



特殊岩心 分析技术

段勇 编译 张绍槐 校



 石油工业出版社



北京

PDG

- 073601

TE311 / 018



特殊岩心分析技术

段勇 编译 张绍槐 校



200417209



石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书是对《普通岩心分析技术》的补充和发展,其主要内容有毛管压力试验、岩石的相对渗透率、岩石的润湿性、岩相学的应用、用电测法确定地层含水饱和度、注水试验和强化采油设计。

本书可供石油工程技术人员及从事科研的工作人员参考,也可供石油院校有关本科生和研究生参考。

特殊岩心分析技术

段 勇 编译 张组槐 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京海淀吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 6印张143千字 印1—2,000

1993年7月北京第1版 1993年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0896-3/TE·838

定价: 5.80 元

编译者的话

岩心分析技术在油气勘探、油井完井和修井、油田开发和油气藏评价中有着广泛的用途，为了在油气田的开发过程中达到最合理的开采，岩心的观察和分析可以说是目前最基本的手段。

本书主要是根据国外有关公司的培训教材编译而成的。这些教材内容丰富，但结构比较松散，图表多，文字较少，读者很难读懂。因此，我在参考国内有关资料的基础上，对上述教材进行了补充，将图和表的内容用串文形式引入正文，并对一些内容不连贯或内容不全的地方进行了充实，从而使全书系统完整、通俗易懂。

本书是对《普通岩心分析技术》的补充和发展，并简要介绍有关实验技术和如何选择实验项目以及实验数据的应用。它对石油工程技术人员及从事科研的工作人员来说，将是一本非常有用的书籍。

在编译此书的过程中，孙彪、魏光荣、李洪鹿和林玲等4位同志给予了很大的帮助，此书的插图由梁亚玲绘制，在此表示感谢。

由于本人水平有限，书中难免有误，敬请读者批评指正。

1992年10月14日

目 录

第一章 总论	1
第一节 特殊岩心分析技术概述	1
一、特殊岩心分析与普通岩心分析的基本程序.....	1
二、实验所需要的资料和样品.....	1
三、推荐的试验内容.....	1
第二节 实验用岩心和油品	4
一、取心液对岩心的影响.....	4
二、岩心的类型及用途.....	5
三、如何选择岩心.....	6
四、试验用油类.....	9
第二章 毛管压力试验	10
第一节 概述	10
第二节 半渗隔板法	10
第三节 压汞法	11
第四节 离心机法	11
第五节 毛管压力测试有关的公式和图表	14
一、各种毛管压力数据的相互转换.....	14
二、毛管压力转换为油藏自由水面以上高度.....	15
三、孔喉半径计算公式.....	15
四、有关的图例.....	15
第三章 岩石的相对渗透率	20
第一节 概述	20
一、基本概念.....	20
二、影响相对渗透率的因素.....	20
第二节 水—油相对渗透率测试	22
一、非稳态测试法(吸入法).....	22
二、稳态测试法(吸入和驱替法).....	23
三、分流方程.....	23
第三节 气—油相对渗透率测试(非稳态气驱)	25
第四节 气—水相对渗透率测试	26
一、水驱气法(稳态吸入法).....	26
二、气驱水法(驱替法).....	26
第五节 有关的图例	26
第四章 岩石的润湿性	30

