY/T 5233—91)	(180)
第二节 水基钻井液用降滤失剂评价程序 (SY/T 5241—91)	(182)
第三节 钻井液用消泡剂评价程序 (SY/T 5560—92)	(186)
第四节 钻井液用磺化沥青类评价方法 (SY/T 5794—93)	(189)
第五节 水基钻井液用降粘剂评价程序 (SY/T 5243—91)	(193)
第六节 钻井液用润滑剂评价程序 (SY/T 6094—94)	(198)
第七节 钻井液用发泡剂评价程序 (SY/T 5350—91)	(201)
第八节 钻井液用解卡剂评价程序 (SY/T 6093—94)	(204)
第九节 钻井液用处理剂中磺基含量的测定方法 (SY/T 5242—91)	(206)
第十节 钻井液用桥接堵漏材料室内试验方法 (SY/T 5840—93)	(209)
第十一节 重盐水测试程序 (SY/T 6395—1999)	(211)
第十二节 钻井液完井液损害油层室内评价方法 (SY/T 6540—2002)	(225)
第十三节 钻井液用杀菌剂评价方法 (SY/T 6397—1999)	(236)
第十四节 钻井液用处理剂通用试验方法 (SY/T 5559—92)	(238)
第十五节 钻井液用腐殖酸类处理剂中腐殖酸有效含量的 测定方法 (SY/T 5814—93)	(249)
第十六节 泥页岩理化性能试验方法 (SY/T 5613—2000)	(251)
第十七节 钻井液用页岩抑制剂评价方法 (SY/T 6335—1997)	(259)
第十八节 重晶石化学成分分析方法 (SY/T 6240—1996)	(263)
第五章 国外钻井液处理剂评价方法	(280)
第一节 油基钻井液的热滚评价方法	(280)
第二节 热滚页岩分散评价方法	(286)

第三节	油包水钻井液的制备与评价方法	(288)
第四节	水基钻井液降粘剂评价方法	(291)
第五节	水基钻井液降滤失剂评价方法	(295)
第六章	国内钻井液材料及处理剂产品要求	(301)
第一节	重晶石粉 (GB/T 5005—2001)	(301)
第二节	铁矿粉 (GB/T 5005—2001)	(315)
第三节	钻井膨润土 (GB/T 5005—2001)	(324)
第四节	未处理膨润土 (GB/T 5005—2001)	(327)
第五节	OCMA 膨润土 (GB/T 5005—2001)	(331)
第六节	凹凸棒土 (GB/T 5005—2001)	(335)
第七节	海泡石 (GB/T 5005—2001)	(338)
第八节	技术级低粘羧甲基纤维素 (CMC-LVT) (GB/T 5005—2001)	(342)
第九节	技术级高粘羧甲基纤维素 (CMC-HVT) (GB/T 5005—2001)	(345)
第十节	淀粉 (GB/T 5005—2001)	(349)
第十一节	钻井液用两性离子聚合物强包被剂 FA367 (SY/T 5696—1995)	(353)
第十二节	钻井液用聚丙烯酰胺钾盐 (SY/T 5946—2002)	(356)
第十三节	钻井液用包被剂 PAC141、降滤失剂 PAC142、 降滤失剂 PAC143 (SY/T 5660—1995)	(364)
第十四节	钻井液用两性离子聚合物降粘剂 XY27 (SY/T 5695—1995)	(371)
第十五节	钻井液用增粘剂 80A51 (SY/T 5661—1995)	(375)
第十六节	钻井液用页岩抑制剂 KAHm (SY/T 5668—1995)	(380)
第十七节	钻井液用褐煤树脂 (SY/T 5679—1993)	(385)
第十八节	钻井液用铁铬木质素磺酸盐 (SY/T 5702—1995)	(389)
第十九节	钻井液用超细碳酸钙 (SY/T 5725—1995)	(398)
第二十节	钻井液用润滑小球 (SY/T 5758—1995)	(410)
第二十一节	钻井液用磺化栲胶 (SY/T 5091—1993)	(417)
第二十二节	钻井液用磺化褐煤 (SMC) (SY/T 5092—2002)	(420)
第二十三节	钻井液用磺甲基酚醛树脂 (SY/T 5094—1995)	(426)
第二十四节	钻井液用粉状解卡剂 SR 301 (SY/T 5659—1993)	(434)
第二十五节	钻井液用石灰石粉 (SY/T 5061—1993)	(438)
第二十六节	钻井液用评价土 (SY 5444—1992)	(447)
第二十七节	钻井液试验用钠膨润土 (SY 5490—1993)	(449)
第二十八节	钻井液用页岩抑制剂改性沥青 FT341, FT342 (SY/T 5665—1995)	(454)
第七章	国外钻井液材料及处理剂产品要求	(462)
第一节	高粘聚阴离子纤维素	(462)
第二节	低粘聚阴离子纤维素	(464)
第三节	抑制剂磺化沥青	(467)
第四节	褐煤树脂	(468)

