



中国石油高技能人才培养丛书

井下作业技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 © 编



石油工业出版社

中国石油高技能人才培养丛书

井下作业技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书为《中国石油高技能人才培养丛书》之一,全书共分 21 章,围绕井下作业的基本工序,全面介绍了井下作业操作的新技术、新工艺、新方法和新工具,本着新颖、实用的原则选取内容和应用实例,有助于井下作业高技能人才理论知识的拓展和操作技能的提高。

本书为中国石油高技能人才培养教材,也可供从事井下作业操作的其他人员及相关工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

井下作业技师培训教程/中国石油天然气集团公司人事部编.
北京:石油工业出版社,2011.12

中国石油高技能人才培养丛书

ISBN 978-7-5021-8797-2

I. 井…

II. 中…

III. 采油井-井下作业-技术培训-教材

IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 232528 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

编辑部:(010)64523582 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

2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:45.5

字数:1120 千字

定价:100.00 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

《中国石油高技能人才培训丛书》

编 委 会

主 任：单昆基

副 主 任：任一村

执行主任：丁传峰

委 员：(按姓氏笔画排序)

王子云	左洪波	吕凤军	刘 勇	刘德如
杨 锋	杨静芬	李世效	李建军	李孟洲
李钟磬	李保民	李超英	李禄松	何 波
张建国	陈宝全	尚全民	周宝银	徐进学
高 强	高丽丽	职丽枫	崔贵维	韩贵金
傅敬强	霍 良			

前 言

为加快高技能人才知识更新,提升高技能人才职业素养、专业知识和解决生产实际问题的能力,进一步发挥高端带动作用,在总结“十一五”技师、高级技师跨企业、跨区域开展脱产集中培训的基础上,中国石油天然气集团公司人事部依托承担集团公司技师培训项目的培训机构,组织专家力量,历时一年多时间,将教学讲义、专家讲座、现场经验及学员技术交流成果资料加以系统整理、归纳、提炼,开发出首批 15 个职业(工种)高技能人才培训系列教材,由石油工业出版社陆续出版。

本套教材在内容选择上,突出新知识、新技术、新材料、新工艺等“四新”技术介绍,重视工艺原理、操作规程、核心技术、关键技能、故障处理、典型案例、系统集成技术、相关专业联系等方面的知识和技能,以及综合技能与创新能力的知识介绍,力求体现“特、深、专、实”的特点,追求理论知识体系的通俗易懂和工作实践经验的总结提炼。

本套教材是集团公司加快适用于高技能人才现代培训技术和特色教材开发的有益尝试,适合于已取得技师、高级技师职业资格的人员自学提高、研修培训、传承技艺使用,也适合后备高技能人才超前储备知识使用,同时,也为现场技术人员和培训机构提供了一套实践参考用书。

《井下作业技师培训教程》由中国石油长庆油田培训中心组织编写,张发展任主编,参加编写的人员有张旺宁、郭虹、李小兵、付丽金、杨宝平,参加审定的人员有中国石油工程技术分公司孙玉玺,川庆钻探公司邱勇、张平,渤海钻探公司赵增权,大庆油田有限责任公司倪明泉、史绍金,新疆油田公司陈相国、荆江录,辽河油田公司于广鹏,华北油田公司王义国,大港油田公司的杨光远、付友忠等。

