

高等学校教材

油气田开发地质方法

刘 静 陈 刚 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

油气田开发地质方法

刘 静 陈 刚 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书按照现场实际工作程序,从储集层的研究方法着手,分析储层流体性质与温压系统,阐述储量计算与地质评价方法,论述地质建模的内容及步骤,讲述油气藏开发方案的编制及动态分析方法,最终阐明剩余油分布的研究方法。本书结合现场工作程序和实例,做到了油田开发与气田开发并重,以适应油气田开发地质不同层次技术人员工作的需要。

本书作为高等院校石油地质和石油工程专业本科生教材,也可供从事油气田开发的工程技术人员及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气田开发地质方法/刘静,陈刚主编.

北京:石油工业出版社,2009.8

(高等学校教材)

ISBN 978-7-5021-7181-0

I. 油…

II. ①刘… ②陈…

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(2009)第 139073 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) 64523612 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

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:339 千字

定价:21.00 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

本教材是根据教育部对教学改革提出的“面向二十一世纪，拓宽专业，提高质量，培养技能，造就复合型人才”的目标编写的。根据这个目标，石油地质专业的学生需要加强油气田开发和油藏工程的理论和实践，石油工程专业的学生需要加强石油开发地质方面的理论和实践，使学生逐步向一专多能方向发展。

油气田开发地质学是一门综合性和实践性都非常强的专业课。本书在编写过程中特别注重与油气田现场实践的密切联系，特别邀请了油田采油厂的技术骨干们参加编写相应章节内容，并聘请现场专家进行了审阅。

本书以油矿地质学和油藏工程为理论基础，将油气开采工程与地质有机地结合在一起，按照生产现场从事油气田开发的地质人员的工作程序，系统地讲述了从静态资料的收集整理到开发方案的编制及动态分析等方法，以适应油气田不同层次的地质技术工作。除绪论外，本书共分为6章，系统介绍了开发阶段储集层的研究、油气藏的流体性质、温压系统、驱动能量及储量计算与评价、地质建模、油气藏开发方案编制、油气藏的动态监测及动态分析的内容及方法，最后简单介绍了研究剩余油的方法。

本教材是在2001年编写的试用讲义基础上，经历了5届地质专业专科和3届石油工程专业本科的学生试用过程，听取有关专家、同行和已经工作的学生的反馈意见，不断反复修改后完成，内容上更具连续性、系统性和可读性。并结合现场工作程序和实例，做到油田开发与气田开发并重，具有应用型本科专业的特色。

参加本书编写人员有：西南油气田分公司重庆气矿的米小双（第一章第一、二节）和雷治安（第一章第三～五节），重庆科技学院的刘静（绪论、第一章第六～九节、第二章第一、二节及第五章的第四节、第六章），西南油气田分公司川东开发公司的谭勇（第二章第三节），江苏油田采油一厂的陈刚和张建宁（第二章第四节、第四章及第五章第一～三节），青海油田公司冷湖油田管理处开发室的杨银山（第三章）。全书由刘静、陈刚任主编，成都理工大学能源学院徐国盛教授任主审。

在本书编写过程中大庆石油学院刘吉余教授和重庆科技学院唐洪俊教授对本书的编写大纲进行了认真的审查，提出了许多宝贵的修改意见，在此特别感谢。西南油气田分公司重庆气矿饶雷、谭斌，开发部陶诗平，川庆公司郑辉、黄明华在相关资料搜集整理方面，学生李元攀、赵群雷等在编图、文字校对方面承担了大量工作，在此一并表示衷心感谢。本书在出版过程中，受到石油工业出版社、江苏油田、重庆科技学院有关领导、老师的大力支持和热情帮助，我们深表谢意！

因编者水平的限制，书中难免存在不足之处，衷心欢迎使用者批评指正，以期不断完善。

编 者

2009年3月

目 录

绪论	1
第一节 油气田开发地质学的研究方向	1
第二节 油气田开发地质学的研究内容和方法特点	2
第一章 储集层研究方法	4
第一节 概述	4
第二节 储层划分与对比	6
第三节 储层沉积微相及微构造	19
第四节 储层流动单元划分	37
第五节 储层预测技术	45
第六节 储层非均质性研究	47
第七节 储层敏感性分析	53
第八节 储层储集性能的变化	60
第九节 储层综合分类及评价	62
第二章 油气藏开发特征研究方法	66
第一节 流体特征	66
第二节 油气藏压力、温度及驱动方式	68
第三节 油气储量计算	88
第四节 油气藏评价	114
第三章 油气藏地质建模方法	119
第一节 地质建模概述	119
第二节 地质建模的方法	127
第三节 地质建模的内容及步骤	133
第四章 油气藏开发方案编制方法	136
第一节 油气藏开发方案编制概述	136
第二节 油田开发方式的选择	141
第三节 开发层系划分与组合	143
第四节 开发井网部署	148
第五节 采油速度优化	156
第六节 油藏开发方案优化	157
第五章 油气藏动态分析方法	160
第一节 动态分析的概念	160
第二节 油气藏动态监测	166
第三节 油藏动态分析	174
第四节 气藏动态分析	184
第六章 剩余油分布研究方法	190
第一节 剩余油的相关概念和分类	190
第二节 剩余油分布规律的预测	193
第三节 剩余油分布的预测方法	198
参考文献	205

绪 论

第一节 油气田开发地质学的研究方向

作为现代石油地质学与油气田开发工程的交叉学科,油气田开发地质学为提高油气田开发水平及技术应用效果发挥了重要作用,已逐渐成熟,为石油地质专业中与石油勘探并列的两大分支学科之一。

油气田开发地质学,是油气田开发深入发展的产物。现代石油工业若从 1859 年算起,已有近 150 年的历史。然而开发地质学的出现还不到 50 年,作为一个成熟的学科而高速发展则是近 20 年的事情。早期的石油工业,世界油气勘探由地质学家为主体来进行,油气田发现以后交由石油工程师管理开采,地质学家不参与油气开采活动,这是由当时油气开发的水平所决定的。

