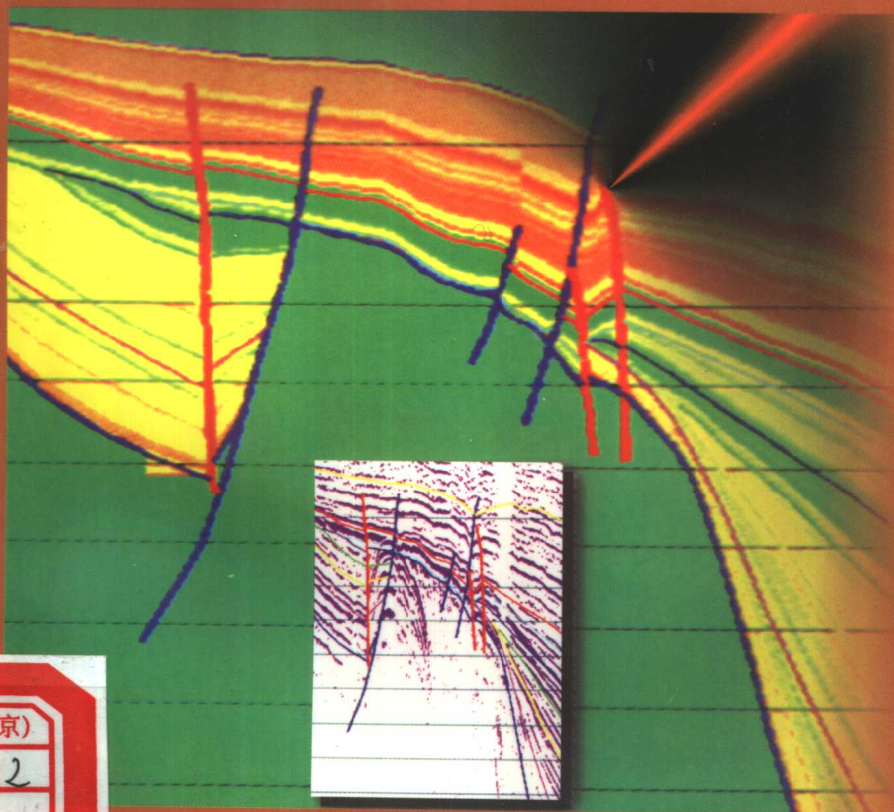


现代油气勘探理论
和技术培训教材

中国石油天然气总公司勘探局 编

石油地质学新进展

五



(北京)
30.2
2

石油工业出版社

现代油气勘探理论和技术培训教材·五

石油地质学新进展

中国石油天然气总公司勘探局 编

石油工业出版社



内 容 提 要

本书为《现代油气勘探理论和技术培训教材》的第五册。系统介绍了现代油气勘探与石油地质学的新进展,包括石油地质综合研究进展、“三场”与油气藏形成的关系、流体压力封存箱、含油气系统、凝析气藏的形成与分布等。

本书可供从事油气勘探、石油地质学、沉积学、沉积盆地分析等研究的科研技术人员、勘探管理人员和大专院校师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

石油地质学新进展/中国石油天然气总公司勘探局编.
北京:石油工业出版社,1998.5
现代油气勘探理论和技术培训教材 (5)
ISBN 7-5021-2329-6

I. 石…

II. 中…

III. 石油天然气地质-进展-技术培训-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 14187 号

石油工业出版社

(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 6.75 印张 172 千字 印 0—3000

1998 年 5 月北京第 1 版 1998 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2329-6/TE · 1942

定价: 14.80 元

《现代油气勘探理论和技术培训教材》

编委会

主 任 邓隆武

副主任 朱筱敏

委 员 (按姓氏笔划排序)

孙镇城 张厚福 张 霞 陆克政 李承楚 金之钧

赵澄林 尚作源 钟宁宁 欧阳健 周家尧 高德利

《石油地质学新进展》

编著者 张厚福

序

石油工业的迅速稳步发展必须依靠先进的油气勘探理论和能切实解决生产难题的技术。中国数十年油气勘探实践已证明，油气勘探方面的理论发展和技术进步在深入油气勘探、增加油气储量、提高勘探效益等方面发挥着极为重要的作用。

自 1978 年以来，中国原油产量已超过亿吨，并保持稳步发展的势头，成为世界产油大国之一。中国油气资源是丰富的，但与世界石油资源平均探明程度和常规天然气资源平均探明程度相比，中国油气资源的探明程度还很低，所以油气资源勘探潜力还比较大。众所周知，对于具有复杂地质结构的中国含油气盆地，随着勘探程度的加深，油气资源勘探的难度越来越大。在本世纪末至下世纪初，中国石油工业的发展都将坚持“稳定东部、发展西部、油气并举，以及合理利用国外油气资源”的勘探战略。

为了贯彻实施中国石油工业发展的战略方针，使中国油气产量及储量处于世界前列，就必须发挥科学技术是第一生产力的作用，造就一大批既懂先进油气勘探理论，又熟悉现代油气勘探技术；既有丰富的油气勘探实践经验，又能从事石油勘探经营管理的油气勘探高级人才。为此，中国石油天然气总公司勘探局先后多次组织各油田的勘探处长、勘探公司经理和总地质师进行现代油气勘探理论和技术以及经营管理的继续教育。为了更好地提高油气勘探高级管理技术人才的油气勘探理论和技术水平，中国石油天然气总公司勘探局决定，成立《现代油气勘探理论和技术培训教材》编委会，公开出版相关系列教材。本套教材共计 11 册，包括 6 册油气勘探理论基础、4 册油气勘探技术和 1 册油气勘探经营管理。即第一册《现代地层学在油气勘探中的应用》、第二册《石油构造地质学》、第三册《储层沉积学》、第四册《层序地层学原理及应用》、第五册《石油地质学新进展》、第六册《石油地球化学进展》、第七册《油气资源评价技术》、第八册《地震勘探新技术》、第九册《油气钻探新技术》、第十册《测井新技术与油气层评价进展》和第十一册《油气勘探经营管理》。与其他教材相比，本教材着重反映国内外油气勘探新理论、新方法、新技术，结合国内外油气勘探实例分析，解决实际问题。希望这套教材的出版能在提高广大油气勘探技术和管理人才的油气勘探综合素质方面发挥积极的作用。

