

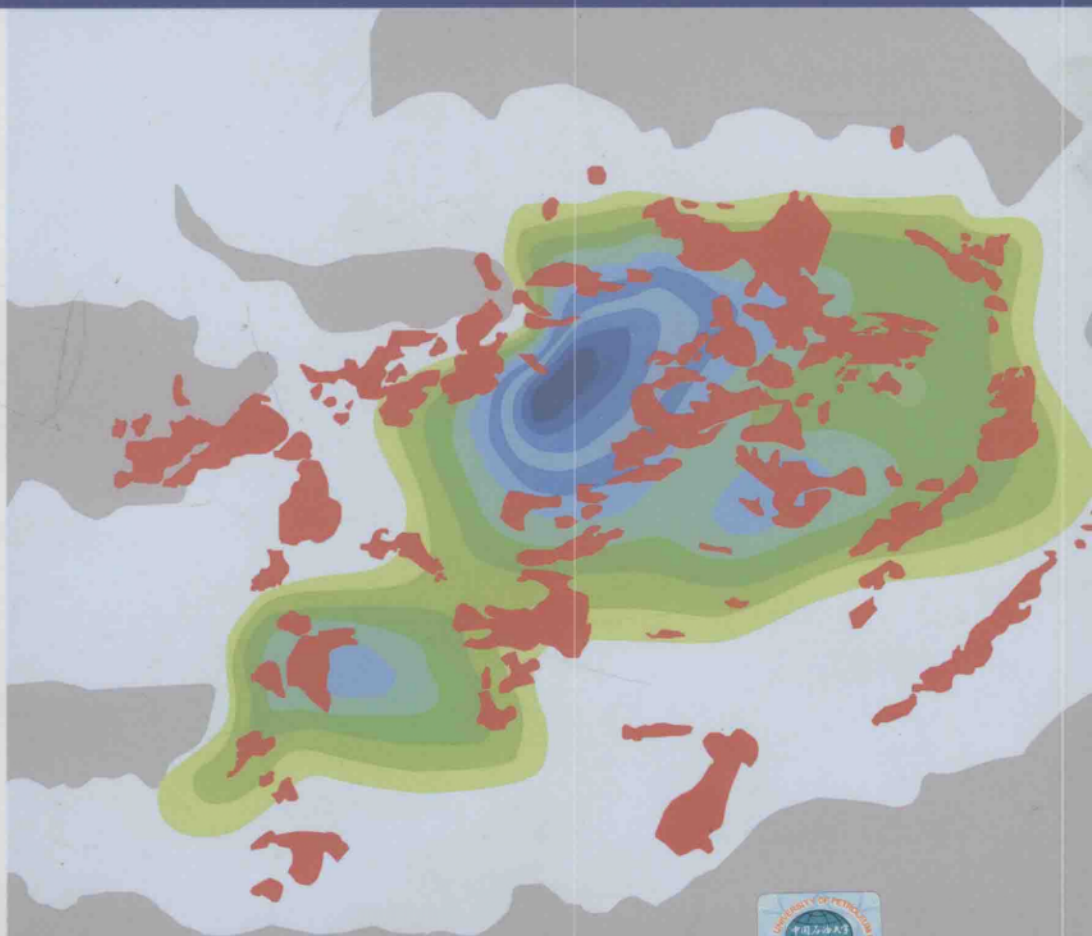


TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS
高等学校教材

油气地质与勘探 实验、习题及课程设计

Experiments, Exercises and Comprehensive Research
for Petroleum Geology and Exploration

