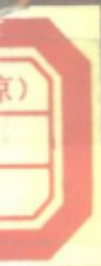
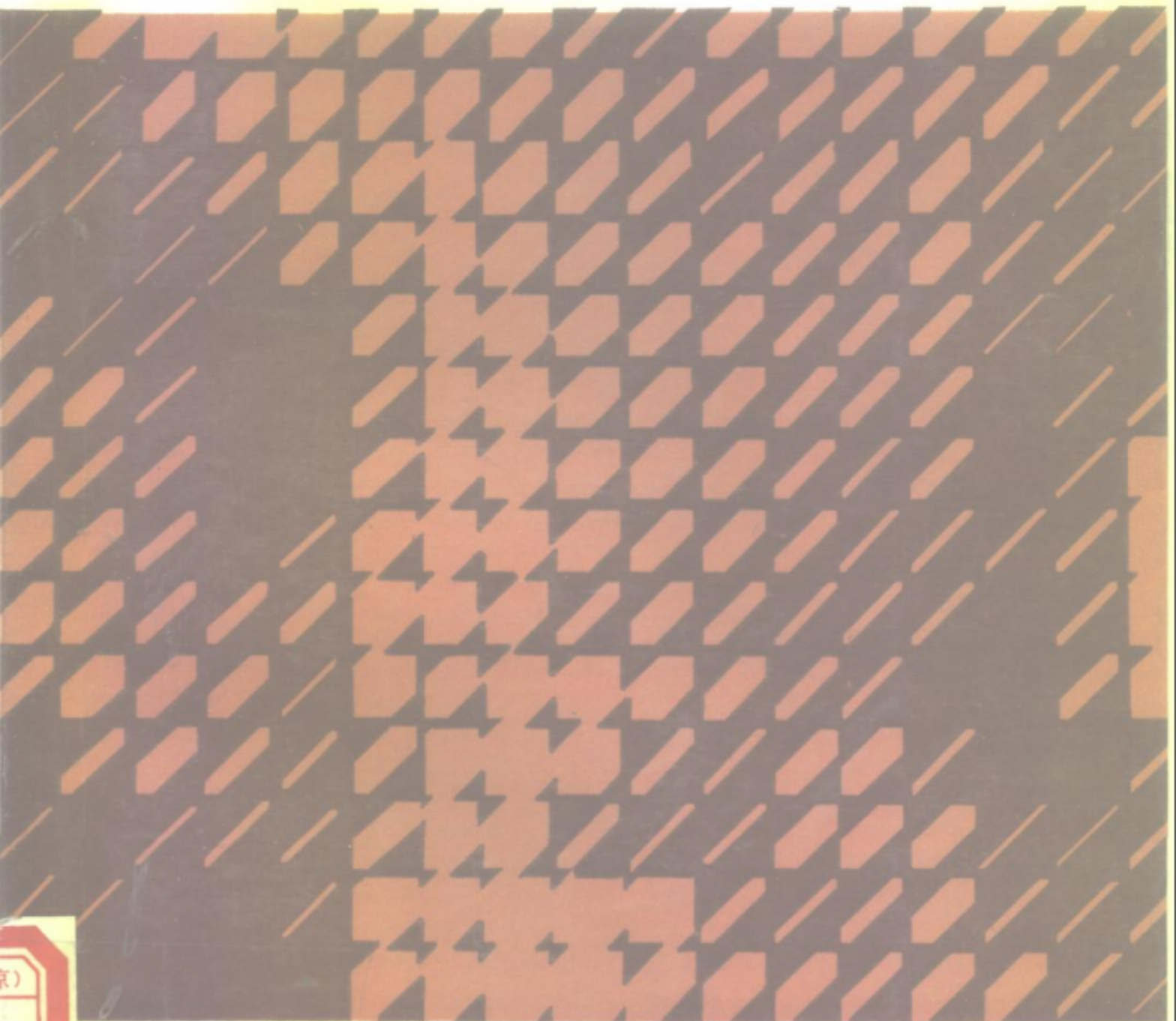


中国油气田开发进展 1

中国石油学会 编

# 陆相碎屑岩油田开发



CHONGGUO YOUQITIAN KAIFA JINZHAN

石油工业出版社



数据加载失败，请稍后重试！

070682

TE 30

022

中国油气田开发进展(一)

# 陆相碎屑岩油田开发

中国石油学会 编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书是从八十年代以来由《石油学报》等刊物发表的油田开发科技论文中优选汇编而成。全书分两大部分，第一部分是陆相碎屑岩油田开发。其内容包括河湖相沉积岩体的研究成果以及在油田注水开发中的作用，油田注水开发中生产测井方法和水淹层解释的研究，水驱油机理和注水开发分析方法及实例，非牛顿液体在油水井增产增注和三次采油中的应用等。第二部分是碳酸盐岩油气田开发。阐述了以华北油田为主体，双重介质储层特征、底水驱动油藏动态分析方法、底水运动规律、采油速度以及井网密度等问题；阐述了四川盆地碳酸盐岩气藏的地质特征、水浸气藏的开发方法、动态分析及气井酸处理等问题。本书是第一部分。本书可供油藏开发、油田地质、油田工程和采油工艺等人员参考。

