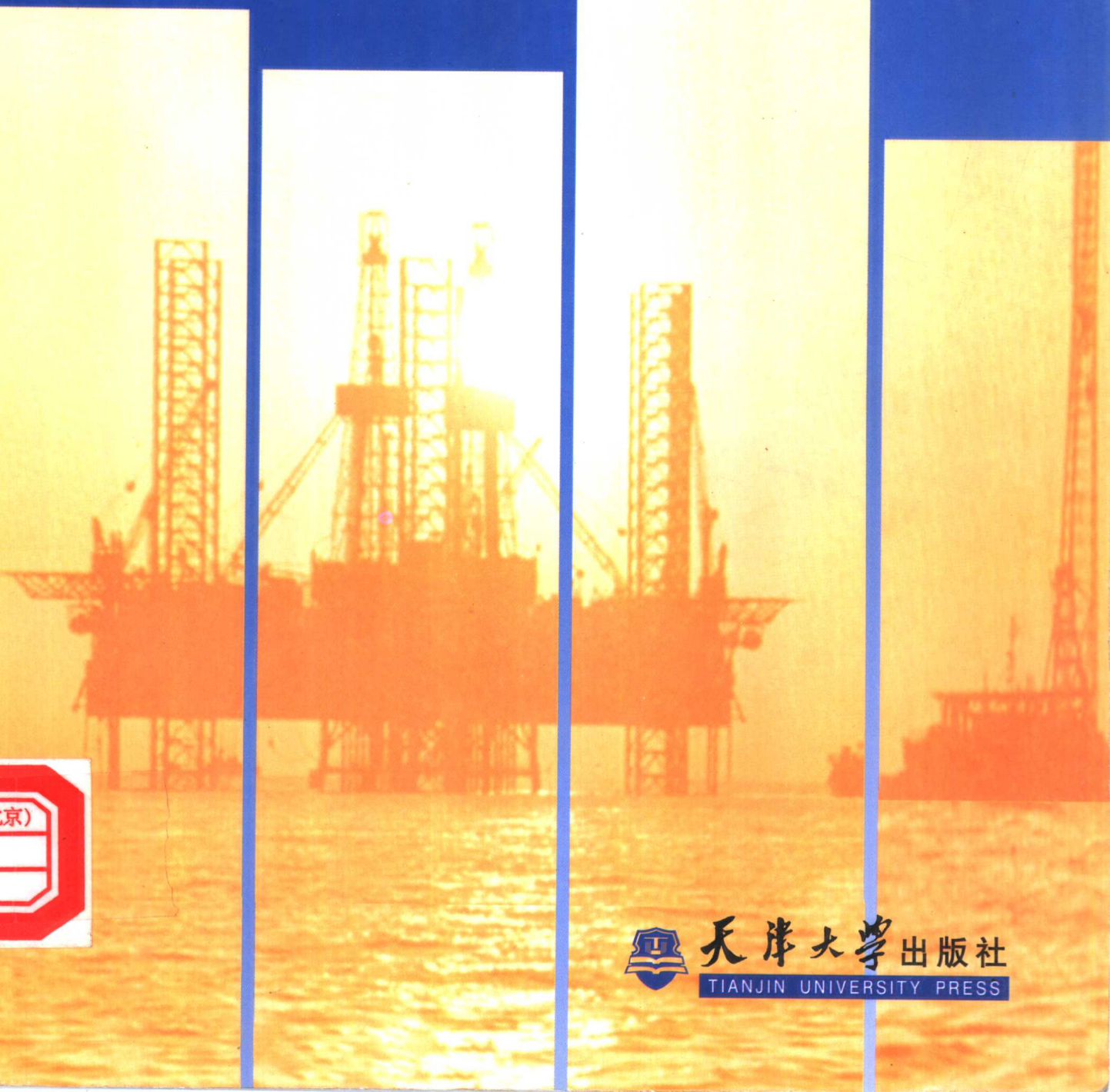


海洋石油开发工艺与设备

安国亭 卢佩琼 编著



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

海洋石油开发工艺与设备

安国亭 卢佩琮 编著

天津大学出版社

内 容 提 要

本书共 8 章,主要介绍石油勘探方法、海上钻井技术、海上钻井平台的类型、海上采油技术、海上采油平台的类型、海上油气集输、海上油田生产系统以及国内外海洋石油开发现状与发展趋势等内容。

本书可作为高等院校海洋工程专业、船舶工程专业的教学用书或教学参考书,也可供从事海洋油气田规划、开发、设计、施工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋石油开发工艺与设备/安国亭,卢佩琼编著. —天津:
天津大学出版社,2001.11
ISBN 7-5618-0696-5

I. 海… II. ①安… ②卢… III. ①海上石油开采—技
术 ②海上石油开采—机械设备 IV. TE5

· 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 077759 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 河北省昌黎县第一印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13.75
字 数 345 千
版 次 2001 年 11 月第 1 版
印 次 2001 年 11 月第 1 次
印 数 1~8 00
定 价 17.50 元

前 言

我国是海洋油气资源十分丰富的国家。自 60 年代以来,我国就开始在海上进行石油勘探与开发工作。现在,渤海、南黄海、东海和南海的油气钻探与开发工作已全面展开,而且,有的油气田已进入或将进入工业性开发阶段。

为适应我国海洋石油开发事业的发展,天津大学、大连理工大学于 1971 年设置了海洋工程专业。按照教学要求,两校相继开设了海洋石油开发工艺与设备课,而且先后各自编写了几个版本的讲义。此次在原讲义的基础上,吸收国内外近年的研究成果及编者多年工作实践经验,形成本书。本书为中国船舶工业总公司“八五”规划教材。

本书较详细地介绍了海洋石油开发工艺与设备方面的有关知识,内容包括海底油气资源、海洋石油勘探方法、海上钻井技术及海上钻井平台、海上采油技术及海上采油平台、海上油气集输及海上油气生产系统以及国内外海洋石油开发的现状与发展趋势等。这些内容既反映了国外海洋石油开发的基本情况,又结合我国在该领域的具体情况,目的是通过本书的学习,对海洋石油开发的工艺流程及设备有一个比较系统的了解,使学生初步掌握钻、采、集输等设备选型及工艺布置的基本知识,为今后从事海洋石油开发工程的规划、设计、建造、评价打好基础。

