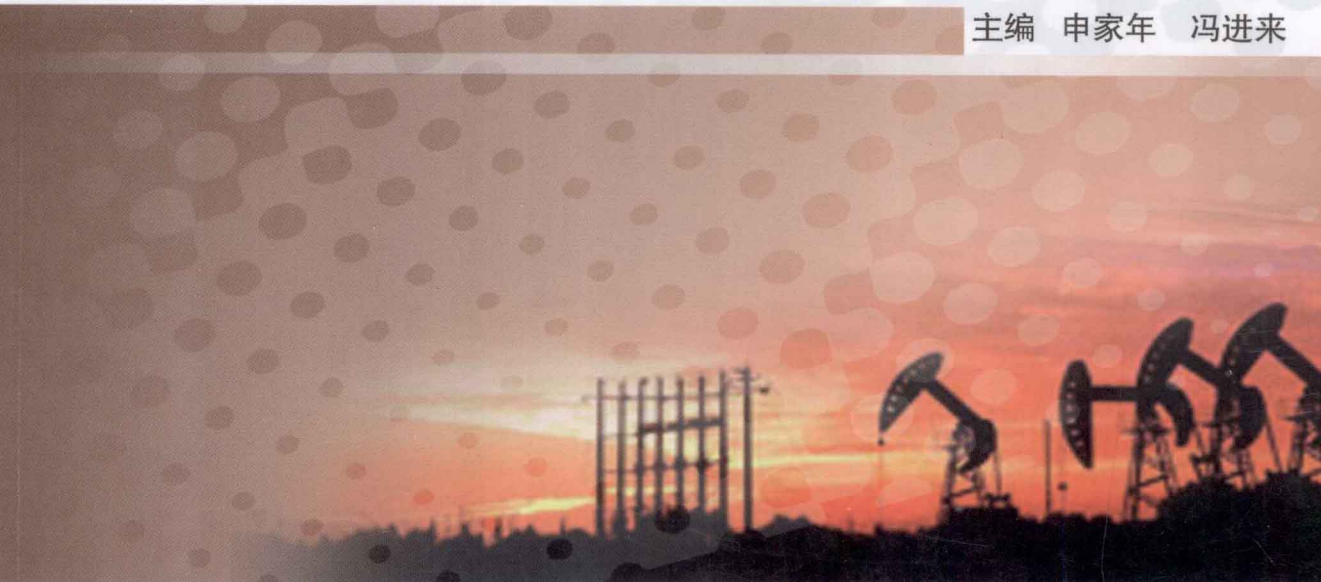


石油地质实验原理及分析方法

Principles and Analytic Methods of Petroleum Geology Experiments

主编 申家年 冯进来

A photograph of an oilfield at sunset. The sky is a mix of orange, red, and yellow. In the foreground, there are several pumpjacks (oil pumps) and a structure that looks like a wellhead or a small building. The overall scene is industrial and atmospheric.

 哈爾濱工業大學出版社

石油地质实验原理及分析方法

Principles and Analytic Methods of Petroleum Geology Experiments

主编 申家年 冯进来

内 容 简 介

本书较完整地介绍了一般石油地质实验原理、分析方法及测试过程,包括常规储层物性、矿物成分、原油物理性质、有机地化分析、地层水分析等内容。为充分体现分析测试过程的通用性和可对比性,在内容组织上特别加强了国家标准和行业标准的介绍。

本书可用于石油勘探开发相关专业的本科生和研究生作为石油地质实验课程的教材,也适合于石油地质专业技术人员作为了解一般地质实验技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油地质实验原理及分析方法/申家年,冯进来主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012.8
ISBN 978-7-5603-3566-7

I. ①石… II. ①申…②冯… III. ①石油天然气地质-实验
IV. ①P618.130.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 056070 号

策划编辑 赵 静

责任编辑 刘 瑶

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

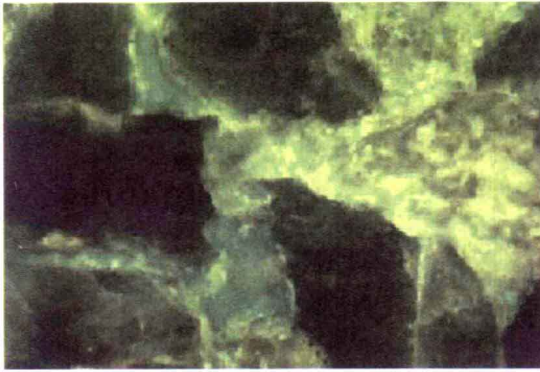
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 插页 1 字数 352 千字

版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

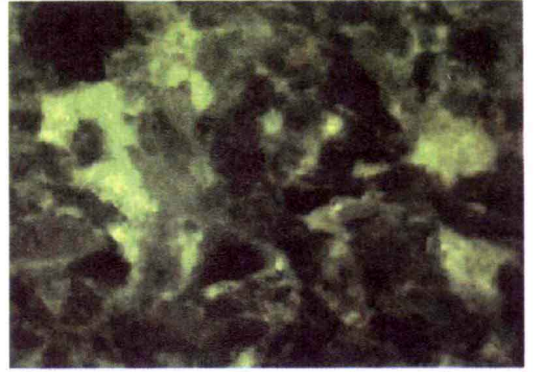
书 号 ISBN 978-7-5603-3566-7

定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

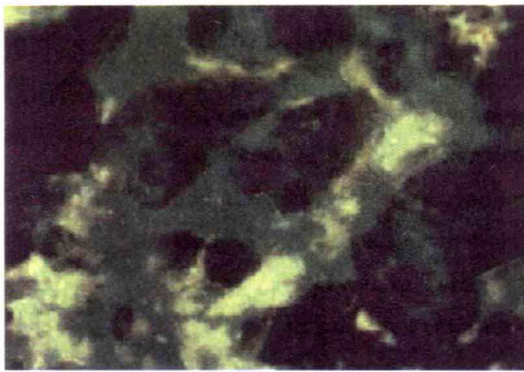


(a)

