

大港油田
科技丛书

22

大港油田科技丛书编委会编

试油与油井大修

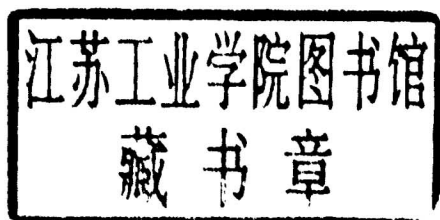


石油工业出版社
P E T R O L E U M

I N D U S T R Y P R E S S

试油与油井大修

大港油田科技丛书编委会编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了大港油田 30 多年来在油井试油测试和油水井大修方面的技术发展历程和目前的工艺技术水平。由具有多年实际工作经验和一定理论基础的专业人员创作编写,内容包括:试油地质、常规试油、地层测试、排液技术、油层保护技术、落物打捞、套损井修复、侧钻等。

本书对从事试油测试和井下作业的科技伤员有较强的实用性,可供有关管理人员和相关专业的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

试油与油井大修/大港油田科技丛书编委会编.
北京:石油工业出版社,1999.9
(大港油田科技丛书;22)
ISBN 7-5021-2746-1

I. 试…

II. 大…

III. ①采油井—试油 ②采油井—修井

IV. TE27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 41683 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)
北京林地贸易公司排版
石油工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 345 千字 印 1—2300

1999 年 9 月北京第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2746-1/TE·2156

定价: 24.00 元

序

大港油田三十多年来在勘探、开发和建设方面都取得了长足的进步，物质文明和精神文明建设结出丰硕成果，创造了许多成功经验，这些都是广大职工共同努力，发扬艰苦奋斗、顽强拼搏、无私奉献的创业精神的结果。为了使这些成果和经验系统化、理论化，形成财富，促进油田勘探开发建设进一步发展，经济效益大幅度提高，大港油田领导提出编写大港油田“科技丛书”。这个安排引起油田党委的重视，经过认真研究，决定扩大“丛书”编写范围，于1997年5月油田党、政联合下发文件，决定编撰“大港油田精神文明建设丛书”，成立了精神文明建设丛书编委会，下设七个系列，“科技丛书”是其中之一，并成立了编委会。

“科技丛书”怎样写，以哪些读者为对象，写成什么样的书，对这些问题我们花费了较长时间，听取了各方面的意见，进行广泛深入讨论，逐渐形成了明确的指导思想。大家认为这套“丛书”应有独特的品质，它不同于教科书，不同于科普读物，不同于论文集，不同于经验总结（成果汇编），也不同于工具手册。要突出“科技”和“大港”两个特色。“科技”特色是总结大港油田三十多年极其丰富的科学技术实践和创造发明，做到有理论基础、方法原理、实用程序和实践成果，在“科技”特色的基础上，突出“大港”特色，写出大港发明创造的技术，在国内外有影响的技术，使用过的技术，试验过的技术，并有成功和失败的实例分析，还要讨论一些技术的实用性和发展方向，全书不是简单的技术描述和实际案例分析，而是一次再提高再创造，使读者特别是中青年科学技术人员和各级管理干部，还有非本专业的技术人员，有原理可查，有方法可学，有实例可看，有经验可借鉴，起到承上启下的作用。

这套“丛书”为广大读者提供大港油田科技发展的历程。大港油田三十多年的发展建设，经历了风风雨雨，有成功的经验和失败的教训，学会借鉴前人的经验和教训，少走弯路，杜绝重复劳动，对我们事业的兴旺发达和科技人员成长都有一定的好处。“丛书”还展示了大港油田的科技全貌，反映了大港油田的技术状况，为广大青年技术干部、各级管理人员和非本专业技术干部了解油田技术状况修通了高速公路。还应说明，活跃在大港油田勘探开发早、中期各条战线的技术骨干，现在多数已经退休，在工作上完成了交接。有许多退休老专家参加“丛书”的编撰工作，把他们多年积累的宝贵经验留下来，也算老专家们在技术上对大港油田的干部职工有了个好交代。这套“丛书”正式出版适逢大港油田勘探开发建设三十五周年之际，谨以此书献给为大港油田建设做出卓越贡献的人们。

