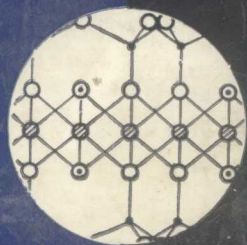


ZJYWJYJBHYQCJS

钻井液完井液 及保护油气层技术

樊世忠 鄢捷年 周大晨 编著



登录号	124021
分类号	TE25
种次号	003

要 要 容 内

如材料由海陆空内国工长送而... 钻井液完井液及保护油气层技术... 樊世忠 鄢捷年 周大晨 编著



石油0117236

朱对星
答解

石油工业出版社

(北京市西城区)

静安里

邮编 100029

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

16开 44.52厘米 11.83厘米

册 0005-1 定价

石油大学出版社

天 00.88 定价
天 00.88 定价

内 容 提 要

本书深入介绍了钻井液、完井液及保护油气层的基本原理和基础知识;全面叙述了国内外最新的科技成就和有价值的理论成果;系统地总结了国家“七五”和“八五”重点攻关项目之一——保护油气层技术的新工艺、新技术。本书的出版适应了加快当前石油勘探开发和培养高级科技人才的需要。本书分上下两篇,上篇着重介绍钻井液,它包括粘土矿物及其胶体化学基础,钻井液化学处理剂、流变性,水基、油基钻井液,气体型钻井流体,井眼稳定性,钻井液固控,钻井液腐蚀和废弃钻井液对环境的污染及其防治等有关内容。下篇是以完井液及保护油气层技术为主,内容有储层损害机理,储层损害评价方法,保护储层的化学剂,完井液修井液,水平井完井液,保护气层技术等。

本书既可作为高等学校及研究院、所石油工程、油田化学等专业研究生和大学的教学参考书,也可作为从事石油与天然气钻采工作的高、中级工程技术人员的培训教材及在职工程技术人员和科技干部的参考用书。

钻井液完井液及保护油气层技术
樊世忠 鄢捷年 周大晨 编著

*

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

山东省东营新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 44.625 印张 1142 千字

1996 年 4 月第 1 版 1996 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—2000 册

ISBN7-5636-0461-8/TE·77

定价: 平装 58.00 元
精装 68.00 元

前言

钻井液、完井液及保护油气层技术是石油工程中加快勘探速度、提高原油采收率和增储上产的重要技术组成部分,是保护油气资源的重要战略措施,对促进石油工业“少投入、多产出”起着十分关键的作用。近年来,国内外在室内的机理研究和现场实践经验方面都有迅速的发展和长足的进步,并在生产上已见到显著的效果。

编写本书的目的,是为石油高等院校和研究院、所石油工程和油田化学专业的研究生及大学生提供一本层次较高、能反映现代钻井液技术最新科学技术成就的教学参考书。在大学教科书中已经介绍的一般内容,如钻井液性能测试、钻井液的滤失造壁性能和钻井过程中的复杂情况等,本书不再作更详细的讨论。此外,考虑到有关水基钻井液的内容在一些专著和教材中已介绍得比较详尽,读者不难自行选读,因此本书只着重介绍一些基本的类型和近期迅速发展起来的阳离子聚合物钻井液和两性离子聚合物钻井液。本书的特点是,着重加强对基础知识和基本原理的介绍,注重理论性,这部分内容约占全书三分之一的篇幅。其次,较系统地总结和论述了国内外钻井液、完井液和保护油气层方面新的应用技术和有实用价值的理论成果,比较详细地反映了国内外近年来的新技术、新理论、新产品、新方法以及新的信息和发展趋势,其中有不少内容是作者多年来所积累的较成熟的研究成果。本书力求做到体现其科学性、系统性、实用性和先进性,是一本覆盖面较广,且有一定深度的教学参考书,也可供从事石油与天然气钻采工作的高、中级工程技术人员和科研人员参考。

本书共分为上、下两篇。上篇共十一章,以介绍钻井液技术及其有关原理为主。即概述、粘土矿物和粘土胶体化学基础、钻井液处理剂化学基础、钻井液流变性、水基钻井液、油基钻井液、气体型钻井流体、井眼稳定性、钻井液固相控制、钻井工程中的腐蚀及其防护和废弃钻井液对环境的污染及其防治。下篇共第七章,以介绍完井液和保护油气层技术为主。即概论、油气层损害机理、储层损害评价方法、保护油气层的完井液化学剂、完井液和修井液、水平井完井液和保护气层技术。

本书上篇第一章由樊世忠执笔,第二、三章由周大晨执笔,第四章由樊世忠、金亮、杨贤友、朱墨、周大晨执笔,第五章由樊世忠、刘雨晴(第三节)、牛亚斌、李健、张达明(第四节)执笔,第六章由樊世忠、鄢捷年执笔,第七章由樊世忠、张志贤(第三节)执笔,第八章由李健鹰(1~5节)、黄荣樽、樊世忠(第6节)执笔,第九章由周广陈、鄢捷年执笔,第十章由周大晨执笔,第十一章由朱墨、王富华执笔。上篇

由周大晨负责统稿,樊世忠审校。

本书下篇第一章由鄢捷年执笔,第二章由鄢捷年、樊世忠、王欣执笔,第三章由鄢捷年、蒋官澄、李淑廉执笔,第四章由鄢捷年、何峰、杨贤友执笔,第五章由樊世忠、何峰、鄢捷年执笔,第六章由何峰、鄢捷年、樊世忠执笔,第七章由樊世忠、何峰、鄢捷年执笔。下篇由鄢捷年负责统稿,樊世忠审校。全书由樊世忠、鄢捷年和周大晨三位主编和部分作者逐章集体定稿。

本书在编写过程中得到北京石油勘探开发科学研究院钻井所及该院研究生部、石油大学、广东省开平科亨油田化学助剂厂的大力支持和帮助。全书由华北石油管理局钻井工艺研究所潘世奎高级工程师审阅。此外,李健鹰、丁余庆、王宝玲、张基达、陆金宽等同志参加了部分章节的审查工作。作者对以上单位和个人表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,加上编写比较仓促,书中难免出现一些不妥甚至错误之处,欢迎读者批评指正。

