

登录号	147182
分类号	P618.130.2
种次号	198

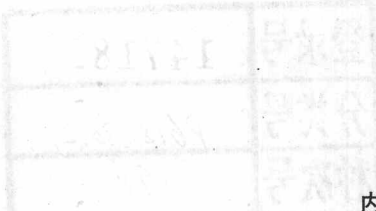
含油气沉积盆地地质基础

杨俊杰 编著



石油大学 0150333

石油工业出版社



内 容 提 要

本书系杨俊杰教授四十年来石油地质勘探经验的系统总结。其从大地构造学说的角度对沉积盆地进行了认识、分析和分类，归纳出了沉积盆地的油气勘探基本方法，对今后的油气勘探有重要的理论与现实意义。

图书在版编目 (CIP) 数据

含油气沉积盆地地质基础/杨俊杰编著.
北京:石油工业出版社,1999.12
ISBN 7-5021-2792-5

- I. 含…
- II. 杨…
- III. 含油气盆地:构造盆地-地质构造-研究
- IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 51818 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 405 千字 印 1—500
1999 年 12 月北京第 1 版 1999 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2792-5/TE·2185

定价: 42.00 元

序 言

杨俊杰教授编著的《含油气沉积盆地地质基础》一书由石油工业出版社出版，相邀为序，吾欣然命笔。

沉积盆地的研究是当前地质科学界关注的热点之一。由于其涉猎领域广而深、探索对象繁多以及与石油工业发展密切相关等原因，理所当然地引起了油气地质勘探人员的极大兴趣和关注。

研究含油气沉积盆地是进行油气勘探活动的基础。着眼于含油气沉积盆地的整体并进行综合分析，是推动一个地区油气勘探取得成功的必由之路。

该书遵循有关大地构造学说对沉积盆地进行认识，紧密结合油气勘探实际分析了沉积盆地成因，探讨了沉积盆地分类、论证了油气成藏的地质因素，归纳了沉积盆地地质分析方法；其继承中有扬弃，综合中有发展，对深入分析沉积盆地地质基础、拓展油气勘探视野、发现新的油气聚集区带均有理论与现实意义。

本书的主要特点：一是深入浅出，理论紧密联系实际；二是学术观点兼容并包，继承中有所发展；三是深度与广度结合，综合中有所创新。

杨俊杰教授四十余年来一直未曾间断地工作在我国油气地质勘探战线上，参加了有关地区的地质调查的研究、组织、指挥等工作，积累了丰富的实践经验；具体地掌握了含油气沉积盆地的地质综合分析方法。本书所论，正是他在这方面的系统总结。

更令人高兴的是，杨俊杰教授在写作中心态平静，意境坦然，可谓“虽未量岁功，即事多所欣”。愿此书能在我国油气勘探活动中起到“润物细无声”的作用。

田在艺

1998年12月

前 言

余躬行于陕甘宁石油勘探四十余年，以勤学自勉，以敬业自励；少隙，无它，仅赋诗言志、翰墨抒怀耳。

数十年虽似弹指一挥间，然师友教诲未敢淡忘，实践得失必究其因。吾深知，人非圣贤，需学而知之；知而行者则达，不知而行者必失，故有枕读思考之习、漫路求索之好。今，虽年逾花甲，回首往事，仍心系未竟之业，遂生“博而专者事成，坚而韧者业兴”之想，乃得谢客两春秋编著《含油气沉积盆地地质基础》一书。

书稿十章，纵论沉积盆地成因与分类，阐述油气成藏条件，综合盆地分析方法，展望油气勘探方向，介绍中国沉积盆地分布格局，力图兼容并包，有主有从。诚然，因知识局限，失之偏颇者亦所难免。

值此书稿修成之际，吾衷心感谢 CNPC 勘探局之关怀与支持，衷心感谢田在艺院士、张传淦、赵重远、汤锡元、邸世祥、叶俭、赵正璋、张国栋、李银德、宋国初、裴锡古等教授以及荣春龙高级工程师之勉励与帮助。

编 著

1998 年 12 月

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 含油气沉积盆地及其分布	(1)
第二节 油气勘探的方向	(5)
第二章 含油气沉积盆地成因	(9)
第一节 地球演变与沉积盆地的产生	(9)
一、地球演变与沉积盆地的关系	(9)
二、形成沉积盆地的地质条件	(9)
第二节 形成沉积盆地的内因学说	(12)
一、重力成盆	(12)
二、热力成盆	(13)
三、构造应力成盆	(16)
四、形成沉积盆地的地球内动力讨论	(18)
第三节 沉积盆地形成外因的思考	(21)
第三章 含油气沉积盆地分类	(24)
第一节 含油气沉积盆地分类现状	(24)
一、沉积盆地与油气的联系	(24)
二、含油气沉积盆地分类现状	(25)
三、对已知含油气沉积盆地分类的认识	(31)
第二节 含油气沉积盆地综合成因分类研究	(32)
一、含油气沉积盆地的基本构造背景	(32)
二、含油气沉积盆地的基本沉积类型	(34)
三、含油气沉积盆地综合成因分类	(36)
第四章 烃源岩及其评价方法	(43)
第一节 油气有机成因学说的发展	(43)
一、油气成因回顾	(43)
二、陆相生油学说的兴起及其烃源岩地球化学特征	(43)
第二节 烃源岩评价方法	(45)
一、有机地化法	(45)
二、热解轻烃法	(54)
三、气相色谱法	(57)
四、油源对比指标	(60)
第五章 沉积盆地中的油气储集体类型	(62)
第一节 划分油气储集体的基本准则	(62)
第二节 油气储集体类型	(62)
一、沉积岩油气储集体	(62)

