



石油高职高专规划教材

钻井工程

周金葵 李效新 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职高专规划教材

钻井工程

周金葵 李效新 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了钻进工具、钻进参数优选、井眼轨迹监测及控制、油气井压力控制、固井与完井技术、特殊钻井工艺技术、钻井事故处理和预防、钻井 HSE 管理体系等方面的基础知识和钻井工程设计方面的内容。

本书为石油高职高专钻井技术专业、石油工程专业和油气开采技术专业的教学用书，也可以作为钻井高级工、钻井技师及有关人员的教学用书和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

钻井工程/周金葵, 李效新主编.
北京: 石油工业出版社, 2007. 6
石油高职高专规划教材
ISBN 978-7-5021-6033-3

- I. 钻…
- II. ①周… ②李…
- III. 油气钻井 - 高等学校: 技术学校 - 教材
- IV. TE242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 050954 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.cn
发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店
印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 17
字数: 434 千字 印数: 1—3000 册

定价: 26.00 元
(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)
版权所有, 翻印必究

前 言

2005年10月,石油工业出版社组织8所石油高职院校从事钻井工程教学的教师,在大庆职业学院讨论并确定了高职高专钻井工程教学大纲,本书就是依据该大纲编写的。全书共分为9章,其中前8章是必讲内容,第九章钻井工程设计作为选讲内容。

本书侧重高技能人才必须掌握的石油钻井工程基本理论和基本知识,整合了部分教学内容,增加了钻井HSE管理体系。针对高等职业教育是培养具有一定专业理论知识的高技能人才这一目标,考虑石油钻井行业的特殊性,专业实践操作技能必须在现场通过顶岗实习获得,所以本书必须和《钻井工程实训指导》配合使用。

本书由周金葵、李效新担任主编;马继振、韩永辉、刘桂和担任副主编。

本书由大庆职业学院周金葵编写绪论,天津工程职业技术学院刘桂和编写第一章,克拉玛依职业技术学院马继振编写第二章,渤海石油职业学院王清江、王丽编写第三章,天津石油职业技术学院韩永辉、华北石油管理局第二综合技能鉴定站耿国清编写第四章,辽河石油职业技术学院韩书红、王正东编写第五章,大庆职业学院郭伟编写第六章,松原职业技术学院姚天野、秦兵编写第七章,姚天野编写第八章,山东胜利职业学院李效新编写第九章。本书由大庆石油管理局邹野主审。

由于编者水平有限,书中缺点和不足之处望读者提出宝贵意见。

编 者

2006年12月

目 录

绪论	(1)
第一章 钻进工具	(11)
第一节 岩石的机械性质	(11)
第二节 钻头	(16)
第三节 钻柱	(35)
第二章 钻进参数优选	(51)
第一节 钻进参数优选	(51)
第二节 水力参数优化设计	(57)
第三章 井眼轨迹监测及控制	(77)
第一节 井眼轨迹的基本概念	(77)
第二节 井眼轨迹的监测及计算	(82)
第三节 直井钻井技术	(90)
第四节 定向井钻井技术	(97)
第五节 水平井钻井工艺技术简介	(113)
第四章 油气井压力控制	(117)
第一节 井下各种压力及压力系统平衡	(117)
第二节 地层压力预测方法	(122)
第三节 溢流及关井	(128)
第四节 压井	(137)
第五章 固井与完井技术	(149)
第一节 井身结构设计	(149)
第二节 套管及套管柱	(153)
第三节 油井水泥	(159)
第四节 下套管和注水泥	(162)
第五节 提高固井质量的措施	(165)
第六节 特殊固井技术	(168)
第七节 完井技术	(172)
第六章 特殊钻井工艺技术	(175)
第一节 取心钻井	(175)
第二节 侧钻技术	(183)
第三节 深井和超深井钻井技术	(189)
第四节 欠平衡钻井技术	(196)
第七章 钻井事故处理和预防	(203)
第一节 井漏	(203)
第二节 卡钻	(207)

第三节 钻具事故与落物事故	(215)
第八章 钻井 HSE 管理体系	(222)
第一节 HSE 管理体系概述	(222)
第二节 钻井 HSE 管理体系	(224)
第三节 钻井作业 HSE 管理体系文件	(228)
第九章 钻井工程设计	(237)
第一节 钻井工程设计的主要内容	(237)
第二节 钻柱与下部钻具组合设计	(241)
第三节 钻进参数设计	(248)
第四节 固井工程设计	(255)
第五节 定向井井眼轨道设计	(261)
参考文献	(266)