这套“科技丛书”，按照油田的习惯说法，包括十个专业共24册约800万字。即：

第一册 勘探历程与经验

第二册 第三系石油地质基础

第三册 油气藏与分布

第四册 新区、新层系、新领域

第五册 地质实验技术

第六册 地震勘探资料采集技术

- 第七册 地震勘探资料处理和解释技术
- 第八册 大港油田开发实践
- 第九册 枣园高凝高粘中低渗断块油田开发
- 第十册 提高采收率技术
- 第十一册 油气藏探边测试方法与应用
- 第十二册 钻井工程技术 (1)
- 第十三册 钻井工程技术 (2)
- 第十四册 钻井工程技术 (3)
- 第十五册 滩海工程技术
- 第十六册 录井技术
- 第十七册 测井技术 (1)
- 第十八册 测井技术 (2)
- 第十九册 电泵采油与分层注水
- 第二十册 防砂工艺技术
- 第二十一册 压裂与酸化工艺技术
- 第二十二册 试油与油井大修
- 第二十三册 油田地面工程设计与施工
- 第二十四册 石油炼制

为了编撰好“丛书”，确保达到设计要求，使各分册有个好质量，编委会认真研究精心设计各册编写提纲，这是写好“丛书”的基础。安排章节的作者力争由学科带头人执笔，分册负责人全文贯通，提出修改意见、把关，负责完成初稿，这是保证“丛书”质量的重要环节。然后由编委会组织 6 至 7 名专家进行审查定稿。尽管这方面我们做了不少工作，由于水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

孙希敬

1999 年 2 月 4 日

前 言

大港油田三十多年勘探开发的全过程中,针对复杂断块油气藏的地质特点和浅海滩涂、盐田、鱼塘、虾池以及城镇居民区等特殊自然地理环境,为解决易出砂油气藏、高压低渗油气藏、凝析油气藏、特殊岩性油气藏以及高凝高粘原油、大斜度定向井在试油和修井施工中出现的技术难题,实施并形成了以提高施工质量,加快施工进度,有利于提高油气勘探和开发效益为中心的,具有大港特色的试油测试和油井大修系列配套技术。

本书系统反映了大港油田在试油测试、油井大修方面的技术发展历程,基本上是大港油田研究试验、推广使用过的工艺技术。个别尚未在大港油田使用,而国内外已出现的新技术,在书中只作提示性介绍。

本书所记述的各项工艺技术,力图做到有理论基础、方法原理、使用程序、实践成果和注意事项。图表和实例均为真实资料,可供参考,有较强的实用性和可操作性。

全书共分八章,第一章由冉晓锦编写;第二章由韩春阳编写;第三章由乔大印、刘颖智、牟长虹编写;第四章由商其山编写;第五章由刘春祥编写;第六章由张景云编写;第七章由杜新港编写;第八章由樊奖平、丁建新编写;其中第一至五章由牟祥汇、张思球审核修改,第六至八章由牟祥汇和许本文审核修改。全书由牟祥汇、许本文和张思球统编。经科技丛书编委会组织孙希敬、张大德、李文瑞、王巧月、王志忠、蒋厚良、杨祥应、魏志洲等审核定稿。

在本书的编写过程中,井下作业公司经理张运通对编写工作给予了大力的支持,党委副书记、“科技丛书”井下作业公司负责人赵德英做了大量的组织和后勤保障工作,朱维和、王云娟、陈隆江、王茂琴、赵树红、徐洁、王志芳、左俊香在搜集整理资料、文字处理以及繁杂的事务性工作中都做出实际的贡献,在此一并表示感谢。

