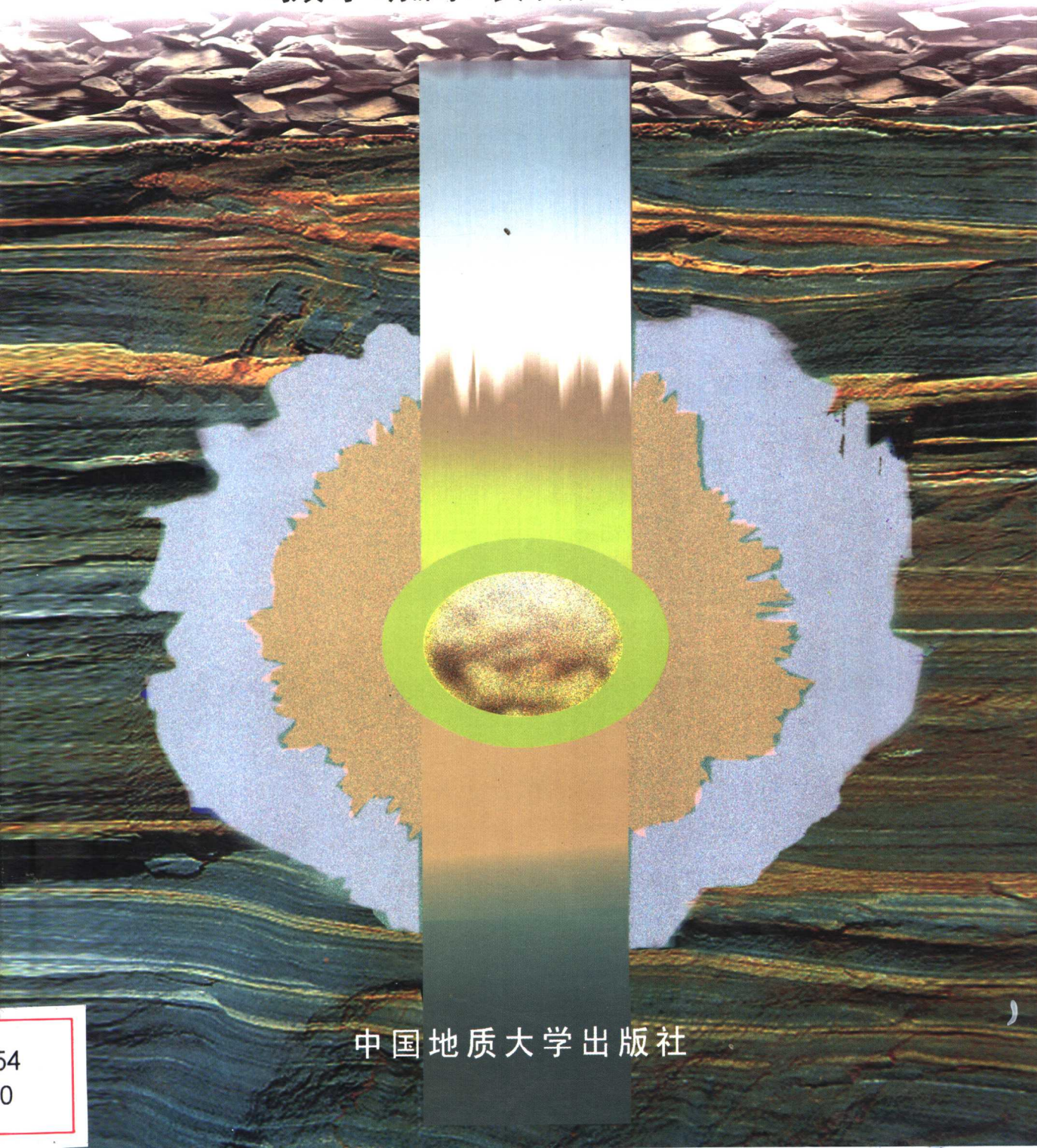


中国地质调查局科研项目 资助
中国地质大学“211工程”学术著作出版基金

钻井液与岩土工程浆液

乌效鸣 胡郁乐 贺冰新 蔡记华 编著



中国地质大学出版社

中国地质调查局科研项目资助
中国地质大学“211工程”学术著作出版基金

钻井液与岩土工程浆液

乌敦鸣 胡郁东 编著
贺冰新 蔡记华

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钻井液与岩土工程浆液/乌效鸣等编著. —武汉:中国地质大学出版社,2002.6

