

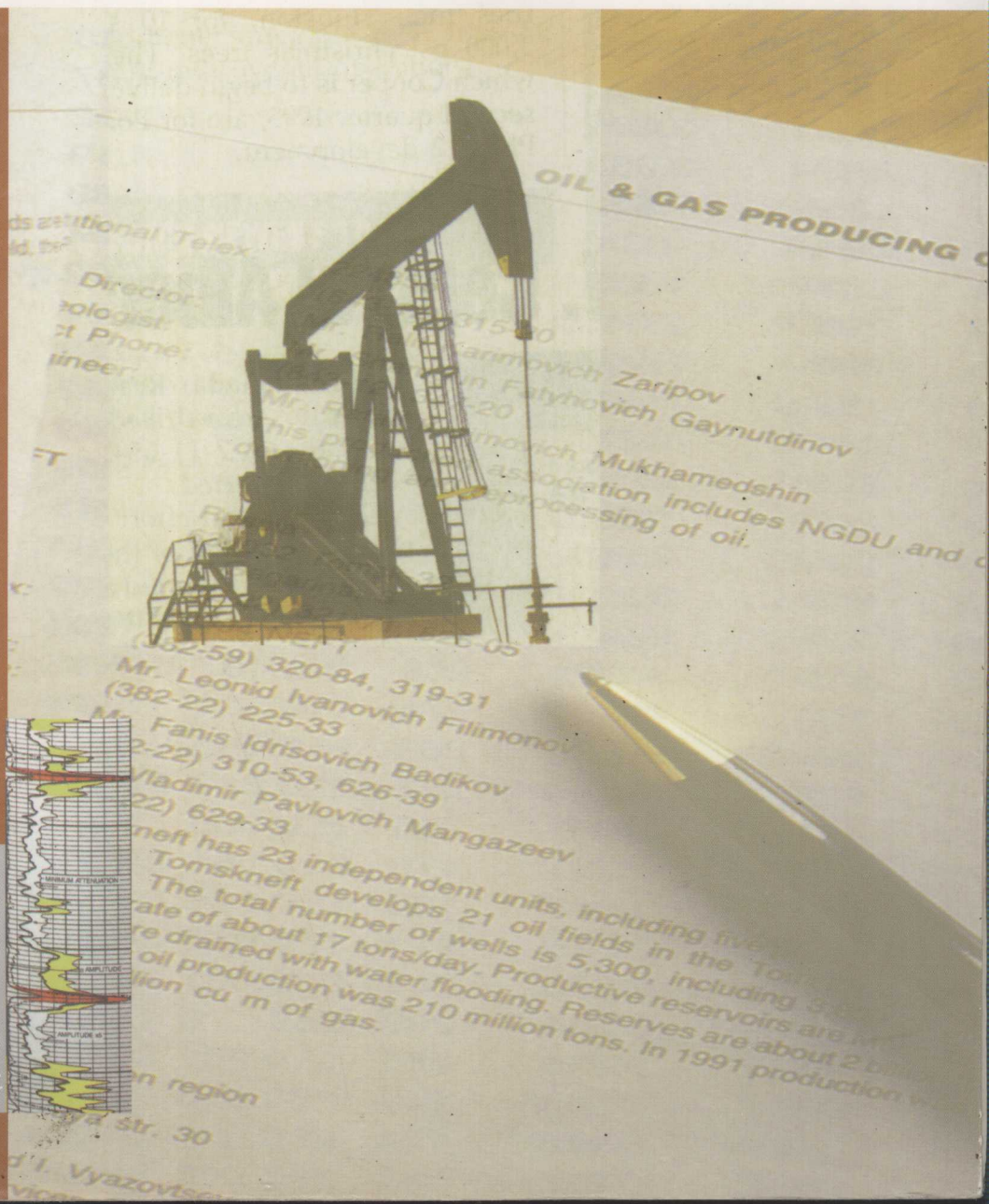


高等学校教学用书

油气田开发地质学

夏位荣 张占峰 程时清 编著

PETROLEUM INDUSTRY PRESS



石油工业出版社



“九五”中国石油天然气集团公司级重点教材

高等学校教学用书

油气田开发地质学

夏位荣 张占峰 程时清 编著

石油工业出版社

1999年7月

内 容 提 要

本书按照油气田的实际开发进程,系统地介绍了油气田开发地质的研究内容和静态与动态相结合的研究方法。以开发储层评价为基础,重点阐述了储层和油气藏静态地质特征与油气田开发动态响应的内在联系,特别是揭示了影响注水开发油藏产油、含水和剩余油分布的主要地质因素。根据我国三次采油实践,重点介绍了在热力采油、注聚合物驱油和水平井采油中应开展的开发地质研究工作。

本书可作为高等学校石油地质和石油工程专业本科学生教材,同时亦可供从事油气田勘探开发生产的现场工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气田开发地质学/夏位荣等编著.
北京:石油工业出版社,1999.3

高等学校教学用书

ISBN 7-5021-2487-X

I. 油…

II. 夏…

III. 石油天然气地质-高等学校-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 01910 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 12½ 印张 306 千字 印 1-1000

1999 年 3 月北京第 1 版 1999 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2487-X/TE·2043 (课)

