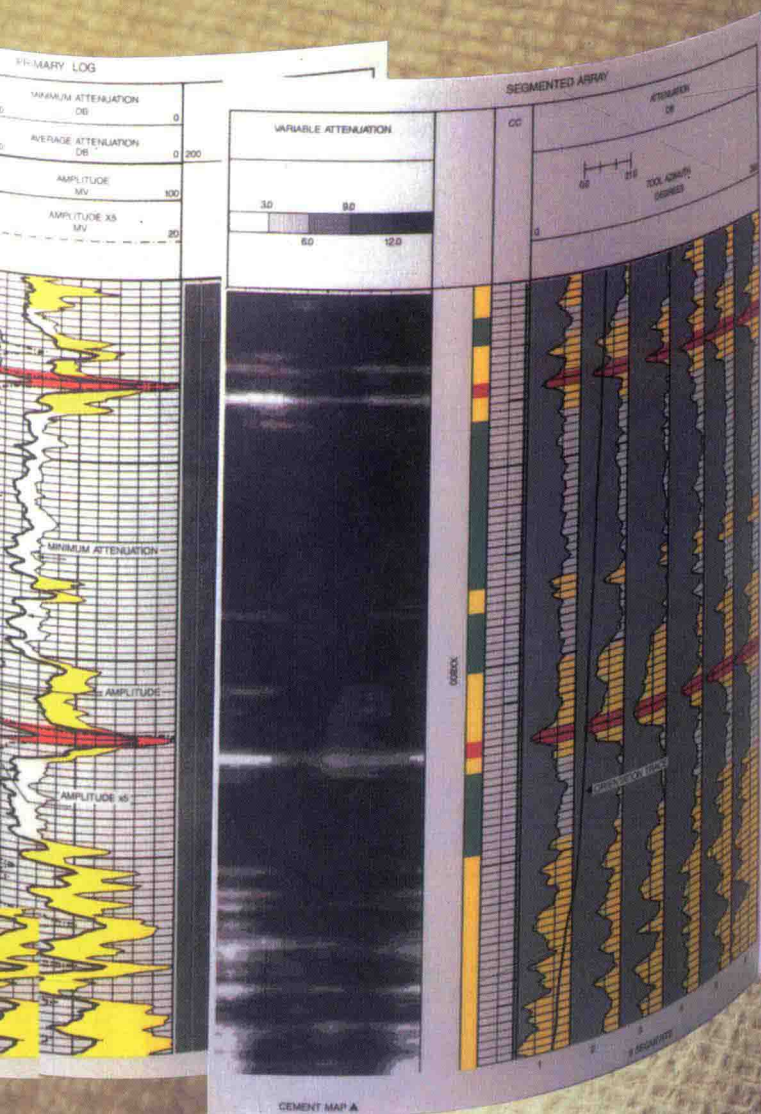


■ 郭海敏 著

生产测井导论

SHENGCHAN CEJING DAOLUN

(第二版)



石油工业出版社

生产测井导论

(第二版)

郭海敏 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了生产测井方法原理、资料解释及应用。内容涉及生产测井信息处理基础、生产测井方法、射孔工艺技术和套管工程检测技术等。

本书适用于从事地质、油藏工程、测井专业技术人员以及大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

生产测井导论/郭海敏著. —2 版
北京: 石油工业出版社, 2010. 8
ISBN 978—7—5021—7608—2

I. 生…

II. 郭…

III. 生产测井

IV. TE15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 003826 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) 64523736 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

2010 年 8 月第 2 版 2010 年 8 月第 2 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 37.75

字数: 966 千字

定价: 110.00 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

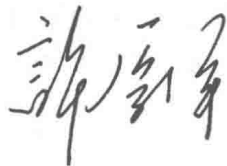
序

地球物理测井是石油工业发展中的重要学科之一,长期以来在石油勘探开发中发挥着重要作用,勘探测井被称为寻找油气田的“眼睛”;生产测井被油田工程师称为开发的“医生”。生产测井是测井技术中的两个重要分支之一,主要用于油田开发生产驱油效率的动态监测。监测方法是采集储层在二、三次采油过程中的动态变化信息,并对所测得的信息进行综合分析,可以得到油气水的分布动态,由此了解整个油区的开发动态,从而为调整、优化开发方案及提高原油采收率提供科学依据。生产测井的内容主要包括工程测井、注采剖面测井、套管井地层评价及地质应用四个方面,利用这些结果可以直接观察到流体界面的动态位置,分析注水、注聚合物前缘的变化,同时可以得到井眼及井周几何特性变化规律及现状信息。