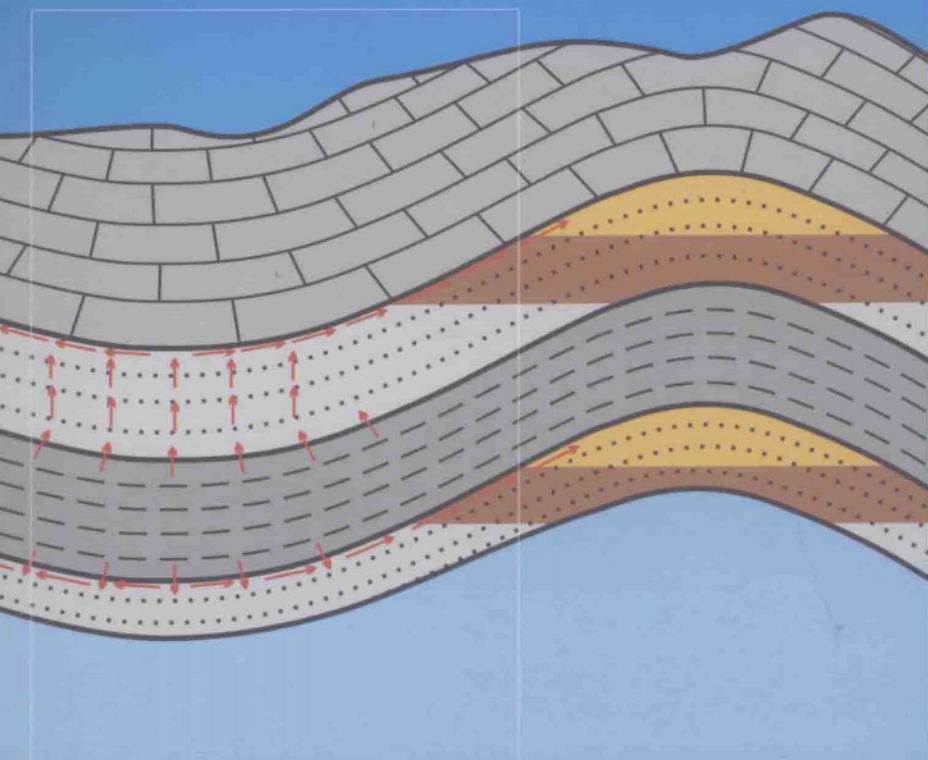
■ 蒋有录 谭丽娟 主编



中国石化大学出版社

责任编辑：王金丽

封面设计：王焕明



Experiments, Exercises and Comprehensive Research
for Petroleum Geology and Exploration

ISBN 978-7-5636-3987



9 787563 639878 >

定价：10.00元

图例(CIP)目録附录

石油工业出版社, 北京, 100028

1. 石油工业出版社, 北京, 100028

ISBN 978-7-309-0487-8

石油工业出版社, 北京, 100028

油气地质与勘探 实验、习题及课程设计

蒋有录 谭丽娟 主编

石油工业出版社, 北京, 100028

石油工业出版社, 北京, 100028

中国石油大学出版社

前言

FOREWORD

前言

目次

该教材是在中国石油大学(华东)石油地质教学组编写的校内胶印教材《石油天然气地质与勘探实验及习题集》(资源勘查工程专业、地质学专业适用)、《石油地质与勘探实验及习题》(勘查技术与工程、地球物理学专业适用)及蒋有录、谭丽娟编写的《石油天然气地质与勘探课程设计》(资源勘查工程专业、地质学专业适用)的基础上修改、补充完成的。与“十五”、“十二五”国家级规划教材《石油天然气地质与勘探》相配套,是配合“油气地质与勘探”、“石油地质学”等课程理论教学的实践教学环节的指导书,旨在使学生深化和巩固所学的相关理论知识,加强学生综合应用所学专业基础理论和方法,分析和解决油气地质实际问题的能力。该教材适用于资源勘查工程、地质学、勘查技术与工程、地球物理学等专业。

教材的内容包括实验、习题及课程设计三部分。实验部分主要包括课程教学大纲要求掌握的基本技能、基本知识、基本理论,通过观察、测量、验证等实践性教学环节,达到实验的教学目的。通过这些实验教学,学生可掌握原油基本特征和主要物理性质的观察测定方法,了解烃源岩、储集岩等岩石的基本特征及常用地化指标测试方法,深化对圈闭聚油气动态过程的认识。

习题部分是针对油气地质与勘探课程的核心理论问题而设计的实践训练题目,其内容包括有机质成烃演化史分析、油气运移路径追踪和运移指向分析、圈闭及油气藏分析与度量、圈闭综合评价及圈闭预探等。通过这些习题的训练,可深化课堂教学理论知识,更有效地掌握油气地质与勘探理论,起到与课堂理论教学相辅相成的作用。

课程设计部分是一个综合性油气地质研究大作业。通过对东营凹陷油气地质基础资料的分析、整理,编制相关图件及表格,并借鉴所查阅的有关油气藏形成条件、油气分布规律以及东营凹陷油气地质特征等方面的文献,编写研究报告,综合分析该凹陷油气成藏条件及分布规律。通过该设计,深化对所学的油气地质与勘探理论的认识,提高学生综合应用所学专业知识解决油气地质问题的能力,培养其独立思考能力、实际动手能力及综合分析能力。

实际教学中,可根据课程学时和教学大纲要求,对实验、习题及课程设计内容进行选择

受编者水平所限,教材难免存在不当或错误之处,恳请使用该教材的师生和其他读者提出宝贵意见。

2013 年 2 月

目 录 CONTENTS

第 I 部分 油气地质实验	1
实验一 原油与固体沥青样品的观察及原油主要物理性质的测定	2
实验二 烃源岩样品观察与常用地化指标分析	8
实验三 储集岩样品及其镜下特征的观察描述	17
实验四 圈闭聚油气过程动态演示实验	19
第 II 部分 油气地质与勘探习题	21
习题一 烃源岩有机质成烃演化阶段的划分	22
习题二 有机质演化的时间-温度指数(TTI 值)的计算及应用	26
习题三 UVZ 方法分析流体运移与油气聚集	32
习题四 有机地球化学法分析油气运移方向	36
习题五 圈闭分析与度量	42
习题六 油气藏分析与度量	48
习题七 圈闭综合评价	55
习题八 圈闭预探设计	58
第 III 部分 课程设计——油气地质综合研究	63
一、相关理论回顾	64
二、综合研究的目的、步骤及要求	65
三、东营凹陷油气地质条件简介	65
四、附图附表	72
主要参考文献	105