定价: 18.00 元

前 言

油气田开发地质学是近十几年来逐渐发展起来的一门新兴的地质应用学科。它的研究对象是油气藏的开发地质特征，研究目的是直接为合理开发油气藏服务，并为科学编制油气田开发方案和各种开发生产调整措施提供地质依据。开发地质研究贯穿在油气田开发过程的始终，与油藏工程研究有密切的联系。它为油藏工程研究提供必要的地质基础，又借助油藏工程研究获得更多的地质信息，以深化对油气藏开发地质特征的认识，并用新的地质研究成果指导油气藏工程设计与开发生产。因此油气田开发地质研究已成为油气田系统工程中不可缺少的组成部分。

油气田开发地质研究在油气田开发生产中越来越显示出它的重要地位和作用。目前我国许多大、中型油气田都面临着开发生产进入中—高含水期后备储量不足的严峻局面，因此“稳油控水”的任务十分艰巨。如何开发好已发现的油气层，最大限度地提高采收率，这就必须依靠更为科学合理的开发生产技术措施和先进的三次采油驱油剂，而这些研究技术的实施，又必须以地下地质条件为出发点，必须建立在深入的开发地质研究基础之上。只有这样才能做到“有的放矢”、“施之有效”。

本书按照油气田开发的进程，系统地阐述了油气田开发地质学的基本理论和研究方法，总结了当今这一领域的最新研究成果与发展趋势。全书除绪论外，共分六章。其中第一章系统论述了开发储层评价的内容和技术方法；第二章介绍了油藏评价与开发可行性分析；第三章重点介绍注水开发油藏动态监测的主要内容及技术手段；第四章阐述了油田开发过程中的地质效应；第五章介绍气田开发地质研究特征；第六章介绍了不同地质条件下提高采收率的方法。全书由夏位荣、张占峰和程时清三人合作编著，其中绪论及第四章由夏位荣编写；第一章的第一、二、三、四、五、七节，第二章和第三章由张占峰编写；第一章的第六节，第五章和第六章由程时清编写，全书最后由张占峰统稿。

本书是随着近年来油气田开发地质学科的不断发展和我们在教学实践中不断听取有关专家、学者和学生意见的基础上，经过反复修改，不断完善而最终定稿成书的。早在1991年，为解决教学急需，我们就着手编写了《开发地质》讲稿。1994年我们对书稿作了较大改动，成稿为《油气田开发地质学》，经教学使用，效果较好，同时也得到了有关专家、学者的肯定和好评。1996年，我们又作了进一步修改，使得体系更趋合理，章节内容更为充实，更能反映我国油气田开发地质学的研究水平和发展方向。经由江汉石油学院教材委员会评审、推荐，后又经中国石油天然气总公司组织的专家审核、评定，本书被列为中国石油天然气总公司“九五”教材建设规划中的重点教材之一。之后，我们又根据评审人的意见，对书稿再次进行了认真修改，使得本书更趋完善。

本书在编写和出版过程中，受到江汉石油学院、中国石油天然气总公司人教局的有关领导、老师的大力支持和热情帮助，我们深表感谢！

由于我们水平有限，加之编写时间仓促，不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

1997年7月

目 录

绪论	(1)
第一章 开发储层评价	(3)
第一节 概述	(3)
一、开发储层评价的主要特点	(3)
二、开发储层评价的基础资料	(3)
三、开发储层评价工作程序及其各阶段评价内容	(5)
第二节 储层沉积微相与构造特征研究	(6)
一、油田开发中的沉积微相分析概念	(6)
二、砂体沉积微相分析方法	(7)
三、砂体沉积相类型与开发动态	(8)
四、储层构造特征研究	(8)
五、储层微型构造及其研究意义	(10)
第三节 储层的非均质性研究	(10)
一、关于储层非均质性的概念	(10)
二、砂体几何形态与连续性的确定	(13)
三、砂体的连通性分析	(15)
四、砂体微观孔隙结构特征分析	(17)
五、储层的层内层间非均质性研究	(22)
六、砂体的孔隙度、渗透率平面非均质性	(26)
第四节 储层裂缝评价	(28)
一、裂缝性储层的概念	(28)
二、裂缝类型及其评价内容	(29)
三、地下裂缝的评价方法	(32)
第五节 储层敏感性评价	(34)
一、储层敏感性评价的意义	(34)
二、储层损害的机理	(34)
三、储层敏感性评价程序及方法	(35)
第六节 利用不稳定试井研究储层	(39)
一、概述	(40)
二、利用不稳定试井识别储层地质模型	(40)
三、利用不稳定试井识别储层边界和流体边界	(44)
四、利用不稳定试井识别储层平面非均质性	(44)
第七节 储层地质模型与储层综合评价	(46)
一、储层地质模型的概念	(46)
二、建立储层地质模型的主要技术方法	(48)