高瑞祺

1997 年 4 月

序 言

随着国内外油气勘探的深入发展,石油工业日益面临严峻挑战:世界剩余石油可采储量及总可采资源量均呈下降趋势,地质、地理条件较好的易找油气田愈来愈少,油气勘探的难度愈来愈大,迫切需要新理论、新技术指导勘探。有机地球化学、地震地层学-层序地层学、数学地质学、计算机技术等边缘学科新技术应运而生,迅速发展;90年代前后,石油地质学基本原理也有了显著进展,流体压力封存箱、油气系统、“三场(地温场、地压场、地应力场)”与油气藏形成分布的关系等新理论、新思路、新方法,为石油地质综合研究提供了崭新的科学依据,开辟了油气勘探的视野,促进了现代油气勘探向纵深发展。

石油大学(北京)张厚福教授自50年代中期以来,就一直在石油教学战线上从事石油地质教学工作,并战斗在我国许多油田勘探开发实际科研工作中,他热爱石油地质事业,在工作上矢志不渝、勤勤恳恳。他在所从事的领域里,都取得了很杰出的成绩。他在教研工作中一向重视国内外石油地质学新进展,不断吸收精华,丰富教学内容,曾在1990年中国石油天然气总公司轮训全国各油田技术领导干部的“滚动勘探开发微机工作培训班”上开设了《石油地质学进展》,讲授上述边缘学科新技术,受到好评。近年来,张厚福教授研究国内外石油地质学原理的重要进展,结合自己的科研成果,在石油大学(北京)地球科学系开设了研究生学位课《高等石油地质学》,并为各种地质、物探培训班讲授,引起各界注意,应邀赴大庆、新疆、四川、江苏、昆明、杭州、涿州、高碑店等油田院所讲授,这些石油地质科学上的成就已经使我们所有的人受益匪浅,并且还将使我们继续从中受益。同时大家纷纷反映这些新理论、新技术对“九五”国家级、总公司级科技攻关项目有重要指导作用。

这本新教材《石油地质学新进展》就是在上述授课内容的基础上,针对油气勘探总地质师培训的需要,将石油地质学原理的重要进展与现代油气勘探中的石油地质综合研究紧密结合而编写的,力求用新理论、新思路、新方法讲授专业知识,以便更有效地指导现代油气勘探。

该书主要包括六章:现代油气勘探与石油地质学进展、石油地质综合研究进展、“三场”与油气藏形成的关系、流体压力封存箱、含油气系统、凝析气藏的形成与分布。该书系统地展示了国内外近年来在石油地质学领域所取得的进展,同时也注意反映了有关技术关键问题的重要发展。这些内容与现代油气勘探的生产实际和科学研究密切相关,其特点在于内容新颖、实践性强。

该书不仅是为油气勘探总地质师们编写的培训教材,也可作为石油高等院校研究生的教材或参考书,同时可供广大油气勘探家和石油地质学家参考。

中国科学院院士

田在艺

1998年3月

前 言

根据中国石油天然气总公司勘探局(97)油勘便字第12号文件“关于成立总地质师培训班教材编写委员会的通知”，于1997年4月4日在石油大学(北京)召开了十五人组成的编委会首次会议，决定编写一套反映世界油气勘探新理论、新技术、新方法及勘探经营管理基础知识的新教材，以适应现代勘探形势的需要。经过几次会议的讨论，确定了各教材的书名及详细编写大纲。

近十年来，世界油气勘探取得了较大进展，同时却面临极为严峻的挑战：世界剩余石油可采储量呈下降趋势，地质、地理条件较好的易找的油气田愈来愈少，世界油气勘探的总趋势是由易到难，困难日益增大。在这种勘探形势下，迫使油气勘探理论与技术必须有巨大进展，才能适应现代油气勘探的需要，才能促进世界油气勘探的持续发展。因此，70年代以来，除有机地球化学、地震地层学-层序地层学、数学地质学与计算机技术等边缘学科新技术获得飞速发展外，石油地质学基本原理方面也有了显著进展，特别是90年代前后，流体压力封存箱、含油气系统、“三场(地温场、地压场、地应力场)”

与油气藏形成分布的关系等新理论、新思路、新方法，为石油地质综合研究提供了崭新的科学依据，促进现代油气勘探向深广发展，引起国际石油地质界的关注。

为了研讨这些重要进展，近几年来，作者在石油大学(北京)地球科学系特地开设了研究生学位课《高等石油地质学》，并为各种地质、物探培训班讲授，引起各界注意，应邀赴大庆、新疆、四川、江苏、昆明、杭州、涿州、高碑店等油田院所讲授，倍受欢迎，纷纷反映这些新理论、新技术对“九五”国家级、总公司级科技攻关项目有重要指导作用。

