

中国地质大学（北京）
勘查技术与工程国家特色专业系列教材

钻井工程

ZUANJING GONGCHENG

● 主编 马孝春 王贵和 李国民

地质出版社

中国地质大学（北京）勘查技术与工程国家特色专业系列教材

钻井工程

主编 马孝春 王贵和 李国民

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统地阐述了石油的起源与石油产品的开发过程,分析了钻井工程设计的流程与内容,说明了石油钻机、钻具和钻井液的主要作用与控制要点,总结了小井眼钻井技术、钻直井、定向井、丛式井、大位移井、欠平衡钻井、喷射钻井、取心钻井等技术原理与设计参数,阐述了随钻测量、随钻测井和地质导向技术、油气井压力控制技术、固井与完井技术及钻井安全技术。

本书适合地质类院校的钻井工程方向的教师及学生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

钻井工程/马孝春等主编. —北京:地质出版社,
2010. 8

ISBN 978 - 7 - 116 - 06808 - 7

I. ①钻… II. ①马… III. ①油气钻井 IV. ①TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 150339 号

责任编辑:李惠娣

责任校对:杜悦

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部);(010) 82324514 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本:787mm × 1092mm $1/_{16}$

印 张:17.25

字 数:420千字

印 数:1—1000册

版 次:2010年8月北京第1版·第1次印刷

审图号:GS(2010)724号

定 价:25.80元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 06808 - 7

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

中国地质大学（北京）勘查技术与工程专业办学历史悠久，已培养了大批优秀专业人才。在总结多年教学实践和教学改革经验的基础上，我们组织本校优秀师资编写了一套独具特色的勘查技术与工程专业核心课程系列教材，共13部。其中《勘查技术方法概论》、《钻探工程学》、《钻探与施工机械》、《钻井液工艺原理》、《钻井工程》、《煤层气勘探与开发》、《岩石断裂与损伤》、《勘查工程专业英语》及《工程地质实习指导书》共9部由地质出版社出版，其余4部由中国建筑工业出版社出版。本套教材的编写与出版得到了国家特色专业建设项目和北京市特色专业建设项目的资助。

钻井工程是中国地质大学（北京）勘查技术与工程专业的主干课程，在大学本科三年级春季学期开设，教学计划为48学时。前续课程包括《综合地质学》、《钻探工程学》、《钻井液工艺原理》，后学课程有《钻井工程课程设计》等。

在油气勘探、开发、储运、炼制加工的四大过程中，钻井是一个技术含量高、耗资巨大的重要环节。因此，钻井工程课程在勘查技术与工程专业教学中的地位相当重要。为了让不具备相应专业背景的学生更好地学习本门课程，本书以浅显通俗的语言、较高的专业视角，比较全面地阐述了石油钻井工程的有关内容。

第一章简要介绍了从石油勘探到开发利用的简要过程，让学生对油气田的来源与开采有一个基本的认识。后面各章依次讲述了钻井工程设计，钻井设备与工具，钻井液，钻井技术，随钻测量、随钻测井与地质导向技术，油气井压力控制，固井与完井，钻井安全等技术。其中钻井技术是本书的核心内容，包含了小井眼钻井技术、钻直井技术、定向钻井技术、丛式井及多侧向分支井钻井技术、水平井钻井技术、大位移井钻井技术、欠平衡钻井技术、喷射钻井技术、取心钻井技术等。

本教材的编写强调内容的先进性和科学性，充分吸收了近年来国内外石油钻井领域的新成果，反映了目前各油田钻井现场的工艺设备与技术。

本书第一章、第二章、第五章、第六章、第九章由马孝春编写，第四章、第八章由王贵和编写，第三章、第七章由李国民编写，全书由马孝春统编定稿。杨浩、刘志清、魏新峰参与了部分章节和习题的编写工作，在此编者谨向他们表示诚挚的谢意！同时也向本书中所引用参考文献的著者或编者表示感谢！