由于专业和工艺技术分类较多,成书时间较短,知识面和写作水平都有限,疏漏或有失严谨之处在所难免,请读者见谅和指教。

《试油与油井大修》编写组

1998年12月8日

目 录

试 油 篇

第一章 试油地质	(3)
第一节 概述	(3)
第二节 试油地质基础	(3)
第三节 试油地质工作	(26)
第二章 常规试油	(30)
第一节 概述	(30)
第二节 试油装备	(36)
第三节 求产	(40)
第四节 测压	(45)
第五节 油气水常规分析技术	(50)
第六节 封层技术	(57)
第三章 地层测试技术	(61)
第一节 地层测试发展概况	(61)
第二节 测试设计	(64)
第三节 测试工具及工艺	(68)
第四节 测试资料解释及应用	(96)
第四章 排液	(121)
第一节 大港油田排液工艺的回顾	(121)
第二节 抽汲提捞	(121)
第三节 气体排液	(124)
第四节 水力泵排液	(131)
第五节 纳维泵排液	(136)
第五章 油层保护技术	(139)
第一节 概述	(139)
第二节 油层伤害机理	(139)
第三节 作业过程中的油层保护措施	(142)

大 修 篇

第六章 打捞	(149)
第一节 大港油田打捞技术的发展	(149)
第二节 井下落物分类及常用打捞工具	(150)
第三节 套磨铣工具	(163)
第四节 打捞技术	(164)

第七章 套损井修复技术..... (171)

第一节 概述..... (171)

第二节 套管损坏的原因、类型和判断方法..... (171)

第三节 套损井整形技术 (174)

第四节 套管加固技术 (179)

第五节 套管补贴技术 (183)

第六节 取套换套技术 (185)

第八章 侧钻..... (191)

第一节 概论..... (191)

第二节 侧钻施工程序..... (193)

第三节 侧钻工艺技术..... (195)

第四节 侧钻井经济效益..... (204)

第五节 侧钻工艺技术展望..... (205)

参考文献 (206)

试 油 篇

第一章 试油地质

第一节 概 述

地质学是一门基础科学。石油地质是石油工业的基础学科之一，它研究的对象是石油和天然气。它的任务是运用地质学的基本概念和原理，以及其他学科如物理学、化学、生物学等基础知识来解析和阐明石油和天然气在地层中的生成、运移、聚集、保存和破坏的条件及过程，以及它在地层中的分布规律等。

试油工作是诱导石油和天然气从地层中产出，全面、直接地暴露油层内在矛盾，认识油层的基本手段。通过钻井、录井、测井等方法，虽然可知道油层含油，但是油层含油多少、油层压力多大、对勘探有没有进一步扩大勘探需要、是否具有开发价值等一系列问题，还要通过试油来进一步得到证实和验证。

通过属油工作，可以针对油井不同产状（自喷或非自喷），采取不同的工艺技术方法来分别测得油井产油量、产气量、产水量、油层压力及原油物性、油层水水性等资料，为认识地层、计算储量、编制开发方案和确定开发方式提供依据。

因此，要做好试油工作，必须了解和掌握石油地质的基本原理和基础知识，将这些基本原理、基础知识和试油工作联系起来，运用这些原理和知识分析试油层岩性、物性、压力、温度及其与存在于油层中的油、气、水的关系，分析油井工程质量及完善程度，最后解析试油结果，得出正确的结论，这是试油地质的基本工作。

第二节 试油地质基础

当一口井或者一批井确定进行试油时，首先要了解这些井所处地质背景，搜集有关地质资料，比如：构造特征、地层剖面、储层岩性物性、油气显示及相关完井数据等。这不仅是为了编制试油方案，更主要的是运用这些资料，预测、分析试油过程中可能发生或者已经发生的各种地质现象，并与试油录取的资料综合起来加深对试油层的认识，解决某些地质问题，进一步为勘探开发提供地质依据。