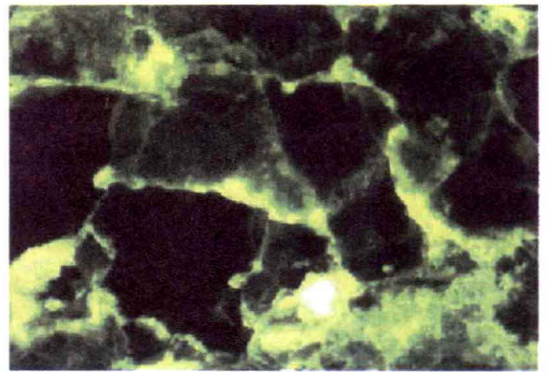


(b)

附图3 油水同层荧光图像



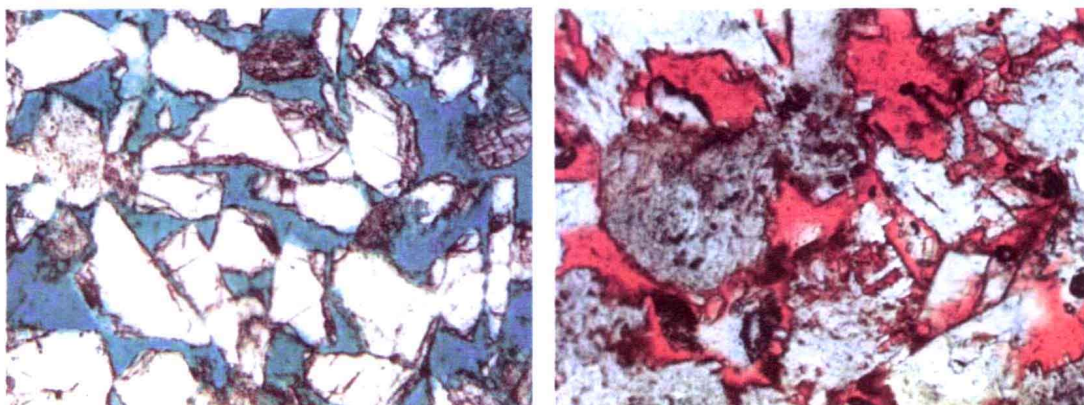
(a)



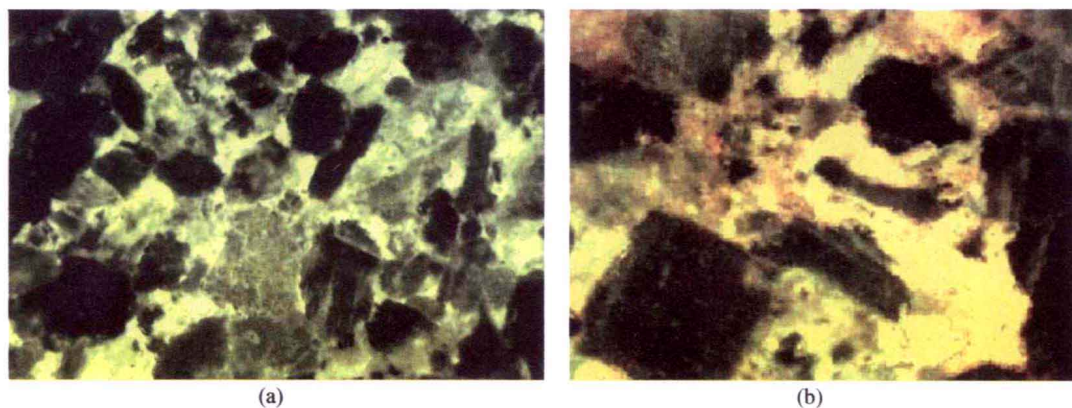
(b)

附图4 水层的荧光显微图像特征

附录2 附图



附图1 用于图像分析的砂岩铸体薄片图像



(a)

(b)

附图2 油层荧光图像

前 言

石油勘探是一项十分复杂的系统工程,其中包括多种重要勘探技术,如地震技术、测井技术、钻井技术、油气层测试技术及石油地质实验技术等。不同的技术测试的对象不同,在勘探中解决的地质问题也不同。石油地质实验技术以钻井揭示的(或地表的)岩石、油、气、沥青为主要测试对象,测定其物理和化学组成为主要目的,为勘探的其他测试技术提供支撑,同时也为其他理论分析技术,如盆地模拟技术、烃源岩评价技术、油藏描述技术等提供基础数据体。因此,石油地质实验是油气勘探中的主要基础之一,油气地质理论的发展和完善也离不开石油地质实验技术的进步和创新。

我国石油地质实验技术是随着我国石油工业的发展而发展起来的。据不完全统计,现有的测试项目可多达几百项,并且仍在不断增加。

本教材所涉及的内容只是石油地质实验技术的概貌。作为未来中国石油勘探的实践者甚至决策者无疑需要了解或掌握石油地质实验技术的概貌,这样才能在实践中做到心中有数,达到合理、灵活地利用实验资源。

