

第一章 绪论

本章在大量文献调研的基础上，对钻井液设计及其相关问题进行了介绍，指出了目前在钻井液设计方面存在的问题，提出了本文的研究内容。

1.1 问题提出的背景和意义

我国在钻掘工程领域通过几十年的积累，在技术方法、工程设备及机具、施工管理等方面都取得很大进步，为本领域今后的技术进步提供了很好的基础。随着我国加入 WTO，必然要求工程项目从设计到施工管理实现规范化，与国际接轨。但是，目前我国钻掘工程项目的运作离此要求尚有一定差距，尤其在设计规范化、计算机化和管理现代化及资源共享等方面尚处于较初级的阶段。因此，为钻掘工程项目的规范化设计与管理提供一个科学的支持平台，为实现钻掘工程技术资料的共享创造条件，为提高我国在钻掘工程领域的国际竞争力，进行钻掘工程软件包项目的研究是十分必要的。

在地质勘察钻探、石油天然气钻井、地下水资源钻采、矿山钻掘工程和工程地质勘察中，向地层钻进是这些领域经常从事的工作，而钻井液技术又是钻进工作的重要环节。在钻井情况千差万别和地质条件复杂多变的时候，钻井液技术是钻进工作安全顺利进行的保证。在钻井工程中，钻井液是钻井的“血液”，钻井液设计是钻井设计中的最重要的环节之一，是钻井生产施工的准则和指导书之一，钻井液设计水准的高低关系钻井施工的成败。高水准的钻井液设计能有效的指导现场施工，减少或避免井内事故的发生，提高钻井效率，从而缩短钻井周期，降低钻井(综合)成本。在石油钻井中，合理的设计将减轻油气层污染，有利于发现油气层和提高油井储层的产能。相反，低质量的钻井液设计将很难确保安全快速生产，更谈不上保护油气层。为此，应该引起足够的重视，搞好钻井液设计。

目前，国内进行钻井液设计，一般由少数钻井液技术人员负责，手工设计，没有专门的权威设计组，不按统一的规范进行。由此存在的问题是：

1. 设计因人而异，设计水平难以保证；
2. 设计书不规范，不能与国际惯例接轨；
3. 设计周期长，因为资料收集停留于文字形势，查询效率低下。

随着探矿工程、钻井工程技术的进步和发展，在钻井液设计方面，已经积累了大量经验和例证，形成了一笔较为宝贵的资料财富。如何充分利用这些资料，实现资源共享；优化资源配置，避免重复劳动；促进开发研究，节约生产成本，高效的确定钻井液的设计方案是当今探矿工程界和钻井工程界面临着的一项基础性工作，引起了有关专家和管理人员的高度重视。

为了收集、推行钻井液专家积累的丰富钻井液知识，培养指导新一代钻井液技术人员，提高经济效益，促进钻井液技术进步，加速国土资源的地质普查工作，本专题的攻关目标与任务是：把计算机作为主要工具引入钻井液工程设计与管理中，全面应用钻井液专家知识经验和计算技术科学，把钻井液设计水平提高到一个新境界，提高设计速度与质量，实现钻井液设计的智能化，在计算机的控制与管理之下，实现钻井液数据管理、钻井液配方设计、钻井液信息查询及结果输出全程自动化，并将研究成果应用于钻探和钻井工程中，以取得良好的社会效益。

随着生产的发展，各种数据库堆积如山，既不利于保护和管理，也不利于有效使用，无法实现在更大范围内的信息共享。因此，建立在高起点、高要求、高技术平台上的钻井液数据库研究和钻井液优化设计就显得十分必要了，这也符合国土资源部关于“数字国土”规划的总体要求。因此，本研究将有助于实现：

1. 广大钻探工作者在钻井液设计方面积累的宝贵经验将得到继承和发扬，钻井液的优秀设计理念得以推广，钻井液的设计工作将有更多可供参考的规则。
2. 对钻井液配方等资料的管理实现了数字化，提高了这些信息被利用的效率，也促进了钻井液分类标准及规范化工作的进行。
3. 通过计算机技术，改进了钻井液工艺培训的工作方法，为没有经验的钻井液工作者提供了一个了解专业知识的平台。
4. 将数据库技术、计算机人工智能和钻井液工艺设计相结合，推进计算机技术在钻井液工艺中的应用。