本书论述了涉及生产测井过程的几个主要方面,从注采井网部署、流量、压力、含水、温度、密度测量应用到资料综合解释;从射孔产能预测、水平井测井、套管井地层评价测井、工程测井到综合应用,基本上涵盖了整个生产测井技术涉及的各个领域;内容范围从传统方法到新技术应用,均进行了深入浅出的论证,并把作者多年来的研究成果包含在整个著作体系中。通过本书的学习,生产测井工作者可以了解注采井网部署与注采剖面的关系、产能与射孔的关系、产能与剩余油的关系、传统生产测井工艺与现代生产测井技术的关系。整个内容把测井技术与油藏动态有机结合起来,使读者不但清楚地了解了相应的测井技术,也同时清楚地知道如何利用处理结果去评价整个油田的生产动态,从而达到了拓宽生产测井工作者视野及知识面的目的。

国民经济的持续发展对石油资源的需求日益增长,除了寻找新的石油资源之外,更重要的是对老油区进行挖潜,提高相应储层的油气采收率,因此生产测井技术无疑将会发挥越来越重要的作用,本书作者在相关章节中也加入了涉及生产测井发展的一些新技术,如持率成像测井、RST 持率测井、测井多相流动优化解释技术等。总之希望本书的出版能为生产测井工作者提供分析问题的新方法,并开阔观察问题的视野,同时也希望本书的出版能为我国石油工业的发展作出更大贡献。

中国科学院院士



前 言

生产测井的定义是指在套管井中完成的各类测井,包括注采剖面测井、工程测井及套管井地层评价测井。目的是监测井眼几何特性及注采动态。现代生产测井技术的发展可以在套管井中确定动态地层参数;在油藏动态描述中,可以用注采剖面信息确定剩余油饱和度的分布及不同油层的油藏压力和渗透率。随着油田开发的不断深入和面临问题的日益复杂,生产测井技术将发挥越来越重要的作用。

生产测井技术的发展始于 20 世纪 30 年代。最初只研制了温度计,40 年代又研制了压力计和流量计。当时这些仪器只能单参数测量。50 年代发展了同时测量的综合产出剖面仪器,一次下井可以同时采集流量、压力、温度、持水、密度等多种信息。进入 21 世纪之后,流动成像测井、水平井生产测井及特殊生产测井技术日臻完善,相应处理方法也取得了长足的进步。

长期以来,我国生产测井工作者主要把研究注意力集中在单井数据采集和相应信息处理方面,对于处理结果的油藏应用了解较少,出现了一些“只见树木,不见森林”的现象。从拓宽生产测井工作者应用知识面的目的出发,在总结十余年来从事研究生、本科生及专科生教学经验的基础之上,结合与油田长期合作的研究结果,完成了本书的写作工作。本书的内容涉及油藏工程、流体力学、渗流力学、电子学、传感器原理等多门学科的知识,新增了水平井测井、MDT、射孔、三次采油及试井等方面的内容。通过学习可以对生产测井的方法、原理、数据采集、信息处理及资料解释、油藏应用等知识有一个系统全面的了解。由于生产测井技术是一门不断发展和完善的应用学科,作者希望本书能为生产测井技术的发展尽一份薄力。由于知识面所限,书中不妥之处请读者不吝赐教和纠正。

全书由我的老师褚人杰教授审核。长江大学的张超谟、章成广、赵宏敏、戴家才和汪中浩同志参与了部分内容的写作。在完成本书的过程中,中国石油天然气集团公司科技发展部的方朝亮同志给予了许多帮助,同时得到了测井重点实验室陆大卫、王敬农和汤天知同志的支持;谢荣华、刘兴斌和王界益同志为本书的写作提供了许多现场素材;我的学生宋红伟、张豆娟、侯月明、方伟、朱益华、安小平等在书稿整理过程中做了大量工作,在此谨致以衷心感谢!