《石油地质学新进展》教材就是在上述《高等石油地质学》授课内容的基础上，将石油地质学原理的主要进展与现代油气勘探中的石油地质综合研究紧密结合，力求用新理论、新思路、新方法指导现代油气勘探，武装总地质师们去迎接21世纪的新挑战。

本教材的内容主要包括下列部分：

1. 现代油气勘探与石油地质学进展；
2. 石油地质综合研究进展；
3. “三场”与油气藏形成的关系；
4. 流体压力封存箱；
5. 油气系统；
6. 凝析气藏的形成与分布。

鉴于石油地质学进展很快，新理论、新技术层出不穷，限于作者水平、编写时间紧迫，错误缺点难免，恳请读者指正。

目 录

第一章 现代油气勘探	1
第一节 世界油气分布的不均衡性	1
第二节 世界油气勘探的趋势及特点	3
第三节 石油地质学进展	7
第四节 现代油气勘探	8
第二章 石油地质综合研究进展	11
第一节 盆地、区带、圈闭等评价研究的内容与方法	11
第二节 烃源层研究新方法	14
第三节 储集层研究新方法	19
第四节 盖层研究新方法	35
第三章 “三场”与油气藏形成的关系	37
第一节 地温场与古地温研究	38
第二节 地压场与流体势研究	44
第三节 地应力场与生烃、运聚的关系	52
第四节 应用实例	53
第四章 流体压力封存箱	59
第一节 异常地层压力	61
第二节 流体压力封存箱的基本概念及类型	64
第三节 封闭层的成因及特征	65
第四节 结 论	67
第五章 油气系统	69
第一节 系统论为油气系统研究奠定了理论方法基础	69
第二节 油气系统的基本概念	70
第三节 地质要素与成藏作用	71
第四节 油气系统的组成	72
第五节 油气系统的成因分类	76
第六节 关键技术与必要图件	76
第七节 应用实例	78
第六章 凝析气藏的形成与分布	87
第一节 临界温度与临界压力	87
第二节 凝析气藏的形成条件及分布规律	89
第三节 地下油气藏相态的识别	91
第四节 应用实例	92
结 语	93
参考文献	95

第一章 现代油气勘探

随着世界油气勘探的深入发展，在“背斜理论”指导下，容易寻找的背斜油气田多已被发现，用新理论、新技术指导的现代油气勘探已经成为世界各国油气勘探人员面临的重大挑战。地壳上油气分布的不均衡性，受地层、岩性因素控制的大量非构造油气藏形成、分布的隐蔽性，天然气气藏在形成机理上与油藏的差异性，海上及边远地区油气勘探、开发技术的复杂性等等，都迫使我们发展新的石油地质学及油气勘探理论、油气勘探技术，以适应现代油气勘探形势的需要与发展。

第一节 世界油气分布的不均衡性

纵观世界石油工业约一个半世纪的勘探史，可以看出世界油气分布在时间上与空间上均具有显著的不均衡性，体现在下列诸方面。

(1) 显生宙以来约占 1/3 时间的 6 个层段的烃源岩提供了世界已发现初始油气储量 2200×10^{10} BOE (原油当量桶) 的 91.5%，不含固一半固态沥青 (据 Masters 等, 1987)，见图 1-1。

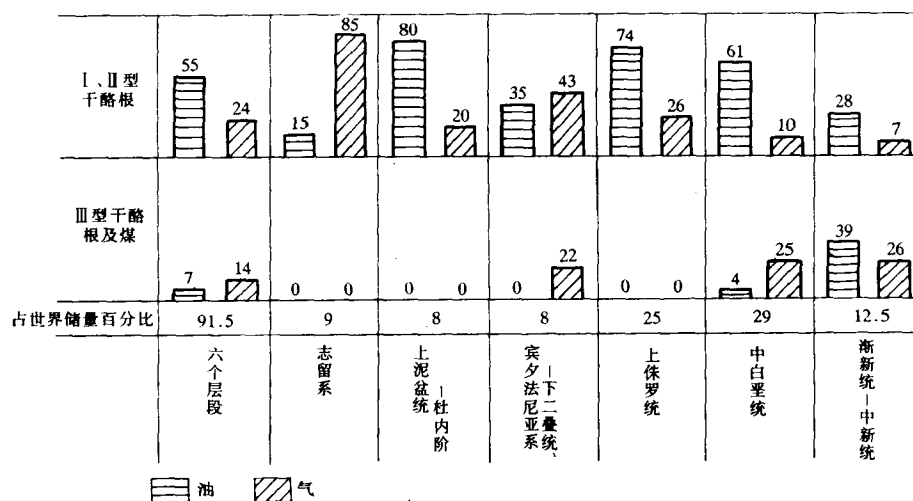


图 1-1 具 I、II 型干酪根和 III 型干酪根及煤的烃源岩所生成的石油与天然气储量比较

图中数值表示每个层段烃源岩生成的油、气初始储量百分数

(2) 从有效烃源岩的成熟时代 (图 1-2) 分析，宾夕法尼亚纪 (C_{2-3}) 至早二叠世之前，世界上尚无可观数量油气生成。俄罗斯地台、阿纳达科盆地、波斯湾盆地、北海南部等盛产油气地区表明：晚二叠世至中侏罗世为古生界烃源岩油气生成的重要时期；晚侏罗世—组康姆期 (K_1^1) 生成油气极少，至中白垩世阿普第至土伦期油气重新开始生成；晚白垩世科尼亚克期之后为主要油气生成期，世界初始油气储量的 2/3 生成并圈闭于最近 80~90Ma 间。

