

钻井流体工艺原理

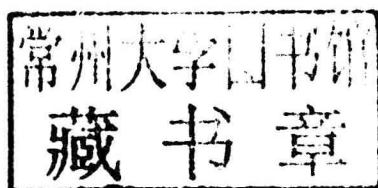
THE PRINCIPLES AND TECHNOLOGY OF DRILLING FLUIDS

黄汉仁 主编

石油工业出版社

钻井流体工艺原理

黄汉仁 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书从钻井流体的基础理论、钻井液的性能与组成入手,系统全面地介绍了钻井流体工艺的相关知识。主要内容包括黏土矿物与胶体化学基础,钻井液界面化学,钻井液的流变性和钻井液的滤失与造壁性,钻井液性能与测试,钻井液材料化学与处理剂,水基钻井液,油基与合成基钻井液,气体型和泡沫型钻井流体,储层钻井液,水平井与大位移井钻井液,高温水基钻井液,井壁稳定,防漏与堵漏,卡钻和井喷,提高钻速的水基钻井液,固相控制,腐蚀与防护,废弃钻井液处理技术和一口井的钻井液设计。

本书可供钻井流体工作者、石油与天然气钻井、采油、地质勘探的工程技术人员、科研人员和院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻井流体工艺原理 / 黄汉仁主编.
北京:石油工业出版社,2016.8
ISBN 978-7-5183-0826-2

I. 钻…

II. 黄…

III. 油气钻井—生产工艺

IV. TE242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 176783 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

编辑部:(010) 64523562 图书营销中心:(010) 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:54.5

字数:1300 千字

定价:225.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《钻井流体工艺原理》

编 委 会

主 编：黄汉仁

成 员：（排名以姓氏笔画为序）

卜 海	于培志	申 威	刘雨晴	孙金声
杨宇平	邱正松	何 纶	余维初	周风山
赵雄虎	赵福祥	徐 东	徐同台	陶美珍
樊世忠				

序

钻井流体在石油、天然气勘探开发中担当重要角色。近 20 年来，国内、外在钻井流体工艺上有很大的发展。我国的钻井流体在保障国家几个五年计划的石油、天然气勘探、开发上起着重要的作用，总体上接近国际先进水平。现在回顾和总结国内、外在钻井流体工艺技术上的发展与进步，编写出版《钻井流体工艺原理》一书是十分必要和很有意义的。

本书主编黄汉仁教授是香港亚洲知识管理学院院士、美国林肯大学荣誉工程博士，是我西南石油大学的老同事。1979 年他主编了《泥浆工艺原理》，首次全面系统的阐述泥浆工艺技术及其作用原理，并将它建立成一门大学课程，对推动我国钻井流体技术人才培养和技术的发展起到了很好的作用；而在经历 30 多年后，钻井泥浆已发展为钻井流体的今天提出编写出版《钻井流体工艺原理》是十分适时和必要的。本书作者都是长期负责钻井流体技术工作和从事钻井流体各项专题研究有出色成就的教授和专家，凭着他们的丰富经验和对钻井流体工艺技术的深刻理解，把钻井流体的基本工艺技术和各主要专题分章深入系统地介绍，大大提高了本书的实用价值和可读性。相信从事钻井流体、钻井工程、石油与天然气及其他地质资源勘探开发的工作人员和院校师生都能从阅读本书中获益良多。

罗平亚

2016 年 1 月

前 言

半个世纪以来,我国钻井流体技术发展迅速,在石油与天然气及其他地质资源勘探开发等领域起到钻井血液的重要作用,形成了一支较高水平的钻井流体专业技术队伍。

“百尺竿头,更进一步”。为了我国石油、天然气工业更大的发展,有必要总结近几十年、特别是近20年国内外钻井流体技术发展的经验和教训,从理论上提高认识,以指导室内科学研究与现场工程施工。为此,我们编写了《钻井流体工艺原理》一书,供钻井流体工作者、石油与天然气钻井、采油、地质勘探的工程技术人员、科研人员和院校师生参考。