中国油气田开发进展（一）

陆相碎屑岩油田开发

中国石油学会 编

石油工业出版社出版

（北京安定门外外馆东后街甲36号）

梦峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 28<sup>1</sup>/<sub>4</sub>印张 669千字 印1—1,800

1988年1月北京第1版 1988年1月北京第1次印刷

书号：15087·2854 定价：6.10元

ISBN 7-5021-0003-2/TE·4

## 序 言

我国的石油工业，从六十年代起，以大庆油田的开发为标志进入了一个新的发展阶段。1963年石油产量就基本满足了国民经济发展的要求。七十年代开始出口原油，到1978年年产量超过了一亿吨，进入了世界石油生产国的前十名。又经过五年稳定生产以后，1983年开始进入了第二个大发展的历史时期。随着石油产量的增长，油田开发和开采技术不断发展和提高，广大的石油科学技术工作者对此作出了相应的贡献。本书选编了近年来石油学报等刊物发表过的关于油田开发和开采方面的论文，大体上反映了我国石油科技工作者在这方面所取得的成果和水平。

我国的石油地质有其本身的特点，油藏类型丰富多样。既有砂岩油藏，又有碳酸岩油藏，还有一些特殊类型的储层，如火成岩和变质岩类的油藏；从构造上说有层状背斜型的油藏，也有断块油藏和岩性尖灭油藏，还有属于基岩储油的潜山型不整合油藏；从油气的性质来说，从气藏、凝析气藏开始直到重质油油藏都有发现；除了常规油气藏以外，储层的年代则以远古界震旦系直到第四系都有；还有相当数量的中低渗透油藏；占主要地位的是陆相地层河湖沉积岩为主的油藏。其特点是物源多、流程多、坡降大，以及沉积中的多旋回性和稍后的强烈的大地构造活动，从而形成了多油藏、多砂体、长井段、多断层非均质砂体分割及高含蜡等特点，而且边底水供应的天然能量则相对较弱。根据这些特点，初步形成了以注水为主分层开采的一套工艺技术，这种特点在本书中得到了充分的反映。

特别在有关储层的研究方面，我们在沉积相的应用、储层孔隙结构、以及碳酸盐岩储层特点等方面的研究工作有着较高的水平；而分层开采技术则有我们自己的特点，在这些方面已经相当于国际上同类研究工作的水平。并且对油田进入高含水期如何提高采收率的问题也进行了一定的研究，这些都是本书的特点。

我们相信出版这样一本论文集将有助于国内外同行们的相互交流，对促进油气田开发和开采等工艺技术的发展作出一定贡献。但由于我们的知识水平有限，本书中难免会有很多缺点和错误，希望得到广大读者的指正。

秦同洛 1986.1.31.

# 目 录

## 第一编 陆相碎屑岩油田开发

<b>第一章 储集层研究</b> .....	( 1 )
油田开发地质学与油藏研究 .....	( 1 )
我国油藏开发地质分类的初步探讨 .....	( 14 )
沉积方式与碎屑岩储层的层内非均质性 .....	( 27 )
松辽陆相湖盆河流-三角洲各种沉积砂体的油水运动特点 .....	( 34 )
克拉玛依油田砾岩储集层研究 .....	( 54 )
用毛细管效应分析三迭系延长统含油层油水分布 .....	( 65 )
关于逆向驱油问题的初步探讨 .....	( 71 )
油藏含油系数的确定及其在油藏评价中的意义 .....	( 79 )
砂岩孔隙结构对水驱油效率影响的研究 .....	( 84 )
砾岩储层结构模态及储层评价探讨 .....	( 95 )
<b>第二章 油井电测在注水开发的应用</b> .....	(106)
测井多参数评价油气层方法及其应用 .....	(106)
水淹层测井解释 .....	(113)
多功能测井解释系统在油田注水开发中的应用 .....	(124)
高频场中岩石介电性质的实验研究 .....	(133)
<b>第三章 注水开发矿场试验</b> .....	(142)
大庆油田注水开发全过程矿场试验 .....	(142)
<b>第四章 油田注水开发动态分析方法及其应用</b> .....	(150)
多相系统渗流的微观实验研究 .....	(150)
孔隙介质中二相渗流机理 .....	(157)
含弱渗透夹层的有限封闭油层中的弹性渗流问题 .....	(165)
关于油水两相渗流平面弹性驱动问题的有限元方法 .....	(169)
确定井间部位油层流动系数的计算方法 .....	(179)
油层研究的控制论方法 .....	(190)
利用不稳定试井确定多层油藏分层参数的方法 .....	(202)
根据统计资料研究油层非均质性分布的新方法 .....	(229)
油田开发的系统分析方法 .....	(245)
非均质亲油砂岩油层内油水运动规律的数值模拟研究 .....	(254)
改善亲油正韵律厚油层注水开发效果的数值模拟研究 .....	(267)
大庆油田开发规划经济数学模型的研究 .....	(282)
利用压力恢复曲线确定油井控制储量的通式及其应用条件 .....	(292)