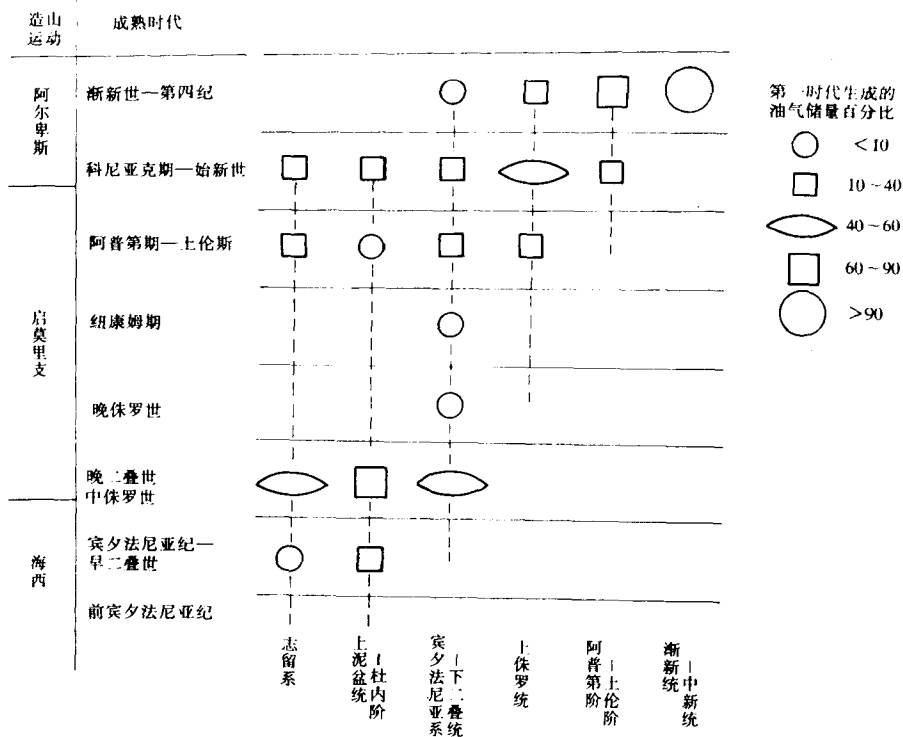


图 1-2 世界有效烃源岩的成熟时代

6 个主要层段中每个层段烃源岩生成的初始油气储量均标准化为 100%

(3) 在世界初始油气储量中，有 70% 是从科尼亚克期开始生成、50% 是从渐新世开始生成的（图 1-3），尚有 6% 是从未熟烃源岩生成的生物气，多分布在西西伯利亚盆地。

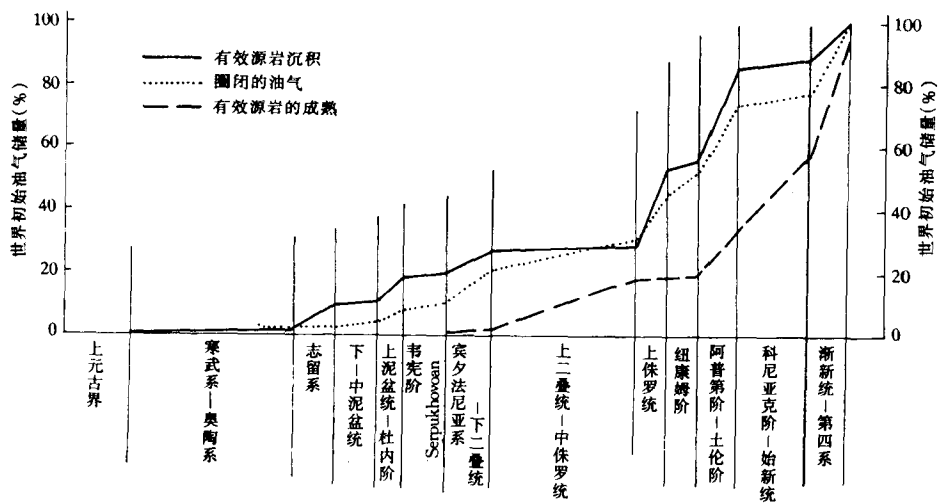


图 1-3 有效烃源岩沉积、成熟及圈闭的油气累积曲线

图中表示占世界初始油气储量的百分比

盆地中聚集的石油数量一般比生成量小 2~3 个数量级。

(4) 根据大地构造位置、地层发育及油气地质特征, 可将全球划分为特提斯、太平洋、北方、南冈瓦纳等四大含油气域(图 1-4)。就勘探现状而论, 特提斯盆地面积占世界陆地、陆架面积不到 1/5, 但却含有世界初始油气储量的 2/3 以上。