(二) 石油地质学实验

石油地质学实验是石油地质学课程的重要组成部分，旨在通过实验操作，使学生掌握石油地质学的基本原理和方法，提高实践能力和创新意识。实验内容主要包括石油地质学的基本概念、石油地质学的基本原理、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本实验等。

石油地质学实验是石油地质学课程的重要组成部分，旨在通过实验操作，使学生掌握石油地质学的基本原理和方法，提高实践能力和创新意识。实验内容主要包括石油地质学的基本概念、石油地质学的基本原理、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本实验等。

第 I 部分

油气地质实验

实验一

实验一：石油地质学的基本概念。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本概念，包括石油地质学的定义、石油地质学的研究对象、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本概念、石油地质学的研究对象、石油地质学的基本原理等。

实验二

实验二：石油地质学的基本原理。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本原理，包括石油地质学的基本原理、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本实验等。实验内容主要包括石油地质学的基本原理、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本实验等。

实验三：石油地质学的基本方法。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本方法，包括石油地质学的基本方法、石油地质学的基本实验、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本方法、石油地质学的基本实验、石油地质学的基本原理等。

实验四：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验五：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验六：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验七：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验八：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验九：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验十：石油地质学的基本实验。本实验旨在使学生了解石油地质学的基本实验，包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。实验内容主要包括石油地质学的基本实验、石油地质学的基本方法、石油地质学的基本原理等。

实验一 EXPERIMENT 1

原油与固体沥青样品的观察及原油 主要物理性质的测定

一、实验目的

石油的物理性质和化学组成之间有着密切的联系,了解石油的性质对石油地质研究有着重要意义。本次通过对原油及固体沥青样品的肉眼观察和简易实验,着重了解石油的基本物理化学性质及分析测定方法,认识石油固体沥青矿物的宏观特征、常见类型和物理性质。

二、实验内容

(一) 原油样品的观察描述

在透射光照射下,原油的颜色一般有浅黄色、黄棕色、黄褐色、棕褐色、褐色、棕色至黑色。颜色的深浅与原油中胶质、沥青质的含量有关,胶质、沥青质含量越高,石油的颜色越深。一般在透射光照射下观察原油的颜色,将原油样品朝光源方向,观察试管中对着眼睛一侧的颜色。若原油色深、透明度差,可摇动原油样品,观察留在试管壁上原油薄膜的颜色。

石油的粘度反映了石油的流动性,主要取决于石油的化学组成,其次受温度影响也较大。

石油是以烃类为主的有机化合物的混合物,难溶于水,可溶于许多有机溶剂中。取 5 支试管,分别装入 2 ml 的氯仿(CHCl_3)、四氯化碳(CCl_4)、苯(C_6H_6)、甲醇(CH_3OH)和水,在各试管中分别加入一滴原油,仔细观察各试管中原油的溶解情况,并做好记录。

观察我国若干油田原油的颜色、流动性、溶解性等特征,将观察结果记录下来。

(二) 石油固体沥青样品的观察描述

石油在热力、氧化和细菌作用等一系列物理化学和生物化学作用下,会发生次生变化,形成固体沥青,多为深褐色至黑色的有机矿物,一般分布于地表和浅层,可作为找油的直接标志(图 I-1-1),是评价区域含油气远景的有力证据。

根据成因和物理化学特征,将固体沥青分为十余种类型,如表 I-1-1 所示。其中软沥青、地沥青、石沥青和地蜡为石油演化的早、中期产物,与石油的关系较为密切;碳质沥青、碳沥青和次石墨为变质作用的产物,它们与石油之间的实际联系已不明显。