本书由天津大学安国亭主编,并由安国亭编写第一、三、五、八章,大连理工大学卢佩琼编写第二、四、六章,第七章由安国亭、卢佩琼编写。全书由安国亭统稿。

中国海洋石油总公司曾恒一院士担任主审,并对本书提出了宝贵的修改意见和建议,在此深表谢意。在本书编写过程中,两校的一些同志也给予了热情的指导和帮助,借此表示谢意。对于本书的出版,天津大学教务处及天津大学出版社给予了大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

1998 年 8 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 石油与天然气	(1)
第二节 石油与天然气矿藏	(4)
第三节 石油勘探	(8)
第四节 海洋石油开发的内容及特点	(13)
思考题	(23)
第二章 海上钻井技术	(24)
第一节 石油钻井方法	(24)
第二节 钻具	(28)
第三节 泥浆及泥浆净化处理设备	(31)
第四节 钻井技术措施	(37)
第五节 固井与井身结构	(39)
第六节 油井完成及井口装置	(45)
第七节 钻井事故的预防与处理	(50)
第八节 海洋钻机	(53)
第九节 钻机的提升与旋转设备	(56)
思考题	(63)
第三章 海上石油钻井装置	(64)
第一节 海上石油钻井装置的类型及选择	(64)
第二节 海上钻井平台的总体布置	(68)
第三节 海上钻井平台的水下器具与升沉补偿装置	(76)
第四节 海上钻井平台重返井位与井口回接技术	(85)
第五节 海上移动式钻井平台布置实例	(89)
思考题	(113)
第四章 海上采油技术	(115)
第一节 油田开发方式	(115)
第二节 采油方法及其设备	(119)
第三节 提高油田产量的措施	(124)
第四节 修井及修井设备	(126)
思考题	(129)
第五章 海上采油平台与水下采油设备	(130)
第一节 海上采油平台的类型	(130)
第二节 桩基固定平台的总体布置	(133)
第三节 重力式多用平台的总体布置	(144)
第四节 水下采油工艺及设备	(153)

思考题.....	(160)
第六章 海上油气集输系统.....	(161)
第一节 海上油气集输系统的组成及类型.....	(161)
第二节 海上油气集输工艺流程及其设备.....	(164)
第三节 海上储运设施.....	(173)
思考题.....	(184)
第七章 海上油田生产系统.....	(186)
第一节 固定平台生产系统.....	(186)
第二节 浮式生产系统.....	(193)
第三节 水下生产系统.....	(198)
思考题.....	(201)
第八章 国内外海洋石油开发现状与发展趋势.....	(202)
第一节 世界海洋石油开发现状与发展趋势.....	(202)
第二节 我国海洋石油开发现状与发展趋势.....	(209)
思考题.....	(211)
参考文献.....	(212)

第一章 绪 论

第一节 石油与天然气

一、石油的组成

石油是以多种碳氢化合物的混合物为主体的可燃性液体。其主要成分为碳和氢,还有少量氧、硫、氮等元素。其中,碳和氢的总含量达 96% 以上,其他元素(氧、硫、氮)占 1% 左右,有时可达 2%~3%。氧、硫、氮在石油中含量虽然不多,但对石油的性质影响却很大。

石油中的碳和氢不是呈分散状态的,而是构成不同类型的碳氢化合物,称为烃。通常,按照石油中主要的烃类可把石油分为三大类:烷族石油、环烷族石油与芳香族石油。世界油田中以环烷族石油最多,芳香族石油最少,但大多数石油中都含有一定的芳香族。含烷烃多的油质轻,含环烷烃、芳香烃多的油质重。

石油可分为天然石油与人造石油两种。天然石油就是人们所说的原油,是直接从油井开采出来的。人造石油是从煤或油页岩干馏出来的,如辽宁抚顺和广东茂名等地将开采的油页岩经过干馏得到石油。

从油井出来的原油,不仅含有油、水、天然气、氧气、硫、氮、盐、石蜡、胶质、沥青质,而且还含有碳、泥、沙等杂质。胶质是粘性的或玻璃质的半固体或固体物质,它的颜色有淡黄、红褐、黑色等。由于蒸发和氧化,石油中的胶质将逐渐增加。一般在轻质石油中,胶质含量不超过 5%,而在重质石油中胶质含量可达 20% 以上。沥青质为暗褐色或黑色的脆性固体物质,在温度高于 300℃ 时,分解成气体和焦炭。沥青质和胶质是石油中含杂质较多的重质组分,如果这两种物质含量高,那么石油质量就差,而且开采很困难。

由于石油是多种物质混合物,而石油中气体、液体、固体物质的含量不同,所以各油田生产的石油,甚至同一油田不同井开采出来的石油也不一样。我们认识石油的性质是为了解它产生和蕴藏的规律,以便更好地寻找它、开发它和利用它。

我国部分油田的原油性质见表 1-1。

表 1-1 部分油田的原油性质

产地	性质	相对密度	粘度 μ_{50} (10^{-3} Pa·s)	凝固点 (℃)	含蜡量 (%)	胶质 (%)	含硫 (%)
大 庆		0.860 4	23.79	23	17.4	15.9	0.11
胜 利		0.888 6	29.38	30	17.1	19	0.64
五 七		0.858 0	14.67	28	13.9	17.5	1.28
玉 门		0.869 8	15.90	8	8.3	12.3	0.11
克拉玛依		0.867 9	19.23	-50	2.04	12.6	0.04
冷 湖		0.804 2	1.46	-9	8.4	1.9	0.02

续表

产地 \ 性质	相对密度	粘度 μ_{50} ($10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)	凝固点 ($^{\circ}\text{C}$)	含蜡量 (%)	胶质 (%)	含硫 (%)
四 川	0.839 4	12.3	30	15.8	3.4	—
某海井	0.845 1	5.36	26	22.6	—	0.09