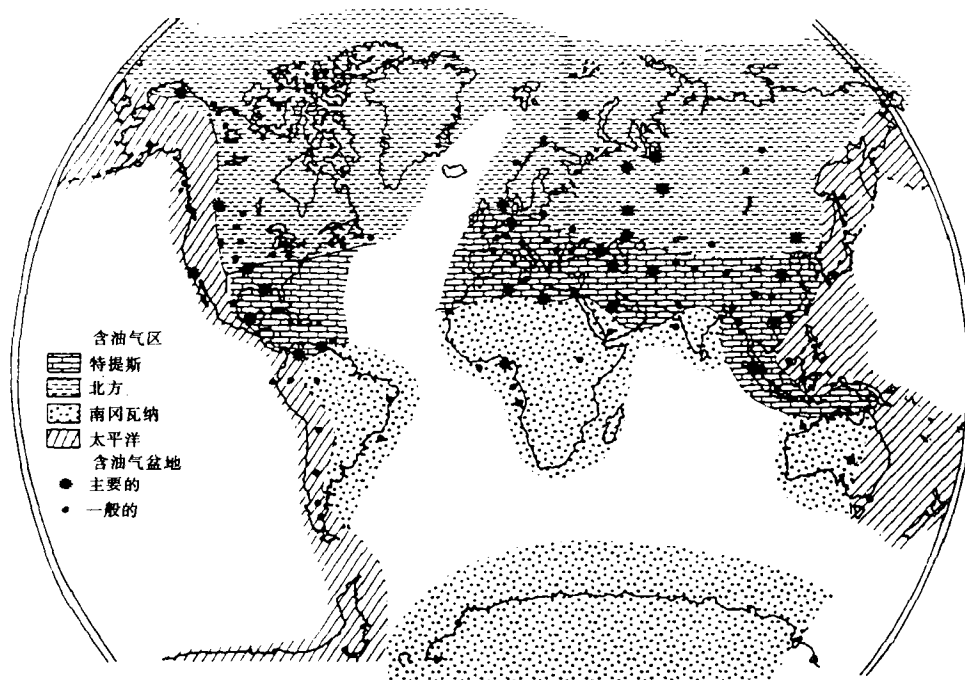


图 1-4 世界含油气域

含油气域面积占总面积百分比: 特提斯 17%、太平洋 17%、北方 28%、南冈瓦纳 38%

世界初始油气储量分布: 特提斯 68%、太平洋 5%、北方 23%、南冈瓦纳 4%

在全球 160 个产工业油气流的盆地中, 波斯湾、西西伯利亚、伏尔加-乌拉尔、马拉开波、墨西哥湾、锡尔特等 6 个大型盆地拥有的油气储量占世界已发现油气储量的 65%, 其中 4 个盆地属特提斯域。

综上可知, 世界油气分布很不均衡, 油气这种在地质时代和空间位置上分布的不均衡性, 对世界油气勘探的发展及其特点有着明显的制约作用。

第二节 世界油气勘探的趋势及特点

世界石油工业大约有 150 年历史, 经历了煤油时代、汽油时代、燃料及化工原料时代。由表 1-1、表 1-2 可以看出: 1995 年世界石油与天然气的产量分别为 $30.72 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $22207 \times 10^8 \text{ m}^3$, 剩余可采储量分别为 $1380 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $1396200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从 1979 和 1987 年两次世界石油大会上估计的数据, 今后世界可望找到的新增储量从 $1500 \times 10^8 \text{ t}$ 减为 $600 \times 10^8 \text{ t}$, 最终总可采储量将从 $3000 \times 10^8 \text{ t}$ 减为 $2440 \times 10^8 \text{ t}$, 反映出世界油气勘探的难度将会愈益加大。

表 1-1 当今世界油、气的储、产量

年 份	1987 年	1995 年
世界石油产量 (10^8t)	27.86	30.72
世界天然气产量 (10^8m^3)	17750	22207
世界石油剩余可采储量 (10^8t)	1210*	1380
世界天然气剩余可采储量 (10^8m^3)	1074553*	1396200

*据第十二届世界石油大会分别为 $1110 \times 10^8\text{t}$ 和 $1110000 \times 10^8\text{m}^3$ 。

表 1-2 两届世界石油大会的估计

世 界 总 计	第十届世界石油大会 (1979, 布加勒斯特)	第十二届世界石油大会 (1987, 休斯敦)
累积采油量 (10^8t)	500	730
剩余可采储量 (10^8t)	1000	1110
可望找到储量 (10^8t)	1500	600
最终总可采储量 (10^8t)	3000	2440

寻找油气资源的总趋势是由易到难：从陆地向海洋、从地理条件较好地区向极地、从地质结构简单的背斜油气藏向复杂隐蔽的非构造油气藏及逆冲推覆带、从中深井向超深井发展。当今世界所钻的最深井可能为前苏联科拉半岛的 Kolskaya SG-3 井，井深 12066m。在这种形势下，世界油气勘探明显具有如下特点（张厚福，1992）。

一、寻找大型油、气田仍然是首要目标

据美国学者 Halbouty 估计 (Halbouty, 1978)，全球约有 600 个沉积盆地，其中已有 400 个投入了勘探，大约从 160 个盆地产出了工业石油，估计尚有 100 多个盆地会产石油。在全球 160 个产工业石油的盆地中，发现储量超过 $70 \times 10^8\text{t}$ 石油或等量天然气（通常按 1000m^3 天然气折算为 1t 石油）的大型盆地只有六个，即波斯湾、西西伯利亚、伏尔加—乌拉尔、马拉开波、墨西哥湾及锡尔特等盆地，它们拥有的油气储量占世界已发现储量的 65%。所以寻找油气资源异常丰富的盆地至关重要。这说明寻找大型油、气田仍然是首要目标。

法国石油研究院 (1993) 根据世界油气田研究结果，提出了大油田的划分标准：

超级油田 可采储量 $> 6.85 \times 10^8\text{t}$ ($50 \times 10^8\text{bbl}$)

巨型油田 可采储量 $> 0.685 \times 10^8\text{t}$ ($5 \times 10^8\text{bbl}$)

大型油田 可采储量 $> 0.137 \times 10^8\text{t}$ ($1 \times 10^8\text{bbl}$)

按此标准，全世界巨型油田有 328 个，其总储量占世界已探明可采储量的 21%，产量占 30%；超级油田 42 个，其储量占世界总储量的 39%，产量占 35%。从而巨型以上油田的储量占世界总储量的 60%，产量占 65%（表 1-3）。