由于编者水平有限,书中错误、疏漏之处在所难免,请广大读者提出宝贵意见。

编者

2011 年 10 月

目 录

第一章 油(气)井完井新技术	(1)
第一节 浅层稠油水平井完井技术	(1)
复习思考题	(3)
第二节 疏松砂岩油藏水平井完井技术	(3)
复习思考题	(7)
第三节 气井完井技术	(7)
复习思考题	(10)
第四节 煤层气井完井技术	(11)
复习思考题	(15)
第五节 欠平衡完井技术	(15)
复习思考题	(18)
第六节 小井眼微间隙井完井技术	(18)
复习思考题	(20)
第七节 侧钻井膨胀管完井技术	(20)
复习思考题	(22)
第八节 薄层稠油水平井防砂完井技术	(22)
复习思考题	(24)
第九节 TAML 五级双分支井完井技术	(25)
复习思考题	(29)
参考文献	(29)
第二章 井下作业工具	(30)
第一节 国外井下作业打捞工具概况	(30)
复习思考题	(35)
第二节 国内井下作业工具概况	(35)
复习思考题	(39)
第三节 国内封隔器技术	(39)
复习思考题	(42)
第四节 井下作业典型工具	(42)
复习思考题	(60)
第五节 井下液压增力打捞工具	(60)

复习思考题	(64)
第六节 找通道、扩径修井工具与应用	(64)
复习思考题	(68)
第七节 水平井磨铣打捞工具	(68)
复习思考题	(72)
参考文献	(72)
第三章 井筒作业技术	(73)
第一节 通井工艺技术	(73)
复习思考题	(75)
第二节 套管刮削技术	(76)
复习思考题	(82)
第三节 套管内刮蜡技术	(83)
复习思考题	(85)
第四节 洗井工艺技术	(85)
复习思考题	(98)
参考文献	(98)
第四章 井控工艺技术	(99)
第一节 国内外井控设备的现状	(99)
复习思考题	(108)
第二节 修井用双闸板防喷器	(108)
复习思考题	(113)
第三节 井下作业现场井控技术	(113)
复习思考题	(116)
第四节 关井压力恢复和读取时机	(116)
复习思考题	(120)
第五节 水平井井筒控制原理	(120)
复习思考题	(124)
第六节 定向井压井工艺分析	(124)
复习思考题	(128)
第七节 复杂井压井方法	(128)
复习思考题	(132)
参考文献	(132)
第五章 油(气)井射孔技术	(133)
第一节 水平井射孔技术	(133)

复习思考题	(151)
第二节 其他射孔新技术	(152)
复习思考题	(165)
参考文献	(165)
第六章 试气新技术	(166)
第一节 天然气水合物	(166)
复习思考题	(170)
第二节 试气地面流程	(170)
复习思考题	(179)
第三节 特殊井试气工艺技术	(179)
复习思考题	(192)
第四节 特殊试气工艺技术	(193)
复习思考题	(200)
第五节 气井完井测试	(200)
复习思考题	(205)
参考文献	(205)
第七章 冲砂工艺技术	(206)
第一节 水平井冲砂工艺技术	(206)
复习思考题	(219)
第二节 防污染连续优化冲砂工艺技术	(220)
复习思考题	(228)
第三节 低压或负压冲砂工艺技术	(229)
复习思考题	(234)
第四节 高效环保冲砂作业工艺	(234)
复习思考题	(236)
第五节 稠油井防漏失冲砂新工艺技术	(236)
复习思考题	(238)
第六节 其他冲砂工艺技术	(238)
复习思考题	(244)
参考文献	(244)
第八章 水力压裂新技术	(246)
第一节 国内水力压裂技术现状	(246)
复习思考题	(252)
第二节 水平井分段压裂技术	(252)

复习思考题	(257)
第三节 水平井滑套分压工艺技术	(257)
复习思考题	(260)
第四节 水力射孔射流压裂工艺	(260)
复习思考题	(262)
第五节 超深井压裂工艺技术	(262)
复习思考题	(265)
第六节 小井眼压裂施工技术	(265)
复习思考题	(272)
第七节 高能气体压裂新技术	(272)
复习思考题	(278)
参考文献	(278)
第九章 酸化新工艺	(279)
第一节 碳酸盐岩储层酸压技术	(279)
复习思考题	(283)
第二节 碳酸盐岩储层多级注入闭合酸压工艺理论	(283)
复习思考题	(289)
第三节 碳酸盐岩储层固体酸酸压技术	(289)
复习思考题	(291)
第四节 高温井酸压技术的应用	(291)
复习思考题	(295)
第五节 碳酸盐岩油气藏混气酸酸压技术	(295)
复习思考题	(296)
第六节 滤失控制酸酸压施工工艺	(296)
复习思考题	(299)
第七节 国内凝析油气藏酸压技术	(300)
复习思考题	(303)
第八节 水平井酸化增产工艺技术	(303)
复习思考题	(309)
参考文献	(309)
第十章 油(气)井排液工艺技术	(310)
第一节 油井作业自助排液技术	(310)
复习思考题	(314)
第二节 试油井电泵排液地面直读技术	(314)