本书是在原校内教材的基础上,经过多年逐步丰富而成。作为国内第一本石油地质实验技术教材,本书在注重基本原理的同时,还特别强调了国家及石油天然气行业规范的体现。

由于内容涉及甚广,为尽量避免谬误,特别请大庆油田有限责任公司勘探开发研究院地球化学实验室方伟主任对第5章、第6章进行了审阅,地质实验室万传彪副主任对全书并重点对第2章进行了审阅,中心实验室张秋主任对第3、4、8章进行了审阅,另外地球化学实验室的邹玉良高级工程师就红外及热分析部分,地质实验室的王殿斌、焦玉国高级工程师分别就扫描电镜分析部分和X射线衍射分析部分,进行了把关。

最后向所有为本书提供无私帮助的技术专家们表示衷心的感谢。

本书共8章,第1章介绍了石油地质实验室的发展历程和现状;第2章介绍了岩石中矿物成分分析的基本方法;第3章介绍了岩石孔、渗、饱等物性测试方法;第4章介绍了原油的密度、黏度、凝点、含蜡量等常规物理、化学属性参数测定;第5章和第6章属于油气地球化学分析化验内容;第7章介绍了荧光图像显微镜分析;第8章介绍了油田水分析。其中第1章,第2章第2.1、2.2节,第3章第3.4、3.5、3.6节,第4章,第5章,第6章第6.4、6.5节,第7章由东北石油大学申家年编写;第2章第2.3、2.4、2.5节,第3章第3.1、3.2、3.3、3.7节,第6章第6.8、6.9节,第8章由东北石油大学冯进来编写;第6章第6.1、6.2、6.3、6.6、6.7节由大庆油田勘探开发研究院李如一编写。全书由申家年审定。

由于石油地质实验技术的构成本身就十分复杂,涉及的学科门类多,教材编写难度大,加之编者水平有限,难免存在不当之处,敬请读者多提宝贵意见。

编 者

2012年2月1日

目 录

第 1 章 石油地质实验技术概况	1
1.1 发展历程	1
1.2 主要装备、技术及其应用进展	2
第 2 章 岩石矿物成分分析	10
2.1 黏土矿物的 X 射线衍射分析	10
2.2 热分析	22
2.3 红外吸收光谱	29
2.4 扫描电镜	40
2.5 阴极射线发光	51
思考题	63
第 3 章 岩石物性分析	64
3.1 岩石孔隙度测定	64
3.2 岩石渗透率测定	67
3.3 含油饱和度测定	72
3.4 岩石碳酸盐含量测定	76
3.5 岩石孔隙结构测定	78
3.6 岩石比表面测定	82
3.7 盖层岩石排替压力	86
思考题	91
第 4 章 原油物理化学性质测定	92
4.1 原油密度测定	92
4.2 原油黏度测定	96
4.3 原油凝点测定	99
4.4 原油的闪点、燃点及闪点测定	101
4.5 原油及烃类平均分子量测定	104
4.6 原油中蜡、胶质、沥青质含量测定	106
思考题	110

第5章 有机物分离技术	111
5.1 岩石中氯仿沥青及其测定	111
5.2 干酪根的制备与提纯	113
5.3 族组分分离	115
思考题.....	118
第6章 有机地球化学分析	119
6.1 岩石中有机碳分析	119
6.2 有机元素分析	122
6.3 气相色谱分析	125
6.4 液相色谱分析	142
6.5 岩石快速热解评价	145
6.6 色谱-质谱分析	151
6.7 稳定同位素的质谱分析	166
6.8 镜质组反射率测定	172
6.9 干酪根显微组分鉴定及类型划分	175
思考题.....	180
第7章 荧光图像显微镜分析	182
7.1 荧光产生的分子物理基础	182
7.2 储层岩石荧光薄片的制作技术	186
7.3 荧光图象观察系统	187
7.4 石油的组成与荧光性	187
7.5 荧光显微图像分析在油水层识别中的应用	189
7.6 三维荧光技术	192
7.7 荧光显微图像技术在石油地质中的其他应用	193
第8章 油田水分析	195
8.1 油田水物理性质的测定	196
8.2 油田水中主要离子含量的测定	200
8.3 油田水中微量元素分析	211
8.4 油田水中可溶烃类的分析	216
8.5 油田水的化学特征在勘探中的应用	220
思考题.....	224
附录1 石油地质实验国家和石油天然气行业规范	226
附录2 附图	230
参考文献	231

第 1 章 石油地质实验技术概况

石油地质实验技术是油气勘探技术群的重要组成部分。它为油气勘探中生油岩评价、储集岩评价和油气藏评价提供基础数据。随着石油地质实验技术的发展,分析测试项目的增加,测试数据精度的提高,数据库的建立和广泛应用,对提高石油地质综合研究的水平有着十分重要的作用。