第一节	概述	30
第二节	接触角测定	30
第三节	Amott润湿性指数法	31
第四节	用两相相对渗透率估计岩石的润湿性	33
第五节	用三相相对渗透率估计岩石的润湿性	33
	一、水湿性岩心	36
	二、油湿性岩心	36
	三、中湿岩心	36
第五章	净上覆地层压力的影响	37
第一节	净上覆地层压力的概念及其室内模拟方法	37
第二节	孔隙体积压缩系数	39
第三节	净上覆地层压力对孔隙度和渗透率的影响	41
第六章	岩相学的应用	43
第一节	岩石薄片分析技术	43
第二节	X射线衍射技术(粘土矿物分析)	43
第三节	扫描电镜技术	44
第四节	阴极发光技术	44
第七章	用电测法确定地层含水饱和度	46
第一节	岩石电阻率与含水饱和度的关系	46
	一、概述	46
	二、岩石孔隙结构对电阻率的影响	46
	三、地层(电阻率)因素 F	47
	四、岩石电阻增大系数 I	48
	五、地层含水饱和度	49
第二节	粘土对地层电阻率的影响	49
第八章	岩石声速与孔隙度的关系	53
第九章	注水试验	55
第一节	油藏注水试验	55
	一、概述	55
	二、水驱效果评价试验	55
	三、基础注水试验	56
	四、对含有不溶解气岩心的注水试验	56
第二节	气藏注水试验	57
	一、概述	57
	二、吸入法水驱气试验	57
第十章	强化采油设计	60
第一节	概述	60
第二节	热力采油技术	61
	一、概述	61



二、蒸汽驱	62
三、火烧油层	63
四、注热水	64
第三节 化学采油技术	65
一、碱性水驱	65
二、聚合物驱	67
三、胶束驱	71
第四节 混相驱油	75
一、CO ₂ 驱	75
二、其它混相驱简介	76
第十一章 其它试验	79
第一节 岩石水敏性试验	79
第二节 低渗透砂岩气藏岩心气测渗透率方法的改进	80
第三节 界面张力测试	81
第四节 储气层评价试验	81
参考文献	82

第一章 总 论

在进行油藏工程计算时，需要用到地层的岩石性质参数，如果能够测出这些参数的话就不必去估计它们。根据已开发油藏和性质较好的岩石参数来推断正在开发中性质较差油藏的行为和岩石参数是不可靠的。最好的数学模式作出的预测都不比实测的数据更可靠。

岩石的孔隙结构控制和影响着岩石的全部性质。而岩石的孔隙结构是随油藏而变化的，它受到岩性、沉积环境、成岩作用和岩石类型的影响。为了研究岩石孔隙结构随深度和区域分布的变化关系，就需要用油层岩心来进行实验研究。

普通岩心分析的任务是确定岩石孔隙度和渗透率的范围和分布情况。特殊岩心分析作为其补充，它可以提供用于计算一口井或油藏的静态流体分布和流动行为的有关数据。

现在人们对石油的需求比以往任何时候都大。随着三次采油而带来的复杂情况和采油费用的增加，使得实验室评价工作和实验数据变得更加重要。在本书第九章里将要专门介绍与三次采油有关的实验技术。

第一节 特殊岩心分析技术概述

一、特殊岩心分析与普通岩心分析的基本程序

图1-1对普通岩心分析和特殊岩心分析的内容、目的及它们之间的相互关系进行了简单而明白的描述，根据这个框图，使你能对岩心分析技术有一个总体的认识，在本书后面的各章里将对特殊岩心分析技术的各项内容进行较详细的介绍。

二、实验所需要的资料和样品

进行特殊岩心分析时，除了需要油藏岩心外，还需要取得有关油藏基本性质的资料数据和样品，否则，试验将无法进行或得不到可靠的试验结果。表1-1列出了各项试验所需要的资料和样品。

对所有岩心分析的研究都应提供以下资料：

- ①委托人电话号码、姓名、住址；
- ②试验及报告的要求；
- ③试验所需资料的清单；
- ④研究完毕后岩心的处理；
- ⑤油藏的深度和类型，如油藏、气藏等；
- ⑥取心流体，如水基、油基等；
- ⑦简要的取心史。

三、推荐的试验内容

并不是对所有的油藏都要做所有的岩心分析试验，各种试验都有其适用的油藏类型，一种特定的油藏类型对应着特定的试验内容，表1-2给出了我们对几种典型油藏所推荐的试验项目。

