



中国石油大学（北京）现代远程教育系列教材

修井工程

■ 主编 檀朝东 韩国庆



中国石油大学出版社

XIUJING GONGCHENG

修井工程

主编 檀朝东 韩国庆

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

修井工程/檀朝东,韩国庆主编. —东营:中国
石油大学出版社,2010.2
(中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材)
ISBN 978-7-5636-3043-1

I. ①修… II. ①檀…②韩… III. ①修井—高等教
育:远距离教育—教材 IV. ①TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 023478 号

书 名: 修井工程
作 者: 檀朝东 韩国庆

责任编辑: 高 颖(电话 0532—86981531)
封面设计: 王凌波

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com
印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)
开 本: 180×235 印张: 13.5 字数: 273 千字
版 次: 2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 20.50 元

中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材

编审委员会

主 任：张云祥

委 员：谢咏才 季汉成 张自强

杨淑亚 刘 超 邢晨辉

夏金玉 刘万忠 李 锋

· 出版说明 ·

当代,以国际互联网普及应用为标志的信息化浪潮席卷全球,技术革命正越来越深刻地改变着人类的生产、生活和思维方式。尤其从20世纪下半叶起,以多媒体、计算机和互联网为主要标志的电子信息通讯技术引发了一场教育和学习方式的深刻变革。

现代远程教育就是利用计算机、计算机网络和多媒体等现代信息技术传授和学习知识的一种全新教育模式。自1999年始,我国现代远程高等教育遵循以成人从业人员为主要教育对象,以应用型、复合型人才为主要培养目标,在促进教育信息化、大众化,以及构建终身教育体系等方面积累了丰富的经验,取得了可喜的成效。目前,现代远程高等教育已经成为我国高等教育体系的重要组成部分,成为非传统高等教育的主力 and 骨干。在这种全新的教育教学模式下,教师通过以网络为主的沟通途径(渠道)实施导学、助学、促学和评价,而学生通过线上、线下的自主学习和协作学习,不断提高自身的知识和能力水平。

为使现代远程教育更好地适应成人学习的特点和需求,中国石油大学(北京)远程教育学院组织出版了这套《中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材》。这些纸质教材既是网络课程的一个重要组成部分,与网络课程相辅相成,又可作为成人学习的主要读物独立使用。

这套教材的主编,多是本学科领域的学术带头人和教学名师,且具有丰富的远程教育经验。在编写过程中,编者力求做到知识结构严谨、层次清晰、重点突出、难点分散、文字通俗、分量适中,以体现教材的指导和辅导作用,引导学生在学的过程中做到学、思、习、行统一,充分发挥教材的置疑、解惑和

激励功能。在大家的共同努力下,这套系列教材较好地体现了我们的初衷:一是教育理念的先进性,遵循现代教育理念,使其符合学习规律和教改精神,体现以人为本、以学为本;二是内容的先进性,体现在科学性与教学性结合,理论性与实践性结合,前沿性与实用性结合,创新性与继承性结合;三是形式的先进性,体现在版式和结构的设计新颖、活泼。

我们期待着本丛书能够得到同行专家及使用者的批评和帮助。

编审委员会

2010年1月

Preface 前言

随着油田开发时间的不断增加,油水井在自喷、抽油或注水注气过程中,随时会发生故障,造成油井的减产或停产。此时,只有通过修井作业来排除故障,更换井下设备,调整油井参数,才能恢复油井的正常生产。

修井作业工艺是伴随油田开发时间的延长、采油工艺的发展而发展的。修井工艺原本为采油工艺的一部分,由于工艺的需要,修井作业有时要改变井身结构,例如钻、磨、固、洗、压等工序,另外还吸取了部分钻井工艺技术及参数。实际上,修井工艺技术在钻井工艺和采油工艺的基础上,已经发展成为一门独立的工艺技术。

本教材在参考以往教材、文献和收集、整理大量各油田修井作业实践经验的基础上,从介绍修井作业的基础知识入手,全面、详细地阐述了油田各种修井作业工艺技术及相关知识。通过对本教材的学习,可使学生掌握石油生产和作业、增产措施等的管柱、工艺、工序、地面设备和井下工具等的原理和操作方法;使石油类专业的学生逐步了解修井的基本理论、工艺方法;使学生了解现场工作的现状,增强对生产现场的感性认识,为以后从事专业工作和科学研究打下良好的基础。

