

高等学校教学用书

钻井工作流体导论

郑力会 赵雄虎 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TE 254/034

0597058

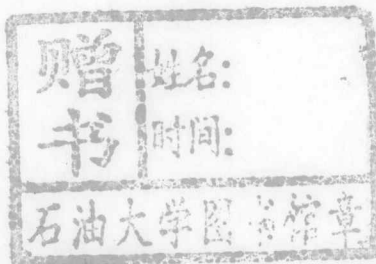
TE254

034

高等学校教学用书

钻井工作流体导论

郑力会 赵雄虎 编著



石油大学

0647387

中国矿业大学出版社

8207020

内 容 提 要

本书对现代钻井液工艺的基本原理和技术要点进行了较全面的介绍。全书共分八章,内容主要包括钻井液工作流体的基本概念、功能、分类及发展;钻井工作流体常用性能评价内容、方法及其影响因素;钻井工作流体组分、分类及常用处理剂介绍;钻井工作流体分类介绍;钻井废弃物类型、评价及处理方法介绍;井漏、井塌、卡钻等井下复杂情况及其钻井工作流体技术介绍等。每章节后都附了相关的习题,便于读者更好地了解内容重点。

此书编写之初即定位为钻井液技术的入门和引导性读物,比较适合石油工程相关专业的在校学生、现场技术人员参考使用,也适合非石油工程专业的人员作为了解性读物。

图书在版编目(CIP)数据

钻井工作流体导论/郑力会,赵雄虎编著. 徐州:中国矿业大学出版社,2008.11

ISBN 978-7-5646-0105-8

I. 钻… II. ①郑…②赵… III. 钻井泥浆 IV. TE254

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 166029 号

书 名 钻井工作流体导论
编 著 郑力会 赵雄虎
责任编辑 李士峰 白海新
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 徐州中矿大印发科技有限公司排版中心
印 刷 北京市兆成印刷有限责任公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 22.75 字数 512 千字
版次/印次 2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷
定 价 56.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

在我博士毕业时,鄢捷年教授就有重编《钻井液工艺学原理》的想法。个中缘由,除了认识不断深入、原书内容需要补充完善外,某些原有内容已经不太适用 32 个学时的教学任务。随着石油工业的发展,石油勘探开发力度的不断加大,石油专业人才的培养越来越受到重视,钻井液技术已列入油气井和海洋工程两个方向的专业基础选修课程。

本书是作者在授课讲义的基础上,通过教学和科研实践加以完善和补充编著而成的。讲义来源主要为在石油钻井行业受到广泛欢迎的几本经典著作,但这些著作都各有不足,或讲解过于深入不利于初学者学习,或内容有所偏重不利于对钻井工作流体进行全面了解。本书在保留讲义原有精华的前提下,根据钻井液技术的发展又补充了一些新内容,同时也融入了一些作者近年的科研成果。本书编写之初即定位为钻井液技术的入门和引导性读物,因此书中对有关的钻井工作流体基本概念全部做了说明,希望读者能够从中学习或解答一些基本的钻井工作流体知识。

本书从钻井工作液基本概念出发,比较全面地介绍了钻井工作流体的性能及测定方法、组分、水基钻井液、油基钻井液、气体钻井流体和钻井废弃物管理等内容。在编著过程中,我的博士生、硕士生曹园、韩子轩、何晓庆、罗坤、牛萌萌、史凯娇、王金凤、王相春、张鹏等人,从钻井液工艺学初学者的角度,提出了修改建议和意见,并进行了全面、系统的补充和完善。最后由曹园、韩子轩、罗坤、张鹏与我一起对全书进行了审查。

在编著过程中,除了上述提到的同志外,鄢捷年、赵雄虎两位老师三年来在教学工作中给予了我大力支持,并参与了本书部分章节的编写工作,力会澜博(LihuiLab)课题组的同志们承担了大量的事务工作,为我挤出时间投入到编著过程中,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加上水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者
2008 年 10 月

目 录

第一章 钻井工作流体概论	1
第一节 基本概念	1
第二节 钻井工作流体类型	3
第三节 钻井工作流体功能	6
第四节 钻井工作流体发展概况	7
习 题	10
第二章 钻井工作流体性能测定	11
第一节 密度	11
第二节 流变性	15
第三节 滤失与造壁性	42
第四节 pH 值和碱度	53
第五节 含砂量	56
第六节 固相含量	57
第七节 膨润土含量	73
第八节 滤液分析	76
第九节 抑制性	78
第十节 润滑性	90
第十一节 抗温性	95
第十二节 荧光度	101
第十三节 腐蚀性	107
习 题	114
第三章 钻井工作流体组分	115
第一节 降滤失剂	116
第二节 增粘剂	127
第三节 乳化剂	128
第四节 页岩抑制剂	130
第五节 堵漏剂	133
第六节 降粘剂	134
第七节 缓蚀剂	139
第八节 粘土类	139