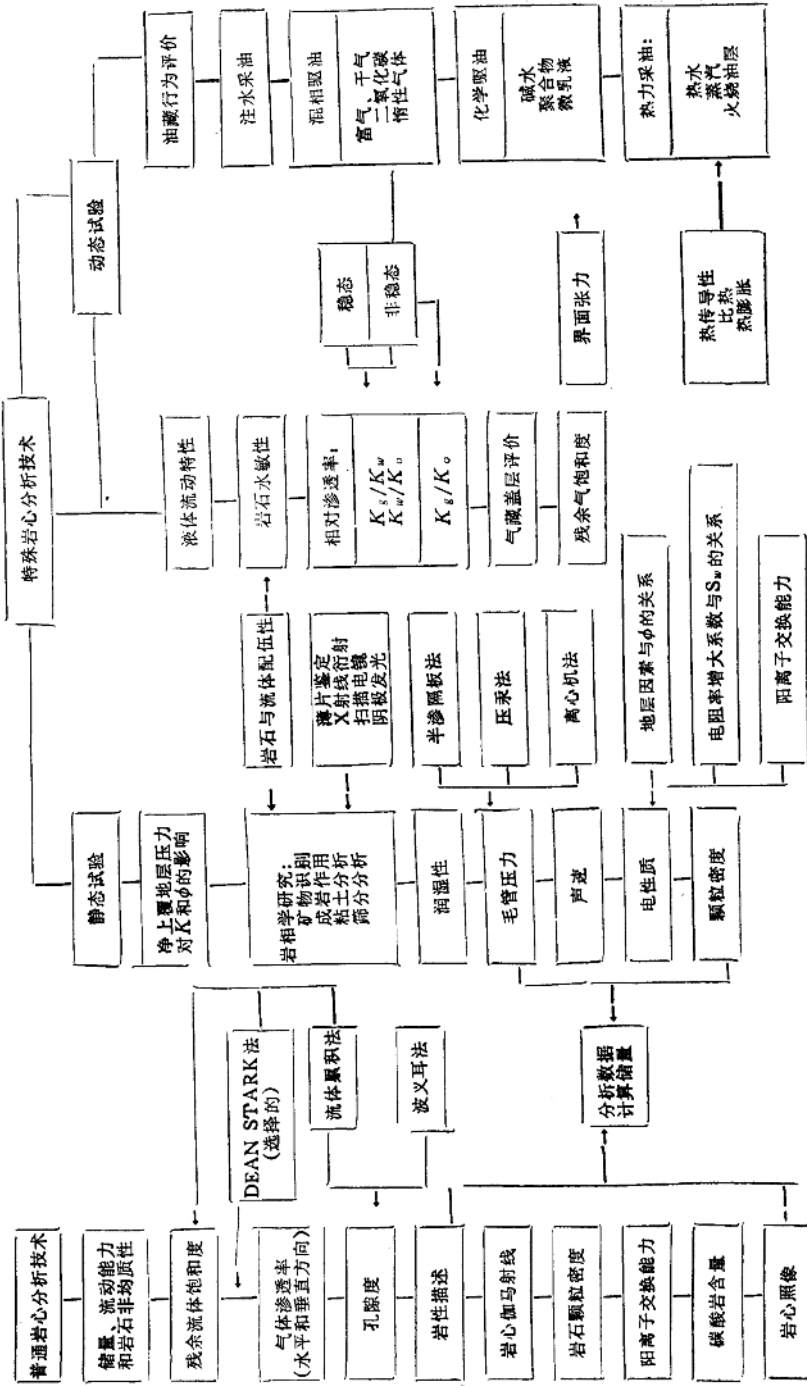


图 1-1 岩心分析基本程序

表1-1 特殊岩心分析实验所需要的资料和样品

试验内容		需要的资料和样品																		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
毛细管压力	半渗隔板法	●		●							■									
	压汞法	●									■									
	离心机法	●		●							■									
	束缚水饱和度	●									●									
电阻率测定 (固结岩石)	地层电阻率因数	室温		●																
		油藏温度		●						●										
	室温下电阻率指数		●																	
岩石水敏性			●	●																
室内条件下的水驱实验	新鲜岩心	●	■	●	●		●	●		●	●			■						
	复原岩心	●	■	●	●	●	●	●		●	●			■						
油藏条件下的水驱实验	新鲜岩心	●	■	●	●	●	●	●		●	●			■	●	●				
	复原岩心	●	■	●	●	●	●	●		●	●			■	●	●				
室内条件非稳态相对渗透率实验		●	■	●	●															
室内条件稳态相对渗透率实验																				
残余气测定			●																●	●
热力采油实验	注热水		●	●				●						●				●		●
	注蒸气							●						●					●	●
	燃烧管法							●					●				■			●
岩石孔隙体积压缩率			●			●	●													
气藏盖层分析			●																	
声速测定			●			●														
吸入实验测量岩石润湿性			●																	