由于编者水平有限，恳请读者对书中的错误与不妥之处批评指正。

编 者

2010年8月

目 录

前 言

第1章 石油的生成、勘探与利用	(1)
1.1 石油与天然气	(1)
1.1.1 石油的组成	(1)
1.1.2 石油的物理化学性质	(2)
1.1.3 天然气	(3)
1.2 油气藏的生成与运移	(3)
1.2.1 石油与天然气的生成	(3)
1.2.2 油气藏的生成	(5)
1.2.3 中国的油气田	(7)
1.3 油气勘探	(8)
1.3.1 地质调查法	(9)
1.3.2 地球物理法	(9)
1.3.3 油气遥感技术	(10)
1.3.4 钻井勘探法	(10)
1.4 油气井钻采技术	(12)
1.4.1 油气井钻井技术	(12)
1.4.2 油气田开采技术	(12)
1.5 油气集输、管道输送与储存	(13)
1.5.1 油田集输技术	(13)
1.5.2 油气管道输送与储存	(13)
1.6 石油的加工产品及应用	(15)
第2章 钻井工程设计	(17)
2.1 钻井工程设计的基本原则	(17)
2.2 钻井设计大纲	(18)
2.3 钻井工程设计程序流程	(19)
2.4 钻井工程设计的内容	(19)
2.4.1 井位选择和地层压力预测	(19)
2.4.2 设计时需收集的资料	(20)
2.4.3 井眼轨迹设计	(20)
2.4.4 井身结构设计	(21)

2.4.5	钻井液设计	(22)
2.4.6	钻头选择	(23)
2.4.7	水力参数设计	(23)
2.4.8	钻进参数设计	(23)
2.4.9	固井工程设计	(24)
2.4.10	钻机选择	(26)
2.4.11	成本预算	(27)
第3章	钻井设备与工具	(28)
3.1	石油钻机	(28)
3.1.1	井场布局	(28)
3.1.2	石油钻机的组成	(29)
3.1.3	石油钻机的分类	(36)
3.1.4	石油钻机的标准及基本参数	(36)
3.1.5	新型石油钻机	(39)
3.1.6	国内外石油钻机技术发展水平分析	(46)
3.2	钻头	(48)
3.2.1	钻头性能评价指标	(48)
3.2.2	刮刀钻头	(49)
3.2.3	牙轮钻头	(52)
3.2.4	金刚石钻头	(59)
3.2.5	石油钻头主要厂商	(69)
3.3	钻柱	(69)
3.3.1	钻柱的结构	(70)
3.3.2	钻柱的受力	(83)
3.3.3	钻柱强度设计	(86)
3.3.4	钻柱的疲劳破坏	(89)
3.4	钻井泵和钻井液净化设备	(90)
3.4.1	往复泵	(90)
3.4.2	离心泵	(96)
3.4.3	钻井液净化设备	(99)
第4章	钻井液	(103)
4.1	钻井液的定义和功能	(103)
4.2	钻井液的组成和分类	(103)
4.2.1	钻井液的组成	(103)
4.2.2	钻井液的分类	(104)
4.3	钻井液的性能	(107)
4.3.1	密度	(107)

4.3.2	钻井液的流变性	(107)
4.3.3	钻井液的造壁性能及滤失量测量	(109)
4.3.4	固相含量	(110)
4.3.5	酸碱度	(110)
4.4	油气层保护及完井液	(111)
4.4.1	储层损害的主要原因及防止措施	(111)
4.4.2	完井液	(112)
第5章	钻井技术	(114)
5.1	影响机械钻速的因素分析	(114)
5.2	小井眼钻井技术	(115)
5.2.1	小井眼钻机	(116)
5.2.2	小井眼钻井钻头	(118)
5.2.3	井下马达系统	(118)
5.2.4	液力加压系统	(119)
5.2.5	小井眼打捞、震击技术	(119)
5.2.6	小井眼连续取心技术	(119)
5.2.7	小井眼水平井钻井系统	(121)
5.2.8	小井眼钻井液	(122)
5.2.9	小井眼完井技术	(123)
5.3	钻直井技术	(123)
5.3.1	井斜的危害	(123)
5.3.2	井斜原因分析	(124)
5.3.3	满眼钻具组合控制井斜	(125)
5.3.4	钟摆钻具组合控制井斜	(125)
5.3.5	动力学防斜打直理论	(127)
5.4	定向钻井技术	(127)
5.4.1	定向钻井的基本概念	(127)
5.4.2	定向井的设计	(134)
5.4.3	定向控制技术	(137)
5.5	丛式井及多侧向分支井钻井技术	(141)
5.5.1	丛式井	(141)
5.5.2	多侧向井	(142)
5.6	水平井钻井技术	(143)
5.6.1	水平井的分类	(144)
5.6.2	水平井的优点	(144)
5.6.3	水平井钻井的难度及对策	(146)
5.6.4	水平井轨道设计原则	(148)