试油技术人员需要掌握本地区的地质情况。为此，介绍与试油测试相关的大港油田基本地质简况。

一、构造与油气藏特征

黄骅拗陷是一个油气资源非常丰富的含油气裂谷盆地，强烈的断陷活动，多期沉积建造，形成了多套含油层系，多种类型的油气圈闭，它是以断块构造为主要特点的含油拗陷。

1. 断层与油气聚集关系

正在活动的开启型断层，可以成为油气运移的通道，已经停止活动的封闭型断层，可以是遮挡油气散逸的有利条件。

同生断层（生长断层）下降盘一侧的地层因不断受重力下垂而滑塌形成的逆牵引背斜、起伏不平的弯曲断面与上倾岩层相切，或遮挡上端开口的背斜形成鼻状构造，以及那些派生

断层夹持的垒块、堑块、屋脊断块等与储集层适当配置，都是良好的油气圈闭。

黄骅拗陷是以断裂活动频繁为特征，不同时期大小不等的断层成群成带分布，不仅控制沉积变化，也控制油气运移、聚集，控制油气圈闭形态，上述断层所起的作用在拗陷内普遍存在。

如上第三系油气藏就是下第三系生油层通过主断层和派生的张性断层，油气垂直向上运移形成的（图 1-1），板桥、唐家河、港东、港西以及南部的枣园、王官屯等油气田都属于

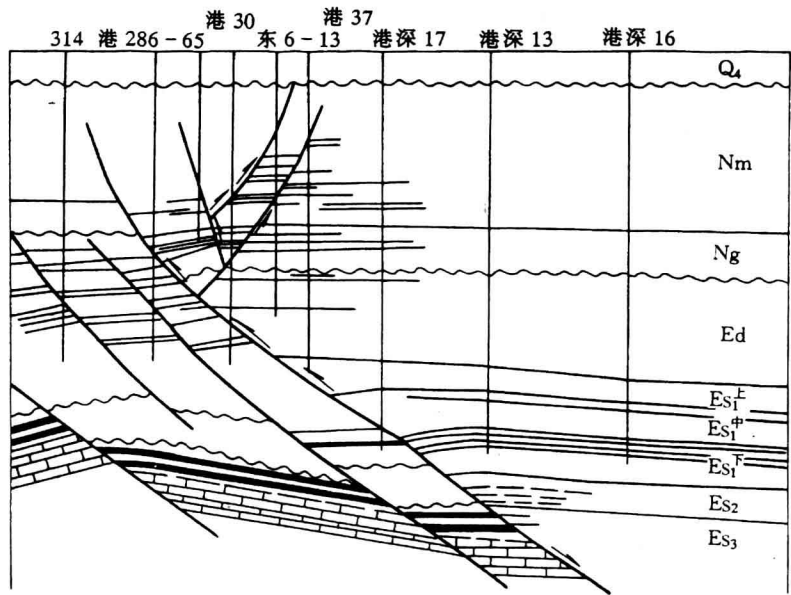


图 1-1 油气垂向运移示意图

此类运移方式。二级构造带主断层两侧，各种类型圈闭如同一串珍珠成排出现，使断裂带成为主要找油指向，如南部孔东断层两侧，上升盘有官 80、官 195、官 144 断块，下降盘有官 3、官 187、官 137 等逆牵引背斜、断鼻构造等（图 1-2）。经试油这些井均获工业油气流