绪 论

一、国家石油安全与油气钻井

能源是经济社会发展和提高人民生活水平的重要物质基础。能源安全关系国家的经济命脉和民生大计。石油是重要的战略能源和化工原料，事关国家经济、军事安全和国民经济发展。

在世界能源结构中，石油占 42%，天然气占 24%，煤炭占 28%，核能占 6%。在我国的能源消费结构中，石油占 28.6%，煤炭占 59%，天然气占 3.8%，水电占 5.4%，其他占 3.2%。我国的能源消费结构也将逐渐向世界平均水平靠拢，油气所占比例会越来越高。据专家预测，到 2020 年，中国石油消费量将达 $4.5 \times 10^8 \sim 6.1 \times 10^8$ t，而国内供应量却只有 $1.8 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8$ t，缺口达 $2.7 \times 10^8 \sim 4.1 \times 10^8$ t。因此，必须站在战略高度考虑石油问题。依靠我国丰富的油气远景储量，提高自身的原油供应能力，努力减少对原油进口的依赖，避免国际油价大幅度变化对我国经济发展造成的冲击，保证经济发展的稳定与安全是我国今后较长一段时期内的能源发展战略。

油气钻井是油气勘探与油气开发的主要手段。直观了解地下情况、证实已探明的油气储量以及把地下的石油和天然气开采出来，都要通过钻井来实现。钻井工程质量的优劣和钻井速度的快慢，直接关系到钻井成本的高低、油气勘探开发的综合经济效益及石油工业的发展速度。因此，钻井被人们誉为“石油工业的火车头”。为实施“保障未来油气供应”战略措施，就要加大油气勘探和开发的钻井工作量和促进钻井技术进步。到目前为止，美国钻井数量已达到 190 万口，而我国才有 23 万口，相差 8 倍。2005 年，美国钻井 4.6 万口，我国钻井工作量也超过了 2 万口，以后还将有较大增长。

二、油气钻井的发展

1. 世界石油钻井技术的发展

旋转钻井的发展可分为初期阶段、发展阶段、科学化钻井 3 个阶段。1900—1920 年为初期阶段，1920—1950 年为发展阶段，1950 年至今为科学化钻井阶段。科学化钻井阶段又可分为前期阶段和后期阶段（现代钻井阶段）。

前期阶段（1950—1980 年）出现了 9 项单项技术：

①喷射钻井技术；②优选参数钻井技术；③平衡压力钻井技术；④保护油气层技术；⑤深井钻井技术；⑥丛式钻井技术；⑦高效钻井技术；⑧井控技术；⑨洗井液技术。

后期阶段主要有 3 项大成果：

①实现了井下信息实时检测、传输、处理和分析。该项成果使用随钻测量（MWD）、随钻测井（LWD）、随钻地震（SWD）、随钻井下钻井动态数据实时检测和处理技术（DDS）、地质导向技术（GST）及随钻地层评价（FEWD）等随钻测量技术，对地层参数、钻井参数、井眼参数进行实时检测、传输、处理和分析。

②开发了井下导向和井下闭环钻井系统。

③发展了新钻井技术（水平井钻井技术、多分支井钻井技术、欠平衡压力钻井技术），在此基础上发展了新的小井眼钻井技术和连续油管钻井技术。

2. 新中国石油钻井的发展

我国是世界上最早发现、开采和利用石油和天然气的国家，至少有二千多年历史。然而，由于种种历史原因，我国的石油钻井技术未能得到持续发展。新中国成立后，石油工业得到政府高度重视，石油工作者坚持独立自主、自力更生精神，在艰苦创业中形成了一支以“铁人”王进喜为代表的石油钻井队伍。

回顾新中国石油钻井事业，经历了组建、发展和提高三个时期。

1) 组建时期（1949—1958年）

1949年，中国只有甘肃玉门老君庙油田凿井部一个钻井机构，全国原油产量只有 $12 \times 10^4 \text{t}$ ，1950年召开第一次全国石油会议后，开始调配人力、设备和物资，组建钻井机构。到1957年，共有钻井队205个，钻机319台。与1949年相比，钻井口数由9口增加到622口，钻井进尺由5000m上升到 $52.9 \times 10^4 \text{m}$ 。这期间相继发现了克拉玛依、冷湖等油田和川南一批气田，石油工业有了显著发展，但还没有根本改变进口石油的局面。

2) 发展时期（1959—1977年）

1958年后，随着石油勘探的重点由西向东战略转移，整个钻井形势发生了很大变化。从1958—1977年的20年间，钻井队伍经过几次大的组建和补充，不断发展壮大。钻井队由205个扩大到570个，钻机由319台增加到942台。这支队伍先后参加了玉门、四川、大庆、胜利、大港、江汉、辽河、吉林、长庆、河南、华北、中原等地区的石油会战。每经过一次大的石油会战，队伍便得到新的发展，作风得到新的锻炼，技术得到新的进步。1971年，大庆油田1205钻井队使用改进后的刮刀钻头，创造了中型钻机年进尺 $12.7 \times 10^4 \text{m}$ 的新纪录；胜利油田使用聚金刚石喷射式刮刀钻头，创出一只钻头最高进尺3135m的好成绩。1976年，大庆油田原油产量突破 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 。到1977年，全国累计完成定向井119口，井深4000m以上的井31口。