本书共二十二章,第一章为绪论,第二章到第五章为钻井流体的基础理论。包括黏土矿物与胶体化学基础、钻井液界面化学、钻井液的流变性和钻井液的滤失与造壁性。第六章到第十一章为钻井液的性能与组成以及目前常用的五种钻井流体。包括钻井液性能与测试,钻井液材料化学与处理剂,以及水基钻井液、油基与合成基钻井液、气体型和泡沫型钻井流体。第十二章到第二十二章为钻井液工艺技术专题。包括储层钻井液、水平井与大位移井钻井液、高温水基钻井液、井壁稳定、防漏与堵漏、卡钻和井喷、提高钻速的水基钻井液、固相控制、腐蚀与防护、废弃钻井液处理技术和一口井的钻井液设计。

本书第一章由刘雨晴、黄汉仁编写;第二章至第五章、第十七章由黄汉仁编写;第六章由余维初编写;第七章由周凤山编写;第八章、第二十二章由刘雨晴编写;第九章、第十九章由赵雄虎编写;第十章、第二十一章由何纶编写;第十一章由黄汉仁、徐东编写;第十二章由樊世忠编写;第十三章由培志编写;第十四章由孙金声、卜海编写;第十五章由邱正松编写;第十六章由徐同台、申威编写;第十八章由孙金声、杨宇平编写;第二十章由赵福祥编写。全书经编写组成员互审,黄汉仁统稿,陶美珍编辑定稿。在编写过程中得到钻井液界老前辈张克勤教授的悉心指导,以及石油工业出版社领导和编辑的大力支持,在此向他们表示衷心感谢。

鉴于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,论述未尽的地方一定不少,恳请专家和读者们指正。

编 者

2016年1月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 钻井流体的功用	1
第二节 钻井流体的类型和组成	2
第三节 钻井流体技术的发展	3
第四节 本书的编排与特点	10
参考文献	10
第二章 黏土矿物与胶体化学基础	11
第一节 黏土矿物的基本结构单元	11
第二节 主要的黏土矿物	12
第三节 胶体化学基础知识	17
第四节 黏土—水分散体系的电动现象	21
第五节 黏土的水化作用	28
第六节 黏土—水胶质悬浮体的稳定和聚结	32
第七节 有机化合物在黏土—水体系中的作用	36
参考文献	39
第三章 钻井液界面化学	41
第一节 界面现象	41
第二节 润湿作用	45
第三节 吸附作用	47
第四节 表面活性剂	54
第五节 乳状液	61
第六节 泡沫	68
第七节 胶束	73
第八节 膜与半透膜	75
第九节 高分子溶液	77
参考文献	86
第四章 钻井液的流变性	87
第一节 液体流动的基本概念	87
第二节 基本流型	89
第三节 钻井液的切力、触变性和动切应力	94
第四节 钻井液的黏度	95
第五节 钻井液的流性指数和稠度系数	99
第六节 钻井液流变性质的测量	101

第七节	钻井液流动阻力损失	106
第八节	岩屑携带问题	120
第九节	岩屑与加重物质的悬浮和井眼清洗效率	125
第十节	井内液柱压力激动	129
第十一节	深水作业对钻井液流变性的影响	135
	参考文献	139
第五章	钻井液的滤失和造壁性	140
第一节	钻井液的滤失、造壁性与钻井工作的关系	140
第二节	静滤失	143
第三节	动滤失与瞬时滤失	148
第四节	提高滤饼质量	150
第五节	井壁封堵技术	155
	参考文献	166
第六章	钻井液性能与测试	167
第一节	样品准备	167
第二节	钻井液密度测试	168
第三节	钻井液流变性的测定	170
第四节	钻井液失水造壁性的评价	173
第五节	水基钻井液抑制性能的评价	180
第六节	固相含量确定	189
第七节	电学性能	191
第八节	漏失性能	195
第九节	润滑性能的测定	199
第十节	钻井液滤液及组分分析	203
第十一节	其他实验技术	205
	参考文献	216
第七章	钻井液材料化学与处理剂	217
第一节	钻井液材料分类	217
第二节	配浆水	218
第三节	造浆黏土材料	220
第四节	pH 值调节与稳定剂	229
第五节	密度调节材料	231
第六节	降黏剂	238
第七节	增黏剂	247
第八节	降滤失剂	257
第九节	页岩抑制剂	278
第十节	润滑剂与解卡剂	290
第十一节	携砂剂	294
第十二节	稳定剂与防护剂	297