ISBN 7-5625-1687-1

I. 钻…

II. ①乌…②胡…③贺…④蔡…

III. 钻井液-岩土工程浆液-理论-应用

IV. P634

钻井液与岩土工程浆液

乌效鸣等 编著

责任编辑:徐润英

技术编辑:阮一飞

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787 mm×1092 mm 1/16

字数:410千字 印张:16

版次:2002年6月第1版

印次:2002年6月第1次印刷

印刷:武汉市科普教育印刷厂

印数:1—3 500册

ISBN 7-5625-1687-1/P·575

定价:22.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

钻探工程的发展已从较单一的岩心钻探工艺技术向石油天然气钻采、地下水与地热开发、岩土工程施工等方向拓宽,相应的钻探冲洗液技术也向着油气井完井液与压裂液、地下水与地热钻井液、岩土工程成孔液与稳定液等技术方面拓展,钻井液和岩土工程浆液的理论和技术不断扩展和更新,为了适应新的发展趋势,特编著此书。

国内外有关钻井液和岩土工程浆液的理论和技术,在新型造浆材料、新型处理剂、钻井液配方、泡沫与充气泥浆等可压缩钻井介质、现代化工程浆液流变参数检测技术、孔壁稳定与压裂新技术方法、新型化学浆液注浆技术、地层伤害与渗透性恢复的流体力学原理等众多方面的科学研究有了较多的突破,取得了一系列的新进展。

本书综合多领域钻井液与岩土工程浆液技术,较系统地阐述了它们的科学原理和实用技术方法,提出了这些方面新的学术论点和见解。有一些内容是作者在钻井技术科研和岩土工程生产实际中的直接成果,有一些是对前人在工程浆液中所取得成果的总结。这些理论和方法为读者掌握钻井液与岩土工程浆液技术,深入分析和解决相应科研和生产实际工作中的问题提供了较好的参考依据。

本书共十一章,主要由钻井液和岩土工程浆液的基础理论和实际应用两大部分组成。其中基础理论包括工程浆液力学基础和工程浆液化学基础等。实际应用包括钻井泥浆、无粘土钻井液、可压缩钻井循环介质、护壁堵漏、岩土注浆、混凝土、岩土钻控稳定液技术和固相控制与废液处理。

本书的特点主要反映在以下几个方面:① 思路上把流体力学、化学、固体力学、数学等深入的基础理论与钻井和岩土工程实际密切地结合起来;② 见解上提出可压缩钻井介质流动新理论、高分子胶液与可脆变材料降解及渗透性恢复的化学和流体力学原理、新型钻井液配方、时间严格可控的地层固结剂配方等较多的新方法;③ 内容范围上把岩心钻探钻井液、岩土工程成孔稳定液、石油天然气完井液和压裂液、水井钻井液、钻孔护壁堵漏技术、岩土工程固结技术等既有区别又有联系地集成起来,显著拓展了应用领域,信息量大,以适应新形势下广大读者对此类书籍的综合需求。

本书的第一章、第二章的第一节、第四章的大部分、第五章的大部分、第六章、第七章的大部分由乌效鸣执笔,第八章、第九章、第十章和第十一章由胡郁乐执笔,第三章和第四章第三节、第五章第三节由贺冰新执笔,第二章的第二、三、四节和第五章第二节、第七章第四节由蔡记华执笔。全书由乌效鸣和胡郁乐等同志修改、统稿。

本书的对象为从事地质岩心钻探、石油与天然气钻采、地下水开发、岩土工程施工的工程技术人员、管理人员、科研人员、大学生、硕士和博士研究生及相应浆液产品开发人员。由于我们水平有限,加上编写时间比较仓促,书中难免出现一些不妥之处甚至错误之处,欢迎广大读者批评指正。

编著者

2002年4月



第一章 钻井液与岩土工程浆液概述.....	(1)
第一节 工程浆液的应用领域.....	(1)
第二节 工程浆液的分类.....	(2)
一、按用途分类	(2)
二、按化学性质分类	(2)
三、按物理性状分类	(3)
第三节 国外工程浆液发展概况.....	(3)
第四节 我国工程浆液发展简史.....	(6)
第二章 工程浆液力学基础.....	(9)
第一节 钻井液循环水力学.....	(9)
一、钻井液循环方式	(9)
二、泵量与循环流速.....	(10)
三、循环阻力损失.....	(12)
第二节 岩土性质	(12)
一、岩土的分类.....	(12)
二、土的物理和水理性质.....	(13)
三、岩石的物理性质.....	(15)
四、岩石的力学性质.....	(17)
五、岩石的可钻性.....	(21)
第三节 岩土渗流问题	(22)
一、均质性与非均质性和各向同性与各向异性.....	(22)
二、达西实验定律——均质液体渗流方程.....	(23)
三、渗透率.....	(24)
四、渗流的基本类型.....	(26)
第四节 浆液的流变性基础	(28)
一、概 述.....	(28)
二、流体与流型.....	(29)
三、流变性测量原理.....	(38)
第三章 工程浆液化学基础	(42)
第一节 基本化学作用	(42)
第二节 分散体系	(43)
一、分散体系的分类.....	(43)
二、胶体分散体系.....	(44)
第三节 表面活性剂	(48)
一、概 述.....	(48)