三、开发储层综合评价及分类	(49)
第二章 油藏评价与开发可行性分析	(52)
第一节 油藏中流体分布与性质的研究	(52)
一、油藏中流体宏观分布规律	(52)
二、油藏流体在孔隙系统中的分布特征	(54)
三、油藏流体性质研究	(55)
第二节 油藏的压力和温度	(57)
一、有关地层压力的概念	(57)
二、油层压力分布的确定方法	(58)
三、油藏的温度系统	(61)
第三节 油藏的天然能量和驱动方式	(62)
一、油藏天然能量分析	(62)
二、油藏的驱动方式及其开采特征	(63)
第四节 油藏类型及油藏地质模型	(66)
一、油气藏开发地质分类	(66)
二、油藏地质模型	(67)
第五节 油气储量评价	(69)
一、有关油、气储量的概念	(69)
二、油、气储量计算方法的选择	(69)
三、容积法计算原油储量	(70)
四、产量递减法与水驱特征曲线法求原油储量	(72)
五、储量综合评价	(77)
第六节 开发层系的合理划分	(77)
一、开发层系及其划分开发层系的意义	(77)
二、划分开发层系综合考虑的因素及划分原则	(78)
三、划分开发层系的一般方法	(81)
第三章 注水开发油藏动态监测	(83)
第一节 压力监测	(83)
一、压力监测的意义和监测系统的部署	(83)
二、测压方法	(83)
三、压力监测结果的分析	(85)
第二节 吸水与产出剖面监测	(87)
一、吸水剖面的测量与分析	(87)
二、产出剖面的测量与分析	(90)
第三节 油水运动状况监测	(92)
一、监测的内容与方法	(92)
二、监测结果分析与应用	(96)
第四节 其他监测	(97)
一、产量与流体性质监测	(97)
二、井下技术状况监测	(97)

第四章 油田开发过程的地质效应	(98)
第一节 油田开发阶段的划分和录取资料的任务	(98)
一、油田开发阶段的划分	(98)
二、必须录取的开发资料	(99)
第二节 注水过程的地质分析	(100)
一、国内油藏的基本特点	(100)
二、露头区注水试验的地质观察	(101)
三、注水应考虑地质因素	(104)
四、水驱油的基本原理与地质布井方法	(107)
五、注水开采过程中的油层性质变化	(108)
第三节 油水井的模型和流动条件的分析	(111)
一、单井模型的建立	(111)
二、限制流体向井流动的因素	(114)
三、油水井分析	(116)
第四节 油层的地下动态和地质因素的关系	(122)
一、油层动态规律	(122)
二、影响油田开发效果的地质因素	(126)
第五节 砂岩油层水驱油运动规律和剩余油分布	(129)
一、纵向油水运动规律	(129)
二、平面油水运动规律	(135)
三、剩余油分布及其研究方法	(137)
第六节 调整挖潜与采收率的计算方法	(140)
一、计算采收率的方法	(140)
二、采收率的预测	(141)
三、层系和井网调整	(141)
第七节 裂缝性碳酸盐岩油藏的地质分析	(144)
一、油藏地质和开发特征	(144)
二、裂缝性底水油藏纵向油水分布规律	(145)
第五章 气田开发地质研究	(147)
第一节 储层特征及气藏类型	(147)
一、储层特征	(147)
二、气藏类型	(148)
三、气藏流体类型的识别	(148)
第二节 气藏储量计算	(149)
一、有限封闭气藏储量计算	(149)
二、水驱气藏储量计算	(152)
三、异常高压气藏储量计算	(152)
第三节 气田开发地质研究	(154)
一、驱动方式	(154)
二、开发层系划分	(154)

三、气藏地质特征与井位选择·····	(155)
第四节 气田开发动态分析·····	(156)
一、气田和气井开发阶段划分·····	(157)
二、气田动态分析的任务和内容·····	(158)
三、气田开发动态分析的方法·····	(159)
第五节 气田采收率分析·····	(163)
一、确定采收率的方法·····	(164)
二、影响气田采收率的主要因素·····	(166)
第六章 不同地质条件下提高采收率的方法·····	(169)
第一节 热力采油的油藏地质分析·····	(170)
一、蒸汽吞吐和蒸汽驱油概述·····	(170)
二、蒸汽吞吐和蒸汽驱所适用的油藏条件·····	(171)
三、稠油开发地质研究·····	(173)
第二节 聚合物驱油藏地质研究·····	(175)
一、油藏物理性质对聚合物驱的影响·····	(175)
二、聚合物驱油藏筛选·····	(177)
三、聚合物驱油实例及动态分析·····	(178)
第三节 水平井采油的地质分析·····	(181)
一、概述·····	(182)
二、水平井的产能及与直井的比较·····	(182)
三、水平井适用油藏条件分析·····	(187)
参考文献·····	(189)

绪 论

一、油气田开发地质学的发展

油气田开发地质学是随油气田开发逐步形成的一门新的地质学科，是石油地质学中的一个分支。油气田开发地质学是指油气田发现后，从评价勘探到油气田开发结束全过程的地质研究工作。

在石油工业发展的早期，主要是开发一些高产的自喷油田，这时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，为了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。

随着发现的高产油田愈来愈少，已投入开发的油田大多进入高含水期开采。采储比减少，原油需求量增加。油田开发中现代科学技术的应用和经济观念的加强，要求对地下油藏三维空间的微观变化有更精确的描述，而不是传统意义上的平均值；希望从定性到定量，建立三维地质模型；对油层的非均质性、渗透率的各向异性、油层井间变化、注入流体的推进以及剩余油的分布等作出准确解释和计算；并要求这些地质研究成果，必须经过油田动态的检验和修正，能够满足现代油藏工程计算预测和油田开发生产的要求。

世界石油工业已经历了一百多年的发展历史，中国石油工业在解放前基本上处于空白，是解放后才逐渐发展起来的，大规模的石油开发是在大庆油田发现之后。由于中国油田多为陆相沉积，油层物性变化大，地质条件复杂，油田生产离不开开发地质。正因为如此，大庆油田从投入开发起，就进行了深入、有成效的开发地质研究，如系统深入细致的岩心分析、小层对比、微相研究，六分四清的开发技术等，从而使大庆油田开发达到国际先进水平。