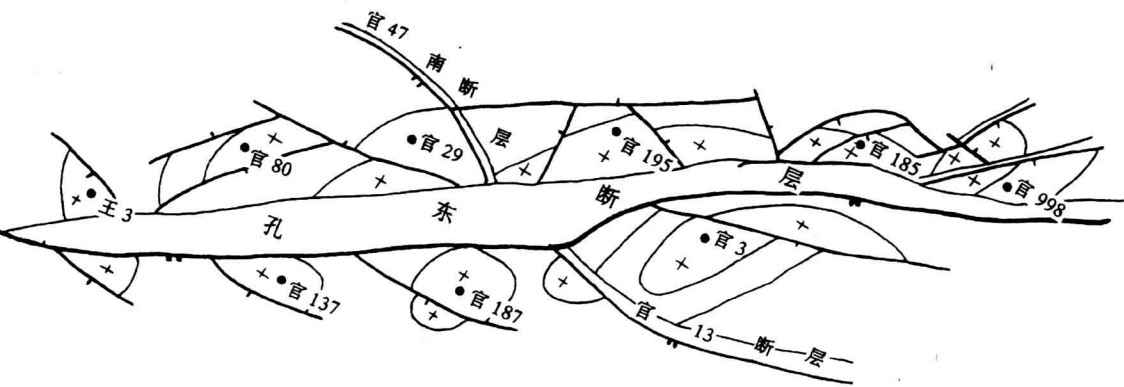


图 1-2 孔东主断层两侧构造分布图

(表 1-1)。

表 1-1 孔东主断层两侧构造试油井成果表

圈闭类型	代表井	层位	试油井段 m	厚度 层数	工作制度	日产油 t	日产气 m ³	日产水 m ³
上升盘垒式断块	官 80	孔一	1845.0~ 1971.2	53.8 13	套 5mm	53.4	2050	
	官 195	孔一	1940.3~ 1971.0	23.6 5	测液面	70.0		0
	官 144	中生界	2520.26~ 2528.56	8.3 1	10mm	97.4	5393	0
下降盘逆牵引背斜	官 3	沙三	1752.0~ 1768.0	16 1	5.5mm	5.46	55800	
	官 187	沙三	1805.9~ 1821.4	6.2 4	套 4mm	0	37677	0
	官 137	沙二	2038.9~ 2050.4	11.5 1	地层测试 F959	43.8	0	

北大港构造带的港东、唐家河主断层下降盘，有逆牵引背斜构造形成的港东油田及马东、马西深层油田；上升盘有被断层切割的鼻状构造形成的唐家河油田等；主断层向西延伸有港西背斜构造和六间房断鼻等形成的一些油田（图 1-3）。

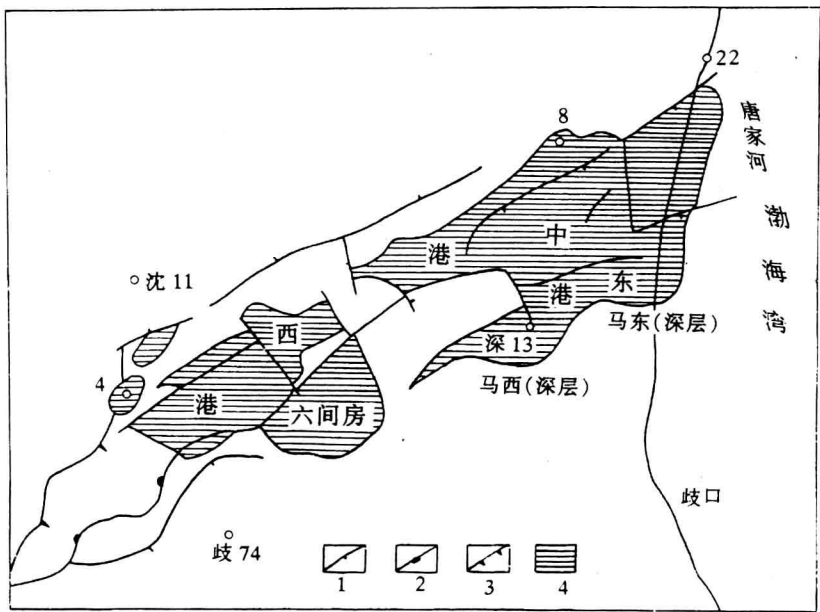


图 1-3 北大港构造带油田分布图

1—断层；2—下第三系超覆线；3—下第三系剥蚀线；4—油田范围

钻探试油表明，主断层两侧的构造高点，屋脊断层两边有利断块高部位，都是油气富集的主要位置。

2. 局部构造流体分布状态

储层中的油气水受重力分异作用，有规律的分布，气在上，油在中，水在底部。在同一个水力系统内，有统一的油气界面和油水界面。

然而，油、气、水界面并非想象的那样截然分开，而是具有一定厚度的气、油、水过渡带（图 1-4），甚至会出现油、气、水互相穿插的现象，这些情况主要取决于构造圈闭形态的复杂程度和油层物性、流体本身的性质特点。