二、表面活性剂的种类和常用的表面活性剂	(49)
三、表面活性剂的化学结构与性质的关系	(53)
四、添加剂对活性剂溶液性质的影响	(55)
五、表面活性剂的主要功用	(56)
第四节 高分子化合物	(60)
一、高分子化合物的基本概念	(60)
二、高分子化合物的结构特点	(61)
三、高分子化合物的溶解过程	(62)
第五节 水泥及水泥外加剂	(63)
一、硅酸盐类水泥	(64)
二、铝酸盐水泥	(72)
三、硫铝酸盐水泥	(73)
四、水泥外加剂	(74)
第四章 钻井泥浆	(79)
第一节 钻井泥浆的分类与造浆粘土	(79)
一、钻井泥浆的分类	(79)
二、土的组成	(80)
三、粘土矿物的构造特点分析	(81)
四、造浆粘土的选用与质量评价	(84)
第二节 粘土水化分散与泥浆体系稳定原理	(86)
一、粘土的水化分散	(86)
二、粘土-水界面的扩散双电层	(87)
三、粘土在水中的分散状态	(90)
四、泥浆的稳定性	(90)
第三节 泥浆处理剂	(92)
一、无机处理剂	(92)
二、有机处理剂	(93)
第四节 泥浆性能及其测试方法	(100)
一、比重、固相含量与含砂量	(101)
二、泥浆的流变特性	(102)
三、泥浆的失水造壁性	(104)
四、泥浆的其他性能	(107)
第五节 泥浆的设计与配制	(108)
一、泥浆的一般设计方法	(108)
二、泥浆材料用量计算	(109)
三、泥浆的配制	(110)
第六节 砂、砾层中使用的泥浆	(110)
第七节 土层、泥页岩中使用的泥浆	(111)
第八节 溶蚀性地层泥浆	(116)
一、盐水泥浆配制原理	(117)

二、盐水泥浆举例	(118)
第九节 硬岩钻进用泥浆	(118)
第十节 耐高温泥浆和高、低比重泥浆	(120)
一、耐高温泥浆	(120)
二、高、低比重泥浆	(121)
第五章 无粘土钻井液	(122)
第一节 清 水	(122)
第二节 化学溶液钻井液	(123)
一、化学溶液用作钻井液的原理	(123)
二、化学溶液的流变特性	(123)
三、化学溶液钻井液的类型及配方举例	(124)
第三节 乳状液	(127)
一、概 述	(127)
二、乳状冲洗液在地质勘探钻进中的应用	(128)
三、乳状液的稳定及乳化剂	(128)
四、乳状液的配制	(129)
第四节 暂堵型钻井液	(131)
一、原 理	(131)
二、粘度实验	(133)
三、渗透性恢复实验	(134)
四、小 结	(135)
第五节 白垩钻井液	(135)
第六节 钻井水力压裂液	(137)
一、压裂液的作用	(137)
二、压裂液的类型	(137)
三、压裂液的性能要求	(138)
四、水基压裂液的典型配方	(138)
第六章 可压缩钻井循环介质	(140)
第一节 可压缩钻井循环介质的基本特征	(140)
第二节 空气和雾钻井	(141)
一、特点与应用范围	(141)
二、装备与主要工艺	(141)
三、缺点与局限性	(142)
第三节 钻井泡沫	(142)
一、基本概念	(142)
二、特点和适用范围	(143)
三、泡沫的组成与泡沫剂	(143)
四、钻井泡沫的性能	(145)
五、泡沫钻井系统及工艺参数	(147)
六、钻井泡沫孔内流动参数的计算	(149)

