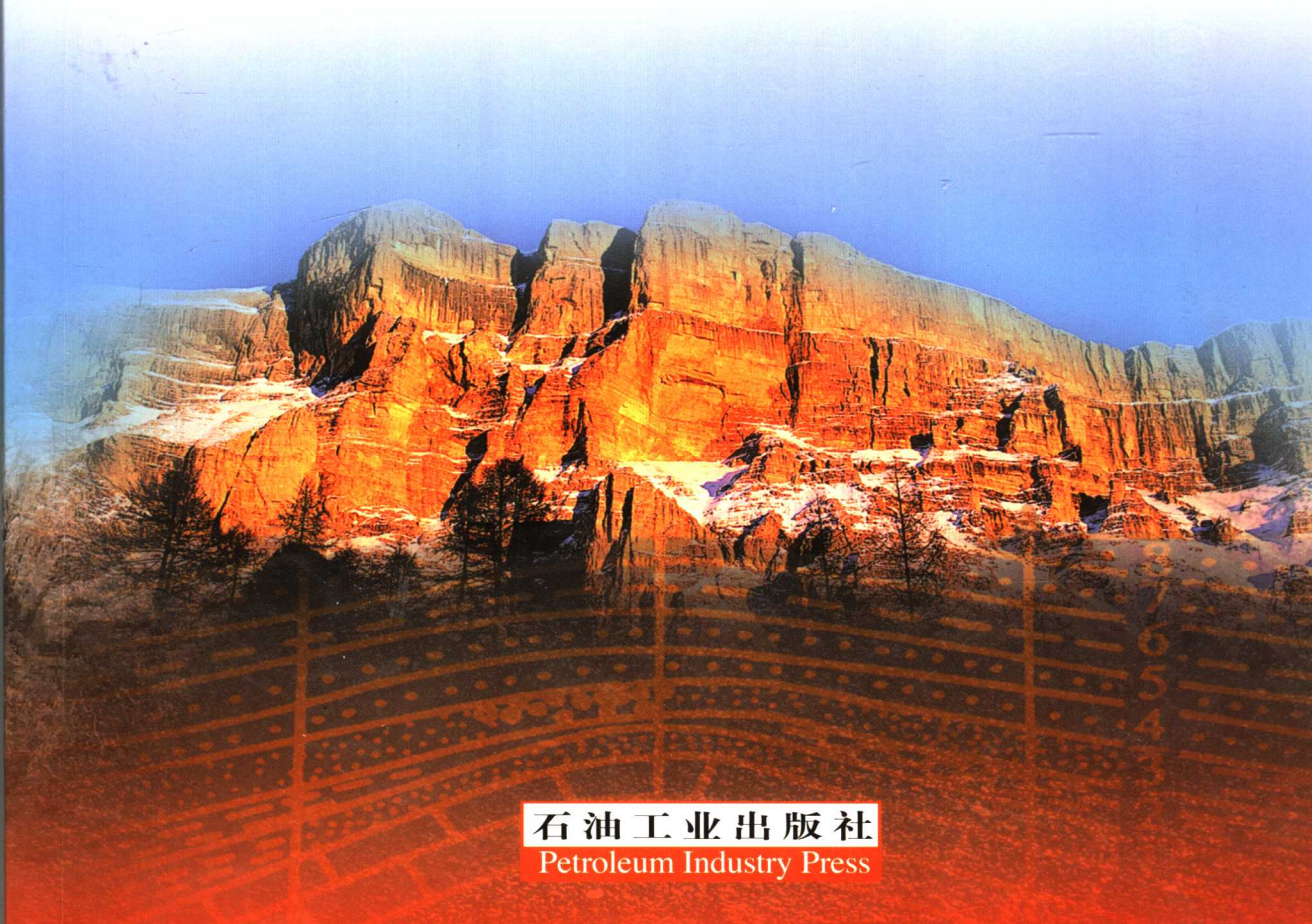




石油高职高专规划教材

油气田开发地质

崔廷主 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职高专规划教材

油气田开发地质

崔廷主 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书按油气田开发进程,介绍了各种油气田开发静态、动态资料的收集、整理;系统论述了油气藏地质特征;重点阐述了开发过程中的地质变化、油层水洗和剩余油分布规律;以油气藏动态分析为基础,分析了如何利用油气藏地质特征及变化规律优化油气田开发,提高最终采收率。

本书可作为高职高专油气开采技术、油气藏分析技术、钻井技术等专业教材,也可供参加职业技能鉴定与培训的职工参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气田开发地质/崔廷主 主编.