目前，全世界大约已发现油田 41000 个、气田 26000 个，但是世界的石油需求主要靠这些大型、巨型和超级油田供应，可见寻找大型以上油、气田显得多么重要，它们仍然是各国油气勘探的首要目标。

由表 1-3 看出：我国已发现 1 个超级油田、17 个巨型油田、42 个大型油田。据戴金星等统计 (1995)，我国已发现探明储量 $\geq 100 \times 10^8\text{m}^3$ 的大中型气田 30 个，其总储量占全国

表 1-3 世界超级、巨型和大型油田数量及分布

国家和地区	超级型油田	巨型油田	大型油田
拉丁美洲	5	40	167
西 欧		14	86
非 洲	1	36	144
中 东	29	120	105
东 亚		11	62
澳大利亚		2	9
东 欧		2	5
独 联 体	4	28	67
中 国	1	17	42
加 拿 大		12	34
阿拉斯加	1	2	5
美国 48 个州	1	44	235
世 界	42	328	961

气层气总探明储量的 70%，也表明寻找大型以上油、气田的重要性。

据我国第二次油气资源评价结果：全国石油资源量 $940 \times 10^8 \text{t}$ 、天然气资源量 $38 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，探明程度很低，分别只占 19.7% 和 2.18%，显示我国油气勘探尚有广阔前景，在今后勘探工作中，也应以寻找大型以上油、气田作为首要目标。

二、加速海上油、气田勘探

海上油气勘探至今已逾 40 年，1995 年世界海洋石油产量 $10.17 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气 $4800 \times 10^8 \text{m}^3$ ，分别占世界总产量的 30% 与 21%。在本世纪 60 年代只有 16 个国家开展海上油气勘探，现在已达近百个国家。海上勘探的领域从大陆架扩展到大陆坡，今天已向深海和极地发展。200m 水深线已不再是海上油气勘探的界限，目前所钻的探井水深可达 2100m，开发井水深达 400m。

北极圈是当今世界海上勘探最困难的区域，但是，加拿大、挪威、美国、前苏联等国都在大力加强极地油气勘探。据不完全统计，加拿大发现了希伯尼亚和阿毛里加克两个大油田，前者可采储量油 $3 \times 10^8 \text{t}$ ，气逾 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ ，日产油 1300~2300t，气 $64 \times 10^4 \sim 120 \times 10^4 \text{m}^3$ ；后者距岸 60km，水深 32m，1984 年第一口井日产油 823m^3 ，第三口井 23 天产油 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ ，可采储量达 $1 \times 10^8 \text{t}$ 。挪威在巴伦支海 6 年勘探发现 4 个主要油气田，可采储量气 $3500 \times 10^8 \text{m}^3$ ，油 $8500 \times 10^4 \text{t}$ 。美国继发现普鲁德霍湾大油田后，在北极又发现一个近海油田——恩地科特，水深 1.2~3.7m，1978~1988 年建成投入开发，产能 $1.39 \times 10^4 \text{t/d}$ ，可采储量 $4800 \times 10^4 \text{t}$ 。前苏联在开发西西伯利亚的大型油、气区后，现也向北极圈开展海上勘探。

三、加强天然气勘探

天然气是热值高、用途广、价廉物美的洁净资源，世界各国纷纷重视加强天然气勘探，以弥补石油资源的不足。从 1950~1985 年世界油、气储、产量的增长速度来看，天然气比石

油增长更快（表 1-4）。气、油储、产量当量比反映出勘探及开发情况（表 1-5），说明了三个重要问题：

表 1-4 1950-1985 年世界油、气储、产量增长情况

项 目	1950	1985	增加倍数
天然气剩余可采储量 (10^{12}m^3)	8	98.6*	11.3*
石油剩余可采储量 (10^8t)	130	959	6.3
天然气产量 (10^8m^3)	1851	17750	8.6
石油产量 (10^6t)	5.38	26.74	4
储量当量比 气：油 (%)	61	103	

*据第十二届世界石油大会估算为 $111 \times 10^{12}\text{m}^3$ ，则增加 14 倍。

表 1-5 1985 年气油当量比

项 目	世 界	美 国	前 苏 联	中 国
储量(勘探)	1.03 : 1	1.45 : 1	0.5 : 1	0.03 : 1
产量(开发)	0.66 : 1	1.09 : 1	1.08 : 1	0.10 : 1

(1) 尽管前苏联的气、油储量当量比只有 0.5 : 1，但其产量当量比天然气已超过了石油；美国储、产量当量比气均大于油。说明两个产油气大国都大力加强了天然气勘探与开发。

(2) 天然气的成因比石油更广，除与石油伴生外，还有含煤盆地的煤型气、上地幔的无机成因气，它们都可能通过运移聚集形成重要的天然气资源。所以，从发展趋势看，今后的气、油当量比，无论是储量或产量，天然气都可望大大超过石油。

(3) 中国的气、油储、产量当量比都很小，若与世界及美国、前苏联两国相比，我国天然气资源的勘探潜力极大；若考虑到我国石油年产量已逾亿吨，煤炭资源量居世界之首，则寻找与油、煤有关的油型气和煤型气都会具有广阔的前景。

