

井下作业井控技术

JINGXIA
ZUOYE
JINGKONG
JISHU

华北石油管理局井控技术培训中心◎编

358



石油工业出版社

TE358

3

井下作业井控技术

华北石油管理局井控技术培训中心 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书密切结合油田井下作业井控技术发展的实际,着重介绍了井控技术和井控设备两大部分内容,并给出了相应的复习思考题。

本书适合于从事井下作业的管理人员、专业技术人员、操作人员阅读,是井下作业人员井控培训的专用教材,也可作为有关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

井下作业井控技术/华北石油管理局井控技术培训中心编.
北京:石油工业出版社,2005.10

ISBN 7-5021-5249-0

I. 井…

II. 华…

III. 井下作业(油气田)-井控技术

IV. TE358

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第117513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.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 华北石油报社印刷厂

2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 16.25

字数: 400千字 印数: 1—2000册

定价: 32.00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

《井下作业井控技术》编委会

主 任	马永峰			
副 主 任	王合林	王计平		
编 委	王建华	王义宁	文 浩	高明山
	顾和元	周宝银	王立中	贾会存
	彭梓东	张六合	韩贵金	程安林
	杨海东	胡效军	贾忠杰	黄守国
	杨 伟	崔树清	贾 忠	陈信明
	孟宪宁	赵荣军	杨永宁	张 琦
主 编	马永峰	王合林		
副 主 编	王义宁	王计平	杨海东	贾忠杰
	黄守国	杨 伟		
编写人员	第一章:	王义宁	崔树清	
	第二章:	贾忠杰	黄守国	
	第三章:	黄守国	李金炭	
	第四章:	周宝银	贾 忠	
	第五章:	黄守国	郑文清	
	第六章:	杨宪军	关树刚	
	第七章:	黄守国	郑爱军	
	第八章:	杨海东	陈信明	
	第九章:	郑爱军	贾忠杰	
	第十章:	杨 伟	杨朝臣	
	第十一章:	赵荣军	杨永宁	孟宪宁
	第十二章:	高明山	王立中	杨 伟
	第十三章:	杨 伟	李英斌	郭兴宏

序

井下作业井控技术是一项要求严密的系统工程，一旦发生井喷，轻者会使井下情况复杂化，对油气层造成不同程度的损害；重者会导致井喷失控，使油气资源受到严重的破坏，还易酿成火灾，造成人员伤亡、设备毁坏、油气井报废，并使自然环境受到污染。

井下作业井控管理工作涉及勘探、开发、设计、技术监督、安全、环保、物资装备及培训等多个单位、部门，多环节要协调配合。为进一步加强井下作业井控培训工作，使井下作业井控技术逐步走向科学化、标准化和正规化，提高井控管理能力和操作技能的水平，华北石油管理局特组织编写了《井下作业井控技术》一书。该书专业性强、涉及面广、内容丰富，可推荐给从事井下作业的管理技术人员和技术人员阅读，以达到促进井下作业井控技术提高和发展的目的。

邢祥国

2005年7月10日

前 言

井下作业的主要工作内容包括大修、小修、压裂、试油、测试等作业。在井下作业过程中，井下的不确定因素很多，无论油气水井的压力高低，都有发生井喷的危险。

井喷的确切定义应为：地层流体（油、气、水）无控制地涌入井筒，喷出地面（或流入井内其他地层）的现象。在井下作业中，一旦发生井喷，就会使井下情况复杂化，无法正常修井而被迫进行的压井作业会对油气层造成不同程度的损害。同时，井喷后极易导致失控，井喷失控后，将使油气资源受到严重破坏，还易酿成火灾，造成人员伤亡、设备毁坏、油气井报废，并使自然环境受到污染。

随着油气勘探开发工作的不断深入，井下作业井控工作显得尤为重要，特别是近几年来油气井失控现象较多；同时井下作业施工标准要求高、施工难度大，所以只有不断研究油气井井下作业井控技术，不断提高作业人员的井控意识和操作水平，才能安全、有效地实施井下作业，在安全开发油气层的同时保护油气层。