目 录

第一章 生产测井及信息处理基础	(1)
第一节 油田开发基础	(1)
一、油田开发前的准备阶段	(1)
二、开发方案设计的方针和原则	(4)
三、开发层系划分的原则	(5)
四、砂岩油田的注水开发	(6)
五、开发井网部署	(11)
六、油田开发调整	(15)
第二节 油藏流体向井流动	(16)
一、单相液体的流入动态	(16)
二、油气两相向井流动	(21)
三、单相、两相同时存在时的向井流动	(26)
四、单相气井向井流动	(28)
五、多层油藏的向井流动	(29)
第三节 油气水在垂直管道中的流动	(31)
一、单相流动	(32)
二、气液两相流动	(36)
三、油水两相流动	(55)
四、油、气、水三相流动	(60)
五、烃类相态与油气两相流动	(63)
第四节 提高原油采收率原理	(68)
一、基本概念	(68)
二、影响原油采收率的因素	(72)
三、残余油饱和度的分布和确定	(73)
四、热力采油	(76)
五、混相驱油法	(78)
六、化学驱油法	(80)
第五节 油、气、水物性参数	(83)
一、天然气的物性参数计算	(85)
二、地层水的物性参数计算	(91)
三、地层油的物性参数计算	(93)
参考文献	(103)
第二章 井下流量测井	(104)
第一节 涡轮流量计	(104)
一、涡轮流量计的分类	(104)

二、涡轮流量计的工作原理	(105)
三、Leach 响应方程	(111)
四、集流式流量计的测井响应	(112)
五、油、气、水多相流动模拟装置	(121)
第二节 连续流量计	(122)
一、连续流量计的静态响应	(122)
二、连续流量计的动态响应	(123)
三、速度剖面校正系数	(138)
四、多次测量法实例	(140)
五、水平涡轮流量计	(144)
六、涡轮流量计现场测试	(144)
第三节 示踪流量计	(145)
一、示踪流量计的工作原理	(145)
二、示踪剂损耗法测井	(146)
三、放射性示踪测井——速度法	(152)
四、影响示踪流量计测量精度的因素	(157)
五、双脉冲示踪速度法	(159)
六、速度法测井实例	(162)
第四节 层流中的放射性示踪测井	(166)
一、放射性示踪测井在层流水中的应用	(166)
二、高黏度溶液中的放射性示踪测井	(168)
三、放射性示踪测井操作解释程序	(169)
第五节 其他流量测量方法	(171)
一、超声流量计	(171)
二、涡街流量计	(174)
三、电磁流量计	(176)
参考文献	(178)
第三章 流体密度及持水率测量	(179)
第一节 放射性流体密度计	(179)
第二节 压差密度计	(181)
一、测量原理	(181)
二、应用实例	(184)
第三节 电容法持水率计	(186)
一、电容法持水率计的基本原理	(186)
二、取样式持水率计	(189)
第四节 微波持水率计	(193)
一、传导电流与位移电流	(193)
二、测量原理	(194)
第五节 低能源持水率计	(198)
一、测量原理	(198)

二、放射源·····	(200)
第六节 电导法含水率计·····	(201)
第七节 流动成像仪·····	(202)
第八节 应用实例·····	(205)
参考文献·····	(206)
第四章 温度测井·····	(207)
第一节 温度测井原理·····	(207)
一、电阻式温度仪·····	(208)
二、热电偶温度仪·····	(215)
第二节 井筒内的温度分布·····	(217)
一、地热温度剖面·····	(217)
二、井筒温度分布·····	(218)
三、注入层或生产层深度处的井眼温度·····	(222)
四、产气层位处的井眼温度·····	(224)
五、温度恢复测试·····	(225)
第三节 温度测井解释及应用·····	(228)
一、定量分析·····	(228)
二、温度测井定性解释·····	(231)
三、温度测井施工和解释指南·····	(244)
参考文献·····	(246)
第五章 压力测井及资料分析·····	(247)
第一节 压力成因·····	(247)
第二节 井下压力计与压力测量·····	(248)
一、应变式压力计·····	(248)
二、石英晶体压力计·····	(253)
第三节 试井与压力资料的应用·····	(259)
一、试井的一些基本概念·····	(260)
二、试井解释的理论基础·····	(267)
三、试井解释应用实例·····	(273)
第四节 钻杆测试分析·····	(278)
一、测试原理·····	(278)
二、测试资料分析·····	(279)
三、DST 流动期的分析·····	(280)
四、DST 恢复期资料分析方法·····	(280)
第五节 电缆地层测试资料分析·····	(281)
一、井下仪器工作原理及曲线定性分析·····	(281)
二、地层测试分析理论基础·····	(285)
三、压力恢复分析·····	(289)
四、快速直观解释方法·····	(297)
五、计算渗透率的现场实例·····	(298)