第五节	铁铬木质素磺酸盐	(472)
第六节	单向压力封闭剂	(473)
第七节	粉状解卡剂	(474)
第八节	极压润滑剂	(475)
第九节	铬木素	(476)
第十节	无铬木素	(477)
第十一节	木质素磺酸钾(无铬)	(478)
第十二节	铬褐煤	(479)
第十三节	膨润土增效剂	(480)
第十四节	超细碳酸钙	(481)
第十五节	羧甲基淀粉	(484)
第十六节	羟乙基纤维素 HEC	(484)
第十七节	改性生物聚合物 XCD	(485)
第十八节	生物聚合物 XC	(486)
第十九节	聚丙烯酰胺钠盐	(487)
第二十节	油溶性聚铵	(488)
第二十一节	有机土	(490)
第二十二节	合成乳化剂	(492)
附录		(495)
第一节	磺化沥青测定方法对比表	(495)
第二节	水基钻井液毒性数据表	(496)
第三节	膨润土技术数据单	(497)
第四节	高粘羧甲基纤维素的造浆率表	(498)
第五节	XC 规格集示表	(499)
第六节	中国废止的钻井液材料及处理剂部分标准目录	(501)

第一章 综 述

第一节 中国钻井液技术发展概述

钻井液是服务于钻井工程的一项重要技术。它直接关系着钻井质量的优劣、速度的快慢、采油的多少,甚至钻井工程的成功与失败。因此,被誉为钻井的“血液”。

1949年,中国玉门油矿只有一个几个人的化验室,当时对处理浅层松软粘土造浆和水泥侵都力不从心。新中国成立后,随着中国石油勘探工作的迅速展开,钻井液技术也迅速地发展起来。1952年前后试用成功了石灰处理的钻井液,使中国的水基钻井液从“细分散”阶段进入“粗分散”阶段。1953年开始使用褐煤作为降粘剂。20世纪60年代中国生产的铁铬木质素磺酸盐(FCLS)和羧甲基纤维素(CMC)在油田投入使用。1963年前后研制成功并在现场使用了油基钻井液和柴油乳化钻井液。1964年在大庆油田开始钻松基六井,开始了中国深井钻井液的攻关工作。1974年四川石油管理局钻成功了关基井(井深7175m),研制成功了“三磺”深井水基钻井液,为中国的深井钻井液技术打下了良好的基础。1973年胜利油田开始了“不分散低固相聚合物”钻井液的探索。

自十一届三中全会以来,在党的改革开放政策指引下,和其他行业一样,钻井液技术进入了一个发展的新高潮。1983年召开了全国性的“钻井液处理剂发展三年规划”会议。会上根据当时中国的钻井液技术水平,对照世界钻井液技术发展,拟定出了七条发展规划指标,开始了有计划地发展钻井液技术的历史。随后,“七五”、“八五”国家科研攻关计划开始实施。为配合钻井工程方面开展的“定向井、丛式井钻井技术”、“水平井钻井技术”等课题的完成,在钻井液技术方面也进行了“新体系”的研制和机理的攻关工作,取得了多项突出成果,如“阳离子水基钻井液”、“两性离子水基钻井液”、“正电胶水基钻井液”、“饱和盐水钻井液”、“超高密度水基钻井液”、“油包水钻井液”以及20世纪90年代后发展的“聚合醇水基钻井液”、“甲酸盐水基钻井液”、“合成基钻井液”等,钻井液处理剂已发展到16大类200多个品种。全国十几个陆上油田和中国海洋石油总公司都有泥浆技术公司和研究机构,泥浆专业队伍日益壮大,并与国际有着广泛的联系和交流,使中国钻井液总体水平已接近或达到国际水平,并具有中国特色。

一、水基钻井液体系的发展

1. 细分散水基钻井液的发展

在解放初期的1950—1952年间,勘探工作刚刚开始,处理剂种类较少,这时的钻井液水平还保持在“细分散”阶段。仅会用单宁、烧碱通过人工搅拌配成丹宁碱液来维护钻井液的性能。加入这类处理剂的目的是使钻井液中的固相颗粒变细、变小,达到胶态颗粒的范围,从而保持钻井液性能的稳定。这种细分散钻井液的主要缺点是不耐盐、钙等离子的污染,不能满足钻进各类地层的需要。因此,很快被其他类型的钻井液所代替。