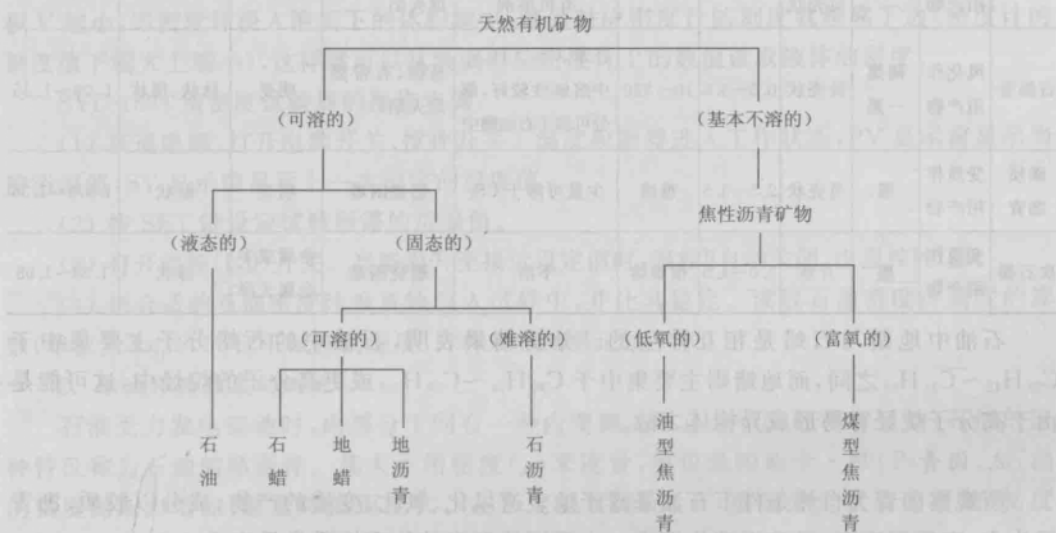


图 I-1-1 天然有机矿物的分类

表 I-1-1 固体沥青的成因分类

物理分异产物			风化产物			腐殖化产物		变质产物		
石蜡与地蜡	高氮沥青	贫胶沥青	软沥青	地沥青	石沥青	酸性碳质沥青	腐质碳质沥青	碳质沥青	碳沥青	次石墨

1. 石蜡与地蜡

石蜡是指在常温下呈固态的高分子正构烷烃,理论上指 C_{16} 或 C_{17} 以上的正构烷烃;低分子石蜡组分(C_{16} , C_{17} , C_{18})常与其他组分形成低温共熔体混合物,不易分离出来,因此实际分离出的石蜡熔点多在 35°C 以上,与 C_{19} 相当。固态石蜡相对密度较大,在轻质原油或凝析油中常呈絮状沉淀物存在于它们的下部。与地蜡相比,石蜡易形成带状(扁平状)晶体。

地蜡是指在常温下呈固态的高分子异构烷烃(分子式为 $C_{37}H_{76} \sim C_{53}H_{108}$)。地蜡不易结晶或结晶较差,结晶时为微细的粉末状晶体,容易与胶质混合而不易分离(表 I-1-2)。

表 I-1-2 主要石油固体沥青物理特性简表

名称	成因	颜色	断口	硬度	熔点/℃	溶解性	可燃性	光泽	产状	相对密度
地蜡	物理分离产物	浅黄、暗棕	粒状、粗糙	<1	30	易溶于所有有机溶剂	有明亮的火焰	油脂光泽	层状或脉状充填于岩层的裂隙	0.9~0.94
软沥青	风化作用产物	黑	粗糙、土状	<1	<110	能完全溶于CS ₂ 和乙醚	易燃,有带黑烟火焰	油脂光泽	半固态沥青湖	0.97~1
地沥青	风化作用产物	棕黑、黑	粗糙、贝壳状	0.5~2.0	>100	溶于全部有机溶剂	易燃,有带黑烟火焰	暗淡明光	脉状、丘状	>1
石沥青	风化作用产物	褐黑—黑	贝壳状	0.5~3.0	10~320	在苯、CS ₂ 、CHCl ₃ 中溶解性较好,部分可溶于石油醚中	易燃,有带黑烟火焰	明亮	脉状、层状	1.06~1.35
碳质沥青	变质作用产物	黑	贝壳状	2.5~3.5	难熔	少量可溶于CS ₂	燃烧困难	明亮	脉状	1.075~1.36
次石墨	变质作用产物	黑	片状	3.0~4.5	很难熔	不溶	燃烧困难	金属或半金属光泽	脉状	1.86~1.98

石油中地蜡与石蜡是相互伴生的。分析结果表明,石油中的石蜡分子主要集中于C₂₀H₄₂~C₃₃H₆₈之间,而地蜡则主要集中于C₃₆H₇₄~C₅₀H₁₀₂或更高分子的烷烃中,这可能是由于高分子烷烃容易形成异构体之故。

2. 沥青

所观察沥青为自然条件下石油暴露于地表遭风化、氧化、变质的产物,成分以胶质、沥青质为主,变质程度高,已接近碳化沥青。主要固体沥青的物理性质参见表 I-1-2。

软沥青:由富含环烷烃和芳香烃的重质石油氧化而成,为石油和地沥青之间的过渡产物。棕黑色至黑色,粘稠状液态到半固态,硬度小于1,相对密度近于1。在地下多呈脉状产出,并且部位较深,接近油藏,在地面大量聚集时则多分布于沥青湖或沥青丘的中心部位。

地沥青:软沥青进一步风化的固态产物,硬度为0.5~2.0,相对密度多数大于1,富含芳香烃和环烷烃,可溶于各种有机溶剂。

石沥青:地沥青进一步风化或变质的产物,较地沥青更硬;可溶于二硫化碳和氯仿中,难溶或仅可部分溶于石油醚和酒精中。多呈脉状或鸡窝状产出,也可分布在沥青丘或沥青湖的顶部及边缘。

碳质沥青:地沥青、石沥青遭受变质作用的产物,黑色,性脆,大多呈脉状产出。不溶于有机溶剂,熔化温度高于300℃。根据变质程度分为黑沥青和焦沥青两种,前者变质程度低、可燃,后者变质程度较高、不易燃。