为了恢复油（气、水）井正常生产，保证油（气、水）井维修作业的正常进行，目前国内井下作业井控技术发展较快。尤其是重庆开县“12·23”特大井喷事故发生后，各油田为适应不断发展的井控工作的需要，都陆续加强了井下作业井控培训工作，并在软件及硬件建设上初具规模。

为进一步加强各油气田井下作业井控培训工作，使我国的井下作业井控技术向科学化、标准化和正规化发展，推进井控培训工作的制度化、规范化、科学化，培养高素质石油工程作业队伍，确保安全生产，我们组织人员，结合井下作业井控技术发展的现状，编写了本培训教材。

我们曾多次到各井下作业单位调研、论证，召开座谈会，广泛听取专家、工程技术人员及一线技术人员的意见和建议，收集资料，反复研究、讨论，力求做到内容科学、完整、严谨、实用。

本教材适用于井下作业现场操作人员、井下作业生产管理人员、井下作业专业技术人员、现场服务及相关技术人员等井下作业人员的井控培训。

在教材的编写过程中，得到中国石油天然气集团公司工程技术与市场部郑毅副总工程师，中国石油天然气集团公司工程技术与市场部处长、石油协会副秘书长、井下作业协会秘书长王计平的热情帮助和指导。还得到井下作业单位，尤其是华北石油管理局工程处和华北井下作业公司领导和部分专家、工程技术人员的大力支持和帮助，在此一并表示衷心感谢！尽管我们做了最大努力，但由于时间仓促，本教材难免有错误和不足之处，敬请同行及读者给予批评指正。

编 者

2005年6月8日

目 录

第一部分 井控技术

第一章 油（气）井	(3)
第一节 油（气）井的概念.....	(3)
第二节 完井.....	(7)
第三节 油（气）层保护	(13)
第二章 井控技术概述	(19)
第一节 井控的基本知识	(19)
第二节 井喷失控的危害及原因	(20)
第三节 做好井控工作	(24)
第四节 修井与钻井井控的区别	(27)
第三章 井控设计	(30)
第一节 油（气）井的基本数据	(30)
第二节 井控设计的主要内容	(32)
第三节 重大事故应急救援预案	(39)
第四章 压力	(46)
第一节 井下各种压力定义与说明	(46)
第二节 井下压力系统的平衡关系	(50)
第五章 溢流与控制	(53)
第一节 气侵的特点	(53)
第二节 修井液自动外溢和井喷的条件	(57)
第三节 溢流的原因与预防	(60)
第四节 溢流的发现与控制	(63)
第六章 井下作业施工中的防喷	(72)
第一节 施工前的井控准备	(72)
第二节 施工中的防喷	(73)
第三节 井下作业过程中发生井喷的安全处理	(80)
第七章 压井	(82)
第一节 压井概述	(82)
第二节 压井液的选择	(84)
第三节 压井方法	(88)
第四节 井底常压法压井	(92)
第五节 特殊井压井工艺	(98)
第六节 注水井喷水降压.....	(102)

第八章 含硫化氢井的防护及防火防爆	(104)
第一节 硫化氢的来源和特性.....	(104)
第二节 硫化氢井的施工和安全.....	(106)
第三节 硫化氢对人体的危害、急救与护理.....	(113)
第四节 防火防爆.....	(117)
第五节 环境保护.....	(123)
第九章 井控防喷演习及模拟装置	(128)
第一节 使用手动半封闸板防喷器的防喷演习.....	(128)
第二节 使用手动全封闸板防喷器的防喷演习.....	(129)
第三节 使用液动双闸板防喷器的防喷演习.....	(129)
第四节 抢装简易井口防喷装置的防喷演习.....	(131)
第五节 井控模拟器.....	(132)
井控技术复习思考题	(135)