第四节 充气泥浆	(151)
一、充气泥浆的组成和特点	(151)
二、对充气泥浆的性能要求	(152)
三、充气泥浆原理	(152)
四、充气泥浆的性能	(153)
五、充气泥浆的配制	(153)
六、充气泥浆的应用计算	(153)
第七章 护壁堵漏	(155)
第一节 复杂地层分类	(155)
第二节 井壁稳定力学分析	(156)
一、地层压力分析	(156)
二、井壁单元体应力状态	(156)
三、井壁岩土强度	(157)
四、井壁失稳破坏的理论判别	(157)
第三节 井眼漏涌水研究、测试	(158)
一、井眼漏涌水影响因素分析	(158)
二、在钻进时研究漏失层	(158)
三、研究漏失层的物探方法	(159)
四、用测漏仪及流速流向仪研究漏失层	(162)
第四节 遇水不稳定地层的研究	(162)
一、页岩水化的力学机理	(163)
二、简单的浸泡试验	(163)
三、页岩稳定性钻井模拟试验	(163)
四、页岩稳定性指标 (SSI) 的试验方法	(164)
五、英苏林液体吸收仪	(164)
六、毛细管吸收时间仪	(165)
第五节 水泥护壁堵漏	(166)
一、堵漏对水泥性能的要求	(166)
二、钻井常用的水泥与外加剂	(167)
三、灌注水泥的准备工作	(170)
四、钻井水泥浆灌注工艺	(170)
第六节 化学浆液与惰性材料护壁堵漏	(173)
一、脲醛树脂浆液	(173)
二、水玻璃浆液	(175)
三、聚丙烯酰胺浆液	(176)
四、脲醛树脂水泥球	(177)
五、干性堵漏材料	(178)
六、沥青材料	(178)
第八章 岩土注浆	(179)
第一节 注浆模式	(179)

一、静压注浆	(179)
二、喷射注浆	(180)
三、爆破注浆	(180)
四、电动化学注浆	(180)
第二节 注浆液性能及其设计	(180)
一、浆液的性能	(181)
二、注浆液设计	(184)
第三节 灌浆标准的确定	(188)
一、灌浆标准	(188)
二、灌浆半径的确定	(190)
第四节 常用注浆工法	(191)
一、砂砾石层灌浆方法	(191)
二、裂隙岩石灌浆方法	(193)
第五节 常用无机注浆材料	(193)
一、水泥浆材	(193)
二、粘土水泥浆	(196)
三、水泥-水玻璃类浆液	(197)
四、硅酸盐浆材	(199)
第六节 有机系列注浆材料	(200)
一、丙烯酰胺类及无毒丙凝	(200)
二、木质素类浆液	(201)
三、其他有机浆液	(202)
第七节 注浆工程应用实例	(203)
一、锚固工程	(203)
二、灌注桩后压浆技术	(204)
第九章 混凝土	(206)
第一节 概 述	(206)
第二节 灌注混凝土	(206)
一、水下混凝土的主要技术性能	(207)
二、灌注混凝土原材料	(211)
三、水下混凝土的配合比设计	(213)
四、水下混凝土的配合与输送	(217)
第三节 泵送混凝土	(218)
一、坍落度的确定	(218)
二、水泥用量、水灰比及用水量的确定	(219)
三、砂石的级配和砂率	(219)
四、外加剂和掺合料	(220)
第四节 喷射混凝土	(221)
一、喷射混凝土类型	(221)
二、喷射混凝土基本材料	(221)

三、喷射混凝土的配合比设计	(221)
四、喷浆回弹及粉尘浓度问题分析	(223)
第十章 岩土钻挖稳定液技术	(225)
第一节 概 述	(225)
第二节 反循环泥浆	(226)
第三节 泥浆护壁挖槽法	(228)
一、槽壁的稳定和放置时间	(228)
二、槽壁泥浆的使用方法	(228)
三、对稳定液的要求	(229)
四、泥浆材料的选择	(229)
五、基本配合比的确定	(231)
六、泥浆的制备	(231)
七、泥浆的再生处理与质量控制	(233)
第十一章 固相控制与废浆处理	(234)
第一节 钻井液中的固相	(234)
一、固相对钻速的影响	(234)
二、固相对泥饼的影响	(235)
三、固相对循环系统的影响	(235)
四、固相含量与含砂量的测定	(235)
第二节 钻井液的固相控制技术	(236)
一、降低固相含量的方法	(236)
二、净化的方法	(236)
第三节 固相控制设备	(238)
第四节 工程废浆处理	(242)
参考文献	(245)