进入 80 年代以来，我国东部地区大部分油田先后进入高含水期开发，需要采用各种稳产挖潜措施和三次采油技术，否则油田难以稳产和提高油田最终采收率。在使用这些技术之前，必须搞清各油层剩余储量的多少和剩余油饱和度的分布以及与各种地质因素的关系。否则，不管采用哪种技术，都难以收到好的效果，如有的油田打加密井的成功率仅 70%，显然这个成功率太低。由此可见，开发地质学是油田开发系统工程中不可缺少的一门学科。

二、油气田开发地质学研究的内容和方法

油气田开发地质学是直接为油田开发服务的科学，研究的对象是油藏，基本内容是详细描述油藏三维空间的变化特征和微细的地质规律，同时还研究油层特征对地下流体运动和油井产能的控制与相互作用，以及提高油田开发效果与最终采收率的最佳方法。可概括为三个方面：

(1) 进行精细的定量的模型化的三维空间的油藏研究，为制定合理开发方案和开发措施提供依据。从发现油田起，开发地质的任务是通过各种信息（包括油田动态）的综合处理和微观的定量分析，反复加深对油层特征和油气水分布的认识，特别要加深对油层几何形状、孔隙结构、表面特性、沉积微相和油层非均质性的研究，在充分认识地质规律的基础

上，建立三维油藏静态地质模型和计算出可靠的地质储量，直接为油田开发决策、制定开发方案和预测油田动态服务，这是油田开发的基础工程，更是油藏经营和提高经济效益的支柱工程。

(2) 研究开发过程中，油层特征对油气水动态的影响和相互作用。根据动态反映特点，修正地质模型，确定地质特征对油田动态的影响，指导油水井增产措施和提高单井产能方案调整，达到最好的开发效果。

这些内容包括：综合利用各种测试技术，深入研究各小层的生产（或吸水）能力；油层连通和屏障分布情况，油层纵向和平面上的水淹规律，评价开发方案对油层特征的适应性；研究油田产能接替的顺序，加密井的布署，研究剩余油的分布，油层产能和压力变化，及时提出调整意见和措施。

(3) 提供地质资料优选三次采油方法。三次采油需要注入昂贵的驱油剂，这些驱油剂的驱油效率远比注入水的驱油效率高。选择三次采油方法，不仅需要知道剩余油饱和度的分布，还需要知道不同地质条件下最适宜的注入剂。为此，需要研究层内的微细变化，不稳定泥质薄层的分布，裂缝层间有无串通和油层非均质性等。

开发地质的研究方法，是一套综合研究方法，大量利用现代计算技术，以研究油层为中心由粗到细，由定性到定量，由传统的地质图到展示三维空间变化的地质模型，静动结合，充分利用各种地质录井、测井、测试、试井、特殊的岩心分析技术和开发先导性试验等手段，用分析计算和模拟相结合的方法，反复验证和反演地质成果，做到正确、全面、详细，逐渐认识油层固有的特征和微细的地质变化，指导油田合理开发，促进开发地质的发展。

油气田开发地质学是一门综合性学科，它与石油地质、储层地质、油藏工程、油藏数值模拟和试井等课程彼此结合，相互渗透，互为补充，是油气勘探和石油工程专业的专业课。为了学好油气田开发地质学，应先有沉积学、构造地质学、石油地质、油层物理、渗流力学、测井等课程的知识基础，以便更好地学习本门课程。

油气田开发地质学与油气开发生产实际紧密结合，有较强的实践性，应安排一定学时的油田现场生产实习，增强学生分析实际问题和解决实际问题的能力。

油气田开发地质学是一门新兴的学科，仍处在不断完善和发展之中。我们期待着中国油气田开发地质学不断发展，并对我国油气开发生产起到更大的推动作用。

第一章 开发储层评价

油气储层评价研究可以分为勘探储层（区域储层）评价与开发储层评价。勘探储层评价主要研究储集体的时空分布和对油气聚集带内在地质规律的揭示，是对油气勘探工程的指导，目的是找到新的油气田。而开发储层评价是指从油气田发现后直到开发终了的整个过程中的储层评价工作，它是直接为油气开发工程服务的，目的是合理开发油气田，提高采收率。勘探储层评价是开发储层评价的重要基础，而开发储层评价是勘探储层评价的深化。当然，两者因目的不同，研究的内容侧重点不同，工作方法和技术手段也不同。本章重点介绍开发储层评价研究的主要内容和主要技术方法，这是油气田开发地质学的一个重点内容。

第一节 概 述

一、开发储层评价的主要特点

不同开发阶段的开发任务不同，各阶段的储层评价工作的任务和要求也不同，开发储层评价工作具有阶段性。随着开发进程，储层评价工作从储层宏观特征逐渐深入到小层内部的微观非均质特征，从定性描述向定量表征和预测发展，不断深化对储层的认识，以满足油气田开发工作步步深入的要求。

开发储层评价的目的是为油气田开发方案设计和开发动态分析、调整挖潜提供地质依据的，所以开发储层评价的重点内容是影响开发动态的储层地质特征。对注水开发而言，储层评价的重点内容应是控制和影响注水开发效果（水驱油效率和注入水波及系数的大小）的储层地质特征。当然，不同类型油藏的地质特征不同，储层评价工作的侧重点也是不同的。