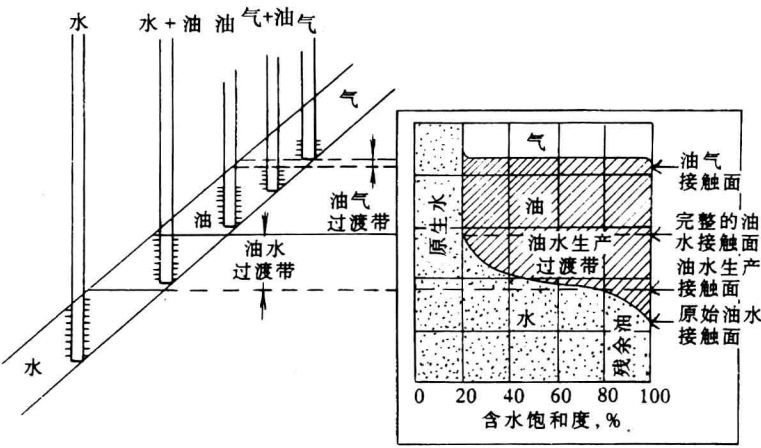


图 1-4 油气油藏内的流体分布图

一些构造形态比较简单，储层比较单一的油藏，油水界面就比较清楚，如马西深层，断层少，构造完整，板 2、板 3 油组各有一套独立的水油界面（图 1-5），板 2 油组油水界面 -3900m，板 3 油组的水油界面在 -3970~-3990m。

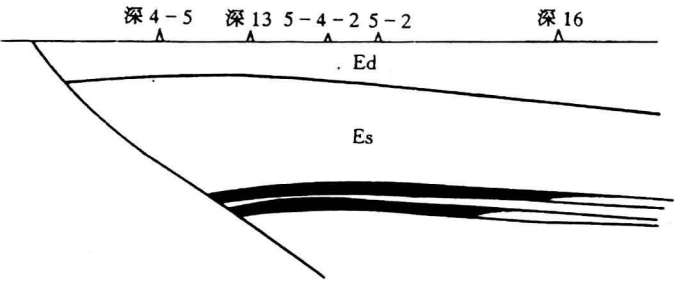
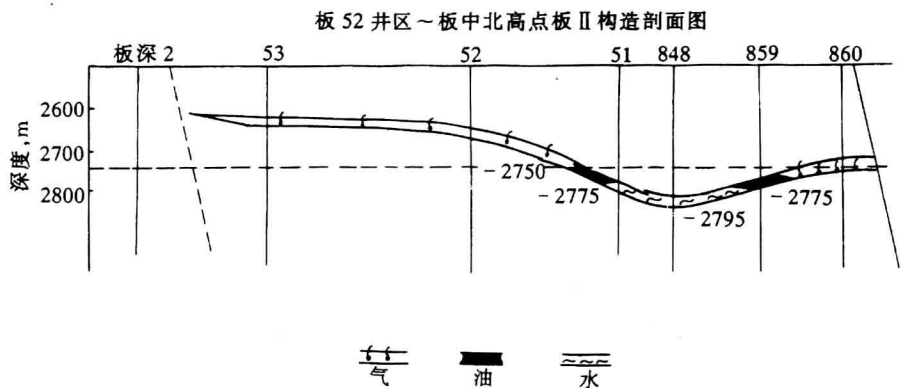


图 1-5 马西深层油气藏剖面示意图

板桥油田的板 859—板 52 地区为构造、岩性油气藏，板 2 油组受渗透性平面变化和构造形态的影响，虽然是同一水体，却有各自的气顶、油环，板 859 井区油水界面 -2795m，油气界面 -2775m。板 52 油气藏油水界面 -2775m，油气界面 -2750m（图 1-6），均比板