第一章 钻井液与岩土工程浆液概述

第一节 工程浆液的应用领域

本书所涉及的工程浆液包括钻井液、护壁堵漏材料、压裂液、稳定液、注浆液、地基混凝土等,它们广泛应用于地质勘查钻探、石油天然气钻井、地下水等资源钻采、矿山钻掘工程、工程地质勘察、基础工程施工、地质灾害治理等领域中。

向地层中钻进是上述领域必须或经常从事的工作,而钻井液技术又是钻进工作的重要环节。钻进的深度深浅不一,有浅到几米的工程地质勘察孔,也有深到几千米的石油天然气钻采井,甚至深达 12 500m 的科学钻探井;钻进的口径也有很大差异,例如地质岩心钻探孔和锚杆注浆孔孔径往往只有几十毫米,而基础工程施工中的灌注桩孔径却有 1~2m,甚至更大。尽管钻井情况千差万别,但是钻井液作为排除钻进时井内钻碴的循环介质在所有钻进中不可缺少。同时,钻井液还能起到保护井壁、平衡地层压力、冷却润滑钻具、提供井底动力、液力碎岩、返送井底岩样等作用。

在各种地质条件下钻井,经常会遇到诸如砂、砾、卵石、破碎带、裂隙、溶洞等地层,采取专门的护壁堵漏材料来稳定井壁,防止钻井液漏失和地下水的涌入,是在这些地层中钻进必须采取的措施。否则,将会因为井壁失稳破坏以及井内漏涌严重而使钻进工作无法进行。例如,在地质勘查钻探和矿山钻掘工程钻孔时经常会遇到地质上的构造破碎带;在地下水钻采、地质灾害治理和基础工程施工时经常会钻经流砂层或卵砾石层;在油气井开发或工程地质勘察过程中经常会遇到不稳定的软土或泥页岩等,采用合适的护壁堵漏材料来对付这些复杂地层成为关键课题。

在基础工程施工、地质灾害治理等领域,钻进的最终目的是要强化地基,加固岩土,稳定坡体,如钻孔灌注桩、压力注浆、高压旋喷、粉体喷射、灌浆锚杆和土钉墙等。在这些工程中,不仅需要钻井或钻进,而且要在钻井完成后或在钻进的同时向井内或孔内注入可以固化的浆液,用以固结、强化地层和岩土。另外,在基础工程的地下墙施工中,还经常采用挖槽灌浆法来形成坚实的基础,即先挖槽再下入钢筋笼,然后向槽内浇筑混凝土,而在砂、土等软弱地基层中挖槽往往会引起槽壁的失稳坍塌,这时可以将钻井液作为挖槽的槽壁稳定液,用以平衡地层对槽壁的侧向压力,即对槽壁有个液力支撑作用,防止槽壁的失稳坍塌。

压裂液在石油、天然气、煤层气、地下水等流体资源以及盐、石膏、天然碱、芒硝等可溶性矿种的钻采中经常用到。在钻井完成后,向井底注入专门的高压液体,压开地下产层,并形成较大尺寸的裂缝,是增加地下流体资源和可溶性矿种产量的重要手段。此外,油气井工程中还经常进行完井、修井、固井等作业,相应地就需要设计和使用完井液、修井液和固井浆材。井喷是在一些压力异常地层钻井中有可能发生的事故,为了防治井喷,也需要用到一些特定的浆液。

在矿山钻掘工程中,快速止水堵漏是不可缺少的安全技术措施,其中关键问题之一就是如何选配和使用合适的快速堵漏浆材。另外,在软弱地面安放钻机设备和钻塔时,井场地基需要加固;出于安全考虑,在许多情况下,钻孔后需要封孔,这些都需要用到能够固结的浆材。类似

地,钻井和岩土工程中的许多辅助性工作(如工程基建等)也需要用到各种浆材。

随着人类环境保护意识的不断增强,对工程浆液的净化使用和废浆处理的要求也愈来愈高。工程浆液的配方要符合限制污染的要求,用后的废浆应利于清理或再生利用。

显然,工程浆液在地质、矿产、冶金、煤炭、资源、能源、环境、交通、建筑等部门的地下岩土工程中具有重要作用。

第二节 工程浆液的分类

工程浆材的品种很多,如各种泥浆、水泥、混凝土、乳状液、有机和无机物溶液、化学凝固剂、水、气体、泡沫、惰性材料等。工程浆材的分类主要应该考虑它们的使用目的、化学性质、物理状态等。本节先从总体上对工程浆液进行综合分类,具体浆液的情况由以后各章分别叙述。