复习思考题	(316)
第三节 反排式射流泵测试排液工艺技术	(316)
复习思考题	(319)
第四节 气井抽汲排液采气工艺	(319)
复习思考题	(322)
第五节 气井井筒排液新技术	(322)
复习思考题	(327)
第六节 气井连续排液的新观点	(328)
复习思考题	(333)
第七节 低压气井气举排液采气技术	(333)
复习思考题	(336)
第八节 气井气举阀气举排液采气工艺	(336)
复习思考题	(341)
第九节 酸压井气举阀气举排液技术	(341)
复习思考题	(344)
第十节 柱塞注气复合气举工艺	(344)
复习思考题	(346)
参考文献	(346)
第十一章 油井防砂新技术	(347)
第一节 注水井纤维复合防砂技术	(347)
复习思考题	(350)
第二节 多孔聚合物水泥材料防砂新技术	(350)
复习思考题	(352)
第三节 防砂工具	(352)
复习思考题	(370)
第四节 防砂装置	(371)
复习思考题	(374)
第五节 防砂管柱	(374)
复习思考题	(385)
第六节 水平井防砂管柱强度计算	(385)
复习思考题	(388)
参考文献	(388)
第十二章 堵水调剖技术	(389)
第一节 国内外堵水调剖技术概论	(389)

复习思考题	(396)
第二节 油水井调剖堵水技术	(396)
复习思考题	(399)
第三节 堵水调剖剂	(399)
复习思考题	(403)
第四节 注水井调剖注入压力预测方法	(403)
复习思考题	(406)
第五节 高含水油田调剖、调驱技术	(406)
复习思考题	(409)
第六节 稠油热采氮气泡沫调剖技术	(409)
复习思考题	(412)
第七节 热采井高温调剖工艺技术	(412)
复习思考题	(414)
第八节 大孔道深部调剖封堵技术	(414)
复习思考题	(417)
参考文献	(417)
第十三章 油(气)井水泥塞技术	(418)
第一节 油(气)井注水泥塞技术	(418)
复习思考题	(430)
第二节 油(气)井打水泥塞技术	(430)
复习思考题	(439)
第三节 油(气)井钻塞技术	(439)
复习思考题	(448)
参考文献	(448)
第十四章 联作试油一体化技术	(449)
第一节 联作试油工艺技术	(449)
复习思考题	(462)
第二节 试油一体化工艺技术	(463)
复习思考题	(467)
第三节 射孔下泵不压井作业一体化管柱	(467)
复习思考题	(470)
参考文献	(470)
第十五章 油井检泵技术	(471)
第一节 油井检泵时机与周期的预测	(471)

复习思考题	(474)
第二节 油井检泵原因分析与预防措施	(475)
复习思考题	(480)
第三节 延长油井检泵周期新技术	(481)
复习思考题	(486)
第四节 检泵防喷与清蜡装置	(486)
复习思考题	(489)
第五节 抽汲参数调整对油井检泵率的影响	(489)
复习思考题	(493)
第六节 电潜泵井非故障检泵	(493)
复习思考题	(496)
参考文献	(496)
第十六章 不压井作业新技术	(497)
第一节 国内外不压井作业装备概论	(497)
复习思考题	(503)
第二节 带不压井起下装置的新型液压修井机	(503)
复习思考题	(506)
第三节 新型不压井作业设备	(506)
复习思考题	(512)
第四节 特殊井中的不压井作业技术	(512)
复习思考题	(523)
第五节 全过程欠平衡钻井中的不压井作业	(524)
复习思考题	(528)
参考文献	(528)
第十七章 连续油管技术	(529)
第一节 连续油管作业车	(529)
复习思考题	(535)
第二节 连续油管技术	(535)
复习思考题	(543)
第三节 影响连续油管疲劳寿命的因素分析	(543)
复习思考题	(549)
第四节 连续油管装置及配套工具	(549)
复习思考题	(554)
第五节 连续油管过油管射孔	(554)