在我国石油工业发展中,油气开发地质工作一直受到相当的重视。如果说西方在 20 世纪 70 年代后期才意识到油气开发工程仍离不开地质基础工作,号召地质学家回到油田中来,那么,我国早在 20 世纪 60 年代初期,在大庆油田的开发实践中就形成了强大的油气田开发队伍,从石油勘探的区域地质队伍中分离出来,从事油田开发领域的油藏地质工作。当时为适应我国陆相储层特征而形成的油砂体理论和研究方法在国际上已独树一帜。相应总结出的探明一个油田必须搞清的 9 项开发地质特征,至今仍然是开发地质学所遵循的基本原则。近十几年来,由于勘探开发成熟度很高的产油国把主要注意力转向老油田挖潜和提高采收率方面,促使开发地质和相关技术更快发展,使得新技术层出不穷。精细尺度的露头调查测量、成像测井、储层地球物理、地质统计、随机建模、示踪测试和计算机三维处理显示等技术的出现,以及这些技术的协同综合,正在逐步实现开发地质工作的主要任务——油藏描述由宏观向微观和由定性向定量的发展。关于这些技术本身,国内外每年都有数以百计的论文和著作在各种出版物上发表,这无疑是促进油气开发地质学理论研究和技術工作繁荣和发展的动力。虽然技术手段可以不断更新,但从油气田开发地质方法论的角度,有其必须遵循的基本原则。把握这些基本原则,是搞好开发地质工作的前提。

20 世纪 80~90 年代,石油工业的新形势以及现代高新技术的飞速崛起,促使油气田开发地质又进一步向更高更深的层次发展。因为石油资源配置的新形势,一些主要产油国都面临这样的情况:已开发的含油气盆地和油气田进入勘探开发高成熟期,勘探工作转向自然地理条件很差的边远地区,勘探成本大幅度上升;已有的老油田由于油价疲软,高成本的三次采油技术多因经济因素而无法使用,依靠二次采油,平均采收率仅 35% 左右,大有潜力可挖;按一般情况估计,由于储层各种非均质性的隔挡,尚有 20% 的可动油未被二次采油的注入水所波及,通过深化认识储层非均质性改善二次采油技术,这部分可动油完全可以采出;水平井的出现,为改善二次采油提供了重要手段。进入 21 世纪,随着国家经济的发展,三次采油技术实现了大面积工业化生产,这就需要更精确地描述地下剩余油的分布,要求油藏描述向更小尺度的定量化描述方向发展。同时借助于计算机技术的发展、数学与地质的结

合、分形学和混沌学等非线性数学新理论和方法的出现,为描述一些地质现象提供了新武器。三维地震的发展,也使得用地震技术可以辅助解决开发中的储层描述问题。因此,普遍认为,在老油田进一步加强开发地质研究,深化认识非均质性,通过钻加密井(包括水平井、多底井、侧钻等)和其它改善采油的方法,进一步提高老油田采收率,所能获得的经济效益远大于边远地区的勘探效益。如大庆油田经过 40 多年的开发,储采不平衡的矛盾已经日益突出,“边、老、低、难”资源所占比例越来越大。在油田高含水开发后期,还面临着综合含水率上升、自然递减率上升、储采失衡等诸多矛盾,给大庆油田的可持续发展带来了严峻的挑战。要想解决这一系列矛盾,除了在勘探上要有重大突破之外,还必须在开发上最大限度地提高油田的采收率。近几年聚合物驱油技术、三元复合驱油技术、泡沫复合驱油技术等由大庆人自己发明、自主创新,获得国家、国际发明专利和发明大奖的驱油技术,标志着大庆油田的科技创新已经走在当今世界油田技术的最前沿。与此同时大庆油田的四次采油技术也已超前储备,微生物采油技术经过近 10 年的攻关,开发了以原油中物质为主要营养剂的微生物驱系列菌种。研究表明,该技术可在三次采油之后进一步提高采收率,有望成为大庆油田开发后期的主要接替技术。截止到 2008 年 7 月,大庆油田的平均采收率已达到 60%。由此可见,油气田开发地质学是油气田开发系统工程中不可缺少的一门学科。

第二节 油气田开发地质学的研究内容和方法特点

油气田开发以实现正确的现代油藏管理(Modern Reservoir Management)为标志,而现代油藏管理的两大支柱是油藏描述(reservoir description)与油藏模拟(reservoir simulation)。油气田开发地质学的主要内容,就是在油藏管理的全过程中,描述油气藏地质特征。油气藏地质特征很多,可以从不同侧面来表征。不同勘探开发阶段由于目的、任务不同,所要重点把握的特征会有不同。油气藏的开发地质特征概括起来可分十大方面:①储集层的岩性、微相特征;②储集层的微细构造特征、断层分布、裂缝发育程度;③储集层连续性,即各项属性的非均质性特征;④储集层的储集性能及敏感性特征;⑤油、气、水物理化学性质及其在油田内的分布特征;⑥油气藏的压力系统、温度场特征;⑦油气藏的驱动方式特征;⑧油气储量;⑨油气藏动态开发地质特征;⑩剩余油气分布的地质特征。

根据我国注水开发的实践,进入开发阶段以后,任务包括三个方面:第一,研究精细的定量的模型化的油气藏三维空间,为制订合理开发方案提供依据;第二,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;第三,根据动态特点修正地质模型,确定地质特征对油田动态的影响,指导编制调整方案,达到最好的开发效果。油气田开发地质工作的核心任务是描述油气藏开发地质特征,即将可利用的人力、技术、财力资源,以最小的投资和操作费用,通过优化开发方法,从油气藏开发中获得最大的利润。