开发储层评价采取的是静态与动态评价相结合的方法，运用多种动态评价技术手段，进一步验证和深化对储层静态特征的研究，并得出对储层开发（主要是注水开发）动态的认识，多技术、多学科综合应用于开发储层评价工作，更好地为油气田开发服务。

二、开发储层评价的基础资料

取全取准储层评价所需的基础资料，是搞好评价工作的前提。油气田发现后进入开发准备阶段，就必须全盘周密考虑各项资料的录取工作。除地震测量资料外，所有储层评价所需的资料信息都必须通过井眼来录取。所以，在部署钻井规划的同时，要部署好资料录取规划，保证及时录取所需的各项资料。

开发储层评价所需的基础资料有四大类：岩心及其实验分析资料，测井解释资料，测试及其处理分析资料，开发地震资料。

1. 岩心及其实验分析资料

岩心及其实验分析资料是认识储层最直接的信息，也是储层评价必不可少的基础资料。因此，尽早尽可能地进行系统取心，取得一个所研究储层的完整岩心剖面，是开发储层评价很关键的一环。

系统取心井点在平面上分布应考虑储层平面上、纵向上相变的程度，保证所取岩心能覆盖各类微相和岩相，以利于建立测井相和建立各类微相、岩相和物性关系。

常规岩心分析的取样应满足一定的密度要求，满足测井的岩石物性解释需要。储层非均质性愈严重，要求取样密度愈大。

应有一定数量的代表性岩心样品，在同一块岩样上测定几项关键参数，以求得各项参数间合理的相关关系，如孔隙度和渗透率、水平渗透率和垂直渗透率、不同方向上水平渗透率的差异等。

要有一定的特殊岩心分析，了解储层的渗流特征，求取相对渗透率、水驱油效率、储层的敏感性。

评价水体部分储层，是开发储层评价中一个必不可少的组成部分。由于含油区和含水区间常常会存在差异成岩作用，两者参数经常不能互相替代。而水层性质往往对油层开发有很大影响，所以取得一定量的水层岩心并进行分析研究是十分必要的。

油基钻井液取心、密闭取心等特殊技术取心是直接取得准确的油、气、水饱和度资料和润湿性资料等的专门手段，应视需要和条件适当安排。

2. 测井及其解释资料

测井解释资料是开发储层评价中最重要的间接资料。任何一个油田取心井总是少数，测井就成为取得储层信息的主要手段。

目前国内外广泛采用组合测井，即用一组测井曲线解决某一个储层地质问题，形成专门的测井系列。而一个油田测井系列的选择和确定，必须建立在搞清本油田储层的“四性”关系的基础上（“四性”关系——储层的岩性、物性、含油性和电性关系。其中电性为各种测井响应的通称）。

测井资料应能满足如下需要：

- (1) 岩类的判别，对比标准层的建立，测井相的建立；
- (2) 渗透性砂岩、隔层，产油、产气、产水层的定性判别；
- (3) 孔隙度、渗透率、有效厚度，原始含油、含水饱和度的定量解释；
- (4) 投产后的储层动态参数的确定，如出油厚度、出油量、剩余油饱和度等。

3. 测试资料

这里所讲的测试资料包括重复式地层测试（RFT）、钻杆测试（DST）、试井（包括多井试井）、完井试油（特别是分层试油）、示踪剂测试，以及开发过程中生产井的生产数据等资料。

测试技术是取得储层动态信息的重要手段，也是验证和丰富储层静态信息必不可少的手段，并且能揭示储层静、动态参数之间的内在关系。测试资料应能覆盖各类储层（各种微相类型、岩石类型、物性级别、孔隙结构）和含油区与含水区。

测试资料应能满足：

- (1) 建立储层压力场和温度场；
- (2) 确定储层的边界与性质、连续性、连通性；
- (3) 确定储层中流体的性质与分布；
- (4) 确定储层的产能大小；
- (5) 了解储层中油气的动用程度和水淹状况。

4. 开发地震资料

油田发现以后，应尽可能地用三维地震测量，配以部分垂直地震剖面（VSP）测量以及高分辨率地震、井间地震等新技术，并通过各种特殊处理对储层进行评价。

开发地震资料主要用于：

(1) 通过地震相识别沉积相。地震相是特定沉积相或地质体的地震响应。根据地震反射特征，如反射外形、内部结构、顶底和侧向接触关系以及振幅的强弱等主要参数，确定出地震相类型，从而定出沉积相类型。