5.6.5	水平井钻井技术装备	(148)
5.6.6	超短曲率半径水平钻井系统	(150)
5.6.7	短曲率半径水平钻井系统	(150)
5.6.8	中曲率半径钻井系统	(151)
5.6.9	长曲率半径钻井系统	(152)
5.7	大位移钻井技术	(152)
5.7.1	大位移井的用途	(152)
5.7.2	大位移井关键技术	(153)
5.7.3	国外大位移井应用效果	(157)
5.7.4	国内大位移井应用情况	(157)
5.8	欠平衡钻井技术	(159)
5.8.1	欠平衡钻井的优点及缺点	(159)
5.8.2	欠平衡钻井类型	(160)
5.8.3	欠平衡钻井必备条件	(163)
5.8.4	欠平衡钻井工程设计的原则与步骤	(164)
5.8.5	适合欠平衡钻井的地层	(164)
5.8.6	井底负压值的设计	(165)
5.8.7	欠平衡钻井常用设备	(167)
5.8.8	欠平衡钻井井控技术	(168)
5.8.9	欠平衡钻井参数设计	(169)
5.8.10	欠平衡钻井液技术	(171)
5.8.11	欠平衡井完井技术	(172)
5.9	喷射钻井技术	(172)
5.9.1	喷射钻井的工作原理	(172)
5.9.2	喷射钻井的水力参数分析与设计	(175)
5.9.3	喷射钻井的工作方式	(181)
5.10	取心钻井技术	(183)
5.10.1	概述	(183)
5.10.2	取心工具的组成	(184)
5.10.3	取心工具的类型	(188)
5.10.4	取心工艺	(192)
第6章	随钻测量、随钻测井和地质导向	(195)
6.1	随钻测量	(195)
6.2	随钻测井	(198)
6.2.1	随钻电阻率测井	(198)
6.2.2	随钻声波测井	(200)
6.2.3	深度测量	(201)
6.2.4	成像测井	(201)

6.3	地质导向	(203)
6.3.1	地质导向钻井系统组成	(204)
6.3.2	测传导向马达	(204)
6.3.3	井场信息系统	(206)
6.3.4	井下控制器	(208)
第7章	油气井压力控制	(211)
7.1	井眼-地层压力系统	(211)
7.1.1	地下各种压力的概念	(211)
7.1.2	地层-井眼间压力平衡	(212)
7.2	溢流与井控	(213)
7.2.1	地层流体的侵入	(213)
7.2.2	气侵下的气液两相流	(213)
7.2.3	流体入侵与溢流	(214)
7.2.4	溢流后的关井	(215)
7.2.5	井控设备	(216)
7.3	压井	(219)
7.3.1	压井原理	(219)
7.3.2	压井数据计算	(220)
7.3.3	压井方法	(222)
第8章	固井与完井	(224)
8.1	井身结构设计	(224)
8.1.1	井身结构设计的原则	(224)
8.1.2	井身结构组成	(224)
8.1.3	井身结构的确定	(225)
8.2	套管柱设计	(226)
8.2.1	套管规范	(226)
8.2.2	套管柱受力分析	(227)
8.2.3	套管柱强度设计方法	(229)
8.3	下套管	(230)
8.3.1	套管柱附件	(230)
8.3.2	准备工作	(232)
8.3.3	下套管	(232)
8.4	油井水泥	(232)
8.4.1	基本要求	(233)
8.4.2	油井水泥的分类	(233)
8.4.3	水泥的外加剂	(234)
8.5	注水泥	(235)