第九节 润滑剂	147
第十节 加重剂	148
第十一节 杀菌剂	150
第十二节 消泡剂	150
第十三节 发泡剂	151
第十四节 絮凝剂	152
第十五节 解卡剂	153
第十六节 其他类	155
习 题	162
第四章 水基钻井液	164
第一节 细分散钻井液	165
第二节 粗分散钻井液	172
第三节 聚合物钻井液	180
第四节 盐类钻井液	202
习 题	225
第五章 油基钻井液	226
第一节 全油基钻井液	227
第二节 油包水乳化钻井液	227
第三节 合成基钻井液	243
第四节 油基钻井液体系的应用	249
习 题	256
第六章 气体型钻井流体	257
第一节 气体钻井技术简介	257
第二节 气体钻井设备	260
第三节 气体钻井技术现场应用情况	261
第四节 技术要点	268
习 题	270
第七章 废弃物管理	271
第一节 废弃物组成及其毒性成分	271
第二节 钻井废弃物对环境的影响	274
第三节 环境可接受性评价	276
第四节 减少环境影响	322
第五节 钻井废弃物处理	324
第六节 国内外钻井废弃物处理技术现状及发展趋势	327

习 题.....	328
第八章 井下复杂情况及其钻井工作流体.....	329
第一节 特殊钻井工作流体.....	330
第二节 钻井工作流体进展.....	350
习 题.....	352
参考文献.....	353

第一章 钻井工作流体概论

钻井工作流体是钻井系统工程中的重要组成部分。没有钻井工作流体, 钻井作业就不能进行, 人们常用“泥浆是钻井的血液”形象地比喻钻井工作流体在钻井作业中的重要地位。随着钻井难度逐渐增大, 该项技术在确保安全、优质、快速钻井中所起的作用也越来越重要。尤其是随着石油勘探开发工作的发展, 勘探领域越来越广, 钻井深度不断增加, 钻遇地层日益复杂, 井身结构更加多样, 钻井工作流体越来越得到人们的重视, 从而推动了其技术的发展和应用。

第一节 基本概念

一、钻井工作流体名称的演变

钻井工作流体的名称经历了一个很长的演变过程。旋转钻井早期用清水作洗井液, 在钻井过程中水与地层粘土混合, 形成浆状流体, 所以人们习惯称之为钻井泥浆。随着钻井技术不断发展, 出现了无粘土相新型钻井液, 这时再称之为泥浆就不确切了, 所以改称为钻井液。然而, 在用气体钻井的情况下严禁液体混入, 将洗井气体称为钻井液也不合适, 因此出现了“钻井流体”这个名词。由此看来, 凡是在旋转钻井中用作洗井的流体均属其范畴。但由于目前气体钻井相对于其他流体钻井使用较少, 人们还是习惯地用泥浆或钻井液来称呼钻井工作流体, 因此本书某些地方仍然采用钻井液这一说法。

二、钻井工作流体的定义

美国石油学会 (American Petroleum Institute, API) 将钻井液定义为: 在旋转钻井中用以完成钻井作业中各种功能的循环液体。

以钻井液的功能为依据, 定义钻井液为: 能在清洗井眼所必须的流量下发挥适当的水功率, 用以与钻压和转速相配合清洗钻头, 并使作业费用最低。这些参数组合还能稳定井壁、评价地层进而顺利钻达目的层。

国内对钻井液的定义有不同说法: 如把钻井时用来清洗井底并把岩屑携带到地面、维持钻井操作正常进行的流体称为钻井液或洗井液; 钻井液是指油气钻井过程中以其多种功能满足钻井工作需要的各种循环流体的总称。

随着气体类钻井技术的不断发展, 对钻井工作流体进行准确定义很有必要。我们把通过人为控制, 使得用于油气钻井作业的流体具备一定的性能, 来实现钻井和地质目的这种特定性能的流体称为钻井工作流体 (Drilling Working Fluids)。这与有些专家的提