油水相对渗透率曲线与水驱油藏含水率随采出程度变化的两种类型 .....	(298)
垂直管中多相流动的统计研究 .....	(305)
<b>第五章 油田开发分析实例 .....</b>	<b>(314)</b>
早期注水开发油田开采模式的分析研究 .....	(314)
提高注水油田开发效果的探讨 .....	(321)
我国注水砂岩油田开发层系合理划分问题的探讨 .....	(330)
大庆油田分层开采 .....	(338)
大庆油田分层开采工艺的发展与实践 .....	(350)
胜坨油田一区强化采液试验与效果分析 .....	(357)
亲水多盐油藏注入水利用效率研究 .....	(364)
多盐陡构造油藏边缘注水开发效果 .....	(373)
<b>第六章 非牛顿流体在油田上的应用 .....</b>	<b>(381)</b>
非牛顿液体在岩心中的渗流特性试验研究 .....	(381)
部分水解聚丙烯酰胺的盐敏效应 .....	(386)
聚丙烯酰胺冻胶压裂液低温高效破胶剂 .....	(393)
水力压裂裂缝的起裂和扩展 .....	(400)
利用幂律液体压裂时水平裂缝几何尺寸的数值计算方法 .....	(411)
有弥散和吸附的径向渗流数值模拟 .....	(420)
胶束溶液同油水混相过程特点及其对驱油效率的影响 .....	(425)
砾岩油田高粘度原油泡沫驱油试验 .....	(432)

# CONTENTS

<b>Part 1 Development of terrigenous oil pools</b>	
<b>Chapter 1 Study of Reservoir Rocks</b> .....	( 1 )
Oil Field Development Geology and Reservoir Study	
..... Min Yu, Shi Baoheng	( 1 )
Discussion on the Development-Geological Classification of Oil Reservoirs in China.....	Qiu Yinan, Chen Ziqi, Ju Juan, Tian Zeng ( 14 )
Deposition Pattern and In-layer Heterogeneity of Clastic Reservoirs	
..... Qiu Yinan, Xu Shice, Xiao Jingxiu	( 27 )
Characteristics of Oil-Water Movement in Fluvial-Deltaic Sand bodies Deposited in Continental Lake Basin	
..... Qiu Yinan, Wang Hengjian, Xu Shiche	( 34 )
A study of the conglomeritic Reservoirs in the Kelamayi oil field .....	( 54 )
Analysis of Oil-water Distribution in the Triassic Oil Reservoirs Based on Capillary Pressure Data.....	Qu Zhihao, Su Guangli ( 65 )
On Oil Displacement in Sandstones Reverse to the Direction of Deposition.....	Li Daopin ( 71 )
Determination of Oil-bearing Coefficient N and its Significance in Reservoir Evaluation.....	Yan Hengwen ( 79 )
Effect of Sandstone Pore Structure on the Efficiency of Water Drive	
..... Tu Fuhua, Tang Renqi, Han Jinwen, Shen Pingping	( 84 )
An Investigation on Structure Model of Conglomeratic Reservoir and Its Evaluation .....	Liu Jingkui ( 95 )
<b>Chapter 2 The application of well log to oilfield development of waterflooding</b> .....	( 106 )
Reservoir Evaluation Using Discriminant Analysis	
..... Ou Yangjian, Lü Jianru	( 106 )
Log Interpretation of Watered Out Pay Zones	
..... Chang Mingche, Ren Guirong	( 113 )
The Multi-function Log Interpretation System in the Shengli Oil Field	
..... Zeng Wenchong, Jin Xiuzhen	( 124 )
Study of Dielectric Property of Rocks in a High-Frequency Field	
..... Zhao Shufang	( 133 )
<b>Chapter 3 A Field pilot test of waterflooding</b>	



<b>development</b> .....	(142)
A Field Pilot Test to Demonstrate the Whole Process of Water Flooding in the Daqing Oil Field.....	Tang Zengxiong (142)
<b>Chapter 4 Analysis method of behavior in the oil field develop-</b>	
<b>ment injection-water and its application</b> .....	(150)
Microscopic Researches on Multiphase Flow Through Porous Media .....	Guo Shangping, Huang Yanzhang, Ma Xiaowu, Zhou Juan (150)
The Mechanism of Two-Phase Flow in Porous Media .....	Sun Changming, Lü Ping (157)
The Unsteady State of Flow of Slightly Compressible Fluid in a Bounded Stratified Reservoir with A Semipervious Interlayer .....	Liu Ciqun (165)
On the Elements of Two-phase (Oil and water) Immiscible Flow Displacement Problem.....	Yuan Yirang, Wang Wenqia (169)
On the Optimal Control Method for Determining Transmissibility at Any points Between Wells .....	Qi Yufeng (179)
Reservoir Study Based on Theory of Control .....	Qi Yufeng, Zhang Xin (190)
Determination of parameters for individual layers in multilayer reservoir transient well tests .....	(202)
A new Method for Determining the Distribution of Reservoir Non-homo- geneity Based on Statistical Data.....	Gao Chentai (229)
Systematic Analysis of Oilfield Development.....	Qiu Lifan (245)
Numerical Simulation Study of Waterflood Performance in a Stratified Oil-Wet Sandstone Reservoir .....	Han Dakuang, Huan Guanren, Xie Xingli (254)
A Numerical Simulation of Waterflood Performance Improvement in a Thick Oil--Wet Stratified Sandstone Reservoir .....	Han Dakuang, Huan Guanren, Xie Xingli (267)
Studies on the Mathematical Model for Planning the Development of Daqing Oil Field.....	Zhao Yongsheng, Liang Huiwen, Li Zenong, Han Zhigang, Deng Zili, Guo Yixin, Gu Mengke (282)
A General Formula and Its Limitations for the Determination of the Oil in Place Around a Producing Well by Using Pressure Build-up .....	Tong Xianzhang, Chen Yuanqian (292)
Two Types of Changes of the Rate of Water Cut with Recovery Factor and the Corresponding Relative Oil-Water Permeability Curves for Water- Drive Reservoirs.....	Yu Qitai (298)