二、岩浆岩油气储集体·····	(78)
三、变质岩油气储集体·····	(79)
第六章 油气储集体物性及成岩后生作用的模拟实验研究·····	(81)
第一节 油气储集体物性评价·····	(81)
一、油气储集体物性参数·····	(81)
二、碎屑岩油气储集体孔隙结构评价·····	(84)
三、碳酸盐岩油气储集体物性的地质评价·····	(89)
第二节 沉积岩油气储集体的成岩后生作用及其模拟实验研究·····	(94)
一、沉积岩的化学成分·····	(94)
二、沉积岩油气储集体的化学作用·····	(96)
三、沉积岩油气储集体成岩后生作用模拟实验研究·····	(99)
第七章 含油气沉积盆地中的油气运移及其运聚场·····	(112)
第一节 油气运移·····	(112)
一、油气初次运移·····	(112)
二、油气二次运移·····	(117)
第二节 含油气沉积盆地中的油气运聚场·····	(122)
一、油气运聚场的地质要素·····	(122)
二、含油气沉积盆地中的油气运聚场类型·····	(122)
第八章 沉积盆地中的油气圈闭·····	(127)
第一节 油气圈闭学说的演变·····	(127)
一、油气圈闭的内涵·····	(127)
二、背斜圈闭学说的建立·····	(128)
三、对非构造油气圈闭的认识·····	(128)
四、油气圈闭分类演变·····	(130)
第二节 油气圈闭理论研究的进展·····	(131)
一、确立古地貌油气圈闭的重要地位·····	(131)
二、关于成岩油气圈闭·····	(132)
三、关于水作用油气圈闭·····	(132)
四、油气圈闭新概念及其可测性标志·····	(135)
五、油气圈闭序列·····	(135)
六、油气圈闭分类的四面体模式·····	(136)
第三节 油气圈闭综合成因分类·····	(136)
一、分类准则·····	(136)
二、油气圈闭综合成因分类·····	(136)
第九章 含油气沉积盆地综合地质分析·····	(142)
第一节 含油气沉积盆地综合地质分析的基本原则·····	(142)
第二节 含油气沉积盆地地质分析的主要内容及方法·····	(142)
一、含油气沉积盆地地壳结构分析·····	(142)
二、含油气沉积盆地基底分析·····	(151)
三、含油气沉积盆地的沉积盖层分析·····	(154)

四、成藏类型及含油气区带分析·····	(177)
第十章 中国主要含油气沉积盆地·····	(181)
第一节 中国含油气沉积盆地分布格局·····	(181)
第二节 中国主要含油气沉积盆地简介·····	(181)
一、松辽盆地·····	(181)
二、渤海湾盆地·····	(184)
三、南襄盆地·····	(193)
四、四川盆地·····	(195)
五、陕甘宁盆地·····	(200)
六、柴达木盆地·····	(205)
七、准噶尔盆地·····	(209)
八、塔里木盆地·····	(213)
九、吐鲁番—哈密盆地·····	(217)
十、珠江口盆地·····	(219)
附录 沉积岩油气储集体成岩后生作用模拟实验·····	(223)
参考文献·····	(252)

第一章 总 论

第一节 含油气沉积盆地及其分布

地球，分异明显、圈层有序（地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈），是迄今所知人类文明活动最活跃的天体。

地球两极压扁，为一旋转椭球体，赤道半径 6378km，极地半径 6356.755km，扁率 1:298.257。由卫星测量资料与标准椭球体表面形态的比较可知，地球北极向外凸出，南极向内凹入；从赤道到南纬 60°间是高于基准面的地区，从赤道到北纬 45°间是低于基准面的地区。这表明地球表面经受着巨大荷载，而这种应变现象的出现只能用地球内部更大的机械应力或地幔大范围流动来解释^[1]。

地球，总体积为 $1.083 \times 10^{12} \text{km}^3$ ，总质量为 $5.977 \times 10^{21} \text{t}$ 。地球表面总面积为 $5.11 \times 10^8 \text{km}^2$ ，其中 $3.62 \times 10^8 \text{km}^2$ 为海洋，占 71%； $1.49 \times 10^8 \text{km}^2$ 为陆地，占 29%。陆地的 75% 为沉积岩所覆盖；海洋中的面积为 $2750 \times 10^4 \text{km}^2$ 的陆架区以及 $3870 \times 10^4 \text{km}^2$ 的陆坡区也是发育沉积岩的重要场所。尽管沉积岩主要堆积于中生代盆地中，然而许多岩浆岩、变质岩地区往往也可被追溯为古沉积盆地。所以，从某种意义上说，地壳演变史也是沉积盆地产生、发展、消亡、叠加循环不已的历史。诚然，这一历史也是地壳的三大地质运动（造陆运动、造海运动和造山运动）在漫长地质年代中的记录。

已知全球沉积岩厚达千米、范围在千平方千米以上的沉积盆地有 600 个以上，累计面积为 $7746.3 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占全球沉积岩覆盖区 ($15960 \times 10^4 \text{km}^2$) 的 44% (图 1-1, 图 1-2)。其中，海洋盆地为 $2639.5 \times 10^4 \text{km}^2$ (Halbouty, 1982)，陆上盆地为 $5124.8 \times 10^4 \text{km}^2$ (Grossling, 1976)。在这些盆地中，石油总资源量约 $2200 \times 10^8 \sim 3290 \times 10^8 \text{t}$ 。从世界特大油、气田的分布来看，其 72% 分布于东半球，28% 分布于西半球，该比例数恰与其陆地面积之比相吻合^[2]。