北京:石油工业出版社,2007.4

石油高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-5931-3

I. 油…

II. 崔…

III. 石油天然气地质-高等学校:技术学校-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第010849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)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:16.5

字数:416千字 印数:1—3000册

定价:24.00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

本教材是根据石油高职高专教学与教材规划研讨会精神编写的。编者试图从地质信息的收集整理入手,通过分析油气田地质特征,利用开发地质基本方法,重点研究水驱油田在注水开发过程中的各种变化规律,为优化油气田开发、管理服务。

油气田开发地质是近 20 年发展起来并逐渐成熟的一门石油地质的重要分支学科,是油田开发深入发展的产物。就工作方法而论,它属于地下地质范畴,但它除了研究油气田静态地质特征外,还对油田开发动态作出地质分析。由石油工业发展史可以看出,早期主要是开发一些高产的自喷油田,石油地质工作者的主要任务是寻找新油气田。随着油气田的大量开发,油田类型增多,研究提高油田开发效果和经济效益的任务更为突出,要以较少的投资去获得较好的经济效益和最高的采收率,开发地质工作者负有重要的责任。大量油田的开发实践证明,地质因素是决定油田开发效果的关键因素,油气田开发方案和各种措施的成败,无不与油田地质特征有关,因为它是决定油田开发效果的基本因素。目前我国大部分油田,特别是东部大、中型油气田已进入高含水期,开发难度不断加大,出现了许多新问题,加上后备储量不足,“控水稳油”是当务之急。要开发好油田,最大限度地提高采收率,就要依靠科学、合理的开发措施和先进的采油技术,而这些措施与技术的实施,又必须以地下地质条件为出发点,建立在对油气田开发地质深入研究的基础上,只有这样,才能做到“有的放矢”、“施之有效”地搞好油田开发。由此可见,开发地质是油田开发系统工程中不可缺少的一门学科。

本教材依据油气田开发进程,系统阐述了油气田开发地质的基本理论和研究方法,总结了当今油气田开发最新成果及发展趋势。本书共分十章:第一章为钻井地质,重点介绍了各种地质录井资料的收集与整理;第二章为地层测试,重点介绍了油井测试、气井测试、钻具测试资料的收集与整理;第三章为油气田地下构造研究,重点介绍了地下构造研究方法途径、断层研究及地质剖面图与构造图的编制与应用;第四章为地层压力、温度与油气藏驱动,主要介绍了压力、温度研究方法及其应用和油气藏驱动类型及其与采收率的关系;第五章为油田水,简要介绍了油田水特征及垂直分带和平面变化;第六章为油气储集层研究,系统论述了储集层研究内容和油层对比、储集层非均质性研究方法,并简要介绍了储集层地质模型与综合评价;第七章为油藏开发期地质特征,在介绍油田开发阶段的划分的基础上,重点论述了开发过程中的油藏地质一系列变化规律和油层水洗规律以及如何应用这些规律指导油田开发;第八章为油藏开发地质设计,讲述了开发层系划分与开发方式选择以及井网井距设计和开发方案优化;第九章为油气田动态分析,阐述了油气田动态分析方法和油气藏开发研究的主要内容、方法;第十章为剩余油分布研究,介绍了剩余油剖面、平面分布特征及其在油田开发中的应用。

本书由崔廷主任主编,张向新、王福生任副主编,山东胜利职业学院张传河任主审。编写分工为:天津石油职业技术学院潘风桐编写第一章,韩福永编写第二章第一、三节;大庆职业学院赵玉林编写第三章;渤海石油职业学院王福生编写第四章;承德石油高等专科学校何耀春编写第五章;山东胜利职业学院常兵民编写第六章第一、二节,房新娜编写第六章第三、四节,崔廷主编写第七章;天津工程职业技术学院张向新编写第八章;重庆科技学院刘静编写第九章、第二章第二节;崔廷主、张向新编写第十章。

油气田开发地质是一门综合性学科,它与石油地质基础、油藏工程、油田开发、测井、试井等课程彼此结合,相互渗透,互为补充。要学好油气田开发地质,应先有石油地质基础、油层物理、渗流力学、测井等课程的知识基础。

由于油气田开发地质与油气田开发生产实际紧密结合,有较强的实践性,为此,应安排一定学时的室内综合训练或到油田现场生产实习,以增加学生分析和解决实际问题的能力。

教材为适应高职高专学生学习需要,每章后有小结和复习思考题;对知识点的叙述重点放在分析与应用上。

该教材主要适应于高职高专油气开采技术专业,兼顾油气藏分析技术、钻井技术等专业,是学生在学习了《石油地质基础》课程之后,为进一步掌握油气田开发地质知识而开设的一门课程。不同专业可根据实际需要适当删减内容,也可根据当地油气田开发实际增加新内容。章节前打“*”号的内容为选学或自学内容。

由于我们水平有限,书中难免存在错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2006年11月

目 录

第一章 钻井地质	(1)
第一节 地质设计	(1)
第二节 地质录井	(7)
* 第三节 全自动综合录井仪简介	(21)
* 第四节 油、气、水层解释	(24)
第五节 完井及其资料整理	(28)
本章小结	(32)
复习思考题	(32)
第二章 地层测试	(34)
第一节 油井测试	(34)
第二节 气井测试	(40)
第三节 钻具测试	(47)
本章小结	(56)
复习思考题	(57)
第三章 油气田地下构造研究	(59)
第一节 油气田地下构造研究概述	(59)
第二节 断层研究	(60)
第三节 油气田地质剖面图的编制与应用	(69)
第四节 油气田构造图的编制与应用	(74)
* 第五节 构造裂缝的研究	(79)
本章小结	(85)
复习思考题	(85)
第四章 地层压力、温度与油气藏驱动	(87)
第一节 地层压力	(87)
第二节 地层温度	(98)
第三节 油气藏驱动	(103)
本章小结	(109)
复习思考题	(109)