四、大力寻找非构造油气藏

背斜理论指导油气勘探的黄金时代，从世界范围而言多已过去；寻找受地层、岩性因素控制的非构造油气藏，早已引起许多产油气大国的重视。1917 年首先在委内瑞拉发现了玻利瓦尔湖岸油区，可采储量 $47.7 \times 10^8\text{t}$ ；美国继 1930 年发现东得克萨斯大油田（可采储量 $7.3 \times 10^8\text{t}$ ，累计产量已逾 $5 \times 10^8\text{t}$ ）后，相继发现了潘汉得尔油气田（累计产气 $7000 \times 10^8\text{m}^3$ ，油逾 $1.25 \times 10^8\text{t}$ ）和普鲁德霍湾大油田（可采储量油 $13.12 \times 10^8\text{t}$ 、气 $26 \times 10^{12}\text{ft}^3$ ）；其他如墨西哥的波扎-里卡（可采储量 $3.8 \times 10^8\text{t}$ ）、阿尔及利亚的哈西·迈萨乌德（地质储量 $34.7 \times 10^8\text{t}$ ）等，都属于由地层或岩性因素控制的世界大型非构造油气田。

随着现代数字地震技术的蓬勃发展，促进了现代沉积学的宏观研究。实践证明，现代数字地震勘探技术与沉积体系、沉积相研究相结合，已经成为寻找非构造油气藏的有效勘探方法。墨西哥在波扎-里卡油田中生界生物礁油气藏开发后期，采用上述先进技术在其上覆下第三系中，又发现了始新统下部奇孔特佩克组深海浊流水道砂岩透镜体油藏，砂体沿古浊流水道分布延伸，石油聚集受砂岩厚度及岩性控制，与构造关系不大。奇孔特佩克组由暗色页

岩、粉砂岩、砂岩组成，页岩生油，砂岩透镜体普遍含油，估计可采储量高达 $20 \times 10^8 \sim 25 \times 10^8 \text{t}$ ，属特大油田。

第三节 石油地质学进展

上述世界油气勘探的趋势及特点，决定了石油地质学必须向若干边缘学科方向发展，并在基本原理方面有所进展，才能满足勘探的需要，促进生产的发展。近 20 余年来，石油地质学在如下方面获得了显著进展。

一、边缘学科

1. 板块构造学说的应用

板块构造学说的诞生被誉为“地质学上的革命”。它给石油地质学也带来了新的活力，表现在：

(1) 含油气盆地分类方案繁多。过去的含油气盆地分类多限于陆地和大陆边缘，板块构造学说诞生后，含油气盆地分类方案如雨后春笋，异常活跃，不再限于陆壳型和过渡壳型的盆地，而是眼光更为开阔，注意到洋壳型盆地；对盆地类型及其形成机制的认识也更为深刻，油气勘探的预见性增强，领域更广。

(2) 油气无机成因说重新活跃。板块构造学说的出现，以及在巨大转换断层带和环太平洋俯冲带发现了大量烃类显示，说明其生成与上地幔的物质活动有关。因此，国内外不少学者重新提倡油气生成的无机来源，在地盾、俯冲带及转换断层带的油气勘探与科学研究显著加强了。

(3) 逆掩推覆体找油引起重视。以往地质家们认为逆掩断层带构造复杂，保存条件差，很少列为油气勘探对象。由于板块构造学说将烃类生成及显示与上地幔活动联系起来，大型逆掩断层带正可成为深部油气向上移动的通道，只要遇见良好圈闭便可聚集成油气藏。美国落基山东麓逆掩推覆体若干重要油气田的发现证实了上述观点，开拓了油气勘探领域。

2. 有机地球化学的应用

有机地球化学的应用，使石油地质学的基本原理发生了天翻地覆的变化，油气成因的研究从定性向定量发展，提高了油气勘探成功率。有机地球化学的现代技术和先进设备，使有机质类型、丰度及成熟度研究愈益深入，地球化学指标大量涌现，烃源岩及生气区、生油区的评价均可达到定量水平。生物标志化合物及同位素地球化学近 10 年来发展尤快，甾、萜、异戊间二烯型烷烃等生物标志物的研究，有助于探讨油源对比、母质类型及成熟度；同位素地球化学研究对解释气源对比、油源对比、有机质成熟度、天然气成因类型及地层绝对年龄等，均具有重要意义。现在有机地球化学技术正被推广用来探讨油气运移、聚集和保存问题，用来发展地面地球化学勘探技术，探索直接找油气的途径和方法。

3. 地震地层学-层序地层学的应用

地震地层学是现代数字地震勘探技术与地层学、沉积学、石油地质学相结合衍生的一门新兴边缘学科，对油气勘探与开发均具有重要意义。目前可将地震地层学明确地划分为区域地震地层学（含层序地层学）与储层地震地层学（含开发地震学）两个范畴。前者主要是利

用地震反射剖面结合少量岩心及测井资料,研究盆地内各层序的沉积环境,分析体系域的类型、特点及分布,重塑沉积史及构造史,对生、储、盖、圈等条件作出评价,寻找非构造圈闭,为预探井提供钻探对象;后者是近几年萌芽的一个新研究动向,在一个局部构造或沉积单元内对地震资料进行特殊处理,综合测井及岩心资料,定量研究薄砂层或薄石灰岩,确定薄砂层厚度或薄石灰岩溶蚀带厚度,计算孔隙度、渗透率、泥质含量等物性参数与含气饱和度、含油饱和度、气水界面、油水界面、剩余孔隙流体压力等含烃性参数,甚至探索直接寻找气藏或油藏的方法,为详探井、生产井、调整井等提供钻探对象。

4. 储层评价技术

随着油气勘探的深入发展,尤其是在深部油气勘探和天然气勘探中,对储集层的研究和评价技术愈益显得重要,在盆地、区带及油田的勘探、开发全过程中,如何对储集体、储集层、储集性质及储集效率逐级进行定性和定量评价,日益成为勘探或开发成败的关键,所以国内外学者正在加强储层评价技术的系统研究,基本包括区域储层评价技术、单井储层评价技术、开发储层评价技术、动态储层评价技术和敏感储层评价技术等 5 套技术。这些成套储层评价技术的研究,必将显著提高油气勘探与开发的成功率。