中国是一个幅原辽阔的国家，领土面积为 $960 \times 10^4 \text{km}^2$ ，领海面积约 $300 \times 10^4 \text{km}^2$ 。从成盆的区域地质构造背景来看，其主要受控于太平洋板块的俯冲和特提斯古沉降带的隆升；共有沉积盆地 373 个，累计面积 $548 \times 10^4 \text{km}^2$ ，约占全国沉积岩覆盖区 ($720 \times 10^4 \text{km}^2$) 的 76% (图 1-3)。若与全球沉积盆地相比，面积大于 $50 \times 10^4 \text{km}^2$ 者，中国占其总面积的 5.5%，全球则占其盆地总面积的 15%； $10 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{km}^2$ 者，中国占其盆地总面积的 39%，全球则占其盆地总面积的 46%； $1 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4 \text{km}^2$ 者，中国占其盆地总面积的 44.5%，全球则占其盆地总面积的 32.1%； $0.3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4 \text{km}^2$ 者，中国占其盆地总面积的 11%，全球则占其盆地总面积的 6.3%。由此可知，虽然中国沉积盆地的覆盖率较世界的为大，但其大型沉积盆地的比例显然偏少。

盆地一词被引入石油地质学后，其内涵便变得更为深广。它既指一个沉积场所，又指一个构造单元，同时还是发育油气田的摇篮，因此理所当然地受到石油地质家的极大关注。

油气聚集，既可以单一类型分布于盆地的某一地区、某一构造单元、某一沉积相带、某一水动力环境或某一古地貌高地，也可以多种类型复合的形式广布于全盆地。就其受控因素

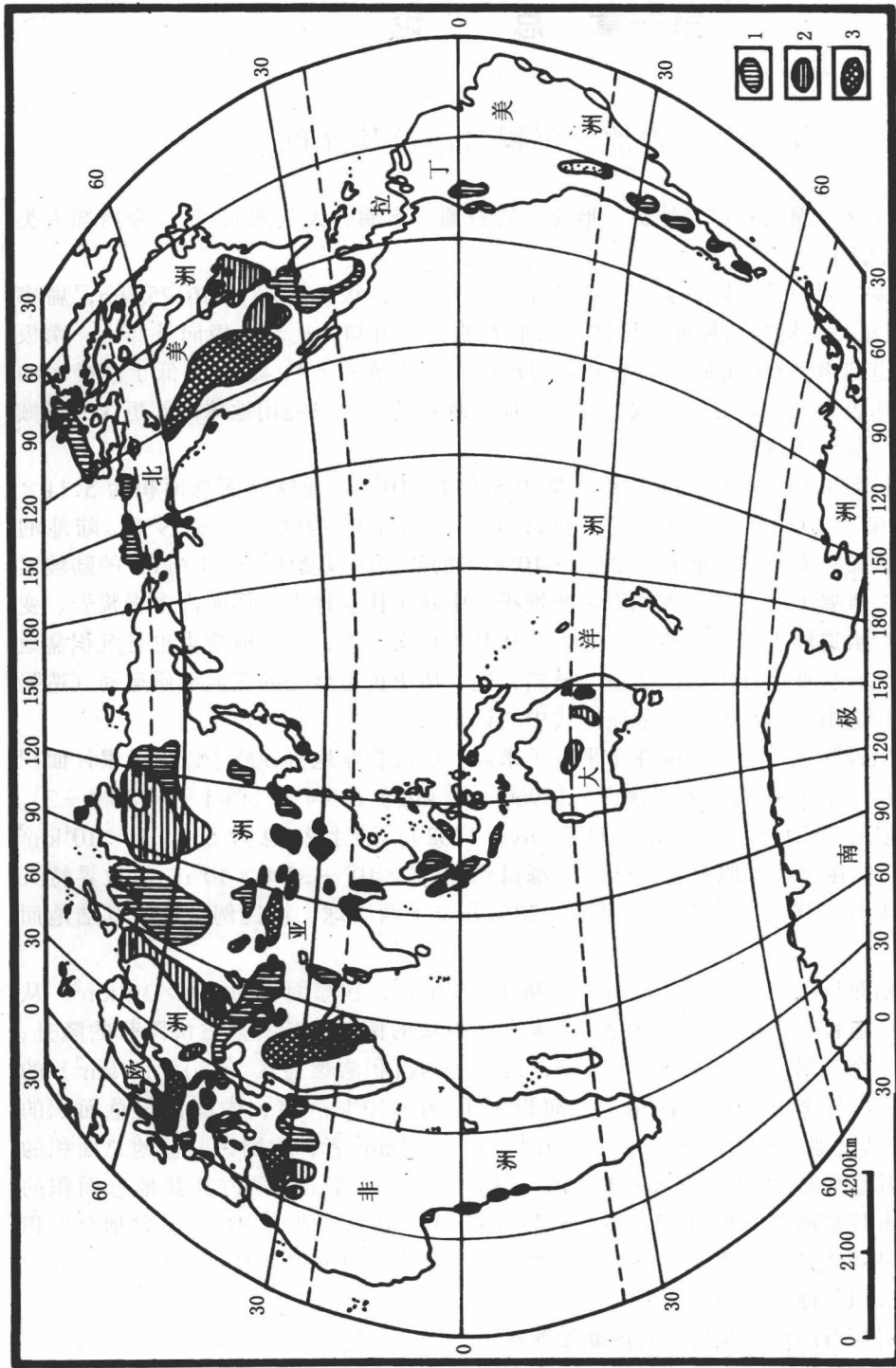


图 1-1 世界主要含油气沉积盆地分布图 (据甘克文, 田在艺, 1996)