油气田开发地质学是直接为油气田开发服务的科学,研究的对象是油气藏,其研究方法是一套综合研究方法,通过充分搜集各种地质和测试资料,并最大限度地利用现代计算技术,遵循油气田开发的阶段性特征,实践一步,认识一步,再实践一步,再深化认识一步。如此反复前进,逐步完善对油气藏的认识,同时逐步完善油气田开发工作,提高采收率。

油气田开发地质工作就是如此随着开发阶段的推进,逐步加深对油藏的认识,绝不是等待资料积累,以“事后诸葛亮”的被动方式去完成。因此每个阶段的工作都必须为后一阶段的开发措施承担某些推理和预测的风险,这样便促使开发地质工作者要主动积极地去推进这

一认识过程，保证油田开发的顺利进行。

一个成熟的开发地质工作者，总是能自觉地运用这一规律，不仅能在每个开发阶段的过程中把握好加深认识油藏的关键，而且能把每一项细小的开发措施和资料积累的活动自觉地作为一次小的“实践—认识”的过程，抓住重点，敏锐地发现问题，举一反三，以点带面，不断地提出问题，修改认识，把周期较长的开发阶段，分解成很多更短周期的“实践—认识”的反复。这样不仅可以掌握整个油田开发过程的主动权，不犯或少犯认识上的错误，而且还可以加速认识油气藏的进程。例如在评价阶段，每口评价井的完成，每口井钻探过程中每一项地质资料的积累，都是开发地质工作者反复认识油藏的机会。再例如油气田投入注水开发以后，少数井注入水的提前突破，可能会引起对储层某一项非均质性的重新认识。

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、油田开发、测井和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学，应先有石油地质、油层物理、渗流力学、测井等课程的知识基础。

油气田开发地质学具有较强的实践性，应适当安排一定学时的校内综合训练或现场生产实习，并编写相关油气田开发地质生产实习指导教材，以增强学生分析实际问题 and 解决实际问题的能力。

之所以油气田开发地质学仍处于不断完善和发展之中，是因为它具有独特的研究内容和方法。相信随着中国及世界油气田开发技术的发展，油气田开发地质学将在油气开发中起到越来越大的作用。

第一章 储集层研究方法

凡是具有一定的连通孔隙，能使流体储存并在其中渗滤的岩层称为储集层。储集层中储存了油气称为含油气层。已开采的含油气层称为产层。目前世界上绝大多数油气藏的含油气层是沉积岩（主要是砂岩、石灰岩和白云岩），只有少数油气藏的含油气层是岩浆岩和变质岩。近年来，随着石油地质理论不断发展，油气田勘探技术水平的提高，人们在岩浆岩、变质岩及泥页岩中找到油气藏的数量越来越多，相信在不久的将来，人们会在这类储集层中发现更多的油气。

第一节 概 述

储集层是形成油气藏最具价值的地质实体之一，没有储集层就没有油气藏。储集层的特性是控制地下油气分布、油气储量及产能的重要因素，也是油气田勘探开发的基础资料之一。

一、勘探和开发对储集层研究的区别

储集层历来是勘探地质和开发地质研究的重点和核心，但它们研究储集层的目标和侧重点有很大差别。了解其差别所在，对于深入理解储集层研究的目的、内容和方法都有重要意义，也有助于我们认识和掌握适应自己工作方向的储集层知识。

随着油气田的勘探开发进程的深入，对于储集层的研究，其内容侧重点不同，工作方法和技术手段也不同。从阶段上分为勘探过程中的区域储集层研究和开发过程中的精细储集层研究两个部分。区域储集层研究是从石油地质角度分析储集体的时空分布和生储盖组合规律，用以指导油气勘探工程，目的是寻找新的油气田；而精细储集层研究是指以油层物理定量手段，从找到油气田后一直到开发结束的整个过程中的分析工作，它是直接为油气开发工程服务的，目的是合理开发油气田，提高最终采收率。区域储集层研究是精细储集层研究的重要基础，而精细储集层研究是区域储集层研究的进一步细化（表 1-1）。

表 1-1 勘探和开发对储集层研究的差别

对比项目	勘探储集层研究		开发储集层研究	
	区域勘探	评价勘探	开发设计阶段	开发中、后期
研究目的	选择有利探区	计算探明储量	选择井网井距等	制定调整挖潜措施等
主要研究内容	区域范围的有利储集层评价	油藏储集层描述、储集层综合评价	储集层展布连通及非均质性研究	储集层流动单元与详细非均质性研究
剖面厚度要求	地层组、段	油层组、砂岩组	砂岩组	单砂层、流动单元
平面研究尺度	数千米以上	千米级	一个基础井距	半个加密井距以内
建立储集层模型	无	粗略的概念模型	概念—静态模型	静态—预测模型

二、储集层精细研究的内容

近年来,储集层的研究无论在理论上和方法上都有迅速发展,已经形成了“油气储层地质学”等新兴学科。储层物性的研究也已进入了多学科、多信息、多种手段相结合,从宏观到微观、从常规到特殊,从静态到动态,从定性到定量研究的新阶段。特别是储层非均质性研究、模拟地下地层条件的储层物性研究等引起人们的高度重视。地质、地震、测井及测试资料的综合利用,为储层物性研究提供了新的信息及技术手段,地震地层学及层序地层学的诞生,又使人们在储层物性的成因预测研究方面,向前迈进了一大步。油气田开发中精细储集层研究的主要内容和研究方法,是油气田开发地质学的一个重点内容。

储集层精细研究要求定量化和精细化程度很高,广义的储集层精细研究包括:①沉积微相的细分、组合特征和空间配置关系;②各微相砂体内部结构特征及物性参数分布;③流动单元划分与对比及流动单元的空间结构;④以微构造研究为主的微地质界面研究;⑤孔隙结构、粘土矿物及敏感性研究;⑥注水开发过程中储集层物性动态变化空间分布规律研究;⑦生产测井解释和剩余油分布特征及规律研究;⑧精细储集层预测模型建立。通过研究所要解决的关键问题是:建立储集层预测模型,确定剩余油分布特征及规律。狭义的储集层精细研究则侧重储层本身的特征分析,忽略其中流体的特征。本章以“油层物理”、“矿场地球物理”等课程相关知识为基础,着重狭义储集层精细研究的内容。