碳沥青:碳质沥青进一步碳化的产物。外表和性质与无烟煤相似,多为暗—亮光泽。为不溶于有机溶剂、也不熔化的黑色坚硬物质,几乎全部由碳类物质或游离碳组成。根据变质程度又可分为:低级碳沥青、高级碳沥青和次石墨三种。

本次实验主要观察地蜡、地沥青、碳沥青等三种石油固体沥青,描述其主要物理性质(颜色、断口、硬度、可溶性等),将观察结果记录下来。

(三) 原油样品主要物理性质的测定

1. 原油样品密度的测定

石油的密度是指单位体积石油的质量($\rho=m/V=G/Vg$),可用密度计来测定。密度计是根据重力和浮力平衡的原理制作的,无论放在什么液体中,密度计的重力 G 不变。漂浮在液面上时,浮力 F 等于重力 G ,即:密度计受到的浮力 F 也不变。当密度计沉入的液体密度越大时,由阿基米德原理 $F=\rho g V$ 可知,浮力 F, g 不变,液体密度 ρ 越大,物体排开液体的体积 V 越小,即密度计浸入液面下的体积越少,液面对应密度计的刻度就越靠下边(密度计的刻度值下端大上端小),这样就可以从液面对应密度计上的数值读取液体的密度。

SYD-1884 型密度试验器的操作步骤:

(1) 接通电源,打开电源开关、搅拌开关。温度控制器进入工作状态,PV 显示窗显示当前浴温值,SV 显示窗显示上一次设定的温度值。

(2) 按 SET 键设定试验所需的浴温值。

(3) 打开温控(I,II)开关。当浴温升至接近设定值时,温控II自动关闭,由温控I恒温。

(4) 把合适的石油密度计垂直地放入试样中,并让其稳定。读取石油密度计刻度的读数(单位为 kg/m^3),记下试样的温度,并将观察结果记录下来。

2. 原油样品粘度的测定

石油受力发生流动时,内部分子间有一种内摩擦力阻止分子间的相对运动,石油的这种特征称为石油的粘滞性。其大小用粘度(μ)来度量,单位是帕斯卡·秒($\text{Pa}\cdot\text{s}$)。石油的粘度随压力增加、温度降低而变大。在一定温度、压力下,重组分含量高的石油,粘度较大。

度量粘度的参数因测定的装置和计量单位的差别,分别称为绝对粘度(或动力粘度,单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$)、运动粘度(单位为 m^2/s)和恩氏粘度(或相对粘度)。本次要测量的是绝对粘度,用粘度计来测定。

所有的 Brookfield 粘度计都采用了如下粘度测定原理:通过浸入被测液体中的转子的持续旋转形成的扭矩来测量粘度值,扭矩与浸入样品中的转子被粘性拖拉形成的阻力成正比,因而与粘度也成正比。

NDJ-9S 型数显粘度计的操作步骤:

(1) 接通电源,打开电机开关,显示屏即显示本仪器的型号。

(2) 用 S 键输入当前仪器使用的转子代号,用 R 键将目前电机要运转的速度输入计算机。

(3) 按 RUN 键,仪器进行测量工作。测量结束,显示器即显示被测液体的粘度值(单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$,只显示 3 秒)。按 η 键重显数值,按 RUN 键重新测量。

(4) 读取显示器显示的被测液体粘度值,并记下试样的温度。

实验过程中,注意做好实验过程情况说明和观察记录。

3. 原油样品荧光性的观察与测定

石油中的不饱和烃(芳香烃化合物)及其衍生物在紫外光(波长为 $0.2\times 10^{-6}\sim 0.4\times$

10^{-6} m)照射(激发)下,可吸收部分波长较短、能量较大的紫外光光子,随后放出波长较长、能量较低、延续时间不足 10^{-7} 秒的可见光(荧光),这种特性称为石油的荧光性。

不同性质、不同地区的原油,所含芳香烃化合物及其衍生物的数量不同,p-电子共轭度和分子平面度也有差别,故在紫外光激发下,发射出的荧光强度和波长亦不同。低分子量轻芳香烃呈天蓝色,随着分子量加大,荧光色调加深,胶质一般呈浅黄到褐色,沥青质一般呈褐到棕褐色。

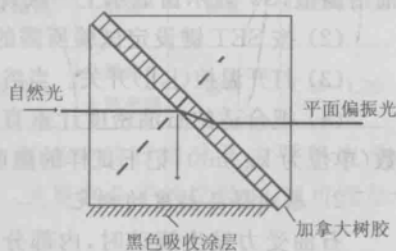
石油的荧光性已经在石油地质上得到了广泛的应用。根据荧光色调,可以定性判断石油的组分组成;根据荧光强度,可以定性判断石油溶液的质量浓度。

利用常规荧光检测仪观察我国若干油田原油的荧光性。取定性滤纸一张,在紫外光下检查,确保洁净无油污。将油样滴少许于试纸上,在荧光灯下直接照射,观察描述荧光发光颜色和强弱。