第十三节 钻井液材料安全与健康风险	305
参考文献	316
第八章 水基钻井液	329
第一节 非分散体系钻井液	329
第二节 分散体系钻井液	329
第三节 钙处理钻井液	341
第四节 盐水钻井液	352
第五节 低固相钻井液	360
第六节 聚合物钻井液	364
第七节 高性能水基钻井液	389
第八节 正电胶钻井液	395
第九节 超低侵入钻井液	407
参考文献	421
第九章 油基与合成基钻井液	423
第一节 油基钻井液组成及性能调控	424
第二节 全油基钻井液	437
第三节 油包水乳化钻井液	438
第四节 低毒油包水钻井液	445
第五节 合成基钻井液	452
第六节 废弃油基钻井液的处理	456
参考文献	459
第十章 气体型钻井流体	462
第一节 气体型钻井流体分类	462
第二节 气体型钻井流体的循环系统	463
第三节 空气钻井工艺技术	468
第四节 天然气钻井工艺技术	472
第五节 氮气钻井工艺技术	475
第六节 柴油机尾气工艺技术	479
第七节 雾化钻井循环流体工艺技术	487
第八节 充气钻井流体技术	489
参考文献	491
第十一章 泡沫型钻井流体	492
第一节 泡沫型钻井流体的功用与组成	492
第二节 井内稳定泡沫流的形成与控制	494
第三节 影响泡沫流体稳定的因素	502
第四节 泡沫流体的性能	511
第五节 稳定泡沫型流体	516
第六节 可循环硬胶泡沫型流体	519
第七节 可循环微泡沫型流体	521

第八节 油基泡沫钻井流体·····	532
参考文献·····	535
第十二章 储层钻井液 ·····	536
第一节 油气层伤害的常规评价方法·····	536
第二节 储层伤害与保护机理·····	544
第三节 水平井储层伤害机理及保护储层方法·····	563
第四节 保护储层钻井液·····	571
参考文献·····	582
第十三章 水平井与大位移井钻井液 ·····	584
第一节 水平井钻屑携带·····	584
第二节 水平井的井眼净化·····	590
第三节 水平井井壁稳定技术·····	592
第四节 水平井的摩阻控制技术·····	595
第五节 水平井与大位移井常用钻井液体系·····	597
参考文献·····	605
第十四章 高温水基钻井液 ·····	606
第一节 高温水基钻井液技术特性·····	606
第二节 高温对水基钻井液性能影响及作用机理·····	606
第三节 高温水基钻井液技术·····	611
参考文献·····	618
第十五章 井壁稳定 ·····	619
第一节 井壁失稳及其复杂性·····	619
第二节 井壁失稳因素·····	620
第三节 稳定井壁机理·····	627
第四节 稳定井壁的钻井液技术措施·····	629
第五节 井壁稳定性的室内评价与防塌技术措施的确定·····	644
参考文献·····	649
第十六章 防漏与堵漏 ·····	650
第一节 漏失地层·····	650
第二节 确定漏层的方法·····	654
第三节 防漏堵漏材料·····	655
第四节 井漏的预防·····	667
第五节 井漏的处理·····	671
参考文献·····	683
第十七章 卡钻和井喷 ·····	685
第一节 卡钻的预防与处理·····	685
第二节 井喷的预防与处理·····	693
参考文献·····	701
第十八章 提高钻速的水基钻井液 ·····	702