Statistical Approach of Multi-phase Flow in Vertical Tubings

.....Zhou Weisi (305)

**Chapter 5 Example analysis of oilfield development..... (314)**

Analytical Study of Production Practices in Oil Fields Developed by  
Waterflood from the Initial Stage..... Tong Xianzhang (314)

On Measures of Increasing the Effectiveness of Oil Field Development  
by Flooding..... Lin Zifang, Cheng Xiyong, Chang Rui (321)

On the Rational Segregation of Pay Beds in the Development of Sandstone  
Oil Field by Waterflood  
..... Yang Tongyou, Luo Diqiang, Li Fukai (330)

On the Development of Oil Field by Separate Zones  
..... Jin Yusun, Yang Wanli, Wang Zhiwu (338)

Separate Production Technique of Multi-Zones in Daqing Oil Field  
..... Wang Demin, Chen Chaoyin (350)

An Analytical Survey of the Benefit of Intensified Fluid Withdrawal  
from No.2<sup>4</sup> Horizon in the 2nd Member of Shahejie Formation in  
Shengli Oil Field..... Liu Liangshu, Zhao Jinming (357)

Enhancement of Flooding Efficiency for a Hydrophilic Oil Pool  
Containing Salt in High Concentration  
..... Yang Shoushan, Huang Shizhui, Zhou Shunguan (364)

The Effect of Development of Peripheral Water Flooding in Steeply  
Dipped Reservoirs With High Salinity..... Yang Shoushan (373)

**Chapter 6 Application of oil field for non-Newtonian  
fluid..... (381)**

Laboratory Study on the Flow of Non-Newtonian Fluids through  
Porous Media..... Zhai Yunfang, Gu Lingdi, Jia Zhi, He Qinglin (381)

The Effect of Sensibility to Salinity for Partially Hydrolyzed  
Polyacrylamide..... Mei Youqian (386)

Low-temperature Efficient Breaker for Crosslinked Polyacrylamide Gel  
Fracturing Fluids..... Yan Wenjun, Lu Yizhen (393)

Initiation and Extension of Fractures in Hydrofrac Treatment  
..... Huang Rongzun (400)

A Numerical Solution for Calculation the Geometry of Horizontal  
Fractures by Hydraulic Fracturing with Power-Law Fluids  
..... Wang Hongxun Yi Tongchun (411)

Numerical Simulation of Radial Flow Through Porous Media with  
Dispersion and Adsorption..... Liu Ciqun, Guo Baiqi (420)

The Character of Micellar Solutions Contacting with Oil and Water  
and its Effect on Displacement Efficiency

..... Jiang Yanli, Lu Guang (425)

Experiment in Boam-drive Process for Exploiting High-viscosity Crude  
in Conglomeratic Reservoirs

..... Liu Jinkui, Yang Shiyuan, He Wukui (432)

# 第一章 储集层研究

## 油田开发地质学与油藏研究

闵 豫 石宝珩

### 一、石油地质学

石油地质学这门地质学的分支科学，在近几十年内迅速发展和深化，已经形成了完整的、独立的一门科学。它是一门应用科学，它应用地质学中各有关专业学科——构造学，地层学，沉积学，矿物学岩石学，地史学，古生物学，以及有机地球化学等基本原理和方法，研究石油、天然气在地壳中的分布以及勘探油气藏的技术和方法。特别是二十世纪三十年代以来，这门科学日臻完善，与地质学的其他学科已经有着显著的区别。

在油气成因的研究方面，由于有机地球化学的发展和现代分析技术的应用，对生油层的研究已经从颜色深浅、氧化还原、有机碳含量等简单概念，发展到判定生油温度、埋藏深度和时间等有机物转化条件，生油层成熟程度和烃类的种类、有机物的类型生成不同的烃类物质，进而鉴别有利生油的层位和分布范围。并根据生油层中的烃类和各油气藏中烃类的特征追索油气来源。