1.1 发展历程

石油地质实验技术作为石油地质的一部分,它的发展既依赖于石油勘探的进程,又依赖于地质思想的演变,也依赖于其他领域测试技术的进步。

我国石油地质实验技术的发展大体经历了以下 5 个阶段:①20 世纪 70 年代以前,石油地质实验技术主要是常规的古生物、岩矿鉴定,简单的岩石物性(如孔、渗、饱、粒度、碳酸盐等)和油气水性质分析,以及以经典化学分离和分析为主的有机地球化学分析(如有机碳、硫、沥青等),仪器简单,方法也不复杂,只能提供有限的地质实验参数。这与当时全国各盆地的地层层序尚未建立,沉积环境、相带不清,加之以构造圈闭为主的勘探思想密切相关。②20 世纪 70 年代,特别是 70 年代后期,石油地质实验技术随着全球油气勘探形式的需要和新仪器的产生,发生了较大变化,国内开始引进新型仪器,明显地扩大了测试范围,许多新的测试内容和项目出现,特别是色谱仪的广泛应用,为现代石油地质实验技术的发展奠定了基础,一批常规项目得以发展和完善,但仍以经典方法为主。③20 世纪 80 年代初期,国外石油地质实验技术发展很快,大量的新测试仪器涌进实验室。美国、法国、西德、日本等国先后成立了以现代分析测试仪器为主的有机地球化学实验室,在生油岩的评价上迈出了一大步。与此同时,随着改革开放,我国在科学院系统、石油部系统、地质部系统也都相继引进了大型配套的现代分析测试仪器,组建了几个相当规模的实验室,从而在分析流程、分析项目、分析内容、样品制备、样品测试、数据处理解释等方面都有了新的进步,已经从常规常量分析发展到微区微量分析。但这个阶段还是以生油岩与油气的地球化学测试发展为重点,有力地促进了石油地球化学的发展,使烃源岩的评价水平有较大的提高。④20 世纪 80 年代后期,石油地质实验室的方向和测试内容明显地由烃源岩评价转向储集岩评价为主,测试的内容扩大到生、储、盖层和油气水性质的全面测试。随着科学技术的进步,并且又增加了许多新型仪器,多机联用、计算机处理技术都有全面的提高,特别是针对新的勘探领域、新的地质问题,相应发展起来许多新的方法,涉及油气生成、运移、聚集、保存和油田开发等各个领域。⑤近几年来,我国石油地质实验技术正以研究领域为核心,逐渐配套、走向标准化系列化。绝大多数石油地质实验分析项目都有了国家或行业规范。许多大型实验室也进行了国家实验室认可和国家计量认证。

1.2 主要装备、技术及其应用进展

1.2.1 主要装备

目前,油气勘探地质实验分析仪器主要有3个系列:

(1) 以气相、液相色谱、红外、紫外、元素、原子吸收、等离子光谱分析仪器组成的成分分析仪器系列。

(2) 以生物、实体、偏光、荧光、阴极发光显微镜、扫描电镜、激光共聚焦显微镜等组成的实验观察鉴定系列。

(3) 以色谱-质谱、同位素质谱、电子探针、X-衍射、色谱-质谱-质谱(GC-MS-MS)等组成的大型分析仪器系列。

当前又出现了以激光拉曼光谱、多组分显微荧光探针(FAMM)、环境扫描电镜(ESEM)、全自动全时标同位素定年系统、核磁共振等大型先进仪器,在油气勘探中发挥越来越大的作用。

1.2.2 技术现状

1. 有机地化方面

有机地球化学实验室主要负责与油气生成有关的各类实验,基本分析项目和流程如图1.1所示。

(1) 岩石超临界抽提技术。传统的方法都是用液态氯仿进行抽提,近年来开发了超临界抽提方法。具有高扩散性和低黏滞性的超临界状态的 CO_2 流体作为萃取介质,使混合物快速、有效地发生相分离,抽提能力加强,抽提信息增加,尤其对煤成烃和碳酸盐岩成烃机理研究具有重要作用。

(2) 烃源岩模拟实验技术。根据烃源岩油气生成模拟实验模拟地质体的实际情况,并对所得的一系列气态、液态和残留物进行分析鉴定,可以连续、系统、定量地研究油气生成的过程、机理及演化模式,研究有机质成烃过程,恢复原始有机碳,计算总生油量、初次运移量和运移系数,并测定生油岩的活化能。

(3) 有机岩石学分析测试技术。将全岩光片及干酪根进行透射光、反射光、荧光、元素及同位素分析,确定有机质的显微组成、丰度、类型及成熟度。它为烃源岩的类型划分及生烃能力尤其是高成熟烃源岩的评价提供了有利的手段。