859 井区高。



但是，有些被断层复杂化了的构造，油水界面无规律可循，最典型的如港西背斜油气藏。全区有 25 条断层纵横交错，将构造分割成 41 个断块（含油断块 39 个），最小断块面积只有 0.112km²，使得油水系统非常复杂，油水层相间出现，构造的高部位有出水层，低部位有出油层。如明下段油层在构造高部位的港 188 井（试油井段 1121.5～1130.5m，一层厚 8.9m）试油只见油花，日产水 16.5m³，低部位的港 146 井（试油井段 1237.2～1239.8m，一层厚 2.6m），试油日产油 8.41t，水 2.3m³（表 1-2）。

表 1-2 油水系统复杂的油田试油结果表

构造位置	井号	层位	试油井段 m	厚度 m	工作制度	日产量		试油结论
						油, t	水, m ³	
高部位	港 188	明下	1121.5～1130.4	8.9	抽汲	油花	16.5	水层
低部位	港 146	明下	1237.2～1239.2	2.0	抽汲	8.41	2.3	油水同层

另外，处于油水过渡带的原油，由于同水长期接触受到氧化而性质变差，原油中溶解气量也会降低（饱和压力降低）。因此，试油时，同一构造同层位的原油性质，气油比发生较大变化，可能与构造位置有关（表 1-3）。

表 1-3 王官屯官 195 断块枣Ⅴ油组不同构造位置原油性质表

构造位置	井号	密度 g/cm ³	粘度 mPa·s	含蜡 %	胶质 + 沥青质 %	凝固点 ℃
高部位	官 48-4	0.9083	140.5	20.23	31.74	29
	官 51-8	0.9068	178.3	15.27	28.64	31
低部位	官 195	0.9374	1415	9.43	45.55	29
	官 51-5	0.9470	4636	5.95	39.4	24

3. 油气藏特征

当试油证实一个新区或某个构造圈闭范围内有一定工业价值的油气流时，按储层特性和流体性质划分油气藏类型，有助于选择合适的试油工艺配套技术措施，以达到预期的试油目的。

1) 高压低渗透油气藏

如北大港构造带的马东、马西深层油气藏。其主要特点是油层埋藏深 3700~4000m，油层物性差，非均质严重，渗透率 $(3\sim14)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，油层压力高，压力系数 1.3~1.5，原油性质好，试油初期产量高，生产压差大，采油指数小。试油证明，采用水力压裂措施，可以大幅度提高采油指数，效果非常明显（表 1-4）。

表 1-4 高压低渗透油藏压裂效果表

油藏	井号	层位	井段 m	效果对比						
				压裂 前后	工作 制度	日产量			生产 压差 MPa	采油 指数 t/(d·MPa)
						油 t	气 m ³	水 m ³		
马西	港深 15	板二	3909.6~3881.4	前	6mm	34.8	13790	0.32	28.79	1.21
				后	5mm	83.6	36579	1.83	13.89	6.02
马西	港深 16	板三	3975.6~3992.4	前	8mm	18	31.74	0	38	0.47
				后	8mm	65.8	19370	5.3	27.91	2.35

2) 双重孔隙油气藏

其特点是储层具有微裂缝和孔隙双重结构，裂缝发育程度与构造和断层活动有关。在构造高部位或储层上部，裂缝比较发育，连通性较好，在钻井过程中有钻井液漏失和施工泵压突然下降的现象，此类油藏有两种岩性。

(1) 层状灰岩油藏：以周清庄、王徐庄油田为代表的沙一下层状生物灰岩油藏，埋藏深度 2000~2500m，厚度一般在 5~10m，平均孔隙度 22%~25%，渗透率 $(30\sim200)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，油层压力系数 1.05~1.25，原油性质较好，试油初期各井产量高低悬殊，经酸化措施后产量大幅度提高（表 1-5），但压降较快，油井见水也快。

