

# 油田开发地质学

戴启德 黄玉杰 编著

# 油田开发地质学

石油大学出版社

# 油田开发地质学

戴启德 黄玉杰 主编

石油大学出版社

## 内 容 提 要

全书综合了石油地质学、油气田勘探和油矿地质学的主要内容。自成体系,系统地讲述了石油天然气的成因、运移和聚集的基本原理,介绍了油气勘探的内容,详细地论述了油气田开发过程中地质问题的解决方法。

除绪论外,全书共分12章,第1至5章以油气藏形成为中心,详细论述了石油地质学的基本理论;第6、7章主要介绍寻找油气田的程序和方法;第8至12章以油藏描述为中心,讲述油气藏描述的主要内容及研究方法。

本书为高等院校石油工程专业本科生教材。可供地球物理等有关专业教学之用。亦可供从事油气田勘探、开发的生产及科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

油田开发地质学/戴启德,黄玉杰主编. —东营:石油大学出版社,1999.12  
ISBN 7-5636-1230-0

I. 油… II. ①戴…②黄… III. 油田开发-工程地质-高等学校-教材 IV. TE14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 46250 号

### 油田开发地质学

戴启德 黄玉杰 主编

出版者:石油大学出版社(山东东营,邮编 257062)

网 址:<http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpress>

电子信箱:[upcpress@sunctr.hdpu.edu.cn](mailto:upcpress@sunctr.hdpu.edu.cn)

印刷者:石油大学印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本:787×1092 1/16 印张:20 字数:506 千字

版 次:2002年12月第1版第3次印刷

印 数:2001~4000册

定 价:26.00元

# 前 言

本教材是根据 1997 年石油大学“石油工程专业改革与建设”中的教材建设计划,在 1987 年编写的试用教材基础上,参考了国内外近年来的有关专著及文献资料,征求了使用过试用教材的师生和油田专家的宝贵意见编写而成的。本教材中,新增加了“油气田勘探”、“油藏描述简介”两章,同时还补充了油田开发地质研究方面的新理论、新技术和新方法,使其能够满足拓宽知识面、培养复合型人才的要求,以适应油田开发生产实践和科学研究工作的需要。

本教材以“油气藏”为核心,包含了石油地质、油气田勘探、油矿地质的主要内容。除绪论外,全书共 12 章,前 6 章以油气藏形成为重点,论述了石油和天然气的生成、运移、聚集及油气田勘探等内容;后 6 章以油气藏描述为中心,叙述了钻井地质、储层研究、油层温压系统、油气田地下构造、油气储量计算等内容。

本教材由石油大学戴启德、黄玉杰主编。参加编写的人员分工如下:

编论、第一、三章由戴启德编写。第二章由戴启德、徐炜编写。第四、五章由戴启德、王纪祥编写。第六章由国景星编写。第七、八、九章由黄玉杰、吴元燕、国景星编写。第十、十一章由黄玉杰、吴元燕、徐炜编写。第十二章由彭仕宓编写。全书由戴启德统稿完成。

本教材由石油大学纪友亮教授审阅。在编写过程中还得到了胜利石油管理局地质科学研究院,石油大学资源系、石油工程系的专家、学者的热情帮助和指导,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,其中难免有不当和错误之处,诚恳欢迎使用本教材的师生和广大读者批评指正。

编 者

1999 年 4 月

# 目 录

绪论 .....	(1)
第一节 油田开发地质学的任务和内容 .....	(1)
第二节 石油和天然气在国民经济中的作用 .....	(1)
第三节 我国油气勘探开发简史 .....	(1)
一、我国古代对油气的发现和利用 .....	(1)
二、我国近代石油地质勘查 .....	(2)
第四节 世界油气发展简况 .....	(4)
第一章 油气藏中流体的化学组成和物理性质 .....	(6)
第一节 石油 .....	(6)
一、石油的元素组成 .....	(6)
二、石油的化合物组成 .....	(6)
三、石油的物理性质 .....	(10)
第二节 天然气 .....	(13)
一、天然气的产状类型 .....	(13)
二、天然气的化学组成 .....	(14)
三、天然气的物理性质 .....	(14)
第三节 油田水 .....	(17)
一、油田水的状态 .....	(17)
二、油田水的化学组成 .....	(18)
三、油田水的物质性质 .....	(19)
四、油田水的化学分类 .....	(19)
第二章 石油和天然气成因及生油层 .....	(21)
第一节 生成油气的原始物质 .....	(21)
一、沉积有机质的来源 .....	(22)
二、干酪根 .....	(22)
第二节 生成油气的地质及动力条件 .....	(24)
一、地质条件 .....	(24)
二、动力条件 .....	(26)
第三节 油气生成的主要阶段 .....	(28)
一、生物化学生气阶段 .....	(28)
二、热催化生油气阶段 .....	(28)
三、热裂解生凝析气阶段 .....	(28)
四、深部高温生气阶段 .....	(29)
第四节 生油层 .....	(29)
一、生油层的基本概念 .....	(30)