(4) 岩石热解技术。它能对烃源岩的有机质丰度、成熟度及储集层的含油气性进行快速评价。

(5) 色谱-质谱-质谱分析技术。色谱与质谱的联用及双质谱技术,极大地提高了生物标志化合物的检测灵敏度和精度,为油气源的对比及运移方向的确认提供了有力的证据。

(6) 有机质同位素分析技术,特别是从全碳同位素发展到单体烃碳同位素及当前的

氢同位素分析技术,对油、气、源对比、形成环境分析及烃类运移聚集过程的研究起着重要作用。

(7) 显微红外光谱分析。它为有机质显微组成的化学成分和结构的分析、演化程度及生烃潜力的评价提供了有效手段。

(8) 化探分析技术。酸解烃、吸附烃及水中烃类物质等的分析技术为油气远景评价及初期勘探提供了信息。

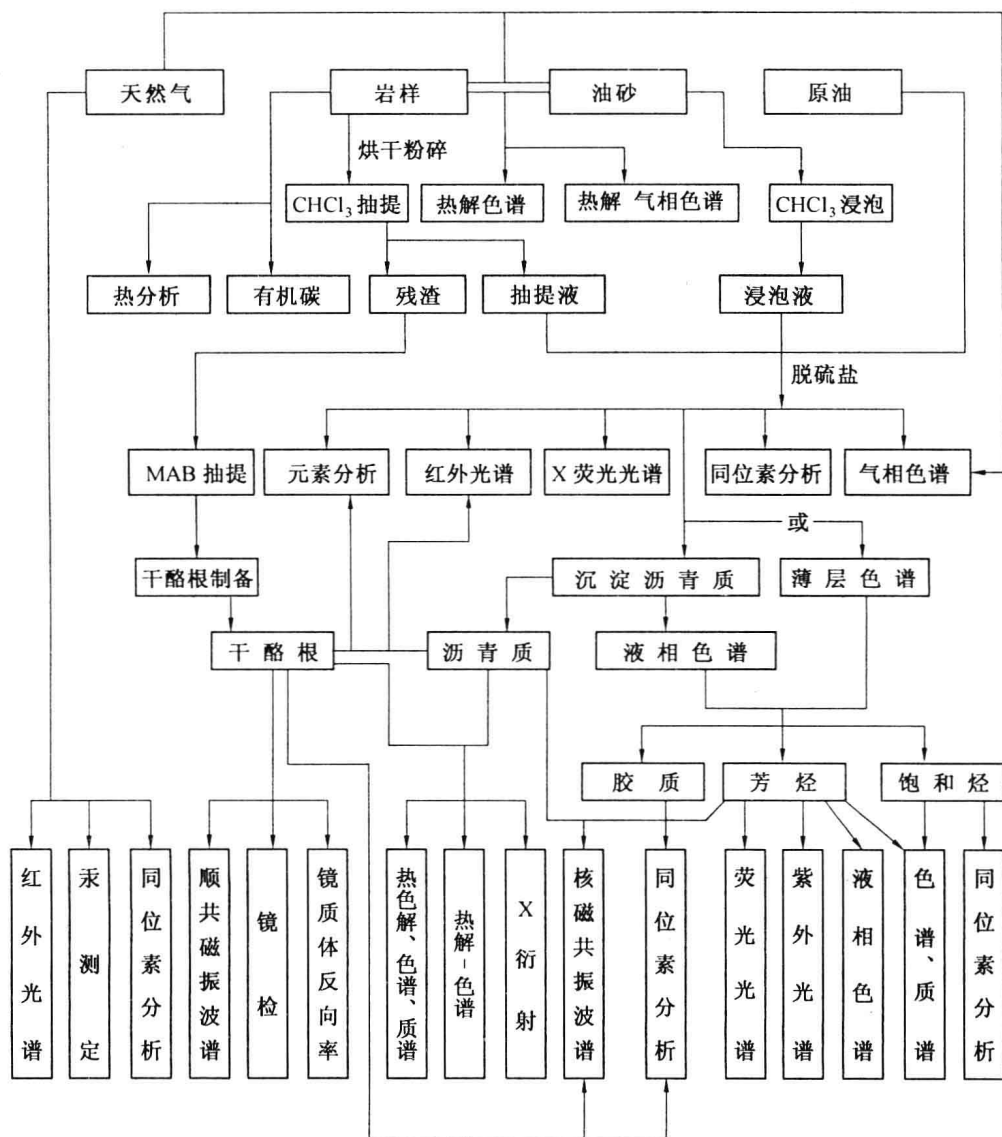


图 1.1 有机地球化学分析流程图

2. 沉积及储盖层方面

在世界范围内,无论是油气的生成还是储集,几乎都是在沉积岩中,因此沉积岩实验研究技术是石油地质室实验的重要组成部分之一,其基本分析项目和流程如图 1.2 所示。

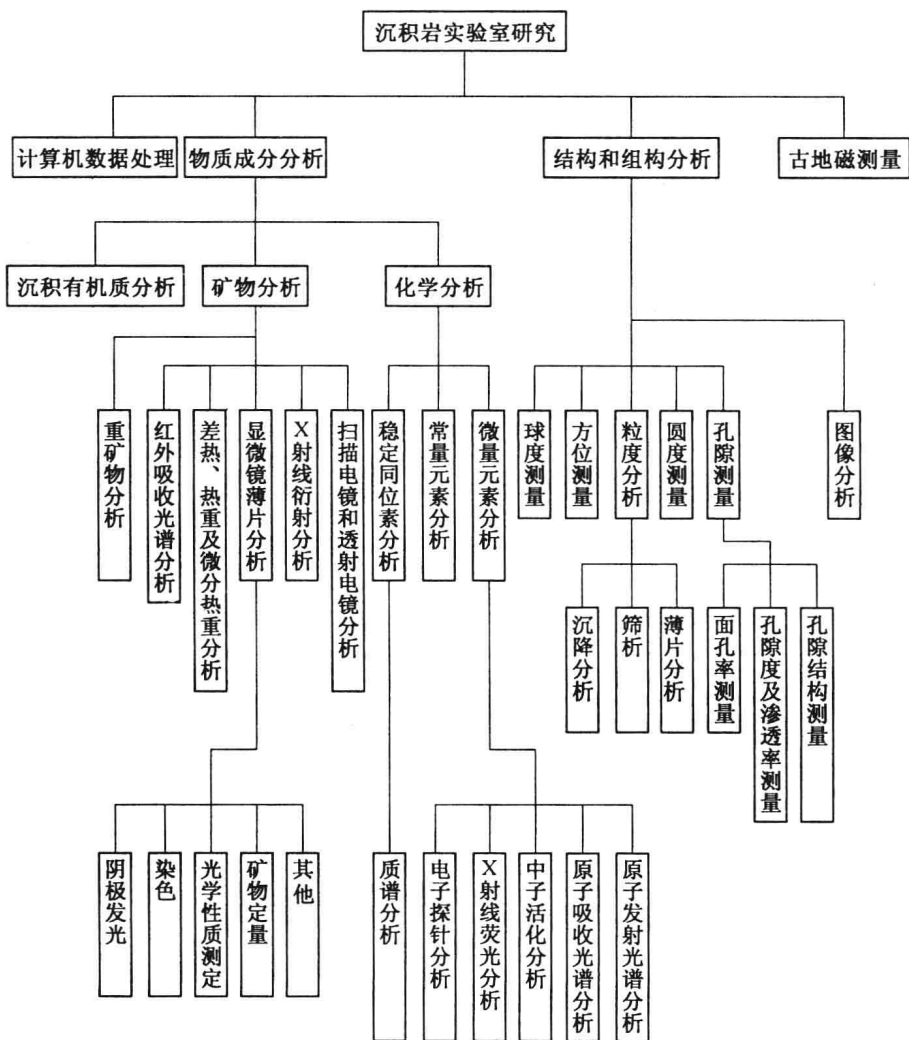


图 1.2 沉积岩实验室研究方法综合简图

(1) 储层地球化学研究方法。该方法在于分析储层孔隙形成的有机-无机反应及储层孔隙的分布,并将源岩、储集岩和孔隙流体作为一个完整的成岩作用系统。主要的分析对象是地层水有机酸的成分、含量、酸碱度、氧化还原电位、微量元素分布、矿物及胶结物的组成及与孔渗之间的关系。

(2) 图像处理技术与成岩作用模拟实验技术。图像处理技术主要包括薄片技术、铸体技术、阴极发光技术、荧光分析技术及图像与结构分析技术。随着计算机处理技术和能力的提高,图像处理技术也得到了广泛的应用,主要是对微孔隙结构以及非均质性的定性、定量分析与计算。成岩作用模拟实验技术是各种针对成岩作用的模拟实验技术,它用于进行深度、温度、压力及介质条件之间的关系研究;用于对岩石的硅质胶结作用、碳酸盐岩的次生成岩作用、矿物的转化与交代的分析,对了解沉积环境、成岩作用及孔隙演化趋势均具有重要作用。

(3) 油藏地球化学及油藏注入史研究。研究的主要立足点在于3项分析技术:①薄层色谱-氢火焰离子检测技术(TIC-FID),其结果是在油藏地球化学剖面上可以清晰地看到各小层原油族组成的细微变化,有助于准确辨识残余油的边界或油水界面位置;②岩石热解气相色谱分析技术(PY-GC),用于快速识别烃源岩和储层中的烃类化合物,可以确定不同的含油气组成与含量,确定岩石含油性质及含油级别;③包裹体分析技术,包括包裹体显微测温、成分分析、流体压力的估算,据此认识烃类向储集层运移聚集的过程,以研究油藏注入史。

