

北海盆地

石油地质特征 与勘探实践

——叶德燎 易大同 编译

BEIHAIPENDISHIYOU DIZHITESHENG YUKANTANSHIJIAN



130.2

石油工业出版社

北海盆地石油地质特征与勘探实践

叶德燎 易大同 编译

石油工业出版社

内 容 提 要

北海盆地作为一个整体,石油产量排在世界的第四位,天然气产量居世界第三位。本书通过对北海盆地的勘探发展史、油气地质背景、油源岩、油气运移、油气远景区及盆地内各油气田的详细剖析,从多方面、多角度综合分析了北海盆地,期望有助于更深刻地认识我国类似的含油气盆地,提高勘探成功率。

本书可供广大地质学、石油勘探开发科技工作者及高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

北海盆地石油地质特征与勘探实践/叶德燎,易大同编译.
北京:石油工业出版社,2004.2

ISBN 7-5021-4561-3

I. 北…

II. 叶…

III. ①北海-含油气盆地-石油天然气地质-特征

②北海-含油气盆地-油气勘探

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 003832 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)
北京乘设伟业科技排版中心排版
北京密云华都印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 403 千字 印 1—500

2004 年 2 月北京第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4561-3/TE·3191

定价:43.00 元

前 言

古云：“他山之石，可以攻玉”。只有了解了世界各地，特别是与本地区相类似的油气盆地，才能更经济、有效地开展本地区的油气勘探开发工作。追溯百余年来油气勘探开发史，每当有一个新地区、新层系或新远景圈闭的发现，无不给其他类似地区、类似层系和类似远景圈闭的勘探带来活力，从而导致一系列新的发现。

北海盆地已知可采储量和资源量相加估计为 $7886.625 \times 10^8 \text{bbl}$ 油当量，其中 60% 为原油，33.6% 为天然气，6.4% 为凝析油和天然气液(Dafter, 2003)。目前，只有 $339.822 \times 10^8 \text{bbl}$ 油当量已被采出，而绝大部分的油气仍然隐藏在地下，有待进一步的勘探开发。北海盆地作为一个整体，石油产量排在世界的第四位，仅次于沙特阿拉伯、美国和俄罗斯；天然气产量居世界第三位，排在美国和俄罗斯之后。北海盆地的勘探历程并不是一帆风顺的，也有过反复。北海盆地是一个复杂的含油气盆地，对它的认识，是随着勘探开发工作的深入而逐步加深的。伴随着技术的进步，油气勘探不断取得成功。1992 年北海盆地已停止二维地震勘探，取而代之的是三维地震。目前已广泛采用四维地震，以获取有关油藏分布及特征的更清晰的图像。对北海盆地石油地质特征的了解，将有助于更深刻地认识我国类似的含油气盆地，提高勘探成功率。

本书的编译工作由叶德燎和易大同共同完成。叶德燎主要负责外文资料的翻译和整理，易大同负责文献资料的收集、整理和成文。文稿完成后，安作相对稿件进行了审阅和修改，最后由叶德燎进行定稿。

本书成文过程中，王惠娟同志协助整理了大量资料，付出了许多的精力和汗水；潘文蕾、翟常博同志帮助清绘了本书所有的图件；黄继文、贾存善、徐文明、蔡毅同志给予了许多帮助；中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所提供了出版经费。在此表示最诚挚的谢意！