(2) 精查储层的构造形态、断裂分布发育情况。三维地震比二维地震有更高的精度，通过三维地震测量往往能补充、修正原有的储层构造解释。

(3) 识别储层的岩性，确定储层的厚度、分布、形态，特别是可用合成地震或地震测井等进行储层横向追踪，确定砂体的尖灭位置等。

(4) 利用各种声波信息判断储层中的孔隙发育带，用各种地震烃类检测技术判断储层中流体类型和确定油水、油气界面。

(5) 监测储层开发过程中流体的变化，如气顶的变化、底水的推进、注入水前缘分布状况、热蒸汽吞吐前缘的位置等。

以上四大类资料用于储层评价，“岩心是基础，地球物理（测井与地震）是手段，测试是验证”。必须强调综合运用各种技术方法，才能保证对储层作出科学评价。

三、开发储层评价工作程序及其各阶段评价内容

每个开发阶段的资料基础和所要解决的开发任务不同，因而储层评价的工作程序和重点内容也有所不同。

1. 开发准备阶段

(1) 对各含油层系进行地层对比：对开发目的层系进行油层组划分，作出油层综合柱状图，油层对比剖面图。

(2) 描述各油层组岩性特征：分析统计岩石成分、含量、粒度中值、分选系数、胶结物含量、胶结类型等。

(3) 分油层组统计有效厚度：作出含油层系和分油层组的有效厚度等值图，作出含油面积图，描述砂体的连续性、稳定性、方向性。

(4) 沉积亚相分析：分析各亚相带的旋回性、韵律性等，作出相模式图。

(5) 开展孔隙结构研究：确定各套开发目的层系的储集空间类型；分油层组统计孔喉大小、孔喉均质程度，作毛细管压力曲线分析。

(6) 物性分析：统计孔隙度、渗透率及渗透率分布，各油层组或含油层系间的渗透率级差、变异系数，作非均质评价；作出含油饱和度统计。

(7) 渗流特征分析：分含油层系、油层组确定润湿性；作出相对渗透率曲线；作出敏感性评价。

(8) 隔层研究：确定隔层标准，统计含油层系、油层组间的隔层厚度，隔层的孔渗性、裂缝特征、钻遇情况，描述隔层的岩性，作出隔层平面等厚图。

(9) 在上述研究的基础上初步建立储层的概念模型。

2. 开发方案设计与实施阶段

(1) 进行油层对比：将含油层系细分到小层，作出油层综合柱状图、对比剖面图，分区块作出连通图、小层平面图。

(2) 开展小层沉积相研究：将沉积相带划分到微相，研究各微相带平面分布与纵向变化，研究各微相带岩石的结构、构造，孔隙度、渗透率的纵横变化，作出孔渗平面等值图。

(3) 孔隙结构研究：以微相带为单元研究不同岩石的孔隙结构，用毛细管压力曲线作出

孔喉体积、渗透率贡献图。

(4) 成岩作用研究：研究成岩作用对孔隙类型和分布的控制。

(5) 非均质性研究：以小层为单元，进行平面、层间、层内非均质性描述，统计变异系数、非均质系数、级差等数据。

(6) 渗流特征分析：分区块、分油层组统计相对渗透率、水驱油效率分析数据；若开发准备阶段完成不足，继续分析油层润湿性、敏感性。

(7) 隔层研究：对小层间、砂层组间隔层制定标准，统计其分布，描述其性质。

(8) 根据对小层特征的上述研究，以小层为单元，作出评价分类。

(9) 进一步完善储层概念模型，建立储层静态模型。

3. 开发方案的调整与完善阶段

油田开发方案全面实施过程中或基本结束后，根据开发井生产和油田动态监测资料，结合前段静态资料，对各小层进行再认识，加深对储层特征的认识，掌握油水运动规律，搞清剩余油分布，为油田开发方案的调整与完善提供较精确的储层静态模型，并研究和建立更精细的、对井间非控制参数点有实际预测意义的储层预测模型。

(1) 开发方案实施后，对储层的各种特征进行全面的系统的再认识，检验沉积微相划分的合理性。

(2) 研究开发过程（主要是注水开发过程）中储层物性的变化、流体分布的变化、水淹规律和剩余油的分布规律等。

(3) 进一步研究高孔隙带和高渗透带的分布规律，加强对低渗储层特征的研究。

通过以上研究，为油层改造、调层补孔、钻加密井等措施提供地质依据。

(4) 为编制三次采油方案而进行的储层评价工作。如经初步分析，本油田宜采用热力采油技术，则需要进一步评价储层岩石的密度、比热容、导热系数、层内非均质特征，原油的粘度、密度、燃烧特点等。

第二节 储层沉积微相与构造特征研究

一、油田开发中的沉积微相分析概念

储层沉积学理论指出，沉积环境是沉积物形成的条件，而沉积相是沉积环境的产物，是沉积环境的物质表现。砂体的沉积环境和沉积条件，控制着砂体的分布状况和内部结构特征。大量的实验、模拟和生产动态研究表明，不同环境成因的砂体其储层性质不同，流体在其中的运动规律不同，开发特征也不同。因此，从研究砂体的成因入手，重建砂体沉积时的古环境，识别砂体沉积相，是正确认识砂体特征及其开发动态的基础。

对于开发储层评价而言，进行相分析必须逐级分析到微环境和微相。所谓“微环境”是指控制成因单元砂体——具有独特储层性质的最小一级砂体的环境（裘亦楠，1990年）。如研究曲流河环境沉积的砂体，应进一步细分为点坝、决口扇、天然堤、串沟和废弃河道等微相，它们虽属同一曲流河上的沉积，但储层特性完全不同，开发效果差别很大。

油田开发中的储层相分析与区域勘探中的相分析研究的目的不同，依据的资料和手段不同，所以它们进行相分析的详细程度亦不同。区域勘探相分析比较粗略，一般纵向上划分到地层系统的群、组、段，平面上划分到大相或亚相；而开发中的储层相分析就要细得多，垂向上要细分到单层，平面上要细分到微环境，确定每口井、每个油层所处的微相类型。因