本教材共分为八章,详尽且系统地介绍了修井的基础知识、修井作业设备和工具、修井作业施工准备、油井常规作业、检泵作业、注水井作业、修井作业新技术、修井作业信息化等与油田作业紧密结合的八个部分。教材的章节编写遵照石油院校修井工程课程教学大纲要求和修井工艺技术发展顺序及施工步骤要求,并对设备工具、工艺技术、施工要求进行了归类、分析。本教材的编写得到了中国石油大学(北京)油气田开发专业研究生彭振华和北京雅丹石油技术开发有限公司及北京迪思数软技术开发有限公司的大力帮助,在此一并表示感谢!

本教材基本包括了现行的各项修井工艺技术,同时注意吸收当前修井工程技术的新成果,可作为石油院校修井工程课程的教材,对于从事油井开采作业的工程技术人员也有较实际的参考、指导作用。

本教材的编写力求实用、规范、完整,但由于编者水平和客观条件所限,定有不少不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2009年12月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 井身结构	2
第二节 完井方式	3
第三节 完井井口装置	14
第四节 井的故障及维修	15
第二章 修井设备和井下工具	20
第一节 修井设备	21
第二节 井下工具	29
第三章 井下作业施工准备	61
第一节 作业设计	62
第二节 井场调查及搬迁	64
第三节 立井架、穿大绳、校正井架	66
第四节 吊装井口房、拆装驴头	71
第五节 安装井口控制装置及安全检查	72
第四章 常规作业工序	78
第一节 起下管柱	79
第二节 组配管柱	84
第三节 压井和替喷	85
第四节 探砂面和冲砂	88
第五节 洗 井	92
第六节 通井、刮蜡、刮削	93
第七节 找串、验串	96
第八节 气举和液氮排液	99
第五章 油井检泵作业	105
第一节 抽油泵井作业	106

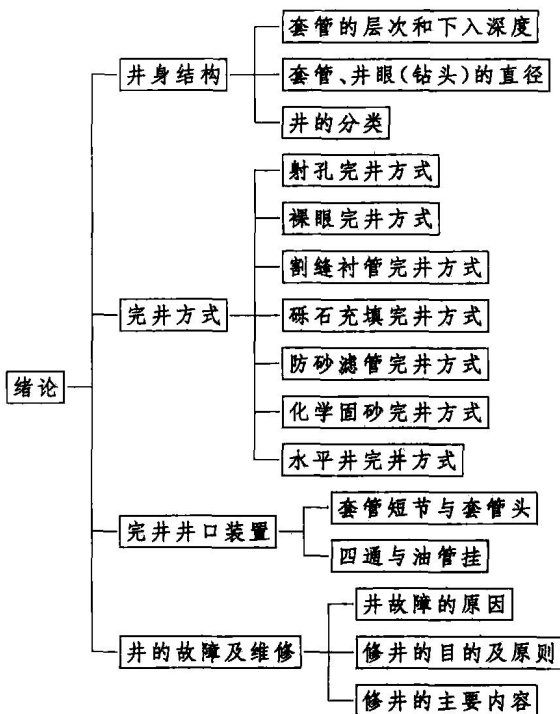
第二节 螺杆泵井作业	117
第三节 潜油电泵井作业	125
第六章 注水井作业	134
第一节 分层注水工艺原理	135
第二节 分层注水管柱	137
第三节 注水井井下工具	139
第四节 试注与油井转注	142
第五节 试配	145
第六节 重配与调整	148
第七章 修井作业新技术	151
第一节 连续油管技术	152
第二节 膨胀管技术	160
第三节 复杂结构井大修工艺技术	168
第八章 修井作业信息化	182
第一节 井下作业生产信息管理系统	183
第二节 井下工具管理信息系统	187
第三节 井下作业管柱绘图实用软件	192
第四节 油田作业数字化培训系统	195
参考文献	203