8.5.1	注水泥设备	(235)
8.5.2	注水泥工艺流程	(235)
8.5.3	注水泥计算	(236)
8.5.4	防止水泥浆凝固过程中的油、气、水窜	(238)
8.6	固井质量检测 and 评价	(239)
8.7	完井	(240)
8.7.1	钻开油气层	(240)
8.7.2	完井方式选择	(240)
8.7.3	完井井口装置	(244)
第9章	钻井安全	(247)
9.1	井喷失控及处理	(247)
9.1.1	井喷事故的危害	(247)
9.1.2	井喷的原因	(248)
9.1.3	井喷的预防	(248)
9.1.4	井喷前的预兆	(250)
9.1.5	井喷事故的处理	(250)
9.1.6	井喷事故实例分析	(251)
9.2	井漏及处理	(252)
9.3	卡钻及处理	(253)
9.3.1	卡钻的类型、原因及预防	(254)
9.3.2	卡钻事故的处理	(255)
9.4	钻具事故及处理	(255)
9.5	落物事故及处理	(257)
附 录	(258)
参考文献	(266)

第1章 石油的生成、勘探与利用

石油在国民经济中的地位和作用是十分重要的，被誉为“黑色的金子”、“工业的血液”等，也是重要的化工原料。

石油的寻找到利用，大致要经过四个主要环节，即寻找、开采、输送和加工。这四个环节一般又分别称为“石油勘探”、“油田开发”、“油气集输”和“石油炼制”。石油勘探是为了探明地下油气藏的位置，确定油气藏的范围、类型、储量；油田开发是把已探明的油气资源开采出来；油气集输是指将油、气集中、计量、处理后，输送到使用或加工地点；石油炼制是把油、气加工成各种石油产品、化工产品及其他工业原料。本章对这四个环节进行简要介绍，以后各章详细探讨石油钻井技术。

1.1 石油与天然气

1.1.1 石油的组成

石油是在地下岩石中生成的、液态的、以碳氢化合物为主要成分的可燃性矿产。从地下开采出的石油，没有经过加工提炼成各种产品以前通称为原油。原油中的化学元素主要是碳、氢、氧、氮、硫，其中碳和氢所占的比例最高，为95%~99%，剩下的氧、氮、硫和其他微量元素只占总含量的1%~5%。

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，按照石油中所含的主要烃类，可把石油分为三大类：烷族石油、环烷族石油和芳香族石油。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数量的芳香族。含烷烃多的油质轻，含环烷烃、芳香烃多的油质重。烷烃的主要物理性质见表1.1。

表 1.1 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	0.4240
乙烷	C ₂ H ₆	气体	-182.7	-88.6	0.5462
丙烷	C ₃ H ₈	气体	-187	-42.2	0.5824
丁烷	C ₄ H ₁₀	气体	-138.3	-0.5	0.5788
戊烷	C ₅ H ₁₂	液体	-129.7	36.1	0.6263
十六烷	C ₁₆ H ₃₄	液体	18.1	286.5	0.7733
十七烷	C ₁₇ H ₃₆	固体	22	303	0.7706

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。

1.1.2 石油的物理化学性质

(1) 颜色

石油呈现的颜色有无色、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。因此，石油颜色越浅，质量越好。

(2) 密度

密度是指在标准条件下，单位体积内的原油质量，单位为 t/m^3 或 g/cm^3 ，原油密度一般在 $0.79 \sim 0.95 \text{g/cm}^3$ 。标准条件下，原油密度与4℃时纯水密度的比值，称为原油相对密度。

(3) 粘度

粘度是指液体本身发生相对位移时所受的内摩擦力。原油粘度用符号 μ 表示，单位为 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ （毫帕·秒）。石油粘度越大就越不易流动，石油的这种性质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的目的。

(4) 溶解性

石油难溶于水，但易溶于有机溶剂。石油具有溶解氯仿、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。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。

(5) 荧光性

石油在紫外线照射下，可发出特殊“光亮”，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。

(6) 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，这个旋转角称为旋光角。具有使偏光面发生旋转的特性称为旋光性。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。

(7) 凝固与液化

原油失去流动性的温度或开始凝固时的温度称为凝固点。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态、固态；相反地，有时可以液化。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。原油中含石蜡少，重组分含量低，凝固点低，利于开采和集输。凝固点在 40°C 以上的原油称为凝油。石蜡含量越高，凝固点越高；相反，石油中轻质组分含量越高，含石蜡量越少，凝固点就越低。