二、石油的物理化学性质

1. 颜色

石油的颜色多种多样,从无色、浅黄色、黄褐色到棕色、黑色,甚至也有黑绿色、淡红色。一般情况下石油呈棕色、褐色;含轻馏分量大的原油呈绿色;以凝析油为主的原油呈无色透明状;含重馏分量大的油呈黑色。石油的颜色取决于其胶质、沥青质的含量,含量越高,颜色也就越深。

2. 粘度

粘度是指液体本身发生相对位移时所受的内摩擦力。石油粘度越大就越不易流动,这对石油的管道输送影响很大。温度对石油的粘度有很大影响,温度增高时石油粘度降低,温度降低时石油的粘度增大。压力对石油的粘度影响很小,一般可忽略不计。石油粘度大小主要与石油成分有关,一般含重组分多的粘度大,含轻组分多的粘度小。因此,石油粘度在不同油田和不同油层中变化很大。在实际生产中,可以通过调节石油的温度和压力达到顺利输送。

3. 溶解性

石油具有可溶解氯仿、苯、石油醚、醇(乙醇)等有机溶剂的性质。利用这种性质,可以鉴定岩石中微量石油的存在。石油不溶于水。在海洋石油的集输、储运过程中,常常利用油比水轻、又不溶于水的性质,利用油水置换原理储存石油。对高粘性油采用掺水管道输送工艺。

4. 荧光性

石油在紫外线照射下,可发出特殊“光量”,这种特性称为荧光性。石油发出荧光是一种冷发光现象,几乎所有石油都具有荧光性。用荧光分析法鉴定岩样中石油含量的精确度可达十万分之一。还可以根据荧光颜色初步确定石油的组分的质量和数量,一般浅色表示石油中含油质高,黄色表示含胶质高,褐色表示含沥青质多。在石油勘探中,就是通过化验岩屑和岩心的荧光性来寻找含油层的。

5. 旋光性

当偏光通过石油时,偏光面对其原来的位置旋转一定角度,这个旋转角叫做旋光角。具有使偏光面发生旋转的特性叫做旋光性。石油一般具有右旋性,少数石油旋光性不活泼。重质石油旋光性比轻质石油旋光性强。石油的旋光性是石油有机生成说的重要根据。

6. 凝固与液化

自然界中石油通常呈液态,有时随温度降低,石油会浓缩以至凝固成半固体、固体;有时相反地可以液化。石油凝固点的高低与石油中重质组分的含量有关,特别是与石蜡的含量有关。石蜡含量越高,凝固点越高;相反,石油中轻质组分含量越高,含蜡量越少,凝固点就越低。各地石油凝固点的变化范围较大,常在 $-50\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间变化。石油凝固点的高低,对石油的管道输送及储存影响极大,尤其给海底管道输油、水下油罐储油,以及集输工艺带来很多困难。

7. 导电性与放射性

石油及石油产品为不良导体,因此电阻率很高。在地面用电法勘探及电测井过程中,含油

地层都呈现为高电阻层。电测井法就是利用这种特性测定井下油层层位和油层厚度的。石油的存在与放射性强度关系很密切。通常含油岩石及油田顶部放射性强度较低,而且也发现石油能降低放射性物质的放射性。石油的电性与放射性特征是用物理方法找油的重要根据。

8. 馏分

由于石油是多种碳氢化合物的混合物,各种烃分子含碳数目不同,故其沸点也不同。含碳原子少的沸点低,含碳原子多的沸点高,参看表 1-2。利用加热汽化冷凝的方法,可以使沸点不同的各种组分分离出来,这种方法叫分馏。在沸点 40~150℃ 之间汽化出来的油蒸汽冷凝得到的液态烃,是含有 5~9 个碳原子的烃混合物,属于汽油产品;煤油是沸点在 150~275℃ 之间的产品,分子里含有 9~15 个碳原子的烃混合物;柴油是沸点在 275~360℃ 之间的产品,分子里含有 15~18 个碳原子的烃混合物;分馏剩余的分子量较大、沸点较高的烃混合物称为重油。重油中还含有润滑油、石蜡等物质,它们还可进一步分馏。石油分馏的产品和用途见表 1-3。

表 1-2 烷烃的主要物理性质

名 称	分子式	常温状态	熔点(℃)	沸点(℃)	液态时的相对密度
甲 烷	CH ₄	气 体	-182.6	-161.6	0.424 0
乙 烷	C ₂ H ₆	气 体	-182.7	-88.6	0.546 2
丙 烷	C ₃ H ₈	气 体	-187	-42.2	0.582 4
丁 烷	C ₄ H ₁₀	气 体	-138.3	-0.5	0.578 8
戊 烷	C ₅ H ₁₂	液 体	-129.7	36.1	0.626 3
十六烷	C ₁₆ H ₃₄	液 体	18.1	286.5	0.773 3
十七烷	C ₁₇ H ₃₆	固 体	22	303	0.770 6

表 1-3 石油分馏的产品和用途

沸点范围		组 成	油品名称	用 途	
40℃ 以下		C1~C4 烷烃	油气(炼厂气)	基本有机原料	
汽油 部分	40~70℃	C5~C6	石油醚(轻汽油)	溶 剂	
	70~120℃	C7~C8	汽 油	溶剂,飞机、汽车用燃料	
	120~150℃	C8~C9	挥发油	溶 剂	
煤油 部分	150~275℃	C9~C15	煤 油	照明,喷气式飞机燃料	
	275~360℃	C15~C18	柴 油	柴油机燃料	
重 油 部 分	360℃	C16~C20	润滑油	机械润滑	重油还 用作燃料 及催化裂 化的原料
		C18~C22	凡士林	医用药膏及防锈	
		C20~C24	石 蜡	蜡烛,蜡纸,火柴,电气绝缘及纺织	
			沥 青	建筑材料,防腐涂料	