* 第五章 油田水	(110)
第一节 油田水的概念	(110)
第二节 油田水的化学组成和性质	(111)
第三节 油田水分类	(113)
第四节 油田水化学异常及应用	(115)
本章小结	(118)
复习思考题	(118)
第六章 油气储集层研究	(119)
第一节 油气储集层研究概述	(119)
第二节 油层对比	(122)
第三节 非均质性研究	(144)
* 第四节 地质模型与综合评价	(160)
本章小结	(167)
复习思考题	(167)
第七章 油藏开发期地质特征	(168)
第一节 油田开发阶段的划分	(168)
第二节 开发过程中的油藏地质变化	(172)
第三节 油层水洗规律	(186)
本章小结	(190)
复习思考题	(191)
第八章 油藏开发地质设计	(192)
第一节 油藏开发地质设计概述	(192)
第二节 油田开发方针、基本原则和开发程序	(194)
第三节 开发层系划分与开发方式选择	(196)
第四节 注水方式的选择	(199)
第五节 井网井距设计	(206)
* 第六节 开发方案的选择、优化与调整	(211)
本章小结	(216)
复习思考题	(217)
第九章 油气田动态分析	(218)
第一节 油气田动态分析概述	(218)
第二节 油气田动态分析	(221)

第三节 油气藏开发研究	(231)
本章小结	(234)
复习思考题	(235)
第十章 剩余油分布研究	(236)
第一节 剩余油概述	(236)
第二节 剩余油分布特征	(238)
第三节 剩余油分布研究	(246)
本章小结	(251)
复习思考题	(252)
参考文献	(253)

第一章 钻井地质

石油、天然气都是流体,现在我们发现的油气田并不一定是这些矿床生成的位置。因此,对于石油工作者来说,一个很重要的方面就是必须应用钻井工艺技术,取得直接和间接的资料进行钻井地质研究,提高各类井的成功率。经过钻探(初探、详探)后,了解地下油气藏的地质构造、油气藏类型、油气层的物理性质、地下流体(油、气、水)的性质和分布、油层驱动能量及油气储量,根据这些资料制定出合理的油气田开放方案,保证油气田在完成开发井网的钻探后获得较高采收率。因此,钻井地质是油气田开发地质的基础。要找到石油和天然气必须钻井;要开采石油和天然气,更需要钻井。钻井地质工作贯穿于石油勘探和油气田开发的全过程。

第一节 地质设计

在一个新探区,为了迅速发现油气藏、及时扩大勘探成果,在已掌握区域地质、地球物理资料的基础上,需要编制一个钻探的总体设计。在总体设计中规定了勘探总任务,进行全区勘探的程序与方法、井别、井位部署等。

单井地质设计是根据钻探总体设计的要求编制的。它是完成总体设计任务的一部分,也是顺利完成钻探任务必不可少的一环。

一、井别划分与井号编排

1. 井别划分

(1)地质井:指在盆地普查阶段,由于地层、构造复杂,用地球物理勘探方法不能发现和查明地层、构造时,为了确定构造位置、形态,查明地层组成、接触关系及特殊地质问题而钻的探井。

(2)区域探井:指在油气区域勘探阶段,在地震普查的基础上,为了解一级构造单元的区域地层层序、岩性、生油条件、储油条件、生储盖组合关系,并为物探解释提供参数而钻的探井。它属于盆地(拗陷)进行区域早期评价的探井。

(3)预探井:指在油气勘探的圈闭预探阶段,在地震详查的基础上,以局部圈闭、新层系或构造带为对象,以发现油气藏、计算控制储量和预测储量为目的的探井。预探井又可分为:

①重点预探井:指在油气勘探的圈闭预探阶段,在地震详查的基础上,以有利油气聚集的二级构造带为对象,在新的构造上寻找油气田、计算预测储量为目的的探井。

②一般预探井:指在油气藏以外的局部圈闭、新区块、新层系、新领域,或在已探明的浅层油气藏之下寻找较深油气藏,以计算控制储量为目的的探井。

(4)评价井:指在已证实有工业性的含油气构造、断块或圈闭上,在地震精查的基础上,为查明油气藏类型,探明油气层分布、厚度及物性变化,评价油气田规模、产能及经济价值,建立探明储量为目的而钻的井。滚动勘探开发中与新增储量密切相关的井,亦可列为评价井。

(5)开发井:指为形成石油和天然气生产能力而钻的开发井网井。

(6) 水文井:指为了解水文地质问题和寻找水源而钻探的井。

2. 井号编排

井号的编排一般遵循以下一些原则:

(1) 各类井的井号,其字头一般冠以所在地区或所属圈闭(油藏)中的一个或两个中文字或其拼音字母做字头。例如克1井(克拉玛依油田1号井)、任4井(任丘油田4号井)等。

(2) 基准井应带“基”字,参数井应带“参”字。如松基3井(松辽盆地3号基准井,是大庆油田的发现井)、沙参2井(塔里木沙雅构造2号参数井)、江参1井(江汉盆地第一口参数井)等。

(3) 探井井号一般按部署顺序编排,而且最多为三位数。

(4) 开发井井号的编排有两种方法:

① 采用行列井网布井的油田一般按井排编号,如双24-36井(双台子油田第24排第36号井)等。

② 采用面积井网的中小油田则多用四位数字编号,其中第一、二位数字可按油田的分区进行规律性编排。如克拉玛依油田划分为一、二、……九等9个大区,各区的开发井均以相应分区的数字打头,克一区的开发井号为1×××,克九区的开发井号为9×××等。

(5) 观察井、检查井各油田均少,一般冠以“观”或“检”字并按自然数从小到大编排命名。如观1井,检7井等。

(6) 海上钻井井号编排分探井和开发井两种不同的编排方法。

① 探井按区-块-构造-井号命名方案,如BZ28-1-1(渤中区28块1号构造1号井)。采用经度1°、纬度1°面积分区,每区用海上或岸上的地名命名。区内按经度10′、纬度10′分块,每区划分为36块。每块内根据物探解释对局部圈闭进行编号。每个圈闭所钻的预探井为1号井,评价井为2、3…号井。

② 开发井按油田的汉语拼音字头-平台号-井号命名。如埕北油田用两座钻井平台A、B进行开发,每个平台设计钻开发井27口,A平台的井号编排为CB-A-1井至CB-A-27井;B平台的编排为CB-B-28井至CB-B-54井。

二、钻井地质设计

钻井地质分钻前准备、钻进中录井、钻后完井工作,钻井地质设计属于钻前准备。

1. 钻井地质设计依据

钻井地质设计的依据,主要有两个方面:一是钻井目的,二是已有的地质资料。

(1) 钻井目的:不同的井别有不同的钻井目的,不同的钻井目的资料录取的着重程度与地质录井工作量的大小不同。探井是以取资料为主要目的,其地质工作量很大;开发井是以建立采油注水通道为主要目的,其地质工作量一般较小。

(2) 区域地质情况与邻井地质资料:设计井所在地区的地层发育和剖面分布情况、总体构造特点、钻开地层的流体分布、流体性质、流体的压力和温度情况,这些资料是进行钻井地质设计的主要依据,在进行钻井地质设计之前应该系统地搜集。

2. 钻井地质设计内容和方法

(1) 设计内容。钻井地质设计的内容如下所述。

基本数据:井号、井别、井位、设计井深、目的层、完钻层位及完钻原则。

区域地质情况:所在工区的地层情况、构造情况、邻井成果等。

钻井目的任务:依下达的钻井任务书填写。

设计地层剖面及油气水层位置:包括层位、深度、厚度、分段岩性、地层产状和可能的钻井故障提示。

地层压力预测与钻井液要求:异常地层压力段、高产水段预测与钻井液性能要求。

取资料要求:各种录井的具体要求,如录井井段、资料点密度、采样要求、化验项目等。

中途测试要求:比如测试原则、测试目的、预计层位井段、测试方法及具体要求等。

井身质量要求:如井斜及井底位移要求、套管尺寸、水泥返高等。

技术说明及要求:如钻进中可能遇到的重大地质问题的处理原则与措施预案、特殊技术等。

环境资料:如地形特征、交通情况、气温、季风、雨季、汛期水位及其他环境资料。

附图、附表:附图主要有设计井位的地理位置图、区域构造图、过井剖面图、柱状剖面图等;附表主要有地层分层数据表。

以上设计内容基本上涵盖了参数井设计的主要内容,普通探井及开发井可根据具体地质任务和勘探精度适当删减。图 1-1 与图 1-2 为探井的钻井地质设计图。

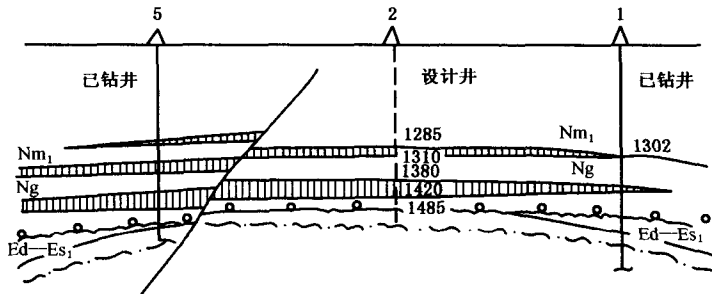


图 1-1 根据邻井钻井地质资料设计探井

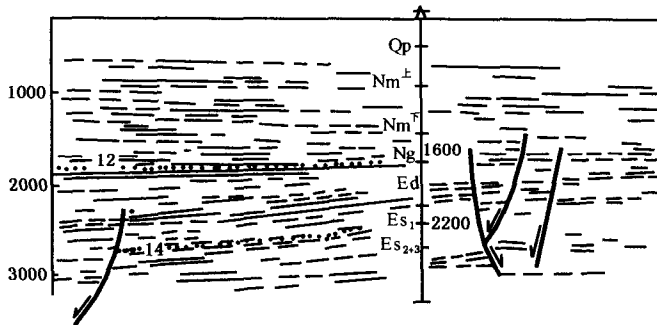


图 1-2 根据地震剖面设计探井

(2)设计方法。设计方法取决于拥有资料、依据的多少,关键是设计地层剖面。

新探区第一口探井的地层剖面设计:主要依据露头地区的地质资料和各种地球物理资料进行设计。

有邻井(区)钻探资料的探井地层剖面的设计:设计井周围邻井较少时,根据通过设计探井之地震剖面,参考深钻井资料完成;设计井周围邻井较多时,通过周围 3~4 口井,过设计井位作构造横剖面图,根据剖面图来完成地层剖面及目的层的设计。