法不同，去掉了“循环”二字，主要是考虑到其静止时要悬浮固相。

钻井工作流体的连续相为液体的又被称作钻井液（Drilling Fluids）、钻井泥浆（Drilling Muds）或简称为泥浆（Muds）。以液体为连续相的钻井工作流体，是最常见的钻井液，本书分水基钻井液和油基钻井液两章进行阐述。以气体为连续相的工作流体，近年来发展很快，虽然其应用范围比较小，本书也将用一章的内容进行简要介绍。

三、钻井液循环系统

钻井液循环是通过泥浆泵来实现的。从泥浆泵排出的高压钻井液经过地面高压管汇、立管、水龙带、水龙头、方钻杆、钻杆、钻铤到达钻头，从钻头喷嘴喷出，清洗井底，然后再沿钻柱与井壁或套管形成的环形空间向上流动，携带岩屑到达井口，经防溢管流向振动筛以及固控设备进行处理，进入吸入池，通过泥浆泵再次重复以上过程。钻井液流经的各种管件、设备构成了整套钻井液循环系统。图 1-1 是钻井液循环系统示意图，图 1-2 是空气钻井装备示意图。

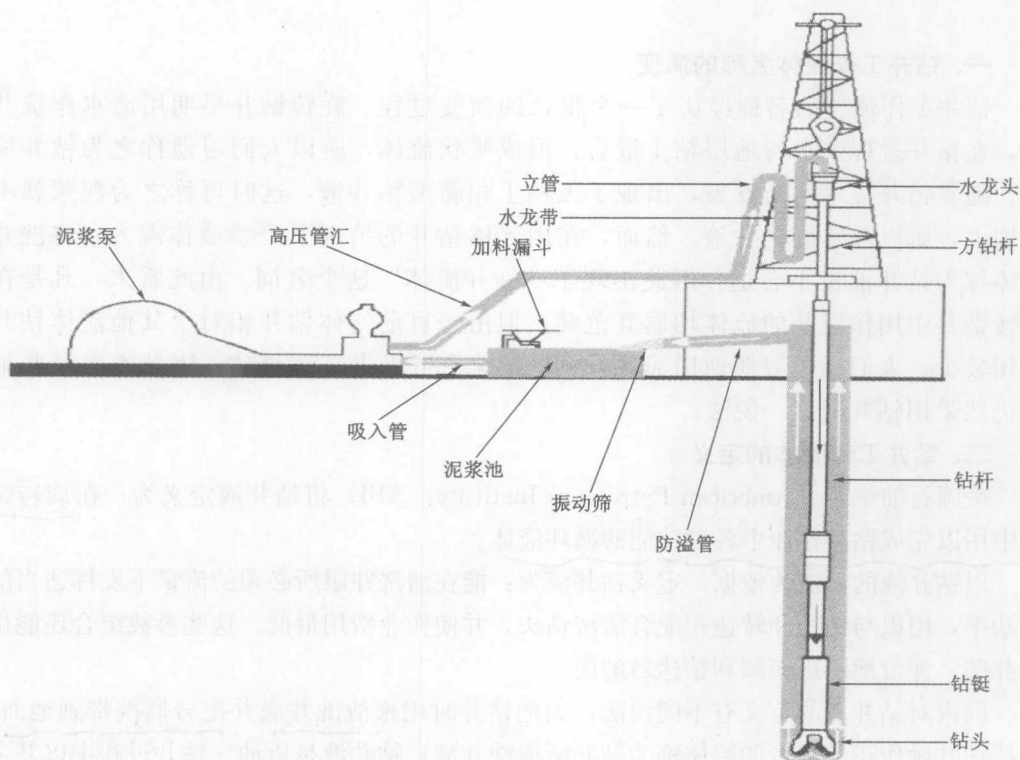


图 1-1 钻井液循环系统示意图

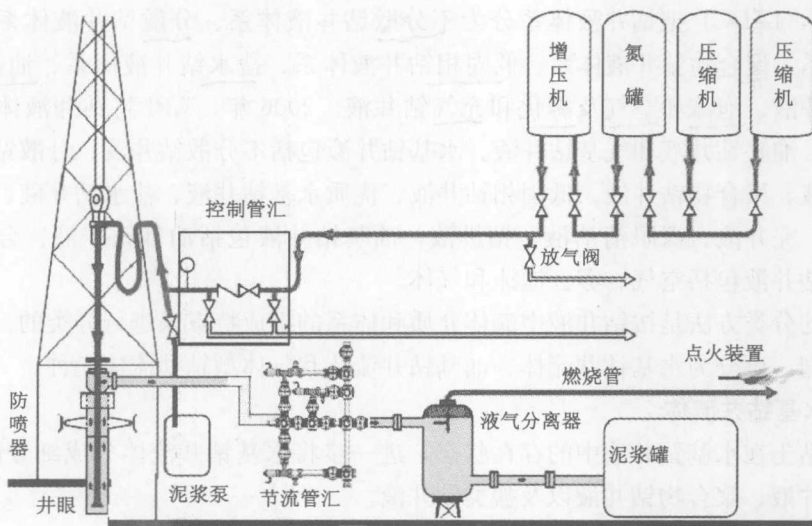


图 1-2 空气钻井装备示意图

第二节 钻井工作流体类型

随着钻井液工艺技术的不断发展，钻井液的种类越来越多。为了科学地研究和应用，国内外学者对钻井液体系提出了许多不同的分类方法。其中较常用的钻井液体系分类方法有以下几种。

(1) 按加重情况，可分为加重钻井液和非加重钻井液。加重钻井液又称重泥浆，是指体系中同时含有高密度的加重材料和低密度的膨润土及钻屑的钻井液；非加重钻井液是指体系中不含加重材料的钻井液，一般低于加重钻井液的总固相含量。

(2) 按与粘土水化作用的强弱，可分为抑制性钻井液和非抑制性钻井液。抑制性钻井液是指在钻井过程中，对地层中的粘土和钻屑有抑制其水化、膨胀及分散作用的钻井液；非抑制性钻井液是指对地层中的粘土和钻屑，抑制其水化、膨胀及分散作用较弱的钻井液。

(3) 按固相含量不同，可分为高固相钻井液、低固相钻井液和无固相钻井液。低固相钻井液是指低密度固相含量在 $6\% \sim 10\%$ 的水基钻井液；高固相钻井液是指钻井液中的低密度固相含量大于 10% 的水基钻井液；无固相钻井液是指基本上不含固相颗粒的钻井液体系。