第一章 绪 论

【预期目标】

了解井的基础知识是良好实施修井作业施工的基础。通过本章的学习,应该熟悉和理解井身的基本结构以及各种油井的基本分类,并对油田的各种完井方式有一个全面的认识,熟悉修井的基本内容及修井原则。其中,需要掌握井的基础知识(主要包括井身结构、井的类别、井口装置等),理解各种完井方式的施工工艺及对后期施工的影响,以及修井的目的、原则和主要内容。

【知识结构框图】



【学习提示】

本章介绍了修井作业的基础知识,也是石油类专业学生必须掌握的基本理论常识,因此,一些基本的井口装置和施工措施必须牢记,以便在以后的学习和工作中能够熟练

运用。井身结构中除了直井结构外,还有很多复杂的分支井结构,其完井方式也多种多样,学习过程中可以结合教材中的结构图对施工工艺和各工艺的特点加以理解和掌握,也可以结合现场的情况对所学内容加以巩固。

【问题导因】

问题 1:简述井身的基本结构;并结合课外教材考虑出现复杂结构井的原因。

问题 2:简述井的分类有哪些,都有什么作用。

问题 3:简述完井方式有哪些,都有什么特点。

问题 4:简述完井井口装置有哪些,各有什么作用。

问题 5:简述修井的目的、原则和基本内容。

第一节 井身结构

所谓井身结构,是指在已钻成的裸眼井内下入直径不同、长短不等的几层套管,然后注入水泥浆封固环形空间,最终形成轴心线重合的一组套管与水泥环的组合,如图 1-1 所示。

一口井的井身结构包括以下几个方面的内容:全井下入套管的层次、各层套管的直径及下入深度、各次开钻相应的钻头直径和井深、各次固井的水泥返高和各层套管鞋处地层的层次等。合理的井身结构,应该是既能够满足钻井和采油工艺的要求,又符合节约钢材、水泥和降低钻井成本的原则。

井身结构中,确定套管的下入深度和层次是比较困难的。在一口井内应该下几层套管及每层套管应该下多深主要取决于所要钻穿的地下岩层情况。

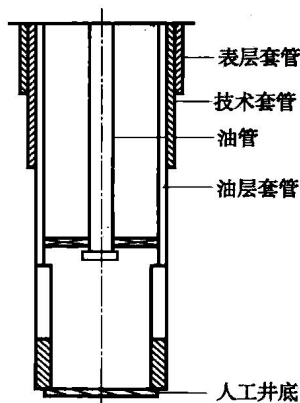


图 1-1 井身结构图

一、套管的层次和下入深度

众所周知,地表层一般多为松软易塌的地层,为了防止井口的坍塌下陷和装井口防喷器的需要,每口井通常都要下表层套管,管外还必须用水泥封固。表层套管的深度一般由几十米到几百米,是由地表松软层和需要封固的浅水、气层的深度决定的。

在生产井内,为了防止油、气、水层的互相串通、相互干扰,或者是油、气中途流失,必须下入油层套管,固水泥,将油、气、水层封固隔开,以保证油井的正常生产。套管下入深度是根据生产层位的深度和完井的方法确定的,有的下到生产层的顶部,有的则下过生产层以下几十米。管外水泥返高,一般要高于应封隔的油、气、水层 50~100 m。

表层套管和油层套管之间是否还要下技术套管,要看地层的复杂情况和钻井工人克服复杂情况钻进的技术水平。一般情况下,应尽量采取调整钻井液性能的办法对付复杂

地层的钻进,而不下或少下技术套管。近年来,随着人们对地质情况了解的深入和钻井技术水平的提高,井身结构中套管层次正在逐步减少。

钻井实践证明,井下复杂情况主要和油层压力有关。当一口井内上、下岩层的孔隙和压力差别都很大,难以用同一密度的压井液加以平衡时,必须下技术套管将高、低压地层隔开,否则会引起喷、漏、坍塌、卡钻等事故,给钻井工作造成很大的困难,甚至中途使井报废。因此,决不能单纯地为了节省钢材和水泥而盲目地精简技术套管。技术套管的下入深度以封住应该封的层段为原则。

二、套管、井眼(钻头)的直径

套管层次和各层套管的下入深度确定之后,便可以根据开采的要求和套管的系列确定各层套管及其下入井段所需井眼(钻头)直径的大小。在确定各层套管和井眼直径时,首先应根据油井生产和井下作业等的要求,确定油层套管的直径,然后确定保证使油层套管能够顺利下入的井眼(钻头)直径。依此类推,从下而上逐步确定各层套管及其下入井段的井眼(钻头)直径。