二、生油层的岩性特征及分类 .....	(30)
三、烃源岩的地球化学指标 .....	(30)
<b>第三章 储集层和盖层 .....</b>	<b>(34)</b>
<b>第一节 储集层的性质 .....</b>	<b>(34)</b>
一、储集层的概念 .....	(34)
二、储集层的孔隙性 .....	(34)
三、储集层的渗透性 .....	(36)
<b>第二节 砂(砾)岩储集层 .....</b>	<b>(38)</b>
一、储集层的岩石类型 .....	(38)
二、储集空间类型 .....	(38)
三、影响储集性能的地质因素 .....	(40)
四、砂(砾)岩储集层的成因类型 .....	(47)
<b>第三节 碳酸盐岩储集层 .....</b>	<b>(53)</b>
一、储集层的岩石类型 .....	(55)
二、储集空间类型 .....	(55)
三、碳酸盐岩的孔隙结构 .....	(61)
四、影响储集空间发育的地质因素 .....	(62)
五、碳酸盐岩储集层的类型 .....	(64)
<b>第四节 岩浆岩、变质岩、泥页岩储集层 .....</b>	<b>(65)</b>
一、岩浆岩储集层 .....	(65)
二、变质岩储集层 .....	(65)
三、泥页岩储集层 .....	(67)
<b>第五节 盖层 .....</b>	<b>(67)</b>
一、盖层的岩石类型 .....	(67)
二、盖层的基本特征 .....	(67)
<b>第四章 油气运移及油气藏的形成 .....</b>	<b>(69)</b>
<b>第一节 油气初次运移 .....</b>	<b>(69)</b>
一、初次运移时油气的物理状态 .....	(69)
二、油气初次运移的动力 .....	(70)
<b>第二节 油气二次运移 .....</b>	<b>(72)</b>
一、二次运移的动力和阻力 .....	(72)
二、二次运移的方向和距离 .....	(74)
<b>第三节 圈闭和油气藏的概念 .....</b>	<b>(75)</b>
一、圈闭的概念 .....	(75)
二、圈闭的度量 .....	(75)
三、圈闭的类型 .....	(76)
四、油气藏的概念 .....	(76)
五、油气藏的中油、气、水的分布 .....	(77)
<b>第四节 油气藏的形成 .....</b>	<b>(79)</b>
一、充足的油气来源 .....	(79)

二、有利的生储盖组合 .....	(80)
三、有效的圈闭 .....	(81)
四、必要的保存条件 .....	(82)
五、次生油气藏的形成 .....	(84)
<b>第五章 油气聚集类型及分布规律 .....</b>	<b>(85)</b>
<b>第一节 油气藏的基本类型 .....</b>	<b>(85)</b>
一、构造油气藏 .....	(85)
二、地层油气藏 .....	(94)
三、水动力油气藏 .....	(98)
<b>第二节 油气田及油气聚集带 .....</b>	<b>(100)</b>
一、油气田的概念及分类 .....	(100)
二、油气聚集带的概念及类型 .....	(105)
<b>第三节 含油气盆地 .....</b>	<b>(107)</b>
一、含油气盆地的概念 .....	(107)
二、含油气盆地的类型 .....	(107)
三、含油气盆地构造单元划分 .....	(109)
<b>第四节 油气资源分布规律 .....</b>	<b>(110)</b>
一、油气储量在地理上的分布 .....	(110)
二、油气储量在地史上的分布 .....	(111)
三、油气储量沿埋藏深度的分布 .....	(111)
<b>第六章 油气田勘探 .....</b>	<b>(113)</b>
<b>第一节 油气田勘探的任务及阶段划分 .....</b>	<b>(113)</b>
一、油气田勘探的总任务 .....	(113)
二、油气田勘探的阶段划分 .....	(113)
<b>第二节 区域勘探 .....</b>	<b>(113)</b>
一、区域勘探的主要任务 .....	(113)
二、区域勘探的工作部署原则 .....	(114)
三、区域勘探阶段的工作方法 .....	(116)
四、区域勘探阶段的工作步骤 .....	(118)
<b>第三节 圈闭预探 .....</b>	<b>(120)</b>
一、圈闭预探的任务 .....	(120)
二、圈闭预探的工作步骤 .....	(121)
三、二级构造(岩相)带的预探井部署 .....	(124)
<b>第四节 油气田评价勘探 .....</b>	<b>(128)</b>
一、油气田评价勘探的主要任务 .....	(128)
二、评价井部署原则 .....	(129)
三、评价勘探阶段的工作步骤 .....	(129)
<b>第五节 滚动勘探开发 .....</b>	<b>(130)</b>
一、滚动勘探开发的概念及优点 .....	(130)
二、滚动勘探开发的工作步骤 .....	(130)