(4) 按钻井液密度高低可分为：低密度钻井液，密度小于 1.0 g/cm^3 ；普通钻井液，密度 $1.0 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ ；普通加重钻井液，密度 $1.2 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ ；高密度钻井液，密度 $1.6 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ ；超高密度钻井液，密度大于 2.3 g/cm^3 。

(5) 按照钻井液的功能，可分为钻井液、储层钻进液和完井液等。

(6) 美国石油学会和国际钻井承包商协会 (International Association Drilling

Contractor, IADC) 把钻井液体系分为不分散钻井液体系、分散钻井液体系、钙处理钻井液体系、聚合物钻井液体系、低固相钻井液体系、盐水钻井液体系、油基钻井液、合成基钻井液、泡沫和空气及雾化和充气钻井液。2006 年, API 将钻井液体系分为水基钻井液、油基钻井液和气基钻井液。水基钻井液包括不分散钻井液、分散钻井液、钙处理钻井液、聚合物钻井液、低固相钻井液、优质水基钻井液、盐水钻井液、高温高压特种产品、完井液、裸眼清洁液、钻进液; 油基钻井液包括油基钻井液、合成基钻井液; 气基钻井液包括空气、雾、泡沫和气体。

通常的分类方法是按钻井液中流体介质和体系的组成特点来进行分类的。根据流体介质的不同, 可分为水基钻井流体、油基钻井流体和气体型钻井流体三种。

一、水基钻井流体

根据粘土在水基钻井液中的存在状态, 进一步将水基钻井流体分成细分散钻井液、粗分散钻井液、聚合物钻井液以及盐类钻井液。

1. 细分散钻井液

细分散钻井液是指用淡水、膨润土和各种对粘土与钻屑起分散作用的处理剂配制而成的水基钻井液。细分散钻井液是使用历史较长、配制方法较简单且配制成本较低的一类钻井液。具有滤失量低、有一定的抗温能力及可配制高密度钻井液等优点; 但也有抑制性和抗污染能力较差, 体系中固相含量高对提高机械钻速和保护油气层均有不利影响等缺点。

2. 粗分散钻井液

粗分散钻井液是在细分散钻井液的基础上, 通过分散剂和无机阳离子的共同作用, 使体系中的粘土颗粒处于适度絮凝状态的水基钻井液。粗分散钻井液与细分散钻井液相比, 具有较强的抗钙、盐和粘土污染的能力, 有利于提高钻速, 对油气层的损害程度相对较小以及能够抑制泥页岩水化膨胀等优点。