1—中新世界产油气盆地; 2—中生界 (或有中上元古界) 产油气盆地;

3—古生界 (或有中上元古界) —中新世界产油气盆地

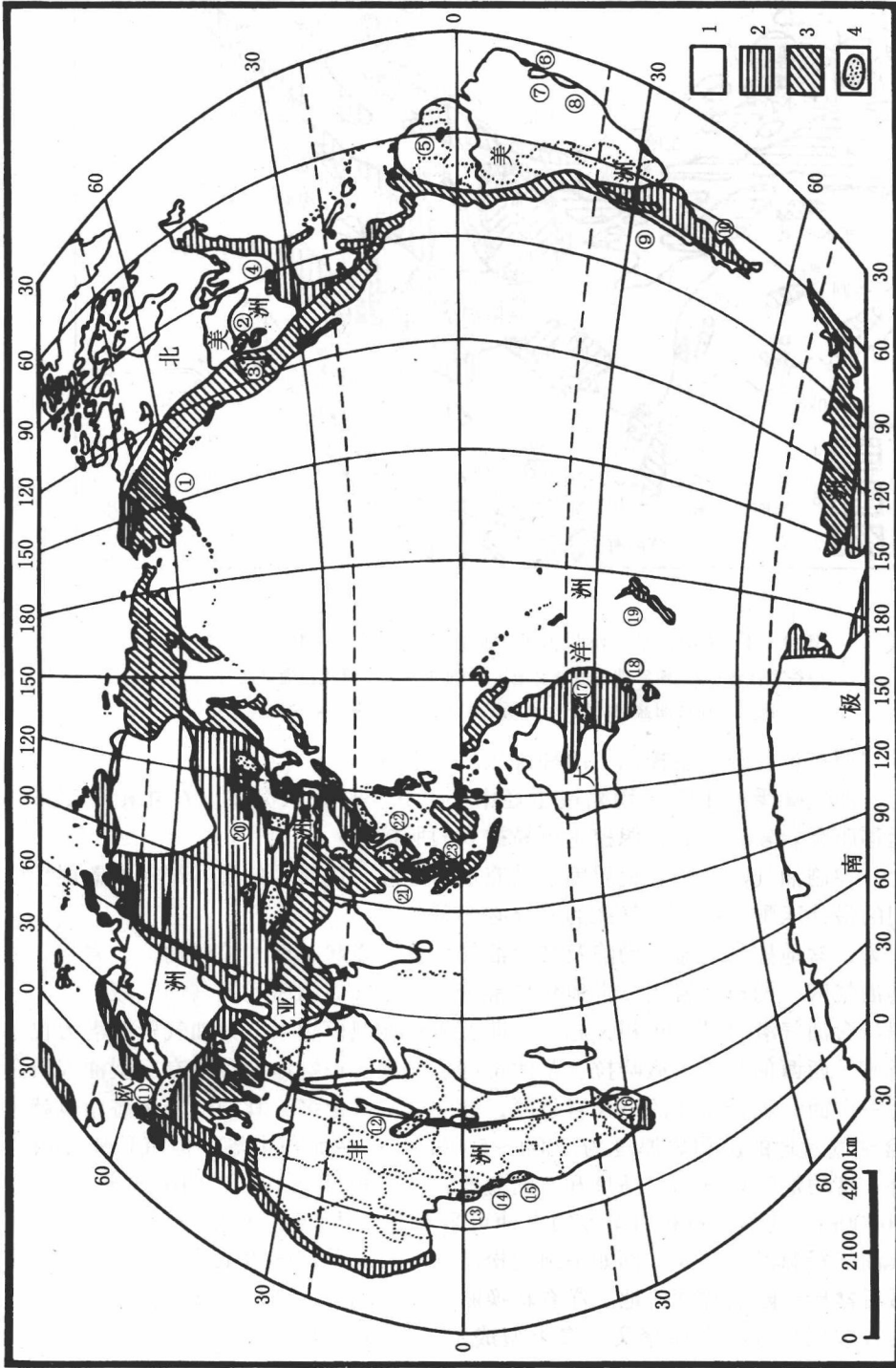


图 1-2 世界陆相含油气盆地分布图 (据甘克文, 1991)

1—前寒武纪克拉通区; 2—古生代褶皱或后海西克拉通区;