三、储集层研究的主要方法

储集层研究是油气藏地质研究的核心。只有在科学的、系统的、量化的储层研究基础上,才能有效地提高勘探开发效益,才能准确地评价油气藏,预测最终采收率。所用方法如下。

1. 地质分析方法

地质分析方法是根据钻井取心资料和野外地面露头的观察描述以及实验室分析化验资料,研究储层的沉积特征、成岩作用、成岩序列、微观孔隙结构、粘土矿物及其敏感性,以及储层的物性、含油性特征。

2. 地球物理测井方法

地球物理测井方法是在关键井研究的基础上,通过建立测井资料数据库,运用数学地质学的方法,研究岩性、物性、含油性与电性(测井信息)之间的关系,建立研究区的最佳测井解释模型,从而实现储层参数从取心井到非取心井的最佳求取。

3. 地震方法

地震方法是把地震资料同测井、地质及油藏工程等资料结合起来,并利用高分辨率地震技术、声阻抗反演技术、井间地震层析成像技术及多波、多分量地震技术来圈定储层的横向展布、确定厚度变化、估算孔隙度、预测岩性及含油气性变化、监测热采前缘等。

4. 储层动态测试方法

储层动态测试方法主要包括在注水井测吸水剖面、在自喷井上测产液剖面、在抽油井上进行环空测试,以及进行示踪剂测试、压力监测等方面,用以研究储层的生产动态。

上述每种方法都有其独到的特点,但在实际工作中不可只用某一种方法全程研究,而是多种方法相互配合,互补有无,使我们对储层的认识更加全面。

第二节 储层划分与对比

在勘探阶段，储层研究进行的地层对比，是对地层时代和大套岩层的横向比较。到了开发阶段，则进行油层对比——在一个油田范围内，对区域地层对比时已确定的含油层系中的油层进行进一步的划分和对比。其特点：一是细，剖面上要求划分对比到单油层；二是注重连通性，油层平面与剖面的连通情况和隔层的分布情况都是对比研究的重点。其中划分是对比的基础，对比是划分的进一步验证。

一般可将油层单元从大到小划分为含油层系、油层组、砂层组和单油层四级。单油层通称小层或单层，是组成含油层系的最小单元（目前提出的流动单元为最小单元，将在本章第四节中说明），相当于沉积韵律中的较粗粒部分。同一油田范围内的单油层具一定的厚度和分布范围，并且具岩性和储油物性基本一致的特征。单油层间应有隔层分隔，其分隔面积应大于其连通面积。砂层组是由若干相互临近的单油层组合而成，同一砂层组内的油层其岩性基本一致，其上下均被较稳定的隔层分隔。油层组是由若干油层特性相近的砂层组组合而成，并以较厚的非渗透性泥岩作为盖、底层，且分布于同一相段之内。含油层系是由沉积成因相近、岩石类型相似、油水特征基本一致的若干油层组组合而成，其顶、底界面与地层时代分界线具一致性。

在含油层系中，由于地层的岩性、沉积旋回、岩石组合及特殊矿物组合等都客观地记录了地壳演变过程、波及的范围和延续的时间，且岩性和流体性质特征不同导致它们在测井曲线上的形态不同（地球物理特征），这些都为油层对比提供了地质依据。

一、储层对比的方法

储层对比所应用的方法和区域地层对比基本相似，只是划分和对比的精细程度远比区域对比高。如油层组的划分一般与地层单元一致，可以应用地层对比方法。而砂岩组和单油层由于单元小，古生物、重矿物等在剖面的小段内变化不显著，主要是在油层组的对比线和标准层控制下，根据岩性、电性所反映的岩性组合特点及厚度比例关系作为对比时的依据。

1. 旋回—厚度对比法

形成于陆相湖盆沉积环境的砂岩油气层，大多具有明显的多级次沉积旋回和清晰的多层标准层，岩性和厚度的变化均有一定的规律可循。依据这些特点，在我国多数陆相盆地沉积的油田均采用了在标准层控制下的旋回—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及厚度比例关系，从大到小按步骤逐级对比，直到每个单层。

（1）利用标准层对比油层组

储层对比成果的精确程度，取决于井网密度和标准层的质量和数量。储层对比中的标准层，要求是分布广泛、岩性与电性特征明显、距目的层较近、厚度不大且易与上下岩层相区别的岩层。根据岩性和电性的明显程度以及稳定分布的范围，在油层对比时，可将其分为标准层与辅助标准层。

在储层对比中选择好标准层是对比工作的基础。选择标准层时首先应研究油田区域内各油层剖面中稳定沉积层的分布，然后逐层追踪，编制分层岩性平面分布图，以确定其分布范围和稳定程度，进而从中挑选出可作为标准层的层位。与此同时，必须掌握标准层本身的岩

性、电性特征和平面的变化规律，及其在剖面的顺序和其邻层的岩性和电测曲线特征。因为只有综合掌握了这些资料，才能避免在应用标准层时弄错位置，特别是当剖面上同时存在几个相同岩性的标准层时，识别邻层的特征显得更为重要。

一般来说，稳定沉积层多形成于盆地均匀下沉、水域分布广阔的较深水沉积环境中。从剖面上看，一般在两个沉积旋回或两个岩相段的分界附近，由于沉积环境在时间上的交替，往往使两种岩相的岩性直接接触或出现混相现象，易于形成特征明显的岩层，所以寻找与选择标准层应着重于这些环境或层段。