一、按用途分类

从总的使用目的来看,可以将工程浆液分为四大类,即钻井液类、堵漏固井浆材类、注浆液类和浇筑混凝土类。根据具体用途可将每个大类细分为若干个种类(见表1-1)。

表1-1 钻井液与岩土工程浆液分类表

分类	用途	品名举例	主要作用
钻井液	油气井钻井液 地质勘探钻孔冲洗液 工程地质勘察钻探液 水井钻井液 灌注桩钻孔稳定液 完井、修井、压裂液	泥浆、乳状液、清水、盐水、气体、泡沫、化合物溶液等	排除钻碴,稳定井壁,平衡地层压力 排除岩屑,保护孔壁,冷却润滑钻具 排除钻屑,冷却润滑钻具 排除钻碴,稳定井壁,平衡地层压力 排除钻碴,稳定井壁 修整井眼,增加产量
堵漏固井浆材	钻孔护壁堵漏浆材 固井浆液 封孔浆液 快速止水浆液	水泥、水玻璃、化学凝固剂、棉籽核等惰性材料	稳固孔壁,防治漏失和涌水 使套管与井眼地层固结稳定 灌封钻孔孔眼 快速封堵矿井与坑道内的漏水
注浆液	静压注浆液 高压旋喷、深层搅拌浆液 粉体喷射材料 灌浆锚杆 土钉墙浆液	水泥、石灰、化学材料等	浆液以渗透、挤密等方式固结强化地层 浆液与地下岩土混合成桩 干粉料与地下土、水混合固结地层 使锚杆和岩土固结,稳固地层 使土钉和岩土固结,稳固地层
浇筑混凝土	地下连续墙浆材 灌注桩成桩浆材 井场地基加固浆材 基建等工程辅助浆材	水泥、混凝土材料	混凝土与钢筋在槽内固化成地下墙 混凝土与钢筋在孔内固化成地下桩 加固井场地基用 井场道路等辅助工作用

二、按化学性质分类

从化学性质上可以将工程浆材分为无机浆材、有机浆材和粒状料三大类。

无机浆材成分包括各种无机盐、碱、酸等化合物,如 Na_2CO_3 、 NaOH 、 NaCl 、 CaSO_4 、 CaCl_2 、 Na_2SiO_3 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 FeCl_3 等。它们的分子量一般较小,分子结构也比较简单,靠无机化学反应

在工程浆液中产生作用。无机化合物除少数(如 Na_2SiO_3 等)单独或主体作为工程浆液外,大部分均是作为其他工程浆液的外加剂,用以改善其他主浆液的使用性能。如泥浆处理剂 Na_2CO_3 在 1m^3 泥浆中的加量仅为几千克,却能明显提高粘土的造浆性能;又如 CaCl_2 和 Na_2SiO_3 等作为外加剂可以使水泥浆速凝、早强。

有机浆材取自于有机化合物及其衍生物,如钠羧甲基纤维素、水解聚丙烯酰胺、煤碱液、胍尔胶、羟乙基淀粉、魔芋粉、铬制剂、磺化沥青、脲醛树脂、十二烷基硫酸钠、OP-10 等等,品种繁多。从有机化学组成上可以将它们分为丹宁类、木质素类、腐植酸类、纤维素类、丙烯酸类、聚酯类、树脂类、表面活性剂类和其他共聚物类等。有机浆材的分子量较大,分子结构也比较复杂。有机浆材既可单独或主体作为工程浆液,也可作为其他工程浆液的添加剂。例如以 PAM 有机大分子为主可以配制具有合适粘度等性能的无粘土钻井液,而 PAM 又可以作为泥浆的处理剂来附加使用。有机浆材作为护壁堵漏等凝固性工程作业的主剂和辅剂的用例也很多,如脲醛树脂等可以作为快速凝固堵漏的主浆液,木质素磺酸盐等用作水泥的减阻剂效果良好。

粒状料类是由微小或较小固体颗粒组成的群状体系,如粘土粉、水泥粉、重晶石粉、二硫化钼、砂、砾、核桃壳、棉籽核、赛璐珞等。这些固体颗粒的内部都是化学惰性的,而在颗粒表面有可能与外界发生表面物化反应(如粘土粉、水泥粉),也有可能与外界不发生任何反应(如砂砾、核桃壳、棉籽核等),一般称后者为典型的惰性材料。粒状料类在工程浆液中所起的作用视不同品种而大相径庭,有作分散体系、固结材料主成分的,也有作加重剂、润滑剂、惰性堵漏材料用的。

