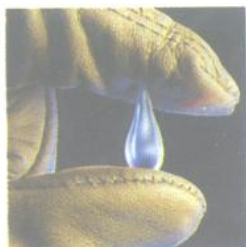


中国油藏管理技术手册

油层物理实验技术

沈平平 等 编著



石油工业出版社

中国油藏管理技术手册

油层物理实验技术

沈平平 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一本介绍油田开发实验基本原理以及实验方法的技术指导手册和操作手册, 主要包括常规岩心分析、专项岩心分析以及地层流体高压物性分析三大部分。其中, 常规岩心分析部分介绍井场取心、岩心描述与保存、孔隙度、渗透率以及流体饱和度的测量; 专项岩心分析部分主要介绍润湿性、毛管压力以及相对渗透率的测量; 地层流体高压物性分析部分主要介绍各类油气藏流体 PVT 特性的测量。

本书可作为油田开发实验技术人员、油藏工程师的参考书, 也可作为石油高等院校的油田开发实验教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国油藏管理技术手册: 油层物理实验技术 / 沈平平 等编著
北京: 石油工业出版社, 1995.9

ISBN 7-5021-1367-3

I. 中…

II. 沈…

III. 油层-物理性质-实验

IV. TE311

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 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

*

850×1168 毫米 32 开 12 $\frac{3}{4}$ 印张 331 千字 印 1—4000

1995 年 9 月北京第 1 版 1995 年 9 月北京第 1 次印刷

定价: 19.50 元

序 言

《中国油藏管理技术手册》是油藏开发管理的一套重要书籍，这套手册的出版发行对于改善油藏经营管理、提高油田开发水平具有十分重要的意义。

“油藏经营管理”（Reservoir Management）在国外是70年代兴起的，主要强调地质与工程多种专业的协同，搞好油藏的整体开发和优化经营“油藏管理”是指对油藏的整体经营管理，具体内容包括科学地认识油藏，对油藏进行定量化的描述，了解油藏的特性，并进行油藏评价和开发可行性研究，制定出油藏的最佳开发方案，即用较少的投入得到最大的经济效益和较高的油藏最终采收率，油藏经营管理也包括油（气）投入开发后的科学管理，包括油藏动态分析、监测和开发调整以及开发方式转变，如由一次开采转入注水开发，再由注水开发（二次开采）进入三次采油。由此可见，油藏管理技术的内容十分广泛，这次我们重点选择编写以下八个分册，分别出版：

第一分册 油藏描述

第二分册 油层物理实验技术

第三分册 油藏工程设计

第四分册 油藏动态监测和开发分析

第五分册 油藏数值模拟

第六分册 三次采油技术

第七分册 稠油热采技术

第八分册 油田开发经济评价

本套手册的编制强调科学性和实用性，着重介绍技术方法的应用，系统地总结了我国油田多年来油藏经营管理的经验，吸取了最新国外油田的开发技术，具有权威性和法规性。本手册的出

版为我国油田开发的广大工程技术人员、科研设计人员，特别是油藏工程技术人员提供了一套得心应手的工具书。

中国石油天然气总公司

开发生产局

1995年8月

《中国油藏管理技术手册》编委会名单

主任：王乃举

副主任：周成勋

编委：王乃举 周成勋 潘兴国 崔耀南

吕德本 叶敬东 张卫国

前 言

油藏岩石和流体的物性参数是油田开发、油藏工程研究的重要基础数据。获取这些岩石、流体以及岩石与流体共同作用的物性参数主要依靠油田开发实验。近 50 年来，油田开发实验技术一方面不断发展、完善；另一方面，随着计算机特别是微电脑的不断普及，油田开发实验仪器的自动化程度与测试速度以及测试精度越来越高。目前，油田开发实验技术的主要发展趋势是标准化、系列化和自动化。

关于油田开发实验的技术与方法，过去出版了一些很好的油层物理方面参考书或教材，这些书籍的主要特点是着重介绍油藏物理的基本原理。本书的主要特点是在简要介绍进行油田开发实验所必须的基本概念和基本原理的基础上，着重介绍油田开发实验的具体方法、操作过程、数据处理方法以及实验设备的维护与校正等。本书在阐述比较完善的油田开发实验技术时，尽可能采用相应的部颁标准，而在介绍油田开发实验的新技术、新方法和新仪器时，尽可能突出实用性、新颖性及先进性。因此，本书既可作为油田开发实验的操作手册，在一定程度上又可作为进行有关油田开发实验科学研究的技术指导书。

本书第一、二、三章的初稿由季京生完成，后由任仪宽进行了较大的修改；第四、五、六、七、八章由沈平平、李春如编写；第九、十章由岳清山编写；第十二、第十四章由李秉智编写；第十三章由李克文编写。全书由沈平平、李克文统一修改、补充。