第二部分 井控设备

第十章 井控设备概述	(141)
第一节 石油井井口.....	(141)
第二节 井控设备的概念及构成.....	(146)
第三节 井口防喷器的型号与组合.....	(148)
第四节 井控设备使用要求及判废标准.....	(149)
第十一章 井口井控装备与管柱内防喷工具	(151)
第一节 采油树.....	(151)
第二节 手动防喷器.....	(154)
第三节 液压防喷器.....	(159)
第四节 管柱内防喷工具.....	(167)
第五节 防喷器和内防喷工具的试压标准及试压装置.....	(169)
第六节 防喷器的维护保养.....	(175)
第七节 旋转防喷器.....	(179)
第八节 高压天然气井井控装置.....	(182)
第九节 防喷器的发展趋势.....	(182)
第十二章 节流与压井管汇	(184)
第一节 概述.....	(184)
第二节 节流、压井管汇主要阀件.....	(185)
第三节 节流、压井管汇的保养与使用.....	(188)
第十三章 控制装置	(189)
第一节 概述.....	(189)
第二节 FK2403 型控制装置.....	(191)
第三节 控制装置的主要部件.....	(192)
第四节 控制装置现场调试.....	(202)
第五节 控制装置工况和常见故障处理.....	(203)

第六节 FKQ 4005A 型控制装置简述	(204)
井控设备复习思考题	(208)

附 录

附录一 石油与天然气井下作业井控规定	(213)
附录二 有关量和单位	(224)
一、泵车排量和压力表	(224)
二、常用压井液配制表	(224)
三、常用单位及其换算关系	(225)
四、常用单位换算公式	(226)
五、油管、套管容积表	(231)
六、油管—套管环空容积表	(237)
参考文献	(248)

第一部分

井 控 技 术

第一章 油（气）井

中国石油天然气集团公司颁发的《石油与天然气井下作业井控规定》中明确指出，施工井的地理位置、井身结构状况、施工层段的基本数据、钻井资料和修井史等是搞好井下井控所必需的资料，也是做好井下井控工作的前提条件，因此，井下井控工作者应该掌握有关油（气）井的基本知识。

第一节 油（气）井的概念

一、基本概念

1. 井

某些矿藏深埋在地下，要想把它们开采出来，需要在地面和目的层之间建立一条通道，这条通道就称为井。比如说，水层至地面的通道就是水井；油层至地面的通道就称为油井（见图 1-1 所示）。

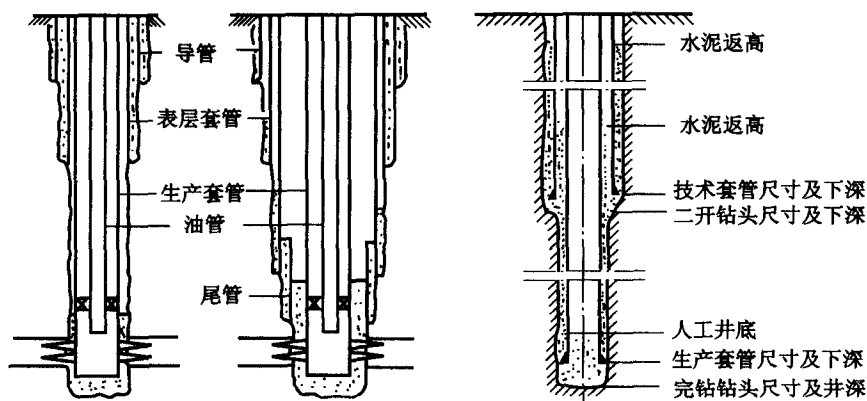


图 1-1 井

2. 油（气）井

为了开采石油（或天然气），在油田勘探和开发过程中，凡是为从地下获得油（或天然气）而钻的井，统称为油（气）井。

3. 井的作用

- (1) 获得石油勘探所需要的地质资料，发现油（气）层，评价油（气）田。
- (2) 开采地下的石油和天然气。
- (3) 检查注水开发油田的注水剖面及水线推进情况，检查注水开发情况。
- (4) 改造油（气）层，如油层水利压裂、酸处理等。
- (5) 进行油（气）层的测试。
- (6) 通过某些注水井往地层注水。