(8) 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。

1.1.3 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(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)、丁烷(C_4H_{10})以及戊烷(C_5H_{12})。除此之外，在天然气中还有氮气(N_2)、硫化氢(H_2S)、二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)等气体。一般气田中，甲烷含量约占天然气总体积的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%以上的称为干气；乙烷、丙烷等重气体烷烃和水分含量在10%以上的天然气称为湿气。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，因此常常依据湿气发现油藏。

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）。

1.2 油气藏的生成与运移

1.2.1 石油与天然气的生成

对油气生成的认识，最基本的有两种观点，即有机生成学说和无机生成学说。

有机生成学说认为石油是由生物死亡后转变成的。其根据是：几乎所有的油田都是在沉积岩中发现的，而沉积岩中可以见到丰富的生物遗迹；通过实验，生物体中三大组成部分的蛋白质、碳水化合物、脂肪等在一定条件下可以形成与石油中碳氢化合物相类似的物质；在石油中发现血红素和叶绿素等有机物质，前者是来自动物的血液，后者则来自植物的叶绿素；石油具有的旋光性和奇数碳的优势也是生物具有的特征。而对这些现象无机生成学说则无法解释。目前，油气生成的研究方法和内容都是以这一学说作为出发点的。

无机生成学说尽管对有机学说的某些根据无法辩驳，但也提出了依据和值得重视的质

疑。主要依据是，通过室内实验，用无机合成的办法生成了石油中的碳氢化合物；通过对天体的观察发现，某些无生命的星体却有碳氢化合物的存在；还有的提出，石油是来自地球更深处的火成岩。因此，对有机学说提出了质疑：如果大量生物的突然死亡又奇妙地聚集在一起很难理解；15 亿年前的地球尚无任何生物，为什么在那么老的地层中还找到了石油等。

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。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。

根据生物学和地史学的研究，在距今 10 多亿年前，地球上就出现了生物，随着历史的发展，生物的数量和种类也越来越多，生物的大量繁殖和死亡直到现在还在继续进行。一个硅藻在适宜的条件下，8 天内可以繁殖 10^{36} 个后代，质量可以达到 1.4×10^{17} t；在现代的一些海域中，甚至由于海藻的死亡而改变海水的颜色。

大量的生物，主要是海洋和湖泊中的浮游动物、浮游植物、细菌及陆生高等植物等，在它们死亡后，有机质的一部分被氧化变成二氧化碳逸散了，一部分则随着泥沙沉积下来，成为生成油气的物质来源。

从油、气生成的过程可以看出，只要能满足有利于生物残骸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 1.2 是目前国内外通用的地质年代表。

表 1.2 地质年代表

代	纪	代号	主要特点及主要生物界情况
新生代 Cz	第四纪	Q	地面发展成现在形式，人类出现
	新近纪	N	地表表面初具现代轮廓，哺乳动物世界，古近纪开始出现接近人类的生物，显花植物茂盛
	古近纪	E	
中生代 Mz	白垩纪	K	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	
	三叠纪	T	
古生代 Pz	二叠纪	P	两栖动物世界，孢子植物茂盛，形成广大煤田
	石炭纪	C	
	泥盆纪	D	鱼的世界，孢子植物开始出现
	志留纪	S	
	奥陶纪	O	
	寒武纪	ε	
元古宙 PT	震旦纪	Z	岩石变质程度较浅，有原始海绵和低级藻类植物
太古宙		AR	岩石变质程度极深，未找到化石
整个地质发展阶段			地质作用开始

天然气作为石油的“伴侣”，虽然在组成上都以碳氢化合物为主要成分，但天然气的生成条件要比石油更为多样化。就生成阶段来说，石油要达到一定深度才能大量生成，而天然气从浅到深都能生成；就物质来源来说，生成石油主要以水中浮游的动、植物或称腐泥型有机质为主，而生成天然气，除此以外，还可以有高等植物或称腐殖型的有机质；就成因来说，有有机成因的，也有无机成因的。这种多样化的成气条件为我们提供了更为广阔的找气领域。

1.2.2 油气藏的生成

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称为生油层，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，如砂岩、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称为储集层或储油层。

不同于一般的固体矿藏，如铁矿或煤矿，它们在哪里形成，就可以在哪里找到。油、气存在一个从生油层到储油层，以及储油层怎样把油、气储集起来的问题。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，导致岩石发生翘曲和断裂，更促使生油层内的油、气向储油层运移。