第一节	影响钻井速度的钻井液因素	702
第二节	提高钻速的钻井液技术	722
	参考文献	727
第十九章	固相控制	730
第一节	固相对钻井液及钻井工程的影响	730
第二节	固相含量的分析计算	732
第三节	固相控制方法、原理与设备	736
第四节	固相控制系统	746
	参考文献	749
第二十章	腐蚀与防护	751
第一节	金属腐蚀机理	751
第二节	常见金属腐蚀类型及机理	755
第三节	钻井液中常见的腐蚀剂及腐蚀机理	759
第四节	钻井液对钻具腐蚀速度的检测方法	774
第五节	钻具防腐蚀措施	781
	参考文献	787
第二十一章	废弃钻井液处理技术	788
第一节	钻井完井作业废弃物来源及特征	788
第二节	国内外钻井作业废弃物处理技术及发展	791
第三节	钻井废液的再利用及回注技术	795
第四节	钻井完井废液的固液分离技术	798
第五节	废弃钻井完井液固化处理技术	806
第六节	钻井液废弃物处理装备	811
第七节	废弃物处理评价	821
	参考文献	827
第二十二章	钻井液设计	828
第一节	钻井液设计内容	828
第二节	一口井的钻井液设计	833

第一章 绪 论

钻井流体英文称为 Drilling Fluid。过去我们译 Drilling Fluid 这个英文名词为“钻井液”，那是因为当时在钻井工程中所用的循环物质都是液体。随着石油、天然气工业的发展，现在的钻井工程也常使用气体和泡沫流循环，不只是液体了，所以称其为“钻井流体”更恰当，这是本书名字的由来。从“泥浆”到“钻井液”到“钻井流体”，这标志着 Drilling Fluid 技术的发展与进步，标志着石油科技的发展与进步。

钻井工程成功与否在很大程度上取决于钻井流体的使用，它不仅关系到能否快速、安全地钻进，同时对发现储层、保护储层有直接的关系。钻井流体的成本效益也是钻井成功的关键因素。钻井流体的直接成本固然重要，更重要的是钻井工程的总成本，而钻井流体的功能对此会有显著的影响，所以人们称钻井液为钻井的血液是再恰当不过了。

第一节 钻井流体的功用

钻井流体的功用很多，其基本功能如下。

一、携带与悬浮钻屑

钻井流体最基本的功用是通过其本身的循环，将井底由钻头破碎的钻屑携带至地面，以保证钻头不断破碎新的地层岩石，加深井眼。在接单根、起下钻和因故停止循环时又有悬浮钻屑的能力，使其不致很快下沉，防止沉砂卡钻。

二、冷却和润滑钻头与钻具

不断循环的钻井流体冷却和润滑钻头 and 钻具，保证钻井工作持续顺利地进行。

三、稳定井壁

井壁稳定和井眼规则是安全、优质、快速钻井的基本条件。钻井流体的组成有抑制泥页岩水化膨胀的成分。可通过调整钻井流体的密度，改变液柱压力和提高抑制性克服某些地层易膨胀和蠕变的问题。

四、控制井下压力

钻井流体的密度可在较大的范围进行调节，建立与地层压力相平衡的液柱压力，防止漏、喷、塌、卡等井下复杂情况的发生，并保障油气层的发现与保护油气层。

五、传递水动力

钻井液在钻头喷嘴处以极高速度喷出，冲刺井底；并在带有井底动力装置时直接传递

水动力。

六、保障获得最多的井眼资料

通过钻井流体循环不断地给出所钻地层的钻屑和油、气、水显示的第一手资料；并为获得满意的电测井结果创造条件。

第二节 钻井流体的类型和组成

随着钻井工艺和钻井流体工艺不断发展，钻井流体的类型越来越多。但不论哪种类型，它都是某种分散体分散在特定的分散介质里的分散体系。可以用分散介质的不同对钻井流体进行基本的分类，如图 1-1 所示。

