

国/外/含/油/气/盆/地/丛/书

欧洲含油气盆地

朱伟林 杨甲明 杜 栩 等 著



科学出版社

国外含油气盆地丛书

欧洲含油气盆地

朱伟林 杨甲明 杜 栩 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以“有多少油气”、“这些油气是如何分布的”和“控制油气分布的主要区域地质背景和石油地质背景是什么”为主线,全面介绍欧洲区域地质背景、含油气盆地类型及其基本地质特征,重点描述具有典型意义的6个含油气盆地。

本书可供石油勘探开发研究人员以及石油和地质院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

欧洲含油气盆地/朱伟林,杨甲明,杜栩等著. —北京:科学出版社,2011
(国外含油气盆地丛书)

ISBN 978-7-03-032815-1

I. 欧… II. ①朱…②杨…③杜… III. 含油气盆地-研究-欧洲
IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第237515号

责任编辑:罗吉卜新/责任校对:包志虹

责任印制:赵博/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年12月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年12月第一次印刷 印张:39 3/4

印数:1—1 600 字数:940 000

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《国外含油气盆地丛书》 编辑委员会

主 编：朱伟林

副主编：崔早云 杨甲明 杜 栩

委 员（按姓氏笔画排序）：

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马立武 | 马前贵 | 王志欣 | 王春修 | 白国平 |
| 江文荣 | 李江海 | 李进波 | 李劲松 | 吴培康 |
| 陈书平 | 邵滋军 | 季洪泉 | 房殿勇 | 胡 平 |
| 胡根成 | 钟 锴 | 侯贵廷 | 宫少波 | 聂志勳 |

《欧洲含油气盆地》

主要作者：朱伟林 杨甲明 杜 栩

参撰人员：李江海 甘克文 刘祚冬 詹艳涛

程海艳 张立伟 黄 荣 王 凯

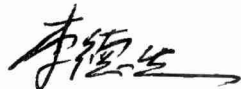
丛 书 序

我国海洋石油工业起步较晚。20世纪80年代对外开放以来,中国海洋石油总公司和各地分公司在与国际石油公司合作勘探开发海洋油气过程中全方位引进和吸收了许多先进技术,并在自营勘探开发海洋油气田中发展和再创新这些技术。目前,中国海洋石油总公司在渤海、珠江口、北部湾、莺歌海和东海等盆地合作和自营开发107个油田,22个气田。2010年,生产油气当量已超过5000万t,建成一个“海上大庆”,成绩来之不易。

进入21世纪,中国海洋石油总公司将“建设国际一流能源公司”作为企业发展目标,在党中央、国务院提出利用国际、国内两种资源,开辟国际、国内两个市场的决策下,中国海洋石油总公司开始涉足跨国油气勘探、开发业务。迄今已在海外多个石油区块进行投资,合作勘探开发油气田。

我国各大石油集团公司在国际油气勘探开发方面时间短,经验少。我国多数石油地质科技工作者对国外含油气盆地缺乏感性认识 and 实践经验。因此,在工作中系统调查研究海外油气地质资料,很有必要。自2011年起,由中国海洋石油总公司朱伟林主编的《国外含油气盆地丛书》(共11册)由科学出版社出版。该丛书包括《全球构造演化与含油气盆地(代总论)》和《欧洲含油气盆地》、《中东含油气盆地》、《北美洲含油气盆地》、《南美洲含油气盆地》、《俄罗斯含油气盆地》、《中亚-里海含油气盆地》、《环北极圈含油气盆地》、《非洲含油气盆地》、《南亚-东南亚含油气盆地》、《澳大利亚含油气盆地》,对区域构造、沉积背景、油气地质特征、油气资源、成藏模式及有利目标区和已开发典型含油气盆地、重要油气田等进行详细阐述。该丛书图文并茂,资料数据丰富,为从事海外油气业务的领导、技术专家、工作人员和关心石油工业的学者、高等学校师生提供极其有益的参考。在此,我谨对该丛书作者所做的贡献表示祝贺!

中国科学院院士



2011年11月于北京

丛书前言

改革开放以来,我国各大石油集团公司相继走上国际化的发展道路,除了吸引国际石油公司来华进行油气勘探开发投资外,纷纷走出国门,越来越多地参与世界范围内含油气盆地的油气勘探开发。

然而,世界含油气盆地数量众多,类型复杂,石油地质条件迥异,油气资源分布极度不均。油气勘探走出国门,迈向世界,除了面临政治、宗教、文化、环境差异等一系列困难外,还存在对世界不同类型含油气盆地地质条件和油气成藏特征缺乏系统、全面的认识和掌握等问题。此外,海外区块的勘探时间常常受到合同期的制约。因此,如何迅速、全面地了解世界范围内主要含油气盆地的地质特征和油气分布规律,提高海外勘探研究和决策的水平,降低海外勘探的风险,至关重要。出版《国外含油气盆地丛书》,以飨读者,正当其时。