从生油层向储油层流动称为“一次运移”，也称为“初次运移”，在储油层内流动称为“二次运移”。初次运移的主要动力是压力。这种压力是来自沉积物本身的重量。二次运移的主要动力是浮力。浮力来自油气本身，因为油、气的密度比水小，在水中有浮升作用，当油气进入含水的运载层后，油气就在浮力的作用下朝着高处运移和集中，如图 1.1 所示。

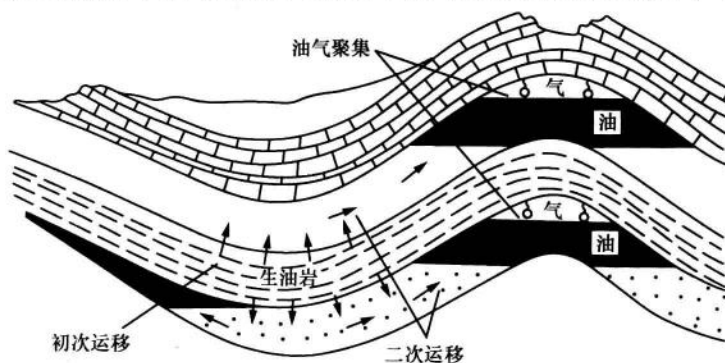


图 1.1 初次运移和二次运移示意图

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，称为储油构造。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。

综上所述，油气藏形成的过程可以概括为石油生成—运移—聚集—保存。油气藏形成的条件可以归纳为四个必要条件，即要有生油层、储油层、盖层和保护层，简称为生、储、盖、保四要素。

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向上凸起，呈覆碗状，称为背斜构造，这种油气藏称为背斜油气藏，如图 1.2 所示。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于这种类型。

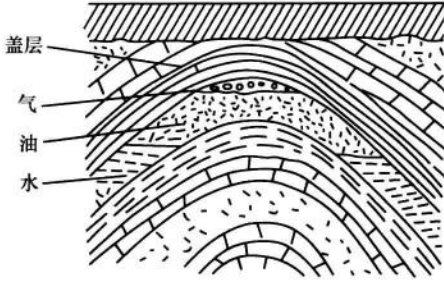


图 1.2 背斜油气藏

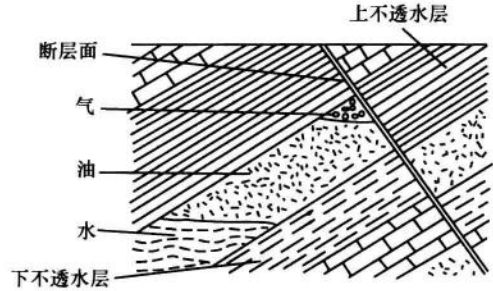


图 1.3 断层油气藏

(2) 断层油气藏

地壳运动时，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。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，如图 1.3 所示。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、胜利等油田就属于这一类型。

(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称为不整合面。如不整合面上有不透水层，下有储油层，而储油层两侧又有不透水层遮挡，就可形成地层油气藏，如图 1.4 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，称为岩性油气藏，如图 1.5 所示。

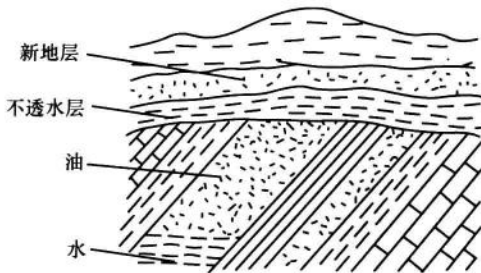


图 1.4 地层油气藏

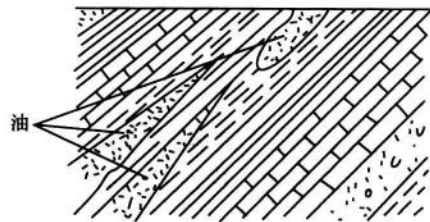


图 1.5 岩性油气藏

(5) 碳酸盐岩油气藏

碳酸盐岩类油气藏包括石灰岩、生物灰岩及生物碎屑石灰岩油气藏。常见的以孔隙、溶洞和裂缝储油，其构造形态不一，图 1.6 也属于背斜油气藏类型，也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），大多数出自碳酸盐岩油气藏。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。