4. 原油样品旋光性的测定

当偏振光通过天然石油时,石油能使其振动面旋转一个角度(称旋光角,一般几分之一度到几度),此即石油的旋光性,多数为右旋(顺时针方向旋转)。

石油的旋光性可用旋光仪来测定,主要元件是两块尼柯尔棱镜。尼柯尔棱镜是由两块方解石直角棱镜沿斜面用加拿大树脂粘合而成,如图 I-1-2 所示。第一块尼柯尔棱镜称为起偏镜,当光通过它时可获得一束平面偏振光。如果让起偏镜产生的偏振光照射到另一个透射面与起偏镜透射面平行的尼柯尔棱镜,则这束平面偏振光也能通过第二个棱镜;如果第二个棱镜的透射面与起偏镜的透射面垂直,则由起偏镜出来的偏振光完全不能通过第二个棱镜;如果第二个棱镜的透射面与起偏镜的透射面之间的夹角 θ 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间,则光线部分通过第二个棱镜,此时第二个棱镜称为检偏镜。



I-1-2 尼柯尔棱镜

通过调节检偏镜,能使透过的光线强度在最强和零之间变化。如果在起偏镜与检偏镜之间放有旋光性物质,则由于物质的旋光作用,使来自起偏镜的光的偏振面改变某一角度,只有检偏镜也旋转同样的角度,才能补偿旋光线改变的角度,使透过的光的强度与原来相同。旋光仪就是根据这种原理设计的(图 I-1-3)。

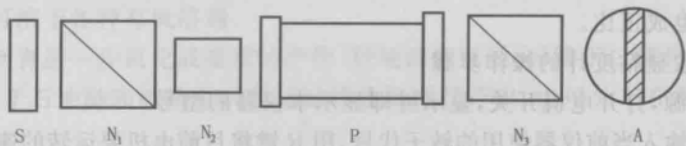


图 I-1-3 旋光仪构造示意图

S—钠光源; N_1 —起偏镜; N_2 —石英片;P—旋光管; N_3 —检偏镜;A—目镜视野

WXG-4 型圆盘旋光仪操作步骤如下:

- (1) 接通电源,点燃 10 分钟左右,待完全发出钠黄光后,才可观察使用。
- (2) 把装有样品的试管放入镜筒,试管有圆泡的一端朝上,防止因气泡影响观察测定。
- (3) 调节视度螺旋至视场中三分视界清晰时止。

(4) 转动度盘手轮,至视场照度相一致(暗视场)时止。

(5) 从放大镜中读出度盘所旋转的角度,并做好记录。

三、实验材料

所需仪器及主要用品、试剂如下:原油密度计、粘度计、常规荧光检测仪、旋光仪、温度计、试管、滤纸、氯仿(CHCl_3)、四氯化碳(CCl_4)、二硫化碳(CS_2)、苯(C_6H_6)、正己烷(C_6H_{14})、石油醚。

四、实验要求

完成实验,并对实验的原理、过程和结果进行总结,提交实验报告和实验记录表(表 I-1-3)。

表 I-1-3 原油样品观察及物理性质测定结果汇总表

名称/编号	测样温度/ $^{\circ}\text{C}$	颜色	油样密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	油样粘度/ $(\text{Pa} \cdot \text{s})$	荧光颜色	旋光角/ $^{\circ}$	原油成分分析	其他

由目録夾,

(二) 有机质和还原碳的测定

有机质是指原油中除碳氢化合物以外的其他物质,如硫、氮、氧、金属元素等。有机质的测定通常采用元素分析、红外光谱、核磁共振等方法。还原碳是指原油中能被氧化成二氧化碳的碳含量,通常采用燃烧法测定。



有机质和还原碳的测定是原油分析的重要内容。有机质的测定通常采用元素分析、红外光谱、核磁共振等方法。还原碳的测定通常采用燃烧法。通过测定有机质和还原碳的含量,可以了解原油的化学组成和性质,为原油的开采、加工和利用提供重要的参考依据。

实验二 EXPERIMENT 2

烃源岩样品观察与常用地化指标分析

一、实验目的

烃源岩有机质的丰度、类型、成熟度是评价烃源岩优劣与有效性的的重要依据,常用地化指标分析包括有机碳测定、热解分析、氯仿沥青“A”及其族组分分析、干酪根显微组分分析及镜质体反射率测定等。利用各种分析测试手段定量研究烃源岩是评价其生烃潜力及油源对比的重要方法。烃源岩分析鉴定的一般流程如图 I-2-1 所示。