衷心感谢石油天然气总公司科技局曾宪义局长、开发局王乃举局长、潘兴国总工程师、秦同洛教授等对本书编著工作的大力支持及提出的宝贵修改意见。

由于时间仓促、加上作者水平有限，又是第一次编写这样的技术手册，本书的不足乃至错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 井场取样及岩心处理	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 井场取样	(2)
第三节 岩心的保存要求	(3)
第四节 实验室验收岩心的次序	(5)
第五节 岩心描述	(8)
第二章 岩心自然伽马射线检测及岩心照相	(12)
第一节 岩心自然伽马射线检测	(12)
第二节 岩心照相 (白光、紫外光)	(18)
第三章 岩心标本制备及常规岩心测试方法	(21)
第一节 标本制备	(21)
第二节 常规测试样品的钻取	(21)
第三节 岩心中油和盐的清洗方法	(24)
第四节 岩样的烘干	(29)
第五节 柱塞样品 (俗称小圆柱样或小样)	
孔隙度的测试方法	(29)
第六节 柱塞样品空气渗透率的测试方法	(39)
第七节 柱塞样品流体饱和度的测试方法	(49)
第八节 全直径样品孔隙度的测定	(65)
第九节 全直径样品渗透率的测定	(68)
第十节 全直径样品中流体饱和度的测定	(70)
第十一节 覆盖压力条件下的渗透率和孔隙度	(71)
第四章 专项岩心分析概论	(78)
第一节 取心液对岩心性质的影响	(78)
第二节 岩样状态类型	(80)

第三节	柱塞岩样与全直径岩样	(81)
第四节	成品油和原油	(82)
第五节	样品的选取	(82)
第六节	一些特殊的影响因素及其处理方法	(84)
第七节	各类油气藏推荐进行的专项岩心分析项目	(84)
第八节	开展专项岩心试验必须具备的基本参数	(85)
第五章	界面张力与毛细管压力	(89)
第一节	界面张力与表面能	(89)
第二节	表面张力测定方法	(90)
第三节	影响表(界)面张力的因素	(94)
第四节	润湿性及其影响因素	(98)
第五节	接触角的测定方法	(100)
第六节	用吸入法 (Amott) 测定润湿性	(102)
第七节	用两相相对渗透率曲线确定润湿性	(105)
第八节	用离心机(USBM)法测定润湿性	(106)
第九节	用三相相对渗透率曲线确定润湿性	(109)
第十节	润湿性的其它测定方法	(111)
第十一节	毛管压力的基本概念	(111)
第十二节	孔隙隔板法测毛管压力	(115)
第十三节	离心法测毛管压力	(117)
第十四节	压汞法测毛管压力	(120)
第十五节	几种测毛管压力方法的比较	(122)
第十六节	毛管压力数据归一化处理	(125)
第十七节	毛管压力曲线的应用	(127)
第六章	注水实验	(134)
第一节	水测渗透率	(135)
第二节	基础注水实验	(137)
第三节	不同注入倍数下采收率与含水百分数实验	(139)
第四节	气藏岩样吸入实验	(141)
第五节	水—气相对渗透率(稳态法)实验	(145)

第六节 - 水—气相对渗透率(非稳态法)实验	(145)
第七章 相对渗透率	(148)
第一节 稳态水—油相对渗透率测定	(148)
第二节 非稳态水—油相对渗透率测定	(151)
第三节 离心机法测定相对渗透率	(155)
第四节 从毛细管压力曲线计算相对渗透率	(157)
第五节 求相对渗透率曲线的经验公式	(158)
第六节 油水相对渗透率的应用	(159)
第七节 影响相对渗透率曲线形状的因素	(161)
第八节 三相相对渗透率	(176)
第八章 岩石的电学性质与声学性质	(180)
第一节 地层电阻率	(180)
第二节 电阻率测定装置	(181)
第三节 地层电阻率因子	(183)
第四节 电阻率指数	(186)
第五节 可导性物质和阳离子交换能力	(189)
第六节 岩石的声学性质	(193)
第九章 储层敏感性评价	(198)
第一节 概述	(198)
第二节 储层的损害机理	(198)
第三节 储层敏感性的评价程序	(199)
第四节 储层岩石基本性质测试	(201)
第五节 储层岩样的流动实验	(205)
第六节 储层敏感性评价的指标	(217)
第七节 储层敏感性评价预测的应用实例	(223)
第十章 油气类型及流体样品的取样	(227)
第一节 油气藏类型	(227)
第二节 油气藏流体样品的取样	(229)
第十一章 油气藏流体分析	(243)
第一节 流体分析中专用仪器仪表的标定	(243)