在油气运移的研究方面，应用岩石物理学和渗流力学原理，对运移和聚集的认识不断深入。过去简单地认为油气沿各种通道向上运移。现在对运移的动力、途径和方式，从生油层中的初次运移到储集层中的二次运移，以及各种岩层及流体性质的关系都作了深入的研究。采用孔隙结构、毛管性质、表面润湿性以及油气在水中的浮力和毛管力等，研究岩层是作为烃类的运移通道还是作为不能通过烃类的遮挡条件，从而依据岩层的毛管性质和塑性程度来判断盖层的封闭条件，判断可以聚集的油气柱的高度。

在油气聚集和油气藏形成条件的研究方面，由于现代地震技术的日益更新，地震地层学的出现和应用，现代测井技术，包括地层倾角测井等新方法以及沉积相原理的应用，使得对油气藏聚集条件、圈闭类型的认识有很大提高。各种类型的构造圈闭，加上地层圈闭、岩性圈闭、古地貌圈闭、岩石毛管性质圈闭、水动力圈闭以及一些综合性圈闭代替了过去简单的背斜构造圈闭的概念，使油气勘探的领域不断扩大。

在含油气盆地及油气聚集带的研究方面，由于板块构造等理论的引用，对全球和各地区油气分布特点和远景的推论上，产生了一系列新的观点。油气构造研究的专门领域也在不断深化。

在人类长期探寻油气的活动中，形成和发展了石油地质学。同时，石油地质学的完善和发展，促进了从三十年代以来全球各地油气工业的蓬勃发展。中东、北非、委内瑞拉、墨西哥湾南部、欧洲北海以及第二巴库到西西伯利亚这些含油气丰富地区的不断发现和开发，全球探明的油气储量和产量迅速上升。在石油勘探开发的实践中，石油地质学的作用

是十分显著的。

新中国三十年的油气勘探实践，发展了我国的石油地质学，而且成长了一批石油地质学家。他们的工作是围绕着区域构造和油气的生成、运移、聚集、保存、破坏到再运移、再聚集这些问题来展开的。但是在人数上还不能适应我国石油工业发展的形势。还有不少地质工作人员，急需用石油地质学的崭新知识进行训练和充实，才能进一步提高我国石油地质科学技术水平。

## 二、油田开发地质学

石油地质学中的一个重要方面——油田开发地质学，也在近三十年中迅速发展起来，逐步形成一门专门的应用科学。

三十年代以前，人们发现油气田之后，就上钻井，靠天然能量采油〔1〕。当时要求地质家的任务，就是判断油层深度及油田范围，以便确定打井位置和防止井喷事故。“钻井加采油”就是当时的特点；以“井”为单元，作为开采的出发点。当时在“井越多，采出的油也越多”的理论指导下〔2〕，以很密的井网钻大量油井，搞油的人普遍重视的是钻井。而研究油藏和从油藏整体上去考虑如何开发等概念还没有形成。

美国东德克萨斯油田是典型的实例。1931年第一口井喷油发现该油田之后，在当地一个小镇子周围，不到一平方公里的面积上，钻了500多口油井，全油田500多平方公里面积上，钻了三万多口油井，引起了油井产量迅速下降，边水很快推进。这是当时“开发”状况的缩影。为了协调油田上众多开采者之间的争夺，制定了一些限制性的规定。起初只限定了单井采油强度，即按油层厚度来确定限额产量，但是不限制井距大小，这还是在鼓励多打井。而且某个开采者在油田某个部分地区，井钻得越密，油层压力降得越低，周围地区的油可以更多地向他的开采区流动，可以获取更多的收益。若干年之后才逐步对井距、井数以及其他措施方面作出一些规定〔2〕〔3〕。

三十年代以后，由于井深增加，钻井费用加大，井距也逐渐放大。经过研究认识到地质上和能量上统一体的油藏，其钻井数目和井网密度并不影响最终采出油量〔2〕。特别是二次采油方法采用之后，放大井距的作法才逐步得以实现。

三十年代末以来，油田上广泛采用注水或注气的二次采油方法，开发工作进入了一个新的阶段。要用注入水或注入气体驱替出尽可能多的油，在注入井到采油井之间油层必须是连通的；注采井网必须适合于油藏特点，在平面上布置得合理，以取得更大的驱油波及体积。这就要求在开发钻井之前，要对油藏的地质和流体状况有个基本的认识。在开采中不能只注意对油井井筒状况和井底状况的研究，而且要研究井与井之间油层中的状况，包括油水的运动和驱替波及程度以及油层地质条件。这样，开发工作不能以油井作为单元，应从油藏整体上去研究和考虑问题。将油藏作为一个单元，而油井只是观察油藏的点〔4〕。从总体上控制了油藏特征之后，才能获得最大采油量，这时单井已降到了第二位的作用〔5〕。这样就促进了同一个油田上的许多开采者统一制定开发措施，统一管理油田。

这种开发方式的普遍展开，使以油藏研究为主要内容的油田开发地质学有了很大发展。首先在储层连通性方面，引用沉积相原理从成因特征上掌握储层的分布特点，对井间连通性作出科学的判断。进而研究储层内部的非均质性，包括影响水驱油运动途径的各种岩性和储油物性因素。对储层的地质研究不断深入，形成了新兴的分支学科——储层地质学。