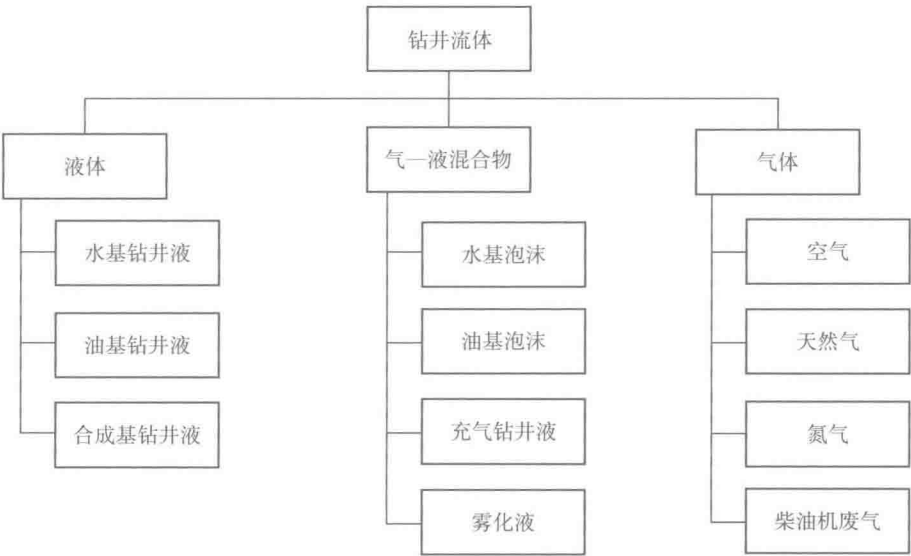


图 1-1 钻井流体分类

各类型钻井流体的基本组成：

- (1) 水基钻井液由水或盐水、地层水、膨润土、各种处理剂和加重材料组成。水或盐水、地层水为连续相，即分散介质；膨润土、各种处理剂和加重材料为分散相，即分散体。
- (2) 油基钻井液油品（如柴油）为连续相；水、乳化剂、亲油固体（有机土、氧化沥青等）、石灰和加重材料等为分散相。
- (3) 合成基钻井液的组分基本上与油基钻井液相同，区别在于用合成基液代替油品作分散介质。合成基液有酯、醚、聚 α - 烯烃、线性 α - 烯烃、内烯烃、线性石蜡等，视配制时选用而定。
- (4) 气体型钻井流体依气体来源不同，分别由空气、天然气、氮气、柴油机废气所组成。
- (5) 泡沫流是气泡分散在液体中的分散体系，由气相、液相、发泡剂和稳泡剂等组成。

气相为空气或天然气、氮气、柴油机废气。液相多为水、淡水、地层水或盐水。

(6) 充气钻井液和雾化液是一种气液混合体系,一般组成为清水、增黏剂、降滤失剂、封堵剂和黏土稳定剂等。

第三节 钻井流体技术的发展

本节先按时间顺序扼要叙述钻井流体技术发展阶段,然后介绍我国钻井流体技术的迅速发展。

一、钻井流体技术的发展阶段^[1, 2]

如果把钻井流体视为一种冲洗和协助钻孔或造眼的材料,钻井流体的使用就远在石油工业之前了。3000年前埃及采石坊20ft深的井眼就是用水清除钻屑的。我国周朝早期已经在四川钻了许多卤水井,使用清水清除钻屑。这些都是以清水作为钻井液的早期应用。

1901年在美国Spindletop发现石油后,旋转钻井迅速在墨西哥湾沿岸和加利福尼亚州(简称加州)地区普及。在海湾沿岸的井内黏土都是造浆好的黏土,自然造浆的作用使人们开始对黏土有所认识。在加州,人们用表层沉积的黏土和水混合配成钻井液使用。