本丛书在中国海洋石油总公司走向海外的勘探历程中,对世界400多个主要含油气盆地进行系统的资料搜集、分析和总结,在此基础上,系统阐述世界主要含油气盆地的区域构造背景、主要盆地类型及其石油地质条件,剖析典型盆地的含油气系统及油气成藏模式,未过多涉及石油地质理论的探讨,而是注重丛书的资料性和实用性,旨在为我国石油工业界同人以及从事世界含油气盆地研究的学者提供一套系统的、适用的工具书和参考资料。

《国外含油气盆地丛书》共11册,包括《全球构造演化与含油气盆地(代总论)》、《欧洲含油气盆地》、《中东含油气盆地》、《北美洲含油气盆地》、《南美洲含油气盆地》、《俄罗斯含油气盆地》、《中亚-里海含油气盆地》、《环北极圈含油气盆地》、《非洲含油气盆地》、《南亚-东南亚含油气盆地》、《澳大利亚含油气盆地》。

本丛书主编为朱伟林,副主编为崔早云、杨甲明、杜栩,委员为马立武、马前贵、王志欣、王春修、白国平、江文荣、李江海、李进波、李劲松、吴培康、陈书平、邵滋军、季洪泉、房殿勇、胡平、胡根成、钟锴、侯贵廷、宫少波、聂志勳,中国海洋石油总公司勘探研究人员以及国内相关科研院所的数十位专家和学者参加编写。在此,向参与本丛书编写和管理工作的团队全体成员表示诚挚的谢意!

本丛书各册会陆续出版,因作者水平有限,不足之处在所难免,恳请广大读者批评、指正,以便不断完善。

主 编

2011年11月

前 言

《欧洲含油气盆地》是中国海洋石油总公司组织出版的《国外含油气盆地丛书》中的一部。鉴于《俄罗斯含油气盆地》包括整个东欧地台，故本书不再重复有关内容。

欧洲是现代地质学的诞生地，不但许多地质学的基础研究源于欧洲，而且其研究深度、资料丰富程度居世界前列。

含油气盆地，是一个地区区域地质与石油地质的结合部。换句话说，不同类型的含油气盆地有着不同的区域地质背景和不同的石油地质特征。第一章介绍欧洲区域地质背景。第二章含油气盆地类型及其基本石油地质特征是本书重点之一，被详细介绍。第三至八章介绍 6 个重点含油气盆地，这些盆地在欧洲都具有典型意义。

贯穿全书的主线是：各种类型盆地有多少油气？这些油气是如何分布的？为何有如此的油气分布特征？因此，本书不仅归纳欧洲的含油气特征，并且对诸多现象有所认识、有所分析。

本书的另一个重点是突出堪称世界石油地质经典之所在，如北部北海大陆裂谷盆地、华力西前陆气区、阿尔卑斯前渊与山间盆地。

本书精华之处可归纳为以下六点。

第一，欧洲大陆的构造发展史是板块拼合与离散的历史。我们可以简单地将其归纳为三次拼合、两次离散：

第一次拼合是加里东期末劳伦古陆与芬诺-波罗的海古陆的拼合。其后，加里东褶皱带在北海海域形成西欧地台稳定的沉降区，中-新生代北海北部地幔柱的发育造就欧洲最大的含油气区。

第二次拼合是海西旋回联合古陆的拼合，前华力西褶皱带前缘中碳世—晚石炭世前陆盆地的发育形成欧洲的主要天然气区。第一次离散发生在联合古陆，中侏罗世劳亚大陆和冈瓦纳大陆分离，古地中海和中大西洋张裂。

第三次拼合是古地中海闭合、非洲-阿拉伯板块与欧亚板块的碰撞，阿尔卑斯期的褶皱带前缘和内部地块形成一系列新生代含油气盆地。欧洲大陆第三次拼合与第二次离散几乎是同时的，欧亚大陆和北美-格陵兰地壳分离，产生欧洲被动大陆边缘盆地。

第二，欧洲可划分为 7 个基本构造单元：芬兰-斯堪的纳维亚地盾、东欧地台、加里东褶皱带、西欧地台、华力西褶皱带、阿尔卑斯褶皱带和北大西洋被动大陆边缘等。西欧地台是主要含油气构造单元，占欧洲油气总储量的 70%；北大西洋被动大陆边缘占欧洲油气总储量的 7%；与阿尔卑斯褶皱带相关的盆地占欧洲油气总储量的 17.5%。这三个构造单元占欧洲油气总储量的 94.5%。