石油除上述一些物理化学性质外,还具有有气味、可燃性、易蒸发汽化的特性,所以在石油集输过程中要特别注意安全防火、防爆以及蒸发损耗等问题。

三、天然气

从油井或气井采出来的天然气,是指地下气田的气和油田伴生气。它和石油有共生的关系,有时溶解在石油里成为溶解气,并随着石油的流出而逸出。

天然气所含成分是甲烷、乙烷、丙烷、丁烷(包括正丁烷和异丁烷)以及戊烷。除此之外,在天然气中还有氮、硫化氢、二氧化碳、一氧化碳等气体。一般气田中甲烷含量约占天然气总体积 90% 以上,而油田伴生气中甲烷含量一般占天然气总体积的 80%~90%。

经过处理的油田伴生气或气井中出来的天然气,甲烷含量达 90% 以上的叫干气;乙烷、丙烷等重气体烷烃和水分含量在 10% 以上的天然气叫湿气。一般油田伴生气大部分是湿气,只有经过多级分离和净化才能变成干气。湿气的存在常标志着油藏的存在,因此常据湿气发现油藏。

纯天然气是无色、无味的可燃气体。如果天然气里含有氮、硫等杂质,则有气味。通过冷凝可以从天然气中回收优质的凝析油(即轻质汽油)。

由于天然气危险性大,处理、储存、输送工艺较复杂,故目前国内外不少油田尤其是海上油田,将开采出来的油田伴生气除部分用作本油田发电、加热及生活燃料外,都点“天灯”放空烧掉了。随着世界工业发展对燃料的需求量增加及生产技术日益完善,油田的伴生气及气田的天然气必将逐渐得到综合利用。

第二节 石油与天然气矿藏

一、石油与天然气的生成

由于石油与天然气的成分复杂,具有流动性,而且发现的地方往往又不是生成的地方,因此,长期以来对于油、气的生成原因,一直是石油地质学者争论的问题。人们曾先后提出很多关于石油和天然气生成的假说,归纳起来有两大派,即有机生成学派和无机生成学派。无机生成学派认为油、气是由无机物生成的;即在地壳深处的高温高压条件下,碳和氢元素化合而成的。有机学派则认为油、气是由有机物生成的,即由生物遗体在适宜环境下演化而成的。国内外石油勘探的大量实践证明,有机学说能够比较客观地解释目前发现的油、气田分布规律,因此为广大的地质工作者所承认,并用来指导石油勘探工作。

石油产自岩石之中。世界上绝大多数油气田是在沉积岩里发现的。从研究近代海底和湖底沉积中,发现其中有机物质正向石油方面转化。同时,还发现油、气中含有一种特殊的物质,它是来自动物中的血红素和植物中的叶绿素,从而推论,沉积岩中含有丰富的有机质,特别是那些低等的动物和植物,就是生成油、气的原始物质。陆地上的动物、植物死亡以后,随泥沙被河流带到海盆地或湖盆地,与原来水中的生物共同沉积在盆地底部,形成有机淤泥。由于地壳的运动,有的地方上升,有的地方相对下降,沉积盆地就是不断下降的结果。随着盆地的不断下降,泥沙便层层沉积下来。先沉积的有机淤泥慢慢被覆盖起来,与空气隔绝。在这种缺氧的还原环境下,随着沉积物成岩过程,经过漫长的地质年代和一系列复杂的物理、化学变化,有机淤泥中的有机物质逐渐形成复杂的碳氢化合物,这就是石油和天然气。

从油、气生成的过程看出,只要能满足有利于生物尸体聚集和长期与空气隔绝这两个自然条件,无论是陆上的湖泊,还是海洋的浅海、海湾环境,都可以使有机物质转化为油、气。同时,温度、压力及某些细菌的存在,也是有机物质向油、气转化的重要条件。另外,除了物质条件和环境条件外,还有时间因素,形成油、气的时间很长,一般要经过几百万年的地质历史。表 1-4 是目前国内外通用的地质年代表。

表 1-4 地质年代表

代	纪	代号	距今年数 (百万年)	主要特点及主要生物界情况
新生代 Cz	第四纪	Q	1	地面发展成现在形式,人类出现,开始征服自然,改造自然
	新第三纪	N	26	地球表面初具现代轮廓,哺乳动物世界,新三纪开始出现接近人类高级动物,显花植物繁盛
	老第三纪	Pg	58	
中生代 Mz	白垩纪	Cr	127	陆相沉积为主,爬行动物世界,原始鸟类出现,裸子植物繁盛
	侏罗纪	J	152	
	三迭纪	T	182	
古生代 Pz	二迭纪	P	203	两栖动物世界,孢子植物繁盛,形成广大煤田
	石炭纪	C	255	
	泥盆纪	D	313	鱼的世界,孢子植物开始出现
	志留纪	S	360	
	奥陶纪	O	430	海相沉积为主,无脊椎动物繁盛
	寒武纪	Cm	510	
	震旦纪	Sn		岩石变质程度较浅,有原始海绵和低级藻类植物
太古代			2 000	岩石变质程度极深,未找到化石
整个地质发展阶段			3 000~4 000	地质作用开始

二、油气矿藏

形成了石油和天然气,并不等于形成了油气藏。储藏油、气的岩层往往又不是生成油、气的岩层,所以油气藏的形成也是个复杂的问题。因此,要研究生油层、储油层及储油构造。

在研究生油层和储油层时首先要了解地壳上有关的岩石过程。地壳上的岩石共分三大类,即火成岩、沉积岩和变质岩。其中火成岩主要是由地球内部的高温岩浆沿地壳薄弱处侵入地表岩层中或喷出地壳后冷凝形成的,故也叫岩浆岩,如花岗岩、玄武岩等。沉积岩也叫水成岩,是地表的岩石经长期风化变成碎屑、泥沙后,被风和水等外力搬运到湖泊、河流、海洋等低洼处沉积下来,并逐年增厚、压实,最后固结而形成的岩石。在海洋环境中形成的沉积叫海相沉积,在陆地环境中形成的沉积叫陆相沉积。常见的沉积岩有泥岩、沙岩、页岩和石灰岩等。它们一般都具有层状构造的特点,并且其中含有大量有机质。世界上绝大部分石油生于沉积岩里。变质岩是火成岩或沉积岩在地壳运动(如火山喷发、岩浆侵入)时所产生的高温高压作用下形成的,如片麻岩等。