图 1-1 为三口井的部分油层剖面，剖面的底、顶均为大段泥岩，经研究顶部①号层为灰黑色泥岩和介形虫泥岩，在区域内分布稳定，是区域对比标准层。底部③号层厚约 20~30cm 为黑灰色介形虫泥岩，紧接其下是一层电性特征明显的钙质砂岩层，在油田范围部分稳定。因此，该层也可作为对比标准层。在剖面中部含有一层层位稳定的灰黑色泥岩，但因邻层电性不稳定，故该层只做辅助标准层。由于该区含油层系是一个正旋回背景下的沉积，故该剖面可以②号辅助标准层为界，上下划分为两个二级正旋回，即两个油层组。

(2) 利用沉积旋回对比砂岩组

在划分油层组的基础上的砂岩组对比，应根据油层组内的岩石组合性质，演变规律、旋回性质、电测曲线形态组合特征，将其进一步划分为若干个三级旋回。在二级旋回内划分三级旋回，一般均按水退和水进考虑，即以水退作为三级旋回的起点，水进结束作为终点。这样划分可使旋回内的粗粒部分的顶部均有一层分布相对稳定的泥岩层，这层泥岩既可作为划分与对比三级旋回的具体界线，又可作为砂岩组的分层界面。

(3) 利用岩性和厚度对比单油层

在油田范围内，同一沉积时期形成的单油层，不论是岩性还是厚度都具相似性。在划分和对比单油层时，首先应在三级旋回内进一步分析其单砂层的相对发育程度及泥岩层的稳定程度，将三级旋回细分为若干韵律。韵律内的较粗粒含油部分即为单油层。井间单油层则可按岩性和厚度相似的原则进行对比。韵律内的单油层的层数和厚度可能不尽相同，在连接对比线时，应视具体情况做层位上的合并、劈分或尖灭处理（图 1-2）。

每钻完一口井，应立即绘制同层单层对比资料图（图 1-3）。以此图为依据，逐井，逐层进行划分和对比并统一层组编号。若发现油层缺失、重复或有其它变化时，需仔细核实。单井对比成果应整理成图或表。

(4) 连接对比线

储层对比不仅需将油层的层位关系，而且还要将油层的厚度变化、连通状况表示在对比图上。这项工作通过连接对比线完成。由于砂层的连续性和厚度稳定性的变化很大，用简单方法很难将砂层的真实面貌表示出来。常用的对比线连接形式如图 1-4 所示。

在单井对比基础上，应再按井排、井列或井组组成的纵、横剖面 and 栅状网进一步对比，以达到统一层位划分。最后做出油层剖面图，栅状图和小层平面图，为编制油田开发方案提供基础资料。

在对比中若发现层位不一致时，应及时修改对比界线，修改后再进行剖面或区间对比校正，只有经过多次反复，最后达到点（井）、线（剖面）、面（区块或全区）层位一致。

2. 沉积时间单元对比法

所谓沉积时间单元，是指在相同沉积环境背景下的经物理作用、生物作用所形成的同时沉积。从理论上讲，一套含油层系内的沉积从时间上是可以无限细分的，而单元的大小则视研究目的而定。