樊世忠

一九九五年八月

目 录

上篇 钻井液

第一章 钻井液概述	(1)
§ 1-1 钻井液(钻井流体)的概念	(1)
§ 1-2 钻井液(钻井流体)的功用	(3)
§ 1-3 国外钻井液发展简况	(4)
§ 1-4 我国钻井液发展简况	(6)
第二章 粘土矿物和粘土胶体化学基础	(11)
§ 2-1 粘土矿物概述	(11)
§ 2-2 几种常见的粘土矿物	(21)
§ 2-3 粘土胶体化学简介	(40)
✓第三章 钻井液处理剂化学基础	(56)
§ 3-1 概述	(56)
§ 3-2 无机处理剂	(59)
§ 3-3 表面活性剂	(70)
§ 3-4 高分子化合物	(91)
§ 3-5 高分子处理剂的作用机理	(122)
✓第四章 钻井液流变性	(129)
§ 4-1 水基钻井液的流变性	(129)
§ 4-2 油基钻井液的流变性	(144)
§ 4-3 气体型钻井流体的流变性	(152)
§ 4-4 触变性	(160)
§ 4-5 粘度计	(173)
第五章 水基钻井液	(179)
§ 5-1 一般水基钻井液介绍	(179)
§ 5-2 不分散低固相钻井液	(187)
§ 5-3 阳离子聚合物钻井液	(193)
§ 5-4 两性离子聚合物钻井液	(205)
第六章 油基钻井液	(217)
§ 6-1 普通油基钻井液	(218)
§ 6-2 油包水乳化钻井液的组成	(220)
§ 6-3 油包水乳化钻井液的性能	(227)
§ 6-4 油包水乳化钻井液的活度控制	(232)
§ 6-5 低胶质油包水钻井液	(238)

§ 6-6 低毒油包水钻井液	(244)
第七章 气体型钻井流体	(253)
§ 7-1 空气、雾钻井	(253)
§ 7-2 泡沫流体	(254)
§ 7-3 充气钻井液	(281)
第八章 井眼稳定性	(292)
§ 8-1 常见的井塌类型及其对钻井工程的影响	(292)
§ 8-2 泥、页岩的成岩机理及其水化作用	(294)
§ 8-3 井眼稳定的力学因素	(302)
§ 8-4 硬脆性页岩坍塌的机理和评价方法及其防治措施	(306)
§ 8-5 防塌钻井液	(311)
§ 8-6 岩盐层和膏盐层的井壁稳定问题	(322)
第九章 钻井液固相控制	(335)
§ 9-1 概述	(335)
§ 9-2 固控设备	(343)
§ 9-3 固控设备的组合应用	(357)
§ 9-4 固相控制的经济分析	(360)
第十章 钻井工程中的腐蚀及其防护	(367)
§ 10-1 金属腐蚀概论	(367)
§ 10-2 腐蚀速率和腐蚀机理	(375)
§ 10-3 钻井工程中的腐蚀问题	(382)
§ 10-4 金属防腐蚀	(387)
第十一章 废弃钻井液对环境的污染及其防治	(394)
§ 11-1 废弃钻井液对环境的影响	(394)
§ 11-2 废弃钻井液的处理方法	(398)
§ 11-3 废弃钻井液处理系统及设备	(402)
§ 11-4 防止环境污染的新型钻井液	(405)
下篇 完井液及保护油气层技术	
第一章 保护油气层技术概论	(409)
§ 1-1 保护油气层的重要性与涉及的技术范围	(409)
§ 1-2 国外保护油气层技术的发展动态	(412)
§ 1-3 国内保护油气层技术研究概况及今后的任务	(419)
第二章 油气层损害机理	(425)
§ 2-1 概述	(425)
§ 2-2 储层本身潜在的损害因素	(435)
§ 2-3 固相颗粒堵塞造成的油气层损害	(452)
§ 2-4 外来流体与储层岩石不配伍所造成的损害	(472)
§ 2-5 外来流体与储层流体不配伍所造成的损害	(480)

§ 2-6 油藏岩石润湿反转造成的油气层损害	(494)
§ 2-7 岩石毛细管阻力造成的油气层损害	(524)
第三章 储层损害评价方法	(536)
§ 3-1 概述	(536)
§ 3-2 一般岩心分析	(539)
§ 3-3 岩心流动实验	(551)
§ 3-4 模拟井下条件的动态实验	(567)
§ 3-5 储层损害室内评价技术新进展	(577)
第四章 完井液修井液所需粘土稳定剂及其它化学剂	(585)
§ 4-1 粘土稳定剂	(585)
§ 4-2 地层微粒稳定剂	(597)
§ 4-3 其它处理剂及处理方法	(608)
第五章 保护油气层的完井液和修井液	(615)
§ 5-1 概述	(615)
§ 5-2 完井液修井液的类型选择及设计原则	(618)
§ 5-3 完井液修井液的类型及使用	(622)
§ 5-4 完井液修井液的性能控制与调整	(649)
第六章 水平井完井液	(654)
§ 6-1 概述	(654)
§ 6-2 水平井钻井液完井液	(658)
§ 6-3 水平井保护油气层技术	(681)
第七章 保护气层技术	(690)
§ 7-1 低渗气藏的特征	(693)
§ 7-2 致密气藏的地层损害	(695)
§ 7-3 天然气层保护技术	(701)

上篇 钻 井 液

第一章 钻井液概述

§ 1-1 钻井液(钻井流体)的概念

钻井液(或钻井流体)俗称泥浆,是用各种原材料和化学添加剂配制成的一种流体,其各项性能均可调控。钻井液通过地面与井下循环,及时地把破碎的钻屑带到地面上来,保证钻井过程的连续进行,并保障井下安全,保护油气层及取全取准各项工程地质资料。