3. 聚合物钻井液

聚合物钻井液是以某些具有絮凝和包被作用的高分子聚合物作为主处理剂的水基钻井液。由于这些聚合物的存在, 体系所包含的各种固相颗粒可保持在较粗的粒度范围内, 与此同时岩屑也因及时受到包被而不易分散成微细颗粒。自 20 世纪 70 年代以来, 该类钻井液在国内外得到了广泛应用, 其工艺技术得到了不断的完善和发展。

聚合物钻井液密度和固相含量低, 钻进速度可明显提高, 对油气层的损害程度也较小, 剪切稀释特性强。在一定泵排量下, 环空流体的粘度、切力较高, 因此具有较强的携带岩屑的能力; 在钻头喷嘴处的高剪切速率下, 流体的流动阻力较小, 有利于提高钻速。

聚合物处理剂具有较强的包被和抑制分散的作用, 有利于保持井壁稳定。

4. 盐类钻井液

在水基钻井液的发展过程中, 无机盐、有机盐以及正电胶钻井液以其独特的性能在钻井作业中得到了广泛应用, 统称为盐类钻井液。

无机盐钻井液可分为海水钻井液、盐水钻井液和饱和盐水钻井液。海水钻井液工艺技术得以发展的主要原因是为了满足海洋钻井的需要。在海上供给足够的淡水不仅难度大,而且成本很高,因此最实际的办法是使用海水配浆。盐水钻井液是对粘土水化有较强抑制作用的钻井液。饱和盐水钻井液主要用于钻其他水基钻井液难以对付的大段岩盐层和复杂的盐膏层,也可作为完井液和修井液使用。

有机盐钻井液以其公认的高效、低毒等优点在钻井液体系中崭露头角,在国外已经广泛应用,效果很好。有机盐钻井液的性能稳定,抗污染能力强,抑制防塌能力强,有利于发现和保护油气层,提高机械钻速和固井质量,解决了井壁稳定、流变性和保护油气层之间的矛盾。

正电胶钻井液的主要组成部分 MMH 正电胶粒,其与粘土负电胶粒靠静电作用形成空间连续结构,因而可稳定钻井液,同时可吸附在钻屑和井壁上,具有抑制钻屑分散和稳定井壁的作用,实现了钻井液稳定措施同抑制钻屑分散和保护井壁稳定措施的统一。

二、油基钻井流体

1. 全油基钻井液

全油基钻井液体系无水相,主要由基液、有机土、乳化润湿剂、有机土增效剂、增粘提切剂、降滤失剂、碱度控制剂(CaO)和加重剂等组成。该体系以无荧光低芳香烃矿物油(5#白油^①)为基液,与柴油相比,生物毒性较低。全油基钻井液体系无水相,电稳定性好(大于2 000 V),塑性粘度低,滤失量小(滤液全为油),具有抗钻屑、抗水污染性能强、润滑性能好、抑制性强及储层保护效果好等特点。使用无水全油基钻井液,有利于提高机械钻速、井壁稳定性和储层保护效果,可用于易塌地层、盐膏层,特别是水相活度差异较大的地层,以及能量衰竭的低压地层和海洋深水钻井。

2. 油包水乳化钻井液

油包水乳化钻井液是以柴油、矿物油或合成基液为外相(连续相),以水(淡水或盐水)为内相(分散相),并添加适量的乳化剂、润湿剂、亲油胶体和加重剂等所形成的稳定的乳状液体系。

以油作为基液的钻井液具有抗高温、较强的抑制性、抗盐抗钙污染、润滑性好,并可有效减轻油气层损害等特点。因此,使用该类钻井液已成为钻深井、超深井、大位移井、水平井和各种复杂地层的重要手段之一。但是,由于配制成本较高,以及使用时会对环境造成一定的污染,因而其应用受到了一定的限制。尤其对于全油基钻井液,由于其基液完全为油,对环境污染很严重,并且降解困难,所以现在很少使用。

3. 合成基钻井液

^① 白油:通常是指白色矿物油。它是经过特殊深度精制后的矿物油,基本组成为饱和烃,芳香烃、含氮、氧、硫等物质近似于零,因而具有良好的氧化安定性、化学稳定性和光安定性,无色、无味,不腐蚀纤维纺织物。