此，人们往往把油田内的油层沉积相研究称为“细分沉积相”。

二、砂体沉积微相分析方法

开发储层沉积相分析一般的程序为：分析区域沉积背景，划分大相和亚相，确定油田所处的相带位置；划分沉积时间单元；确定各沉积时间单元的微相类型。

1. 划分大相和亚相

油田开发中储层沉积相分析总是在一个油田范围内进行的，研究范围比较局限，若脱离大相的控制，直接进行微相分析，就容易发生“窜相”。因此，识别微相必须在识别大相、亚相的前提下逐级进行。

一般利用区域岩相古地理研究成果，分析区域沉积背景，结合岩心观察和分析化验资料以及测井相分析和地震相分析，划分大相和亚相。

2. 划分沉积时间单元

所谓沉积时间单元，系指在相同沉积环境背景下的物化作用、生物作用所形成的同时沉积。同一单砂层就是同一沉积时间单元的沉积产物。进行单砂体沉积微相分析时，划分的沉积单元应当是一个一次连续沉积的单砂层。

不同的沉积环境下形成的沉积其稳定性不同，划分沉积时间单元的方法也不同。

(1) 对于湖相和三角洲前缘相比较稳定的沉积环境下沉积的砂层，因其大多具有明显的多级次沉积旋回和清晰的多个标准层，岩性和厚度的变化均有一定的规律可循，所以常用“旋回对比，分级控制”的旋回—厚度对比油层的方法，即在标准层控制下，按照沉积旋回的级次和厚度比例关系，从大到小逐级对比，直到每个单层。

(2) 对于河流沉积环境下的不稳定沉积而言，由于沉积环境变化快，河流侧向摆动与下切剧烈而导致砂层厚度与岩性变化大，就不能采用前述的旋回—厚度对比法来划分沉积时间单元，一般采用“等高程”对比法。

该方法的基本原理是：同一河流内的同期沉积物，特别是河道末期因淤塞而形成的以悬浮物为主的泛滥平原沉积物，其顶面就是等时面，高程十分接近，而且其顶面距标志层的距离也大体相当。所以我们可以选一标准层作为“高程”对比的基准，分井统计砂岩组内的主要砂层的顶面距该标准层的距离，将距标准层距离大体相近的砂层划为同一沉积时间单元。

(3) 对河流沉积，各井内旋回界线往往是不一致的，常用所谓“切片”对比法。即把两个标准层间控制的大套河流沉积，带有一定任意性地等分或不等分地按总厚度变化趋势切成若干个片（即小层段砂组），切片界线就是对比的等时界线，再按此等时界线进行地层划分和对比。

近十年来，层序地层学的产生和发展对地层的准确划分和对比起到了很大的推动作用。应用层序地层学的理论和方法，可以深刻认识层序形成、层序的类型、层序地层单元（准层序、准层序组和体系域）和地层分布模式，有效地进行地层划分并实现地层等时对比。目前，国内外都正在致力于发展陆相高分辨率层序地层学，并且已经取得了某些进展，其研究成果在一些油田已见到成效。实际研究表明，应用层序地层学进行沉积时间单元的划分和对比有其很大的优越性。

3. 进行各沉积时间单元微相分析

进行砂层沉积微相分析，首先必须依靠单井岩心资料，对取心井作出岩相柱状图，并依此定出各类微相的测井典型曲线，即所谓的电相——测井相特征，进而由测井相分析来确定砂体的微相类型和平面展布规律。

(1) 单井相分析：取心井的单井相分析是识别微相必不可少和最关键的一步。单井相分析就是对取心井的岩心进行细致地观察描述、分析鉴定，提取各种指相信息，如岩性和岩性组合特征、原生沉积结构和构造、生物化石特征、粒度分析结果、相序特征等，进行综合分析，建立起单井相分析柱状图。单井相分析柱状图主要反映砂层的定相标志，确定相类型和在纵向上的相序以及选定指相测井曲线。单井相分析的可靠程度直接影响着相分析的最终结果。

(2) 测井相分析：取心井总是有限的。要详细研究储层的微相纵横向和平面展布规律，必须借助测井相分析。进行测井相分析，首要的前提是必须通过取心井的岩相—测井相对比分析，建立合理的微相—测井响应关系，解决测井信息的多解性问题，即建立本油田或区块的标准测井相。

测井相主要是依据测井曲线的形态来确定的。目前广泛利用自然电位、自然伽马、电阻率、微电极、密度等电测曲线及其组合系列曲线和地层倾角测量特征进行测井相解释，并把建立的标准测井相进一步解释为沉积相。具体的解释技术在测井地质学中另有详细介绍。

在单井测井相分析的基础上，根据密井网的测井相解释成果，可以得出砂体沉积微相平面分布状况，进而可以建立全区的沉积模式。

近些年来，地震技术发展很快。用地震相参数（如反射结构、连续性、外部几何形态、振幅、频率、层速度等）所代表的地质意义来解释地层沉积相的地震解释技术在许多油田应用已取得成功。应用这种技术要求一方面掌握地震相参数特征及其所代表的地质意义，另一方面必须掌握沉积体系理论，各种沉积的一般组合模式、发育模式，这样才能解决好沉积相—地震相的因果对应关系问题。将地质相分析、测井相分析和地震相分析技术相结合，是沉积相研究的必然趋势。