目 录

第一章 概论	(1)
第二章 勘探发展简史	(4)
一、1964 年以前	(4)
二、1964—1970 年大规模勘探时期	(4)
三、1971—1976 年全面勘探和大发现阶段	(5)
四、1977 年以后的勘探概况	(5)
第三章 盆地油气地质背景	(7)
第一节 构造格架及其演变	(7)
一、不同时期的演变概况	(7)
二、盆地古应力场与构造模式讨论	(18)
三、盆地深层地震资料的解释	(27)
第二节 地层和沉积古地理	(40)
一、早二叠世地层——赤底统	(40)
二、晚二叠世——蔡希斯坦统	(47)
三、三叠系地层	(58)
四、侏罗纪地层	(63)
五、白垩纪地层	(70)
六、新生代地层	(77)
第三节 盆地沉降的初步分析	(85)
一、盆地(构造)沉降研究的基本方法	(85)
二、中央地堑的演化分析	(89)
三、维京地堑的演化分析	(92)
四、问题讨论	(96)
五、小结	(98)
第四节 北部盆地主要储层的沉积成岩作用	(100)
一、下二叠统赤底砂岩与前二叠系的储层概貌	(100)
二、三叠系的储集层发育概貌	(102)
三、下、中侏罗统砂岩储层的沉积成岩作用	(104)
四、上侏罗统砂岩储层的沉积成岩作用	(106)
五、第三纪砂岩储层沉积概貌	(108)
第四章 北北海盆地油源岩	(112)
第一节 油源岩的鉴别和生油量的估算	(113)
一、有机质的数量和类型	(115)

二、生成作用和成熟作用	(119)
第二节 烃源岩的地层分布	(123)
一、寒武系—奥陶系	(123)
二、泥盆系	(123)
三、石炭系	(123)
四、二叠系	(125)
五、三叠系	(126)
六、侏罗系	(126)
七、白垩系	(137)
八、第三系	(137)
第三节 北北海地区的烃类特征	(139)
第五章 北北海盆地的油气运移	(142)
第一节 中央地堑区油气运移的讨论	(142)
第二节 挪威海域奥塞贝格地区的油气生成及运移	(145)
第三节 维京地堑的油气生成和运移	(147)
第四节 中北海区(英属海域)启莫里阶粘土岩组中石油的排出	(149)
第五节 小结	(154)
第六章 北北海盆地的油气远景区	(156)
第一节 下第三系砂岩油气远景区带	(158)
第二节 白垩系和下第三系白垩层油气远景区带	(163)
第三节 上侏罗统砂岩油气远景区带	(167)
一、上侏罗统浅海相砂岩油气远景区带	(167)
二、上侏罗统海底扇/浊流砂岩油气远景区带	(169)
第四节 中、下侏罗统砂岩油气远景区带	(169)
第五节 地堑边缘古生代油气远景区带	(173)
第七章 油气田各论	(176)
第一节 英国所辖海域中的油气田	(179)
一、阿尔文(Aiwynd)油田	(179)
二、克莱莫尔(Claymore)油田	(186)
三、斯卡巴(Scapa)油田	(190)
四、布雷(Brae)油田	(190)
五、甘尼特(Gannet)油田	(193)
六、克莱德(Clyde)油田	(201)
七、阿盖尔(Argyll)油田	(202)
八、北海 B/22 区块重油油藏	(207)
九、福蒂斯(Forties)油田	(208)
第二节 挪威海域中的油气田	(211)
一、特洛尔(Troll)油田	(211)

二、奥丁(Odin)气田	(213)
三、海姆达尔(Heimdal)凝析气田	(215)
四、挪威 2/2 区块的气田	(216)
五、埃达(Edda)油田	(219)
六、霍德(Hod)油田	(221)
七、托尔(Tor)油田	(223)
八、尤拉(Ula)油田	(226)
九、瓦尔霍尔(Valhall)油田	(228)
十、古尔法克斯(Gullfaks)油田	(230)
十一、默其松(Murchison)油田	(232)
十二、奥塞贝格(Oseberg)油田	(234)
十三、贝里姆(Bream)和布里斯林(Brisling)油田	(236)
十四、科德(Cod)油气田	(238)
第三节 丹麦所辖海域油气勘探及油气田概况	(240)
一、丹(Dan)油田	(242)
二、格罗姆(Gorm)油田	(244)
三、阿达(Adda)油气田	(244)
参考文献	(245)