3—中生代褶皱区; 4—陆相盆地

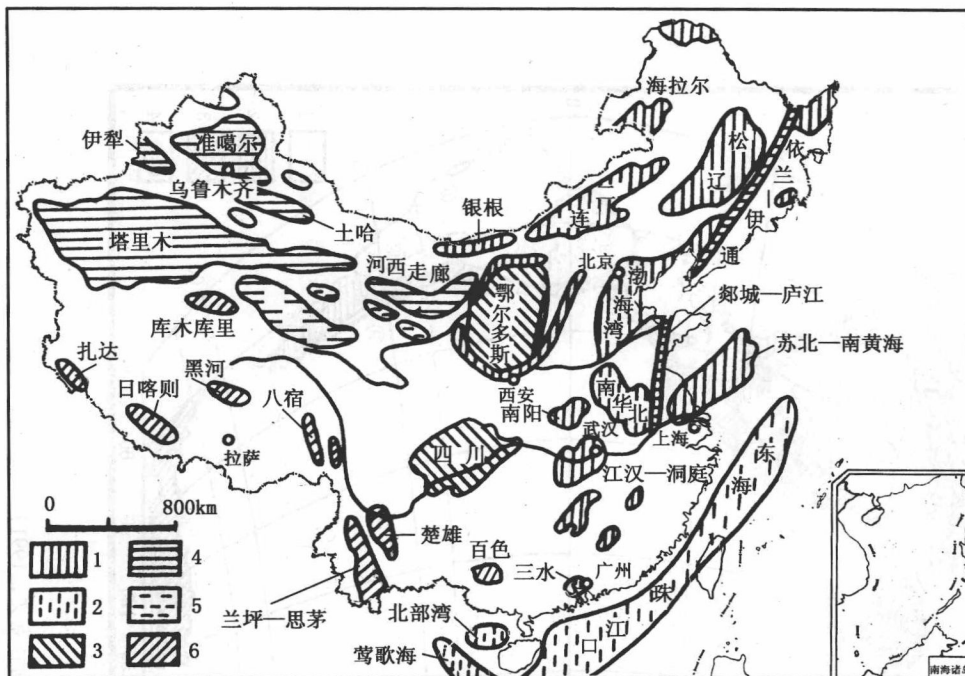


图 1-3 中国含油气沉积盆地类型图 (据田在艺, 1996)

1—裂谷型盆地; 2—弧后被动边缘盆地; 3—前陆盆地 (具克拉通基底);

4—陆内挤压挠曲盆地; 5—山间断陷盆地; 6—走滑断陷盆地

而论, 一向都是“源控论”与“主控论”两种说法。

源控论认为, 油气藏受控于生烃坳陷或生烃中心, 并作环带状分布。在陆相沉积条件下, 因其油气运移距源岩较近, 故, 源控论更易被人们所接受。

主控论认为, 控制油气田的主要地质因素是充足的烃源、优质的储层、严密的盖层、巨大的圈闭, 它们的最佳匹配是形成油气藏的充分必要条件。

盆控论者认为, 盆地控制隆起、坳陷及其含油气系统, 隆起、坳陷控制构造、岩相、古地貌异常带及其油气区, 构造、岩相、古地貌异常带控制油气圈闭序列及其油气藏。

沉积岩体积与含油气潜力具有正相关趋势, 即沉积盆地规模越大, 其油气资源潜力也越大。例如, 波斯湾、西西伯利亚、撒哈拉、墨西哥湾等大型沉积盆地都存在有巨型油气田和大型油气区。另一方面, 沉积盆地的沉积岩越厚, 含油气层系越多, 其油气资源潜力也就越大。全球 70% 含油气盆地的沉积岩厚度为 2000~5000m。一些面积中等、但沉积厚度可观的盆地通常都有丰富的油气。例如, 马拉开波湖盆地, 其面积只有 $10.37 \times 10^4 \text{ km}^2$, 沉积岩却厚达 3000~10000m, 其第三系和白垩系的石油可采储量竟达 $46 \times 10^8 \text{ t}$ 。再者, 盆地的地温梯度越高, 其油气资源潜力越大。例如中国的松辽盆地的地温梯度达 $42^\circ\text{C}/\text{km}$ 。通常, 构造裂谷盆地、弧后盆地、陆陆碰撞盆地、洋脊转换断层盆地都属于高热流盆地; 而克拉通边缘盆地则往往具有多层生烃、多期聚集、多类型成藏的地质特点; 所以, 它们的“满盆油气”勘探前景更值得重视。

应当指出, 背斜学说和陆相生油理论都使沉积盆地的油气勘探取得了载入史册的贡献。因为背斜学说推动了全球油气工业的产生、发展和壮大, 而陆相生油理论是有机生烃学说的

重大发展,其在占沉积岩 25%~50%的中新生界陆相地层中开拓了油气工业的疆界。

目前,全球油气勘探正在海相、陆相地层中全方位地向纵深发展。

第二节 油气勘探的方向

一、向深沉积盆地找油找气

一般情况下,地壳深处地层致密,地温较高(大于 120℃),已不利于石油的保存,人们甚至一度将 4500m 的井深作为油气的“死亡”深度。然而,越来越多的油气发现却证明了上述认识的片面性。实践表明,所谓“冷盆”的深部和新沉降拗陷区的深部都应是勘探油气的重点领域。

当今,全世界有 100 多个国家、地区进行了井深大于 4500m 的油气勘探,已发现埋深大于 4000m 的油气藏千余个;其油气储量属于中生界者为 49%,属于古生界者为 34%,属于新生界者为 17%,且多半分布在碳酸盐岩地层中^[4]。美国所钻的深探井最多(约占全世界的 74%),已在西内盆地阿纳达科拗陷发现埋深 8088m 的梅菲尔德气田,还在墨西哥湾发现了埋深 6530m 的贝尔湖油田和华盛顿湖油田。前苏联所钻的深探井约占全世界的 17%,曾先后在阿塞拜疆、第聂伯—顿涅茨盆地、南里海盆地等 20 个地区钻探,并在其中 12 个古生代含盐岩盆地的深部发现了油气藏。

从有机质保存状况分析,在埋深 6~9km 的沉积岩中,有机碳的含量仍然很高。例如,滨里海盆地中、下石炭统(5250~5400m)为 1.5%~6.6%,西西伯利亚盆地南部志留系(4591m)为 3.6%;阿纳达科贝尔塔罗杰斯井下古生界(7944~9247m)为 0.27~4.38%。再如,滨里海盆地比克日阿耳井石炭系(5200~5250m)碎屑岩分散有机质的沥青化系数达 20%,其氯仿沥青“A”的元素组成是 C 为 81%~86%、H 为 12%、杂原子为 4%;美国西内盆地寒武、奥陶系(8638~9248m)的沥青含量为 0.01%~0.04%,沥青化系数为 5.3%~13.4%。这就说明,大量天然气可以形成于 250℃ 的地温中,其在地台区的埋深相当于 6~9km^①。