2. 钙基水基钻井液的发展

20世纪50年代,在新疆、四川、玉门、青海等地进一步加大了石油和天然气的勘探开

发, 所钻井的井深大都在 1000m 左右, 最深不超过 3000m。钻井液遇到的技术问题主要是: (1) 浅层软泥岩强造浆问题; (2) 钻井液稠、含砂量高、滤饼厚, 极易造成粘附卡钻问题; (3) 水泥侵、盐水侵、盐侵、石膏侵和芒硝侵问题; (4) 一些硬脆性泥页岩的剥落和坍塌等问题。当时的钻井液处理剂品种很少, 只能用单宁酸、褐煤与氢氧化钠配成的单宁碱液或褐煤碱液来降粘、降滤失和改善滤饼质量。1951 年玉门油矿青草湾 1 井因钻遇高压水层, 频繁地注水泥和钻水泥塞, 使钻井液急骤变稠。经过分析判断, 得知是发生了水泥侵。可是当时没有现成的处理水泥侵的药品。玉门油矿的技术人员通过反复试验, 决定就地取材, 大胆地用当地的土碱 [含约 70% 的 Na_2CO_3 , 约 20% 的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$], 再配合使用单宁碱液, 解决了水泥侵的问题, 为发展并形成“钙处理”钻井液奠定了基础。随后, 对强造浆地层又提出了用石灰对钻井液进行预处理的方法。通过对水泥侵、石膏侵和芒硝侵等问题的解决, 很快地形成并使中国水基钻井液类型从“细分散”阶段进入了“粗分散”阶段, 这时加入处理剂的目的是抑制钻井液中的细颗粒保持适度分散状态。加入的无机盐抑制剂可保持钻井液中的颗粒不要太细以增强对盐类污染的能力。在四川油田, 石灰岩缝隙地层多, 尤其是大溶洞在钻井过程中经常发生井漏、井喷, 因而采取了“遇漏就堵”的办法, 同样造成了钻井液的严重钙污染问题。四川石油管理局的技术人员研制成功了“石膏钻井液”、“氯化钙—褐煤钻井液”等。同时针对四川地区野生植物多的优势, 选用如香叶粉、樟树叶粉等材料, 研制成功了植物胶钻井液以提高抗钙污染的能力。这些体系都有效地推动了四川地区的油气勘探和开发。后来这种钙处理的粗分散钻井液逐渐配套完善并有效地应用于深井中, 如大庆油田的松基六井、胜利油田的东风二井等。钙处理钻井液可以认为是中国 20 世纪 60 年代到 70 年代初使用的主要水基钻井液体系。这种粗分散体系的基本设计思路是: 用钙盐 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaSO_4 , CaCl_2] 或钠盐 (NaCl) 提高钻井液的抑制能力, 保持地层的稳定, 再用铁铬木质素磺酸盐 (FCLS)、煤碱剂 (NaC) 或羧甲基纤维素 (CMC) 及一些表面活性剂来维持钻井液性能的稳定。

3. “三磺”水基钻井液的发展

20 世纪 70 年代初期, 为了满足在四川地区钻一口 7000m 左右深井的需要, 四川石油管理局和西南石油学院共同研制成功了三种新的处理剂, 即磺甲基单宁 (SMT)、磺甲基褐煤 (SMC) 和磺甲基酚醛树脂 (SMP), 抗温可达 180℃。以这三种处理剂为主, 再配合一些其他处理剂配制成的钻井液, 成功地用于关基井和女基井。关基井井深 7175m, 是中国 1977 年前最深的一口井, 该项目获得了国家二等奖。

“三磺”钻井液的研制成功, 是中国在深井钻井液技术上的一大进步。其主要标志是: 这三种处理剂能有效地降低高温、高压滤失量。特别是加入磺化酚醛树脂后, 随着井深和压差的增加, 其滤失量增加很少, 有时还降低, 而这一特性是原钙处理钻井液达不到的, 很大程度地改善了泥饼质量。减少了井下的坍塌、卡钻等复杂情况, 提高了深井钻探的成功率。例如钻至深一井 (四川) 4700m~5335m 井段时, 在含 10% 膨润土浆中加入 4% SMP、6% SMC、0.3% SP-80 活性剂、0.15% AS (烷基磺酸钠)、0.2% $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、5% 柴油后, 在 192℃ 的井底温度下, 钻井液滤失量从未加 SMP 的 23.7mL 下降至 9.6mL, 摩阻系数 ($K_{f45\text{min}}$) 为 0.07。经过五次断钻具、三次打水泥塞、一次顿钻事故, 均未发生卡钻, 为中国深井钻井液技术开创新的局面打下了坚实的基础。后来这三种磺化物与聚合物相结合, 形成了用途十分广泛的“聚磺”深井水基钻井液。

4. 聚合物水基钻井液的发展

聚合物水基钻井液至今仍是使用面最广、量最大的一类钻井液类型。二十几年来在全国范围内有关科技、工程人员的共同努力下，取得了突出的成绩并具有中国特点，其发展过程可分为三个阶段。

1) “不分散低固相聚合物”水基钻井液阶段

20 世纪 70 年代，“喷射式钻头”的出现给钻井液的性能提出了四项新的要求：(1) 固相含水量大于 4%；(2) 动塑比大于 4:1 (英制 1:1)；(3) 膨润土含量与钻屑含量的比不大于 1:2；(4) pH 值维持在 7~8 之间。同时要求钻井液的流型保持“平板型层流”。为此，几乎是在全国展开了“不分散低固相聚合物水基钻井液”的研究。首先是 1973 年在胜利油田尝试用非水解的聚丙烯酰胺作为絮凝包被剂来控制地层造浆，降低固相含量。1975 年 5 月，原石油工业部在大港油田召开了新中国成立以来规模最大的一次钻井液技术交流会。大会讨论了聚丙烯酰胺聚合物钻井液和深井“三磺”钻井液的经验，讨论了在全国推广应用聚合物优质轻泥浆的问题等。会议认为：应特别重视各种国产处理剂的研制和生产工作、净化仪器设备的研制和应用推广等工作。这次会议调动和激发了全国钻井液专业人员的工作热情和积极性，促进了全国的技术发展和协作。1976—1979 年期间，随着三大技术（喷射式钻头、高压喷射钻井和优质轻泥浆）的推广和使用。将《优质轻泥浆》等教材发放到各油田，开展了全面的学习与应用活动。

这次会议不仅对服务于“喷射式钻井方法”的“不分散低固相聚合物”钻井液起到了很好地推动作用，也使用于钻井液测量的仪器开始向国际标准靠拢，同时更加重视固控设备的使用、研制和提高工作，为今后钻井速度的提高、事故的减少起到了相辅相成的积极作用。