油藏研究的另一方面是对油藏中各种流体，包括油、气、水以及凝析油等各自的特性和相互关系的研究。研究这些流体在原始条件下的分布，从油藏中宏观的油气水分布，到油层孔道中微观的油气水分布，以及开采过程中流体的变动。对易挥发性油藏、高饱和油藏、凝析气藏、稠油油藏以及异常高压油藏等一些特殊油气藏，在开发过程中由于流体和压力、深度条件的改变而使其性质发生变化的研究是油田开发地质学的重要组成部分。

（在开发过程中努力采取各种调整措施来扩大驱油的波及体积以取得最大的采出油量。为此，不仅在开发初期要进行油藏静态状况的研究，而且在开采过程中还要不断地研究动态变化，包括开采期间油藏地质条件和油气水分布的变化过程，直到油藏开采结束为止）。

由于对油藏非均质性和开采过程中油水运动状况的研究，进一步认识到用稀井网开发油田对于非均质性严重的油藏是不适应的，在渗透性差的层位中和平面上渗透性差的部分，都会留下较多的剩余油饱和度。这些部分的油气，在整个开采期间动用得很差，是采收率不高的主要原因。这种认识修正了“在地质上能量上为统一体的油藏”的简单概念。由于非均质性的存在，在剩余油饱和度高的部分，补钻部分加密调整井，对改善开发效果的作用非常明显<sup>[6]</sup>。这种认识并不是简单的回到“井越多，采油量也越多”的初期认识上去，而是从普遍密井网到普遍稀井网发展到针对非均质性加密局部井网进行调整，这是开发工作认识上的发展和提高。

六十年代以来，海上油田大量开发，使油田开发地质再度有较大进展。由于海上油田的钻井费用大，工程难度高，要求钻少量的探井就作出开发设计，这就给开发地质工作提出了更高的要求，必须根据极少量的资料，作出正确的判断。要求地质工作从方法上改变，采用新的技术，更重要的是要有科学理论的指导和预见。为此，在油田详探阶段，充分利用地震资料，引用地震地层学的基本方法，详细研究油田构造、岩性、地层关系以及油气分布范围。不仅每口详探井钻在必要的关键性的位置上，而且大大减少详探井的数目。一个油田往往只有不到十口井的资料，甚至在断层较少的油田上只有三、四口井的资料，就作出油藏研究和开发设计。对少数井的岩心、测井以及倾角测井资料的研究，作出沉积相的判断，提出油层地质模型。通过分层测试及测井解释加上试井技术的发展应用，确定出含油气面积，并应用概率法确定出最大机率率下的储量数字。这就要求大大提高油田开发地质家的水平。

近十年来，由于三次采油的发展。油田开发工作又进入一个新的阶段。但是三次采油工艺复杂，费用高，一旦对油藏中剩余油的含量作了错误的估算，在经济上就将得不到收益。而且三次采油的各种方法，对于油藏地质和流体条件有十分严格的要求，只有选择相适用的方法才能有效，否则就会失败。因此，三次采油具有较大的风险性。要求油田开发地质工作更加详细而确切地估算油藏内剩余油储量，更加严格地研究油藏和流体特征<sup>[17][8]</sup>。随着一套新的剩余油饱和度测井方法的出现，以及高压密闭取心技术和冷冻岩心测定剩余油含量技术的发展和运用，对油层开采以后的状态的研究，又有新的发展。

油田开发地质学现在已经成为一门独立的应用科学。它主要是围绕着油田开发的一系列工程问题而展开的，为开发工程提供地质基础。与油田开发工程紧密结合，因此具有工程地质的性质。虽然它也应用地质学中各有关学科的原理和方法来进行工作，但是它与石油勘探地质工作已经有相当的区别。它在国外叫过“油矿地质学”，“生产地质学”也叫过“采油地质学”。除了有关地质学的知识之外，着重于油层物理学、油气渗流力学和油藏

工程学有关原理的应用。

由于油田开发地质学的历史很短，二次采油和三次采油在我国的历史更短，而且很多从事油田开发的人员大多是从过去从事勘探的人员中转过来的，对油田开发地质学的内容和特点还不够熟悉。目前从事开发地质工作的人员中，还有相当部分也需要培训和提高。掌握油田开发地质学的知识和方法。

### 三、油藏研究

油田开发地质学的中心问题是油藏研究。搞清地下油气分布范围，估算地下油气储量；选择适当的开发方法，包括驱替剂、驱替条件和驱替状态的选定；设计合理的开发方案，包括开发层系，井网和开采工艺技术；设计开发井的井身结构和完井技术要求，以及确定开采过程中的调整措施等，都要以油藏研究作为基础。

对于油藏，曾经有过不少定义。勘探和开发对油藏考虑的角度不同，加上在工作中对于油捕、油贮、圈闭等名词使用混乱，都引起了对“油藏”看法的不一致。比较恰当的定义是：“油藏是在圈闭当中含有油气的并为单独水力系统的部分”<sup>(9)</sup>。其要点有二：第一，圈闭中不一定有油气存在，没有油气的圈闭当然不是油藏；充满油气的圈闭才是油藏；如果圈闭中油气没有充满，那么含有油气的那一部分才是油藏。油藏既包括着含有油气的储层也包括着储层中的油气；第二，属于不同水力系统的，应该分别作为不同的油藏。当同一个圈闭中具有多油层时，要分别考虑水力系统。一个油田中可以有若干个油藏存在。油田开发应以油藏作为单元。