六、确定渗透率方法的对比·····	(303)
七、RFT 测试的其他应用·····	(305)
八、流体取样分析·····	(308)
九、套管井电缆地层测试器·····	(310)
第六节 组件式地层动态测试器·····	(312)
一、仪器结构和性能·····	(312)
二、用 MDT 多探头测试结果计算渗透率的办法·····	(317)
参考文献·····	(320)
第六章 射孔技术·····	(321)
第一节 聚能射孔弹原理·····	(321)
第二节 射孔枪及井下性能·····	(323)
第三节 射孔过程中影响产能的因素·····	(325)
一、射孔深度对产能的影响·····	(325)
二、射孔密度对产能的影响·····	(327)
三、孔径对产能的影响·····	(328)
四、相位对产能的影响·····	(328)
五、射孔格式对产能的影响·····	(329)
六、地层伤害对产能的影响·····	(329)
七、地层性质对产能的影响·····	(331)
八、紊流及相关参数对产能的影响·····	(333)
第四节 射孔完井产能预测·····	(336)
一、图解法确定产能比·····	(336)
二、有损害和无损害射孔井的产能预测·····	(337)
三、经验方程法·····	(343)
第五节 射孔完井及优化设计·····	(345)
一、射孔完井技术·····	(345)
二、射孔优化设计·····	(347)
三、完井测试与评价·····	(356)
参考文献·····	(358)
第七章 产出剖面测井信息综合分析·····	(360)
第一节 产出剖面测井解释程序·····	(360)
一、定性评价与读值·····	(361)
二、油、气、水物性参数计算·····	(363)
三、解释层总流量计算·····	(364)
四、油、气、水持率的计算·····	(369)
五、流型判断·····	(372)
六、油、气、水各相流量的计算·····	(374)
七、产层各相产量计算·····	(377)
第二节 DDL 型生产测井产出剖面解释·····	(378)
一、单相流动·····	(378)

二、气水两相流动·····	(379)
三、油气两相流动·····	(385)
四、油水两相流动·····	(386)
五、油气水三相流动·····	(391)
第三节 抽油机井油水两相流动·····	(395)
第四节 油水两相流动井下刻度解释方法·····	(399)
一、流量计的井下刻度·····	(400)
二、持水率响应的井下刻度·····	(401)
三、解释模型的井下刻度校正·····	(401)
第五节 三相流动产出剖面测井资料解释·····	(402)
一、滑脱速度模型·····	(402)
二、井下刻度方法·····	(403)
第六节 三相流动最优化处理方法·····	(407)
一、优化处理方法的思路·····	(407)
二、响应方程的建立·····	(407)
三、SUMT—Powell 方法的基本原理·····	(410)
四、应用实例·····	(414)
参考文献·····	(415)
第八章 水平井生产测井技术 ·····	(416)
第一节 水平井完井技术·····	(416)
一、水平井应用·····	(416)
二、水平井的几个基本概念·····	(417)
三、水平井完井技术·····	(417)
四、完井的几个问题·····	(418)
第二节 水平井中的流型·····	(418)
一、流型实验及流型图·····	(421)
二、应用实例·····	(425)
第三节 水平井产出剖面·····	(426)
一、涡轮流量计和密度计的响应·····	(427)
二、斜井中的仪器响应及图版制作·····	(428)
三、组合式连续测井仪在斜井中的响应·····	(430)
第四节 水平井现场测井·····	(433)
一、仪器下入方法·····	(433)
二、连续油管传送测井·····	(433)
三、测井仪器在井筒中的测量·····	(434)
四、水平井生产测井资料解释注意事项·····	(438)
参考文献·····	(439)
第九章 注入剖面测井 ·····	(440)
第一节 注水剖面测量原理·····	(440)
一、注水剖面测量回顾·····	(440)