三、按物理性状分类

世间物质的基本状态有 3 种,即液态、气态和固态。少数情况下,工程浆液以单一的物质成分和物质状态出现:纯液态的如清水、化学溶液、油类等;纯气态的如空气、氮气、二氧化碳气体等;纯固态的如粘土粉、水泥粉、棉籽核、砂砾等。但是,大部分情况下工程浆液都是以两种或两种以上的混合物质或混合状态出现,即表现为分散体系。泥浆、泡沫、水泥浆、混凝土、乳状液等均是典型的分散体系。如果按两种物态混合,工程浆液可有液/固、液/液、液/气、固/液、固/气、固/固、气/液、气/固、气/气等类型。

若从压缩性考虑,工程浆液又可分为不可压缩和可压缩两大类型。一般含气体量较多的浆液在外界压力下体积会缩小,因此属于可压缩类型的工程浆液。可压缩浆液的比重较小,在一些低压地层等岩土工程场合需要用到。同时,可压缩工程浆液在流动中表现出来的性能参数却较为复杂。

一些工程浆液始终处在流体状态,它们流动性的由粘稠度反映;另一些浆液则可能在流动状态和胶塑性状态之间转变,当达到胶塑性状态时,其蠕变速度较为缓慢;还有一些浆液先从流体转变到塑性体,最终又从塑性体进一步转变为具有强度的固体。从流动和固结行为上考察,又能把工程浆液分为流体、流-塑体、流-固体三种类型。

第三节 国外工程浆液发展概况

钻井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”的有益作用,同时也发现其存在的问题,从而进一步改善和发展了钻井“泥浆”体系。

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钻井液、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、页岩分散,使它们成为胶体状态,保持胶体的稳定性。但细分散钻井液也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的。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 世纪 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,将一些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 世纪 20 年代就用原油作为洗井介质,但其流变性 & 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,近二十年来,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。

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将代替油基钻井液的说法。有学者将聚合物体系与油基钻井液从 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 & 防漏。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,有观点认为在十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钻井液、完井液,它具有良好的抑制性、润滑性和絮凝等作用。

含气体的可压缩钻井流体也是一大类钻井液体系。它包括空气或天然气、雾、泡沫 & 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 20 世纪 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,以后很连续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,即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。20 世纪 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 1 864 种增加到 2 606 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 & 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国外也有相当的发展。例如在美国,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。

岩土固结浆液是应注浆、锚杆等地基处理和边坡加固工程而产生的。近二百年以来,这些浆液的材料配方在法国、日本等国发展非常迅速。

最早的岩土固结浆材是石灰和粘土。1864年开始使用水泥。它们均是颗粒性材料,难于充填细小裂隙和充塞砂层。水泥浆液凝结时间长。1900年荷兰采矿工程师尤斯登发明了水玻璃-氯化钙溶液,这是化学注浆的开始。20世纪50年代,美国发明以丙烯酰胺为主剂的有机化学注浆材料AM-9,其凝固时间可准确控制。这是发展注浆材料的重要飞跃。

护壁固井和注浆材料从19世纪初的原始材料开始到当今的有机高分子化合物浆液,前后经历了一百七十多年的历史,发展了一百多种浆液材料。各种浆液各有特点及其适用范围。虽然化学浆液较之水泥浆液更理想,扩大了注浆法应用范围,但无论国内或国外,化学浆液都比水泥浆液成本高,货源少。所以,现在水泥仍然是注浆的主要材料。改进水泥性能,应致力于寻找新的水泥添加剂,研究出更好的水泥浆。英国GEOSEAL-Z型水泥添加剂,使水泥具有速凝、不沉淀、不收缩的作用。水泥浆中加入这种添加剂,使浆液产生奶油状粘性,水泥颗粒保持悬浮,无水析出,固结体强度均匀,体积不缩,保证饱满地充填裂隙。美国在水泥浆中加入一种高分子物质和某些金属盐作为添加剂,使水泥具有触变性,即在搅拌或泵注条件下,具有流动性,而当停止搅拌或泵注一段时间后,浆液粘度大幅度增加,变成不流动。

在混凝土发展方面,两千年前的古罗马人已用石灰、火山灰作混凝土建造了万神殿圆屋顶。现代的水泥混凝土起源于英国。以后,法国人制成钢筋混凝土和预应力锚具,奠定了预应力混凝土的基础。经过近二百年在建筑材料中的实践应用,混凝土的科学技术在理论上已成为一个独立的体系,在工艺上有许多创新和变革,地位也越来越重要,其范围从地上建筑到地下建筑,从海港码头发展到海上漂浮物等等,成为人类社会一种不可缺少的工程材料。