钻井液属于胶态体系。通常水基钻井液是一种胶态悬浮体,油包水和水包油乳化钻井液属于粗分散—胶体分散体,泡沫流体及充气钻井液是气体在液体中的分散体。在特殊的地层中也可用空气或天然气作为钻井循环介质。

钻井液(或钻井流体)工艺是以基础理论与工程原理相结合的一门应用技术,具体来说,钻井流体工艺包括地质、化学和物理的基础理论与基本知识,同时也包括技艺与工程的应用。运用各种物料、原材料处理剂的科学配伍,合理的使用各种设备,以最经济的成本满足钻井工程的目的。钻井流体工艺不只是设计和配制最理想的钻井流体,而且要以最经济的投资,成功地完成每口井的钻井任务。

国内外钻井流体工艺在获得油气生产显著经济效益方面有了迅速的发展。一方面是为钻井流体引入大量的新材料和化学产品,另一方面是解决各种特殊问题的实际经验有了长足进步。例如如何节省能源问题,如何保护资源、保护油层问题,如何快速安全钻井、降低成本节省原材料问题。钻井流体工艺是若干个钻井工艺能否成功的关键因素。

钻井液基本按两种方法分类:一是按分散体系的标准分为水基钻井液、油基钻井液和气体型钻井液(流体)。二是综合分类法,例如美国曾经把钻井液进行如下分类,见表 1-1 及图 1-1 所示。

表 1-1 钻井液的分类

一、水基钻井液	(1) 石灰	① 透明水溶液
1. 淡水钻井液(不进行化学处理或少量的化学处理)	(2) 氯化钙	② 聚合物钻井液
(1) 抑制性钻井液	(3) 石膏	③ 低固相不分散钻井液
(2) 开钻钻井液	4. 盐水钻井液	二、油基钻井液
(3) 井内自造钻井液	(1) 海水钻井液	1. 油基钻井液
2. 化学处理钻井液(不加入含钙的化合物)	(2) 饱和盐水钻井液	2. 油包水乳化钻井液
(1) 磷酸盐钻井液	5. 水包油乳化钻井液	三、气体型钻井液(流体)
(2) 有机处理的钻井液	6. 特种钻井液	1. 空气或天然气
① 褐煤	(1) 低固相的混油乳化钻井液	2. 充气流体
② 树皮提取剂或其它的抽提物	(2) 低粘土-固相的加重钻井液	3. 泡沫流体
③ 木质素磺酸铬	(3) 加表面活性剂的钻井液	
3. 钙处理钻井液	(4) 低固相钻井液	

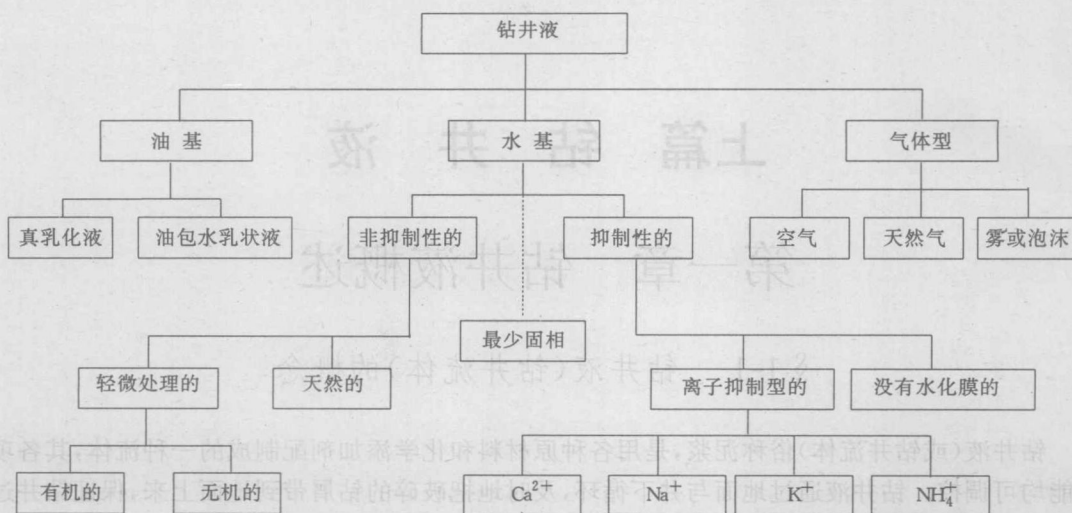


图 1-1 钻井液分类

最近 API 及 IADC 联合提出钻井液分为九类,即非分散体系、分散体系、钙处理钻井液、聚合物钻井液、低固相钻井液、饱和盐水钻井液、完井液修井液、油基钻井液、气体型钻井流体。处理剂分作 18 类,即增粘剂、降滤失剂、缓蚀剂、降粘剂、堵漏剂、乳化剂、表面活性剂、润滑剂、消泡剂、页岩抑制剂、杀菌剂、加重剂、泡沫剂、絮凝剂、解卡剂、温度稳定剂、酸碱度调节剂、除钙剂。

前苏联将钻井液分为六大类,即工艺水、水基钻井液、无粘土钻井液、油基钻井液、充气钻井液和气体介质。每一类中又包括了许多体系,详见图 1-2。前苏联按功能对处理剂进行分类