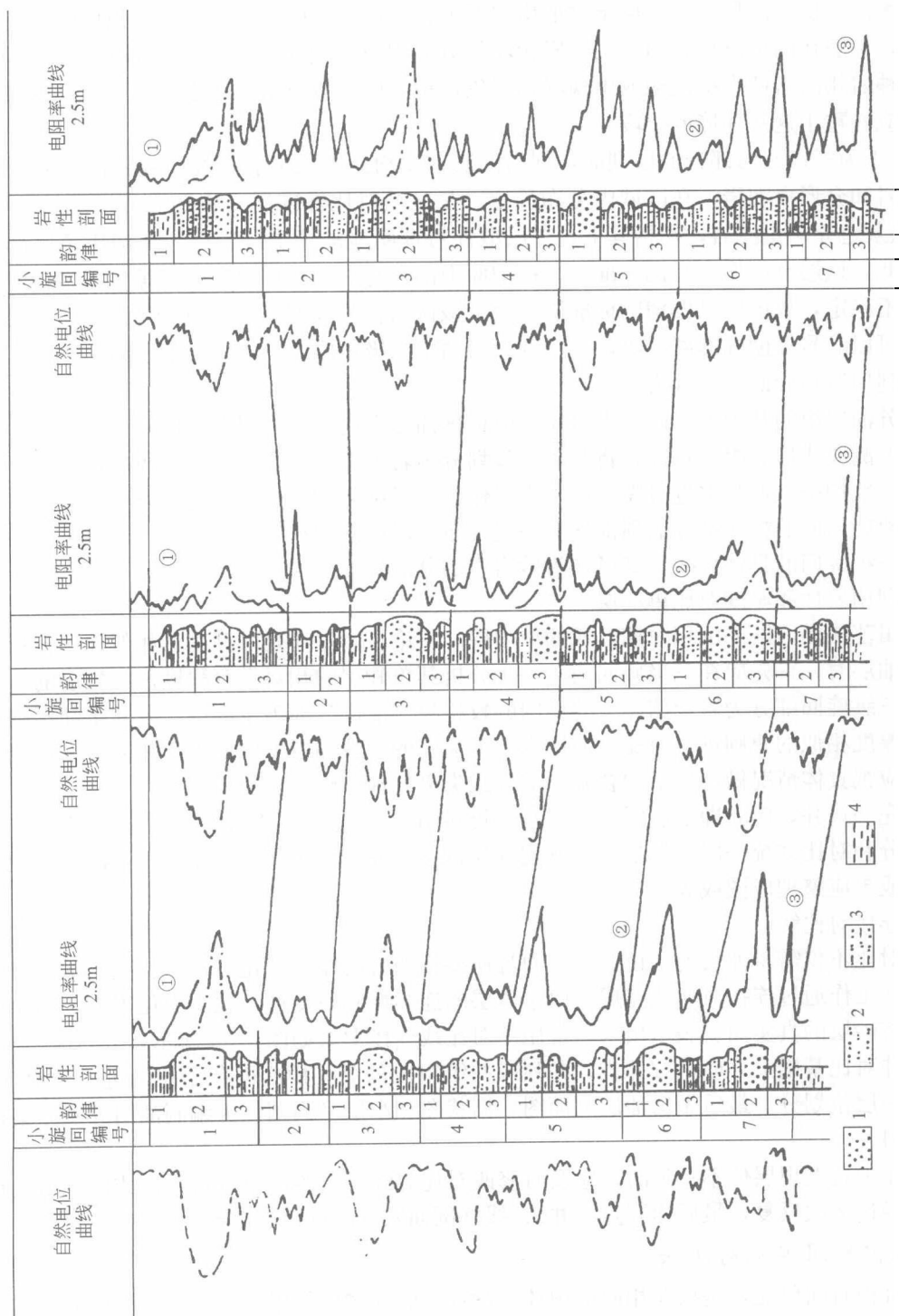


图 1-1 油层组及砂层组对比示意图

1—砂岩；2—粉砂岩；3—泥质粉砂岩；4—泥岩

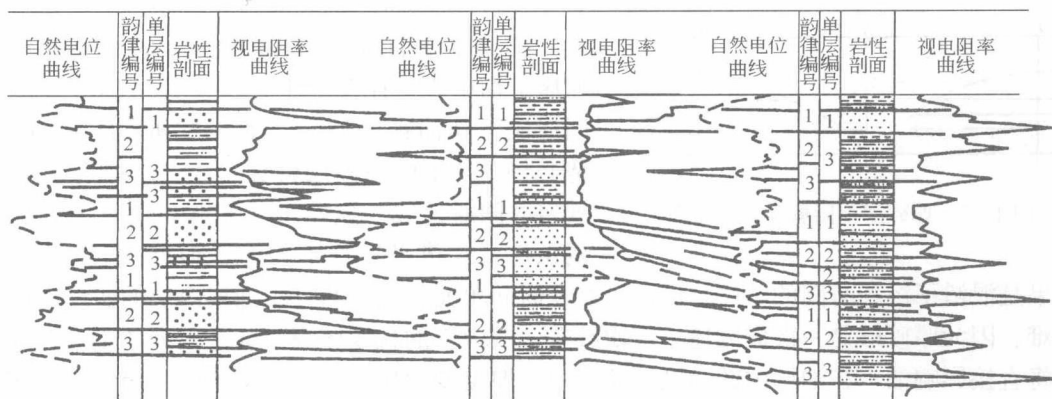


图 1-2 单油层对比图

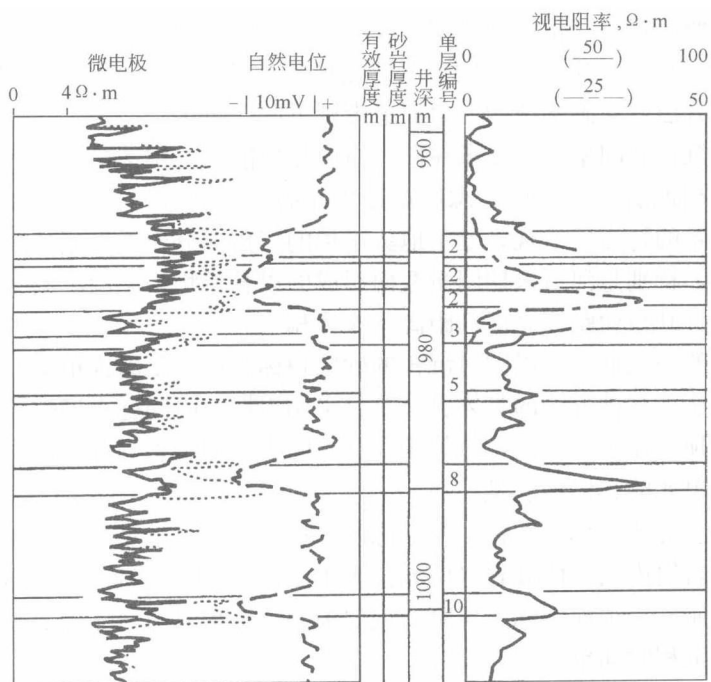


图 1-3 油层单层对比单井资料图

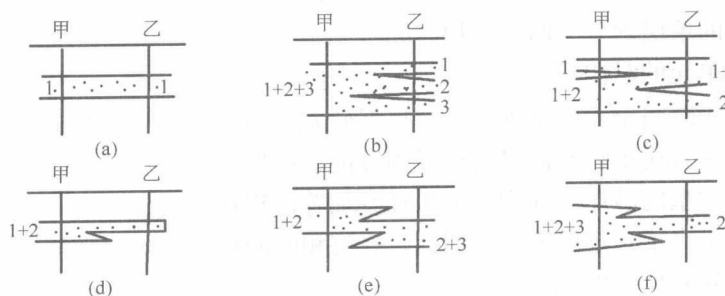


图 1-4 砂层连线的形式

- (a) 单层与单层连线；(b) 单层与多层连线；(c) 交错层位连线；
(d) 单层间的单向尖灭连线；(e) 单层间的相互尖灭连线；(f) 单层间的双向尖灭连线

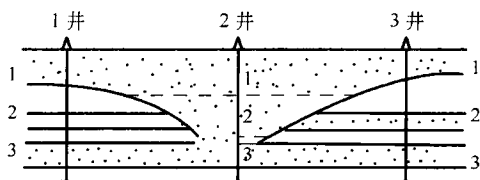


图 1-5 厚砂层不同劈分法示意图

(1) 沉积时间单元的划分

图 1-5 是河流相沉积的油层，图中 2 井钻遇河床下切中心，存在于 1 井及 3 井中的 2 号砂层因河流下切而被冲蚀掉，如果按机械方法劈分，势必将 2 井中的厚砂层劈分为 1、2、3 号三层后连接井间对比线。显然，这种劈分没有考虑沉积的条件，它势必导致不按沉积时间先后的对比，