套管直径按系列和规范的不同有大有小,各油田用的油层套管也不完全一致,同一口井所下的套管亦不止一层。为了保证套管的顺利下入,要求井眼和套管有一定的直径差。因为管子直径越大,刚度就越大,下井就越困难,所以使用的套管直径越大,套管和井眼的直径差也应该越大。

三、井的分类

在油田上,根据钻井目的和开发的要求,把井分为不同的类别,称为井别。

(1) 探井:在经过地球物理勘探证实有希望的地质构造上,为了探明地下情况,寻找油气田而钻的井。

(2) 资料井:为了取得编制油田开发方案所需资料而钻的井。

(3) 生产井:用来采出生产液(油、气)的井。

(4) 注水井:用来向地下油层内注水的井。

(5) 检查井:在油田开发过程中,为了检查油层开发效果而钻的井。

(6) 观察井:在油田开发过程中,专门用来观察油田地下动态而钻的井。

(7) 调整井:油田在注水开发中,为了改善断层遮挡地区的注水开发效果、调整平面矛盾严重地段的开发效果所补钻的井。

第二节 完井方式

完井通常是针对油气层与井眼间的连通状况及其结构特点而言的。在实际的钻井完井工作中,在不同的油田、不同的区块对不同的油气层、不同类型的井所采取的完井方

式是不同的。但是不论采用哪种完井方式,从采油的观点来看,都需要满足以下几方面的要求:

- (1) 能有效地连通油、气层与井眼,油、气流入井的阻力要小。
- (2) 能有效地封隔油、气、水层,防止相互串扰。对同井开采不同性质的多油、气层,能满足分层开采和分层管理的要求。
- (3) 能控制油、气层井壁坍塌和出砂的影响,保证油、气井长期稳定生产。
- (4) 能满足以后增产措施、修井以及改进采油工艺的要求。
- (5) 采用的完井方式工艺简单、完井速度快、质量好、成本低。

目前国内外最常见的完井方式有套管或尾管射孔完井、裸眼完井、割缝衬管完井、裸眼或套管砾石充填完井等。现有的各种完井方式都有其各自适用的条件和局限性。现将各种完井方式分述如下。

一、射孔完井方式

射孔完井是国内外应用最为广泛的一种完井方式,包括套管射孔完井和尾管射孔完井。

1. 套管射孔完井

套管射孔完井是钻穿油层直至设计井深,然后下生产套管至油层底部“口袋”,注水泥固井,最后射孔,使射孔弹射穿生产套管、水泥环并穿透油层某一深度,建立起油流的通道,如图 1-2 所示。

套管射孔完井既可选择性地射开不同压力、不同物性的油层以避免层间干扰,又可避开夹层水、底水和气顶或避开夹层的坍塌,具备实施分层注、采和选择性压裂或酸化等分层作业的条件。砂岩或碳酸盐岩油层均可使用此方式完井。

2. 尾管射孔完井

尾管射孔完井是指钻头钻至油层顶界,下技术套管注水泥固井,然后用小一级的钻头钻穿油层至设计井深,用钻具将尾管送下并悬挂和密封在技术套管尾部,再对尾管注水泥固井,然后射孔完井,如图 1-3 所示。尾管和技术套管的重合段一般应不小于 50 m。

对于尾管射孔完井,由于在钻开油层以前上述地层已被技术套管封固,因此,可以采用与油层相配伍的钻井液以平衡压力、欠平衡压力或负压钻井的方法钻开油层,有利于保护油层。此外,这种完井方式可以减少套管和油井水泥的用量,从而降低完井成本。目前较深的油、气井大多采用此方式完井。而高压、超高压气井不宜采用此方式完井,但可先采用尾管完井,然后用与尾管同等尺寸的套管回接至井口,以免井下封隔器或悬挂器密封失灵时技术套管承受过高内压力而挤毁。砂岩或碳酸盐岩油层均可使用此方式完井。