3) 进入现代化钻井的新阶段（1978年以后）

1978年，我国石油钻井进入现代化钻井新阶段。现代化钻井技术是从推广喷射钻井开始，喷射钻井技术的发展使地层压力预测与监测、平衡压力钻井与井控技术、优选参数钻井技术、钻井液与油气层保护技术、计算机在钻井中的应用技术等相继发展起来。

从20世纪90年代开始，定向丛式井和水平井技术得到长足发展。胜利油田钻成包括42口井的丛式井组。大港油田形成了平台优选、丛式井设计、防碰扫描、综合施工服务等成熟完备的丛式井工艺技术。一个平台最多21口井，最深的丛式井组平均井深5280.5m，最浅的丛式井组平均井深419m。

水平井钻井技术在整装油田开发、薄油藏、块状底水油藏、特低渗透油藏、老油田剩余油挖潜及相关领域获得广泛应用与大面积的推广，其应用技术与欠平衡、分支井钻井技术的集约化与集成化，应用领域向深部地层拓展，大大提高了油气井产量和油藏最终采收率，大幅度地降低了原油生产成本。新疆塔里木油田从1994年开始用水平井开发4个整装油田，共钻水平井134口，取得了良好的经济效益。2002年12月，大庆油田一口水平井钻井时成功穿越2个油层，创造了我国水平钻井在1m左右的薄油层内穿行613.7m的纪录。

新疆钻井研究院定向井公司于1998年9月在小拐油田钻成了我国第一口双分支试验

井。2004年5月下旬,胜利油田钻井工程技术公司巴州钻井技术分公司,创出了我国分支水平井5239.88m的纪录,第一分支造斜点井深4250m,完钻斜深5234.55m,水平位移754.49m;第二分支造斜点井深4090m,完钻斜深5239.88m,水平位移700m。

我国水平井钻井技术近年来发展较快,水平井数量增多。水平井轨道控制技术比较成熟,但水平井井控技术、水平井井壁稳定技术、水平井完井技术、水平井携带岩屑技术(岩屑床问题)、水平井压裂技术等还有许多工作要做。另外,我国目前所钻水平井基本为单一水平井和双台阶水平井,而分支水平井和多分支水平井尚未广泛应用,影响了水平井的经济效益。

复杂地质条件下深井、超深井钻井技术处于世界先进行列。新疆油田在准噶尔盆地、塔西南山前构造带及塔里木地区以研究地层压力预测、井壁稳定为基础,设计合理的井身结构和钻井体系,提高了钻井速度和固井质量,降低了钻井成本,形成了一套适合复杂地质条件的深井、超深井钻井技术。塔深1井是中国石油化工集团公司(简称中石化)西北分公司部署在塔里木盆地的一口预探井。该井于2005年4月6日开钻,2006年7月27日完钻,钻探用时474天;设计井深8000m,完钻井深8408m,是目前中国国内最深的探井。塔深1井的顺利完钻不仅标志着我国石油天然气超深井钻探工程技术已处于世界钻井行业的先进水平,同时还创下了7项亚洲纪录:一是 $10\frac{3}{4}$ in(273.05mm)无节箍套管下入深度5481m及固井创亚洲第一纪录;二是 $9\frac{1}{2}$ in(241.3mm)钻头钻深6800m的亚洲第一纪录;三是 $8\frac{1}{8}$ in(206.38mm)套管下入深度6800m及固井创亚洲纪录;四是完钻8408m,创亚洲第一深井纪录;五是取心深度达8408m,工具工艺技术创亚洲纪录;六是5in(127mm)套管下入深度8405m及固井创亚洲之最;七是首次使用涡轮钻达8400m井深创亚洲纪录。

欠平衡钻井技术近年来有较大发展,四川石油管理局和西南油田分公司应用了全过程欠平衡钻井技术,但目前井内压力理论计算还达不到钻井技术需要的精度范围。

应该看到,我国石油钻井技术和美国等发达国家相比,还有一定的差距。

三、油气井的分类

按目的不同,油气井可以分为探井、生产井和注水井等。

1. 探井

探井——为了探明经过地球物理勘探证实有希望的地质构造的地下情况,寻找油气田而钻的井。探井一般有4大类。

①参数井:了解一个地区(盆地或凹陷)生油岩和储集岩存在和分布情况的井。

②预探井:了解一个圈闭中是否含有油气和储集岩分布情况的井。

③评价井:在预探井发现含油气储集层后,为探明这个圈闭(油气藏)含油气面积和地质储量所钻的井。

④资料井:为获得油气藏油层参数,使用特殊工具钻取岩心进行检测与分析所钻的井。

2. 生产井

生产井——用来采出油气而钻的井。根据开发方案,生产井可分为:

①开发井:油田开发初期布置的第一批用来采出油气的井。

②调整井:在原有井网基础上,为改善油田开发效果,而补充钻的一些零散井或成批成排的加密井。

3. 注水井

注水井——用来向油层内注水的井。根据注水方式，可分为：

- ①正注井：从油管向地层注水的井。
- ②反注井：从套管向地层注水的井。

4. 其他

其他井包括：

- ①更新井——为了注采系统完善，需要钻的新井。
- ②观察井——专门用来观察油田地下动态的井。
- ③检查井——为了检查油层开发效果而钻的井。

四、油气钻井的基本过程

油气钻井是一个多学科、多专业、多工种、技术性很强的施工过程。钻一口井包括钻前工程、钻进工程和完井工程 3 个阶段。

1. 钻前工程

钻前工程是为钻井作业施工所进行的生产技术准备工作，包括钻井设计，测定井位，平整井场，道路施工，打混凝土基础，钻井设备检修，搬迁及安装，敷设水、电、通信线路和安装保温或降温设施等。

2. 钻进工程

钻进工程是钻井的基本施工过程，深井施工时要分多次钻进。钻井时要按工程设计组合钻具，配制钻井液，选择钻井参数。实施钻井施工时，由司钻、副司钻、井架工、内钳工、外钳工、场土工等岗位协作来完成钻进、起下钻、接卸钻杆单根、循环钻井液、取心等具体作业。

3. 完井工程

完井工程是钻井施工的最后阶段，由完井电测、井壁取心、下套管、注水泥、射孔和试油等环节组成。完井工程由钻井队人员和专业队伍交叉进行，共同完成。

钻成一口井的工艺主要包括：选用高效率的钻头和最优的钻井技术参数，以获得理想的钻进速度和最低成本，有效地控制井眼倾斜和方位，合理地控制地层压力，实现平衡压力钻井，加固井壁和保护好油气层，形成油气流的通道等工艺。

五、油气钻井作业岗位及其职责

1. 岗位专责制

岗位专责制是按生产工艺流程、工作场所、设备特点及工作量大小合理划分工作岗位和每个人所担负的任务及责任。

1) 值班干部专责

①全面负责当班生产、工程质量、现场管理各项制度、技术措施的全面贯彻执行，确保安全生产，文明施工，优质、高效地完成生产任务。

②参加当班的班前班后会。除按本岗项点严格检查外，还要监督各岗位的检查、整改和交接班工作，并根据交接情况进行重点检查，发现问题及时安排整改。

③严格按照 HSE 和 ISO 9002 质量管理体系管理要求，重点检查刹车系统、悬吊系统、钻井液循环系统、井控装置、供电系统、防火等要害部位，发现问题及时安排整改。

- ④积极参与配合搞好现场科学试验和技术攻关项目。
- ⑤审查当班各种报表和资料，对当班各岗位工作情况写出评语并签字。
- ⑥按时向上级汇报工作，遇有重大问题及时请示，并严格按上级指示负责处理工作。