从储层孔隙来看,一些年青沉积盆地中并未发现碎屑岩孔隙度随埋深而迅速减小的情况。通常,在埋深 2~6km 范围内,孔隙度只降低 25%~30%。例如,墨西哥湾盆地密西西比拗陷的费尔兹河、木尔塞姆兹、哈德逊港等油田的白垩系土斯卡鲁兹组三角洲砂岩,在其埋深为 6075m 时,孔隙度为 27%,渗透率为 $1290 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,单井日产气量为 $160 \times 10^4 \text{m}^3$;墨西哥湾大陆架中埋深 4~6.5km 的中新统砂岩,孔隙度为 28%~30%,渗透率为 $0.62 \times 10^{-3} \sim 1.29 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

美国埃克森公司在二叠盆地的麦库姆气田上钻了一口深 7564m 的探井,其气层底部井深为 6920m,日产天然气 $71.7 \times 10^4 \text{m}^3$ 。里海盆地由于地温梯度较低(2.0~2.8℃/100m),其液态烃保存下限深度可达 7000m;这里的田吉兹油田埋深 3900~5600m,含油面积 2100km²,石油储量约 $10 \times 10^8 \text{t}$ 。另外,意大利埃尼公司在诺瓦腊市费托纳镇发现了一个油气田,其油层埋深 6212m,日产油 650t,天然气 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 。世界上最深的地质探井是前苏联科拉半岛上的 SG—3 井(井深 12200m),其 6800m 以下为太古界花岗片麻岩和花岗岩,曾在 7000m 处的岩心中发现无机成因甲烷气以及高温、高压条件下热水溶蚀所产生的溶孔

① 刘淑萱,范成龙,梁生正,王玉萍.深部复杂油气藏预测与普查方法(赴苏考察报告)。

和溶缝。甲烷的热稳定性高，能耐 550℃ 的高温，其能否成藏主要取决于储集空间是否有效。所以，天然气田的埋藏有效深度远比油田的有效埋藏深度为大。

前苏联已发现大于井深 4500m 的油藏、油气藏、气藏、凝析气藏等 80 个，其中最深的油藏（5612~5800m）位于北高加索地区的捷尔斯科—里海坳陷的安德耶夫构造上，产层为白垩系碳酸盐岩；最深的气藏（5433~5497m）位于东库班盆地科含哈勃利气田的陆相地层中；最深的凝析气藏（4580~5625m）位于乌克兰的第聂伯—顿涅茨盆地东部。

当然，愈向深部，发现油气田的成功率会越低。例如，前苏联井深 4500m 以下的探井成功率为 17.9%，其中井深 4500~5500m 的探井成功率为 19%~19.7%；井深 5501~6000m 的探井成功率为 7.5%，井深大于 6000m 的探井成功率只有 2.2%。

美国墨西哥湾盆地中所钻超深井（6905~9525m）的地球化学指标也证明，在 220~296℃ 的地温条件下，生烃岩系仍未丧失产生液态烃的能力。推测液态烃存在的温度为 300℃，乙烷与较重同系物存在的温度为 450℃，而甲烷存在的温度可高达 750℃。所以，深部地层不仅具有高的含气潜力，而且也有良好的含油远景。

美国和前苏联都是油气勘探程度较高、油气工业发达的国家。其中，美国近 30 年来已在二叠盆地、西内盆地及墨西哥湾沿岸钻了数百口深探井，其发现油气的成功率为 13.5%~48.9%。从中国西北地区的油气勘探前景和发展趋势来看，今后向沉积盆地深处开拓油气勘探新领域已成为当务之急。在沉积盆地深部进行油气勘探，一般会取得如下效果：

(1) 可发现大气田。

(2) 利于发现古生界天然气聚集带或在中新世多旋回盆地中找到以天然气为主的新油气聚集带。

(3) 可望获得高产气井。

(4) 可以取得天然气“双高”勘探效果，即高单储系数（大于 $4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ）、高钻探成功率（大于 40%）。

二、向海洋中的沉积盆地发展

全球浅海陆棚（ $2750 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）和大陆坡（ $3870 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）都是沉积岩发育并富藏石油和天然气的重要地区。

自从 1896 年人们发现加利福尼亚州萨默兰油田向浅海区延展以来，海上油气勘探可谓方兴未艾。1926 年，在马拉开波湖区发现了第一个浅海油田。从此，海上油气勘探、开发的整套技术日臻完善。1947 年在墨西哥湾活动平台上的首次海底完井成功更是海洋石油工业技术的重大突破。当今，北海盆地的油气勘探与开发更被誉为集海洋石油工业技术之大成者。

目前，全球已有 80 多个国家、地区从事海洋石油勘探，在海域发现了约 780 个油气田，石油储量占世界总储量的 26%，天然气储量占世界总储量的 23%。其中 90% 的油气集中于 60 多个大型油气田中^[5]。

应当说，北海盆地的油气工业属于后来居上。在其 $52.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 海域内，人们于本世纪 60 年代开始油气勘探，70 年代即取得重大进展，英国、挪威从此一跃而成为世界重要的油气生产国。这在世界经济发展史上无疑是缓解石油危机的一个大手笔。

今天，人们正在所有大陆的边缘海域找油找气（南极洲除外）。构成海上油气生产中心的有墨西哥湾、巴士海峡、波斯湾、北海、鄂毕湾、普鲁德霍湾、渤海湾和巴西里约热内卢州岸外陆棚区。预测西班牙的巴伦西亚湾、印度的孟买湾、加拿大的东岸浅海区以及南大西