三、定向井地质设计

定向井是指按一定的方向和斜度的要求钻达地下靶位的井。定向钻井技术已经比较成熟,国内各油田都已普遍应用。

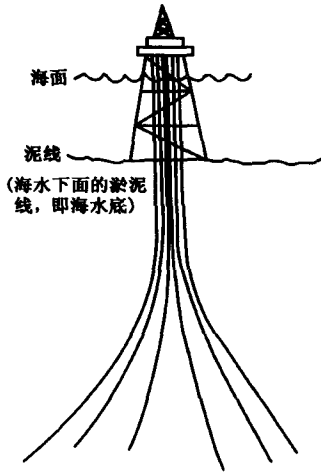


图 1-3 丛式井示意图

1. 定向井用途

(1) 丛式井:海上平台和陆上井场都大量钻丛式井以节省井场(平台)费用和方便井的管理(图 1-3)。

(2) 地面条件不允许设立井场:如地面有重要设施、建筑、水库、泥沼、山岭、滩涂等,就要另选井场钻定向井到需要的靶点(图 1-4)。

(3) 救险井:如油气井井喷着火无法扑灭时,在远离井场一定距离处钻定向井通向着火井地下靶点,以分散着火井的井底压力和油气流,从而达到制伏井喷的目的。

(4) 老井侧钻:在油田开发中,常有因井下事故、落物等原因需要侧钻的井;在油田开发到中后期,常有因如水淹、出砂、套管损坏等原因报废的井,对这样的井进行定向侧钻到距离原井眼一定距离的部位,可以获取一定的剩余油量。

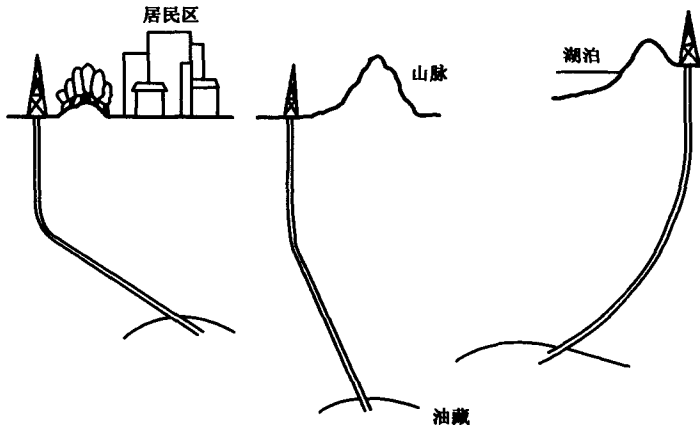


图 1-4 定向井应用示意图

2. 定向井井身剖面类型

定向井井身剖面类型主要有以下三种(图 1-5)。

(1) I 型井身剖面:在这种井身剖面中,初始造斜角是在比较浅的深度就开始的,造斜形成以后,就保持该井斜角沿斜线钻进到靶心。其表层套管一般下过造斜井段即可。I 型井身剖面通常用在中深井和大水平位移的深井中。

(2) II 型井身剖面:又叫 S 形曲线井身剖面。其井眼是在比较浅的深度就开始造斜,其表层套管一般下过造斜井段;之后,继续钻进达到水平位移要求,然后转弯并垂直钻达靶心。这种井身剖面一般要将技术套管下到第二个垂直井段适当位置,以解决复杂地层的控制问题。