1922年在室内进行重晶石、方铅矿及氧化铁的加重试验,并于同年秋天开始使用重晶石加重钻井液。

1930年研制出最早的钻井液处理剂单宁酸钠。

1931—1937年研制出测量钻井液性能的各种仪器,尤其是测量钻井液黏度、流变性和滤失性的仪器。

随着各种测量钻井液性能的仪器以及各种试验方法的出现,统一标准就很有必要了。1936年,美国石油学会采油分部休斯敦分会开始统一各种方法的研究。这个研究报告导致了使用API(美国石油学会)规范29,即“推荐的现场测试钻井液的标准方法”。多年后,钻井材料标准化委员会增加了标准方法的内容并进行修正。现在这个标准已变成隔一段时间就重印的API RP13B。

1944—1945年开始应用Na—CMC(钠羧甲基纤维素)作为降滤失剂。

1955年开始应用FCLS(铁铬木质素磺酸盐)作为降黏剂。

自20世纪60年代开始,石灰钻井液、石膏钻井液和氧化钙钻井液等粗分散水基钻井液体系普遍使用。

自20世纪70年代以后,聚合物非分散水基钻井液是国外发展最迅速的一类,它的出现标志着钻井液工艺技术进入了科学发展阶段。聚合物钻井液大体上有以下几种类型:

- (1) 部分水解聚丙烯酰胺体系;
- (2) 氯化钾聚合物体系;
- (3) 羟乙基纤维素体系;
- (4) 醋酸钾水解聚丙烯酰胺体系;
- (5) 磷酸钾盐非离子型聚合物体系;
- (6) 聚丙烯与聚乙二醇共聚物(COP/PPG)体系;

(7) 阳离子聚合物体系。

在这个阶段油基钻井液体系亦有进一步的发展。从全油基到低胶质油包水乳化钻井液(1975年)发展到20世纪90年代后的合成基矿物油低毒油包水乳化钻井液。

自20世纪90年代后,国外主要发展了甲酸盐钻井液、聚合醇钻井液、KCl/硅酸盐钻井液和微泡沫钻井液等工艺技术。混合金属层状氢氧化物(MMH)钻井液得到广泛应用。针对特殊工艺井(水平井、大位移井、分支井、小井眼等)和超深井研发了多种新型处理剂,发展了一系列相关的钻井液新技术。

进入21世纪后,国外研发了以聚胺、铝络合物为核心处理剂的高性能水基钻井液(HPWBM);研发了无渗透钻井液处理剂、钻井液成膜理论。针对海上钻井,发展了抗低温和防止气体水合物生成的深水钻井液技术;近年来,正在针对页岩油气开发形成相应的钻井液新技术。

除了水基钻井液、油基钻井液外,还有气基钻井流体。早在1866年Brantly在一份给P. Sweeney的专利里就建议使用压缩空气清除钻屑。第一个注气钻井记载发生在1932年9月,在得克萨斯州Big Lake油田;后不久在俄克拉何马州Fitts Pool钻探时使用了密闭的流体循环系统;与使用钻井液相比,大大地提高了油产量。接着在加州使用了类似的注气方法在异常压力砂层钻井。1950年左右在缺水地方(西部得克萨斯)、在温度低的地方和地震勘察的小钻机上开始用压缩空气。随后,为了克服井漏、提高油气层产量、提高钻速和钻头进尺,气基钻井液(空气、天然气、氮气、柴油机尾气等)被普遍地采用。在空气作为钻井流体的初期,含水地层是其主要障碍,钻屑和水黏在一起不能被循环气体带出井眼,于是各种泡沫流体和充气钻井液发展起来了。现在,气基钻井流体工艺技术已相当成熟,可以和水基钻井流体、油基钻井流体并列为3种基本的钻井流体类型。

二、我国钻井流体技术的迅速发展^[3]