合成基钻井液是以合成的有机物为连续相,以盐水为分散相,并含有乳化剂、降滤失剂、流型改进剂的一类新型钻井液。由于使用无毒并且能够生物降解的非水溶性有机物取代了油基钻井液中通常使用的柴油,因此这类钻井液既保持了油基钻井液的各种优良特性,同时又大大减轻了钻井液排放对环境造成的不良影响,尤其适用于海上钻井。

三、气体型钻井流体

气体型钻井流体是指气体钻井中采用的循环流体。主要用于低压油气层、易漏失地层以及某些稠油油层的钻井。其特点是密度低,钻速快,可有效保护油气层,并能有效防止井漏等复杂情况。通常,气体型钻井流体可进一步分为空气或天然气钻井流体、雾状钻井流体、泡沫钻井流体、充气钻井流体等4种。

1. 空气或天然气钻井流体

空气或天然气钻井流体是指钻井中使用干燥的空气或天然气作为循环流体。其技术关键在于必须有足够大的注入压力,以保证能达到将全部钻屑从井底携至地面的环空流速。

2. 雾状钻井流体

雾状钻井流体是指少量液体分散在空气介质中所形成的雾状流体。它是空气钻井流体与泡沫钻井流体之间的一种过渡形式。

3. 泡沫钻井流体

钻井中使用的泡沫是一种将气体介质(一般为空气)分散在液体中,并添加适量发泡剂和稳定剂而形成的分散体系。

4. 充气钻井流体

充气钻井流体,是为了降低钻井液密度,将气体(一般为空气)均匀地分散在钻井液中,形成充气钻井液。显然,混入的气体越多,钻进液密度越低。

第三节 钻井工作流体功能

钻井液在安全、经济、优质、快速钻井中起着重要作用。在钻井工程中钻井液一般具有携带和悬浮岩屑,稳定井壁和平衡地层压力,冷却和润滑钻具、钻头,传递水动力等基本功能。此外,为了更好地满足钻井工程和油田开发生产的需要,钻井液还要具有保护储层,有利于地层评价和油气发现,不损害环境、人员和设备,降低钻井成本等优良性能。

一、携带和悬浮岩屑

钻井液首要和最基本的功用,就是通过循环,将井底被钻头破碎的岩屑和井壁剥落的掉块携至地面,以保持井眼清洁,使起下钻畅通无阻,并保证钻头在井底始终接触和破碎新地层,不造成重复切削,保持安全快速钻进。在接单根、起下钻或因故停止循环时,钻井液又将井内的钻屑悬浮在钻井液中,使钻屑不会很快下沉,防止沉砂卡钻等复杂情况。

二、稳定井壁和平衡地层压力

井壁稳定、井眼规则是实现安全、优质、快速钻井的基本条件。性能良好的钻井液应能借助于液相的滤失作用,在井壁上形成一层薄而韧的泥饼,稳固已钻开的地层并阻止液相侵入地层,减弱泥页岩水化膨胀和分散的程度。与此同时,在钻进过程中需通过不断调节钻井液密度,使液柱压力能够平衡地层压力,从而防止漏、喷、塌、卡等井下复杂情况的发生。

三、冷却和润滑钻具、钻头

在钻进过程中,钻头一直在高温下旋转并破碎岩层,产生很多热量,同时钻具也不断与井壁摩擦产生热量。正是通过钻井液不断循环,将这些热量及时吸收,然后带到地面释放到大气中,从而起到了冷却钻头、钻具,延长其使用寿命的作用。由于钻井液的存在,使钻头和钻具均在液体内旋转,因此在很大程度上降低了摩擦阻力,起到了很好的润滑作用。

四、传递水动力

钻井液在钻头喷嘴处以极高的流速冲击井底,从而提高了钻井速度和破岩效率。高压喷射钻井正是利用这一原理,即采用高压泵入钻井液,使钻井液形成高速射流对井底产生强大的冲击力,从而显著地提高了钻速。在使用螺杆钻具钻进时,钻井液由钻杆内以较高流速流经螺杆钻具转子,使转子旋转并带动钻头破碎岩石。

五、保护储层

为了防止和尽可能减少钻井液对油气层的伤害,现代钻井技术还要求钻井液必须与所钻遇的油气层的岩石、粘土以及地下流体相配伍,满足保护油气层的要求。

六、有利于地层评价和油气发现

为了满足地质要求,所使用的钻井液必须有利于地层测试、岩屑录井,不影响对地层的评价以及油气的发现。例如,钻井液中含有盐、油会影响测井,有荧光会对油气发现有影响。

七、不损害环境、人员和设备

钻井液还应对钻井人员及环境不发生伤害和污染,对井下工具及地面装备不腐蚀或尽可能减轻腐蚀。

八、降低钻井成本

一般情况下,钻井液成本只占钻井总成本的7%~10%,然而先进的钻井液技术往往可以成倍地节约钻时,从而大幅度地降低钻井成本,带来十分可观的经济效益。因此,应着力发展能够降低钻井成本的钻井液技术。