其结果是混淆了沉积时间的顺序，搞乱了沉积时间单元。这就给认识油层内部的非均质性带来困难。因为厚砂层是一次成因还是多次叠置，其内部的粒度序列将会有很大的差别，这种差别将直接影响油水在油层内的运动。所以对于厚度变化快、连续性又差的不稳定沉积环境下形成的油层如何进行划分是直接关系到油田合理开发的问题。

鉴于此，在油层的划分和对比时，必须从油田实际地质情况出发，针对不同的沉积环境采用不同的方法。像湖相及三角洲前缘相这样比较稳定的沉积环境下沉积的油层，可以应用“旋回对比，分级控制”的“旋回—厚度”对比油层的方法，而对河流沉积相的油层则需采用等高程划分对比方法，河湖交替的三角洲地带则可两者兼用。

为准确划分出沉积时间单元，要求在砂岩组内尽可能多地挑选出岩性—时间标志层。但一般在不稳定的陆相地层中，这种标志层难以大量找到。对我国的一些油田，在研究了河流—三角洲沉积体系的特点后发现，处于地势平坦的三角洲分流平原或泛滥平原带的、同一时期形成的沉积物，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，不但高程十分接近，而且其顶面距标志层的距离也大体相当。

据此，在我国的一些油田，以同时沉积的砂层距标志层等距离为根据，提出等高程划分沉积时间单元的方法。这种方法的具体含义是：采用岩性—时间标志层作控制，把距同一标志层等距离的砂层顶面作为等时面，将位于同一等时面上的砂岩划分为同一时间单元。

划分沉积时间单元的具体做法是：

- ①在砂岩组的上部或下部，选择一个标志层，标志层应尽量靠近其顶面或底面。
- ②分井统计砂岩组内的主体砂岩（例如：大于 2m）的顶界距标志层的距离。
- ③在剖面上按照砂岩顶面距标志层距离近似为同一沉积时间单元的原则，根据不同距离的砂岩划分为若干沉积时间单元。

图 1-6 为砂岩组内划分沉积时间单元的示例。该区砂岩组内厚度大于 2m 的主体砂岩，顶面距离标志层距离主要有 2~4m、5~7m、10~12m、14~16m 四种类型。因此，在划分时可将该砂岩组内的单层划分为四个沉积时间单元。

(2) 沉积时间单元的对比

在单井划分沉积时间单元的基础上，应根据砂岩内不同沉积环境下砂体的发育模式对比沉积时间单元，通过对比也将验证时间单元划分的准确性。

对于河流沉积类型的砂体，冲刷、下切和叠加等沉积现象经常频繁出现，它们给沉积时间单元的划分对比带来了一定的困难。因此，在沉积时间单元对比中必须识别它们，并运用已知的地质概念指导对比工作的正确进行。

①冲刷面。冲刷面是存在于河流沉积地层剖面中的一种重要地质特征。它常存在于上下旋回的界面处，一般都有冲刷痕迹可寻。由于上部旋回底部的泥砾层或砂层与下部旋回的泥岩接触，在电性上显示突变的特征。且冲刷面上下为不同时期的沉积物，故应为不同的沉积

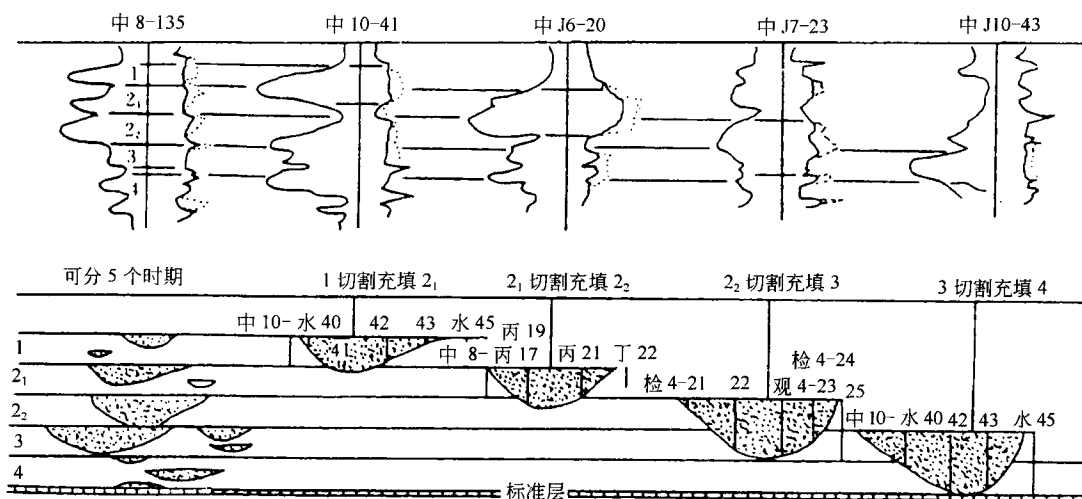


图 1-6 按沉积时间单元划分油层图解

时间单元。因此，在对比时识别冲刷面，准确划分对比沉积时间单元是十分重要的。

②下切。下切是一种常见的河流动力作用结果。下切作用虽导致砂层增厚，但其垂向上的岩性组合仍保持为一个完整的正韵律。若因下切使砂层增厚而跨时间单元，在对比时此厚砂层仍应按一个时间单元与相邻井对比，而不能按厚度劈分。图 1-7 中 2 井的厚砂层基本自然电位曲线呈典型的“钟形”曲线，这种曲线反映了砂层具正韵律的粒度序列的特征，为河床亚相沉积。在与 1 井对比时，若按岩性，厚度比例相似原则进行对比，则需将 2 井的厚砂层劈分为 1 层和 2 层。显然这种不考虑沉积成因的机械劈分的对比结果是不恰当的。