第三，北部北海大陆裂谷盆地油气储量居世界第一位，占欧洲油气总储量的 44%，是欧洲的主要产油区。裂陷期发育三叉裂谷，油气主要分布于裂谷。上侏罗统海相基默

里奇热页岩是主要源岩，是控制油气分布的首要因素。基默里奇热页岩的形成与中侏罗世基梅里热隆起密切相关。

第四，位于华力西前陆的英荷盆地、西北德国盆地和东北德国-波兰盆地是欧洲的主要气区，占欧洲油气总储量的 26%，有世界著名的格罗宁根大气田。上石炭统煤系为主要气源岩，二叠系赤底统风成砂岩是良好的储层，泽希斯坦岩盐为区域盖层。这一绝佳的生储盖配置取决于区域构造演化。华力西前陆决定源岩的分布，二叠纪联合古陆形成，带来干旱的季风，造就风成砂岩和近海盐盆的必备条件。

第五，就石油地质来说，碰撞的阿尔卑斯、推覆的喀尔巴阡、对冲的迪纳拉-亚平宁是欧洲阿尔卑斯褶皱系中含油气盆地发育的主体部位。阿尔卑斯褶皱系 20 个含油气盆地油气储量占欧洲油气总储量的 17%。其中，前渊盆地占欧洲油气总储量的 11%。在三个褶皱系中，喀尔巴阡褶皱系占阿尔卑斯域油气总储量的 76%，是油气的主要富集部位。前渊盆地中复理石带主要含油，磨拉石带主要含气，油气分布主要取决于源岩分布。

第六，北大西洋-挪威海被动大陆边缘盆地共有 9 个含油气盆地，占欧洲油气总储量的 7%。挪威海东侧 4 个盆地油气储量占被动大陆边缘油气总储量的 95%。这一油气富集的特点很可能与基梅里期热隆起的分布有关，由基默里奇热页岩的分布决定。

本书许多地方沿用“第三纪（系）”的旧有名词，这是因为在所引原著中没有区分“新第三纪和老第三纪”、“上第三系和下第三系”，无法断定各处内容中的“第三纪（系）”是指新近纪（系），还是指古近纪（系），抑或兼指二者，只好直接引用原著。特此说明。

本书主要作者为朱伟林、杨甲明、杜栩，参撰人员为李江海、甘克文、刘祚冬、詹艳涛、程海艳、张立伟、黄荣、王凯。

在撰写过程中，中海石油（中国）有限公司勘探部崔早云总监、吴培康经理以及季洪泉、邵滋军、胡根成等专家给予多方指导和大力帮助。在书稿完成过程中，中国石油大学王志欣教授、白国平教授在有关资料收集上给予支持，北京大业嘉成科技有限公司在盆地资料库制作和欧洲含油气盆地工业制图方面给予大力协助。在此，一并致谢。

本书大量应用 IHS 公司商业资料库的插图和数据，无法确切查对资料来源，只据原图在书中注明原著者。还有一类是 IHS 公司自己编制的插图，书中引用时只注明：IHS, 2007。根据 IHS 公司数据编制的表格，同样注明：IHS, 2007。本书应用 C&C 咨询公司的插图，书中注明：C&C, 2007 或原著者。在成书过程中，我们参阅大量文献，在正文中以著者-出版年形式注明出处，在参考文献中尽量与其对应，注明著者、出版年、文献名、出版机构等著录项目，但很难全面列举。在此，我们向所有文献作者表示感谢。

作者

2011 年 6 月

目 录

| | |
|-----------------------------|-----|
| 丛书序 | |
| 丛书前言 | |
| 前言 | |
| 绪论 | 1 |
| 第一节 概况 | 1 |
| 第二节 勘探开发历史 | 4 |
| 第一章 区域地质背景 | 7 |
| 第一节 构造区划 | 7 |
| 第二节 构造和沉积演化历史 | 42 |
| 第二章 含油气盆地类型及其基本石油地质特征 | 75 |
| 第一节 裂谷盆地 | 77 |
| 第二节 被动大陆边缘盆地 | 132 |
| 第三节 华力西前陆盆地 | 151 |
| 第四节 阿尔卑斯域前渊盆地、山间盆地、拉分盆地和冲断带 | 199 |
| 第五节 克拉通盆地 | 235 |
| 第三章 北部北海盆地 | 252 |
| 第一节 盆地概况 | 252 |
| 第二节 基础地质特征 | 255 |
| 第三节 维京地堑石油地质特征 | 286 |
| 第四节 中央地堑石油地质特征 | 322 |
| 第五节 马里-福斯地堑石油地质特征 | 354 |
| 第六节 三个正向一级构造单元的石油地质特征 | 374 |
| 小结 | 389 |
| 第四章 英荷盆地 | 391 |
| 第一节 盆地概况 | 391 |
| 第二节 盆地基础地质特征 | 394 |
| 第三节 盆地石油地质条件 | 405 |
| 小结 | 432 |
| 第五章 阿基坦盆地 | 433 |
| 第一节 盆地概况 | 433 |
| 第二节 盆地基础地质特征 | 436 |
| 第三节 盆地石油地质条件 | 450 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 小结..... | 468 |
| 第六章 潘诺盆地..... | 469 |
| 第一节 盆地概况..... | 469 |
| 第二节 盆地基础地质特征..... | 472 |
| 第三节 盆地石油地质条件..... | 488 |
| 第四节 油气分布与油气聚集的主要控制因素..... | 510 |
| 小结..... | 512 |
| 第七章 北喀尔巴阡盆地..... | 513 |
| 第一节 盆地基础地质特征..... | 515 |
| 第二节 盆地石油地质特征..... | 529 |
| 小结..... | 562 |
| 第八章 维也纳盆地..... | 563 |
| 第一节 盆地概况..... | 563 |
| 第二节 盆地基础地质特征..... | 566 |
| 第三节 石油地质特征..... | 582 |
| 小结..... | 603 |
| 参考文献..... | 605 |
| 附录 中外文专用名词对照表..... | 617 |