如前所述,石油和天然气是有机质与沉积泥沙在形成沉积岩的过程中逐渐生成的,这些可生成石油和天然气的岩层叫生油层,如泥岩、页岩等。

生成了石油并不等于形成了油田。由于生油层结构比较致密,孔隙微小,油、气难在其中聚集成矿,而是向具有孔隙、裂缝和孔洞的岩石运移。所以,具有开采价值的油、气层并不是泥岩、页岩等生油层,而是比较疏松或有较大孔隙、裂缝的沉积岩,如沙岩、石灰岩、白云岩等。这种能让油、气聚集,并能让油、气在其中流动的岩层叫做储集层或储油层。

评价一个储油层的储油能力多用孔隙度和渗透率两个指标。

孔隙度是指岩石孔隙总体积和岩石总体积之间的百分比,它可以通过实验得出。孔隙大说明该岩石孔隙容积大,储存油、气的空间就大;反之,储存油、气的空间就小。在实际工作中,

根据实测的油层厚度、范围和孔隙度,就可估算出一个油田的储量。例如在一个 100 km^2 的油田中,有 10 m 厚的沙岩储油,沙岩的孔隙度为 20% ,就有 $2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的孔隙体积,其中如有 75% 储存着石油,那么就约有 1 亿多吨石油。

石油在油层互相连通的孔隙中,在一定的压力差作用下产生渗透流动,这种允许流体渗透的性质,也就是流体通过孔隙的难易程度,称为油层的渗透性。油层的渗透性决定了油层的渗透能力。油层的渗透能力一般用渗透率表示,关系式如下:

$$K = \frac{Q\mu L}{A \cdot \Delta P}$$

式中: Q ——通过岩石的流体流量, cm^3/s ;

μ ——通过岩石流体的粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

L ——岩石的长度, cm ;

A ——岩石的截面积, cm^2 ;

ΔP ——通过流体时所用的压差, Pa ;

K ——岩石的渗透率, cm^2 。

为了便于表示较低的油层渗透率,一般以 μm^2 为常用单位。

关于油、气怎样从生油层到储油层,以及储油层怎样把油、气储集起来的问题,还要从分析油、气的流动性入手。原来,在生油层内的油、气呈点滴状分散于泥沙的颗粒间,由于油、气具有流动性,所以在上覆沉积物的静压力作用下,生油层逐渐被压缩,其中点滴状的油、气就被挤到比较坚实的储油层去了。另外,地壳运动所引起的动压力,也使生油层进一步受挤压,导致岩石发生褶皱和断裂,更促使生油层内的油、气向储油层运移。运移到储油层的油、气还是比较分散的。在储油层内的地下水不断冲洗这些油、气微滴,使其向压力低的方向定向流动,而在流动过程中,又因油、气、水密度不同,产生气、水的重力分离,天然气浮到储油层的顶部,水在最下部,油滴聚集在中间。这样,分散的油、气就富集起来。富集的程度,通常可由岩石总孔隙内油、气所占体积百分数(即所谓岩层中的含油、含气饱和度)表示。

从生油层向储油层流动叫做“一次运移”,在储油层内流动叫做“二次运移”。在这两次油、气的运移过程中,遇到储油层有合适的遮挡层或“圈闭条件”,石油和天然气就逐渐聚集,形成有开采价值的油气藏。这种能够集中储存石油和天然气的储集层部位,叫做储油构造。储油构造的形成是地壳运动的结果,和是否有油、气无关。只有在油、气运移过程中,遇到了储油构造,并富集在其中时,才能形成油气藏。储油构造有不同的形式,油气藏也有不同的类型,常见的油气藏类型有以下几种。

(1)背斜油气藏 储油层受地壳运动的挤压力向上凸起,呈覆碗状,叫做背斜构造,如图 1-1 所示。这种油气藏叫背斜油气藏。石油和天然气聚集在背斜上部,水在油的下面。世界上 60% 左右的油田属于背斜油气藏。我国大多数油田也属这种类型。

(2)断层油气藏 地壳运动时,使储油层连续受挤压后发生断裂,并沿着断层面产生上、下或水平错动,称为断层构造,如图 1-2 所示。断层形成后,如果储油层在断裂处被不渗透的岩层封闭,即可形成油气藏。断层油气藏在现有的油田中占相当重要的地位。我国的大港、胜利等油田就属这一类型。

(3)地层油气藏 在地壳变迁过程中,较老的地层遭到剥蚀以后,上面又重新沉积形成新的地层。新、老地层之间的接触面叫不整合面。如不整合面上有不透水层,下有储油层,而储

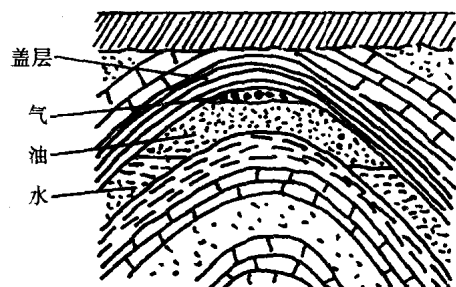


图 1-1 背斜油气藏

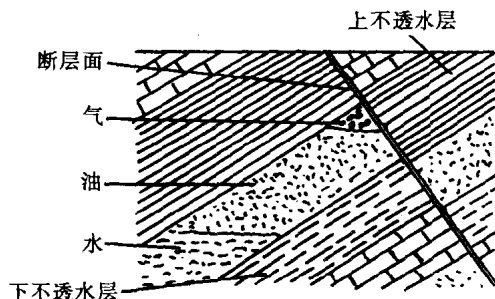


图 1-2 断层油气藏

油层两侧又有不透水层遮挡,就可形成地层油气藏,如图 1-3 所示。

(4)岩性油气藏 由于同一时期沉积的岩层的沉积过程有不均匀性,造成岩石渗透性的差异,有时会在不渗透的岩层里夹着储油层。这种因岩性差异而形成油气圈闭的油气藏,叫做岩性油气藏,如图 1-4 所示。