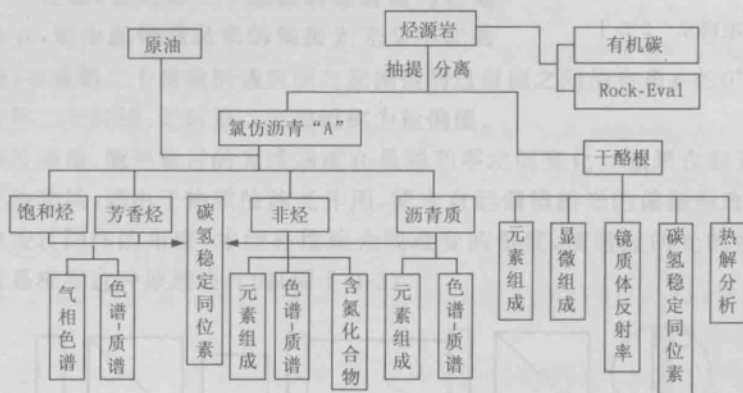


图 I-2-1 原油及烃源岩样品分析流程图

本次实验旨在加强对烃源岩特征的直观认识,了解烃源岩地化分析的一般流程,利用热解分析仪,进行烃源岩常规分析实验,并根据实验结果评价烃源岩生烃潜力;进一步认识反映烃源岩地球化学特征的相关指标,了解氯仿沥青“A”的抽提方法、氯仿沥青“A”族组分分析基本原理及过程;了解干酪根显微组分的鉴定、类型划分及镜质体反射率的测定方法。

二、实验内容

(一) 烃源岩样品观察

根据有机成因论,烃源岩是形成于低能静水环境,呈暗色、细粒、富含有机质和微体生物化石,已生成并提供工业性油气的岩石,主要包括粘土岩和碳酸盐岩两大类。

主要观察各类烃源岩(粘土岩类和碳酸盐岩类)的颜色(重点是原生色)、成分、结构、构造、生物化石、标志矿物(分散状的黄铁矿、菱铁矿等)等。原生色是判断沉积环境及所富含有机质丰富程度的标志之一,那些深灰、灰黑色泥岩往往是在还原条件下沉积的,并富含生物有机质。油页岩的观察,主要注意颜色、光泽及可燃性等。

按表 I-2-1 样式自制表格,将观察描述结果记录于表中。

表 I-2-1 烃源岩样品观察记录表

岩性/编号	颜色	成分	结构、构造	含化石情况	其他特征

(二) 有机碳和还原硫的测定

1. 基本原理

有机碳的含量间接反映了岩石的有机质丰富程度,是最可靠的有机质丰度参数。还原硫(负二价硫)的含量能够反映岩石所处环境的还原程度,一般来说含量越高,还原程度越高,这是烃源层中有机物质向石油转化的重要的、不可缺少的环境指标。所以还原硫是评价烃源岩的重要地化指标。

有机碳的分析方法有多种,常用的是干烧氧化有机质法。用酸处理除去碳酸盐碳(无机碳)后,干烧氧化有机质,使其转变成二氧化碳,然后用烧碱石棉吸收,称其二氧化碳的质量,再换算成有机碳含量。还原硫的测定方法与有机碳相似,通过干烧氧化还原硫,使其变成二氧化硫,然后用过氧化氢吸收,再换算成还原硫含量。

有机碳和还原硫常联合测定,实验原理如下:岩样被 5% 的盐酸处理后在 940~960 ℃ 的空气中灼烧,则有机碳被氧化为二氧化碳、二价硫被氧化为二氧化硫。气体通过弱酸性的过氧化氢,二氧化硫首先被吸收,生成硫酸,用氢氧化钠滴定,通过公式计算得出岩石还原硫的含量。二氧化碳不溶于酸性的过氧化氢,而进入装有烧碱石棉的 U 形管中被吸收,称重后计算得出岩石中的有机碳含量。

2. 有机碳测定方法及步骤

1) 岩样处理

将待分析的岩样除去表面污垢,粉碎过筛,一般过 80 目(或 0.15 mm)。在 105 ℃ 下烘干,用万分之一的天平称取 0.1~0.5 g 岩样(暗色泥岩称 0.2~0.3 g),置于 250 ml 烧杯中,加入 40 ml 5% 的盐酸,加热煮沸 20 分钟,以除去岩石中的无机碳。然后在铺有已处理过的酸洗石棉的布氏漏斗上过滤,用蒸馏水洗到无氯离子为止(用 5% AgNO_3 试验)。用不锈钢尖嘴镊子将石棉连同岩样全部移入瓷舟内,将瓷舟移入烘箱内,105 ℃ 下烘干取出后,用镊

子将瓷舟内的岩样疏松,放入瓷舟盒内,准备分析测定。

2) 分析测定

接通高温燃烧定碳炉,调节调压变压器,开始使温度缓慢升到 400℃,然后加大电压升到 940~960℃。

先通气 15 分钟,除去仪器中的 CO₂ 等气体,将装有 8 ml 8% 过氧化氢的小泡吸收器和恒重好的装有烧碱石棉的 U 形管装好,再将装有样品的瓷舟送入石英管内,使瓷舟位于炉内高温区的前面,塞好塞子进行预热。通气后将石英管移动,使瓷舟位于炉内高温区,灼烧 15 分钟,再将石英管回移到开始测定的位置,再通气 5 分钟即可。取下小泡吸收器,将其溶液倒入三角瓶内,用蒸馏水将小泡吸收器洗干净(最少洗 3 遍),加入 2~3 滴混合指示剂,用标准溶液氢氧化钠滴定到绿色,即为终点。