三、砂体沉积相类型与开发动态

注水开发过程中，控制和影响油水运动的油砂体特征是多方面的。从微观的孔隙结构，砂粒排列的各向异性到以各种层理构造型式存在的纹层，不稳定的层内薄夹层，粒度韵律性以及宏观的空间变化导致的渗透率、孔隙度非均质性，渗透率方向性以及油砂体的几何形态，甚至一个开采层系内部油砂体之间的差异性等都直接影响每个油砂体内的油水运动特点。这些油砂体的地质特征，主要决定于各自的沉积环境。对于成岩后生作用不强的砂体更是如此。一定沉积成因的油砂体必然有一定的结构、构造特征，注水开发时也必然有一定的油水运动特点。油井在不同油砂体或同一油砂体的不同部位的生产特征也是不同的。如大庆油田研究河道砂岩体中的注入水水淹规律为“局部突进，条带水淹”，处于河道砂体主体部位的油井多为“高产短命井”；而注入水在河口坝砂体中的水淹要比在河道砂体中均匀，且多形成“高产稳产井”。

从砂体的成因入手，总结不同相类型砂体的沉积特征与注水开发动态的关系，对指导油田合理开发有着十分重要的意义。

四、储层构造特征研究

从指导油气田开发的角度讲，研究储层的构造特征主要是指弄清储层的形态特征和分布范围，断层的分布和封闭性、构造裂缝的发育程度和分布规律。这些研究成果是油气田开发设计和动态分析的地质基础，也是指导油气田开发中后期调整挖潜的重要依据。

1. 储层的构造形态和断层分布

研究地下储层的构造形态和断层分布主要依靠储层的钻遇深度资料、地层倾角资料和地

震解释结果。为了精查储层的构造特征，目前广泛使用三维地震资料。三维地震解释结果，可以得出储层较为详细的形态特征和复杂断块区的断层分布特征。以钻遇深度资料为基本控制点，结合地震解释成果，具体给出储层的构造平面图和构造剖面图是研究储层三维构造特征的基本技术方法。

需要注意的是，依靠评价井和地震资料得出的构造解释成果，往往需要随着开发井网的部署而得到验证或进一步修正。

2. 断层封闭性

储层由于受构造活动的影响，往往会被断层所切割。切割后断层两侧的岩层是否具有水动力学联系，这就是断层的封闭性问题。断层的封闭性不仅直接控制着油气开发前的分布，而且影响开发设计和开采动态。封闭性断层可形成流体渗流的屏障，而开启性断层则为渗流通道。详细研究储层中断层的封闭性，对断块油气田的开发尤为重要。

断层封闭机理主要有三种：一是断层面的粘土涂堵，即在断层形成过程中，塑性泥页岩被拖进断层面形成断层泥，封闭两侧砂层，或形成砂层与粘土层并置（图 1-1）；二是在断层活动过程中对岩石颗粒产生的挤压破碎作用，会大大降低断层带的渗透性而形成封闭；三是断层带内产生新的成岩作用而使原来渗透的断层发生封闭。

对断层封闭性的研究，可以从断层封闭成因机理上分析，并将静态分析与动态验证方法相结合来确定断层的封闭性。

(1) 静态分析方法：即从分析可能造成断层封闭的成因机理入手，详细研究断层两侧岩石岩性物性配置关系和排驱压差，以及断层的力学性质与产状等多种因素。

一般认为：断层两侧为砂岩与泥岩或膏盐接触，断层封闭性好；断层两侧为砂岩与砂岩接触，但沿断层面如有不渗透岩石充填，则断层封闭性较好；若断层两侧虽为二砂层相接触，但二砂层的排驱压力如果相差较大，则可能断层封闭；压性和压扭性断层中多发育压性构造岩、胶结致密，孔渗小，对流体起封闭作用；张性和张扭性断层中多发育张性构造岩，胶结松散、裂缝发育，对油气起通道作用。另外，我国油藏中大多发育正断层，而正断层面上所承受的压力是由断层下降盘上覆地层引起的，断层面的倾角越小则作用于断层面上的压应力就越大，其结果是断层封闭性越好。

另外，断层两侧储层内流体性质是否相差较大，两侧储层内油水界面是否一致等也是认识断层封闭性的重要特征。

许多人为了综合分析多种影响因素，运用模糊数学原理判别断层的封闭性。也有研究指出，可以利用声波测井信息来鉴别断层的封闭性。但这些方法的研究结论还需动态方法来验证。

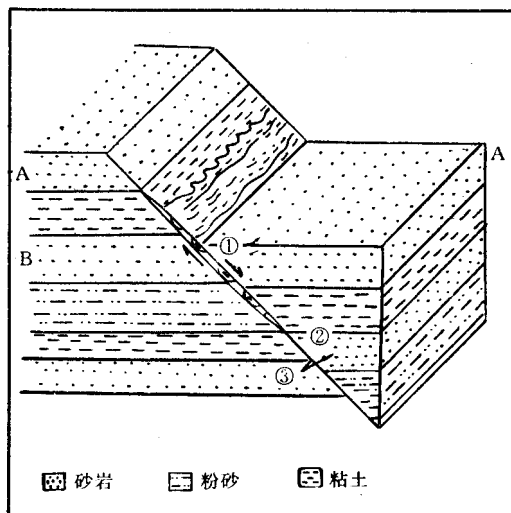


图 1-1 断层封闭性形成示意图 (据 Bouvier 1989 年)

- ①—断裂期间塑性粘土拖进断层面在两层砂岩 (A 和 B) 之间形成粘土密封；
- ②—储层与不渗透粘土层并置；
- ③—砂岩到砂岩窗口，或运移的油气在断层面产生的可能的溢出点上泄漏