注：●—必需的资料和样品；■—有用但不一定必需；A—自由水面以上的最大油柱高度；B—油水接触面；C—地层水成分和电阻率及相关温度；D—注入水成分和电阻率及相关温度；E—原始油藏压力；F—目前油藏压力；G—油藏温度；H—油藏条件下油、气、水密度；I—油藏条件下油粘度；J—油藏条件下水粘度；K—原油重度；L—原始的溶解气、油比（如果不能得到油藏条件下的油粘度则需要油藏温度和原油重度）；M—原油样品（井底取样或地面重新配制）；N—用于重新混合的油藏油和气；O—原油样品；P—热水温度；Q—蒸气温度；R—残余的润湿饱和度；S—油藏孔隙度。

表1-2 推荐用于几种典型油藏的特殊岩心分析技术

推荐的试验项目	油藏类型						
	A	B	C	D	E	F	G
毛管压力试验	●	●	●	●	●	●	●
地层电阻率因数	●	●	●	●	●	●	●
地层电阻率指数	●	●	●	●	●	●	●
阳离子交换能力	●	●	●	●	●	●	●
声速测定	■	■	■	■	■	■	■
岩石水敏性	■	■	●	■	■	●	●
气、油相对渗透率	●	●	●	●			
注水效果评价试验			●				
气、水相对渗透率							●
上覆地层压力对K和φ的影响	■	■	■	■	■	●	■
岩石孔隙体积压缩率			■	●	■		
筛分分析(固结差的岩石)	■	■	■	■	■		■
X射线衍射(粘土矿物识别)	■	■	■	■	■	■	■
扫描电镜	■	■	■	■	■	■	■
水驱后的残余气							●
润湿性			●				
地层水与注入水的配伍性			●				

注:●—主要的试验项目;■—其他试验项目;A—气驱油藏;B—气顶驱油藏;C—水驱油藏;D—欠饱和油藏;E—气和凝析气藏;F—低渗透率气藏;G—水驱气藏。

第二节 实验用岩心和油品

一、取心液对岩心的影响

在岩心分析实验中,我们总是希望从井里取出的岩心能真实的反映油藏的性质,但在目前的大多数情况下,实际的情况并不是象我们所希望的那样。由于钻井取心时取心液对岩心的冲刷作用,以及当岩心取出地面后在岩心的处理和储存过程中,岩心的原始饱和状态和润湿性都会发生变化,从而影响了以后试验结果的可靠性。因此,充分认识在取心和岩心处理过程中对岩心的各种影响因素,将有助于我们采取相应的措施来克服、减小和弥补那些对实验带来的不利影响。

1. 岩心饱和度

在取心过程中，取心液中的流体（油、气、水）会侵入岩心，从而改变岩心原有的饱和状态。因此，在进行岩心试验之前，必须按要求恢复岩心的饱和度。对于新鲜岩心，我们通常是用油驱出岩心中的气和水。