另将 U 形管(碳吸收管)取下,用万分之一天平称重。

3. 结果计算

$$w(C) = \frac{B \times 0.273}{W} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $w(C)$ 为有机碳质量分数; W 为二氧化碳质量(装有烧碱石棉的 U 形管的增重); B 为烃源岩样品质量; 0.273 为碳的换算因数($\frac{M(C)}{M(CO_2)} = \frac{12}{44} = 0.273$)。

(三) 烃源岩热解分析

1. 基本原理

热解分析是根据有机生油理论及干酪根热降解成烃机制,利用 Rock-Eval 仪器设备,在还原条件下对样品进行加热降解、裂解并检测其产物的方法,可用于评价烃源岩有机质丰度、类型、成熟度,估算烃源岩生油潜力,识别储层含油气性。利用岩石热解评价仪,可以从原始岩心或岩屑样品中直接获得评价烃源岩和储集岩的资料,故热解分析目前已成为现代油气勘探常规分析手段之一。

烃源岩中含有尚未排出的残余烃类和未生成烃类的有机质(主要是干酪根),因此将粉碎的烃源岩样品在特定加热炉中的惰性气体环境中进行程序升温,在不同温度段内,会释放出不同的物质,记录这些物质的数量,从而得到岩样热解的谱图(图 I-2-2)。图中通常含三个峰, P_1 代表较低温度(<300℃)下样品释放的加热前形成的以吸附状态存在于岩样中的游离烃; P_2 代表较高温度(300~500℃)下岩样中干酪根热解生成的烃类; P_3 为干酪根中含氧基团热解生成的 CO₂ 含量;三个峰的峰面积 S_1, S_2, S_3 表示相应产物的含量,单位为 mg 烃/g 岩石;同时可以获取热解最大生烃速度时的温度 T_{max} (称热解峰温,单位为℃),此参数可用于评价有机质成熟度,划分烃源岩热演化阶段。

利用获取的上述信息,可以计算多种参数,以评价烃源岩有机质丰度、类型、成熟度及生烃潜力。 S_1 代表已有效转化为烃类的原始生烃潜力, S_2 代表剩余生烃潜力,则 $S_1 + S_2$ 为岩样生烃潜力的总估计量即生烃潜量。据生烃潜力评价烃源岩的分类标准参照表 I-2-2。

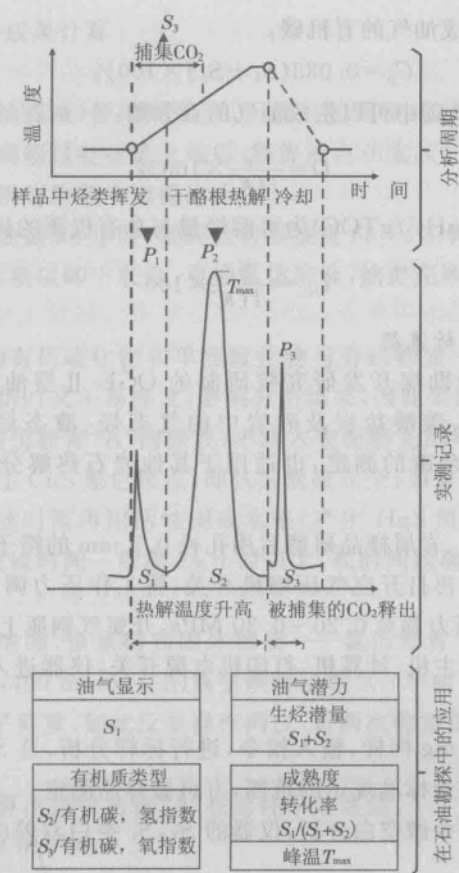


图 I-2-2 热解分析周期和谱图(据 Espitalie 等,1974)

表 I-2-2 利用生烃潜量对烃源岩进行分类(据 Espitalie,1977)

烃源岩分类	生烃潜量/(mg 烃·g ⁻¹ 岩石)
差烃源岩	<2; 只具有生成天然气的潜力
中等烃源岩	2~6
好烃源岩	>6

另外,还可以计算烃源岩产率指数、氢指数、氧指数等参数,以进一步评价烃源岩。

产率指数(I_p)可反映有机质演化程度,相当于烃转化率:

$$I_p = \frac{S_1}{S_1 + S_2} \quad (2)$$

氢指数 I_H (单位为 mgHC/gTOC) 是热解烃量与岩石总有机碳的比值:

$$I_H = \frac{S_2}{TOC} \times 100 \quad (3)$$

氧指数 I_O (单位为 mgHC/gTOC) 是二氧化碳量与岩石总有机碳的比值:

$$I_O = \frac{S_3}{TOC} \times 100 \quad (4)$$