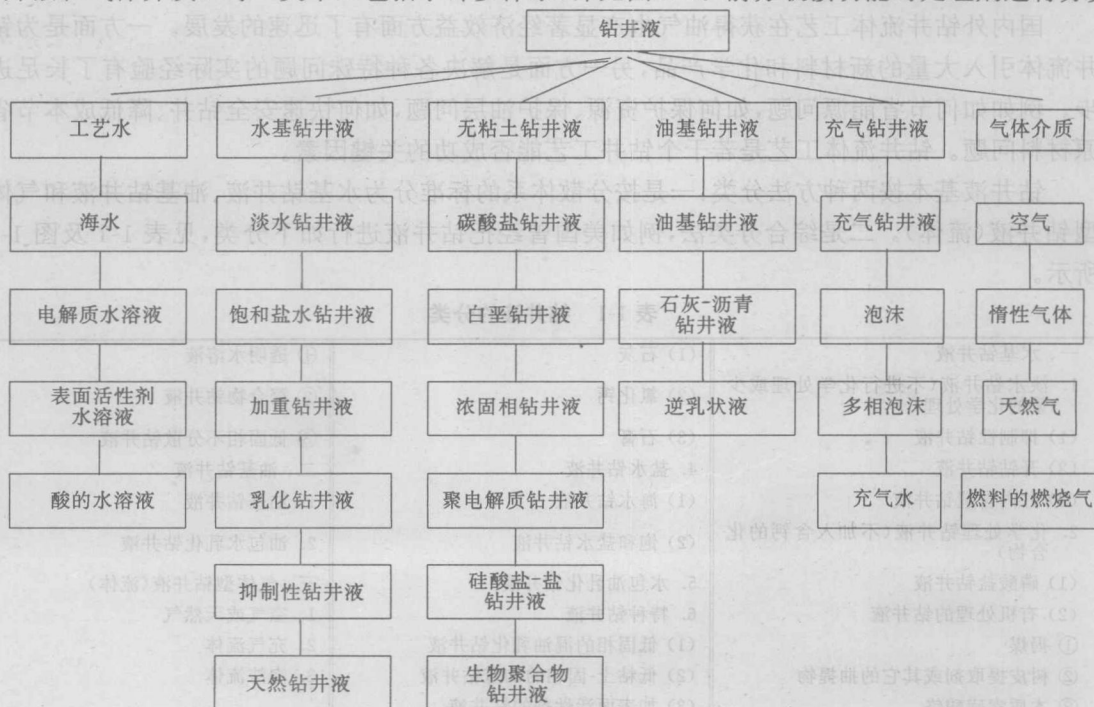


图 1-2 前苏联钻井液体系的分类

如图 1-3 所示。

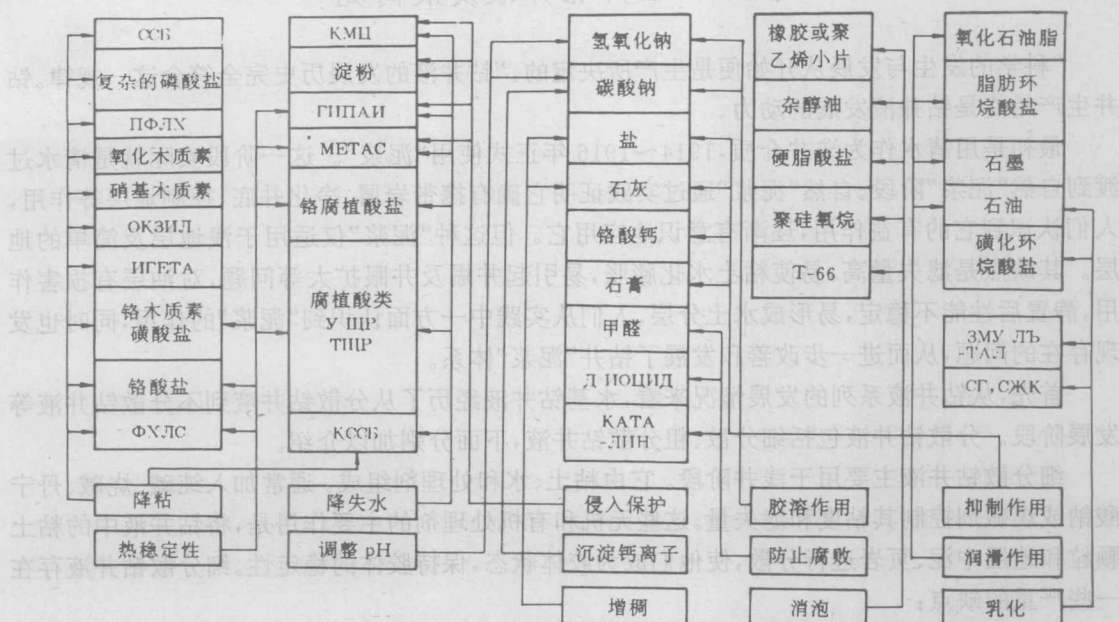


图 1-3 前苏联钻井液用处理剂按功能分类图

结合国际钻井液分类情况,我国将钻井液分为 8 类,它们是不分散聚合物钻井液体系、钾基钻井液体系、饱和盐水钻井液体系、分散钻井液体系、钙处理钻井液体系、盐水钻井液体系、油基钻井液体系、气体钻井流体。我国将钻井液材料及处理剂分作 16 类,它们是粘土类、加重材料、降滤失剂、降粘剂、增粘剂、润滑剂、页岩抑制剂、缓蚀剂、乳化剂、消泡剂、杀菌剂、絮凝剂、发泡剂、堵漏剂、解卡剂及其它类。

§ 1-2 钻井液(钻井流体)的功用

钻井液的功用最基本的有以下两个方面:

1. 保证快速优质的钻井

- (1) 清除井下钻屑并携带至地面;
- (2) 对地层施以足够的反压力,以防地层流体进入井内;
- (3) 保持井眼稳定;
- (4) 冷却与润滑钻头、钻具;
- (5) 传递水功率。

2. 保护油气层,取全取准资料

- (1) 对油气层不发生损害作用;
- (2) 有利于地层测试,不影响地层评价;
- (3) 对钻井人员及环境不发生伤害及污染;
- (4) 对井下工具及地面装备不腐蚀或减轻腐蚀。

§ 1-3 国外钻井液发展简况

“科学的发生与发展从开始便是生产所决定的。”钻井液的发展历史完全符合这一规律。钻井生产始终是钻井液发展的动力。

最初是用清水作为洗井介质,1914~1916年正式使用“泥浆”。这一阶段实际就是清水过渡到自然“泥浆”阶段。自然“泥浆”通过实践证明它确有携带岩屑、净化井底、控制地层等作用,人们认识到它的有益作用,逐渐有意识地应用它。但这种“泥浆”仅适用于浅地层及简单的地层。其缺点是滤失量高,易使粘土水化膨胀,易引起井塌及井眼扩大等问题,对油层有损害作用,静置后性能不稳定,易形成水土分层。人们从实践中一方面认识到“泥浆”的作用,同时也发现存在的问题,从而进一步改善和发展了钻井“泥浆”体系。