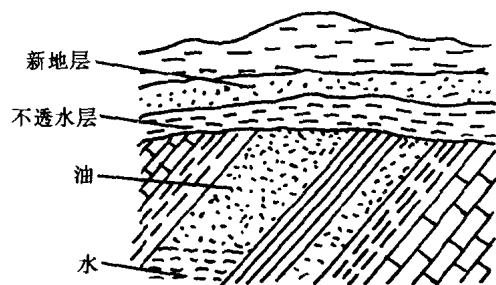


图 1-3 地层油气藏

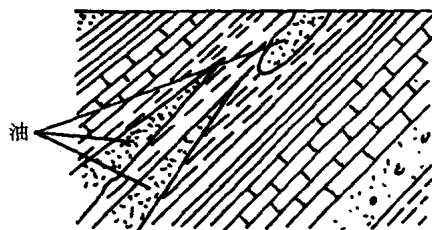


图 1-4 岩性油气藏

(5)碳酸盐油气藏 碳酸盐类油藏包括石灰岩、生物灰岩及生物碎屑石灰岩油藏。常见的以孔隙、溶洞和裂缝储油,其构造形态不一,图 1-5 也属背斜油气藏类型,其他有断层或地层油气藏类型。世界上高产油井(日产千吨以上的油井),大多数出自碳酸盐油藏。我国目前的高产油田——古潜山油田,就源于古老的石灰岩储油层。

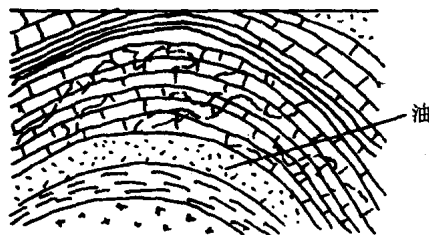


图 1-5 碳酸盐油气藏

在同一地区,受同一构造因素控制而形成的油气藏总和称为油气田。一个油气田里可以只有一个储油层,也可以有多个储油层。

油气田的分布是有一定规律的,并受一定的地质条件控制。人们为了寻找油气田,就必须深入地研究,充分认识控制油气田分布的地质因素,掌握油气田分布的客观规律,才能使勘探工作顺利地进行。

三、海洋石油资源

海洋总面积为 $3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$, 约占地球表面积的 71%。海洋的平均深度为 3 800 m, 大约有 $10 \times 10^8 \text{ km}^3$ 海水。

海底地形大体上是由大陆架、大陆坡、大洋底、中央海岭系(也叫大洋中脊)和海沟或大陆基(也叫大陆隆)组成的。大陆架是陆地向海中延伸直至下降坡度陡增的这一部分,或者是水深在 200 m 以内的部分。这一部分除了局部有起伏外,整体看来坡度十分平缓,平均倾斜度约

为2‰。全世界大陆架总面积达 $2.8 \times 10^7 \text{ km}^2$, 占海洋总面积的7.5%。

大陆架位于浅海地区,那里是地球上海陆变迁最频繁的地区,有些曾经是陆地边缘,由于地壳的升降变化而降到海面以下。大陆架是最主要的沉积场所,也是大陆河流带来的沙、淤泥以及有机物、化学沉积物的汇集地带,还是最适宜各种海洋生物繁殖的地区。大陆架在古老的岩石基底上又沉积了数千米至上万米深的沉积岩层,主要有沙岩、页岩、石灰岩等,最上面覆盖了一层松散的近代沉积物。由于大陆架区域不但有丰富的生物条件、良好的还原条件,还有理想的储油构造,所以它得天独厚地蕴藏了大量的油气资源。据分析, $1 \times 10^8 \text{ km}^3$ 的沉积物中所含的原油多者可到0.25 Mt以上。在全世界大陆架中,沉积盆地占了一半以上,约为 $1.5 \times 10^7 \text{ km}^2$,其中有希望含油气的面积有500多万平方千米,估计石油储量为250 Gt,约占世界石油总储量的1/3以上。如果把大陆架以外的海底石油计算在内,这个数字还要增大。有人推测,如果把海底石油全部开采出来,按目前的消耗量计算,大约可使用270年。

我国的海域辽阔,渤海、黄海、东海的大部分以及南海沿陆地边缘部分,都是大陆架浅海区。其中,200 m水深范围内的大陆架面积共130多万平方千米,占世界大陆架总面积的1/20以上,在这个广阔的浅海海区,蕴藏着极其丰富的油气资源。

第三节 石油勘探

石油工业有三个基本环节,即勘探、开发和炼制加工。勘探,是为了探明地下油气矿藏的位置,确定矿藏的范围、类型、储量;开发,是把已探明的油气资源开采出来,并将其集中、计量,在油、气处理后,输送到使用或加工地点,具体讲,就是钻井、采油(气)与油气集输工作;炼制,是把油、气加工成各种石油产品、化工产品及其他工业原料。

在这几个环节中,首先要做的工作就是勘探,也就是寻找油气田。我们知道,既有生油条件,又有储油条件,才能形成油气藏。因此,寻找油气田时,首先就是找到有利于油、气储集的地层和构造,然后再从这类地层和构造中找出工业性的油气藏,包括查明油气田的大小,确定储量,弄清油、气层的性质等,为油气田的开发做好准备。这就是油气勘探的基本任务。

一、石油勘探方法

一般石油矿藏都深埋在地下数百米至数千米处,看不见,摸不着,尤其是在海上勘探,还覆盖着碧波万顷的海水。使用什么勘探方法去寻找它呢?根据目前的科技水平概括起来主要有地质调查法、地球物理勘探法和钻井勘探法等。