第一章 概 论

北海是 20 世纪 60 年代中期开始发展起来的最活跃的海上油气勘探开发区之一,虽然北海环境恶劣,油气勘探开发成本高,但是由于具有良好的石油地质条件,丰富的石油储量,高的油气勘探成功率,吸引了大批石油公司来此进行油气勘探开发,使北海发展成为世界海洋的主要产油气区之一。

北海周围的国家有英国、挪威、丹麦、荷兰和德国等,那里纬度较高,常年气候恶劣,变化无常,一年内平均只有 40 多天好天气。

北海北邻挪威海,西北以设德兰群岛为界,南至多佛尔海峡,面积约 $57.5 \times 10^4 \text{km}^2$ 。根据 1958 年日内瓦大陆架会议确定的原则,北海周围各国经过协商,确定了一系列双边协定,按中线原则划分北海海域,确定了各国之间的海区面积,分别为:英国约占 46%、挪威占 27%、荷兰为 10%、丹麦为 9%、德国 7%、剩余的 1% 归比利时和法国。北海北部的范围,包括了英国、挪威、丹麦和德国的海域,面积约 $35 \times 10^4 \text{km}^2$ 。其中英国约 $15 \times 10^4 \text{km}^2$ 、挪威 $13.1 \times 10^4 \text{km}^2$ 、丹麦 $5.6 \times 10^4 \text{km}^2$ 、德国 $1 \times 10^4 \text{km}^2$ 。按地理坐标来说,其南界在北纬 56° 线附近,北界在北纬 62° 线,东界在东经 7° 线附近,西界在西经 3° 线。在地质构造上,以北海中部高地和林克宾芬高地为界,在在地北侧属北海北部地区,以产油为主,也有一些气田。以下把北海北部地区简称为“北海油田区”。

北海主要油气田多集中分布在沿盆地轴线附近,已发现的 40 多个油气田,几乎 80% 以上集中分布在沿盆地轴线 80~100km 宽的范围内,正好在近南北和北北西向的北海中央地堑和维京地堑区。

北海油气的开发,是海上石油工业在 20 世纪 70 年代的一项重大成就。从 1959 年在荷兰北部发现格罗宁根大气田开始,到 1969 年在挪威海域发现埃科菲斯克大油田,历时 10 年。北海可能有石油前景,早在 50 年代就有所披露,但直到英国石油公司在美国阿拉斯加发现大量石油以后,才回过头来在自己的家门口——北海盆地着手进行油气勘探与开发。

为了开发北海油田,英国使用了世界 66 家银行贷款,采用了美、法、德、日等国最为先进的技术成就。

从 1963 年开始,石油工业界开展了有史以来最有抱负的工作之一——开发北海油田。各种各样的钻井和生产平台被拖到了北海。英国与挪威两国就在北海以每座耗资 20 亿美元的代价建造了一个又一个的现代化平台。实际上这是一座座海上工业城市,是油田的神经中枢。这种平台带有 3 个水平甲板,有可供 120 人使用的休息室,一个直升飞机甲板。供该平台使用的直升飞机随时处于待命状态,以便进行钻井平台之间的特殊联系和紧急状态下的疏散工作;它由高度现代化仪器设备装备并由精通业务的工作人员操作的中心控制室,在这里通过专门的卫星通讯线路与英国、挪威两国保持着密切的联系,并用无线电话传递各钻井平台之间的信息。紧急状态下,控制室还可以对各个钻井平台全部操作工作进行遥控。

开发北海油田的人们深知,海上钻井难,但海底铺设管线更难。从号称欧洲油都的苏格兰北部滨海城市阿伯丁到最近的钻井平台间的距离至少有 140km,一般都在 300km 左右,区域水深都大于 150 m。为了确定最合适的铺设线路,对北海有关海域底部一米一米地进行了勘