绪 论

第一节 概 况

欧洲北临北冰洋，西濒大西洋，南与非洲、亚洲以地中海、黑海、大高加索山脉和里海相隔，东界为俄罗斯乌拉尔山与乌拉尔河，包括 44 个国家和地区，总面积 $1\ 016 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

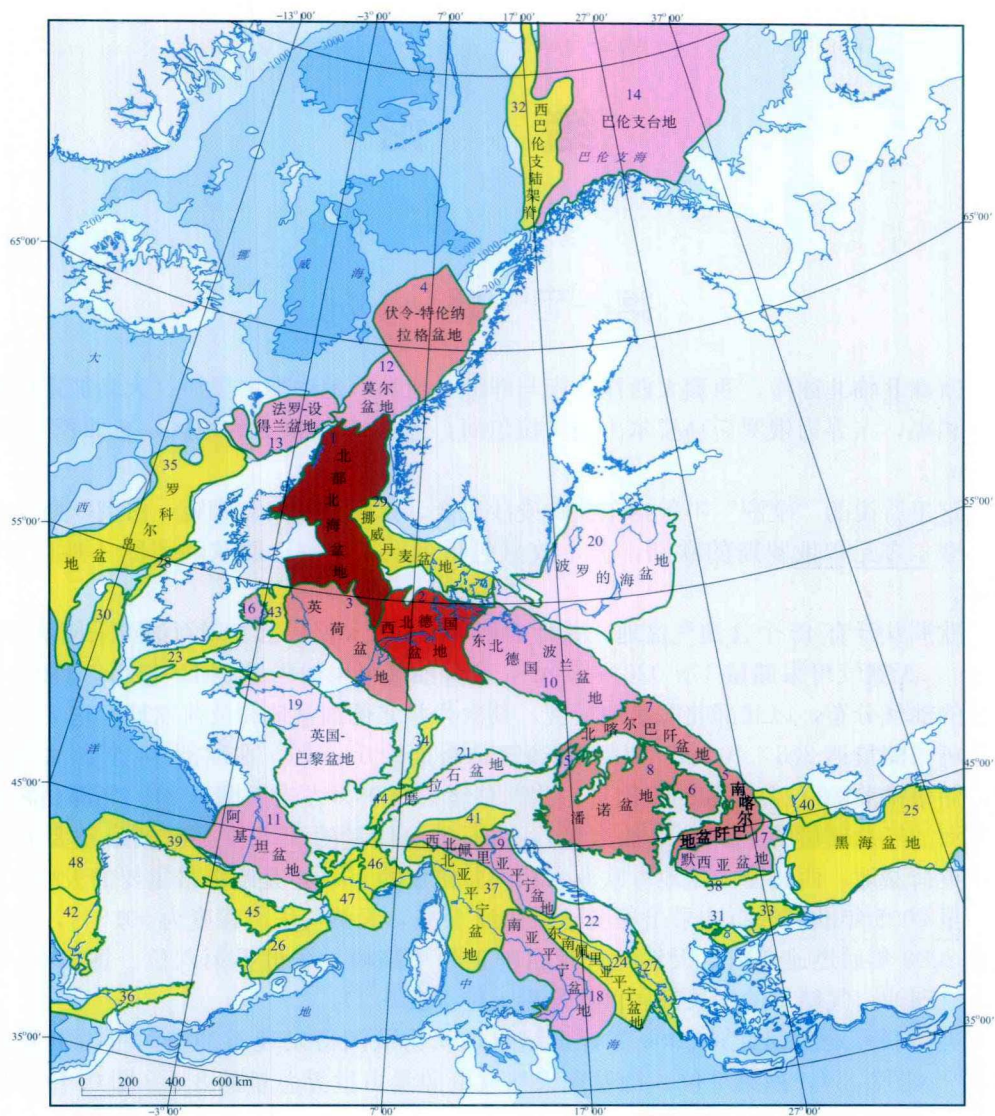
这里所说的“欧洲”不包括东欧的爱沙尼亚、拉脱维亚、立陶宛、白俄罗斯、乌克兰、摩尔多瓦和俄罗斯的欧洲部分，故只包括南欧、中欧、西欧和北欧 4 地区 37 个国家。