1949年,甘肃玉门油矿只有一个几个人的钻井液化验室,当时对处理浅层松软黏土造浆和水泥侵都力不从心。随着石油勘探工作的迅速展开,钻井液技术也迅速地发展起来。1951年开始使用褐煤烧碱作为降黏剂。1952年开始使用石灰处理的钻井液,使中国的水基钻井液类型从“细分散”阶段进入了属于“粗分散”的钙处理钻井液阶段。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。1963年在大庆油田钻松基6井时,开始了中国深井钻井液攻关工作;1974年四川石油管理局研制成功了“三磺”水基钻井液,为超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。1978年,石油工业部钻井司专设泥浆处,加强了对钻井液工作的组织领导。1983年召开了全国钻井液处理剂发展3年规划会议,从此中国开始有计划地发展钻井液技术。从1993年起,中国石油天然气集团公司(简称中石油)对国内含油气盆地的黏土矿物进行系统调研,在中石油钻井工程局协调下,统一了黏土矿物的分析方法,为制定各油气田分区块的钻井液标准设计提供了基础资料。为了配合钻井工程方面展开的“定向井丛式井钻井技术”、“水平井钻井配套技术”等课题的完成,根据钻井工程的需要进行了钻井液新体系的研制和机理的攻关工作,取得了多项成果。

1. 水基钻井液体系的发展

1) 钙处理水基钻井液的发展

20 世纪 50 年代初, 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: 浅层软泥岩强造浆; 钻井液稠、含砂量高、滤饼厚、极易造成泥饼黏附卡钻; 水泥侵、盐水侵、盐侵、石膏侵和芒硝侵及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、褐煤和氢氧化钠配成的单宁碱液或褐煤碱液来降黏、降滤失和改善滤饼质量。1951 年, 玉门油矿青草湾 1 井钻遇高压水层, 频繁的注水泥和钻水泥塞, 使钻井液急骤变稠, 经过分析判断, 才知道发生了水泥侵, 可是当时没有现成的处理水泥侵的处理剂, 玉门油矿泥浆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 Na_2CO_3 70% 左右、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 20% 左右) 再配合单宁碱液, 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。四川地区碳酸盐岩地层裂缝发育, 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, 在用水泥堵漏时, 同样造成了钻井液的严重钙污染问题。四川石油管理局泥浆技术人员研制成功了“石膏钻井液”、“氯化钙—褐煤钻井液”等钻井液类型。同时利用四川地区野生植物多的优势, 选用香叶粉、樟树叶粉等材料, 研制成功了植物胶钻井液来抑制钙的污染, 后来这种钙处理的粗分散钻井液逐渐配套完善, 有效地应用在当时各地的深井钻井中。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, 很快地形成并使水基钻井液类型从“细分散”阶段进入了“粗分散”阶段。钙处理钻井液是 20 世纪 60—70 年代初陆上使用的主要水基钻井液体系。

2) 盐水 (饱和盐水) 水基钻井液的发展

石油天然气勘探开发过程中, 在江汉、中原、胜利、大港、青海、新疆等油田, 钻遇盐水层或盐膏层, 给钻井施工造成很大困难。随着钻井液技术的进步, 我国处理盐水、盐膏层的技术也逐步成熟, 研制了新型的处理剂如植物胶、抗盐聚合物等, 在 20 世纪 70 年代用这种盐水体系钻成了不少深井。特别是在新疆塔里木地区, 针对盐膏层厚 (可达 1767m)、深 (可达 5000m) 的特点, 总结出一套化学封堵和物理封堵相结合和平衡压力的理论, 应用氯化钾、硅酸盐、聚合醇等处理剂形成了复合饱和盐水聚磺高密度钻井液, 密度达到 $2.20 \sim 2.35\text{g/cm}^3$, 在该地区钻成功 200 多口井, 基本上解决了该地区盐膏层带来的问题。

3) “三磺”水基钻井液的发展

20 世纪 70 年代初期, 为了钻 7000m 左右超深井的需要, 四川石油管理局和西南石油学院共同研制成功了 3 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), 可抗温 180°C 。以这 3 种处理剂为主, 再配合一些其他处理剂, 配制“三磺”水基钻井液, 成功地用于女基井和关基井。