2) 专职 HSE 监督职责

①按照上级有关 HSE 方面的法律、法规、标准和要求，依据本单位 HSE、质量、设备、技术等方面的管理规定，负责本队施工全过程的 HSE 工作。

②负责组织施工作业前的安全分析工作，组织制定安全预防措施，向各班下达安全作业指令，并监督执行。

③负责本队一体化管理体系运行工作，编制施工项目作业计划书，会同队长、书记搞好 HSE 周检查工作。

④负责本队一体化资料的管理和 HSE 设施的使用管理。

⑤负责对本队施工人员进行 HSE 知识培训及进入施工现场的外来人员入场教育。

⑥对施工过程中存在的问题和安全隐患，负责监督整改，做到及时、彻底。

⑦按照一体化管理体系文件的要求，按时组织岗位员工进行应急预案的演练。

3) 司钻专责

①负责组织本班生产，严格执行各项操作规程、管理制度、技术措施以及 HSE 有关标准要求，做到文明施工，保证安全、优质、高效地完成生产任务。

②严格按本岗检查项点逐项、逐点检查交接，不放过一个问题，不漏掉一个隐患。

③负责司钻控制台、刹把的操作，严格按生产操作规程、钻井工程质量技术措施和标准化操作要求进行施工，确保井身质量和安全生产。

④检查井控设备，确保灵活好用，按时组织防喷演习。

⑤审查本班各种报表、资料并签字。

⑥主持召开班前班后会。严格执行交接班制度，对接班人员提出的问题要认真组织整改，坚持开展班后会讲评。

⑦组织好本班岗位人员为下班生产做好准备工作。

4) 副司钻专责

①协助司钻做好本班安全生产和现场管理工作。司钻不在时顶替司钻岗位工作。

②负责钻井泵、钻井液高压管汇、封井器、放喷管线、节流管汇、压井管汇、井控房、泵房工具的管理和使用。

③认真填写钻井泵运转记录，并负责井控设备的维护保养，填写井控设备活动记录。

④负责及时向井内灌注钻井液。

5) 井架工专责

①井架工是本班安全员，负责本班安全生产监察工作。坚持班前安全讲评，搞好本班安全生产。副司钻不在时顶替副司钻岗位工作。

②在正副司钻的领导下，开好每周的安全活动会，并做好记录。

③负责井架固定、井架绷绳、提升系统、悬吊系统、各类绳索的维护保养工作及防碰天车、气动绞车、上扣器、吊环、提升短节、防喷接头、方钻杆旋塞及工具的使用和管理。

④负责起下钻时二层平台的操作，平时协助副司钻做好泵房工作。

⑤正常钻进时负责观察井口，并带领钻工搞好井场辅助工作，使清洁卫生规格化。

⑥负责消防设施的检查和管理。

6) 内钳工专责

①负责操作液压大钳或内钳。钻进时在钻台做好接单根准备工作，巡回检查设备，搞好钻台清洁。起下钻时负责观察井口、检查钻具和上提单根数。井架工不在时顶替井架工岗位工作。

②负责检查管理转盘、绞车传动设备、辅助刹车和钻台设备的各类护罩，按时保养、扭紧，并做好清洁卫生工作，按时填写钻台设备运转记录。

③负责井口工具和井口小型机械的保养、检查和管理，达到齐全、清洁、定位摆放。

7) 外钳工专责

①负责协助内钳工操作液压大钳或外钳，配合内钳工操作小型机具。起下钻时负责观察井口，协助司钻观察指重表，内钳工不在时顶替内钳工岗位工作。

②负责井架底座、钻杆盒、转盘盒、大门坡道的检查、固定、扭紧和清洁卫生工作。

③负责钻台手工具检查管理和定位摆放，使用管理好螺纹脂和各种密封脂。

④负责底座支架、梯子栏杆的清洁卫生，并保持扭紧、完好，以及水、气、液压管线的管理使用。

8) 场地工专责

①场地工负责丈量方入，填写好工程报表、交接班记录，做到齐全、准确、清洁。外钳工不在时顶替外钳工岗位工作。

②负责管理好值班房图表用具、场地用具、材料房、材料爬犁、废料堆，做到齐全、清洁、定位摆放。

③负责起下钻拉钩子，清洗钻具螺纹，检查钻具水眼和钻具上、下钻台带护丝摘挂绳套工作。

④负责清理井口，保证井口达到规定标准。

9) 泥浆工专责

①根据钻井液处理方案，做好当班钻井液的管理和正常维护工作，达到性能稳定，符合设计要求。

②按规定使用、保养好固控设备及各种钻井液仪器，取全、取准各项钻井液资料，填写钻井液记录。

③做好固控设备、化验房、药品房、材料爬犁（房）的卫生规格化工作，负责加重设备、重晶石粉的管理使用，按规定启动振动筛、除砂器、除泥器、除气器、搅拌器等固控设备，做好钻井液的净化工作，并清除积砂。

④做好水井管理和井场的环保工作。负责钻井液的回收及污水排放达到环保要求，做到不污染农田及草原。

10) 大班司钻专责

①大班司钻是钻台设备管理、操作技术的负责人。负责钻井工程操作技术的指导和钻台、泵房设备、电焊机的管理和使用，指导和监督与钻井工程和设备操作有关的措施、制度的贯彻执行。