(4) 油气层保护研究中的分析实验技术。它用于分析研究储层岩石学特征,从微观形态及微区成分上对储层岩石进行岩石矿物成分及结构分析、胶结物特征及充填作用分析、孔隙及喉道连通性分析等,并进行室内模拟,从而实现对地层敏感性的评价和损害机理的确认。在油气田开发过程中,特别是在注水、注气开发中,通过这些实验技术可以观察到黏土矿物变化、水-岩反应形成新矿物等各种现象,进而提出油气层保护措施。

(5) 成岩矿物的同位素分析技术。它包括同位素年代学,用于了解烃类形成的先后次序,判断油气藏的形成时间、成藏速度以及烃类运移方向。对成岩元素如碳、氧同位素分析,可以了解全球海平面的变化,以及沉积环境及地层纵向变化的进行。

(6) 储集层、盖层的物性分析。它主要包括热对流成岩模拟实验技术,模拟地层压力下的孔隙度、渗透率测试技术,视密度、洗油等测试技术和储盖层微孔结构(压汞法、吸附法、扩散系数、比表面)的测试及评价技术。

1.1.3 分析测试技术的应用进展

1. 同位素分析测试技术

碳同位素能提供有关沉积有机质母质类型的许多信息,在油气源对比中具有重要意义。以往的研究受分析技术的限制,只能分析烃类或干酪根的全碳同位素值或某一类化合物如饱和烃、芳烃、沥青质、非烃等的碳同位素值;单体烃碳同位素测定也局限于天然气的甲烷及其同系物。由于油气运移过程中的物质分异及同位素分馏作用可能发生,影响了上述碳同位素的示踪效果。随着气相色谱与同位素质谱联机技术的诞生和应用,实现了单体烃同位素的分析并得到了快速发展。单体烃碳同位素的分析在油气源对比及油气运移中的作用越来越大,它大大提高了油气类型划分、油气运移研究和油气源对比工作的精度。烃类气体的单体烃碳同位素可以较好地给出天然气的成因类型、成熟度、运移演化及气源对比的信息。烷烃气系列分子碳同位素值随着分子碳数的递增呈规律性变化,有机的、同源同期的甲烷及其同系物(包括原生煤型气和油型气)构成正碳同位素系列($\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$),而无机成因气构成负碳同位素系列;相同或相近成熟度烃源岩形成的煤成气甲烷及其同系物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比油型气的对应值高。应用煤成气和油型气的回归方程计算($\delta^{13}\text{C}_1 - \text{Ro}$ 的关系)可以很好地区分天然气的成因类型。在模拟实验过程中,实验室用不同的模拟方法制备出气态烃。利用GC-IRMS联用仪所配多孔聚合毛细色谱柱,采用新的在线分析技术,使热模拟气的单体烃碳同位素在线分析逐步成为现实。在气态烃的碳同位素组成特征上,热解模拟试验模拟并重现了地下情况。液态烃碳、