(一)地质调查法

地质调查法,简称“地质法”,就是直接观察地表的地质现象,研究这个地区的岩石、地层的情况以及地壳运动的历史,分析有没有生油层、储油层和盖层以及这个地区的构造特征,指出存在油气藏的可能性以及初步确定矿藏的可能位置和范围。

在海上进行地质调查比陆上困难得多。由于海水覆盖着地表,因此需要借助各种船舶、飞机和其他一些工具来进行。海底油气田的地质调查,是用从陆地向海洋延伸的方法,它包括对沿海陆地的地质调查及对海底的地质调查。由于大陆架的地层和构造与近岸陆地的地层和构造有联系,因此根据岸上及沿岸岛屿的地层岩性、成层情况、所含化石以及地质构造的特征,可以推测沿岸海底的地质情况及含油气远景。在进行沿海陆地及岛屿的地质调查时,除了用肉眼直接观察和综合分析岩层构造等地质资料外,还可以采用航空摄影方法进行地形、地貌及区

域构造的研究。

进行海底地质调查有多种方法。海底地形可以用回声探测仪探测;当海水透明度良好时,用航空摄影的方法也可以拍摄浅海的海底地形、地貌及岩层分布情况。为了取得直接资料,还需要用专门的器械从海底采集土壤及岩石的样品,或由潜水员、潜水装置下到海底采集这些样品,研究岩质的露头,寻找海底的油气苗,拍摄海底照片等,进行海底的地质调查研究。

(二)地球物理勘探法

虽然海底地质调查法可使我们推测和判断海底的地层、构造等情况,但所能达到的范围不大,只能用在离岸不远的海区。为了了解整个大陆架,甚至几百到几千米水深的海底地层情况,目前主要应用海洋地球物理勘探法。

地球物理勘探法,是根据地下岩石的密度、磁性、电性和弹性等物理性质的不同,在地面(或水面)上利用各种勘测仪器进行测量,了解地下构造情况的方法。这种方法不仅能为钻井提供必要的资料,同时还具有速度快、效率高、成本低的优点,故在海洋石油勘探中占有非常重要的位置。这种方法包括几种常用的具体方法,主要有重力勘探,磁力勘探,地震勘探,电法勘探,遥感、遥测勘探等方法。下面对这些常用的方法分别进行介绍。

1. 重力勘探

根据岩层密度差别探测地下地质情况的勘探方法,叫重力勘探。重力勘探是使用重力仪测量由于地下岩石密度不同而引起地面上各处的重力变化,以了解地质构造,寻找油气藏。

不同性质的岩石其密度不同,见表 1-5。由于岩石密度的不同而引起重力变化,这种变化叫做“重力异常”。这是由于任何两个物体间都存在着吸引力——万有引力,这个力的大小与两个物体的质量成正比,和它们之间距离的平方成反比。重力异常与岩石密度有着密切的关系,而不同密度的岩石在地下的分布情况与地质构造有很大关系。因而通过研究重力异常就可以了解地下岩石的性质和地质构造。

进行海上重力勘探作业时,可以把密封的重力仪放在海底,通过遥测取得重力资料;也可以把重力仪放在船上,在船的航行过程中连续测量;航空重力测量也正在迅速发展,精度不断提高,在海上油气勘探中将发挥越来越大的作用。

表 1-5 岩石密度

岩石名称	密度(g/cm^3)
沙 岩	1.8~2.8
孔隙沙岩	1.8~2.2
粘土页岩	2.7~2.8
石 灰 岩	2.3~3.0
岩 盐	2.1~2.2
玄 武 岩	2.7~3.2
花 岗 岩	2.5~3.1
石 油	0.6~1.0
煤	1.26~1.33

2. 磁力勘探

根据岩石磁性差别的勘探方法,叫磁力勘探。磁力勘探是使用磁力仪测量地下岩石磁性变化,来了解地下的地质构造,寻找油气藏的。

地球是一个巨大的天然磁体,周围存在着一个大磁场,就是地磁场。地磁场的强度在地球上的分布是不均匀的,它的变化有一定规律,即两极最强,向赤道逐渐减弱。但是,在量测各地的磁力时,常常发现有的地方磁场强度的变化会超过这一规律而出现突变,在磁力勘探上把这种突变现象叫做“磁力异常”。地面上的磁力异常往往与地下的岩石性质和地质构造有关。地下岩石随其所含的化学成分的不同,也会在地磁场中受到程度不同的磁化而具有磁性。岩石的磁性大小由它所含的磁性矿物(如磁铁矿)的多少决定。含磁性矿物多的岩石如火成岩类,

容易被磁化,磁化率高;含磁性矿物少的岩石如沉积岩类,就不容易被磁化,即磁化率低。表 1-6 列出了一些岩石的磁化率。

由于地下不同岩石的磁化率有高有低,它们的磁性就有大有小,所以影响了地磁场的强度分布规律,引起磁异常现象。磁力勘探就是根据地面不同地区的磁异常来探明地下储油构造的。

在海上进行磁力勘探有两种方式,一种是航空磁测,另一种是船曳磁测。为了消除机身及船体对测量结果的影响,在磁测时把磁力仪装在机身外或拖在船后一定距离的水中。磁力测量是沿着预先计划的测线连续进行的,通过磁力仪可获得每条测线的磁测剖面曲线,然后绘制出磁测平面剖面图。根据磁测结果,再结合有关地质调查资料便可分析地下储油构造。由于航空磁测效率高,不受地面条件限制,因此在石油勘探中往往用它做“开路先锋”,进行大面积普查工作。

3. 地震勘探

根据岩石弹性的差别进行勘探的方法叫地震勘探。地震勘探是通过观测和研究人工激发的地震波在岩石中的传播速度,了解地下地质构造的一种方法。它是石油勘探中十分重要的方法,也是精度较高的一种方法。根据统计,在石油勘探中地震勘探占所使用的方法的 90% 以上,目前世界上的一些大油田大部分是用这种方法找到的。