二、注水管柱种类及施工方法	(441)
三、注水量与滤积示踪剂的关系	(442)
四、清水驱替剂量	(444)
五、同位素及载体的选择	(447)
第二节 同位素示踪注水剖面测井信息处理	(448)
一、解释前的准备工作	(448)
二、常用的基本概念	(449)
三、沾污类型及校正系数	(450)
四、沾污面积分配及计算方法	(453)
第三节 注入剖面综合分析	(457)
一、注水井井温测试	(457)
二、注水井中涡轮流量计测试	(458)
第四节 注蒸汽剖面测量	(459)
一、水蒸气的性质	(459)
二、蒸汽在井筒中的热损失	(463)
第五节 注聚合物剖面测量	(468)
一、聚合物驱油原理	(468)
二、氧活化法确定注聚合物剖面	(470)
三、电磁流量计	(476)
参考文献	(477)
第十章 套管井地层参数测井	(478)
第一节 中子测井的核物理基础	(478)
一、中子源	(478)
二、中子与地层的相互作用	(479)
第二节 中子寿命测井原理	(482)
一、基本概念	(482)
二、 τ 和 Σ 的测量方法	(486)
三、中子寿命测井的显示方式	(490)
四、中子寿命测井的影响因素	(491)
第三节 中子寿命测井的应用	(493)
一、定性解释	(493)
二、定量解释	(494)
三、用测—注—测技术确定产层剩余油饱和度	(495)
四、测—注—测施工工艺	(496)
第四节 碳氧比能谱测井和储层饱和度测井	(499)
一、碳氧比能谱测井	(499)
二、储层饱和度测井仪	(500)
三、储层饱和度仪 (RST) 资料解释	(503)
四、应用实例	(506)
五、用 RST 测量确定油、气、水三相流动持率	(510)

参考文献	(512)
第十一章 生产测井资料应用	(513)
第一节 注采系统调整实例	(513)
第二节 在区块开发调整中的应用	(515)
一、地下动态综合分析	(515)
二、注采剖面资料对比	(515)
第三节 用注采剖面资料确定剩余油分布	(518)
一、注采井点各产层的剩余油饱和度确定	(518)
二、井间剩余油饱和度的确定	(521)
第四节 注采剖面在油藏数值模拟中的应用	(524)
一、油藏数值模拟简介	(524)
二、油藏数值模拟的主要步骤	(525)
三、油藏数值模拟基本数学模型	(526)
第五节 油藏数值模拟在油田开发调整中的应用	(531)
一、基本情况	(531)
二、动态拟合	(532)
三、方案实施及应用效果	(535)
参考文献	(535)
第十二章 套管工程检测测井	(536)
第一节 油井的井身结构及井口装置	(536)
一、井身结构	(536)
二、井口深度及井口装置	(537)
第二节 井径测井	(538)
一、测量原理	(538)
二、多臂井径仪	(540)
第三节 磁测井仪器	(541)
一、套管腐蚀原理	(541)
二、管子分析仪	(543)
三、磁测井仪器	(545)
第四节 噪声测井	(549)
一、测量原理	(549)
二、流体的频谱特性	(549)
三、噪声测井过程及应用	(551)
第五节 固井评价测井	(554)
一、声幅测井	(554)
二、声波变密度测井	(559)
三、水泥评价测井仪	(562)
第六节 井下超声电视测井	(569)
第七节 连续测斜仪	(570)
一、仪器结构	(570)

二、陀螺仪·····	(573)
三、刻度及现场测量·····	(574)
四、应用实例·····	(575)
第八节 沉降监测测井·····	(578)
一、测量原理·····	(578)
二、双探测器测井仪·····	(578)
三、四探测器测井仪·····	(579)
第九节 其他工程测井·····	(580)
一、磁性定位器·····	(580)
二、卡点指示器·····	(581)
三、放射性示踪管外流动探测·····	(582)
四、出砂检测·····	(583)
参考文献·····	(585)
附录1 生产测井计算中常用的单位之间的换算关系·····	(586)
附录2 生产测井计算中常用计量单位的中、英文名称对照表·····	(589)
附录3 常用词头符号·····	(591)