2. 岩心润湿性

不适当的取心液是岩心润湿性改变的主要原因，此外，岩心长期暴露在空气中也会改变其润湿性。因此，选择好取心液并避免岩心受外界的影响是防止岩心润湿性改变的关键。

对岩心润湿性影响较小的取心液是那些不含表面活性剂的水基钻井液体系。如果钻井条件允许，用非氧化性的原油作为取心液则更好。而油基钻井液和油包水乳化钻井液中的化学添加剂通常会使水润湿岩石改变成油润湿性质。

对岩心润湿性的测量应选那些未受钻井液影响的、保护好的岩心。用已经改变了润湿性的岩心来做实验将会得到不真实的结果。然而，在某些实验中用油代替水进行实验会使已经改变为油润湿的岩心获得能代表油藏强亲水特性的测量结果。

二、岩心的类型及用途

1. 全直径岩心

全直径岩心是指用取心钻头直接从井眼中取出，并保持其原始直径的圆柱状岩心。实验用的全直径岩心其最大尺寸限制为：长度10ft^①、直径5in^②。超出该尺寸的岩心需要特制的岩心夹持器。图1—2所示为全直径岩心。

对非均质性岩石的试验，需要用全直径岩心。除了胶束驱油试验外，所有试验的流动方向都是沿着岩心的轴线垂直向下的，因此，具有层迭状

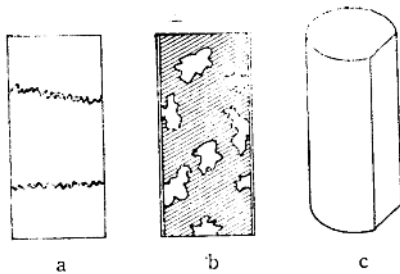


图1—2 全直径岩心

- a—垂向渗透率等于零，岩心不能用；
- b—多孔性岩心上下加玻璃纤维套；
- c—用环氧树脂充填以恢复岩心的圆柱形状

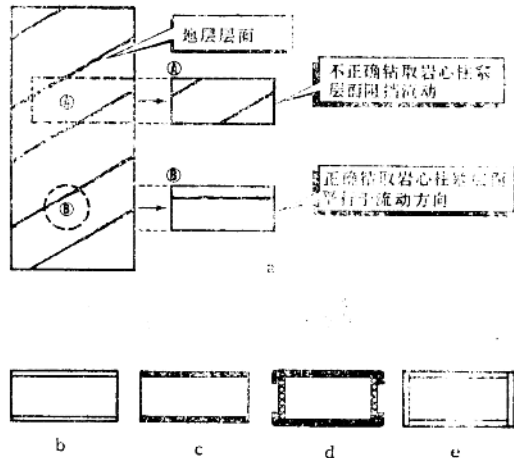


图1—3 岩心柱塞

- b—环氧树脂外套；
- c—热缩套；
- d—金属套（非圆钻岩心）
- e—有机玻璃外套（加热密封）

① 1ft=0.3048m；

② 1in=0.0254m。

的岩心不适宜做全直径岩心流动试验。

2. 岩心柱塞

岩心柱塞是指从全直径岩心上钻取的小圆柱型岩心。岩心柱塞的尺寸一般为：直径1in或1.5in、长度1~3in。图1—3所示为岩心柱塞。

岩心柱塞应该从均质性好的砂岩或碳酸盐岩全直径岩心的中部钻取，以尽量减小钻井液微粒侵染的影响。

3. 新鲜岩心

无论是用油基或水基钻井液取心，对那些受到保护、未经清洗和干燥处理直接用来测试的岩心，都称为新鲜岩心。

4. 自然态岩心

用原油或那些已知对岩心润湿性影响最小的特殊油基钻井液取的、且其他条件都符合新鲜岩心要求的岩心，称为自然态岩心。从过渡带取出的新鲜岩心和自然态岩心应该具有与在油藏条件下相同的含水量和水分布，因此适用于与油藏含水分析有关的试验。

图1—4是自然态岩心研究程序框图。

5. 复原岩心

经清洗和干燥处理的岩心称为复原岩心。这种岩心的优点是能用于气体渗透率和孔隙度的测量以帮助我们选择试验岩心，其缺点是岩心润湿性和孔隙内的水分布已不能代表油藏的原始状况。