②严格按本岗巡回项点认真进行检查。

③负责组织钻台、泵房设备的搬家、安装、校正和试运转工作。消除设备的脏、松、漏、缺，为小班工作创造条件。

④参加并组织钻台班工人做好三大检查工作（开钻、打开油层、完井），并负责汇总上

报。平时指导和协助小班做好设备维护、保养和设备部件的更换工作。

⑤负责审查钻台、泵房设备运转记录资料及严重机械事故的调查分析和填报工作。

⑥编制所管设备换修及维修计划，并根据各种设备配件材料的使用情况，做好领取计划。

⑦定期上好技术课，搞好岗位练兵和技术培训工作。

⑧负责送井设备的质量验收。

11) 大班泥浆工专责

①大班泥浆工是钻井液管理的技术负责人，也是工程质量负责人之一，对全井的钻井液管理全权负责，并指导小班泥浆工岗位工作。

②根据工程设计，制定全井钻井液处理维护的实施方案及材料使用计划，确保钻井液性能稳定，并符合设计要求。

③负责钻井液检测仪器、工具及固控设备、加重设备、土石粉的管理使用。

④对新用钻井液处理剂进行测定、试验，对不合格产品、材料拒绝使用，并及时上报处理。

⑤负责泥浆工的岗位培训，定期上好技术课。

⑥负责井场环保工作，做好钻井液的回收及污水排放工作。

⑦负责审查小班的钻井液记录，填写全井的钻井液简史及环保事故报告，并及时上报。

另外，钻井队还有柴油机司机、锅炉工、大班司机等岗位，也有相应的岗位职责。

2. 交接班制度

交接班制是上下班之间交清责任、互相检查、交流经验并保证生产连续进行的一项重要制度。

1) 交接班内容

①值班干部“十交十不接”：交任务完成情况、工作内容和存在问题，不清不接；交质量要求及措施，不清不接；交井下情况、钻具结构，不清不接；交钻井液性能，不符合设计要求不接；交资料、记录，不全不准不接；交设备运转情况、仪表、仪器，工具不全、不好不接；交安全设施、井控设施及措施，不清不接；交科研攻关内容及措施，不清不接；交上级指示及执行情况，不清不接；交为下班做好生产准备，不好不接。

②司钻“九交九不接”：交任务完成情况和存在问题，不清不接；交质量要求和措施，不清不接；交设备运转、保养、资料，不好、不全不接；交井下情况、钻具结构，不清不接；交仪表，不完好、不准、不灵不接；交安全设施，不清不接；交科研攻关内容及措施，不清不接；交井控设施的状态及保养情况，不好不接；交为下班应做好生产准备，不好不接。

③副司钻“七交七不接”：交任务完成情况、存在问题，不清不接；交质量要求及措施，不清不接；交设备运转情况、保养及运转记录，不好不接；交工具、仪表、配件，不清不接；交安全设施及措施，不清不接；交井控设备、保养活动记录、储能情况，不好不接；交为下班应做好生产准备、清洁卫生，不好不接。

④井架工“四交四不接”：交设备运转及保养记录，不全不接；交井架安全设施及钻台清洁、整齐，不好不接；交材料、配件数量及辅助工作完成情况，不清、不好不接；交为下班应做好的生产准备，不好不接。

⑤内钳工“四交四不接”：交设备运转记录、保养记录、存在问题，不全、不清不接；交工具、材料、零件数量，不清不接；交设备清洁、扭紧及井口小型机械化工具使用情况，

不好不接；交为下班应做好生产准备，不好不接。

⑥外钳工“四交四不接”：交钻台底座各部位及封井器的固定，不好不接；交工具齐全、清洁，不好不接；交钻台下清洁卫生，不好不接；交为下班应做好生产准备，不好不接。

⑦场地工“五交五不接”：交钻具、管材、井场工具、值班房内用具及图表，不清不接；交资料记录，不齐全、不准确、不工整、不清洁不接；交井场、值班房清洁卫生及规格化，不好不接；交为下班应做好生产准备，不好不接；交材料区房前踏板定位完好，不好不接。

⑧泥浆工“六交六不接”：交钻井液性能、质量要求和措施执行情况，不清不接；交钻井液记录、设备运转记录，未做到齐全、准确、工整、清洁不接；交钻井液化验房内各种仪器、工具、设施，未做到齐全、完好、清洁不接；交药品房、材料房内的药品及材料数量、定位摆放、卫生规格化，不好不接；交固控设备的扭紧、保养情况，不达到要求不接；交井场环保情况及为下班做好生产准备，不好不接。

2) 交接班方法

①接班人员必须提前半小时到井场。接班后停钻 20min 进行保养和检查。

②接班人员必须带上工具，按照巡回检查路线详细检查，并按照“三一、四到、对口”交接法进行交接。“三一”就是对重要的设备部件要一点一点地进行交接；对变化的生产数据要一个一个地进行交接；对常用生产工具要一件一件地进行交接。“四到”就是对应该看到的要看到，应该摸到的要摸到，应该听到的要听到，应该闻到的要闻到。“对口”就是在检查中，交班人员同接班人员一道，随时解答接班人员提出的问题，当面对口交接。