氢同位素分析,包括轻烃、凝析油的单体烃同位素分析,也已取得长足的进步。原油中的碳同位素主要受制于母质的同位素继承效应,因此在油源对比中碳同位素分析成为有效的工具。液态烃包括轻烃、凝析油中的氢同位素分析也取得进展,单体烃氢同位素分析技术成为当前油气领域研究的新课题,可以应用 δD 同位素组成来判别烃类的成因,讨论成烃母质及其形成环境。

2. 轻烃分析测试技术

轻烃指纹分析包括天然气、原油以及烃源岩的轻烃分析。轻烃成因的研究和轻烃指纹参数的开发应用依赖于轻烃测试技术的发展。许多年来,测试技术工作者付出了极大的努力来完善轻烃分析技术,天然气和原油中的轻烃分析技术日趋完善,岩石轻烃分析技术经测试科技工作者的不懈努力已有突破,现基本能满足油-气-源岩三位一体对比分类研究的需要。

(1) 天然气轻烃指纹分析。综合利用轻烃鉴别技术进行气-气对比及气-岩对比,可以解决天然气的来源的问题。天然气特别是干气,通过低温或吸附方法进行轻烃浓缩,从中获得或多或少的轻烃,从而获得比通常的天然气烃组成更多的科学信息。由于天然气生母质性质的不同,其生成轻烃的性质和参数有别。采用一些指数,如甲基环己烷指数、庚烷值与异庚烷值、 C_7 烃(nC_7 、 MCC_6 、 $DMCC_5$)的结构组成三角图、 $C_5 \sim C_7$ 脂族烃组成三角图等,可以反映天然气的母质类型、成熟度,并追踪气源。

(2) 原油轻烃指纹分析。根据原油轻烃分析资料对原油进行分类,可进行烃类运移研究及油层的连通性对比研究。利用正庚烷值与异庚烷值作图推断生油岩或原油的热成熟度和干酪根类型,也可用于油源追踪。原油轻烃指纹分析方法主要包括“原油切割”、“全油色谱”。“PTV切割反吹”原油轻烃分析,分析流程短、保护毛细柱、干扰少、分析重复性好,在油气地球化学研究中将会成为主要技术方法。

(3) 岩石轻烃指纹分析。在实现了天然气轻烃分析和原油轻烃分析以后,地化学者希望获得岩石轻烃分析数据以达到进行油-气-岩三位一体对比分类的目的,并在此基础上进行油气运移分析和油源追踪研究。国内外已开展的岩石轻烃测试技术主要是气体洗提法或热蒸发法,方法操作简便,但方法重现性、代表性较差。我国已有研究单位采用自有专利技术提出了新的岩石轻烃测试技术方法,用特殊有机溶剂快速抽提,能获得 C_5 以上的烃类物质信息,其中 $C_5 \sim C_{10}$ 之间可分离出100多个烃类物质,能很好地满足油气地质研究的需要。

3. 含氮、氧化合物分析测试技术

原油或岩石抽提沥青中烷基苯酚和含氮化合物(主要是咪唑类化合物)含量的变化能提供反映油气运移、聚集及成藏历史的重要信息。含氮有机化合物是原油及生油岩中的一种非烃组成,其含量一般仅占原油的0.1%~2.0%,大部分以芳香杂环化合物形式存在,并普遍带有脂肪性的侧链。原油的含氮有机化合物主要有两类,即含吡咯环结构的中性氮系列和含吡啶结构的碱性氮系列化合物。其中中性氮化合物往往比较稳定,其结构和组成是研究二次运移的指标。在原油及生油岩样品中检测到的中性氮化合物主要有咪唑、苯并咪唑和二苯并咪唑3个系列,由于烷基取代位置的差异,使各异构体极性产生

差异,在原油运移过程中各异构体被矿物吸附程度不同,因此可以根据样品中咪唑类化合物的绝对含量的变化推测原油可能的运移途径。由于烷基苯酚和中性含氮化合物在原油中是一类具有极性的微量组分,因而常规的分流分析流程复杂,难度大。经过对含氮化合物的分流分析方法的研究,目前已建立了一套分析含氮化合物的新方法,鉴定出40余种中性含氮类化合物,它们在油气运移研究中具有特殊意义。

4. 包裹体分析测试技术

流体包裹体热力学研究是一门新兴的分支学科。它利用流体热力学原理测定和分析岩石、矿物中所含流体介质的性质,并对与油气藏关系密切的液态烃、气态烃、液态烃-盐水、气态烃-液态烃等包裹体相图进行研究,从而认识古流体性质,了解流体运移和聚集的时间、深度、相态、通道、方向,计算包裹体捕获时的热动力学条件,分析不同时期的温度场、地压场、水动力场、地应力场等,获得储层埋藏史和热演化史,绘制不同时期包裹体的流体势等值线分布图,确定烃类运移方向、聚集地带,为确定油气勘探靶区提供依据,为研究油气生成、运移聚集提供依据。

(1) 包裹体均一温度与油气热成熟度。传统的确定有机质成熟度的工具,如镜质体反射率测定,有时因各种不同的地质因素或样品的限制而无法进行。Tobin(2000年)详细研究了镜质体反射率与包裹体均一温度之间的关系,研究了镜质体反射率的对数与包裹体均一温度之间良好的线性关系,提出了一种热成熟度值估算的新方法。该方法概括了流体包裹体群的样品选择准则,提出了样品均一化温度与镜质体反射率数据的经验关系。其优点是不受常规有机质成熟度技术的限制,如有机质循环、干酪根风化、钻井污染、烃污染、油饱和度或样品数量的限制,可作为成熟度研究的独立质量控制技术,也可作为有机质方法难以应用时的热成熟度确定工具使用(如早古生代地层,贫有机质的碳酸盐岩或钙质砂岩)。分析的均一化温度与镜质体反射率的相关系数 R^2 为 0.96,绝对误差为 $\pm 0.12\% R_o$ 。