第四节 钻井工作流体发展概况

钻井工作流体的发展是不断满足钻井工程和地质工程需要而发展起来的。总的来说,钻井液处理剂的发展是钻井工作流体发展的关键,钻井液体系是钻井液技术发展的

综合表现。钻井液是伴随着旋转钻井的出现而开始使用的。在最初阶段,钻井是用清水作为洗井液。钻屑里的粘土分散在水中,清水逐渐变成浑水以至成为泥浆,即所谓自然造浆。实践证明,这种最原始的泥浆确有携带岩屑、净化井底和平衡地层压力等的作用,但也存在着滤失量高、性能不稳定和易引起井塌、卡钻等一系列问题。后来,人们发现使用人工预先配制的泥浆比使用清水具有更好的功能,此时钻井液技术才逐渐成为了一项工艺技术。从 20 世纪 20 年代起,随着世界石油工业的迅速发展,钻井的数量、速度和深度均显著增长,所钻穿的地层也更加复杂多样,裸眼也越来越长,于是对钻井液提出了更高的要求。这促使人们设法寻找各种配制钻井液的原材料和处理剂,研究其性能与钻井工作的关系,并研制出各种钻井液测试仪器和设备,使钻井液技术得到不断发展。

根据连续介质的不同,钻井流体大体可以分为水基钻井流体、油基钻井流体和气体型钻井流体三大类。每类钻井液都有其自身的特点和不同的适用情况。

一、水基钻井流体发展概述

总的来看,水基钻井液主要经历了从分散钻井液到抑制性钻井液,再到不分散聚合物钻井液的发展阶段。

分散钻井液主要用于浅井阶段。它由粘土、水和各种起分散作用的处理剂组成。通常加入纯碱、烧碱、单宁酸钠、褐煤碱液等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充分分散,使体系成为胶体状态,并保持其稳定性。但是,分散钻井液存在着不能有效控制地层造浆、不抗高温、抗污染能力差以及不能有效防塌等缺点。

为了克服这些缺点,20 世纪 60 年代起,广泛应用了钙处理钻井液和盐水钻井液,其特点是通过分散剂和无机阳离子的共同作用,使体系中的粘土颗粒处于适度絮凝的粗分散状态,从而能有效抑制地层中粘土的水化膨胀,有利于保持井壁稳定,还具有较强的抗盐、钙污染和一定的抗高温性能。后来又将具有以上特点的钻井液称为抑制性钻井液,可形象地理解为粗分散钻井液。但这类钻井液不能有效地控制钻井液中的固相含量,也不能很好地解决大段泥页岩层的井壁稳定问题。

随后,井越来越深,地层越来越复杂,钻遇高温高压及各种复杂地层,使钻井工艺技术有了更快的发展。例如,深井超深井钻井、高压喷射钻井、近平衡压力钻井和定向钻井等技术的应用和发展,均促使钻井液技术和固控技术不断向前发展。其中一个突出表现是钻井液类型不断增多,特别是不分散低固相聚合物钻井液的出现,使高压喷射钻井等新工艺措施得以实现,是钻井液技术发展进程中取得的重要突破。聚合物钻井液也是发展最为迅速的一类水基钻井液。最初是将有机高分子化合物——聚丙烯酰胺和它的部分水解产物引入钻井液中,用它们作为化学絮凝剂,使钻屑和造浆率差的粘土不分散,以利于在地面将其清除。后来,用于钻井液的高分子聚合物的种类越来越多,其中包括阳离子聚合物钻井液体系在国外也有了较快的发展。实践证明,聚合物钻井液在提高机械钻速、稳定井壁、携带岩屑和保护油气层等方面均明显好于其他类型的水基钻