洋的几内亚湾和中、越毗邻的北部湾都是潜在的油气远景区。

三、向自然条件困难地区的沉积盆地进军

所谓自然条件困难地区，即为地理或（和）地质上的困难地区。它们可能属于千里冰封、沼泽绵延、风大浪高、高寒缺氧、寸草不生、沟壑纵横的地面地理环境的地区，也可能属于断裂破碎、高压异常、喷塌漏斜、洞、缝、尖、超的地下地质条件的地区。在这些地区进行油气勘探，只有加大投入、倍受艰辛才能取得成功。

例如阿拉斯加地区，年平均气温在零下 30℃ 以下，半年白昼，半年黑夜，可谓“长夜难明赤县天”了。交通工具主要靠直升飞机。已开采的普鲁德霍湾大油田的可采储量油为 $25 \times 10^8 \text{t}$ 、天然气 $3000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，居世界第五位。

又如北海盆地，其风大、浪高、水深。人们建设了一个个平台，开发着一个个油气田；并对煤型气、浊积扇、裂谷盆地等地质理论皆作出了重大贡献。

在全球约 600 个沉积盆地中，已有 200 个全面进行了油气开发。另有 240 个正在进行前期或中等程度的油气勘探。还有百余个则属于环境恶劣地区，如北极、深海、偏远大陆内部和边界有争议地区等。中国高寒缺氧的青藏高原，火山岩、碳酸盐岩广布的华南扬子地台，号称死亡之海的塔克拉玛干沙漠，以及巴西的亚马逊盆地、俄罗斯的鄂比湾等都是油气勘探条件困难地区。

诚然，困难地区和复杂条件总是相对于人的认识能力和科技水平而言的，今天所说的复杂地区明天或许会变成简单地区。中国在陆相地层中找油找气的伟大实践，已经开创了在复杂地质条件下顺利成功的先河。

四、向有非常规油气资源的沉积盆地探索

C.D.Masters、E.D.Athanasi、D.H.Root 都把世界油气资源分为常规与非常规两大类。第十三届国际石油大会以来，对非常规油气资源的研究和利用日益受到人们的重视。

非常规油气资源包括特重油、沥青砂、深盆气、致密砂岩油气、煤层甲烷、水合物气、海洋水溶气等。全世界非常规天然气资源量约为 $870 \times 10^{12} \text{m}^3 \sim 1090 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。全世界重油沥青的地质储量约 $5.8 \times 10^{12} \sim 5.9 \times 10^{12}$ 桶，中国的重油沥青资源量可达 $80 \times 10^8 \text{t}$ 以上。Tedeschi 在第十三届世界石油大会上曾描述过两个有代表性的非常规石油资源。一个是委内瑞拉奥里诺科省的重油，其储量为 $1060 \times 10^8 \sim 4545 \times 10^8 \text{t}$ ；另一个是加拿大阿尔伯塔盆地东缘的 Athabasca 重油沥青砂矿，其储量为 $1240 \times 10^8 \text{t}$ （表 1-1）。

深盆气系指天然气受控并聚集于沉积盆地的区域构造最深部位的气藏。它的成藏条件既不符合因重力分异而使天然气聚集于构造高部位的规律，也不同于因差异聚集使天然气富集于低背斜带的情况。阿尔伯塔盆地的深盆气的成藏面积为 62160km^2 ，资源量约 $49 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，是深盆气气田的典型代表。深盆气的观点可为沉积盆地的天然气勘探提供方向和靶区。

致密砂岩油气资源虽然分布普遍、储量巨大，但往往因商业价值不高而被闲置、破坏。随着改善油气层渗流条件的酸化、压裂、爆炸等井下工艺技术日臻完善以及对次生孔隙、成岩圈闭研究水平的提高，致密砂岩油气的工业开采地位正在明显提高。

煤层气指有机质在成煤过程中滞留于煤层的甲烷气，占其总生气量的 10%。根据热解模拟实验，形成 1t 无烟煤所伴生的甲烷气约 400m^3 。通常，1t 煤的孔隙表面积约 $1000 \times 10^4 \text{m}^2 \sim 4000 \times 10^4 \text{m}^2$ ，要比砂岩的表面积多 3 倍。正是这些微细孔隙吸附着大量甲烷气体（每 1t 煤所吸附的甲烷约 $5.66 \sim 15.58 \text{m}^3$ ），使煤层气的资源量大为可观。全球煤层气资源量为 $196 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，中国煤层气资源量为 $10 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。美国是率先工业化开采煤层气的国

家，煤层气总资源量为 $11 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，其中，38% 分布于大绿河、皮申斯、泡德河、拉顿等四个盆地，全国有煤层气井 5000 口，年产煤层气近百亿立方米。

表 1-1 世界主要重质油田

油田名称	原始储量 (10^8t)	储层时代与类型	圈闭类型
奥里诺科重油带 (委内瑞拉)	1060~4545	第三纪与 早白垩世砂岩	地层与断层
阿萨巴斯卡油田 (加拿大)	1319	早白垩世砂岩	构造地层
冷湖油田 (加拿大)	410	早白垩世砂岩	构造、地层
沃巴斯卡油田 (加拿大)	180	早白垩世砂岩	地层
皮斯河油田 (加拿大)	142	早白垩世砂岩	地层
劳埃德明斯特油田 (加拿大)	49	早白垩世砂岩	构造地层
碳酸盐岩三角洲油田 (加拿大)	2047	古生代碳酸盐岩	构造
麦列凯斯油田 (俄罗斯)	186	二叠纪砂岩	构造地层
准噶尔盆地西北缘 (中国)	10	侏罗纪砂岩	超覆不整合
渤海湾盆地 (中国)	40	第三纪	断块、超覆 不整合披覆背斜