4. 油（气）井的分类

石油（天然气）井分类叙述如下：

(1) 依据井的作用分。

①采油井（简称油井）：为开采地下油层中的原油而钻的井。主要用于采油。由于采油方式不同，又分为自喷井和抽油井。

②采气井（气）：专为开采地下储气层中的天然气而钻的井。

③注水井（水井）：在注水开发的油田上，为向油层注水补充能量而钻的井。注水井在油田开发中虽然不能直接采出原油，但对保持油层压力起着重要的作用。

④注气井：在注气开发的油田上，为向油层注气补充能量而钻的井。除特殊需要外，一般不专门打注气井，而是把注水井或采油井改为注气井。一般向井内注氮气，氮气的性能稳定，相对价格较低。

水源井：为给注水井、油田工业用水和民用水提供充足水源而钻的井。一般在位于油田边缘、储量丰富的浅水层钻井。

观察井和实验井：在油田开发过程中，为了解油层动态，油、气、水运动规律和变化情况而钻的井。这类井既是观察井、实验井又是生产井。

调整井：在油田开发过程中，为调整开发方案而钻的井。

(2) 依据井的深度分。

依据井的深度不同，一般分为浅井、中深井、深井和超深井四种。

当前，世界上还没有一个按照井的深度分类的统一标准。我国有关修井作业专业会议及部门的一致看法是：井深 500~1000m 为浅井；1000~2500m 为中深井；2500~4000m 为深井；4000m 以上的井为超深井。

(3) 依据井身结构情况分。

①垂直井（如图 1-1 所示）。

②水平井（如图 1-2 所示）。

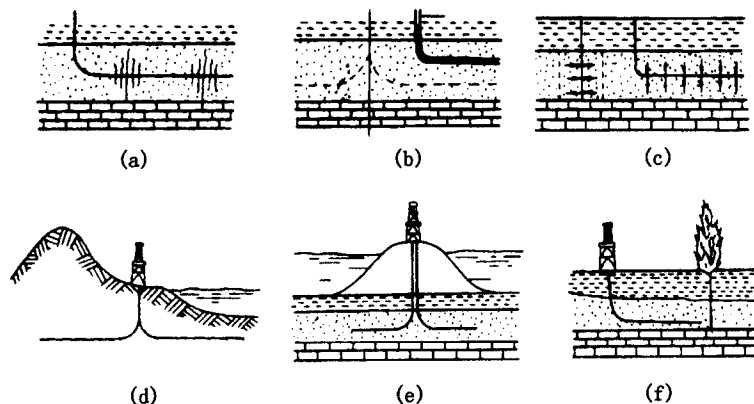


图 1-2 水平井应用示意图

(a) 裂缝地层；(b) 水锥进油层；(c) 笄油开采；(d) 井位受限制；(e) 人工岛；(f) 救援井

我国在“八五”期间进行水平井攻关时，给水平井下的定义：“井斜角超过 85° （不小于 83° ）之后，并延伸不小于产层厚度的 6 倍的定向井。”小于 83° ，只能算大斜度定向井，

在产层内延伸超过产层厚度 6 倍，才可能超过直井的效益。“水平井”和“水平钻井”的提法不太确切；英语还有一个名词“横向钻井”（Lateral Drilling），在产层内横向钻井，比“水平钻井”更确切。