5. 数学地质和计算机的应用

数学地质和计算机技术的引入,正在促使石油地质学及油气勘探技术发生更加深刻的革命。各种数理统计方法在沉积学、古生物学、构造地质学、石油地质学中早已得到广泛的应用。特别是近几年来,应用计算机技术,编制各种地质图件,建立各种数据库,开展盆地分析与模拟,进行不同勘探阶段的油气资源评价和储量计算,并进一步探索建立各地质学科的综合专家系统。

综合石油地质学的上述边缘学科的新进展,它们可以为油气勘探工作中的盆地分析、区带评价、圈闭(油藏)描述提供新技术,显著提高油气勘探成功率,促进油气地质勘探及开发事业的蓬勃发展。

二、石油地质学原理

在上述边缘学科迅速发展的同时,石油地质学原理也获得了重要进展,显著特征在于从静态向动态、从单学科向多学科综合发展,所谓“成藏动力学”的呼声日益高涨。表现在下列诸方面:

- (1) 地温场、地压场、地应力场(三场)与油气藏形成的关系;
- (2) 流体压力封存箱;
- (3) 油气系统。

上述三方面是本世纪 90 年代以来在石油地质学原理领域的重要进展,尽管它们尚处于发展过程中,有待完善,但它们已显示出对指导油气勘探开发的巨大作用,因而是本课程要重点探讨的问题。

第四节 现代油气勘探

为提高油气勘探成功率,强调加强盆地分析、区带评价及圈闭(或油藏)描述,是现代

油气勘探的重要特点。上述石油地质学进展,为现代油气勘探提供了许多新理论、新思路和新技术。

(1)含油气盆地分布领域扩大。陆壳型、洋壳型、过渡壳型盆地都应注意研究。我国除继续对中、新生代陆相沉积盆地(包括吐-哈盆地及塔里木盆地中、新生界)加强勘探外,今后对全国广泛发育的古生代(含中上元古代)海相碳酸盐岩沉积区要加强古区域构造、古地理、古沉积环境等研究,探寻古过渡壳型、古洋壳型盆地的分布。

(2)大力加强天然气勘探。除油型气外,尤应注意煤型气勘探。如前所述,我国的气、油储、产量当量比都很小,天然气资源的勘探潜力极大。我国石油年产量近 $1.5 \times 10^8 \text{t}$,煤炭资源量居世界首位,表明寻找油型气和煤型气都有广阔的前景。另一方面,从长远观点也应着手无机成因气气藏形成及分布问题的研究。

(3)应用地震资料结合个别井做全盆地 TTI 计算并平面成图,早期预测生油区及生气区;同时进行趋势地震地层压力及流体势分析并平面成图,指出油气运聚有利方向。这是国外加速油气勘探的一条重要捷径。

(4)有机地球化学研究。在油气勘探各阶段钻井中,凡取心较多的暗色泥岩、泥灰岩及隐-粉晶石灰岩,均应取样进行有机地球化学研究。由于地球化学分析费用较高,可根据盆地勘探及研究程度的不同,按各自目的选做不同的分析项目,一般应做包括有机质丰度及类型、有机质成熟度等有关分析项目;根据条件和需要,尚可选择进行生物标志化合物及同位素分析鉴定。最后对盆地发育的生油气层及生油区、生气区做出定量评价,为盆地油气资源评价及含油气远景评价奠定可靠的物质基础。

(5)对沉积环境及古地理研究要打破过去单纯岩石学方法的传统习惯,大力开展区域地震地层学或层序地层学研究,结合钻井岩心、测井及实验室分析,查明各地质时代的沉积体系、沉积相及生油气相、储集相分布,配合构造条件分析,提供预探井、科学探索井的钻探目标。

(6)利用速度-岩性定量解释技术研究盆地各准层序组或体系域的砂岩百分含量分布,找出偏砂相与偏泥相。在具备油气源条件的盆地,这项研究可及早提供砂岩发育区,结合构造及盖层条件分析,提供探井钻探对象。这也是一条充分利用地震信息加速油气勘探的捷径。

(7)预探井钻前储层半定量预测。在新探区第一口预探井的钻前地质提示,传统上是借助邻区钻井类比推测的,误差较大,常常造成钻探目的层预报不准或钻井工程事故,导致钻探失败。尤其在海上及塔里木等边远地区,钻井成本高,如何做好预探井钻前储层预测,是一项至关重要的工作。地震道积分、地震地质模式识别等技术可提供设计预探井钻遇储层的数目、深度及厚度等比较准确的半定量预测,甚至还可估算各层砂岩孔隙度。

(8)区域储层评价与单井储层评价。在一个盆地或区带,以地震资料为主,结合露头、钻井地质及测井资料,对各种沉积体系和沉积相进行分析与预测。尽量利用已钻各井,力求综合地质、测井、试油等资料进行单井储层评价;再用地震资料联片,点面结合,开展区域地震地层学或层序地层学研究,查明各时代沉积体系、沉积相的类型及分布,从而预测储集体的类型及分布。再选择其中的有利储集层,综合多种技术进行储集性质和储集效率的研究,最后对盆地或区带作出区域储层综合评价。

(9)在局部构造或沉积单元内开展储层地震地层学研究。针对陆相碎屑岩区的沉积特点,将地震资料进行必要的、合理的特殊处理。根据在辽东湾的实践,我们总结了这种特殊处理