注：重油相对密度以 0.95 计。

新近的科学考察表明，地球上的永久冻土带和海洋冷水区深部都存在着大量气体水合物，即甲烷被水分子包裹的“冰雪体”。根据估计，地球永久冻土带蕴藏的水合物气体约 $5 \times 10^{16} \text{m}^3$ ；而大洋底部的甲烷潜在储量要高于上述数字百倍，一旦被开发利用，即可满足人类百万年的需要。诚然，在将其变为工业现实之前人们尚需要走一段漫长的道路。

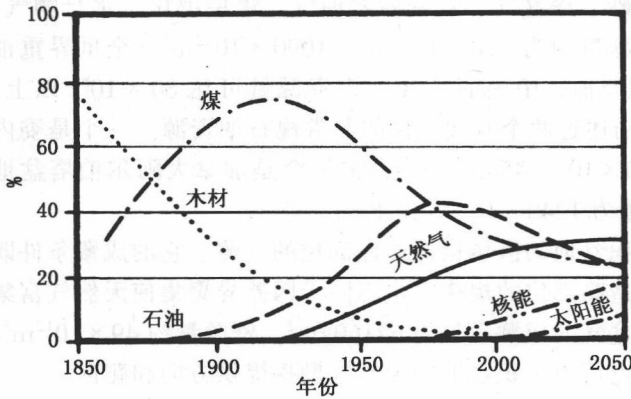


图 1-4 世界主要能源结构预测图

C.D.Masters 等对区域控油理论情有独钟。他们认为，今后一个时期，全球油气勘探的重点地区应是特提斯东段诸盆地、与被动陆缘有关的前陆盆地、中国型新生界箕状断陷盆地、中新生界油气区之下及附近的古生界和浊积岩沉积区。

审视过去，展望未来，下一世纪（21 世纪）人类将进入高效、洁净、复合的能源新时代，石油与天然气仍将是能源构成的主要支柱（图 1-4）。所以，由于油气工业发展的需要，人们必然会深化沉积盆地的地质研究、不断提出新课题。因此，含油气沉积盆地的地质综合研究也一定会在理论上和实际上为油气资源的开发作出更大贡献。

第二章 含油气沉积盆地成因

第一节 地球演变与沉积盆地的产生

地球作为太空中一个星体已有 46×10^8 年的历史。今天，人们所看到的地球的面貌是其经过漫长演化、遭受诸多地质事件改造后的面貌。

一、地球演变与沉积盆地的关系

地球的演化既受太空环境的影响，也受其本身特性的制约。地壳在地球内力和外力的作用下形成了各种沉积盆地。地球初期的原始星云面貌已经完全消失，即位于其表面者尽被破坏，位于其内部者皆受改造，今天的地球已处于一个新的演化阶段。

地球的圈层结构比较清晰，表明其垂向密度分异（向心分异）已达成熟，致使在岩石圈上部派生出了“矿化圈”，在生物圈内派生出了“人类文明圈”，在地壳区域性隆升与沉降中产生了沉积盆地。

随着演化阶段的进一步发展，地球表面出现了海、陆分布的大格局。在大陆区，山、川、高原交相辉映；在大洋中，岭、脊、台、沟错落有致。假若说槽台学说是研究大陆构造的结晶，那么，板块学说则是研究海洋构造的硕果。人们将板块学说与槽台学说相结合，可概括性的对海洋和大陆用地球的稳定与活动、主动与被动的几种属性来描述。大洋活动带系指其中脊和边缘地带，大洋稳定区系指其边缘至中脊间的广阔洋盆或大洋板块。同样，大陆活动带系指其裂谷、陆缘和褶皱带，大陆稳定区系指具有陆壳的地台区或大陆板块。我们今天所看到的大陆实质上是前震旦纪古陆台与其后不同时代褶皱带的复合体。诚然，这里所说的古陆台往往也是由更早的强烈褶皱、变质以及岩浆侵入的褶皱带复合体。所以，大陆的形成与褶皱作用有密切关系。事实上，古生代褶皱带就已勾画出大陆增生的轮廓，而中、新生代褶皱带则将一系列陆块缝合成今天的亚洲、欧洲、南北美洲和非洲等大陆。大陆内的沉降导致了内陆盆地的产生。

垂直分异、重力均衡是地壳运动的原动力，这是由地球体自身特点所决定的。它引发了地壳的两大作用，即地裂作用和褶皱作用。地裂的离散作用使稳定区变为活动区，后者的会聚作用使活动带转变为稳定带；二者交替出现、间歇发生，不断勾画着地球表面大洋与大陆、活动带与稳定区反复转化的地史画卷，同时，也为沉积盆地的形成和消亡提供了最基本的地质构造背景。

二、形成沉积盆地的地质条件

形成沉积盆地的地质条件有三，一是存在地形洼地，二是发生沉降作用，三是有沉积物充填。地形洼地多变、沉降作用交叉、沉积充填复合是沉积盆地的重要特点。

（一）关于地形洼地

地形洼地是沉积盆地的基础。它既可由侵蚀、溶蚀形成，也可由构造形成，其中，构造作用是产生地形洼地的主导因素。

地形洼地往往与地壳减薄区相对应。洋壳地形洼地因其巨大而倍受人们的注目，与陆壳毗邻的洋壳区通常就是巨型地形洼地。D. Turcotte 认为，亚马逊河三角洲和尼日尔河三角洲