从勘探出发研究油藏，目的是研究油气运移和聚集条件，从而去探寻分布规律找到新的油藏。研究时以含油层段或地层组作为单元。可是，从油田开发角度来研究油藏就不问，其目的是研究流体的分布及在开采过程中油气水运动的条件，为开发工程提供地质基础。这样，以地层组或含油层段为单元进行油藏研究，精度就远远不够，必须以单层作为单元来研究。另外，勘探工作是研究油藏形成的历史，而开发工作还要研究油藏在开发整个过程中的变化。

归纳起来油藏研究的主要内容包括：

#### 1. 储层分布——不连续性研究

储层是具有可以储集油气水的孔隙空间的岩层。油气是储藏在储层的孔隙裂隙中。因此，首先要研究储层的分布，搞清储层在平面上和垂向上的连续性，才能在估算油气储量时算准含油气部分的储层体积，才能在设计开发井网时保证注入井到采油井之间油层的连通，才能恰当地划分和组合开发层系。由于不同储层的沉积环境不一样，储层的分布特点和不连续性会有很大不同。有的储层在油藏范围内广泛分布连续性很好，有的是条带状分布，有的是零散分布，成为互不相连的单个透镜体。

因为地下储层的分布状况只能通过若干井点的有限资料去推断，在开发井网钻完之后，对储层分布比较容易搞清。可是，在开发之前靠少量的详探井资料，要对储层分布特征和不连续性情况作出正确的判断，是个很困难的问题。过去用不同井网密度下的统计趋势，或者对储层分布形态的推断，都已证明与实际结果会有较大的出入。只有应用沉积相的研究方法，识别储层的沉积类型和成因环境，进一步找到其分布特征和沉积类型的关系，从而可以在较少数和稀井网条件下作出比较准确的判断。这种沉积相的研究是以单层为单

元作沉积相的分析,以便判断各个单个砂体的分布状况及其连续性。应该说明,井间层位对比必须按单层进行,尽可能作到对比准确,否则,就会出现错误的结论。在勘探工作中以某一层段作单元进行对比认为是“连通”的,而其单层的分布状况却往往并不连通,在开发中对驱替油气来讲是无效的。

在搞准层位对比上,要用代表时间标志层的岩性层位(及相应的电性层位)作为对比根据。而且切不可用含油有效厚度的分布来代替储层分布研究,这两者的含意是不同的(图1)。

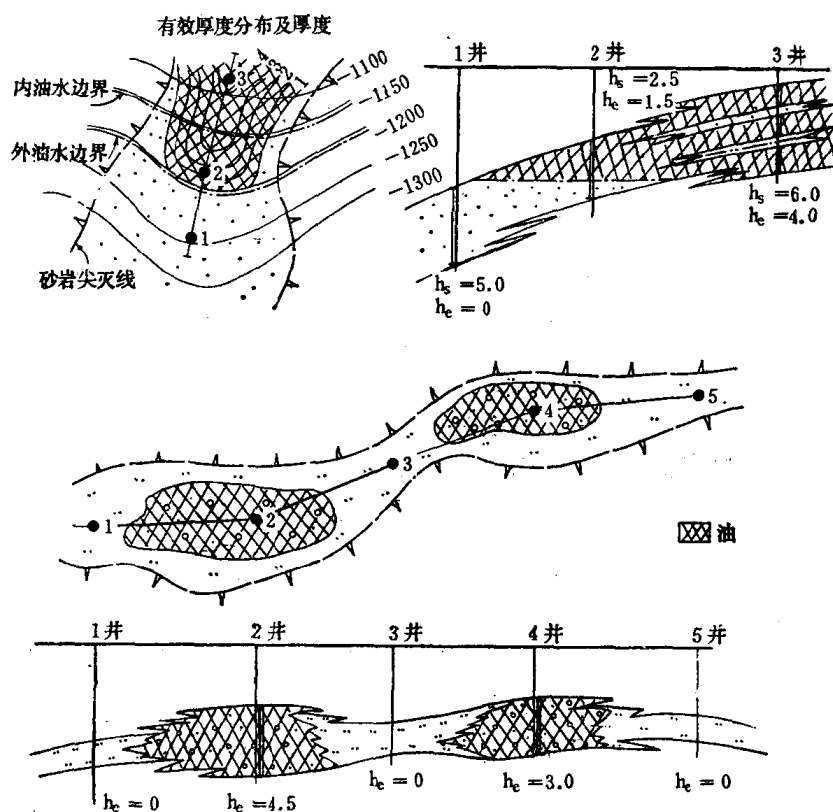


图1 砂岩厚度与有效厚度关系图  
 $h_s$ —砂岩厚度,米;  $h_e$ —有效厚度,米

有效厚度是储层中含有油气并且可以采出工业油流的部分。其划分方法很大程度上受到人为的影响,它仅仅是估算油气储量的基础,不具有储层沉积特征和分布规律等地质意义。当然,储层分布的研究,既包括储层含有油气的部分,也包括不含油气的部分,这样才能反映储层本身的变化特点和研究其沉积成因。有的油藏储层非均质性较为严重,含油分布不均匀,在含油饱和度差及储油物性差的部分,未划入有效厚度中去,但这些部分在水驱过程中能起到连通作用,不仅压力可以传导,注入水可以流动,甚至可以产出一定的油气。因此,用有效厚度分布状况来研究不连续性,往往会造成错误的结论。