<b>第七章 钻井地质</b> .....	(133)
<b>第一节 单井地质设计</b> .....	(133)
一、井别 .....	(133)
二、直井地质设计 .....	(134)
三、定向井地质设计 .....	(136)
<b>第二节 地质录井</b> .....	(141)
一、钻时录井 .....	(141)
二、岩心录井 .....	(143)
三、岩屑录井 .....	(154)
四、钻井液录井 .....	(161)
五、气测录井 .....	(166)
<b>第三节 完井地质报告的编写</b> .....	(170)
<b>第八章 地层对比及油层沉积相研究</b> .....	(173)
<b>第一节 地层对比</b> .....	(173)
一、区域地层对比 .....	(173)
二、碎屑岩油层对比 .....	(177)
三、碳酸盐岩油层对比 .....	(191)
<b>第二节 油层细分沉积相的研究</b> .....	(195)
一、以砂层组为单元划分沉积大相 .....	(195)
二、划分沉积时间单元 .....	(197)
三、各沉积时间单元细分沉积微相 .....	(199)
四、油层细分沉积相的研究在油田开发中的应用 .....	(206)
<b>第九章 油田地下构造研究</b> .....	(212)
<b>第一节 用单井倾斜测井资料研究地下构造的褶曲要素</b> .....	(212)
一、地层倾角矢量图像的分类 .....	(212)
二、确定井孔剖面的地层产状 .....	(213)
三、判断地下构造的偏移方向 .....	(213)
<b>第二节 油气田地质剖面图的编制与应用</b> .....	(214)
一、剖面方向选择 .....	(215)
二、井位校正 .....	(215)
三、井斜校正 .....	(216)
四、油气田地质剖面图的绘制 .....	(218)
五、油气田地质剖面图的应用 .....	(218)
<b>第三节 油气田构造图的编制与应用</b> .....	(218)
一、编制油气田构造图的准备工作 .....	(219)
二、油气田地下构造图的编制方法 .....	(220)
三、构造图的应用 .....	(222)
<b>第四节 断层面构造图的编制</b> .....	(223)
一、研究油气田地下断层的实际意义 .....	(223)
二、地下断层存在的标志 .....	(223)



三、井下断点的确定与井间断点的组合 .....	(227)
四、断层面等高线图的编制和应用 .....	(228)
五、断层线图的编制和应用 .....	(230)
<b>第十章 地层压力和地层温度</b> .....	(233)
<b>第一节 地层压力</b> .....	(233)
一、有关地层压力的概念 .....	(233)
二、异常地层压力研究 .....	(234)
三、油层压力研究 .....	(240)
<b>第二节 地层温度</b> .....	(249)
一、地温梯度与地温级度 .....	(249)
二、地温场特征 .....	(251)
三、地温场与油气分布的关系 .....	(252)
<b>第十一章 石油及天然气储量计算</b> .....	(256)
<b>第一节 工业油气流标准</b> .....	(256)
<b>第二节 石油储量的分类和分级</b> .....	(257)
一、石油储量的分类 .....	(257)
二、远景资源量及储量的分级 .....	(258)
<b>第三节 容积法计算石油储量</b> .....	(263)
一、含油面积的确定 .....	(263)
二、油层有效厚度的确定 .....	(268)
三、原始含油饱和度的确定 .....	(273)
四、有效孔隙度的确定 .....	(275)
五、地面脱气原油的密度和地层原油体积系数的确定 .....	(275)
六、石油采收率的确定 .....	(275)
<b>第四节 储量计算单元和参数平均方法</b> .....	(275)
一、储量计算单元 .....	(275)
二、储量参数的平均方法 .....	(276)
<b>第五节 压力降落法计算天然气储量</b> .....	(281)
一、压力降落法的基本原理 .....	(281)
二、压力降落法参数的确定 .....	(282)
三、压力降落法运用的条件 .....	(283)
四、压力降落法的影响因素 .....	(283)
<b>第十二章 油藏描述简介</b> .....	(285)
<b>第一节 油藏描述中的测井解释技术</b> .....	(286)
一、测井资料数据标准化 .....	(286)
二、关键井四性关系研究及测井解释模型的建立 .....	(288)
<b>第二节 油藏描述中的地震技术</b> .....	(289)
一、地震技术在油藏描述中的应用 .....	(289)
二、有关开发地震技术的研究和应用 .....	(290)
<b>第三节 储层非均质性</b> .....	(291)