由于这类钻井液是使用长链的有机聚合物代替原钙处理钻井液使用的无机盐抑制剂，因此有效地抑制了地层造浆，很大程度地提高了“井壁稳定性”，在钻井速度方面取得了显著的效果。为了推广这一新技术，由原石油工业部钻井司泥浆处牵头组成了“聚合物钻井液”推广小组，专门负责这一新技术的推广和研究工作。同时在全国，这类产品也如雨后天春笋，研制出了许多品种。从最初的非水解、部分水解聚丙烯酰胺开始，发展到大、中、小相对分子质量的组合，不同官能团（钙、钠、铵盐）的衍生物或接枝聚合物以及扩大到乙烯基磺酸盐、乙烯基吡咯烷酮和带阳离子官能团（后来形成了阳离子聚合物钻井液和两性离子钻井液）的聚合物等。这类水基聚合物钻井液是 20 世纪 80 年代钻浅、中、深井时最重要的一种普遍使用的体系，达到 90% 以上。其所形成的各类产品科研和项目，如“低固相及丙烯酸类聚合物泥浆的研究及推广”（中国石化）、“钾基聚合物抑制性泥浆技术（中国石油）”、“聚丙烯腈聚合物泥浆的研究与应用（地质矿产部）”均分别得到了国家或部级的奖励。

2) “阳离子聚合物”水基钻井液阶段

配合“七五”国家重点攻关项目“丛式井、定向井”钻井工程的研究，北京石油勘探开发科学研究院钻井所成功地研制了“阳离子”聚合物处理剂，形成了相应的钻井液，并在油田现场进行了应用实验。其极强的抑制造浆能力和良好的稳定井壁效能保障了“丛式井、定向井”等特殊钻井技术研究工作的顺利进行。1991 年，定向井、丛式井钻井技术研究项目获国家科技进步一等奖，其中“阳离子聚合物”水基钻井液、“钾石灰”水基钻井

液、“低毒油包水”钻井液、“水包油乳化”钻井液四种类型是主要成果之一，同时“阳离子”型钻井液还获得国家发明专利（专利号：ZL: 91105900.8）。“八五”、“九五”规划期间，又对“阳离子”聚合物钻井液进一步配套完善，在塔里木地区取得了良好的应用效果（轮西二井，井深 6401m）。长庆油田研制成功的“阳离子”聚合物钻井液，彻底做到了无粘土相，一点不加膨润土的情况下，钻井液密度可降到 1.01g/cm^3 ，而且井下正常，提高了钻井速度达 70% 以上，获得了较大的经济效益。

3) “两性离子聚合物”水基钻井液、“正电胶”水基钻井液阶段

1989 年，北京石油勘探开发科学研究院油田化学所与西南石油学院合作在其原复合离子处理剂的基础上研制出了 XY-27（阳离子度不低于 10%）、FA-367（阳离子度不低于 8%）——两种新的两性复合离子处理剂，配合其他处理剂形成了“两性聚合物”水基钻井液。在中国大多数油田推广使用后有效地抑制了地层造浆，稳定了井壁，减小了井壁扩大率。特别是降粘剂 XY-27 的研制成功，解决了多年来在使用不分散钻井液时的老大难问题。在降粘剂中引入了阳离子基团，在技术上是项大的突破。“两性离子聚合物”水基钻井液获得国家科技进步三等奖。山东大学又研制成功了“正电胶”（MMLHC，层状混合金属氢氧化物）处理剂，它是一种带阳离子电荷的无机化合物胶体。这种胶体的特点是在低剪切速率下有很稠的凝胶强度，而在高剪切速率下又会变得很稀。它的这一特点很有利于其在水平井中使用。添加有正电胶成分再配合其他处理剂所形成的钻井液也广泛地用于现场，称之为“正电胶”钻井液。另外，华北油田、中原油田、大庆油田等也开展了带有阳离子官能团处理剂的研制工作，并在保护油气层、配制完井液方面均见到了良好的效果，特别是用于注水工程方面，大大净化了水质，提高了注水的效率。

可以认为，自 1985 年以来，在钻井液、完井液、注水等各方面所开展的“阳离子化”的科研成果和实践是近年来在油田化学工艺方面的一项突出的成果。特别是在钻井液方面，对自从有旋转钻井方法并使用“水—膨润土”带负电荷的悬浮体以来，首次从机理上、实践上建立了一些新的概念，是中国继 20 世纪 80 年代所形成的“不分散低固相聚合物”水基钻井液之后，在钻井液技术上的又一次较重大的技术突破。

5. 深井水基钻井液（聚磺钻井液）的发展

自大庆油田在 20 世纪 60 年代钻成功中国第一口深井——松基六井以来，各油田已先后钻成功许多深井，70 年代四川石油管理局钻成功的超深井关基井（7175m），可以认为是当时钻深井的一面旗帜。随着深井探井的增多，深井钻井的相应配套技术也得到了很快的发展，研制出了适应深井复杂情况的各类处理剂，特别是对地层的特性进行了深入的研究。由原石油工业部钻井司泥浆处牵头系统深入地在全国各油田的“钻进地层和油层页岩矿物组分及理化性能”进行了研究分析，参加的油田有大港、大庆、吉林、辽河、华北、胜利、江苏、中原、河南、江汉、四川、滇黔桂、长庆、玉门、青海、新疆、塔里木、吐哈、冀东等油田和石油勘探开发科学院等单位，历时 14 年。在研究各地区钻进地层及油层岩石矿物组分和理化性能的基础上，制定出了分区分层的“钻井液标准设计”，为各地区深井钻井液配方的制定打下了基础，该研究成果获得了国家级二等奖。