第二节	流体样品的质量检查	(250)
第三节	油气藏流体样品的配制	(254)
第四节	油藏流体的分析	(259)
第五节	凝析气藏流体的分析	(280)
第六节	挥发性油藏流体的分析	(288)
第七节	相态图(p — T 图)的测定	(290)
第八节	油气藏流体分析中常用单位换算系数常用常数及 经验公式和图表	(292)
第九节	油气藏流体分析中常用术语	(300)
第十二章	实验数据的误差与处理	(306)
第一节	概述	(306)
第二节	误差的种类	(307)
第三节	随机误差	(314)
第四节	系统误差	(323)
第五节	函数的误差以及间接测量中误差的传递	(331)
第六节	误差合成	(337)
第七节	数字的有效位数与运算	(340)
第八节	最小二乘法与线性拟合	(343)
第十三章	80年代以来发展的新技术和新仪器	(356)
第一节	常规岩心分析	(356)
第二节	专项岩心分析	(367)
第三节	地层流体分析	(370)
第四节	其它	(374)

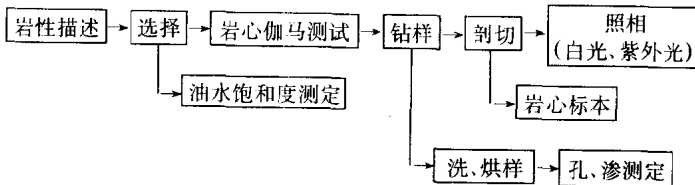
第一章

井场取样及岩心处理

第一节 概 述

常规岩心分析一般包括岩石的孔隙度、空气渗透率、油水饱和度的测量。这三项参数是编制油田开发方案和估算储量所必须的基础参数的一部分，是研究储层性质、进行油层对比，分析油田动态的重要依据。因此，取准常规岩心分析数据是很重要的这是早已被公认的事实。但因取出的地层岩心数量与油层相比毕竟是微不足道的，同时，由于钻井取心时的机械破坏，钻井液对岩心的冲刷、污染及取心上提过程中，由于压力的降低，岩心中的气体、液体的溢出，都影响岩石中的液体分布；岩心取到地面后，又受风吹、日晒等自然条件以及人为因素的影响等等，使得用这样的岩心测出来的数据有很大的局限性，与地层岩石的真实值相距较远。因此，怎样做才能有助于测准数据以及如何正确解释和运用测得的数据，是十分重要的。

近年来，随着油田开发的深入，所要求的实验数据不仅越来越广泛，而且要求接近地层的真实情况。因而促进了常规岩心实验的发展，并形成了以下一套完整的分析系列：



这样就为取得准确的常规岩心分析数据提供了有利的条件。

由于岩性不同，取心方式各异，对常规岩心分析的要求也就不同。本文从矿场取心、油层岩心描述、岩心保存、实验室测试样品的制备到各种项目的测试原理、测试方法及注意事项、数据的计算和整理等等，都做了简明的阐述，力求使读者有一清晰的概念，并能正确地分析使用这些常规岩心分析数据。

第二节 井场取样

一、岩心出筒

取心筒一出井口，应立即取出岩心，要做到动作轻快，尽量减少使岩心破碎的人为因素。如果岩心过长，可以用地质锤将岩心轻轻敲断。

取出方法：抬高岩心筒的一端，使岩心靠自身的重量滑出筒，这时，操作人员要注意安全，不得用手去接下滑的岩心，同时要注意岩心滑出筒时的顺序以及岩块上下方向。如果岩心靠重量滑不出筒，可轻敲筒壁或用木棒推出岩心。严禁用重锤敲击取心筒。如果实在取不出岩心，可用取心时的钻井液，靠泵压顶出岩心。同时，地质人员应将取心钻进时的异常情况以及岩心出筒情况作一简单记录。

二、岩心出筒后的处理

为了给以后取准岩心分析数据打下良好的基础，不允许将岩心过久停留在取心筒内，或泡在钻井液内，或暴露在空气之中，以避免岩心中的液体氧化或蒸发。如果因不慎，确实发生了不应发生的事情，那就一定要如实地记录，以便能据此分析将来所测数据的真伪，从而决定其取舍。故要求岩心一出筒就尽快地用浸过取心液的棉纱擦净岩心表面，如果岩心上有泥饼，可用小刀等工具刮掉，禁用清水或其它液体清洗岩心。岩心擦净后，按出筒次序（注意不得颠倒岩心上下方向）排好，进行丈量，算出取心收获率。如果岩心长度与钻井进尺不符合，除非有其它证据（如