含有重质原油的岩心风干后很难弄干净，有时我们把这种岩心进行火烧处理后得到水湿性质的岩心。对于含粘土的岩心，风干后如果其湿度条件的改变使它变质就无法用于试验。

图1—5是用于复原岩心的研究程序框图。

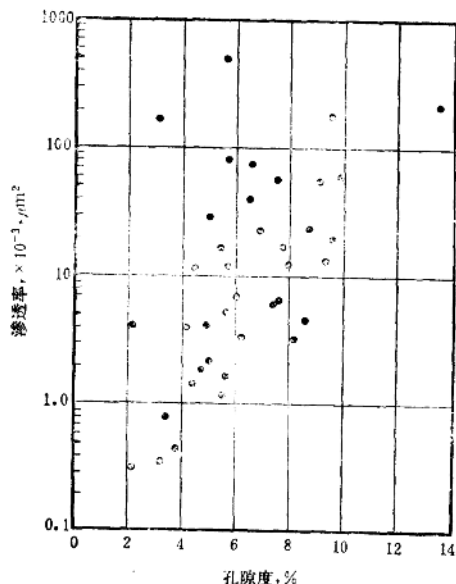


图1—6 油藏岩石的孔渗相关图

三、如何选择岩心

由普通岩心分析技术得到的油藏岩石孔渗相关图（图1—6）可以帮助我们正确选择实验岩心。岩石的某些性质，如地层电阻率因数和孔隙体积压缩性，是与岩石的孔隙度有关的，而岩石的气—油相对渗透率则与其绝对渗透率有关。因此，在选择岩心时应考虑油藏岩石孔隙度、渗透率的分布范围，即在岩石正常孔渗变化趋势范围内选择能反映油藏岩石孔渗结构的岩心，那些不在正常的岩石孔渗变化趋势范围内的岩心不能用于特殊岩心分析试验。对于孔渗变化范围较大的油藏，需要较多的岩心才能正确反映其孔渗变化。