约略来说，中国深井水基钻井液技术的发展可划分成三个阶段：（1）粗分散包括盐水钻井液水基钻井液阶段，如前述是 20 世纪 60 年代到 70 年代初使用的基本钻井液类型；（2）“三磺”水基钻井液阶段，如前述代表井是女基井和关基井；（3）“聚磺”水基钻井液

阶段。

聚磺钻井液是在实践过程中将“聚合物钻井液”与“三磺钻井液”结合在一起而形成的一类目前仍广泛使用于深井的钻井液。虽然聚合物钻井液对控制含蒙脱石含量较高的地层有着突出的抑制效果,但目前还不能适应于深井的使用,特别是在钻遇硬脆性地层时,还必须加入一些磺化物来改善泥饼质量,降低高温、高压滤失量。因此,在深井阶段很自然地将这两种成分结合在一起而形成了“聚磺”钻井液。可以说,在“三磺”钻井液的基础上引入阴离子型丙烯酰胺类作为抑制剂,进而将阳离子型有机聚合物引入“三磺”钻井液作为强抑制剂,是中国深井钻井液技术上的一个很大进步。

现场工作者依据地质沉积的大趋势(上部蒙脱土含量较多,造浆严重;下部伊利石较多,坍塌严重),而把“聚磺”钻井液灵活应用成“多聚少磺”、“只聚不磺”(上部地层),以及“少聚多磺”、“只磺不聚”(下部地层)的处理原则(其大致分界点:井深约在 2500m~3000m,地层约在白垩系前后),甚至简单地称为“上不分散,下分散”七个字来应用于实践中,获得了良好的效果。可以认为:从总体上来看,钻井液技术的发展总是围绕着如何能更好地解决“地层井壁稳定”与“钻井液性能稳定”这一对矛盾而进行的过程。特别是在深井阶段,这一对矛盾就表现得更加突出,而“聚磺”钻井液可以认为是较好地解决了这两个矛盾的一种深井钻井液。

20 世纪 90 年代后期,由于现场实践的需要,如塔里木地区、滇黔桂地区、四川地区的需要,中国的深井水基钻井液技术又有了长足的发展。不仅对包被絮凝剂的相对分子质量、官能团,如对阳离子官能团、阴离子官能团、非离子官能团,进行了更深入的研究,同时在降粘剂、降滤失剂、润滑剂等方面也进行了探索,研制出了更多的这类产品,取得了较好的效果。在机理的研究方面,已经从偏重于泥页岩的理化性能分析发展到更注意力学因素。如在进行深井设计时,通过三个地层压力梯度剖面(地层空隙压力、坍塌压力和破裂压力)的预测和“井眼系统稳定分析程序”的计算机运算,提高了深井钻井工程的成功率。对井壁稳定性的研究方面已从物理的方法,向用化学方法来增强井壁稳定性方面进行了探索。一些石油院校及科研机构已经开展了有关水基钻井液中如何提高并建立半透膜的机理探索和应用,已研制出一些中、低相对分子质量带磺酸根基团的聚合物用作高温高压深井处理剂,耐高温能力超过 200℃。这种类型的处理剂在提高钻井速度方面已见到明显的效果。如四川石油管理局的深井钻井液配方采用这一套体系后平均机械钻速从 1994 年的 1.83m/h 提高到 1996 年的 2.71m/h。特别是在塔里木探区,由于超深井多(5000m),地层复杂,有大段盐层、盐膏层、软泥页岩等复杂情况。在该地区参加钻探的各单位结合实际,研制成功了“稀硅酸盐及饱和盐水”钻井液、“氯化钾硅酸盐聚合醇饱和盐水高密度仿油基”钻井液、“硅络合聚磺屏蔽暂堵”钻井液、“复合硅酸盐”钻井液、“有机盐钻井液”等多套钻井液方案,使钻井液成本逐年降低,钻井速度逐年提高,钻井事故逐年减少。

6. 水包油钻井液的发展

为了满足地质上保护油气层的要求或者取心的需要,中国于 20 世纪 60 年代研制成功了水包油钻井液。水包油钻井液是用油类作内相使之分散于水外相中形成的一种分散体系(乳状液)。这种体系最早是由于原油混入钻井液中而自然形成的,它有效地改善了钻井液的润滑性、滤失性等性能。于是开始人为地加入油类,并研究了水油乳状液的稳定机理,重点研究了乳化剂(表面活性剂)的选择。已得到的结论有:(1)表面活性剂吸附分子间

相互作用力较大者，形成的界面膜强度也较大；（2）复合或混合（例如用阳离子型表面活性剂与阴离子型表面活性剂复配）表面活性剂所形成的界面膜强度比单一表面活性剂吸附的界面膜强度高；（3）乳状液分散介质的粘度越大，则分散相液珠运动的速度越慢，越有利于乳状液的稳定；（4）温度升高将降低界面膜的强度。

依照以上规律，同时满足钻井工程的要求，选择各种不同 HLB 值（亲水亲油值）的乳化剂，配制出了各种油水比的水包油型钻井液。目前已可把油水比提高到 1:1，甚至更高。这一体系的突出优点是可将钻井液的密度降低至 1.00g/cm^3 以下，可以进行测井作业。