首先,从钻井液系列的发展情况来看,水基钻井液经历了从分散钻井液到不分散钻井液等发展阶段。分散钻井液包括细分散、粗分散钻井液,下面分别加以介绍。

细分散钻井液主要用于浅井阶段。它由粘土、水和处理剂组成。通常加入纯碱、烧碱、丹宁酸钠或煤碱剂控制其粘度和滤失量。这些无机和有机处理剂的主要作用是,将钻井液中的粘土颗粒和地层中泥、页岩进行分散,使他们成为胶体状态,保持胶体的稳定性。细分散钻井液存在一些严重的缺点:

(1) 不能有效地控制造浆。遇到大段泥、页岩层,钻井液变稠,为了稀释和降低钻井液密度又需加水,加水后往往又需加土和处理剂调整其性能,这样多次反复处理钻井液,大大地增加了材料消耗,使钻井液成本增加。

(2) 抗盐、抗钙性能差。遇到石膏层、岩盐层、高压盐水层,粘度会急剧增加,滤失量也迅速上升,极易引起井下复杂问题。

(3) 钻井液滤液中存在的钠离子及分散剂,对储层粘土矿物具有水化膨胀、分散及运移作用,会降低储层渗透率,严重地损害油气层。

(4) 抗温性能差。不宜在深井及超深井中使用。

为了克服上述缺点,发展了粗分散钻井液。粗分散钻井液(钙处理钻井液及盐水钻井液均属此类)具有抗钙、抗温性能,能抑制粘土水化膨胀,而且比细分散钻井液对油层的损害小。这类钻井液是以 Ca^{2+} 或较大浓度的 Na^+ 作为絮凝剂;以铁铬木质素磺酸盐作为稀释剂;以煤碱剂或羧甲基纤维素作为有机降滤失剂。由于这几种处理剂综合处理的结果,形成适度絮凝而又相对稳定的粗分散体系。

这类钻井液的缺点是,不能有效地控制钻井液中的固相含量和密度,不能完善地解决大段泥、页岩层的井壁稳定问题,不能满足保护油气层的要求。

上述钻井液的状况大体处于 20 年代末到 40 年代钻井液工艺的发展阶段,不少的钻井液研究成果已应用于现场。1921~1922 年研究发展了加重剂氧化铁和重晶石,1926 年提出膨润土作为悬浮剂的专利,1931~1937 年试制了钻井液测量仪器,1930 年试制成功了稀释剂丹宁酸钠,1944~1945 年把 Na-CMC(钠羧甲基纤维素)用于钻井液,同时研制成功 Ca-木质素磺酸盐。1955 年研制成功铁铬木质素磺酸盐。

随着井深的增加,钻遇高温高压地层,钻井新工艺新技术有了进一步的发展。例如深井钻井、喷射钻井、近平衡钻井、定向钻井和聚晶金刚石钻头钻井等技术的运用和发展,促使钻井液体系和固控装备不断向前发展。首先表现在完善与增多了钻井液类型,其中最突出的是不分散

低固相钻井液,它在60年代到70年代最有效地促进了钻井液技术的发展。深井钻井液、石膏钻井液、氯化钾钻井液以及PDC钻头用的乳化钻井液都是由于钻井生产的需要,在此阶段发展起来的。

不分散低固相钻井液是为了提高钻井速度,改善井身质量及保护油气层发展起来的新型钻井液。从钻井的实践中认识到,将钻井中钻井液的固相含量限制在较低范围内,甚至于发展无粘土相钻井液对于提高钻速,发现油气层是极为有利的。因此,人们将有机高分子化合物聚丙烯酰胺(英文缩写为PAM)引入钻井液中,用它及其衍生物作为化学絮凝剂,使钻屑与劣质粘土不分散,使它们易于在地面产生沉淀而清除,使钻井液中保持少量水化性能好的膨润土(4%以下)。不分散低固相钻井液是聚合物钻井液的一种。

聚合物钻井液是国外水基钻井液发展最迅速的一类。不少学者对其进行了四个方面的研究工作,概括起来是:

- (1) 如何提高钻速问题;
- (2) 低固相的实现和机理;
- (3) 处理剂及体系的发展与应用;
- (4) 稳定井壁,抑制钻屑水化膨胀,防止储层损害的问题。

研究发展的结果,聚合物钻井液的主要类型为水解聚丙烯酰胺体系、氯化钾(KCl)聚合物钻井液体系、醋酸钾(KAc)水解聚丙烯酰胺体系、磷酸氢铵 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 水解聚丙烯酰胺体系、磷酸钾盐非离子型聚合物体系、聚丙烯及聚乙二醇共聚物(COP/PPG)体系,以及聚阳离子体系。

国外较完善的阳离子聚合物钻井液要算M-I公司的MCAT阳离子聚合物钻井液体系,该体系包括高分子阳离子聚合物(MCAT)和低分子阳离子聚合物(ACAT-A),另外还有几种非离子型聚合物所组成的钻井液体系。这是防塌方面新型水基钻井液类型的发展趋势。

油基钻井液是另外一大类钻井液体系,它一般用于大段泥、页岩,易塌易卡的复杂地层,高温深井,海洋钻井及保护油气层等方面。最早约在20年代就用原油作为洗井介质,但其流变性及滤失量不易控制。40年代到50年代,发展形成了以柴油为连续介质的油基钻井液及油包水乳化钻井液。为了克服其影响钻速及成本高的缺点,在70年代又发展了低胶性油包水钻井液。油基钻井液大部分用于海洋定向井、丛式井及油气层取心。由于各国对环境保护的重视,对海洋排毒的严格限制,近10年来,在海洋形成了以低毒矿物油为连续介质的低毒油包水钻井液。近期在定向井和水平井中又大量使用全油钻井液。