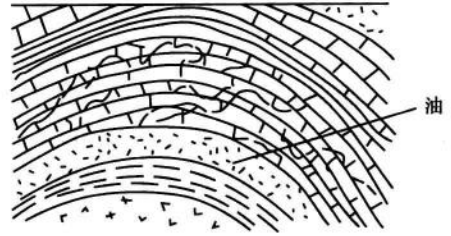


图 1.6 碳酸盐岩油气藏

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。

1.2.3 中国的油气田

我国富含油气资源，含油气盆地约有 50 个。其中主要有：松辽盆地、渤海湾盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地和海域含油气盆地，如图 1.7 所示。

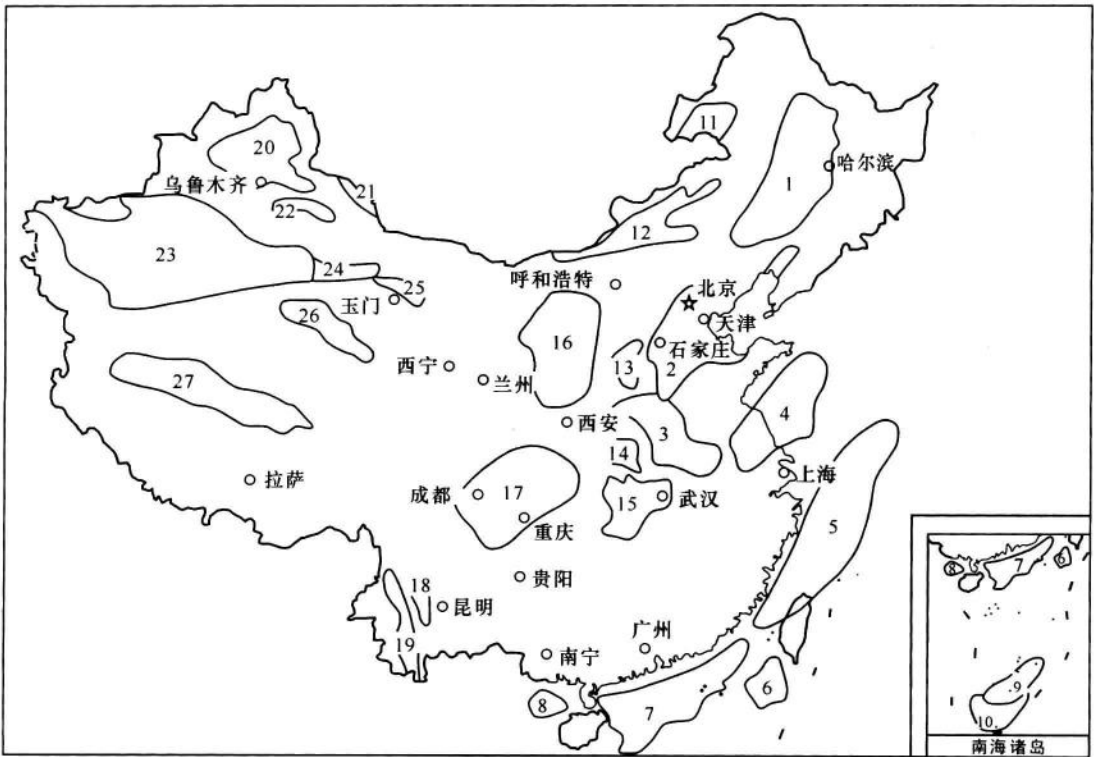


图 1.7 中国陆地及海域含油气盆地略图

- 1—松辽盆地；2—渤海湾盆地；3—华北南部盆地；4—南黄海盆地；5—东海盆地；6—台湾西南盆地；7—珠江口盆地；8—北部湾盆地；9—太平礼乐盆地；10—曾母暗沙盆地；11—海拉尔盆地；12—二连盆地；13—沁水盆地；14—南襄盆地；15—江汉盆地；16—鄂尔多斯盆地；17—四川盆地；18—楚雄盆地；19—兰坪思茅盆地；20—准噶尔盆地；21—三塘湖盆地；22—吐鲁番盆地；23—塔里木盆地；24—敦煌盆地；25—酒泉盆地；26—柴达木盆地；27—羌塘盆地