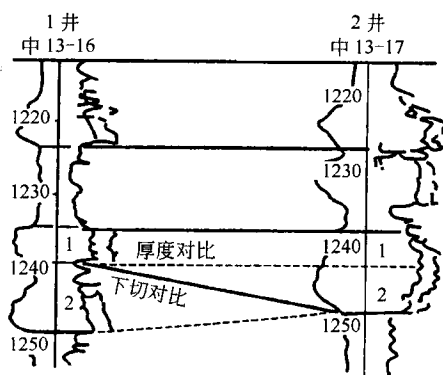


图 1-7 下切成因砂层的对比

③叠加。叠加是指由河床侧向迁移而形成的叠加型砂岩在岩性垂向组合上呈多个间断性的正韵律反复出现。在电性上一般有两种反映：一种是自然电位和微电极曲线有回返，表示下部有较细粒沉积物或泥岩残留；另一种是无回返，自然电位呈“筒状”，表示下部韵律的泥岩或残留物被切完。

图 1-8 的 3 井 1 层、2 层在电性上叠加显示不清楚，但在岩心观察中见中部、底部含泥砾及冲刷痕迹，故应为叠加型砂岩，邻井电性叠加显示清楚。在对比时，因分布于这些井中的这层厚砂岩均属不同时期河流沉积物的组合，所以应以冲刷面、泥砾层为界将其劈分为两个沉积时间单元进行对比。

④构造和压实因素。具继承性隆起的含油气构造，由于构造的不断上隆往往使得同期接受的沉积物经压实而显示顶部薄、两翼增厚的趋势。这种影响将导致同时沉积的砂层顶部至标志层的距离在垂直构造等高线的方向上发生较大的变化。例如：在某油田，由背斜顶部至北翼边缘，距离约 4km，其标志层至 2 号砂层厚度由 80m 增加到 96m。但在同一等高线附近的井，即使相距 5~6km，高程变化也仅 1~3m。因此，在应用等高程法划分沉积时间单元时应考虑这些因素的影响。

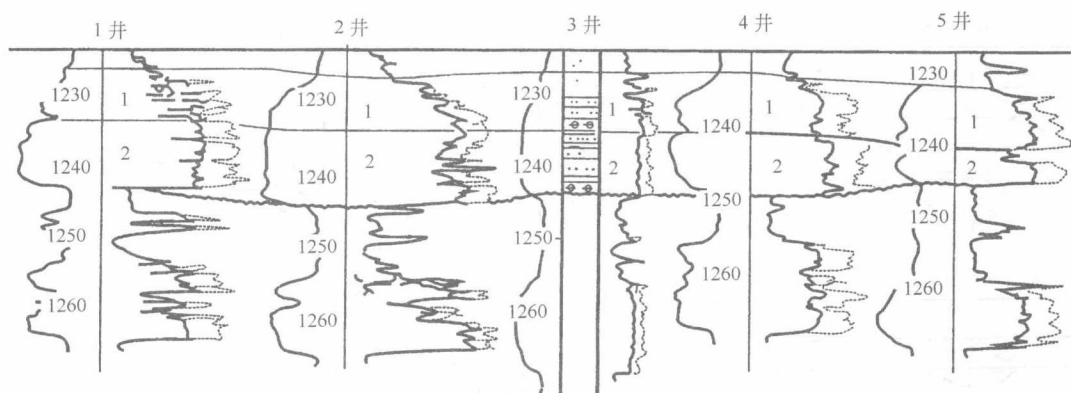


图 1-8 叠加砂岩的对比

由沉积时间单元的划分与对比的方法叙述中可知：应用等高程法在目前所能划分的大多是层位大体相同的、与上下层之间有明显泥岩夹层的那些砂层。对于河流或分流砂体，或因切割叠加严重而测井曲线又难以详细划分的砂层，以及层位相差不多、平面上又无明显分界、砂体形态和延伸方向又大体相同的砂层都只能当作同一时间单元处理，而实际上它们很可能是多单元的侧向复合体。故具体对比过程中应特别注重应用已知的动态生产资料进行验证。

二、碎屑岩储层对比成果图的编制与应用

碎屑岩油气层的研究，主要解决的基本问题有两个：油层的分布状况与油层内部储集物性及孔隙结构的变化。查明油层的分布，包括厚度变化趋势、形态分布特征，上下层位的连通状况，可以通过整理油层对比的资料，编制各种反映油层分布的图件来完成。在油田开采中，用于研究油层的图件很多。本节将介绍在油田开发过程中常用的基础地质图件的编制方法及其应用。

1. 小层平面图

小层平面图是反映单油层分布特性和储油物性变化的基本图件。它是由单油层分布图、单油层等厚图、等渗透率图叠合而成（图 1-9）。

编制小层平面图步骤如下：

（1）编制小层划分数据表

编制小层是以井为单元，将各井的“自然小层”统一分成全区可以对比的单层。对由单层合并的“自然小层”，必须将其劈分出单层数据，对因单层分叉成的“自然小层”又需将其合并整理出单层数据（表 1-2），用做编图时的基本数据，进一步作出全区各单层对比数据（表 1-3）。平面分布栏内应注明各井点油层的连通、断失、尖灭等情况，纵向连通栏应注明与上下单层的连通情况。

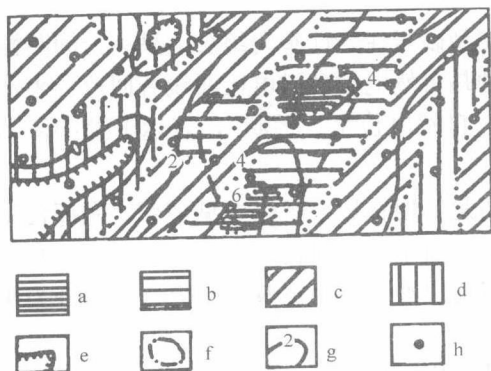


图 1-9 小层平面图

a—特高渗透区；b—高渗透区；c—中渗透区；
d—低渗透区；e—砂层尖灭区；f—砂层连通区；
g—有效厚度等值线；h—资料点