③分支井（如图 1-3、图 1-4 所示）。

④大位移井（如图 1-5 所示）。



图 1-3 分支井（I）

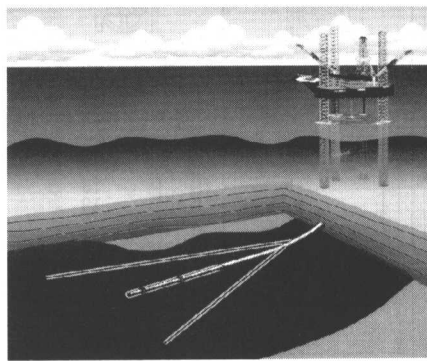


图 1-4 分支井（II）

大位移井的定义，没有统一标准，且是个发展概念。

初期认为有两个条件：水平位移超过 3000m；平垂比大于 1，后提出水平位移超过 3000m；平垂比大于 2。定义的界限主要反映了技术难度。大位移井技术是在水平井技术基础上发展起来的，是当代定向井钻井技术的新的里程碑。目前国外的大位移井水平位移远远大于 3000m；平垂比也远远大于 2。大位移井的主要用途是油藏所在的地球表面上，难以建立

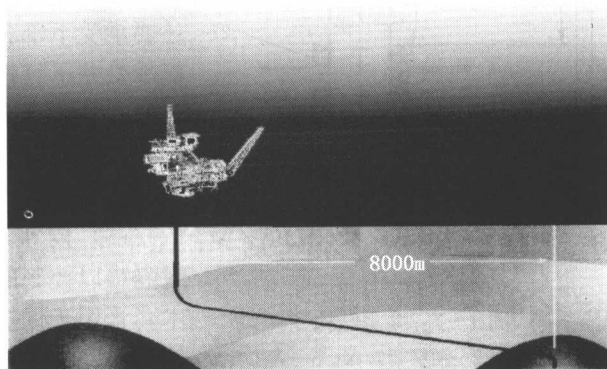


图 1-5 大位移井

立钻井井场，建立井场需要花费很大代价，从距离很远的已有的陆上钻井井场或水上钻井平台上向该油藏钻探井或开发井。大约从 20 世纪 30 年代初，在美国加利福尼亚海岸上向海里

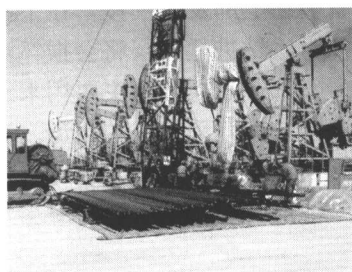


图 1-6 正在开发中的丛式井组

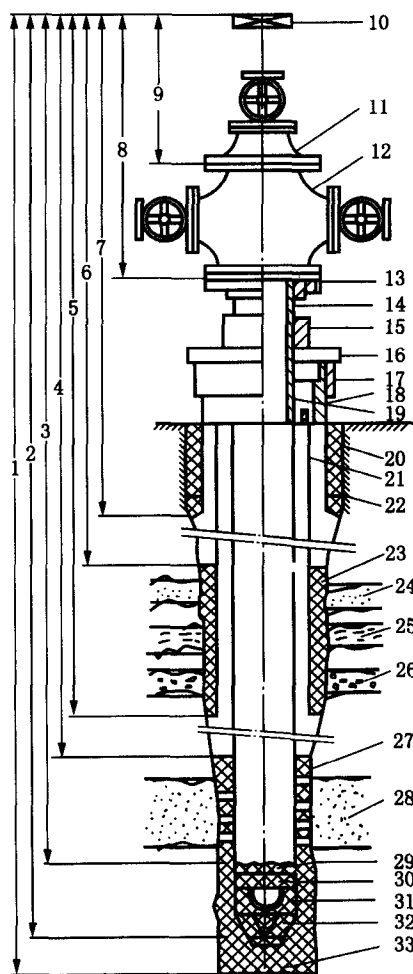


图 1-7 井身结构

1—完钻井深；2—油层套管深；3—人工井底深度；4—油层套管水泥返高；5—技术套管深度；6—技术套管水泥返高；7—表层套管深度；8—套补距；9—油补距；10—方补心；11—油管头；12—四通；13—套管头法兰；14—短节；15—套管接箍；16—环型铁板；17—表层套管接箍；18—表层套管；19—油层套管；20—导管；21—技术套管；22—表层套管水泥环；23—技术套管水泥环；24—易塌砂层；25—高含水层；26—气层；27—油层水泥环；28—底部油层；29—人工井底；30—胶塞；31—承压环；32—套管鞋；33—完钻井底