探。在每次工作中,必须动用二艘布线驳船,一艘埋线驳船,一艘潜水供给船,一艘负责检验的微型潜水艇和它们的供给船。此外,还有由供应船,拖船管线运输船组成的约 60 艘的小船队来保证施工的进行,从弗里格大气田向英国本土铺设 360km 的管线,耗时近一年。英国壳牌石油公司铺设 1km 长的海底管线要投资 1 百万英镑。

随着科学的发展,各种现代化的技术也不不断地被引入北海油田的开发建设中,例如卫星导航和平台的定位、卫星通讯、高度自动化的电脑设施、精确的水下信息传递系统。法国石油公司还在北海油田首次成功地使用了“亮点技术”。

北海油田的开发带来了巨大的经济收益。70 年代以前的英国,除了在苏格兰有小规模的油页岩开采提炼工业以外,基本上没有石油。到了 1975 年,天然气产量达 $136 \times 10^8 \text{m}^3$,1980 年实现了能源自给自足,1985 年石油产量达到了 $1285 \times 10^8 \text{t}$,跃居世界第五位。挪威也由此成为石油自给有余,并有大量出口的国家。北海油田目前已成为世界 10 大产油区之一。

北海盆地有两个特点:一是其基底的破碎程度高,二是热流值高。北海盆地由于拉张断陷作用,形成了许多地堑,包括有维京地堑、中央地堑、北荷兰地堑、福蒂斯地堑、挪威地堑等。在这些地堑中,地壳厚度明显变薄。因此,具有较高的地温梯度($2.7 \sim 3.4^\circ\text{C}/100\text{m}$)。在这些深地堑中沉积了厚度达 10 km 的二叠纪、三叠纪、侏罗纪和早白垩世的沉积物,并被晚白垩世、早第三纪和晚第三纪的厚达 3~4 km 的平缓盖层覆盖。因而构成了由裂谷的断块运动及上覆岩层的差异压实作用形成储油圈闭的构造带。侏罗系是主要的生油岩,侏罗系浅海相砂岩、古新世白垩岩及古新世—始新世水下冲积扇砂岩是主要的储油层。上石炭统的煤系是天然气的主要来源,二叠系赤底砂岩是主要的储气层。经测定,北海盆地主要的生油层其平均总有机质含量高达 4.58%,干酪根为 II 型,根据现代油气成因理论(油气形成不仅取决于生油岩层中有机质的含量和质量,而且取决于生油岩层的沉降动力学特征和受热强度),可以乐观的认为,北海盆地由于具有上述良好的地质和有机质条件,它必定具有高的含油气性。据 Goff(1983)计算,北海盆地的油气聚集率可达 20%~30%。

北海石油产量主要来自英国和挪威,约占北海石油总产量的 97% 以上,1985 年北海石油产量达到最高峰,年产石油 $1.71 \times 10^8 \text{t}$,占世界海洋石油年产量的 22%。此后,由于英国北海的第一代大油田如福蒂斯、尼尼安、布伦特的产量开始下降,虽然每年都有新的油田被发现和开发,并且挪威同时石油产量仍继续上升,但是由于弥补不了这些大油田产量的下降,因而使北海的石油年产量从 1986 年开始有所下降,1990 年下降到 $1.55 \times 10^8 \text{t}$,1995 年为 $1.35 \sim 1.5 \times 10^8 \text{t}$ 。到 2000 年将可能降至 $1.10 \sim 1.4 \times 10^8 \text{t}$ 。

尽管北海油田区的自然条件差,技术上困难多,风险大,但开发速度还是比较快的。从 1975 年英国正式产油算起,5 年时间由 $200 \times 10^4 \text{t}$ 增加到将近 $1 \times 10^8 \text{t}$ 。从 60 年代中期开始的探索,仅仅 20 多年的时间,在英国水域就发现了 50 多个重要的油气田。在挪威、丹麦、荷兰等国家水域中也有相当数目的油气田发现。