复习思考题	(559)
第六节 连续油管传送的压裂处理方法	(559)
复习思考题	(564)
第七节 连续油管作业的井控安全	(564)
复习思考题	(569)
第八节 连续油管排水采气与修井技术	(569)
复习思考题	(579)
参考文献	(579)
第十八章 修井新技术	(581)
第一节 修井作业设备	(581)
复习思考题	(585)
第二节 国内水平井修井工艺技术	(585)
复习思考题	(588)
第三节 小井眼修井工艺技术	(589)
复习思考题	(592)
第四节 高压气井修井复合新技术	(592)
复习思考题	(596)
第五节 套管修复新技术	(597)
复习思考题	(606)
第六节 修井井口机械化、自动化装置	(606)
复习思考题	(611)
参考文献	(612)
第十九章 套管开窗侧钻	(613)
第一节 套管开窗侧钻技术	(613)
复习思考题	(635)
第二节 小井眼侧钻水平井工艺技术	(635)
复习思考题	(641)
第三节 复杂井套管开窗侧钻技术	(641)
复习思考题	(646)
第四节 侧钻井膨胀管完井技术	(646)
复习思考题	(648)
第五节 侧钻技术在事故井中的应用	(648)
复习思考题	(653)
参考文献	(653)

第二十章 井下作业事故处理技术	(654)
第一节 水平井打捞技术	(654)
复习思考题	(663)
第二节 侧钻井作业事故的处理	(663)
复习思考题	(672)
第三节 丛式定向井卡钻事故的处理	(672)
复习思考题	(675)
第四节 修井作业中水泥卡钻事故的处理	(675)
复习思考题	(679)
第五节 超深井事故处理技术	(679)
复习思考题	(685)
第六节 套铣打捞新技术	(685)
复习思考题	(688)
参考文献	(688)
第二十一章 保护油气层新技术	(689)
第一节 井下作业中油层的污染与保护	(689)
复习思考题	(692)
第二节 负压油井井下作业油层保护措施	(692)
复习思考题	(694)
第三节 压裂液伤害及油层保护	(694)
复习思考题	(697)
第四节 酸化过程中的油层伤害及保护	(697)
复习思考题	(702)
第五节 中、低渗透油田的作业污染及油层保护措施	(703)
复习思考题	(705)
第六节 水平井保护油气层技术	(705)
复习思考题	(711)
参考文献	(711)

第一章 油(气)井完井新技术

第一节 浅层稠油水平井完井技术

浅层稠油水平井作为开发浅层油气资源的重要手段,可有效增加油层裸露面积,扩大蒸汽热驱范围,大幅度提高单井采收率,达到显著的综合经济效益。然而对于那些埋深较浅的稠油油藏,如果采用常规直井钻机钻浅层稠油水平井方式开采,则由于地面距离目的层垂直井段短,使得钻井完井工艺面临一些特定的技术难题,如大曲率井眼管柱下入摩阻高、大尺寸井眼松软地层造斜特性无法准确预测等。

因此,虽然前期用斜井钻成的浅层稠油斜直水平井取得了较为理想的产能,但由于上述原因,这项技术并未得到推广应用。为使水平井技术成为经济、有效地开发浅层稠油油藏的成熟工艺技术,必须改变原有的采用钻机钻浅层稠油水平井方式,而采用常规直井钻机方式,以使稠油热采水平井的工艺技术尽快成熟并推广应用,从而使水平井方式成为浅层稠油油藏经济、有效开发的一种主要技术手段。