为了保证各项试验能得到具有统计意义的正确结果，同时为了防止各种不测，还需准备一些备用岩心。因此，试验所需的岩心数量是较大的。

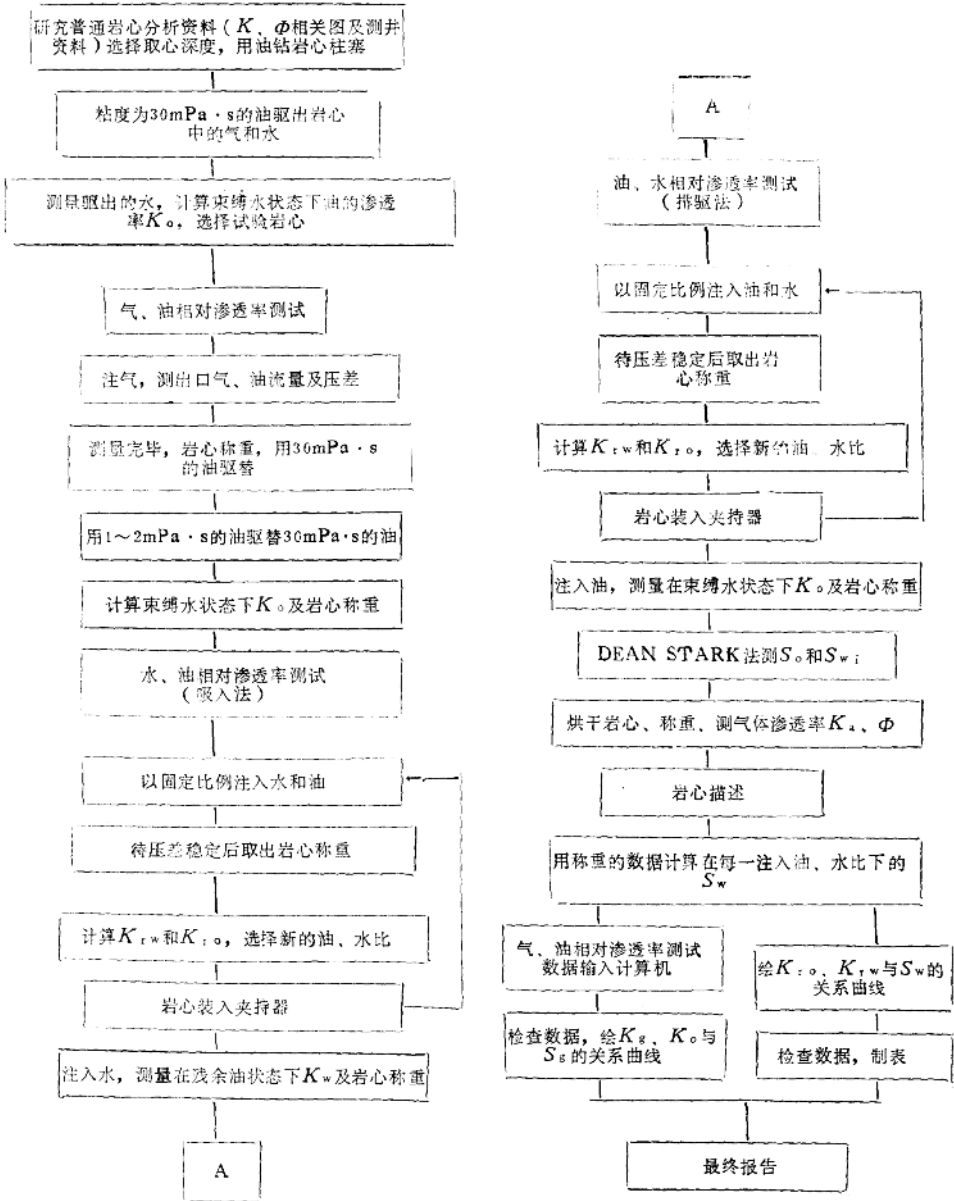
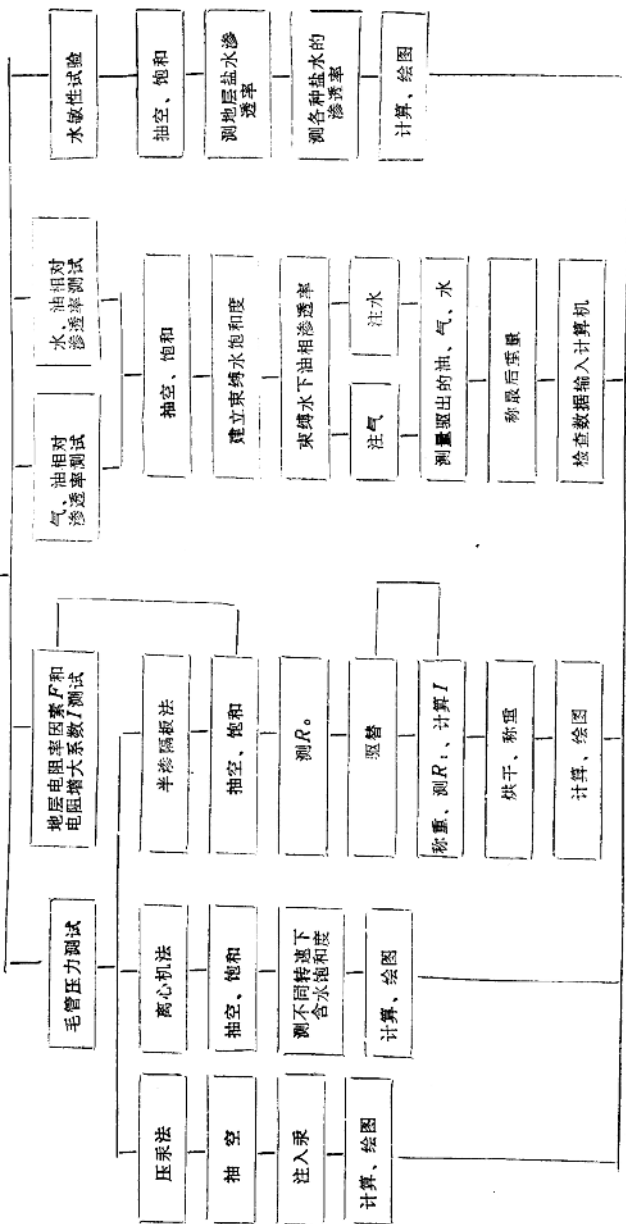