一、储层非均质性的分类 .....	(291)
二、宏观非均质性 .....	(294)
三、微观非均质性 .....	(298)
四、储层非均质性对注水开发的影响 .....	(301)
第四节 储层地质模型及油藏地质模型 .....	(302)
一、储层地质模型 .....	(302)
二、油藏地质模型 .....	(304)
三、储层综合评价 .....	(304)
参考文献 .....	(306)

# 绪 论

## 第一节 油田开发地质学的任务和内容

油田开发地质学,属石油地质学范畴,是石油工程专业的一门专业基础课。其任务是培养学生综合应用基础地质、石油地质、油矿地质、地球物理等专业知识,解决油气田开发过程中开发方案编制、方案调整、剩余油分布等具体的地质问题。由于油气开采的方式、方法、技术要求都是围绕着油气藏进行的,所以《油田开发地质学》的课程内容以油气藏为核心,大体上分为2个部分。一部分以油气藏形成为重点,论述石油地质学的基本原理,包括石油和天然气的成因、油气藏的形成、油气藏中油气水的特征及分布规律,可作为油田开发的理论基础;另一部分以油气藏描述为中心,运用基础地质、油层物理、地球物理等资料,精细描述油气藏的地质特征,获取油气藏地质参数,建立油气藏地质模型并研究油气藏中流体的性质和分布,计算石油和天然气的地质储量,为油田的合理开发提供可靠的地质依据。

本教材前一部分以基础理论为主,后一部分以应用方法为主,以理论与实践相结合的方式,培养学生综合分析和解决油田地质问题的基本技能和方法,为油田开发设计、动态分析、增产措施、提高采收率、增加经济效益打好基础。

## 第二节 石油和天然气在国民经济中的作用

石油和天然气是优质的能源、润滑油料及化工原料,也是重要的战略物资。因此,在国民经济发展中有着极其重要的作用。

石油和天然气具有热值高、燃烧充分、流动性强、运输方便等特点,是极为重要的燃料,汽车、火车、飞机、轮船多以其产品为动力燃料,金属和非金属的冶炼也以石油和天然气为能源。几乎所有的转动机械都以石油产品为润滑材料。因此,石油常被誉为工业的“血液”、机器的“粮食”。

石油和天然气也是优质的有机化工原料。所生产的化工产品,广泛地应用于农业、工业、日常生活等国民经济的各个部门。

石油和天然气还是主要的战略物资,对巩固国防具有重要的意义。

总之,石油和天然气的储量和产量,在国民经济发展中占有非常重要的地位,是我国实现工业、农业、国防、科学技术现代化的物质基础。尽管21世纪石油和天然气在世界能源结构中的比重将有所降低,但因其用途广泛,在世界经济发展中仍起着举足轻重的作用。

## 第三节 我国油气勘探开发简史

### 一、我国古代对油气的发现和利用

我国有较丰富的石油和天然气资源,是世界上最早发现、开采和利用石油、天然气的国家之一。

据史料记载,在两千七百多年前,西周朝代所著《易经》中,就有“泽中有火”的记载,很可能是指天然气或沼气在水面燃烧的现象。公元前 256~251 年秦孝文王时在四川邛崃一带开凿盐井时,就发现了天然气,并引起了通天大火。晋朝的左思在《蜀都赋》中描绘邛崃一口燃烧了约百余年的火井时写道:“火井沉荧于幽泉,高焰飞煽于天垂”。

我国是世界上最早开发气田的国家。在明末清初时逐渐形成了气田地质专业队伍,专门从事勘定井位,研究井下油气地质情况,判断天然气、卤水储集规律。当时的钻井技术已发展成一套完整的工艺技术,1835 年钻的兴海井,井深已达 1 001.43 m,钻达三叠系嘉陵江灰岩主气层,初期日产气 5 000~8 000 m<sup>3</sup>,是世界上第一口千米井。位于四川自贡市的东源井,1893 年开始产气,是稳产时间最长的一口气井,至今仍产天然气。该井的《岩口簿》及传统的钻、采、输等工艺设备保存完整,有重要的科研价值。