③接班司钻试车 5min，如无问题，交接班全部结束。

④若在交接班中发生争执或短时间内不能整改的问题，要服从值班干部的处理。

3) 交接班讲评

①班前会：班前会由司钻主持召开，当班全体人员参加，根据检查情况，对上一个班的工作进行全面讲评。对检查出的问题及整改的内容要一一写在交接班记录上。

司钻根据值班干部的要求，下达生产任务和工作的具体要求，最后安全员讲话。班前会不超过 10min，正点接班。

②班后会：班后会由司钻主持召开，当班全体人员参加，总结本班工作。

对做得好的岗位人员提出表扬，对做得差的岗位人员及发生的问题要做好记录，并提出批评。班后会不得超过 20min，如遇重要问题另行开会处理。

3. 巡回检查制

巡回检查制是日常生产中最基本的岗位活动，是保证钻井生产优质、高效施工的重要手段。每个岗位人员都要以高度的主人翁责任感，自觉从严，按巡回检查路线和项点，不放过一个疑问，不漏掉一个隐患，并及时整改或上报。避免发生一切故障和事故，确保钻井生产顺利进行。

每班岗位人员明确规定的巡回检查内容及要求，在岗工作时间要进行三次检查，接班时检查一次，接班后工作 6h 检查一次，交班前 30min 检查一次（井架部分白天检查）。

4. 设备维护保养制

钻井设备是完成钻井生产任务的物质基础。每个岗位人员必须严格执行设备操作保养规程和有关设备管理规定，精心维护设备，合理使用设备。提高设备完好率和利用率是岗位人员应尽的职责。

管理设备的副队长是贯彻执行设备维护保养制的负责人，负责监督指导生产班组对钻

台、泵房、发电、电控、固控等设备的检查维护保养工作，对处理不了的设备问题负责向上级部门请示汇报。

5. 质量管理制

钻井质量管理体系是以 GB/T 19000—2000 年质量管理和质量保证体系为指南，本着预防为主，防控结合，为油田开发建设负责一辈子的思想，做到在钻井施工中严格执行质量体系文件化程序，确保道道工序质量全优。

为了满足油田对钻井质量提出的更高要求，确保钻井工程质量，把钻井全过程影响质量的主要环节和关键部位，按钻井施工三大工艺流程的 208 道工序，筛选出重要的控制部位和控制点；把每个控制点落实到岗位，强化施工过程管理，以每个操作人员的工作质量保证钻井工程质量。

6. 安全生产制

安全生产制是保障钻井施工过程中岗位人员安全操作、设备安全运转、不发生各类井下事故和井喷失控事故的重要制度，也是提高钻井队安全管理水平和经济效益的重要保证。

安全生产制是以标准化岗位操作、标准化施工现场、标准化班组为主要内容，按生产工艺过程、施工特点实行分区管理（施工井场分为 8 个区域、32 个控制点），并把每个区域分成若干个控制点，落实到每个岗位分别进行管理。

7. 岗位培训制

岗位培训制是培训岗位人员生产技能和职业道德的一种制度，使岗位人员达到“四懂三会”（懂原理、懂性能、懂结构、懂用途，会使用、会维护、会排除故障），一专多能，做到人人持证上岗，并能掌握各种钻井技术，促进职工素质不断提升。

岗位培训主要有 5 项内容，即岗前培训、技术等级培训、适应性培训、井控培训、岗位练兵和技术比赛。岗前培训是指先培训后上岗，新人员上岗前必须进行岗前培训并采取签合同方式以老带新，包教包学；技术等级培训是指按照高、中、初三个档次分别培训；适应性培训是指针对新地区、新工艺、新装置和岗位更换开展的岗位技术知识、操作规程为内容进行的培训；井控培训是指按照“井控九项制度”要求，对井架工以上岗位人员，以井控理论与实际操作为内容进行的专业培训，使之做到持证上岗；岗位练兵和技术比赛是指岗位人员结合岗位实际，以提高专业知识和操作技能而进行的专项训练。

8. 成本核算制

成本核算制是经营管理的一项重要制度。加强钻井成本核算，挖掘内部潜力，控制钻井成本，以最小的消耗取得最大的经济效益，是钻井队成本核算的主要目的。

9. 资料管理制

钻井资料管理是钻井工程系统分析、研究、设计和决策的基础工作，钻井队必须按工程设计要求和有关规定，取全、取准第一手资料。资料的录取、记载、统计和传递，要求准确、齐全、及时和清晰。录取资料用的仪器、仪表、计量器具均按计量法实施检定，超检或不合格仪器、仪表、计量器具不准投入使用。严禁编造假资料和影响资料录取的违章操作。

六、石油企业文化及高职人才职业生涯发展

20 世纪 60 年代初，以“铁人”王进喜为代表的老一代中国石油钻井工人，面对种种困难，顶着巨大压力，在极其艰苦的条件下，高速度、高水平拿下了大油田的壮举，在大庆

石油会战中形成的“大庆精神”、“铁人精神”已经成为现代石油企业文化的精髓。

个人生涯发展离不开组织的平台，石油钻井行业的特点是劳动强度大，野外作业，条件艰苦，协同作业，生产组织严密，安全责任重，技术含量高。石油钻井行业要求从业人员具有高度的责任心和纪律性，有崇高的职业道德和良好的职业操守，认同石油企业的企业文化和“诚信、创新、业绩、和谐、安全”核心经营理念，继承“爱国、创业、求实、奉献”的企业精神，逐渐养成“三老四严”的行为规范。