1.2 钻井液优化设计的研究现状与趋势

钻井洗井是钻井工程三大基本工序之一。钻井液的主要功用是携带钻屑，保持孔底干净；冷却钻头，润滑钻具；维护孔壁等。众所周知，钻探冲洗技术的设计必须以地质设计和工程设计为依据。整个钻井液的设计是一个跨学科的、复杂的系统

工程，要搞好冲洗介质的设计必须遵循设计原则，并且需要设计人员具有丰富的基础知识和实践经验。随着计算机技术的发展，国内外开发研制了许多钻井工程应用软件，取得了较大的经济和社会效益。

在国外，计算机在钻井工程中的应用已相当普及，主要可归纳为四个方面：数据信息管理、计算机控制钻井、钻井 CAD、专家系统。其中又以计算机数据信息管理发展得最为完善，并发挥着巨大作用。从行业来看，油气田钻井开发中应用计算机技术最为先进和普及，如世界著名的两大国际级钻井数据库美国的“石油数据系统（PDS）”和“井史控制系统（WHCS）”在全美的油气开发中有着不可替代的地位；Drill-Right 公司开发的 DES 软件包可用于钻井设计和分析；NLBapoid 公司与 Capnegie-Mellon 大学联合开发的 MUDMAN 和 IMCO 公司开发的 MUDSYS 在解决钻井泥浆设计和优选方面有较好的使用效果。

目前，国内利用了计算机辅助设计，进行了很多专家系统和钻井液现场服务系统开发的尝试性工作，油田开发的软件有胜利油田钻井液专家系统、中原油田钻井液专家系统、长庆油田的石油钻井工程设计系统软件等；一些高校和软件公司也进行了这方面的努力，如成都理工学院开发的地质调查钻探泥浆数据库系统、北京侏罗纪软件股份有限公司开发了石油钻井液数据管理系统等。但是，在钻井液设计方面还没有产品得到了广泛的应用和推广，因此继承已有的研究成果，开拓创新，开发出一个可以辅助钻井液专家进行钻井液优化设计的软件，是一件十分有意义的事情。

计算机在工程领域中的应用已相当普及，尤其是近十年来计算机技术本身突飞猛进，带动整个钻探工程的计算机应用软件层出不穷。在油气钻井工程中计算机设计与管理软件也相当成熟，这为本项目的开展提供了很好的借鉴。将计算机智能系统引入到钻井液的设计中来，提高工作效率，已成为钻探工程界的共识。

1.3 钻井液优化设计的研究内容

钻井液的设计必须以地质设计和工程地质设计为依据。整个钻井液的设计是一个跨学科的、复杂的系统工程，它涉及到石油地质学、岩矿学、岩石力学、有机化学、无机化学、胶体化学、界面化学、高分子化学、物理化学、流体化学和热力化学等多学科的知识，同时也涉及到石油工程其它技术领域。

迄今为止，不存在任何情况下均适用的、万能的钻井液。因此，必须根据井的类别和地质、油层等情况，再综合考虑各方面因素之后，对一口井所使用的钻井液体系分段进行合理的选择。

在进行钻井液设计时，经验是很重要的，特别是邻井使用钻井液的经验更值得借鉴。

钻井液优化设计系统主要考虑以下几个问题：

1. 研究钻井液体系的类型和适用地层：根据国内外钻井液体系分类的不同标准，将钻井液类型进行合理分类，收集各类钻井液体系的典型配方、性能、适用地层及钻井液维护与处理的方法，并用数据库的形式进行管理，为设计人员提供很好的参考信息。

2. 充分利用已有的钻井液设计资料，广泛收集钻井工程钻井液设计实例，针对各油田不同区块，不同地层岩性，不同钻井要求，建立钻井工程钻井液设计范例库；利用范例推理技术和钻井液设计范例库，建立基于范例推理的钻井液优化设计系统，为设计人员提供适用的、先进的钻井液技术，提高钻井液设计的效率和质量。总结钻井液设计工作在固相控制、井下复杂情况处理等方面取得的成就，为设计人员修改范例提供参考性意见。