一、直井钻机钻浅层稠油水平井井身结构

浅层稠油油藏埋深浅,油藏温度低,在常温下,原油粘度极高,开采困难。为增加原油自然流动的能力,目前稠油开采普遍采用注蒸汽热采,为满足采油工艺的需要,对井身结构提出以下要求:

第一,采用 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管封隔目的层至井口之间的裸眼井段,为注蒸汽热采提供井眼条件。

第二,水平段完井管柱使用 $\phi 177.8\text{mm}$ 割缝筛管完井。之所以尽可能采用大尺寸完井管串的主要原因是,在蒸汽吞吐热采过程中,含稠油砂岩在温度、压力波动的反复影响下,井筒周围的岩体基质易受到温变—压变应力的影响而产生破坏。岩体基质受到破坏后,砂岩颗粒之间的连接力减弱,随后被高粘度的原油携带进入井筒,造成井筒出砂。而大尺寸井眼为后期采油作业提供了更大的作业空间,有利于后期冲砂作业。

二、浅层稠油水平井井眼轨迹剖面

井眼轨迹设计应在满足稠油热采开发和采油工艺要求的前提下,充分考虑水平井钻井工艺和轨迹测量工艺,实现安全、顺利钻达地质目标。稠油热采井地质开发及采油要求如下:

(1)采油泵的下深既要有一定的沉没度,同时其工况又受到井斜角的影响。稠油热采井采油泵安放对井眼轨迹的要求是:距油层(水平段设计垂深)垂直高度 20m 井深处井斜角不大于 60° 。

(2)根据主力油层平面展布情况,地质设计水平段长为 210m 。

(3) 为适应热采工艺要求,完井油层套管(或筛管)尺寸应至少在 $\phi 177.8\text{mm}$ 以上。

结合以上要求,同时考虑到开发目的层垂深浅,结合目前水平井钻井技术、设备及工具能力,选择“直—增—稳”三段制井身剖面,该剖面相对简单,工具选择方便,施工易于控制。此外,三段制剖面弯曲(或高造斜率段)井段相对较短,利于降低管柱下入摩阻;为满足地质要求并结合先前在浅层钻水平井的施工经验,考虑到优化剖面,确保大尺寸套管能够安全顺利下入,可加快钻井速度,同时考虑到钻井成本控制等因素,确定造斜率为 $(13^\circ \sim 16^\circ)/30\text{m}$ 。表 1-1 是某油田某水平井设计井眼轨迹数据表。

表 1-1 某水平井设计井眼轨迹数据表

井段	井深, m	井斜角, ($^\circ$)	垂深, m	水平位移, m	造斜率, ($^\circ/30\text{m}$)
直井段	138.24	0	138.24	0	0
增斜段	276.70	60	252.29	66.11	13
	299.78	70	262.49	87.00	
	357.01	94.8	270.00	143.28	
水平段	567.01	94.8	252.42	352.55	0

三、直井钻机钻浅层稠油水平井固井和完井技术

浅层稠油油藏开发采用垂直井口、大尺寸完井管柱的井身结构对采油有利,但在总垂直深度有限的条件下,钻井完井的难度会大大增加。能否按设计要求,将大尺寸套管下至预定的深度,是开发方案决策的焦点问题之一。因此,在直井口浅层稠油水平井试验之前,对设计井身结构条件下完井管柱能否下入的可行性进行研究与论证,对完善浅层稠油水平井的井身结构,使整个开发试验得以成功实施具有重要意义。

1. 浅层稠油水平井技术套管连接螺纹的选择

针对稠油热采井保证井筒注蒸汽对套管良好密封能力的要求,根据 API 推荐的套管螺纹最高泄漏压力数据表明: $\phi 244.5\text{mmN80}$ 钢级套管 BTC 螺纹的最高泄漏压力高于 LTC (BTC 为 63.15MPa , 而 LTC 为 58.33MPa); $\phi 177.8\text{mmN80}$ 钢级套管 BTC 的最高泄漏压力为 81.29MPa , 而 LTC 为 65.64MPa 。此外,考虑热采井中温度引起的轴向载荷以及水平井中管柱的弯曲应力,应选取具有较大抗拉强度的螺纹类型,梯形螺纹 BTC 的抗拉安全系数和抗弯曲破坏能力都大于 LTC。综合考虑选择技术套管及完井套管的螺纹为 BTC。