我国也是世界上开采和利用石油最早的国家之一。关于石油的文字记载,最早见于班固(公元 32—92 年)所著《汉书·地理志》,书中记载:“高奴,有洧水,可燃”。这段大意是说,在今陕北延长一带,有一条河,即今之延河,水面上有像油一样的物质可以燃烧。这一物质大概就是石油了。公元 267 年晋朝张华在《博物志》中详细描述了玉门一带的油苗,书中写道:“酒泉延寿县南山出泉水,……水有肥,如肉汁,取著器中,始黄后黑,如凝膏,燃极明,不可食,彼方人谓之石漆水”。这一段表明当时当地人称石油为石漆水,人们已经开始对其观察和采集,用作膏车、燃料及照明。

北宋著名科学家沈括(1031—1095 年)对陕北石油作了考察,对石油产状、性能、用途作了详细研究,首次综合“肥”、“石漆水”、“脂水”等名称,将其命名为“石油”,并将这些研究成果收入《梦溪笔谈》一书中。书中写到“鄜延境内有石油,旧说高奴县出脂水,即此也。”又说石油“生于水际沙石,与泉水相杂,惘惘而出”。他还进一步预言了石油的广阔前景:“此物后必大行于世,自予始为之。盖石油之多,生于地中无穷,不若松木有时而竭”。

元朝时我国已有油井的记载了。据《元一统志》记载:“延长县南迎河凿开石油一井,其油可燃,兼治六畜疥癣,岁纳壹百壹拾斤,入路之延丰库。”可见在元朝已有油井生产,而且还建立了管理机构。

我国古代对石油的利用是广泛的,最早用于医药、照明、膏车、燃料、涂料,后来又将其加工成各种武器,用于军事上。

总之,中华民族以其勤劳、勇敢和智慧,在认识、利用和开采石油及天然气资源方面一直走在世界的前列,积累了丰富的知识和宝贵的经验,给人类留下了一笔极其珍贵的文化遗产。

## 二、我国近代石油地质勘查

### 1. 建国前石油地质勘查概况

中国近代的石油地质勘探,一方面继承了中国古代的实践经验,另一方面则是受到了外国先进科学技术的影响。从鸦片战争到 1949 年中华人民共和国成立的一百多年中,在半殖民地半封建的旧中国,地质科学不发达,地质工作不受重视,石油地质勘查工作做得很少。清朝末年至民国初年,英国、美国、德国、俄国、日本等国家的石油地质勘查人员与我国人员一道在台湾、陕北、四川、新疆等地钻探石油。

1877 年清政府从美国购进新式钻井设备,聘请美国钻井技师,在台湾苗栗出磺坑钻凿油井,1878 年第一口油井钻至 120 m 时因井底坍塌完钻,用泵抽油,每日产油约 1.5 t。1907 年延长石油官厂成立,聘请日本技师在陕北延长县城西门外钻延 1 井,井深 81 m,初日产油 1 ~

1.5 t, 10年后日产油仍可保持1.25 t。1914年北洋军阀同美国签定了《中美合办油矿合同》,在延长成立“中美油矿事务所”,美孚石油公司运来4台汽动顿钻机,1914~1916年在延长等地钻井7口,未获得有工业开采价值的石油。美孚石油公司在陕北地区的石油勘探未达预期目的,在国外曾出现“中国贫油论”的错误论调。

20世纪20年代,王竹泉、潘钟祥、孙健初等地质家,在极其困难的条件下,在我国进行了石油地质勘查工作,足迹遍及陕北高原、河西走廊、四川盆地、云贵高原、天山南北和沿海平原,从实践到理论做了许多有价值的探索。1938年孙健初等人到玉门进行石油地质勘查工作,1939年8月11日,玉门老君庙1号井在井深88 m处钻遇K油层,经完井试油,初日产原油10 t左右,这是老君庙油田的第一口出油井。此后钻的2、3、4号井都钻遇了油层,证实了玉门油田是一个具有工业价值的大油田。这一期间还在新疆独山子,陕北延长、永坪,四川巴县、隆昌等地发现了油气田。我国地质学家潘钟祥还从中国地质的实际出发,对陆相生油问题进行了深入的探讨,早在1941年就提出“陆相生油论”,为我国石油、天然气勘探提供了理论依据。

由于当时的统治阶级腐败无能,加之帝国主义的侵略与掠夺,我国的石油地质勘查工作进展非常缓慢,从1878年至1949年的71年间,总共钻井169口,探明石油地质储量 $2.9 \times 10^7$  t,共生产原油270多万吨。1949年产量仅 $1.2 \times 10^5$  t,中国所需油品基本靠外国进口。