(2) 流体包裹体地层学(FIS)分析技术。油田开发中确定油水界面和识别水动力障具有重要作用。Barclay(2000年)在研究北海 Magnus 油田时运用流体包裹体地层学(FIS)分析新技术,在对砂岩储集层的流体接触界面及封隔层的识别上取得了较大进展。该方法涉及对极少量的岩屑和钻井岩心样品经清洗和压碎后取出的包裹体成分不经分离而直接对矿物和孔隙中的包裹体成分和含量进行质谱(MS)分析,并重建流体包裹体成分和特性的地层空间结构。在北海 Magnus 油田中,FIS 资料识别了比电阻率测井更为准确的复杂的油水过渡带(由页岩或白云岩造成不同的含水饱和度所引起),指出了含油层位向下进一步延伸;同时通过含烃包裹体的成分和丰度的变化识别出储层中潜在的地层(页岩)和成岩作用(白云岩)障。主要的方法是对钻井岩屑或岩心样品进行清洗抽真空并加温除去 $C_1 \sim C_{13}$ 吸附烃和无机气,但不破坏烃类包裹体,清洗后的样品在真空腔中经研碎后释放出包裹体挥发分,直接进入质谱仪分析。流体包裹体地层学分析方法是一种新的测试技术,可以用于快速提供有机和气相地球化学空间分辨率的资料,并可用于解释油水过渡带(界面)的细微变化和油层的分布样式,还可用于研究储层中流体成分的差异和变化,有助于确定储层的封隔层及流动单元。

(3) 包裹体激光拉曼光谱分析技术。激光拉曼光谱分析是一项非破坏性的快速而高精度的微区分析技术,利用它可以实现对流体包裹体特征及其气、液、固相化学成分的定性、定量全分析。对包裹体中烃类成分进行对比分析,可以确定油气藏各期次烃类流体的成藏贡献;利用储层中含烃包裹体的丰度,可以作为古含油饱和度的标志;分析不同期次包裹体中油、气、水的组分,可以识别古油层并确定油水界面的变迁史。

5. 有机质类型及演化史分析测试技术

判别有机质成熟度的指标主要有光学指标如镜质体反射率(R_o)、孢粉颜色指数 SCI 和多组分显微荧光探针(FAMM)分析等,有机地化指标如岩石最高热解峰温 T_{max} 、饱和烃气相色谱的正构烷奇偶优势、芳烃气相色谱和生物标志化合物的甾萜烷异构化参数等,此外,还包括包裹体显微测温、微量元素地质温度计和固体 ^{13}C 核磁共振等。

(1) 多组分显微荧光技术。澳大利亚长期从事煤及烃源岩成熟度研究的学者 Wilkins 博士研究出了多组分显微荧光探针(FAMM)技术。该项技术突出的优点是在缺乏镜质体(海相)或因镜质体富氢受抑制、 R_o 不准的情况下能准确反映烃源岩的热演化程度。与镜质体反射率相比,FAMM的主要优点是把数据分成两个参数,一个与成熟度有关,另一个与组分的富氢性质有关。这解决了单参数的镜质反射率技术常常会遇到困难,即分散有机质中原生镜质体的识别、崩落和再循环有机质的辨认以及镜质体反射率的受抑制性。因此,FAMM使研究镜质体反射率出现异常,尤其是与其他组分参数不一致时的一个有效工具。

(2) 显微傅里叶红外技术。近年来,红外光谱技术在有机岩石学及有机地球化学研究中取得了突破性进展。Canz(1987年)、Kuehn(1984年)及Christy(1987年)等利用红外光谱技术研究了干酪根类型、成熟度及生烃潜力等油气勘探所关心的问题;Painter(1985年)利用曲线拟合及最优化处理定量地研究了脂肪氢及羟基中的氢。随着傅里叶变换红外光谱仪的迅速发展和普及,新的分析技术逐渐为人们所熟悉和采用。红外光谱技术不仅能反映有机质的组成和类型,也能表征有机质的热演化程度。

6. 黏土矿物伊利石结晶度及其分析测试技术

通过研究黏土矿物的不同类型、含量变化、结晶度等有序度指标可以很好地分析成岩作用过程,尤其是对黏土矿物的成分及结构进行分析,以确定埋藏深度,分析热演化史,揭示油气成熟度,恢复盆地埋藏史。伊利石结晶度分析技术近年来得到较快的发展。伊利石的结晶度(IC指数)是划分成岩作用与极低级变质作用,确立低级变质作用程度的主要指标,是当前地质学研究的一大热点。伊利石结晶度的测定,与各实验室所用的实验条件和制样方法密切相关。长期以来,伊利石结晶度指数难以对比,最近通过运用最新的测试手段,按照国际上伊利石结晶度的测试条件,应用于中石化松潘-阿坝地区的油气勘探并取得进展。它准确地反映了该勘探区的热演化程度,使我们对该地区三叠系泥质岩的成岩作用与演化阶段有了深入的认识。

石油地质实验技术主要服务于勘探,构成复杂,其技术本身已远远超出了地质学范畴。图 1.3 给出了石油地质实验仪器分析前后处理流程的一个基本面貌。