1994年8月美国《石油工艺》杂志报道:90年代,由于聚合物钻井液的迅速发展,曾经出现过聚合物钻井液体系将代替油基钻井液的说法。作者将聚合物体系与油基钻井液在11个方面进行对比,即热稳定性、地层稳定性、保护油层、润滑性、可钻性、环境保护、防卡、防污染、防腐蚀、流变性及防漏。最后结论是在抗污染、防腐蚀、保持井眼稳定又能省时地起下钻柱、扩眼及冲洗等方面聚合物体系不如油基钻井液,特别是不如酯基钻井液,而且成本比油基钻井液及酯基钻井液高。因此,作者认为在10年内聚合物水基钻井液似乎还不能完全代替油基钻井液。在对比中提出了值得重视的聚合物体系。例如在热稳定性方面有改性的聚丙烯酸酯三元聚合物及乙烯基酰胺/乙烯基磺酸盐共聚物;在地层稳定性及保护油层方面提出混合金属层状氢氧化物(MMH)、混合金属硅酸盐(MMS)。也有的公司研制了甘油的钻井液、完井液,它具有良好的抑制性、润滑性和絮凝等作用。

气体型钻井流体也是一大类钻井流体体系。它包括空气或天然气、雾、泡沫和充气钻井流

体。这类流体主要应用于低压易漏地层、严重缺水地区、强水敏性地层及永冻地区($-20^{\circ}\text{C}\sim-80^{\circ}\text{C}$)。气体型钻井流体 30 年代就开始应用于石油钻井,泡沫流体是 50 年代开始研究并较为广泛地应用于钻井,以后很快地应用于洗井和修井。在 70 年代开始以氮气配制泡沫,在酸化及压裂中应用,最近以 CO_2 配制的泡沫流体或单独使用 CO_2 液体,在压裂方面发挥了巨大作用。

其次是固控设备的发展。目前固控设备已有振动筛、除泥器、除砂器、离心机、清洁器等,形成了系列。最近又在发展三到四台振动筛和多台离心机组成的整体装置,并正在向不用除砂器和除泥器方向过渡。现在正在研制另一种更有前途的固控技术,它是动态细颗粒清除系统。原先是为清除钻井液池中固相而设计的,这种系统可用以处理由振动筛、除砂器、除泥器和离心机排出的细砂,并将钻井用水回送到钻井液体系中。密闭回路钻井液系统(常用于油基钻井液体系),常常在成本高和环境很敏感地区的井上使用。

原材料和化学剂的发展是搞好钻井液工作的基础。80 年代,国外已发展到 18 类处理剂。从 1981 年到 1989 年,处理剂品种的牌号数由 1864 种增加到 2606 种,而实际产品不过 200 种。从这些年的统计数据来看,除加重剂外,以增粘剂、降滤失剂、降粘剂和页岩抑制剂四类产品增加最多。

微机在钻井液技术中的应用在美国也有相当的发展。一般钻井液公司都有计算中心,可储存上万口井的数据库,随时可调出钻井液实际数据,且设有许多终端,可进行人机对话。只要输入基本要求及具体条件,就可及时得到各种设计方案及处理措施。

§ 1-4 我国钻井液发展简况

早在公元前 200 多年,四川人民就已经能掘凿生产卤水的盐井,在凿盐井的过程中又得到出天然气的“火井”。到唐代,四川的盐井已有 640 余口,有的井深达 500 多米,到公元 11 世纪,我们的祖先已学会使用顿钻,到 18 世纪 30 年代,我国已钻成 1000 余米深的气井。

我国虽然是钻井技术的故乡,但是漫长的封建社会严重地阻碍了生产力的发展,使我国的钻井工业长期处于落后状态。

普通钻井液的使用始于 1937 年,在四川油矿勘探处钻巴 1 井时。当时对钻井液原材料的使用、配制及性能控制均很粗糙,系以附近田间粘土,用泥浆枪喷射水流,使之分散,砂粒等沉于钻井液池底。到 1941 年玉门油矿用旋转钻机加深 4 号井时,也还是用的这种钻井液。由于 4 号井发生严重的井喷,其后的 8 号井曾用铁矿粉配制加重钻井液,但由于这种钻井液质量低劣,也未能制止井喷。1942 年,首先在四川广元找到了重晶石,然后在甘肃兰州附近找到了坩子土,使用这些原材料,油矿自行磨制成细粉,成功地配制了密度为 $1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 的钻井液。

在台湾省,台湾油矿勘探处为了提高钻井液质量,寻找了当地出产的各种原料,如用相思树皮和石榴树叶煮液,经浓缩后作为钻井液的稀释剂;利用海草煮液,加入苛性钠成为藻酸钠,用来调整钻井液粘度。40 年代,甘肃油矿在矿场工程室内设立了“泥浆”试验室,这是我国第一个“泥浆”研究机构,由工程师黄先驯负责。黄先驯自行配制了一套“泥浆”研究设备——如天平、漏斗粘度计、“泥浆”检验仪器等,有关钻井液原料、性能都能试验。在 1947 年采用单宁酸钠处理钻井液成功以后,又在 1948 年试验成功糊化淀粉钻井液,经钻 123 号井时试用性能良好。这个试验室还研究了下衬管完成的油井采用混油钻井液钻开油层的措施。

我国石油工业主要是在解放以后才迅速发展起来的。随着石油工业的飞速发展,钻井液技

术也有了很大的发展,发展的规律与世界发展规律相似,最初是钠基(淡水)为基础的细分散钻井液,在井浅、地层较简单的情况下,有它的优越性,可就地取材、成本低,密度可在较大幅度范围内调整,通过化学处理,其性能也能保持稳定。但钻遇复杂地层,如大段泥、页岩层,厚岩盐层,石膏层及其它可溶性盐类地层,这类钻井液抗污染能力差,粘度和切力急剧增加,滤失量增大,维持稳定性能比较困难。于是发展了石灰、石膏及氯化钙为絮凝剂的钙处理钻井液及盐水钻井液。由于它们具有抗钙侵、盐侵及粘土侵、流动性好和性能较稳定的优点,在我国得到了广泛的应用。