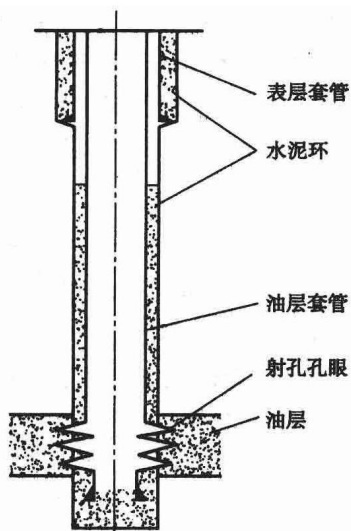


图 1-2 套管射孔完井示意图

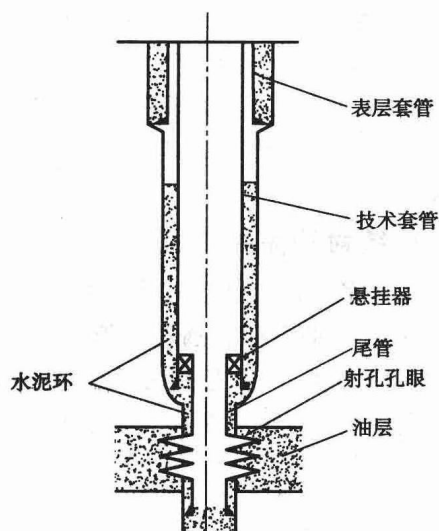


图 1-3 尾管射孔完井示意图

二、裸眼完井方式

裸眼完井方式有两种完井工序：一是裸眼先期完井，即钻头钻至油层顶界附近后，下技术套管注水泥固井，水泥浆上返至预定的设计高度后，再从技术套管中下入直径小一级的钻头，钻穿水泥塞，钻开油层至设计井深完井，如图 1-4 所示；二是裸眼后期完井，即钻头钻完所有油层，然后下技术套管至油层顶部注水泥固井完井（见图 1-5）。这种完井方式大都在固井前在油层部位垫砂，或在油层顶部下入水泥承托器以防固井注水泥时水泥浆下沉伤害油层。这种完井方式只在必要的情况下采用。

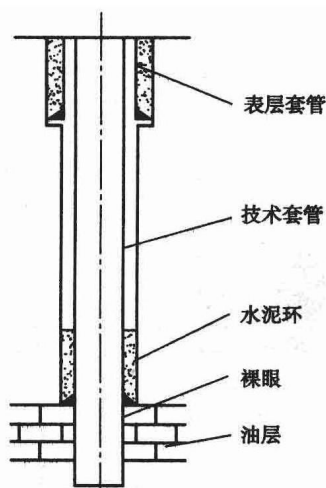


图 1-4 先期裸眼完井示意图

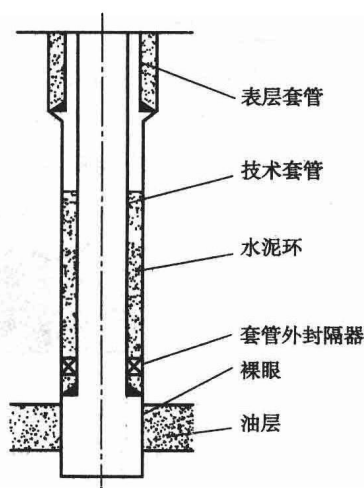


图 1-5 后期裸眼完井示意图

裸眼完井的主要特点是油层完全裸露，因而油层具有渗流面积大、完善程度高、产能

高的特点。裸眼完井一般在碳酸盐岩油气层中使用。碳酸盐岩岩性坚硬,不易坍塌,即使裸眼也能正常生产,但其不足之处是难以控制气顶、底水及分层段进行各种措施。对于砂岩油气层,因砂岩胶结物除碳酸盐岩外还有泥质或原油胶结,同时砂岩中大多有泥岩隔夹层,在生产过程中油层或隔夹层往往易坍塌堵塞井筒而影响正常生产,因而不宜采用裸眼完井。

三、割缝衬管完井方式

割缝衬管完井方式也有两种完井工序:一是用同一尺寸钻头钻穿油层后,套管柱下端连接衬管下入油层部位,通过套管外封隔器和注水泥接头固井封隔油层顶界以上的环形空间,如图 1-6 所示;二是钻头钻至油层顶部后,先下技术套管注水泥固井,再从技术套管中下入直径小一级的钻头钻穿油层至设计井深,然后在技术套管尾部悬挂并密封割缝衬管完井,如图 1-7 所示。