地震勘探时的地震波,是由人工爆炸方法产生的。人工爆炸可以在水深 3~4 m 处放药爆炸,在陆地可以在深 10~15 m 的地下或深达 150 m 的浅井中放药爆炸,产生巨大的震动,形成地震波的传播,再使用地震仪接收由地层反射和折射回来的地震波。地震波在地下传播时如果遇到岩层的分界面,就有可能被反射回来,称这种反射回来的波为“反射波”;同时地震波还会沿界面滑行一段距离,然后再折射回来,这种波叫“折射波”。地震波在不同岩石中的传播速度不同,见表 1-7。如果地震波在传播时遇到不同的岩层界面,那么在每层界面都可能产生反射和折射,这些反射波和折射波由于穿过的岩层和传播的距离不同,所以到达海面上地震接受器的时间也不同。因此,只要测出地震波开始传播的时间和到达海面接受器的时间,就能计算出地震波的传播速度,从而确定地下岩层界面的深度,了解地层起伏情况,找出有希望的储油构造。

海上地震勘探时,如以炸药作震源,要用两条船进行,一条船装地震仪器及有关设备进行观测;另一条船施放炸药,激发地震波。勘探工作在船舶航行中按预定的测线连续进行。测线的位置通常用无线电定位或人造卫星定位法测定。用炸药作人工震源有许多缺点,目前已采用高压气流和高压放电等方法代替炸药激发地震波,这种方法叫做非炸药震源。这种技术用

表 1-6 岩石的磁化率

岩石名称	磁化率
岩 盐	0.4×10^{-6}
石 灰 盐	0.8×10^{-6}
沙 岩	10^{-5}
页 岩	10^{-5}
花 岗 岩	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
玄 武 岩	$10^{-3} \sim 10^{-5}$
磁 铁 矿	10^4
石 油	0.8×10^{-6}
水	0.72×10^{-6}

表 1-7 各种岩石中地震波的传播速度

岩石名称	传播速度(m/s)
粘 土	1 200~2 500
泥质页盐	2 700~4 800
沙 岩	2 000~3 000
石 灰 岩	2 500~6 000
岩 盐	4 200~5 500
花 岗 岩	4 500~6 500
玄 武 岩	4 500~7 500
变 质 岩	3 500~6 500
水	1 430~1 590
冰	3 100~3 600

于海上地震勘探,具有速度快、效率高,既安全又经济等许多优点。

近年来,地震勘探技术发展很快,特别是采用数字地震仪,应用电子计算机处理系统及三维地震采集处理技术,自动地整理地震资料、绘制各种图表,使地震勘探跃向一个新水平。

4. 遥感、遥测勘探

近年来随着科学技术的进步,发展了遥感、遥测技术。遥感、遥测技术主要根据电磁波理论,如同一个雷达装置对有关测试目标发射电磁波,并接受反射回来的信号,最后通过整理形成连续雷达摄影照片。它的运载工具有飞机、飞船以及人造地球卫星等。过去普遍用飞机,1972年、1975年美国先后发射了两颗地球资源卫星,调查全球自然资源,它获得的信息资料广泛用于矿产勘探、农业、林业、海洋、地质领域等。石油地质勘探也在推广这种最新技术,它可以大大降低石油勘探的成本和时间。在美国阿纳达科盆地的勘探工作中使用了卫星雷达照片,节省勘探费达25%~30%。

(三) 钻井勘探法

上面介绍的地质调查法和地球物理勘探法,只是间接地推测地下有没有储油构造。为了证实储油构造中是否存在油气,还需要在物探已查明的有希望的储油构造上,用钻机钻穿地层,直接了解地下情况,这就是钻井勘探法,也叫钻探法。它是寻找油气藏的最后一个环节,也是最直接最可靠的办法。通过钻探,可以确切掌握油、气层的位置,特征和油气田的规模,储量,生产能力等情况,这些都是开发油气田必不可少的依据。

钻探法虽然最直接最可靠,但由于地下岩石比较坚硬,要钻一口几千米深的井需要大量的时间、人力、物力。尤其在海上进行钻探,需要在井位设置钻井平台或使用专门的钻井装置,同时,由于海上风、浪、流、冰、地震等自然因素的影响,使海上的钻探比陆上复杂得多,投资也比陆上大得多。一般海上钻井投资是陆上的3倍以上。所以要求在布置探井井位时必须十分慎重,充分利用已有的地质调查和地球物理勘探成果,深入地分析区域地质构造及油气聚集规律,选择最有利地区、最有利构造,确定必需的井数,最大限度地提高钻探效率,取全、取准第一手资料。

钻探时所获取的各项资料,是在钻井过程中通过地质录井、测井和试油等项重要工作得到的。下面介绍钻井中常用的地质录井方法、测井方法和试油方法。

1. 地质录井方法

(1) 岩屑录井 目前石油钻井大都采用旋转的转盘钻机。岩石经钻头旋转破碎成碎屑叫做岩屑。岩屑随钻井泥浆的循环,从井底升到地面,经泥浆槽口的振动筛存留在筛上,地质人员每隔一定时间采取沙样。如没有振动筛,可在泥浆槽中捞取。一般每向下钻进2~5 m取岩屑一次;在钻油层时,每钻1 m取一次。岩屑经过洗净晒干,用于分析井下所钻部位岩层的性质。因岩屑大小不同,随泥浆上返速度也不同,加之有时井壁坍塌掉块容易混杂,所以这种录井方式精度不高,应与其他录井资料综合分析。

(2) 岩心录井 在钻井过程中,用环状的取心钻头,从井底钻取一圆柱形的岩样(岩心)。对岩心进行直接观察和试验,取得岩层孔隙度和渗透率的数据,这是最直接、最可靠的录井方法。但因为取心钻进速度慢,所以只有在储油层、岩层分界面等地段才取心,这样可以提高钻进速度,降低钻井成本。从井里取出的岩心,洗净泥浆,按顺序放入岩心槽,编号并加以描述记录。对含油层的岩心应在擦净泥浆后用蜡封住,然后送化验室进行化验分析。

(3) 泥浆录井 在钻井过程中采用泥浆循环,冲洗井底,带出岩屑,平衡井身钻穿的地层