欧洲共计有 48 个含油气盆地，共计面积 $489 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，已发现石油可采储量 $138 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，天然气可采储量 $179\ 028 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，合计油气可采油当量 $304 \times 10^8 \text{ m}^3$ （图 0.1）。盆地的油气分布，以北部北海盆地最富，其次为西北德国盆地和英荷盆地，这 3 个盆地油气可采储量达 $208 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占欧洲油气总储量的 68.5%。在欧洲 48 个含油气盆地中，储量排前 10 位盆地的油气储量占欧洲总储量的 90% 左右（图 0.2）。北部北海盆地占欧洲油气总储量的 44.5%（油当量），占石油总储量的 66%，是欧洲最重要的油气区；英荷盆地、西北德国盆地占欧洲天然气总储量的 40%，是欧洲最重要的天然气区。

至 2005 年欧洲的石油采出程度已经达到 68%，天然气采出程度为 59.2%，石油产量自 2000 年后迅速递减，天然气产量目前正处于高峰，居世界第六位。据 2009 年资料，欧洲油、气储量的增长都居世界最后一位（表 0.1）。

美国联邦地质调查局 2000 年评价结果，认为欧洲待发现石油资源量占世界总量的 3%（图 0.3），列第 7 位；待发现天然气资源量占世界总量的 8%（图 0.4），列第 5 位。

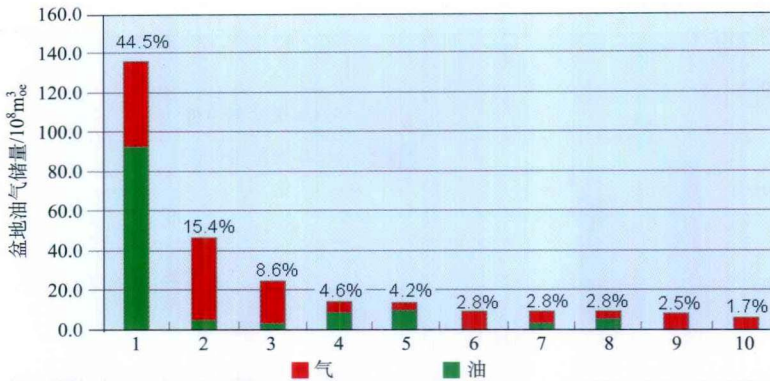
在世界范围内，欧洲并不是主要油气的富集区。由于欧洲是世界资本主义的诞生地，也是现代工业的发祥地，因此，在基础地质和石油地质研究上都占据显著位置。欧洲的克拉通盆地、中生代裂谷盆地、华力西前陆盆地、阿尔卑斯前渊盆地和山间盆地，都有鲜明的特色，堪称经典。特别是北海海上油气的勘探开发，当时与阿拉伯湾、墨西哥湾、马拉开波湖和南中国海占据有同等重要位置。



| 盆地名称及编号 | | 可采储量级别 (MMBOE) | |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------|
| 1. 北部北海盆地; | 11. 阿基坦盆地; | 21. 磨拉石盆地; | 31. 北爱琴海盆地; |
| 2. 西北德国盆地; | 12. 莫尔盆地; | 22. 南亚得里亚海-都拉斯盆地; | 32. 西巴伦支陆架脊; |
| 3. 英荷盆地; | 13. 法罗-设得兰盆地; | 23. 凯尔特海盆地; | 33. 色雷斯-加利波利盆地; |
| 4. 伏令-特伦纳拉格盆地; | 14. 巴伦支台地; | 24. 东南佩里-亚平宁盆地; | 34. 上莱茵地堑; |
| 5. 南喀尔巴阡盆地; | 15. 维也纳盆地; | 25. 黑海盆地; | 35. 罗科尔岛盆地; |
| 6. 特兰西瓦尼亚盆地; | 16. 东爱尔兰海盆地; | 26. 卡拉塔诺-巴利阿里盆地; | 36. 瓜达尔基维尔盆地; |
| 7. 北喀尔巴阡盆地; | 17. 默西亚盆地; | 27. 伊奥尼亚海盆地; | 37. 北亚平宁盆地; |
| 8. 潘诺盆地; | 18. 南亚平宁盆地; | 28. 西北爱尔兰陆架盆地; | 38. 前巴尔干盆地; |
| 9. 西北佩里-亚平宁盆地; | 19. 英国-巴黎盆地; | 29. 挪威-丹麦盆地; | 39. 坎塔布连盆地; |
| 10. 东北德国-波兰盆地; | 20. 波罗的海盆地; | 30. 波丘派恩盆地; | 40. 博尔格勒盆地; |
| | | | 41. 南阿尔卑斯盆地; |
| | | | 42. 卢斯塔尼盆地; |
| | | | 43. 奔宁盆地; |
| | | | 44. 保罗褶皱带; |
| | | | 45. 埃布罗盆地; |
| | | | 46. 朗吉多克盆地; |
| | | | 47. 利翁湾盆地; |
| | | | 48. 加利亚西亚盆地; |