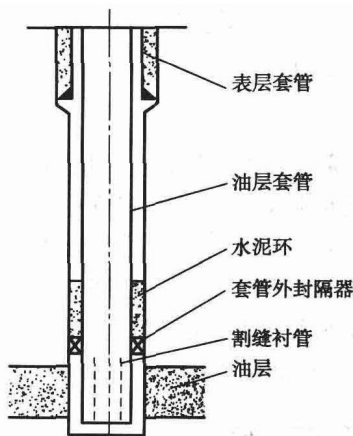


图 1-6 割缝衬管完井示意图

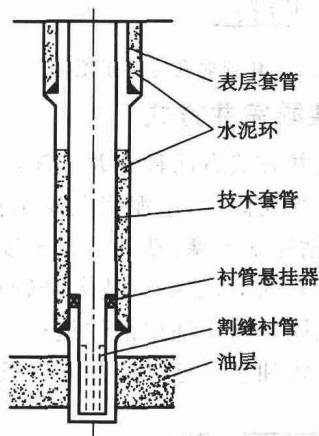


图 1-7 割缝衬管完井示意图

割缝衬管完井主要用于出砂不严重的油层或防止岩屑落入裸眼井筒中。割缝衬管的防砂机理是允许一定大小的能被原油携带至地面的细小砂粒通过,而把较大的砂粒桥堵在衬管外面,形成“砂桥”,以达到防砂的目的,如图 1-8 所示。

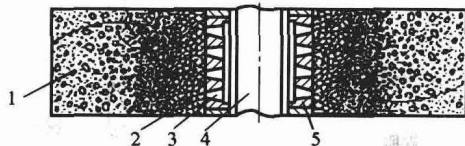


图 1-8 衬管外自然分选形成“砂桥”示意图

1—油层;2—砂桥;3—缝眼;4—井筒;5—衬管

割缝衬管完井方式是当前主要的完井方式之一,在砂岩或碳酸盐岩油层均可使用。它既起到裸眼完井的作用,又起到防止裸眼井壁坍塌堵塞井筒的作用,同时在一定程度上还起到防砂的作用。由于这种完井方式的工艺简单、操作方便、成本低,因而在一些出

砂不严重的中粗砂粒油层中经常使用,特别在水平井中使用较普遍。

割缝衬管的尺寸可根据技术套管的尺寸、裸眼井段的钻头直径确定,如表 1-1 所示。

表 1-1 割缝衬管完井时套管、钻头、衬管匹配表

技术套管		裸眼井段钻头		割缝衬管	
公称尺寸/in	套管外径/mm	公称尺寸/in	钻头外径/mm	公称尺寸/in	衬管外径/mm
7	177.8	6	152.4	5~5½	127.0~139.7
8⅝	219.1	7½	190.5	5½~6⅝	139.7~168.3
9⅝	244.5	8½	215.9	6⅝~7⅝	168.3~193.7
10¾	273.1	9⅝	244.5	7⅝~8⅝	193.7~219.1

注:1 in=2.54 cm。

四、砾石充填完井方式

对于胶结疏松、出砂严重的地层,一般应采用砾石充填完井方式。该完井方式是先将金属绕丝筛管下入井内油层部位,然后用充填液将在地面上预先选好的砾石泵送至绕丝筛管与井眼或绕丝筛管与套管之间的环形空间内,构成一个砾石充填层,以阻挡油层砂流入井筒,达到保护井壁、防砂入井的目的。砾石充填完井一般使用不锈钢绕丝筛管而不用割缝衬管,其原因是筛管流通能力大大高于衬管。筛管及衬管的流通能力对比如图 1-9 所示。