中国除了一般使用混油钻井液外，在 1964 年和 1990 年分别进行了两次较突出的应用。

1964 年，在甘肃玉门老君庙油田，为了满足地质正确地获得油层饱和度的需要，玉门石油管理局的同志在 E-25 井研究配制成功了密度低于 1.00g/cm^3 的柴油乳化钻井液。油（柴油）水比为 1:1，另外加入的乳化剂有 0.5%CMC（羧甲基纤维素）、0.1%平平加表面活性剂，经过充分搅拌而获得。该钻井液滤失量为 0mL~3mL，电阻率为 $4\Omega \cdot \text{m} \sim 6\Omega \cdot \text{m}$ ，马氏漏斗粘度为 50s~80s，钻进 100 余米，顺利完成了该井任务。

1990 年华北油田用这种类型钻井液钻成功了“任平一井”水平井。该井井深为 3180m，水平段长 300m。由于该井是古潜山油藏后期增产开发的一口井，井下情况较复杂，水淹严重，底水压力系数为 $0.90\text{g/cm}^3 \sim 0.93\text{g/cm}^3$ ，产出的油中含水率已达到 80%以上。为了降低该油藏开采的底水锥进，降低产液的含水率，提高单井产量和采收率，钻了这口水平井。这口井油层属于低压裂缝性碳酸盐岩油藏，洞缝发育，实测压力系数仅为 0.9383。用清水钻进都有可能漏失，设计钻井液的密度为 $0.89\text{g/cm}^3 \sim 0.95\text{g/cm}^3$ 。通过精密地设计和施工，顺利地完成了任务。该井钻井液配方为：

水 + 油 + 0.2%增粘剂（CMC）+ 0.3%水解聚丙烯腈 + 0.3%降滤失剂（CMC-LV）+ 1.4%主乳化剂（CP-233）+ 0.3%辅助乳化剂（A-20），油水比为 6:4，10 号柴油。

在钻进过程中保持了低的密度 $0.89\text{g/cm}^3 \sim 0.93\text{g/cm}^3$ ，做到了压而不死、溢而不喷的近平衡钻进，出油情况良好。

1995 年继任平一井之后，又用水包油的水基钻井液钻成功了“任平二井”（井深 3500m），油水比达到了 7:3。配方为：

0.1%CMC + 1%高效沥青 + 0.1%PAC141 + 1%乳化剂 CG94 + 0.5%乳化剂 Y-1，油水比为 7:3，原油。

尽管水包油水基钻井液较纯水基钻井液有着突出的好效果，但却由于油类有荧光反应而限制了其使用。为了解决这一问题，北京石油勘探开发科学研究院钻井所展开了“排除钻井液中柴油与磺化沥青荧光干扰”的研究课题（“七五”攻关课题之一）。通过四年的探索，不仅很好地从理论和实践上解决了此难题，同时还研制成功了专门在现场应用的“YZ-1 型石油荧光分析仪”，当钻井液中混有油类（原油、柴油）或沥青类物质时，该仪器能很快地（20min 内）分辨出是地层的油还是钻井液中的油。这台仪器巧妙地利用了柴油（330nm~370nm）、原油（360nm~380nm）和改性沥青（400nm 以后）三种物质的“特征峰”不同，从而设计了三个档，再通过差减法和固定溶剂的冲洗，就能很容易地将钻井液中人为混入的油类和地层原生的原油、沥青分辨出来。目前这一仪器已逐渐在各探井中推广使用，为推广水包油水基钻井液和分辨油气层提供了一个有力的手段。

7. 饱和盐水基钻井液的发展

为了解决新疆、中原、华北、青海等油田的大段盐膏层问题。从 20 世纪 60 年代起, 就开始了饱和盐水钻井液体系的探索。饱和盐水钻井液可以认为是水基钻井液的一种特殊形式。它是遇到了很厚的盐膏层或高压盐水层, 又不能采用油基钻井液时, 所选用的一种特殊类型水基钻井液。由于其分散介质是饱和盐水 (含盐量达到了 34% 以上), 因此用其配浆表现出了与用淡水配浆完全不同的特性, 一些在淡水浆中用的处理剂几乎完全失效, 所以要想维护钻井液性能的稳定, 必须换用一些特殊的可抗盐处理剂。首先是配浆土换用在饱和盐水中可以分散悬浮的凹凸棒土, 又称抗盐土; 其次是选用可抗饱和盐水的处理剂, 主要是降滤失剂和降粘剂类, 如铁铬木质素磺酸盐 (FCLS)、磺化酚醛树脂 (SMP2)、木素树脂 (SPC) 等。至于其骨架配方则与前面所述是一样的, 举一综合配方如下:

膨润土 (或凹凸棒土) + (0.2%~0.4%) 抑制剂 (如 KPAM、PHP、阳离子或两性离子聚合物) + (2%~5%) 磺化物类 (如磺化褐煤、磺化酚醛树脂、FCLS、磺化沥青等) + (0.5%~2%) 润滑剂 + 0.5% 碱 + 盐 (至饱和)。

在使用饱和盐水基钻井液时, 多数情况下井下较复杂, 常伴有高压盐水层, 需要较高的密度 ($1.80\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.2\text{g}/\text{cm}^3$), 所以要加倍小心地去维护处理, 要特别小心发生井喷、井涌或井漏事故, 甚至造成卡钻。在特别复杂的地层条件下, 建议换成油基钻井液为好。