井液。

二、油基钻井流体发展概述

油基钻井液是另一大类钻井液体系。由于其配制成本比水基钻井液高得多,一般只用于高温深井、海洋钻井以及钻大段泥页岩地层、大段盐膏层和各种易塌、易卡的复杂地层。国外最早大约在 20 世纪 20 年代就用原油作为洗井介质,但其流变性和滤失量均不易控制。到了 50 年代,发展形成了以柴油为连续介质的油基钻井液和油包水乳化钻井液。为了克服油基钻井液钻速较低的缺点,在 70 年代又发展了低胶质^①油包水乳化钻井液。在这期间,为了进一步增强其防塌功能,还发展了活度平衡的油包水乳化钻井液。80 年代以来,为加强环境保护,特别是为了避免钻屑排放对海洋生态环境的影响,又大力发展了以矿物油^②作为连续相的低毒油包水乳化钻井液。

随着环保意识的增强,对钻井液的排放环境要求日益严格,作为油基钻井液基液的石油产品,如柴油或矿物油能在海洋环境下存在多年而不被降解,并且柴油中含有较多的芳烃,会对环境带来不利影响,因此油基钻井液的使用越来越受到严格的限制。为了彻底解决油基钻井液对环境的污染问题而保留其优良特性,自 20 世纪 80 年代初,美国、英国、挪威等国的石油公司就投入一定的人力和物力从事合成基钻井液的研究开发工作。其中,酯基钻井液于 1990 年 3 月在北海现场首次应用并获得成功,其后合成基钻井液种类不断增加,第一代合成基钻井液包括酯、醚、聚一烯烃、缩醛,后来在权衡环境保护因素和成本的前提下发展了第二代合成基钻井液,第二代合成基钻井液以线性烯烃、内烯烃、线性烷基苯和线性石蜡为代表。其特点为运动粘度和钻井液成本较第一代低,但环境友好性能较第一代要稍微差一些。

虽然国外研制合成基钻井液的初衷是用于海洋钻井,因为它无毒、可生物降解、对环境无污染,这样钻井液污水、钻屑和废钻井液可向海洋排放。同时由于润滑性能良好,也可用于大斜度井及水平井钻进。由于合成基钻井液的滤液不是水,因而有利于保护油气层和井壁稳定。同时由于有些合成基钻井液不含荧光类物质,可生物降解且无毒,因此彻底解决了原来油基钻井液对环境污染及其对后继测井、试井资料解释的问题。

国外合成基钻井液的发展也引起了国内一些学者的注意,不仅对国外的研究和应用进行了密切关注,而且还取得了一些初步的研究成果。

三、气体型钻井流体发展概述

气体型钻井流体是第三大类钻井工作流体,包括空气或天然气、雾、泡沫和充气钻

① 低胶质:石油可以按含胶质的量来分类。含胶质量小于 17%,称为低胶质原油;含胶质量在 18%~35%,称为含胶质原油;含胶质量大于 35%,称为多胶质原油。

② 矿物油:依据习惯,把通过物理蒸馏方法从石油中提炼出的基础油称为矿物油,加工流程是:在原油提炼过程中,在分馏出有用的轻物质后,残留的塔底油再经提炼而成。其主要两个步骤是溶剂精制去除芳烃等非理想组分和溶剂脱蜡以保证基础油的低温流动性。生产过程基本以物理过程为主,不改变烃类结构,生产的基础油取决于原料中理想组分的含量与性质。

井流体。这类流体主要应用于低压易漏地层、强水敏性地层和严重缺水地区。从 20 世纪 30 年代起,气体型钻井流体就开始应用于石油钻井中。由于受到诸多限制,应用并不十分广泛。但随着欠平衡钻井技术和保护油气层技术的发展,气体型钻井流体,特别是泡沫和充气钻井流体的研究和应用受到了广泛的重视。

近年来,国外钻井液技术发展较快,在防止地层损害、地层稳定、大位移井钻井液的设计以及新型钻井液的研制等方面有了新的发展。如防止地层损害的新型钻井液有无损害钻井液、微泡钻井液、硬葡聚糖^①打开油层钻井液、充氮泡沫钻井液等;防止地层失稳的硅酸钾钻井液、含有钻井液增强剂的水溶性双相聚乙二醇水基钻井液等;具有肥田作用的逆乳化钻井液;具有稳定低温流变性的新型合成基钻井液;具有抑制活性地层的抑制性水基钻井液;具有抗高温高压的新型水基钻井液以及适用于钻大位移井的大位移钻井液等。

习 题

1. 什么是钻井工作流体?
2. 钻井工作流体基本类型有哪些?
3. 简要叙述钻井工作流体的循环过程。
4. 钻井工作流体的基本功能有哪些?

^① 硬葡聚糖:是一种可被生物降解的高分子聚合物。在温度高于 120 ℃ 时,硬葡聚糖聚合物的流变性不受影响。