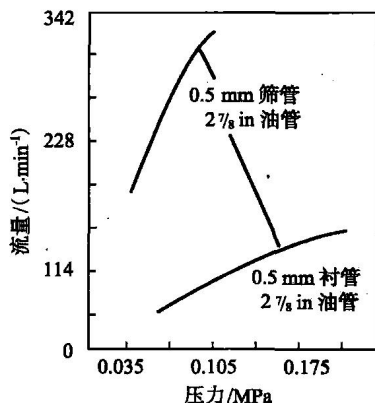


图 1-9 筛管与衬管流通能力对比图

为了适应不同油层特性的需要,裸眼完井和射孔完井都可以充填砾石,分别称为裸眼砾石充填和套管砾石充填。

1. 裸眼砾石充填完井方式

在地质条件允许使用裸眼而又需要防砂时,应该采用裸眼砾石充填完井方式。该完井方式的工序是:钻头钻达油层顶界以上约 3 m 后,下技术套管注水泥固井,再用直径小一级的钻头钻穿水泥塞,钻开油层至设计井深,然后更换扩张式钻头将油层部位的井径扩大到技术套管外径的 1.5~2 倍,以确保充填砾石时有较大的环形空间,增加防砂层的

厚度,提高防砂效果。一般砾石层的厚度不小于 50 mm。裸眼扩径的尺寸匹配见表 1-2。扩眼工序完成后,便可进行砾石充填工序,如图 1-10 所示。

表 1-2 裸眼砾石充填扩径尺寸匹配表

套管尺寸		小井眼尺寸		扩眼尺寸		筛管外径	
in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
5 $\frac{1}{2}$	139.7	4 $\frac{3}{4}$	120.7	12	304.8	2 $\frac{3}{8}$	60.3
6 $\frac{5}{8}$ ~7	168.3~177.8	5 $\frac{7}{8}$ ~6 $\frac{1}{8}$	149.2~155.6	12~16	304.8~406.4	4~5	101.6~127.0
7 $\frac{5}{8}$ ~8 $\frac{5}{8}$	193.7~219.1	6 $\frac{1}{2}$ ~7 $\frac{7}{8}$	165.1~200.0	14~18	355.6~457.2	5 $\frac{1}{2}$	139.7
9 $\frac{5}{8}$	244.5	8 $\frac{3}{4}$	222.3	16~20	406.4~508.0	6 $\frac{5}{8}$	168.3
10 $\frac{3}{4}$	273.1	9 $\frac{1}{2}$	241.3	18~20	457.2~508.0	7	177.8

2. 套管砾石充填完井方式

套管砾石充填的完井工序是:钻头钻穿油层至设计井深后,下油层套管于油层底部“口袋”,注水泥固井,然后对油层部位射孔。要求采用高孔密(20~30 孔/m,大于 7 in 套管可射 40 孔/m)、大孔径(20~25 mm)射孔,以增大充填流通面积。有时还把套管外的油层砂冲掉,以便于向孔眼外的周围油层填入砾石,避免砾石和地层砂混合而增大渗流阻力。由于高密度充填(高黏充填液)紧实、充填效率高、防砂效果好、有效期长,故应用较多。但近期发现高黏充填液对油层有伤害,所以有的已改用中黏或低黏充填液。套管砾石充填完井如图 1-11 所示。

油层套管与绕丝筛管的匹配见表 1-3。

虽然有裸眼砾石充填和套管砾石充填之分,但二者的防砂机理是完全相同的。

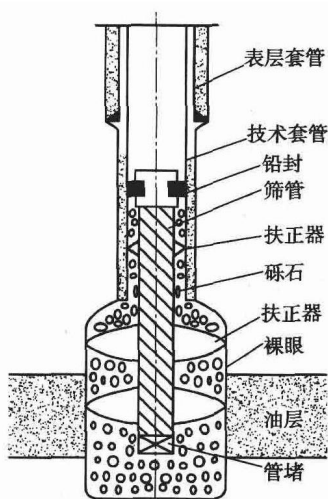


图 1-10 裸眼砾石充填完井示意图

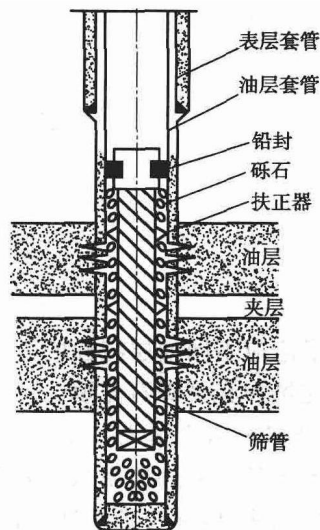


图 1-11 套管砾石充填完井示意图