图 0.1 欧洲含油气盆地油气储量分布图

$$1 \text{ MMBOE} = 0.00158987 \times 10^8 \text{ m}^3$$



1.北部北海盆地； 2.西北德国盆地； 3.英荷盆地； 4.伏令-特伦纳拉格盆地； 5.南喀尔巴阡盆地； 6.特兰西瓦尼亚盆地； 7.北喀尔巴阡盆地； 8.潘诺盆地； 9.西北佩里-亚平宁盆地； 10.东北德国-波兰盆地

图 0.2 欧洲油气可采储量排前 10 位的含油气盆地油气储量规模序列

表 0.1 2009 年世界年油气探明储量及天然气年产量表

| 地区 | 石油储量/10 ⁸ m ³ | 天然气储量/10 ⁸ m ³ | 天然气产量/10 ⁸ m ³ |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 北美洲 | 330.24 | 97 301.01 | 9 877.733 |
| 欧洲 | 21.71 | 47 885.16 | 3 537.734 |
| 中美洲-南美洲 | 195.06 | 75 484.41 | 2 435.803 |
| 俄罗斯 | 157.22 | 564 644.20 | 7 927.051 |
| 中东 | 1 186.04 | 733 956.10 | 5 563.747 |
| 非洲 | 186.12 | 139 922.90 | 3 940.728 |
| 亚太 | 54.06 | 121 892.70 | 4 752.946 |
| 世界 | 2 130.45 | 1 781 086.48 | 38 035.742 |

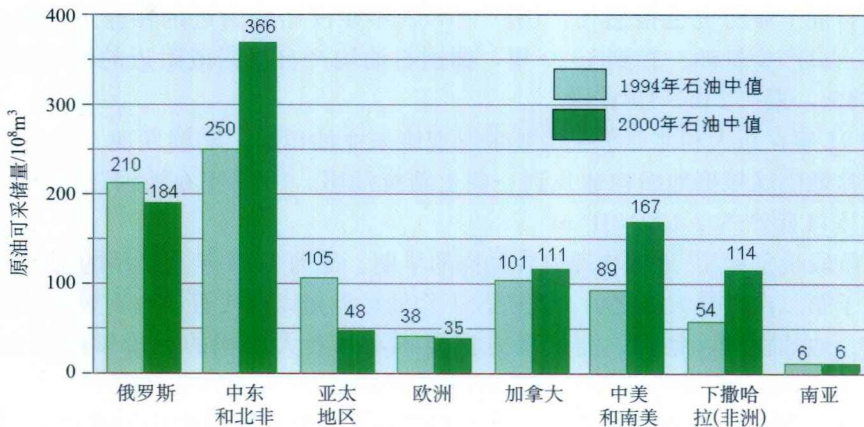


图 0.3 世界主要地区石油待发现资源量预测 (USGS, 2000)

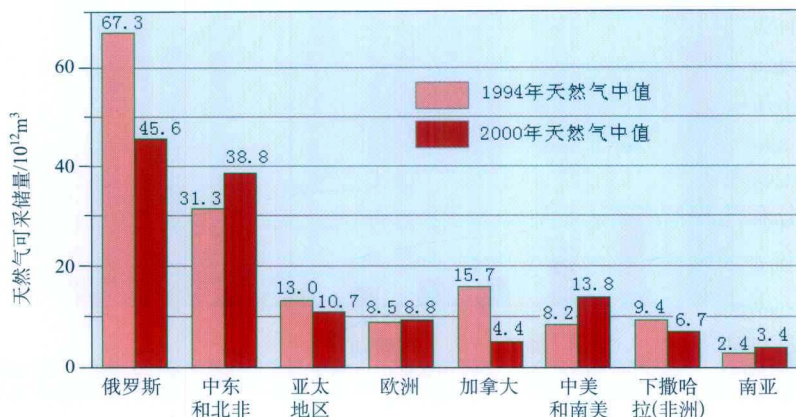


图 0.4 世界主要地区天然气待发现资源量预测 (USGS, 2000)

第二节 勘探开发历史

欧洲油气勘探开发的历史可以分两大阶段:

第一阶段 19 世纪中期至 20 世纪中期是初始地面地质勘探阶段。这个时代以罗马尼亚为代表,是当时欧洲(除苏联外)最早开创采油工业和最重要的产油国。1857 年,罗马尼亚在南喀尔巴阡盆地首创石油的工业性开采,于 1860 年钻探井,开发莫雷尼、布斯特纳里等油田。1895 年发现波里斯劳油田(可采储量 $2\ 800 \times 10^4 \text{t}$),至 1909 年最高年产量达 $192 \times 10^4 \text{t}$ 。1909 年首次发现特兰西瓦尼亚盆地的气田。至 1920 年罗马尼亚累计产油量为 $2\ 220 \times 10^4 \text{t}$ 。1921~1948 年虽经战争破坏,而其累计产油量仍达到 $1.37 \times 10^8 \text{t}$,1936 年最高年产 $870 \times 10^4 \text{t}$ 。1930 年产气仅 $2.24 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1946 年达到 $6.4 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

德国石油工业历史也很悠久。1857~1863 年在汉诺威附近的伟兹油田钻过 13 口井,其中三口产少量油。直到 1920 年,德国石油均产自汉诺威附近的四个盐丘油田,年产 35 045t,累产 $216 \times 10^4 \text{t}$ 。

自 1891 年在意大利北亚平宁褶皱带发现维来亚油田起,陆续发现一些小油田,不久又在波盆地南缘根据地面构造找到一些上新统油田。1934 年在波河三角洲发现第四系气藏,1944 年产气 $2\ 100 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

这一阶段也是地质-地球物理综合勘探的早期。德国 1921 年起使用的扭秤和折射地震,普及于第二次世界大战之后。此阶段工作的特点是以现代石油地质学为指导,不断更新地质、地球物理、钻探、测试等方法技术,开展大面积的评价预测和选区勘探工作。

1948 年,罗马尼亚实现国有化,投入的年钻井工作量从以往的年进尺 $4 \times 10^4 \text{m}$ 提升为 $20 \times 10^4 \text{m}$,1951 年跃至 $45 \times 10^4 \text{m}$,1968 年达 $90 \times 10^4 \text{m}$ 。至 1968 年底的 20 年间,共做地震 4 000 队月,钻探井 $1400 \times 10^4 \text{m}$ 。1949~1970 年共产油 $2.36 \times 10^4 \text{t}$,原

油年产量 1947 年为 $400 \times 10^4 \text{t}$, 1955 年 $1\ 060 \times 10^4 \text{t}$, 1976 年最高达 $1\ 516 \times 10^4 \text{t}$, 1978 年开始下降 ($1\ 399 \times 10^4 \text{t}$)。1948~1968 年天然气储量由 $625 \times 10^8 \text{m}^3$ 增长至 $2\ 700 \times 10^8 \text{m}^3$ 。产气量 1959 年为 $5 \times 10^8 \text{m}^3$, 1962 年建成了 $3\ 300 \text{ km}$ 的输气主管道后产量一增再增, 至 1978 年产气量达 $343 \times 10^8 \text{m}^3$ 。罗马尼亚 1970 年进口原油 $230 \times 10^4 \text{t}$, 1976 年已达 $850 \times 10^4 \text{t}$, 原先传统的原油出口国终于变成为进口国。

德国最重要的油气盆地为西北德国盆地、磨拉石盆地、莱茵地堑、东北德国-波兰盆地的一部分和北海盆地的一小角。德国在二战期间 1940 年产油 $103.8 \times 10^4 \text{t}$, 1948 年引进美国的新式反射地震仪, 动用 22 个地震队, 发现了一批盐丘油田。20 世纪 50 年代使萨克森地堑中段地区成为全国油气中心区, 产量占全国的 1/2。一系列发现使德国成为发现北海油田以前的西欧最大的产油国。1963 年产量超过 $700 \times 10^4 \text{t}$, 1968 年最高纪录达 $798 \times 10^4 \text{t}$ 。至 1977 年产量递减, 消费量已高达 $1.23 \times 10^8 \text{t}$ 。

荷兰 1959 年在西北德国盆地陆上发现了世界级的格罗宁根大气田, 二叠系赤底统风成砂岩天然气储量达 $25\ 830 \times 10^8 \text{m}^3$ (91.22 TCF)。格罗宁根大气田的发现激发了人们对于北海油气前景的兴趣和信心, 揭开了欧洲油气勘探历史新的一页。

第二阶段 20 世纪 60 年代以后是以北海为重点的海上油气勘探时期。1964 年各有关国家对北海海域辖区范围的划定, 进一步促进了北海的油气勘探。

由于北海南部海况条件相对较好, 英国 1965 年首先于英荷盆地上钻, 次年在 Sole Pet 反转构造带南端发现赤底统的 Lemn 大气田, 可采储量 $3\ 403.68 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由于英国对天然气市场价格的控制和北海北部良好的中生代-新生代裂谷的发现, 促进了油公司向自然条件更恶劣的北海北部发展。