## 2. 建国后飞速发展的油气勘探事业

新中国成立以后,在中国共产党的领导下,我国油气勘探事业取得了飞速的发展,经历了三个方面的巨大变化:一是勘探对象从露头地面构造勘探到覆盖区中、深层勘探的变化;二是勘探手段从非地震地球物理勘探与地面地质相结合到使用数字地震为主进行综合勘探的变化;三是勘探理论从借用外国石油地质理论为主,到建立中国石油地质理论并以此指导油气勘探的变化。在油气田勘探与开发方面,取得了举世瞩目的成就,为新中国的经济发展做出了巨大贡献。

我国石油地质工作者,依靠科学,勇于实践,在艰难中起步,在探索中创业,运用中国的石油地质理论和先进的科学技术,在我国的陆上及海域的近百个盆地开展了油气勘探工作。

50年代在西部地区的准噶尔盆地、柴达木盆地、酒泉盆地、四川盆地先后发现了克拉玛依、冷湖、鸭儿峡、阳高寺等油气田,使我国石油工业面貌发生了很大变化。同时,在我国东部、中部等地区也逐步开展了石油勘探工作。1959年9月27日东北地区松辽盆地松基3井喷油,发现了大庆油田,是我国石油工业发展史上的重大转折。大庆油田全面投入开发后,使我国石油生产局面得到了根本的改观,实现了我国石油的基本自给,也为我国油田开发地质学的建立和发展提供了宝贵资料、经验和实践场所。大庆油田的发现,打破了“中国贫油”的论断,丰富了我国的石油地质学理论,还将我国石油勘探重点从西部转移到东部,在渤海湾地区开展了大规模的石油勘探工作,相继发现了胜利、大港、辽河、华东、中原等储量丰富的油田,原油产量迅速增长,1978年突破1亿吨,表明我国已进入了世界主要产油国家的行列。

改革开放以来,中国石油工业进入了新的发展时期,油气勘探从陆上至海上全面展开。东部地区在老油田滚动勘探开发的同时,积极开展新盆地、新地区的勘探,石油探明储量明显增加,为稳定东部提供了资源基础。西部地区通过加快勘探步伐,在新疆三大盆地取得重要进展,塔里木盆地探明近30个油气田,准噶尔盆地新发现了石西、彩南等几个大型油田,吐哈盆地在鄯善、丘陵一带发现了一个大型油气富集带。中部地区在新理论、新方法、新技术的指导下,发现了一批中小型油气田。在陆上大规模油气勘探的同时,还陆续在我国海域开展了石油勘探工作,通过自营勘探和对外合作勘探,在莺歌海、北部湾、珠江口、东海、渤海等海域,发现了流花

11-1、崖 13-1、绥中 36-1 等一大批油气田。这些油田的开发,使我国成为世界产油大国之一,1996 年我国石油总产量已达  $1.57 \times 10^8$  t,名列世界第 5 位。

我国地大物博,油气资源丰富,石油工业发展前景极其广阔。陆地沉积面积为  $4.24 \times 10^6$  km<sup>2</sup>,海域大陆架面积为  $1.21 \times 10^6$  km<sup>2</sup>,沉积盆地约 300 多个,对其中 150 个油气丰富盆地采用先进的技术和方法进行了油气资源评价。评价结果表明,我国石油总资源量为  $9.4 \times 10^{10}$  t,其中陆上资源量为  $6.94 \times 10^{10}$  t;天然气总资源量为  $3.8 \times 10^{13}$  m<sup>3</sup>,其中陆上资源量为  $3.0 \times 10^{13}$  m<sup>3</sup>。

随着油气勘探的进展,勘探对象日趋复杂,工作难度越来越大,这就要求我们不断丰富和完善具有我国特色的石油地质理论,大力采用先进而适用的新技术,建立一套行之有效的科学勘探开发程序,勇于向新领域探索,使我国石油、天然气勘探开发事业稳步前进。

#### 第四节 世界油气发展简况

地球上的石油和天然气,早在三千多年前就被人们发现和利用了,其状态多以自然产出为主,多用于燃料、医药、建筑等方面。但作为工业规模的油气勘探和开发仅有一百多年的历史。19 世纪中叶,工业革命的浪潮席卷欧美各国,对燃料的需求急剧增长,为石油工业发展提供了市场。而工业革命后出现的新技术和积累的资金又为大规模的油气勘探提供了可能性,同时油气的开发和利用也为资本家带来了高额利润。因此,这一时期,许多国家纷纷掀起了找油的热潮。例如,美国第一口商业性油井是在 1859 年钻探的,该井位于宾夕法尼亚州的石油溪岸边,井深仅 21 m。俄国、罗马尼亚等国家此时也都钻成功了产油井。在 1860~1890 年的 30 年间,原油产量几乎以每年增长 1 倍的速度剧增。在找油的同时,也开展了天然气的勘探工作,天然气的产量也迅速增长。到目前为止,全世界有 100 多个国家和地区进行了石油和天然气的勘探及开发工作。1996 年全世界石油和天然气的年产量分别达到  $3.17 \times 10^9$  t 和  $2.3379 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>。主要生产石油和天然气的国家的产量见表 0-1。