七、本课程与其他课程的关系

本课程是钻井技术专业的主要专业课之一。学习本课程之前应掌握必要的普通地质和钻井地质、机械设计与机械加工、电学与电工学以及工程流体力学和钻井液流变学方面的知识。

与本课程相关的专业课有钻井液应用技术、钻井机械、钻井仪表及钻井实习指导等课程和内容。

八、教学内容及教学要求

钻井工程课主要讲授的是石油钻井工艺的基本理论和方法，鉴于钻井专业的特殊性，必须强化钻井现场顶岗实习环节，只有和钻井实习指导课程有机结合，才能实现培养实际操作能力强的高技能专门人才的教学目标。总之，通过本课程的学习要使学生掌握钻井工艺过程及技术措施，了解钻井设计的基本原理和方法、钻井新技术的发展和应用以及钻井过程中常见的事故预防和处理方法。

本课程的具体教学要求是：掌握各种常见井下钻具的合理组合与使用；掌握提高钻进效率、有效地控制井斜及定向钻井方法和工艺，掌握维护井眼系统压力平衡、巩固井壁和保护油气层等方面的主要工艺技术措施和基本原理，能对钻井过程中常见的事故进行初步分析，提出预防和处理意见，了解钻井设计的原理和方法；能顺利查阅石油钻井方面的有关手册及技术资料，能收集、整理、分析本专业范围内的有关资料并具有获得信息的能力；通过理论与实践教学，掌握钻井高级工应具备的理论基础知识和实际操作技能，初步具备钻井队生产的组织管理和经营管理的能力。

总之，本课程是一门理论性和实践性都很强的工艺课，在学习过程中，为了配合课堂教学还要进行一系列的实践。随着钻井技术的不断发展，钻井工程课的内容必将日益丰富，由于教学时间有限，在选取教学内容时应坚持少而精的原则，教材中的一些内容可以在课堂上讲授，而留给学生实习中阅读。

第一章 钻进工具

钻头是破碎岩石、形成井眼的主要工具，钻头质量及其与地层的适应性，对提高钻进速度和降低钻井成本起着重要作用。在井眼形成过程中，一方面要提高破碎岩石的效率，另一方面要保证井壁岩层的稳定，这些都与岩石的机械性质有关。

第一节 岩石的机械性质

一、岩石的机械性质

岩石是自然界中各种矿物的集合体，岩石的性质取决于造岩矿物的性质、岩石的结构和构造。在外力作用下，岩石从变形到破坏所表现出的性质叫做岩石的机械性质，与破岩效率有关的岩石的机械性质有强度、硬度、脆性和塑性等。

1. 岩石的强度

在一定条件下，岩石在各种荷载作用下达到破坏时所能承受的最大应力称为岩石的强度。根据外力作用性质不同，有抗压、抗拉、抗剪和抗弯强度，其单位是 MPa。影响岩石强度的因素可以分为自然因素和工艺技术因素两类。

1) 自然因素

影响岩石强度的自然因素包括：岩石的矿物成分（对沉积岩而言还包括胶结物的成分和比例）、矿物颗粒的大小、岩石的密度和孔隙度。

同类岩石，孔隙度增加，密度降低，岩石的强度也随之降低，反之亦然。一般情况下，岩石的孔隙度随着岩石埋藏深度的增加而减小，因此岩石强度通常随埋藏深度的增加而增加。由于沉积岩存在层理，岩石的强度有明显的异向性，岩石的结构及缺陷也对岩石的强度有影响。

2) 工艺技术因素

影响岩石强度的工艺技术因素包括岩石的受载方式和岩石的应力状态。此外，外载作用的速度、液体介质性质等对岩石强度也有影响。

(1) 简单应力条件下岩石的强度

简单应力条件下岩石的强度是指岩石在单一的外载作用下的强度，包括单轴抗压强度、单轴抗拉强度、抗剪强度及抗弯强度。

大量试验结果表明，在简单应力条件下，对同一岩石加载方式不同，岩石的强度也不同。一般说来，岩石的强度有以下顺序关系（从小到大）：抗拉→抗弯→抗剪→抗压。由于层理的影响，在不同的方向上的岩石强度是不同的。

(2) 复杂应力条件下岩石的强度

①三轴应力试验。在实际钻井条件下，岩石埋藏在地下，各向受压（围压）处于复杂而不是单一的应力状态下，研究多向应力作用下的岩石强度更有实际意义。三轴应力试验是在三向荷载作用下定量测试岩石机械性质的有效方法。三轴应力试验可以进行三轴压缩试验，