60年代末70年代初,我国钻井液工作又上了一个新台阶。高分子有机处理剂和表面活性剂的品种越来越多,经验也越来越丰富,在几个地区相继钻成了若干口超深井,成功地发展了低固相铁铬盐混油钻井液、低固相铁铬盐盐水钻井液及低固相弱酸性饱和盐水钻井液。有的地区还根据地层特点,就地取材,创造了适合本地区特点的钻井液,如褐煤氯化钙钻井液、褐煤石膏钻井液。有的地区还成功地使用野生植物作为钻井液处理剂,如钻井粉。

70年代末期到80年代中期,我国钻井液工作有了很大的发展。除了在管理工作和仪器设备方面有较大的进展外,钻井液类型、处理剂品种也有很大的进展。1978年以来,四川石油管理局和西南石油学院研制了适宜井深4000~7000m中使用的深井三磺钻井液(磺化丹宁或烤胶、磺化褐煤、磺化酚醛树脂),尔后又在全国推广使用,大大减少了井下复杂情况和卡钻等事故。1978~1990年4000m以上深井全国已钻1218口,钻井液技术水平有很大提高。聚合物钻井液有了进一步发展,开始是聚丙烯酰胺单一型絮凝剂,以后研制成功不同基团、不同分子量的聚合物,形成了多种聚合物低固相钻井液,成功地应用于4000m以内的井,有力地配合了喷射钻井,提高了钻井速度,减少了井下事故。为了解决大段膏盐层,泥、页岩的钻进问题,华北油田、原华东石油学院和石油勘探开发科学研究院研制成功油包水乳化加重钻井液,以后又在新疆、濮阳油田的文东地区取得了很好的效果。以钾盐为主的防塌钻井液也有很大发展,形成了抑制性强、流变性好、性能稳定的多种防塌体系,大大改变了不稳定泥、页岩地层的钻井面貌。解卡防卡剂的研究成功和推广应用,减少或及时处理了不少卡钻事故。处理剂原材料品种增加,质量提高。1978年我国钻井液处理剂仅有40多种,到1983年4月已发展到76种,而且有近100种已研制成功,至1985年已达到16类129种处理剂。从80年代起,着手制订处理剂、原材料质量标准,油田按质量标准进行检验,保证了产品质量,满足了生产需要。

“七五”期间我国钻井液技术得到了全面提高与进步。扼要介绍如下:聚合物钻井液在总结已有成功经验,充分肯定其提高钻速,减少复杂情况的重要作用之时,在使用当中也碰到一些新的问题,如泥饼质量差,钻井液静结构力强,抑制性不够,特别在中深井段以下和在加重液中应用有相当困难。近年来为此组织力量进行了集中研究,开展了对大、中分子聚合物类处理剂的抑制性、降滤失、降粘作用机理的系统研究,同时研究了流变参数及相应模式,取得了不少的成果。为了降低钻井液在喷嘴附近的流动阻力,提高抑制性和增强造壁性,研制成功了两性离子型聚合物钻井液体系,在14个油田推广应用,取得了良好的效果。

为了有效地解决井壁失稳这个老大难题,“七五”期间对不稳定地层的岩性矿物组分进行了大量的分析研究工作,从研究井壁失稳机理入手,系统地研究了各类钻井液、处理剂与井壁稳定的关系,通过研究得到一些新的认识。井塌大部分发生在存在异常压力的地带和构造应力发育的地区,对待这类地层着重要用适当的钻井液密度来解决,防止井壁产生应力集中而坍塌。对缩径或强分散地层,应采用强包被聚合物抑制地层分散,或者采用改善内泥饼性质,使泥饼具有低渗透性和良好润滑性以消除阻卡。对存在层理裂缝的泥、页岩和同一层位中含有不同

类型粘土矿物等原因造成的地层剥落坍塌,要用有效的封堵剂封堵地层的层理裂缝,降低高温高压滤失量与泥饼渗透率的处理剂。对混层粘土矿物地层,必须选用抑制性强的钻井液,例如阳离子聚合物钻井液、钾盐钻井液、钾石灰钻井液等。此外有关院校对钾离子防塌机理进行了微观研究,对井壁稳定配方的研究具有积极意义。

复杂膏盐层也是易发生卡塌、井壁不稳定的地层。通过近年来的研究,解决的途径一是按盐层的塑性变形规律选用与之相匹配的钻井液密度,克服并限制盐膏层的塑性变形;二是采用过饱和盐水钻井液、新三磺钻井液(原三磺钻井液引入磺化沥青)或油包水乳化钻井液解决盐溶和泥、页岩夹层水化膨胀等问题;三是根据井身及钻具结构,选用合理流变参数,防止紊流冲刷而引起的井径扩大和井塌。

定向井、丛式井钻井液技术近 10 年来已有很大的进步,这些特殊的钻井方法要求钻井液技术解决比直井要求更严格的防塌、防卡、携屑、润滑等一系列的技术难题。现已研究出针对不同油田特点,适用于不同井斜及类别的定向井、丛式井钻井液。例如北京石油勘探开发科学研究院的阳离子聚合物钻井液,胜利油田的聚合物乳化钻井液,辽河油田的钾石灰反絮凝钻井液等都较好地解决了定向井及丛式井的技术难题。

近年来新疆等地钻了大量深井,使用了新的三磺钻井液,即原三磺钻井液中又加入磺化沥青防塌剂,并大量应用聚合物磺化钻井液,它兼有聚合物钻井液和三磺钻井液的优点,改善了高温高压条件下钻井液的性能,增强了井壁的稳定作用,减少了井下复杂情况的发生,深井和超深井钻速明显提高,降低了钻井液的费用。