第一章 生产测井及信息处理基础

本章主要论述了与生产测井相关的油气田开发基础。包括油田开发方案设计、渗流、多相管流、采收率提高及油、气、水物性计算等内容。

第一节 油田开发基础

一个含油气构造经过地质、地震、钻井、测井等一系列勘探发现工业油流后，接着就要进行详探并逐步投入开发。油田开发是指依据详探成果和必要的生产性开发试验，在综合研究的基础上对具有工业价值的油田，从实际和生产规律出发，制订出合理的开发方案，对油田进行建设和投产，使油田按预定的生产能力和经济效益长期生产，直至开发结束。油田的正规开发主要包括三个阶段：

(1) 开发前的准备阶段。包括详探、开发试验等；

(2) 开发设计和投产。其中包括油层研究和评价、开发井部署、射孔方案制订、注采方案制订和实施；

(3) 方案调整和完善。

详探是运用各种可能的手段和方法，对含油构造或者一个预定的开发区取得必要的资料，进行综合研究，力求搞清主要地质情况和生产规律，并计算出开发储量，为编制开发方案作准备。油田开发方案的制订和实施是油田开发的中心环节，必须切实、完整地对各种可行的方案进行详细制订、评价和全面对比，然后确定出符合油田实际、技术上先进、经济上优越的方案。但是在油田实际开发前不可能把油田地质情况认识得很清楚，这就不可避免地会在油田投产后，会在某些问题上出现一些原来估计不足地方，使生产动态与方案设计不相符合。因而在油田开发过程中必须不断地进行调整。所以整个油田开发的过程也就是一个不断重新认识和不断调整的过程。

一、油田开发前的准备阶段

1. 详探阶段的主要任务

(1) 以含油层系为基础的地质研究：要求弄清全部含油地层的地层层序和其接触关系，各含油层系中油、气、水层的分布及其性质。尤其是含油层段中的隔层和盖层的性质必须搞清。同时还应注意出现的特殊地层，如气夹层、水夹层、高压层、底水等。

(2) 储油层的构造特征研究：要求弄清油层构造形态，储油层的构造圈闭条件，含油面积及与外界的连通情况（包括油、气、水分布关系）；同时还要研究岩石物性、流体性质以及油层的断裂情况、断层密封情况等。

(3) 分区分层组储量及可采储量计算。

(4) 油层边界的性质研究以及油层天然能量、驱动类型和压力系统的确定。

(5) 油井生产能力和动态研究：了解油井生产能力、出油剖面、递减情况、层间及井间干扰情况。对于注水井必须了解吸水能力和吸水剖面。

(6) 探明各含油层系中油气水层的分布关系,研究含油地层的岩石物性及所含流体的性质。

完成上述任务要进行的主要工作有地震细测、详探资料井和取心资料井、测井、试油试采分析化验研究等。

地震细测工作:在预备开发地区应在原来地震测试工作的基础上进行加密地震细测。通过对地震细测的资料解释落实构造形态和断裂情况(断层的走向、落差、倾角等),为确定含油带圈闭面积、闭合高度提供依据。对于断块油藏主要弄清晰块的大小分布及组合关系,并结合探井资料作出油层构造图和构造剖面图。

详探资料井:详探工作中最重要和最关键的工作是打详探井,直接认识地层。详探工作进展快慢、质量高低直接影响开发的速度和开发设计的正确与否。因此对于详探井的数目的确定、井位的选择、钻井顺序及钻井过程中必须取得的资料等都应做出严格的规定,并作为详探设计的主要内容。详探井的密度应以尽量少的井而又能准确地认识和控制全部油层为原则来确定。在一般简单的构造上井距通常在2km以上,但在复杂的断块油田上单口探井控制的面积在1~2km²甚至更小。详探井的重要任务是认识含油层的分布和变化,但同时还要兼顾探边、探断层工作。探井可能成为今后的生产井,因此和以后生产井井网的衔接问题也必须予以考虑。详探井的布置原则是结合不同的地质构造、具体研究确定。