表 0-1 1996 年主要产油气国家产量表

石 油		天 然 气	
国 家	年产量/( $\times 10^8$ t)	国 家	年产量/( $\times 10^{11}$ m <sup>3</sup> )
沙特阿拉伯	3.930 2	俄罗斯	6.034
美 国	3.222 8	美 国	5.664
俄罗斯	3.010 0	加 拿 大	1.838
伊 朗	1.848 0	荷 兰	0.897
中 国	1.570 5	英 国	0.892
挪 威	1.540 0	印度尼西亚	0.646

地球上石油和天然气的蕴藏量相当丰富,据 1996 年统计,世界上常规石油的可采资源量约为  $3.113 \times 10^{11}$  t,常规天然气的可采资源量约为  $4.37 \times 10^{14}$  m<sup>3</sup>。世界上剩余探明油、气储量分别为  $1.396 \times 10^{11}$  t 和  $1.42 \times 10^{14}$  m<sup>3</sup>。但油气资源量与储量的分布极不均衡,中东是世界上油气储量最丰富的地区,石油探明储量占世界的 60% 以上,天然气储量占世界的 30% 以上。全世界石油可采储量在  $5.00 \times 10^{10}$  桶以上的特大油田有 2 个,全都分布在中东,即沙特阿拉伯的加瓦尔油田和科威特的布尔干油田。石油可采储量在  $(0.50 \sim 5) \times 10^{10}$  桶之间的大油田全世界

共有 40 个,中东就占了 27 个。俄罗斯是世界上天然气储量最丰富和产量最高的国家,已探明的天然气储量高达  $5.37 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ,占世界探明天然气储量的 1/3 还多。预测俄罗斯天然气的产量在 2005 年将达到  $7 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。但有些国家和地区石油和天然气的储量及产量都很小,主要靠进口来满足国内油气的需求。

21 世纪,石油和天然气仍将是世界经济发展的主要能源之一,世界各国油气勘探和开发工作将向深度和广度进军,将向复杂地区和海洋进军。随着石油地质新理论的提出和完善,以及现代科学技术的发展和引进,人类必将探明更多的油气资源,并使之合理地开发和有效地利用。

# 第一章 油气藏中流体的化学组成和物理性质

油气藏中流体主要是指油气藏中的石油、天然气,以及与石油和天然气有关的油田水。石油、天然气、油田水的化学组成及物理性质,是研究油气生成、运移、聚集、分布等问题的重要资料,也是评价油气质量,制定开采、加工方案的主要依据。

## 第一节 石 油

石油是由各种碳氢化合物和少量杂质组成的存在于地下岩石孔隙中的液态可燃有机矿产,是成分十分复杂的天然有机化合物的混合物。石油没有固定的化学成分和物理常数。

### 一、石油的元素组成

石油主要由碳、氢、氧、硫、氮等化学元素组成,其中碳、氢两种元素占绝对优势,一般碳含量占 84%~87%,氢含量为 11%~14%,两种元素合计占 96%以上,C/H 比值一般介于 6.0~7.5 之间。氧、硫、氮总含量一般小于 1%~4%,个别可达 4%~7%。表 1-1 列出了国内外某些石油的元素组成情况。

表 1-1 国内外某些石油的元素组成(单位:%)

石油产地	C	H	S	N	O
大庆	85.74	13.31	0.11	0.15	0.69
胜利	86.26	12.20	0.80	0.41	
大港	85.67	13.40	0.12	0.23	
克拉玛依	86.1	13.30	0.05	0.25	0.28
江汉	83.00	12.81	2.09	0.47	1.63
俄罗斯 杜依玛兹	83.9	12.3	2.67	0.33	0.74
美国 文吐拉盆地	85.00	12.70	0.40	1.70	1.20
美国 宾夕法尼亚	84.9	13.7	0.5		0.9
墨西哥	84.2	11.4	3.6		0.8
伊朗	85.4	12.8	1.06		0.74