2. 大尺寸技术套管的径向变形问题

应用直井钻机钻浅层大位移水平井,很显然提高了对造斜段造斜率的要求,同时,造斜率的提高,井眼曲率的增大,必然导致 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管的径向变形问题。水平井弯曲井段套管柱的设计应该考虑弯曲情况下套管的径向变形、螺纹连接强度和连接抗密封能力。发生径向变形的套管不但降低了套管的抗挤强度,还影响了钻井工具和完井工具的下入。因此,针对设计的井眼曲率,计算分析大尺寸套管径向变形是评估能否用直井钻机钻成浅层大位移水平井的重要工作之一。

采用有限单元分析法中的分步法对套管在弯曲井眼中的变形进行计算分析是利用有限元

管网单元模型求出套管在弯曲井眼内初始变形,再利用有限元板壳单元模型,计算套管的径向变形。

3. 下套管备用的加压方式

通过计算可知,对于目的层垂深为 270m 的水平井来说, $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管下入大钩载荷余量 34.58kN, $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管可以安全下入,对于垂深仅 149.5m 的浅层稠油水平井,技术套管下入存在一定风险,大钩载荷已经达到临界值,为保证套管柱下入的安全性,还需备用加压方案,以防止套管下入过程中由于井眼条件等其他因素造成的实际摩阻大于理论计算摩阻,从而出现套管柱自重不足的情况。具体施工中可考虑备用以下三种加压方式:

(1)下套管施工前现场准备好大尺寸钻铤,作为井口套管柱下入的备用加压手段,增加套管下入的安全性。

(2)地面储备 15m^3 重泥浆(密度在 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上),在套管柱下入过程中需加压的情况下灌入套管中,增加套管自重,以增大下入力。

(3)井口重块辅助加压方式。该加压方式是根据所采用钻机型号加工的 $5\sim 10\text{t}$ 重量的加重块,将加重块与游车吊钩连为一体,一旦需要加压,将加重块坐于套管上,将套管压入井眼内。该加压方式较为简单,便于现场操作。

复习思考题

1. 浅层稠油水平井井身结构有哪些要求?
2. 采油地质开发和采油工艺对稠油热采井有哪些要求?
3. 浅层稠油水平井技术套管连接螺纹选择哪种类型?
4. 直井钻机钻浅层稠油水平井下套管加压方式有哪些?

第二节 疏松砂岩油藏水平井完井技术

一、水平井套管内滤砂管防砂完井技术

对于疏松砂岩油藏的水平井,国内各油田普遍采用套管固井射孔、管内滤砂管防砂完井,该技术已形成了较为完善的两种管柱结构,即悬挂式防砂管柱和平置式防砂管柱。其中,悬挂式防砂管柱主要由悬挂封隔器、扶正器、滤砂管和丝堵等组成。悬挂封隔器采用液压方式操作,一次投球,分级憋压,完成悬挂、坐封和丢手工序。坐封位置一般在井斜不大于 30° 的直井段。平置式防砂管柱主要由水平井封隔器、扶正器、滤砂管和丝堵等组成。平置式封隔器采用固定球座,无需投球可在水平段任意位置坐封和丢手,完成防砂施工。该管柱具有抗压强度高、施工工序简单、采用一次性管柱、作业周期短的优点。

这两种防砂管柱已在许多油田,例如胜利油田、冀东油田、大港油田不同类型油藏推广应用,截止到目前,已累计施工 200 余井次,取得了较好的效果。但同时还逐渐暴露出以下问题:

- (1)该完井方式投产费用高、油层污染严重、防砂寿命短。
- (2)滤砂管内通径较小,后期作业和措施难度大、费用高。