表 1-5 王徐庄油田酸化效果对比表

井号	射孔井段 m	酸化效果								增产 倍数	采油 指数 t/（d·MPa）
		前				后					
		工作 制度	日产 油，t	日产 气，m ³	日产 水，m ³	工作 制度	日产 油，t	日产 气，m ³	日产 水，m ³		
歧 9	2078.6～ 2082.2	3～ 5mm	15.7	4265	0	10mm	150	34548	0	9.0	前 1.33
											后 3.6
歧 651	2116.6～ 2118.8	4mm	18.6	743	0	10mm	95.7	21506	0	5.1	前 2.7
											后 2.87

(2) 块状安山岩油藏：风化店中生界的安山岩油藏埋藏深度 2700~3400m（未钻穿）。岩体厚达 250~300m，在岩体上部 45~60m 含油，下部含水。储油物性具有岩石基质部分为高孔低渗，裂缝发育部分则为低孔高渗的特征，岩心分析孔隙度 12.4%，渗透率 $55 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，垂直渗透率大于水平渗透率。油层压力系数 1.0~1.18，试油初期产量较高，压力下降快，含水，酸化效果不明显。

3) 浅层油气藏

港西油田上第三系明化镇组、馆陶组的次生油气藏，其主要特点是埋藏浅，油气层深度 600~1400m，成岩作用差，胶结疏松，原油性质差（含胶质沥青质高），试油求产过程中地层出砂相当严重。

4) 底水油气藏

如羊三木油田馆陶组油藏、羊二庄油田明化组油藏等上第三系油藏，油层深度 1400~1800m，油层厚度较大，油层分布集中，边、底水较活跃。试油期间产量较高，但含水上升快。

5) 高凝稠油油藏

从塘沽新村到王官屯小集地区均有高凝稠油的油藏分布。原油性质表现为高密度、高凝固点、高粘度、高含蜡、高沥青质含量的特点，如塘 31 井，沙三段 3138.8~3143.5m，原油密度 $0.8832\text{g}/\text{cm}^3$ ，粘度（80℃） $18.78\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，凝固点 72℃，含蜡 18.06%，含硫 0.18%，沥青胶质 27.23%。

6) 凝析油气藏

1966 年初在白水头地区的港 20 井第一次发现大港油田的凝析油气藏，根据油气性质可分为纯凝析气藏、纯油藏和带油环的凝析气藏。试油特点是初期自喷能力强，气油比高，井口压力高，但压力下降快，含水上升快，自喷期短。试油期间要注意凝析油含量变化，选择合适的工作制度，防止反凝析现象的出现。

上述各类型油气藏可能存在于同一成因的构造圈闭之中，也可能同一类型油气藏有几种不同成因的构造圈闭形态。

二、储集层

1. 孔隙度和渗透率概念

储集层最基本的特性是孔隙性和渗透性。孔隙性反映储层中流体存储数量的多少，渗透性则反映储层的渗流能力。

1) 孔隙度

为了表示储集层中孔隙容积的大小，提出孔隙度概念，即岩样中孔隙空间总容积占岩样总体积的百分数，称为绝对孔隙度，而岩样中能够互相连通的孔隙容积占岩样总体积的百分数称为有效孔隙度。只有那些互相连通的孔隙空间才是具有实际意义的。

岩石中大小不同的孔隙对流体存储和流动的作用不同。

超毛细管孔隙：管形孔隙直径 $>0.5\text{mm}$ ，裂隙宽度 $>0.25\text{mm}$ ，在自然条件下，流体能在其中自由流动，服从于水力学一般定律。

毛细管孔隙：管形孔隙直径在 $0.5 \sim 0.0002\text{mm}$ 之间，裂隙宽度在 $0.25 \sim 0.0001\text{mm}$ 之间，因受毛细管力的阻滞，流体已不能在其中自由流动，只能在外力大于毛细管力作用下流体才能流动。