为了取得对北海北部地质构造和油气前景的新资料,从 60 年中期开始到 80 年代前期布置了成千上万千米的地震测线,打了 1500 多口探井,其中英国水域就打了 900 多口探井。

当时(1985 年)人们估计,英国海域石油可采储量为 $22 \sim 44 \times 10^8 \text{t}$,而至 1985 年累计产油为 $6.92 \times 10^8 \text{t}$,剩余可采储量为 $18.6 \times 10^8 \text{t}$,若从 $44 \times 10^8 \text{t}$ 计,还有一半的储量有待去发现。挪威海域估计有 $40 \sim 50 \times 10^8 \text{t}$ 油当量,已证实的可采储量为 $11.3 \times 10^8 \text{t}$ 油当量,已累计产出 $2.2 \times 10^8 \text{t}$ 油当量,因此,还有 70% 的储量没有发现。

北海油田的发现和开发,支持了西欧经济的发展,特别是给英国经济带来了复苏。在

1974 年以前,英国仅有几个陆地上的小油田,全国石油年产量不足 $20 \times 10^4 \text{t}$,自给率不超过 0.5%。随着北海石油的开发,石油自给程度大幅度提高,到 1981 年已自给有余。石油自给使英国经济卸掉了沉重的负担。石油工业已经成为英国经济的重要支柱。英国政府的油、气收入(包括矿区使用费、石油收益税、公司所得税)1981 年已达 60 亿英镑(折合 132 亿美元),1985 年突破 100 亿英镑(折合 220 亿美元)。

第二章 勘探发展简史

北海油气勘探开发从 20 世纪 60 年代起步。1963 年丹麦首先颁发了开放北海陆架海域的第一批勘探许可证。1964 年德国也相继颁发了北海所属海域油气勘探许可证,并于 1965 年首先开展钻探,发现了一个无开采价值的气藏。随后,英国石油公司在北海南部区发现了第一个西索尔气田,1966 年相继又发现了 3 个大气田。直到 1969 年,菲利浦石油公司在北海发现了第一个商业性油田——埃科菲斯克。到 70 年代,随着海洋钻井装置建造业的迅速发展,北海油田的勘探活动进入高潮。相继进入北海进行油气钻探的公司有几十家。从 1970 年开始,不断有新的重大发现。尤其是从 1975 年开始,是北海历年来油气勘探成功率最高的一年,共发现油气田 20 多个。至 1982 年底,北海证实可采石油储量约为 $46 \times 10^8 \text{t}$,潜在的可采储量估计有 $66 \sim 100 \times 10^8 \text{t}$ 。目前,北海共发现了 100 多个油气田。北海作为一个新兴的大型海上含油气盆地早已为世界石油界所瞩目,但其石油勘探和开发历史是十分曲折的,概括起来可划分为如下几个阶段。

一、1964 年以前

长时期来一般人认为西欧在地质上不是含油远景很好的地区,因而,对北海含油气远景也持悲观态度。直到 1959 年,发现了格罗宁根大气田,它的产层是赤底统,可采储量为 $16500 \times 10^8 \text{m}^3$,才引起人们对北海油气的兴趣,推测北海海底具有类似的油气地质条件,从而促进了各国先后开展北海的勘探。从 1959 年开始,平均每年钻井 20 口,经 4 年时间没有发现一个商业性油田,因而使人们对北海的勘探热情严重下降。当时的工作重点仅局限在北海南部的近岸地区。

二、1964—1970 年大规模勘探时期

1964 年各有关国家对北海辖区范围的划定,促进了北海的油气勘探,特别是英国石油公司在一片悲观情绪中于 1964 年底在北海南部开始上钻井,次年发现了英国海上的第一个气田——西索尔气田,接着又发现了一些大气田,为向自然条件更差的北海北部开展勘探作了资料上的和心理上的准备。当英国石油公司于 1969 年 11 月在英国海区发现了第一个油田——蒙特罗斯油田之后,挪威海域菲利浦集团也随后在一口探井的 3046m 深度发现了 200m 厚的油层,测试日产油 1300t,取名为埃科菲斯克,证实可采储量 $1.4 \times 10^8 \text{t}$ 。它的发现是北海北部石油勘探的重要里程碑,告诉人们北海的油气资源是丰富的,从此北海北部的石油勘探进入了一个大发展的新时期。