钻定向井时，就可以认为这种做法就是体现了钻大位移井的思想。但由于当时技术的限制，实际只能钻小位移的定向井。现代大位移井大约从 20 世纪 80 年代末、90 年代初开始。

⑤丛式井（如图 1-6 所示）。

二、井身结构

1. 井身结构

井身结构是指由直径、深度和作用各不相同，且均注水泥封固环形空间而形成的轴心线重合的一组套管和水泥环的组合（如图 1-7 所示）。

2. 组成及作用

一般来说井身结构主要由导管、表层套管、技术套管、油层套管及各层套管外水泥环组成。

(1) 导管：导管主要用来保护井口附近地层；用来封隔土层、胶结不好的地层，并提供一个耐久的套管坐放位置。在钻穿含油气层以前下导管。

(2) 表层套管：表层套管主要用来封隔上部不稳定地层并为了安装防喷装置而下入的一层套管。表层套管还要承受下部各层套管的部分重力。因此，表层套管要能承受井下气侵或井喷时的地层压力，套管在设计中主要考虑抗内压力，防止在关井时，套管承受高压而被压爆裂。表层套管下入深度依地区而不同，一般在 300~1200m 之间。

(3) 技术套管（或中间套管）：技术套管主要用来封隔难以控制的复杂地层，保证钻井工作进行。技术套管用于保护上部薄弱的地层，免受因平衡下部地层用高密度钻井液的影响，或是用于隔开上部高压地层以便在下部地层使用低密度钻井液。当高压层在低压层的上面时，技术套管应下过高压层以便能以较小钻井液密度钻进下面的低压地层。如果不下技术套管，就可能出现一些问题。上部地层所用的高密度的钻井液可能压裂下部地层，就会在上部发生气侵，在下部发生井漏。若试图用超平衡方法钻进低压层将会损坏油气层。

(4) 油层套管：油层套管主要用来封隔油、气、水层，建立一条供长期开采油气的通道。油层套管又称生产套管，一般据综合分析如果井有生产能力，在完井之前，下入油层套管，水泥返高应当封过油气层以上 150m。

(5) 水泥环主要用来支撑和保护各层套管、封隔油、气、水，保护生产层。

3. 套管设计

油井套管是由优质钢材制成的无缝管或焊接管，两端均加工有锥形螺纹。大多数的套管是用套管接箍连接组成管柱。

(1) 套管柱设计：指套管层次及各层套管下入深度的确定。

(2) 套管柱设计原则：能有效地保护油、气层；能避免产生井漏、井喷、井塌、卡钻；具有处理压井溢流的能力；经济性好，成本低。

(3) 套管柱强度：套管柱下入井中之后要受到各种力的作用。在不同类型的井中或在一口井的不同生产时期，套管柱的受力是不同的。套管柱所受的基本载荷可分为轴向拉力、外挤压力和内压力。套管柱的受力分析是套管柱强度设计的基础，在设计套管柱时应当根据套管的最危险情况来考虑套管的基本载荷。

①套管柱轴向拉力一般在井口处最大。套管柱受拉应力引起的破坏形式有两种：一种是套管本体被拉断；另一种是螺纹处滑脱，称为脱扣。经大量的室内研究及现场应用表明，套管在受到拉应力时，螺纹处滑脱比本体拉断的情况要多，尤其是最常见的圆螺纹套管更是如此。

②套管柱所受的外挤压力，主要来自管外液柱压力、地层中流体的压力、高塑性岩石的侧向挤压力及其他作业时产生的压力。一般情况下，在常规套管的设计中，外挤压力按最危险的情况来考虑，即按套管全部掏空（套管内无液体），套管承受钻井液柱压力计算。

③套管柱所受内压力的来源有：地层流体（油、气、水）进入套管产生的压力及生产中特殊作业（压裂、酸化、注水）时的外来压力。当井口敞开时，套管内压力等于管内流体产生的压力，当井口关闭时，内压力等于井口压力与流体压力之和。