岩石磨损、破碎等)，一般都假设丢失的岩心是在井底一段。岩心丢失的部位及与此有关的详情都应记录下来。而后，在每一段岩心上注名取心筒次、块次，划出岩心顶底方向，并进行岩心描述。之后，把岩心装入标有顶底方向的岩心盒中（注意：岩心的顶底方向要与岩心盒的顶底方向一致），并在岩心盒的标签上写明盒号、井号、层位、深度、块号、心长、收获率等等。

第三节 岩心的保存要求

岩心出筒后，根据测试项目的要求及储存时间的长短（即距分析时间的长短），选用不同的包装和保存方式。分析油、水饱和度的样品，应尽量避免液体蒸发，在选好取样位置和进行简单的描述后立即取样。对疏松或胶结差的岩样采用内径与岩样外径相接近的容器或铝箔加以适当支撑的办法。

1. 容器密封法

本法用以保存对测定要求精度高的岩样和分析油、水饱和度的岩样。可以将岩样直接装入容器，也可用铝箔、聚乙烯或其它合适的塑料包裹后，密封在容器中。岩样及容器上都应标明井号、样号……，同时，岩样与容器之间的空隙应尽量小。未包裹的岩样更应控制岩心与容器之间的间隙。对于疏松岩样，可在其周围填加软填充物，但不得采用纸、纸板或其它能吸收岩样中水或油的材料填充。

2. 管子密封法

把岩心装入钢、铝或塑料管中，两端用带“O”型密封圈的堵头封住。

3. 塑料袋密封法

本方法适用于保存坚硬的岩心。密封时应尽量减少岩心与塑料袋之间的空隙。可沿岩心长轴方向将岩心旁边的塑料袋边角卷起，排除袋中的空气。同时，严防袋中岩心的棱角刺破塑料袋，必要时可用塑料薄膜包缠岩心或用多层塑料袋包装，然后装箱。

4. 干冰冷冻法

本方法适用于保存疏松岩心。这是一种快速冷冻岩心的方法。在当地接受实验室分析的岩心，只作一般冷冻即可，但要外运的岩心还要在其周围覆盖干冰。

经冷冻的岩心在分析前，应在 20℃ 室温条件下，使岩心自然解冻，并要防止空气中的水分凝结于岩心表面。

冷冻法对岩心性质有一定影响，对用冷冻时膨胀或收缩较小的液体如盐水作钻井液时，取得的岩心受影响小，而对用淡水作钻井液时，取得的岩心受影响较大，会使测定的油、水饱和度值偏低。

5. 金属箔及塑料膜包裹法

本方法适合于保存胶结较好且在几小时之内就能分析的样品。一般作法是沿岩心长度方向包裹 2~3 层金属箔，然后把岩心两端长出的金属箔折叠起来，压在岩心的端面上，再在金属箔的外边包上塑料薄膜。

6. 低熔点塑料涂层法

本方法适用于保存那些需远距离搬运或多次装卸的岩心样品。

具体作法：将已擦干净表面的岩心，一端浸入刚刚熔化的塑料液中沾一下（浸入端约占岩样长度的 $2/3$ ），立即拿出，冷却并停置几秒钟后，再沾另一端。要求涂层厚度约 1.6mm，涂层均匀无气泡，涂料渗入岩心深度不超过一颗砂粒。对那些运输距离过长，胶结较差的岩心，可按需要涂多层塑料。对胶结疏松的岩心，可先用金属箔包裹后，再进行多次涂层。

对塑料性能的要求：

- (1) 塑料性质必须经久不变；
- (2) 与油水接触不起反应；
- (3) 不含油、脂肪酸溶剂或其它腐蚀性液体；
- (4) 对油、气、水不渗透；
- (5) 熔点低于 95℃；

(6) 熔化后粘度较低，很容易从一个小气孔中倒出或滴出，但不能渗入毛细孔隙中；

(7) 从加热器中取出的涂料，在 5~10s 内能凝固而不会剥落；

(8) 涂层坚韧抗拉，在 80℃ 时不熔化。

第四节 实验室验收岩心的次序

实验室在接收从井场送来的岩心样品之前，要准备好必要的工具（如标明架号、顶底方向的可移动的岩心架，红、蓝色画线笔，包装岩心的塑料袋），各种记录表格，（如岩心验收清单，工作任务单和取心送样资料记录表等，详见表 1.1、1.2 和表 1.3）。

表 1.1 验收岩心清单（格式）

试验室编号 _____	送样人 _____				
送样单位 _____	收样人 _____				
井 号 _____	验收日期 _____				
井深 m	岩心描述	井深 m	岩心描述	井深 m	岩心描述