图1—4 自然态岩心研究程序框图

绘岩心 K 、 ϕ 相关图

选用于取心的全直径岩心、钻岩心柱塞

清洗、烘干，测 K 、 ϕ ，造试验岩心



最终报告

图1—5 复原岩心研究程序框图

此外，对岩心外观的检查是选择均质非层迭状岩心的基本手段，尽管这种检查并不总是十分有效。

四、试验用油类

对于大多数特殊岩心分析试验项目来说，炼制油都是适用的，特别对在室内条件下进行的试验，炼制油是被优先选用的。

有时，也可用不含水的、未经化学和热处理的天然原油进行室内条件的试验。但是，原油在室内条件下常产生石蜡和沥青沉淀，这将影响到试验结果的正确性。为了克服这一缺点，可用含气原油在模拟油藏温度和压力的条件下进行试验，这种用于特殊岩心分析试验的原油可以用井底取样技术从井底直接取得，也可用地面脱气原油再加气配制而成。

第二章 毛管压力试验

第一节 概 述

毛管压力试验的数据可用于计算油藏岩石的孔喉尺寸及分布,也可用于计算油藏自由水面以上不同高度岩石的含水饱和度。此外,在缺乏直接测量数据时,还可用来计算岩石的相对渗透率。

岩石毛管压力的测试方法通常有三种:

- ①半渗隔板法;
- ②压汞法;
- ③离心机法。

这三种方法各有其独特的优越性,具体选用何种方法要取决于测试目的、岩石特性和需要模拟的油藏参数。

每一种方法都测量岩石中湿相饱和度与毛管压力的关系。目前所进行的多数毛管压力测试都记录多点在不同饱和度下的毛管压力,以便得到一条完整的毛管压力曲线。试验可用排驱法也可用吸入法。

压汞法通常是最快的,也是能得到最多数据的方法。然而,在测试后岩心里充满了水银而不能再用于其他试验。进行三相毛管压力测试能模拟含有残余油、水的气顶侵入区特性。标准的毛管压力测试是使用岩心柱塞。

第二节 半 渗 隔 板 法

半渗隔板是一种多孔渗透性隔板,它具有选择性通过流体的特点。当半渗隔板饱和湿相流体后,在一定的压差范围(低于阈压)内,它只允许湿相通过。阈压是衡量半渗隔板测量范围的参数,阈压越大,其允许测量压差就越大。用于空气驱盐水的半渗隔板,其典型的阈压值是35psi[●],最高的阈压值为200psi。图2—1为半渗隔板法测量原理。

用于半渗隔板法测量的岩心必须代表油藏的孔隙度和渗透率。必需选择清洁、干燥的岩心抽空并加压饱和模拟地层盐水。

半渗隔板法一次可进行多块岩心的测试。测试方法可以有:空气驱盐水、油驱盐水和空气驱油。用称重的办法可计算在不同压力下稳定后的岩心饱和度。

半渗隔板法的缺点是测量时间长,每一个压力需要几天时间才能达到饱和度的稳定,而每一个样品需测6~8个压力点。

在使用空气驱盐水(有时油驱盐水)时,可以同时测量岩心的电性质与饱和度的关系

[●]1psi= 6.9×10^4 Pa,