在具体使用工艺方面, 中国在塔里木地区针对盐膏层厚、深 (最深可达 5000m 以上, 厚度可达 2000m) 的特点, 总结出了一套“化学封堵、物理封堵”相结合平衡压力的理论, 研究出了“氯化钾”、“稀硅酸盐”、“欠饱和”三套基本盐水钻井液配方, 以及“硅酸盐”、“聚合醇”、“氯化钾”饱和盐水高密度仿油基钻井液等, 基本上解决了盐膏层带来的问题。

8. 超高密度水基钻井液的发展

超高密度水基钻井液密度多维持在 $2.28\text{g}/\text{cm}^3$ 左右, 这是地壳中存在的矿物和液体的平均密度。如果所需密度超过了此值, 则不再仅仅是上覆地层岩石压力所造成, 而与储层流体的高压有关。尽管这种情况很少, 但却给钻井液的配制和维护造成极大的困难。一般认为: 用通用的重晶石粉可将钻井液的密度加重至 $2.40\text{g}/\text{cm}^3$, 最高可加重至 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$; 用方铅矿粉 (其本身密度为 $6.8\text{g}/\text{cm}^3 \sim 7.5\text{g}/\text{cm}^3$) 可加重至 $3.85\text{g}/\text{cm}^3$ 。

近年来, 由于探区的扩大, 中国在超高密度水基钻井液方面也获得了进展。如四川石油管理局已使用密度为 $2.5\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.6\text{g}/\text{cm}^3$ 的钻井液打成功了数十口高压气井。玉门老君庙油田在钻调整井时成功使用了密度为 $2.50\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.82\text{g}/\text{cm}^3$ 的钻井液。他们的经验是:

(1) 严格控制基浆的粘土含量, 充分预水化, 并控制在 4% 以下, 再加 0.1%~0.2% 水解聚丙烯腈, 以降低摩阻。

(2) 采用铁铬木质素磺酸盐 (FCLS) 和腐殖酸钠 (NaC) 作为降粘剂, 交互使用, 并加入重铬酸钠 ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)。

(3) 配方为: 4.0% 膨润土 + 10% FCLS (或 10% NaC) + BaSO_4 。

1994 年, 滇黔桂石油管理局在官渡构造用密度为 $2.9\text{g}/\text{cm}^3 \sim 3.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的水基钻井液钻成功了井深为 3933m 的官 3 井, 而且是用重晶石粉作为加重剂 (用重晶石粉一般只能加重至 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$), 这一工艺具有中国的独到之处。他们的经验有:

(1) 选择了密度特高的重晶石粉 (最高可达 $4.49\text{g}/\text{cm}^3$)。控制了其粒度分配, 要求粘度效应小于 $50\text{mPa} \cdot \text{s}$, 碱土金属含量低)。

(2) 研制了新的降粘剂, 代号为 DGS-1, 相对分子质量为 $2 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$, 是一种天然高分子聚合物与高价金属离子的多核络合物, 在以此处理剂为基础的基浆上, 优选其他处理剂, 其较成熟的配方是:

井浆: 药液 (DGS-1) 为 7: 3 + 2%SPNH (或 PSC) (腐殖酸树脂) + 5% (柴油: 机油为 8: 2) + 3%FRH (润滑剂) + 0.05%OP-7 (表面活性剂) + 重晶石粉 (至要求密度)。

9. 聚多醇水基钻井液的发展

为了满足环境保护的要求, 特别是在海上钻井时, 钻井液的排放要求很严格, 于是人们研究了几种既具有抑制效果又可以保护油气层, 同时可满足海上钻井要求的水基钻井液。

聚多醇类是一种非离子型的表面活性剂, 通用分子式为 $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})_n$, 这类产品有丙烯乙二醇、二丙烯乙二醇、三丙烯乙二醇以及聚丙烯乙二醇、聚乙烯乙二醇和聚甘油等。在一般水基钻井液中加入一定的上述化合物 (常用的是 5%~30%), 可以明显提高该体系的页岩抑制性、润滑性。聚多醇毒性低, 可以生物降解, 还可以增强钻屑的硬度。也可以加入磺乙基纤维素的碱金属盐、铝盐等复配。聚合醇的平均相对分子质量约在 200~20000 之间。相对分子质量在 200~600 之间的, 在常温下是液体, 相对分子质量大于 600 的就逐渐变为半固体, 随着相对分子质量的增加, 可以从无色、无臭粘稠液体转至半固体状。低相对分子质量聚合醇在室温下可溶于水, 而当温度升高时, 会发生“相”分离现象, 而形成乳状液, 这种特性使聚合醇能够堵塞页岩孔隙而起封堵作用。高相对分子质量聚合醇在地面温度下不溶于水, 乳化后加入钻井液中, 能在钻具表面和井壁上形成一层憎水膜, 有利于防止压差卡钻, 增强润滑性。这样就可以根据井下情况和条件 (如井温、地层特性、钻井条件等) 选择混合的聚醇添加剂, 使之充分发挥协同作用, 来改善钻井液性能, 提高井壁稳定性和钻井速度。

20 世纪 90 年代以来, 首先由江汉石油学院研制成功这类钻井液体系, 在渤海、南海西部、东海、辽河、大港、塔里木等油田使用, 取得了良好的效果。同时还进一步研制了“聚多醇—有机硅”钻井液、“聚多醇—钾钙”钻井液、“聚多醇—KCl”钻井液等。对低渗透油层的保护、环境保护、减少井下复杂情况, 均发挥了积极作用。其配方的组成也不复杂, 像可以在各种水基钻井液中混油一样, 换成混入各类聚多醇即可, 关键是聚多醇类产品的研制和选择。