第四节 我国工程浆液发展简史

史料记载,公元前250年左右,秦蜀郡太守李冰开凿盐井时,已经采用向井内注水的方法来排除岩屑,这就是钻井液的最初使用。一直到20世纪初,清水作为钻井液伴随着钻井作业经历了漫长的岁月。

我国用泥浆作为钻井液始于1937年。在四川油矿勘探钻进巴1井时,使用井场附近田间的粘土,喷射水流使之分散成浆。当时对钻井液原材料的使用、配制及性能控制均很简单、粗糙。1941~1942年,为了防止井喷,玉门油矿从用铁矿粉到用重晶石粉等,成功地配制了密度为 1.80g/cm^3 的钻井液。与此同时,台湾油矿勘探处为了提高钻井液质量,寻找了当地出产的相思树皮和石榴树叶等作为原料,经煮液浓缩后作为钻井液的稀释剂;利用海草煮液,加入苛性钠皮为藻酸钠,用来调整钻井液粘度。

20世纪40年代,甘肃油矿在矿场工程设立了“泥浆”试验室,这是我国第一个“泥浆”研究机构,由工程师黄先驹负责。黄先驹自行配制了一套“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年采用丹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。

总体上看,我国解放前的钻井事业比较落后,在钻井液方面,只是从“黄泥加水”的自然泥浆发展为使用丹宁碱液等少量添加剂处理泥浆。泥浆性能测试仪器也十分简陋。

我国自解放后至 60 年代中期,是社会主义建设的开始时期,随着经济建设的大规模进行,钻井事业有了很大的发展,与之相应的钻井液技术也有了较大发展,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,石膏层及其他可溶性盐类地层,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。这样,泥浆类型就由细分散泥浆发展到粗分散抑制泥浆。与此同时,我国开始研究深井泥浆,泥浆处理剂特别是有机处理剂出现了多种产品,如煤碱剂、野生植物制剂等。1962 年前后,制成羧甲基纤维素(CMC),1965 年后研制成铁铬木质素磺酸盐(FCLS)等。泥浆性能测试已经有成套的仿苏式仪器供应。

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,应用经验也越来越丰富,在几个地区相继钻成了若干口超深井,成功地发展和推广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,创造了符合本地区特点的钻井液,如使用野生植物作为钻井液处理剂来配制钻井粉,以及使用褐煤氯化钾钻井液、褐煤石膏钻井液等。

70 年代中期到 80 年代中期,钻井技术和钻井液工艺在对外开放、吸收世界先进技术的政策鼓舞下有了较快的发展。此期间推广了聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆;研制了包括抗高温处理剂、生物聚合物处理剂、油包水乳化加重钻井液以及抑制性强、流变性好、性能稳定的防塌体系在内的多种新型处理剂。这样,钻井液在减阻润滑、护壁堵漏、提高钻速、排渣净化和增强自身稳定性方面发挥出更强的功能。至 1985 年,钻井液处理剂已达到 16 类 114 种。同时,在钻井液技术管理方面逐步实现标准化、规范化,更新了全部泥浆性能测试仪器,推广了固相控制设备。

80 年代末 90 年代以来,我国钻井液技术又有了较大的发展。泡沫、充气泥浆等低密度钻井液研究成功并得到推广,克服了低压地层、缺水地区钻进的困难;两性离子型聚合物钻井液、阳离子聚合物钻井液、钾盐钻井液、钾石灰钻井液的应用有效地解决了一些地区井壁失稳的老大难问题;聚合物磺化钻井液等的应用,改善了高温高压条件下钻井液的性能,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;钻井液的流变模式,钻井液在大、小口径钻孔中的循环行为研究在不断深入;泥浆在循环过程中的各种性能参数的自动检测系统和电子计算机智能专家系统已开始试用于钻井液的控制;水平井钻井液技术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、钻井液润滑性及防卡等取得了系统的研究成果,日趋成熟;泥浆净化、固相控制工作受到重视,许多钻机配备了振动筛、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,钻井液含砂量明显降低;为解决泥浆护壁堵漏与提高油、气、水生产地层渗透率这一突出矛盾,在暂堵剂研究的基础上,运用生物技术研制出的一种具有暂堵特性的钻井液在我国最新问世。

我国在水泥与化学浆液护井方面,二十多年来取得了明显的技术进步。为了克服水泥浆凝固时间长、早期强度低、可灌性差、成功率低等缺点,人们从各方面进行了探索。其一是研制改