3. 总结几十年来钻探工作者的宝贵经验，吸收专家们的智慧，形成一套科学合理的钻井液设计理论，并以计算机为主要工具，全面应用这些经验知识，开发出基于范例推理的钻井液优化设计系统和基于专家规则的钻井液优化设计系统。

4. 为没有经验的钻井液工作者提供一个比较好的学习机会，全面的介绍钻井液的基本理论知识。

目前，钻井液技术在石油钻井方面的研究与应用最为成熟和完善，各大油田根据自身特点，都有满足本油田地层特征的钻井液体系，在钻井液设计方面积累了丰富的经验。本项目通过现场调研、查阅书籍、期刊杂志与专家交流等多种形式收集整理这些经验，建立了钻井液优化设计系统。该系统由下列内容组成：

1. 综合各油田的钻井液技术，针对不同区块，不同地层岩性，不同井别，建立钻井液的范例库；将各种复杂地层进行科学划分，总结出各类地层可能出现的井下事故，及应对该类地层常用的钻井液体系，建立基于实践经验的专家知识规则库。

2. 研究基于范例推理技术和基于规则推理在钻井液设计中的应用特性。

3. 利用基于范例推理技术和钻井液范例库，建立基于范例推理的钻井液优化设计系统；利用基于规则推理技术和钻井液专家们的知识经验建立基于规则推理的钻井液优化设计系统。最后，输出标准的钻井液设计书。

4. 范例库和钻井液配方库为后台数据库的数据查询和数据管理系统，该系统可以对数据进行查询、修改、添加和删除，并将查询结果打印出来。

5. 研究收集钻井液知识，以电子文档的形式介绍钻井液工艺学，以便进行查询和学习；提供钻井液设计的辅助计算系统；最后按统一格式以 Word 文档的格式形成钻井液设计书，这样减轻了设计工作量，实现钻井液设计规范化和标准化。

第二章 钻井液的设计工艺原理与专家规则简介

本章介绍了钻井液设计所遵循的一般原则、钻井液设计的工艺流程及其经验规则。重点介绍了基于规则推理的钻井液优化设计系统所用到的专家规则,包括钻井液密度设计、钻井液性能设计、钻井液维护与处理和井下复杂情况的处理等知识。

2.1 钻井液设计原理简介

迄今为止,不存在任何情况下均适用的、万能的钻井液。因此,必须根据井的类别和地质、油层等情况,再综合考虑各方面因素之后,对一口井所使用的钻井液体系分段进行合理的选择。在所选体系应用于现场之前,应首先进行大量的室内实验,以充分验证其实用性和可行性。在进行钻井液设计时,经验是很重要的,特别是邻井使用钻井液的经验更值得借鉴。

在选择钻井液时,主要应考虑以下各种因素^[1]: (1) 井下安全; (2) 是否钻遇岩盐、石膏层; (3) 井下温度和压力; (4) 环境保护; (5) 井漏; (6) 页岩稳定性; (7) 井眼轨迹; (8) 压差卡钻; (9) 储层损害; (10) 测井要求; (11) 钻井液成本。正确的做法是,在充分考虑前面 10 个因素的基础上,最后考虑如何节约钻井液成本。情况越复杂的井,考虑的因素越多,对钻井液的要求也越高。

2.1.1 钻井液设计原则总结

一、根据井别进行选择

这里所指的井别,主要是指那些对钻井液有特殊要求的井^[2]。

1. 超深井 这里一般指深度超过 5000m 以上的井,其特点主要是高温、高压。因此对钻井液提出热稳定性好,在高压差下泥饼压缩性好的要求。

2. 定向斜井(包括水平井) 该类井的特点是井眼倾斜,甚至与地面平行,在钻进过程中钻具与井壁的接触面积大,摩阻高,故对钻井液提出低泥饼摩阻系数和能够有效携岩的要求。故对此类井,应选用各种性能良好的水基钻井液或油基钻井液,而且必须考虑严格控制滤失量和提高泥饼质量。

3. 调整井(包括超高压井) 该类井的主要特点是地层压力异常高,所要求的钻井液密度也相应较高。因此,一般选用分散型钻井液体系,因为它具有更大的固