## 2. 孔隙连通单元分布——宏观非均质性研究

油气分布在储层的孔隙中,而且只有分布在连通的孔隙中,在开发中才是有效的,也就是可以被开采出来的。不连通的孔隙中的油气,在开发上是没有意义的。注入井和采出井必须在同一个孔隙连通单元中才存在着驱替油气的作用。一个孔隙连通单元中只有注入



井的话，其中的油是采不出来的；同样，只有采油井的话，一般只能采出天然能量驱动的部分，其采收率是很低的。因此，在着手进行开发井网设计之前，必须研究储层中孔隙连通单元的分布状况，或者说研究各种类型的孔隙之间的连通状况。

孔隙连通单元是开采过程中油气水运动的范围。一个油藏可能由一个孔隙连通单元构成，也可能由几个、几十个分散的孔隙连通单元所组成。把每个连通单元中的油气都尽可能多的采出来，才能使整个油藏得到较高的采收率。也可以说，孔隙连通单元才是油气开采的基本单元。由一个或为数不多的孔隙连通单元组成的油藏，开发工作就比较简单，开

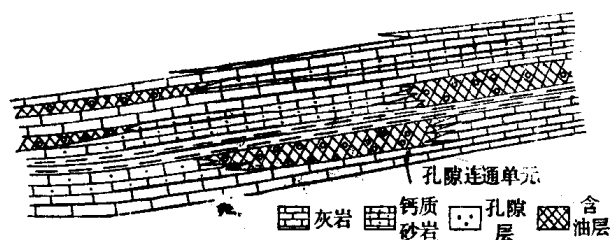


图 2 连续分布的储层中有互不连通的孔隙连通单元

采过程中比较容易调整和管理。由数目相当多的分散的孔隙连通单元组成的油藏，开发上就比较复杂，用的井网要密些，井数要多些，调整工作也比较困难。

孔隙连通单元和储层不连续性的分布，不是同一个概念。而储层连续分布的部分中，有时也有若干个互不连通的孔隙连通单元（图2）。

一般说，原生孔隙和储层岩性变化往往是一致的，认识它们之间的关系比较简单。一个砂体往往就是一个孔隙连通单元。只是在被断层分割的情况下，一个砂体也可能分成若干个孔隙连通单元。孔隙性生物灰岩中以及具粒间孔隙的碳酸盐岩中，也是这种情况。但是次生孔隙和构造裂隙与储层岩性变化并不一致。次生充填胶结致密的砂岩中，有裂隙存在时，孔隙连通单元就不一定相当于砂体的分布。裂隙也有可能使若干个砂体或孔隙层相连通而成为一个孔隙连通单元（图3）。相反，由于胶结物的充填，一个砂体中也可能存在若干个互不相通的孔隙连通单元。在碳酸盐岩储层中，侵蚀面和不整合面附近的溶蚀孔洞的分布，与储层分布特点往往并不一致。构造裂缝可以使本来并不连通的上下相隔几十米的孔隙层位相连通，裂隙不发育的部分，即使相同层位的孔隙层也互不相通，这种复杂情

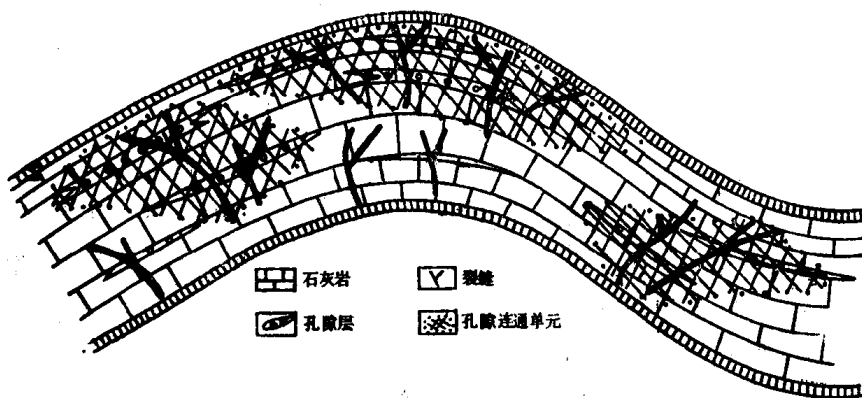


图 3 四川三叠系嘉陵江组气藏孔隙型储层结构示意图

况必须通过具体的研究来确定。在很多情况下，还要借助于开采过程中井间测定连通状况的试井工作。

### 3. 流体分布——孔隙连通单元中油气水分布的研究

研究了储层分布和孔隙连通单元之后，要搞清每个孔隙连通单元中的流体分布状况。