通过详探井录井、测井解释、岩心分析和详细的地层对比,弄清油层的性质及分布,为布置生产井网提供地质依据。同时,对主要隔层进行对比,对其性质进行研究,为划分开发层系和生产层段提供依据。在断裂复杂地区还应对断层性质进行研究并做出详细评价。在通过系统取心分析和分层试油及了解到分层产能后,可以确定出有效厚度下限,从而为计算储量打下基础。

油井试采:油井试采是油田开发前必不可少的一个步骤。通过试采要为开发方案中某些具体技术界限和指标提出可行的确定方法。通常试采是分单元按不同含油层系进行的。要按一定的试采规划,确定相当数量能够代表这一地区、这一层系特征的油井,按生产井要求试油后,以较高的产量、较长时期地稳定试采。试采井的工作制度以接近合理工作制度为宜,不应过大也不应过小。试采期限的确定要视油田大小而有所不同。总的要求是要通过试采暴露出油田在生产过程中的矛盾,以便在开发方案中加以考虑和解决。试采的主要任务是认识:(1)油井生产能力,特别是分布稳定的好油层的生产能力以及产量递减情况;(2)油层天然能量的大小及驱动类型和驱动能量的转化,如边水和底水的活跃程度等;(3)油层的连通情况和干扰情况;(4)生产井的合理工艺技术和油层改造措施。此外,还应通过试采落实某些影响开采动态的地质构造因素,如边界影响、断层封闭情况等,为合理布井和确定注采系统提供依据,为此,除了进行生产性观察和生产测井外,还需进行一些专门的测试,如探边测试、井间干扰试验等。

通常情况下试采应分区块进行,因为试采的总目标是暴露地下矛盾、认识油井生产动态。因此,油井的生产要有充分的代表性,既要考虑到构造顶部的好油层、高产井,也要兼顾到边缘的差油层,同时必须考虑到油水边界、油气边界和断层边界上的井,以探明边水、气顶及断层对生产带来的影响。在纵向上试采层段的选择应照顾到各种不同类型的油层,尤其是对于纵向上变化大的多层油藏,层间岩性变化大,原油性质不同,油气水界面交错,天然能量差别大等,也应尽可能地分析有一定产能的试采井,以便为今后确定开发层系和各生产层段的产能指标,提供可靠依据。

2. 油田开发生产试验区 and 开发试验

经过试采了解到较详细的地质情况和基本的生产动态后, 为了能够认识油田在正式投入开发以后的生产规律, 对于准备开发的大油田、在详探程度较高和地面建设条件比较有利的地区, 首先划出一块, 用正规井网正式开发作为生产试验区, 是开发新油田必不可少的工作。生产试验区也是油田上第一个投入生产的开发区, 除了担负进行解剖任务之外, 还有一定的生产任务。

1) 生产试验区的主要任务

(1) 研究主要地层。

主要研究油层小层数目; 各小层面积及分布形态、厚度、储量及渗透率大小和非均质情况, 总结认识地层的变化规律; 研究隔层性质及分布规律; 进行小层对比, 研究其连通情况。

(2) 研究井网。

研究布井方式, 包括合理的切割距大小、井距和排距大小以及井网密度; 研究开发层系划分的标准以及合理的注采层段划分方法; 研究不同井网和井网密度对各类油砂体储量的控制程度; 研究不同井网的产量和采油速度以及完成此任务的地面建设及采油工艺方法; 不同井网的经济技术指标及评价方法。

(3) 研究生产动态规律。

研究合理的采油速度及最大有效产量, 油层压力变化规律和天然能量大小, 合理的地层压力下降界限, 驱动方式及保持地层能量的方法。研究注水后油水井层间干扰及井间干扰, 观察单层突进、平面水窜及油气界面与油水界面的运动情况, 掌握水线形成规律及移动规律, 各类油层的见水规律。

(4) 研究合理的采油工艺及技术以及增产和增注措施(压裂、酸化、防砂、降黏)的效果。

2) 开发试验应包括的主要内容

(1) 油田各种天然能量试验。包括弹性能量、溶解气的能量、边水和底水能量、气顶气膨胀能量, 应认识其对油田产能大小的影响, 对稳产的影响, 不同天然能量所能取得的各种采收率及各种能量及驱动方式的转化关系等。