防漏堵漏技术已形成系列。通过系统的基础工作及室内研究,初步搞清了我国漏层分类,为不同类型的防漏堵漏技术提供了科学依据。各油田广泛推广四川石油管理局挤塞堵漏技术,大大提高了堵漏的成功率。针对裂缝性漏失层,采用了迪塞尔堵漏、弹性凝胶堵漏、脲醛树脂堵漏及可溶性盐产生沉淀的化学堵漏等方法。对严重裂缝性漏失层,采取桥塞-迪塞尔-水泥等复合堵漏方法。对低压漏失层采用平衡压力钻穿漏层。针对调整井的漏失层开发了单向压力封堵剂、聚氨酯膨体堵漏剂等。

“七五”前后,北京石油勘探开发科学研究院、新疆油田、二连油田、长庆油田以及辽河油田进行了系统的泡沫和充气钻井液研究与试验工作,到目前为止进行泡沫钻井 26 口,充气钻井液钻井 15 口,泡沫洗井近 100 口,对装置配套、处理剂的评选、配方的研制、计算机软件和工艺技术,均积累了相当丰富的经验,取得了显著效果。国内泡沫钻井最深的井已达 3232m,洗井最深的井达到 4000m 以上。

近几年钻井液、完井液技术又有很大的进步。聚合物钻井液又上了一个新台阶,两性离子聚合物钻井液在 15 个油田数千口井上推广应用。最近又研究成功了两性聚合物降滤失剂 JT888,新抗温聚合物降粘剂 PT-1 与防卡降滤失剂 PPL。研究成功了两性聚合物加重液(最高密度 $2.03\text{g}/\text{cm}^3$),在四川 50 余口井使用,提高了机械钻速。阳离子钻井液在原有的基础上又向全阳离子聚合物钻井液迈进,近几年研究成功阳离子包被剂 SP-Ⅱ,阳离子降滤失剂 CHSP-1,阳离子防塌剂 WFT-666,阳离子降粘剂 GN-1,并引入混合金属层状氢氧化物(MMH)组成的全阳离子聚合物钻井液,其抑制性、稳定井壁和减少油层损害的效能进一步发挥,此类钻井液已在几个油田 40 多口井使用,最深的井深达 6000m。混合金属层状氢氧化物(MMH)钻井完井液是国外 80 年末期形成的一种新型钻井液、完井液,我国几乎是与国外同步发展。它具有独特的流变性、强的抑制性、防塌防漏、提高机械钻速、减少油层损害等效能,目前此类钻井液已在 11 个油田 300 多口井使用,效果明显。胜利油田在水平井中也广泛使用此

类钻井液。目前正在向完井液、修井液方向发展和应用。

水平井钻井液技术日趋成熟。到1993年为止,国内9个油田和有关院校针对7类油气藏钻了37口水平井,其中长半径7口,中半径29口,短半径1口,最深的井深3635m。水平井段最长为901.43m,水平井位移最大1256m,最小曲率半径为0.93°/m。围绕水平井五大难题:携屑机理,防止岩屑床的形成和重晶石的沉淀,井壁稳定力学与化学因素耦合的研究,保护油层技术,包括室内评价及完井液的研制,防漏堵漏技术,钻井液润滑性及防卡等取得了系统的研究成果,大部成果与国外90年代初水平相当。

钻井液、完井液处理剂继续以较快速度发展完善,逐步形成系列。1985年我国仅有16类114种处理剂,到1992年已发展到16类212种,到1993年已有16类246种钻井液处理剂。

固控工作受到各级重视,钻机普遍配备了振动筛、除砂器、除泥器及罐式循环系统,深井及超深井还配备了离心机。钻井液含砂量一般降到1%以下。

钻井液、完井液工作虽然取得很大成绩,但仍不能满足勘探开发钻井生产不断发展的需要,我们还应在以下几方面进行更深入的工作。

(1) 钻井液、完井液处理剂品种上虽然发展较快,但质量和配套方面问题较多,特别是完井液的原材料和处理剂尚未形成系列配套,品种也不齐全。另外,抗温、抗盐、缓蚀剂等也尚需完善。

(2) 性能良好的固控设备,从数量上、质量上远远不能满足油田的需要。除砂器、除泥器效果仍然欠佳,离心机还没推广应用,细目振动筛处于研究阶段,固控设备与固控工艺技术的优选仍停留在初级阶段。这项工作直接影响钻井速度和成本,应加强这方面的工作。

(3) 基础理论研究薄弱,研究部门的仪器设备与国际先进水平相比差距较大,严重影响我国处理剂与钻井液技术进一步发展与创新。

(4) 深井、超深井钻井液技术,复杂地层钻井液技术,水平井、丛式井钻井液和完井液技术,特别是短半径、超短半径钻井液技术,小井眼钻井液和完井液技术,都应进一步深入研究解决。

(5) 保护油气层系统工程的研究亟待解决,从钻开油层、测试、生产、增产措施以及提高采收率系统地整装地保护储层,以及预测、诊断、评价、预防及处理全套技术的研究。

(6) 环境保护方面的研究工作尚处于起步阶段,应积极进行无毒原材料处理剂和钻井液、完井液的研究,加速解决废弃钻井液固液分离及固化等新技术,逐步接近国际研究水平。

(7) 计算机应用还未普及,钻井液、完井液软件开发极少,实用的人工智能专家系统还只是初步探讨阶段。

主要参考资料

- [1] Н. И. Шацов. Бурение Дефтяных и Газовых Скважин, 1961.
- [2] Walter F. Rogers. *Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids*, 1948.
- [3] George R. Gray. *Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids*, 1980.
- [4] G. V. Chilingarian. *Drilling And Drilling Fluids*, 1981.
- [5] 徐同台。“七五”期间钻井液技术发展的回顾,钻井液完井液,1992(5)。
- [6] 何兴余。国外聚合物泥浆文献综述,钻井液完井液,1991年增刊。
- [7] 罗知翊、陈泽鉴。八十年代泥浆处理剂文献综述,钻井液完井液,1991年增刊。
- [8] 倪荣富、张祖兴编。80年代国内外深井钻井技术,石油工业出版社,1992。