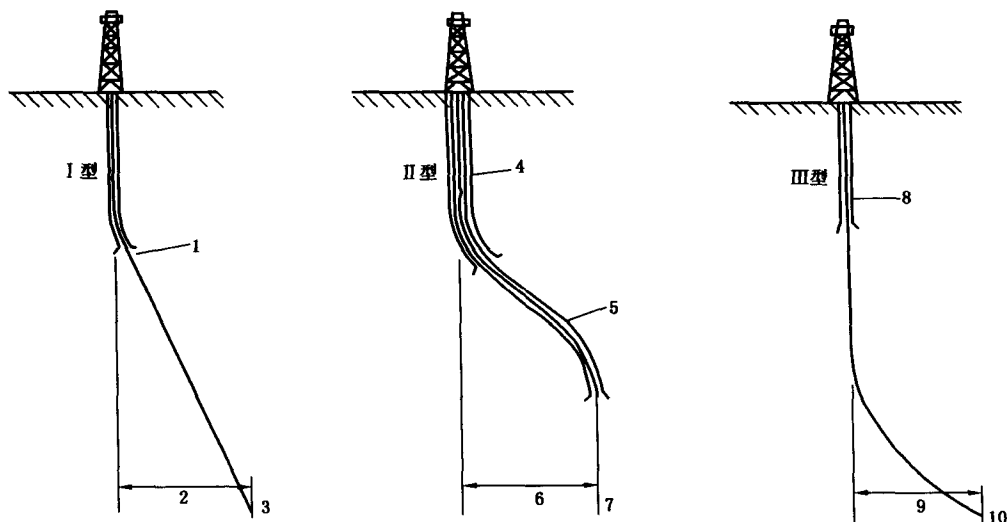


图 1-5 三种基本的定向井井身剖面类型

1—套管鞋;3,7,10—井底靶位深度;4,8—表层套管;5—技术(中间)套管;2,6,9—井底位移

(3) III型井身剖面:该井身剖面开始造斜的位置较深,其井斜角较大而水平位移较小。造斜部分很少下套管,这种井身剖面比较适合于只需要井底位移较小的井。

3. 定向井地质设计

定向井地质设计的依据及内容与直井设计相似,但由于定向井地面与地下井位有方位差异和水平位移,因此在井身剖面设计上与直井有明显的区别,主要有以下三点。

(1) 确定井底目标靶区:定向井的设计首先要规定井底靶区,即井眼必须在指定的深度和位置钻达的区域,靶区的大小或半径有严格的要求。

(2) 选择地面井位:定向井地面井位的选择,主要应该考虑地层倾斜趋势这一自然条件。当地层倾角较小时,钻头钻穿软硬交错的地层时往往会偏向于垂直于地层层面的井身路线;但当地层倾角较大(超过 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$)时,钻头则趋于平行地层层面前进。

(3) 选择井身剖面:定向井的井身剖面类型或井眼轨迹的设计,需要考虑靶区深度、井底位移大小和穿过地层的复杂情况来选择。如前所述, I 型剖面比较适合于中深井和大水平位移井; II 型剖面比较适合于复杂地层的控制(其技术套管下得比较深); III 型剖面则比较适合于较小位移的定向井。

由此可见,定向井设计就是根据地下和地面条件、靶区范围和靶心的垂直深度等资料,来选择最优的井身剖面。

4. 水平井地质设计

在油层部位的井眼倾斜角为 0° 或接近 0° 的定向井,就是水平井。由于水平井具有可以长距离穿越油层的优点,这就相当于大大增加了油层的厚度,从而提高了井的产油能力。因此,水平井特别适合于油层较薄的低产油藏(图 1-6)、低渗透率和特低渗透率的油藏,也适合于高角度裂缝发育的低渗透率油藏(图 1-7)。

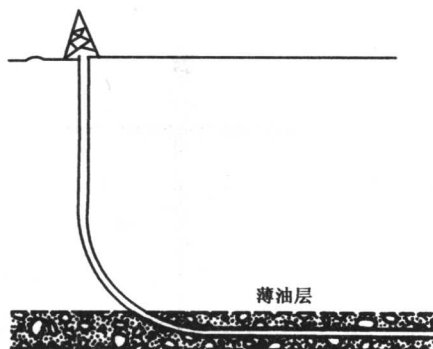


图 1-6 水平井用于开采薄油层

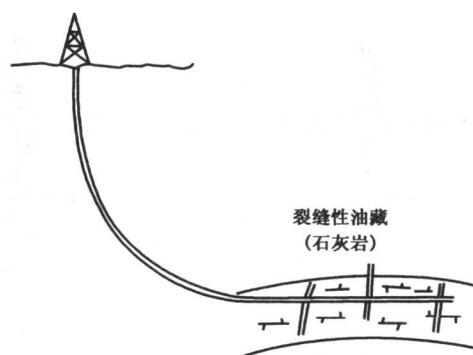


图 1-7 水平井用于开采高角度裂缝性油藏

水平井的地质设计基本上与定向井相同,不同处在于其水平段的长度、水平段在油藏部位的高度和水平段的方位。水平段的长度应依照单井产能的要求和油层渗透率的高低来确定:一般来说,水平段越长,其单井产量越高。因此,油层渗透率低时,其水平段应当设计长一些。水平段在油藏部位的高低取决于油藏开发的整体设计思想:如果采用底水驱,则水平段位置应当靠上,以留出足够的避水高度;如果采用气顶驱则相反,水平段应靠下以保证必要的避气高度;如无底水和气顶,则应依据油气储量在剖面上的总体分布情况取适中的高度。水平段在油层中的方位则主要考虑裂缝发育的方向性。

水平井技术是钻井技术的重要发展和进步,它克服了直井和斜井钻遇油层厚度小、成功率低的缺点。从水平井钻探情况看,水平井成本一般为直井的 2 倍,但单井产量一般是直井的 3~5 倍。从国内水平井应用情况看,成功的例子较多,但也存在应用不当的情况。比如有的裂缝型块状底水油藏,如果采用直井开采,底水上窜后还可以实施堵水并逐渐向上转移射孔井段,以获取较好的开发效果;但采用水平井后,虽然取得单井的短期高产,但底水一旦上窜造成水淹,则没有堵水和向上转移生产井段的可能,效果反而更差。

四、钻井地质预告

钻井地质预告是指导钻井和取全取准地质资料的重要措施。准确、及时的钻井地质预告可以提高钻进速度和录井工作质量,并减少钻井事故的发生。

现场进行钻井地质预告的方法,一般是采取大段控制、分层对比、选用标志层、及时校正深度的办法。这就是在仔细分析研究邻井或邻区资料的基础上,划分出特征比较明显的大套井段,然后有目的地捞取标志层岩屑,用标志层的深度变化校正地层层位,进行分段(大段)控制。显然,为了大段控制,选择标志层是十分重要的。