(4) 套管强度设计：是依据套管所受的外载，根据套管的强度建立一个安全的平衡关系。目前使用较多的是等安全系数法：外载乘安全系数不大于套管强度。

在实际套管设计的时候，应考虑以下三个方面：

- ①应满足钻井、油气层开发和产层改造的需要；
- ②在承受外载时应有一定的储备能力；
- ③经济性要好。

第二节 完 井

完井主要包括钻开生产层，确定井底完成，安装井底及井口装置和试油。完井方式的选择是完井工程的重要环节之一，目前完井方式有多种类型，但都有其各自的适用条件和局限性。只有根据油气藏类型和油气层的特性去选择最合适的完井方式，才能有效地开发油气田，延长油气井的寿命和提高经济效益。

一、完井方式

合理的完井方式应该力求满足以下要求：

- ①要有效地连通井底和油气层，油、气入井的流动阻力最小。
- ②要能妥善处理封隔油、气、水层，防止各地层（油、气、水）之间互相窜扰。
- ③能克服井壁坍塌和油层出砂的影响，保证油（气）井长期稳定生产。
- ④能进行下一步增产措施（如调剖堵水、酸化压裂）及便于修井作业。
- ⑤工艺简便，完井速度快，成本较低。

⑥便于分采、分注。稠油井开采能达到注蒸汽热采的要求。

⑦油、气层和井筒之间应保持最佳的连通条件，油、气层所受伤害最小。

⑧油气田开发后期具备侧钻的条件。

目前国内外完井方式主要有套管或尾管射孔完井、裸眼完井、割缝衬管完井、裸眼或套管内砾石充填完井等。

1. 射孔完井方式

射孔完井是国内外最主要的一种完井方式，包括套管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注水泥固井，再用射孔器对准油气层部位射孔，射穿套管和水泥环并进入地层一定深度，为油气流入井筒打开通道。如图 1-8 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，以避免油层间干扰，还可避开夹层水、底水和气顶，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。

(2) 尾管射孔完井。

尾管射孔完井是在钻头钻至油层顶界后，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在技术套管上。尾管和技术套管的重合段一般不小于 50m。再对尾管注水泥固井，然后射孔，如图 1-9 所示。

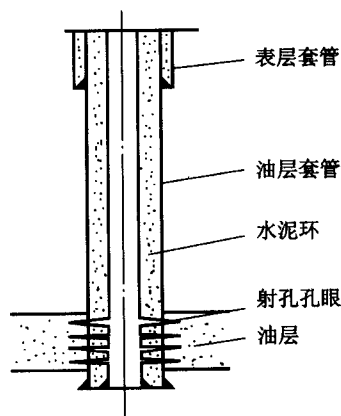


图 1-8 套管射孔完井示意图

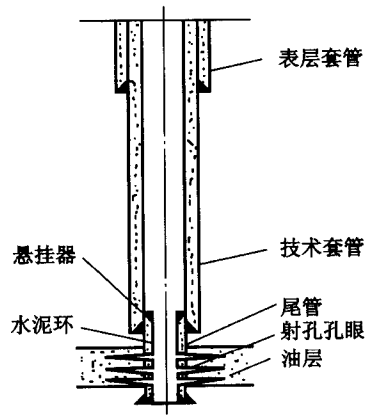


图 1-9 尾管射孔完井示意图

套管射孔完井由于在钻开油层以前上部地层已被技术套管注水泥封固，因此，可以采用与油层相配伍的钻井液以平衡压力、欠平衡压力的方法钻开油层，有利于保护油层。此外，这种完井方法可以减少套管重量和油井水泥用量，从而降低完井成本。

目前较深的油、气井大多数采用此方法。

2. 裸眼完井方式

裸眼完井方式有两种完井工序：一是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较小的钻头，钻穿水泥塞，钻开油层至设计井深完井，如图 1-10 所示。