“三磺”钻井液的研制成功, 是在深井钻井液技术上的一大进步。其主要标志是: 这 3 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, 不仅可抗高温和盐膏层的污染, 同时随着井深和压差的增加, 其滤失量增加很少, 趋于平稳。这样就大大改善了滤饼质量, 减少了井下的坍塌、卡钻等复杂情况, 提高了深井、超深井钻井的成功率。1990 年后这 3 种磺化物与聚合物相结合, 形成了用途十分广泛的“聚磺”水基深井及超深

井钻井液。

4) 聚合物水基钻井液的发展

20 世纪 70 年代, 喷射钻井技术的出现给钻井液的性能提出了 4 项新的要求: 固相含量不大于 4%; 动塑比不小于 4 : 1; 膨润土含量与钻屑含量的比值不大于 1 : 2; pH 值维持在 7 ~ 8。同时要求钻井液的流型保持“平板型层流”。为此, 开展了不分散低固相聚合物水基钻井液的研究。胜利石油管理局和山东大学在 1973 年尝试用非水解的聚丙烯酰胺作为絮凝包被剂用来控制地层造浆, 降低固相。1975 年 5 月, 石油化学工业部在大港油田召开钻井液技术交流会, 会上讨论了低固相聚合物钻井液和深井“三磺”钻井液的经验, 以及在全国推广应用聚合物优质轻钻井液等问题。这次会议对服务于喷射式钻井的不分散低固相聚合物钻井液起到了很好的推动作用, 很快在全国得到了大面积的推广。如长庆石油管理局研制的此类钻井液推广面达 95% 以上, 钻井液密度降到了 $1.0 \sim 1.01\text{g/cm}^3$, 有力地推动了钻井速度的提高。地质矿产部研制成功的以聚丙烯腈为主的聚合物钻井液, 在渭深一井获得了深井安全钻井的好成绩。

为配合国家“七五”计划重点攻关项目“定向井、丛式井钻井液配套技术”钻井工程的研究, 1985 年中国石油勘探开发研究院钻井工艺研究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。1989 年, 中国石油勘探开发研究院油田化学研究所研制出了两性复合离子处理剂, 形成了“两性聚合物”水基钻井液。另外华北、中原、大庆等石油管理局也开展了带有阳离子官能团处理剂的研制工作, 并在保护油气层方面和配制完井液方面均见到了良好的效果。

聚合物水基钻井液至今仍是使用面最广, 使用量最大的钻井液类型, 其处理剂品种也最多, 从阴离子型到阳离子型, 从水解物到衍生物到共聚物有十几个品种。20 多年来在全国有关科技、工程技术人员共同努力下, 取得了突出的成绩。其中地质矿产部研制的正电胶钻井液、石油化学工业部研制的钾基聚合物强抑制性钻井液技术、中国石油天然气集团公司研制的低固相及丙烯酸类聚合物钻井液的研究及推广和“两性离子聚合物钻井液研究及应用”均分别获得了部级科技进步奖。

5) 深井水基钻井液的发展

深井水基钻井液技术的发展可划分成 4 个阶段: 钙处理钻井液阶段, 盐水钻井液阶段(20 世纪 60 年代到 70 年代初使用的基本钻井液类型), “三磺”钻井液阶段(20 世纪 70 年代到 90 年代) 和“聚磺”钻井液阶段。聚磺钻井液是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地使用于深井的钻井液。特别是在塔里木地区深井得到了广泛的应用, 成功地完成了 50 多口 6000m 以上的超深井作业。最高密度达到 $2.00 \sim 2.20\text{g/cm}^3$ 。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, 进而将阴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又一个进步。

为了勘探开发中国海域的油气田, 中国海洋石油总公司(简称中海油)在消化吸收、借鉴国外钻井液技术的同时, 迅速地开展了国内钻井液技术的提高工作; 建立了钻井液实验室和油气层保护实验室, 购置了大批钻井液实验仪器, 系统地开展了处理剂的研制工作和管理培训工作。20 世纪 80 年代后期, 国产的处理剂已部分代替了进口的处理剂, 至 90