除上述 5 种元素外,在石油的灰分中还发现 30 多种微量元素。其中以钒(V)和镍(Ni)为主,占微量元素的 50%~70%。由于钒、镍在煤、油页岩、生物的灰分中分布稳定,且 V/Ni 比值的大小与一定的沉积环境有关,因此 V/Ni 比常用来确定沉积环境及进行油源对比。

### 二、石油的化合物组成

石油中的主要元素,不是呈游离状态,而是结合成不同的化合物存在,以烃类化合物为主,



另外还有含氧、含硫、含氮的非烃化合物。

(一) 石油的烃类组成

目前在石油中已鉴定出的烃类化合物达 420 多种。按其本身结构,基本上可分为烷烃、环烷烃、芳香烃三大类。石油中烃类化合物的结构式如图 1-1 所示。

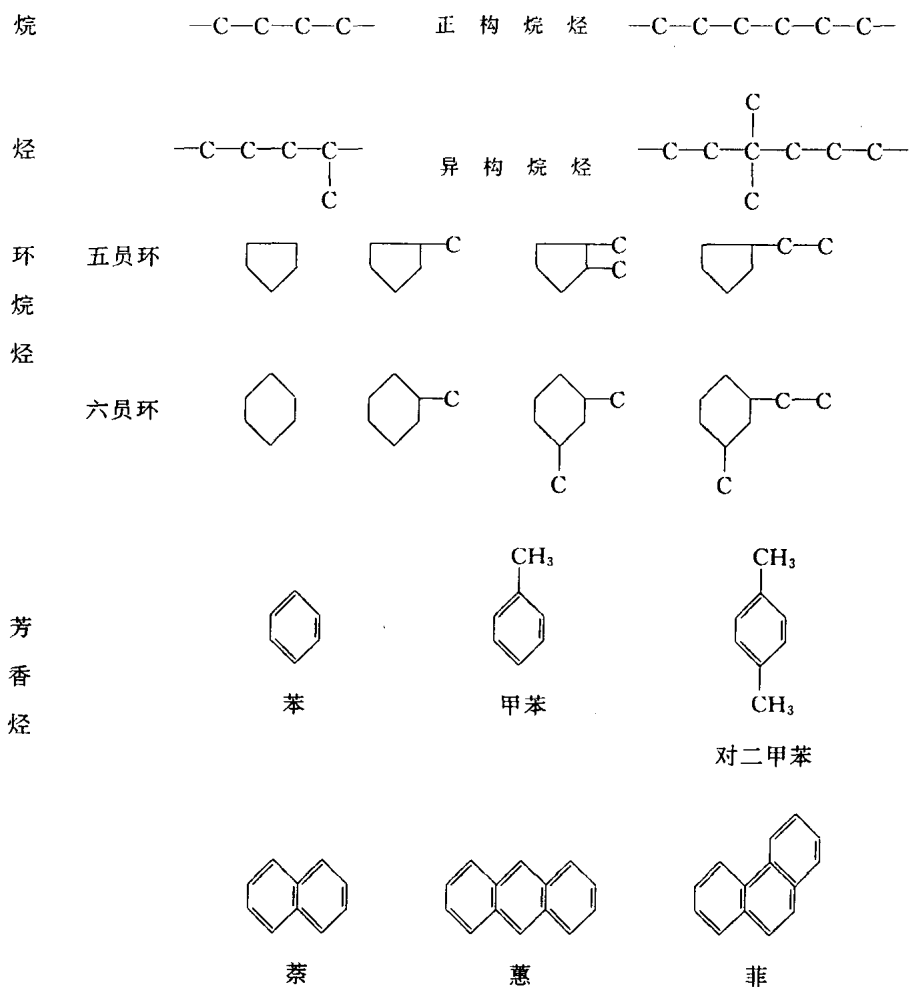


图 1-1 石油中烃类化合物结构式

1. 烷烃

烷烃又称脂肪烃,属饱和烃。烷烃分子的结构特点是碳原子以单键相连呈链式,按其是否有支链存在,又可分为正构烷烃和异构烷烃。

(1) 正构烷烃。目前石油中已鉴定出来的正构烷烃可以从  $C_1 \sim C_{45}$ ,但较常见的大多小于  $C_{35}$ 。它们通常占原油体积的 5%~25%,在重质原油中含量可小于 15%,在轻质原油中则可达 30%以上。在常温、常压下含 1 个到 4 个碳原子( $C_1 \sim C_4$ )的烷烃呈气态,含 5 个到 16 个碳原子( $C_5 \sim C_{16}$ )的正构烷烃呈液态,17 个碳原子( $C_{17}$ )以上的高分子烷烃常呈固态。正构烷烃的相对密度、熔点、沸点均随分子量增加而上升(表 1-2)。