1969 年, 在北海已经钻了 200 口探井之后, 菲利普斯公司在中央地堑的挪威海域发现埃科菲斯克 (Ekofisk) 油田, 上白垩统丹宁组和古新统白垩统层最大厚度达 315 m , 测试单井日产油量达到 $1\ 590 \text{ m}^3$, 石油储量达 $5.4 \times 10^8 \text{m}^3$, 天然气 $1\ 840.28 \times 10^8 \text{m}^3$, 折合为油当量, 合计 $7.12 \times 10^8 \text{m}^3$ 。随后, 1970 年壳牌和埃索公司又在中央地堑的英国海域发现福蒂斯油田, 古新统砂岩储层净厚度平均 230 m , 储量 $4.60 \times 10^8 \text{m}^3$ 。埃科菲斯克油田的发现是北海北部油气勘探的重要里程碑, 它证实了侏罗系是北海的主要源岩, 促成了 20 世纪 70 年代早期以中生界和古近系为目的层的钻探高峰。

1971~1976 年是北海油气勘探大发展阶段, 形成了北海储量发现高峰 (图 0.5)。1970 年英国第三轮招标许可证范围向北扩展, 1971 年发现布伦特油田, 下侏罗统和三叠系砂岩不整合油气藏储量 $2.33 \times 10^8 \text{m}^3$ 。同年还发现 Frigg 气田, 古新统砂岩底水气藏, 储量 $1\ 914.22 \times 10^8 \text{m}^3$ 。英国政府抓住布伦特油田的发现机遇, 年底开始了第四轮招标。1972~1976 年北海北部出现激动人心的场面, 连续发现 8 个大油田, 都属于不整合断块油藏: 包括 1974 年发现的北海最大的 Statfjord 油田 (储量达 $6.61 \times 10^8 \text{m}^3$)、Sleipner 油田、马里-福斯地堑的 Piper 油田和 Claymore 油田等。1975 年维京地堑南部发现由侏罗系断崖扇砂砾岩构成的 Brae 油田。

20 世纪 70 年代末 80 年代初北海探井工作出现低谷。英国政府逐年提高招标区块的租金, 最低勘探工作量也逐渐变得严格; 挪威对其国家石油公司的保护是导致勘探工

作量降低的主要原因。英国从 1993 年起为鼓励中小油气田的勘探开发，调整了税收政策，再加上大量三维地震的投入，使北海的油气产量很快走出低谷，在 20 世纪 90 年代末期达到了生产高峰。

进入 21 世纪，北海的储量替代率已经小于 1，剩余储量逐年递减。英国的储量累计曲线基本可以反映北海勘探历史阶段的划分，1966~1971 年曲线斜率缓慢增加，1971~1978 年斜率陡然增加，1978~1992 年斜率降低，1992 年以后斜率逐年进一步降低，盆地进入了成熟勘探阶段。

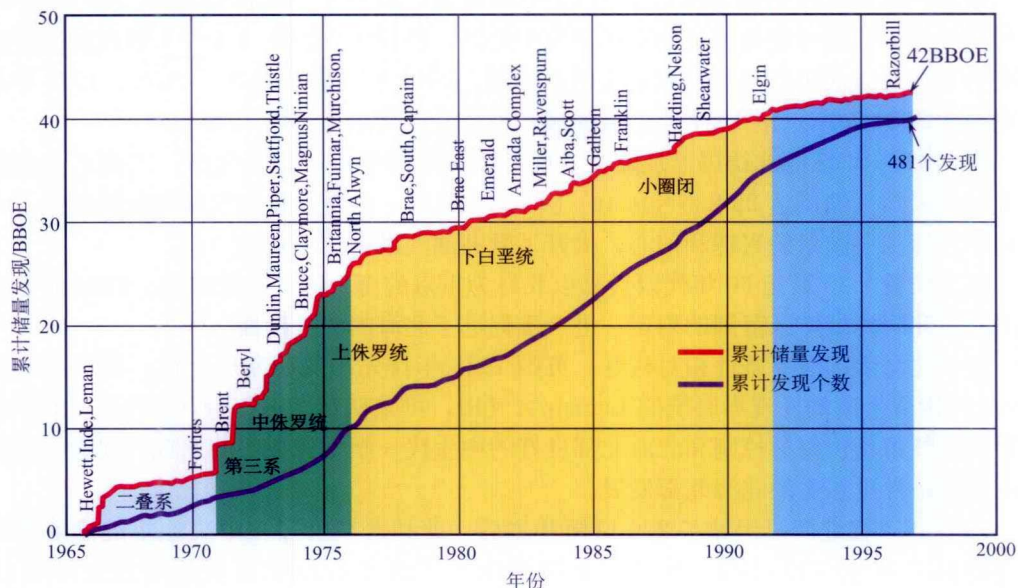


图 0.5 北海英国 1965~1996 年可采储量累计曲线 (由英国壳牌数据修改)