大段地层能够控制掌握,就为井下地层的层层预告打下了良好的基础。以邻井地层为依据,加强本井的小层对比,并从钻时曲线上找钻遇地层的层位、深度和厚度关系,对小层的深度和厚度变化进行比较准确的预告。由于一个地区的地层厚度常有变化,因此,一次预告不会很准确,这就要求要随时掌握井下地质情况,做好地层对比,及时修正钻井地质预告。

现场普遍应用的钻井地质预告图的绘制内容如图 1-8 所示。

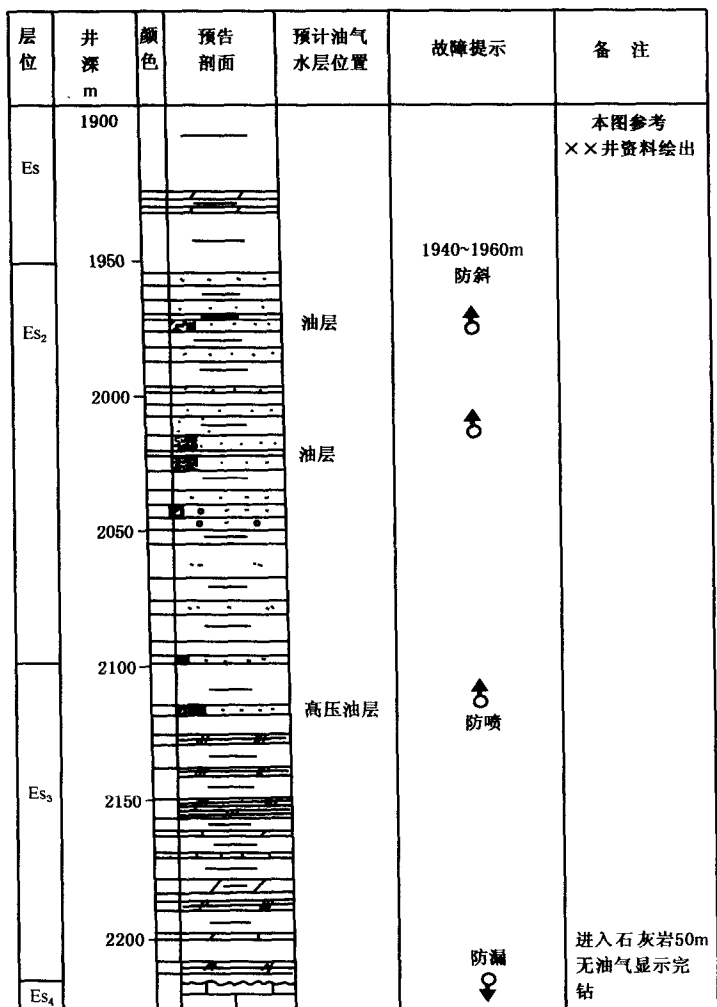


图 1-8 ××井钻井地质预告图

第二节 地质录井

地质录井(简称录井),是指在钻井过程中,根据井的设计要求,应用专用的设备和一定的工作方法,取全、取准直接和间接反映地下情况的各项资料,以判断井下地质及含油、气情况的工作。

录井方法主要有钻时录井、岩心录井、岩屑录井、钻井液录井、气测录井、荧光录井、井壁取心、地化录井等。本节仅介绍前 5 种录井方法。

一、钻时录井

钻时是指每钻进单位厚度岩层所需要的时间,单位为 min/m。在新探区,从井口开始每米记录一次钻时,到达目的层则可适当加密到 0.5~0.25m 记录一次。

钻进速度的快慢,除与钻井措施有关外,还取决于地下岩石的可钻性,因此,根据钻时的大小,可以判断井下地层岩性变化和缝洞发育情况。钻时录井简便、及时,现场应用广泛。

1. 影响钻时的因素

影响钻时的因素较多,主要影响因素有下述5种。

(1)岩石的可钻性:松软地层比坚硬地层钻时低。如疏松砂岩比致密砂岩钻时低;多孔的碳酸盐岩比致密石灰岩、白云岩钻时低。

(2)钻头类型与新旧程度:为了快速优质钻进,应当根据地层软硬不同,选择不同类型的钻头。新钻头一般比旧钻头钻时低,在钻时录井中,要记录钻头下入的井深,钻头的类型、尺寸、新度,并应仔细观察起出钻头的磨损情况,以判断所钻岩性。