10. 甲基葡萄糖甙水基钻井液的发展

同样是环境保护、油气层保护的需要, 20 世纪 90 年代由石油大学研制成功一种甲基葡萄糖甙 (Methylglucoside, 简称 MEG) 的新处理剂, 这种处理剂由葡萄糖分子中的苷羟基与甲醇的羟基在无水 HCl 存在下脱水而成。大批量的生产是由玉米淀粉在适当温度、压力和催化剂作用下生成葡萄糖, 然后与甲醛反应生成甲基葡萄糖甙。MEG 的结构与过去使用的纤维素、淀粉类的不同之处在于, MEG 是环式单体, 而纤维素是环式链状结构, 所以 MEG 不存在环式断链问题。又由于在其分子结构里有 4 个亲水的羟基, 因此 MEG 较其他聚糖类有较高的热稳定性。这些亲水的羟基还可以吸附在井壁的岩屑上, 形成一层类似油包水钻井液那样的半透膜, 所以 MEG 有很强的抑制性、润滑性和保护油气层的特性。该钻井液已在胜利、辽河、新疆等油田现场应用, 取得了良好的效果, 并已逐步扩大到大斜井、复杂井和海洋钻井等, 特别在保护油气层方面收到了很好的效果。

11. 甲酸盐类水基钻井液的发展

1997 年前后, 西南石油学院研制成功了甲酸盐类钻井液。将甲酸与氢氧化钠或氢氧化钾在高温、高压下反应可制成碱性金属盐, 如甲酸钠、甲酸钾、甲酸铯处理剂, 用这些处理剂可以配制成甲酸盐水基钻井液。已研制出甲酸钠钻井液、甲酸钾基生物聚合物钻井液、甲酸钾—甲酸钠混合盐水钻井液及甲酸钾—乙酸钾聚合物钻井液等。它们的独特优点是:

(1) 抑制性强, 不仅能有效抑制泥页岩的水化膨胀、分散, 同时具有抗盐膏污染, 高温下稳定等优点。

(2) 不需要加重, 就可以配制高密度钻井液。甲酸钠和甲酸钾盐的水溶液密度分别为 1.34g/cm^3 和 1.60g/cm^3 , 甲酸铯水溶液密度可高达 2.3g/cm^3 , 不仅有利于提高机械钻速, 而且有利于保护油气层。

中国已较普遍应用了这种钻井液体系, 在大港油田、胜利油田、东海地区、辽河油田等使用效果良好。

12. 硅酸盐水基钻井液的发展

硅酸盐钻井液的强抑制性早已为人们所熟知, 中国在 20 世纪 60 年代已试用过硅酸盐钻井液。如 1966 年胜利油田 32136 队在永 3 井使用了硅酸钠钻井液, 创 5d 进尺 2000m 的当时全国最高钻井水平。1984 年, 四川石油管理局川西南矿区曾应用聚丙烯酰胺—硅酸钾钠钻井液取得了好的防塌效果, 用此类钻井液所打的“年 2 井”、“成 26 井”、“亭 2 井”, 其井径扩大率较邻近井平均降低 23%, 但均未得到推广。20 世纪 90 年代, 随着对环保要求越来越严格, 油基钻井液的使用受到了限制。为了解决井壁稳定问题, 国内外又重新开始了硅酸盐钻井液的研究。目前硅酸盐钻井液的应用, 与过去的硅酸盐钻井液相比较, 其中关键的一条是降低了钻井液中硅酸盐的浓度 (从过去的 30% 左右降低到现在的 5% 左右)。这样, 过去存在的流变与滤失性能不好控制的问题均得到了很好的解决。近年来中国石油大学及各油田又对其进行了更为深入的研究。

中国在塔里木地区、大庆油田、辽河油田等均推广使用了这类体系并获得了良好的效果。

二、油基钻井液体系的发展

油基钻井液体系的形成和发展是为了彻底解决在使用水基钻井液时所带来的缺点而想出的新措施。尽管 1m^3 的水与 1m^3 的油, 它们的单价是没有办法相比较的。但是由于使用了水来配制钻井液却给钻井工程带来了一系列的困难, 甚至可以说所有目前已形成的钻井液技术都是为了克服水在井下造成的困难而发展起来的。由于使用了“水”才给所有钻遇的地层产生了水化、分散、膨胀、坍塌, 严重时给钻井工程带来井涌、井漏、卡钻、着火、报废。如果将“水”换成用“油”来配浆, 则一切由“水”导致地层产生的问题将会完全不发生, 也就减少或消除了钻井工程上一系列的困难和事故。早在 20 世纪 30 年代人们就尝试着用原油作为循环流体, 但由于原油缺乏必要的钻井液所要求的性能, 如悬浮能力差、滤失量大、易着火等缺点, 于是像改善“水”的性能一样, 人为地添加一些化学剂, 对原油或柴油进行改性、处理, 开始了油基钻井液的科研和实践的历史。

20 世纪 60 年代, 中国先后在玉门油田、长庆油田、大庆油田等使用原油来配制油基钻井液。如玉门油田在 1964 年配制的密度小于 1g/cm^3 的原油油基钻井液, 所使用的乳化剂是氧化石蜡和烧碱。大庆油田使用的乳化剂是斯潘 80 (SPAN-80) 和烧碱, 但所钻的井深