(2) 井网试验。包括各种不同井网和不同井网密度所能取得的最大有效产量和合理的生产能力, 不同井网的产能变化规律等。

(3) 采收率研究试验和提高采收率方法试验。不同开发方式下各类油层的层间、平面和层内的干扰情况, 层间平面的波及效率及油层内部的驱油效率以及各种提高采收率方法的适用性及效果。

(4) 影响油层生产能力的各种因素和提高油层生产能力的各种增产措施及方法试验。影响油层产能的因素是很多的, 例如边水推进速度、底水锥进、地层原油脱气、注入水的不均匀推进, 存在裂缝带等。而作为提高产能的开发措施应包括油水井的压裂、酸化、大压差强注强采等。

(5) 与油田人工注水有关的各种试验。合理的切割距、注采井排的排距试验, 合理的注水方式及井网, 合理的注水排液强度及排流量、注水时间及注采比, 无水采收率及见水时间与见水后出水规律的研究等。其他还有一些特殊油层注水, 如气顶油田注水、裂缝油田注水、断块油田注水及稠油注水、低渗透油层注水等。

(6) 稠油热采、注蒸汽及混相驱替试验。

在试验过程中,生产测井的主要目的是在生产井中确定分层产液量及性质,在注入井中确定吸水层位及吸水剖面、吸汽剖面,检查射孔效果等。

总之各种开发试验应针对油田实际情况提出,而在油田的开发过程中必须始终坚持试验,因为开发过程本身就是一个不断深入进行各种试验的过程。

详探及油田开发的准备阶段的各项工作在油气勘探开发的过程中,构成一个独立的不能忽视的阶段,是保证油田能科学合理开发所必须经过的阶段,两者可能相互交替进行,如井的布置要穿插进行,注采工程要穿插进行等。

二、开发方案设计的方针和原则

油田开发方案是在详探和生产试验的基础上,经过充分研究后,使油田投入长期和正式生产的一个总体部署和设计。开发方案的优劣决定着油田今后生产的好坏,涉及国家资金、人力投入及经济效益等。

油田开发方案应包括的内容有:油田地质情况,储量计算,开发原则,开发程序,开发层系、井网、开采方式、注采系统,钻井工程和完井方法,采油工艺技术,开采指标,经济效益,实施要求。测井和生产测井技术始终贯穿在各个环节中。

油田开发必须依据一定的方针进行,其正确与否直接关系到油田今后生产的经济效益。正确的油田开发方针应根据油田具体情况和长期经验及国民经济的发展要求制定。开发方案编制不能违背这些方针。开发方针的制定应考虑如下几方面的关系:(1)采油速度;(2)油田地下能量的利用和补充;(3)采收率大小;(4)稳产年限;(5)经济效益;(6)工艺技术。

在编制开发方案时,必须依据这一方针,制定与之相适应的开发原则,这些原则应对以下几方面的问题作出具体规定:

(1) 规定采油速度和稳产期限。

(2) 规定开采方式和注水或强采方式。

规定利用什么驱动方式采油,开发方式如何转化(如弹性驱转溶解气驱再转注水、注气或注蒸汽、聚合物等)。如果决定注水,应确定是早期注水还是后期注水。

(3) 确定开发层系。

一个开发层系,是由一些独立的、上下有良好隔层、油层性质相近、驱动方式相近、具备一定储量和生产能力的油层组合而成。它用独立的一套井网开发,是一个最基本的开发单元。当开发一个多层油田时,必须正确地划分和组合开发层系。一个油田要用哪几套层系开发,是开发方案中的一个重大决策,是涉及油田基本建设的重大技术性问题,也是决定油田开发效果很重要的因素。如何划分和确定开发层系在下一小节中将作专门讨论。

(4) 确定开发步骤。开发步骤是指从布置基础井网开始,一直到完成注采系统、全面注水和采油的整个过程中所必经阶段和每一步的具体作法。

①基础井网布置:基础井网是以某一主要含油层为目标而首先设计的基本生产井和注水(汽、气等)井。它是进行开发方案设计时,作为开发区油田地质研究的井网。研究时要进行准确的小层对比工作,做出油砂体的详细评价,为层系划分和井网布置提供依据。

②确定生产井网和射孔方案:根据基础井网,待油层对比工作做完以后,全面部署各层系的生产井网,依据层系和井网确定注采井别,进行射孔投产。