(3)钻井措施与方式:在同一岩层中,钻压大、转速快、排量大,钻头对岩石破碎效率高,钻时低;相反,钻井措施不当,钻时高。

(4)钻井液性能与排量:低粘度、低密度、大排量的钻井液钻进快,钻时低。一般清水钻进比钻井液钻进的速度要高一倍以上。

(5)人为因素的影响:司钻的操作技术与熟练程度对钻时高低也有影响。

尽管影响钻时高低的因素较多,但是这些影响因素总是或者至少在一个井段内相对稳定,因此,钻时大小的相对变化可以反映地下岩性的变化。

2. 钻时曲线的绘制与应用

1) 钻时曲线的绘制

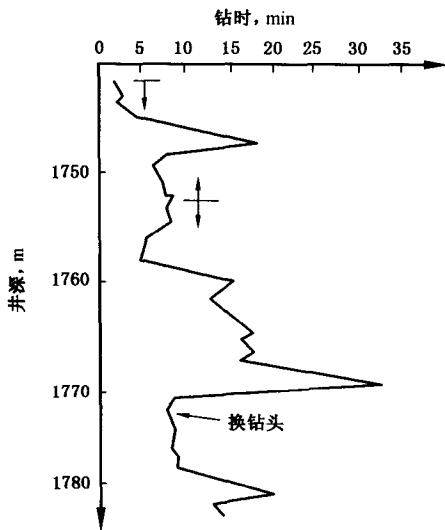


图 1-9 钻时曲线

以纵坐标代表井深,以横坐标代表钻时,将每个钻时点按纵横比例尺点在图上,连接各点即成为钻时曲线(图 1-9)。纵比例尺一般采用 1:500,以便与电测标准曲线对比和岩屑归位。横比例尺可根据钻时的大小选定,以能表示钻时变化为原则。为了便于解释,在曲线旁用符号或文字在相应深度上标注接单根、起下钻、跳钻、蹩钻、溜钻、卡钻和更换钻头位置及钻头尺寸、类型等内容。

2) 钻时曲线的应用

钻时曲线可定性判断岩性、解释地层剖面。当其他条件不变时,钻时的变化反映了岩性差别。疏松含油砂岩钻时最小;普通砂岩较小;泥岩、石灰岩较大;玄武岩、花岗岩最大。对于碳酸盐岩地层,利用钻时曲线可以判断缝、洞发育井段。如突然发生钻时变小、钻具放空现象,说明井下可能遇到缝洞渗透层。放空越大,反映钻遇的缝洞越大。

二、岩心录井

在钻井过程中用特殊取心工具,将井下岩石取上来,这种岩石就叫岩心。岩心是最直接、最可靠地反映地下地质特征的第一性资料。通过岩心的分析,可以考查古生物特征,确定地层时代,进行地层对比;研究储集层岩性、物性、电性、含油性的关系;掌握生油特征及其地化指标;观察岩心岩性、沉积构造,判断沉积环境;了解构造和断裂情况,如地层倾角、地层接触关

系、断层位置；检查开发效果，了解开发过程中所需的资料数据。

1. 取心井段的确定

由于取心成本高、钻速慢、技术复杂，所以不能每口井都进行取心，取心井也不能从井口到井底都取心，取心只能在关键井的关键井段进行。为了既要取得勘探开发所需的基础资料和数据，又要加速油气田勘探开发过程，在确定取心井段时应遵循以下4个原则。

(1) 区域探井安排取心，主要了解地层时代，生储盖组合及其特征，烃源岩母质类型、丰度、演化程度及储集层物性等有关参数。

(2) 预探井安排取心，主要了解储集层“四性”（岩性、物性、电性、含油性）关系。

(3) 开发阶段的检查井则根据取心目的而定。如注水开发井，为了查明注水效果，常在水淹区取心。

(4) 特殊目的的取心井，根据具体情况具体确定。

2. 取心资料收集和岩心整理

1) 取心资料收集

取心钻进前、后，应丈量方入，算出进尺。取心过程中，记钻时、捞取砂样，一方面可以与邻井对比确定割心位置；另一方面当岩心收获率很低时，可以帮助判断所钻地层岩性，并要特别注意观察钻井液槽面的油气显示情况。

2) 丈量“顶空、底空”

当钻头提至井口后，应立即推向一边，然后丈量“底空”（岩心筒内底部或下部无岩心的空间长度），判断井内是否有余心。底空量完后，将岩心筒吊下钻台，将分水接头卸下，量“顶空”（岩心筒内顶部或上部无岩心的空间长度），初步判断岩心收获率。

丈量“顶空、底空”的目的是为了更确切地了解岩心在井下的位置，提供岩心归位时判断岩心所处深度。

3) 岩心出筒

应保证岩心完整和上下顺序不乱。要注意先出筒的岩心是下面的地层，后出筒的是上面的地层，切勿颠倒，并依次排列在丈量台上。

岩心全部出筒完毕要进行清洗。但油浸级以上的油层岩心不能用水洗，只需用刀刮去岩心表面的钻井液，并注意观察含油岩心渗油、冒气和含水情况，详细记录，必要时应封蜡送化验室进行分析。

密闭取心井的岩心出筒后应及时整理岩心，清理密闭液后马上进行丈量，涂漆编号。及时取样化验分析，时间要在2h之内完成。

4) 岩心丈量

在丈量岩心时，首先判断出筒的岩心中是否有“假岩心”，然后才能开始丈量。“假岩心”常出现在一筒岩心的顶部，一般是井壁垮塌物或余心碎块与泥饼混在一起，进入岩心筒而形成的。

岩心清洗干净后，对好断面使茬口吻合，磨光面和破碎岩心摆放要合理，由顶到底用尺子一次丈量，长度读至厘米。用红铅笔划一条丈量线，自上而下作出累积的半米及整米记号，每个自然断块画一个指向钻头的箭头。

5) 计算岩心收获率

岩心收获率是表示岩心录井资料可靠程度和钻井工艺水平的一项重要技术指标。

$$\text{岩心收获率} = \frac{\text{岩心长度}}{\text{取心进尺}} \times 100\%$$