在此以前,北海北部地区的其他周围国家,也在各自的海域中以中北海降起北部的下第三系为勘探目标,第一批探井中如丹麦 1966 年发现 Aune 非商业性油流,1968 年发现 Roar 和 Tyra 的气以及 1967 年挪威水域发现瓦尔霍尔(Valhal)的油。然而,这些发现都太小,不足以作为早期开发的根据。

埃克菲斯克大油田的发现,使某些在以前的石油勘探工作中很少成功的英国公司重新转回来参加北海北部的石油勘探。这一时期英国北海海域的钻探,主要是第一和第二轮招标的

许可范围内,大多在北纬 $55^{\circ}\sim 58^{\circ}$ 的北部区,目的层是下第三系和白垩系,构造上集中于中央地堑,有两个发现明显地改变了几年勘探中的受挫情绪。这两个发现是:即 BP 公司福蒂斯油田,(在第 40 号井下第三系砂岩中发现 118m 厚的油层,经测试每天自喷 750m^3 ,含微量气)及奥克(Auk)油田(每天产轻质低硫原油 740m^3 ,原油来自角砾岩裂隙和二叠系藻石灰岩),这两处发现更证实了原有的假设,石油的生成很可能是中央地堑区域的中生界与第三系的地层。从 40 号井中获取的大量岩心资料,对预测古新统砂岩性质和可能分布,提供了有价值的资料。

菲利浦公司 1970 年发现的约瑟芬(Josephine)油田是对北海北部地区侏罗系砂岩中石油的首次验证,在井深 3600m 之下薄层砂岩中获得了每天 128m^3 的产量。

三、1971—1976 年全面勘探和大发现阶段

埃克菲斯克、福蒂斯和约瑟芬 3 个油田的发现,导致在中央地堑区内的白垩系储层中发现了一系列的油田。并使英国在 1970 年的第 3 轮招标的许可范围向北部发展,引起了强烈的石油勘探的兴趣。直到 1971 年在北部 211/29 区块的布伦特构造上,二口井进行了对侏罗系含油砂岩的测试,日产 1040m^3 的密度为 38°API 的油和 1550ft^3 的天然气,是一个具有气顶的储藏。巨大的布伦特油田($350\times 10^9\text{m}^3$ 储量)的发现,对英属海区以至整个北海北部的开发都有着深远的影响,导致了年底第 4 轮招标的热潮。在以后几年中,北海北部出现激动人心的连续发现,那里已证明有商业价值的 8 个大油田,都属于布伦特类型的“潜伏高断块”圈闭。斯坦特福约尔德即国家湾油田(Statfjord)和斯莱普纳气田(Sleipner),经钻井证实在早白垩世粘土之下为含丰富有机质的启莫里阶(Kimmeridge)粘土,是重要的油气源岩。与此同时,在中部的默里湾盆地圈定了两个高产的大油田——1972 年发现的派珀(Piper)和 1974 年发现的克莱莫尔(Claymore)油田。

这些发现和多数钻探成果表明,侏罗系中含有更有价值的区域储集层和油源层。斯坦特福约尔德和布伦特砂岩为中和下侏罗统的浅水沉积,所代表的是海退型沉积,具有区域的延伸性。因而存在中侏罗统的北海北部大多数地区就很自然地能找到这些砂岩。这个观点通过广泛的勘探得到进一步证实。

派珀油田的发现,使人们注意到上侏罗统中的储油层。两年后在北海的北端又发现了马格努斯(Magnus)油田,在启莫里阶的深水相油源岩沉积中发现了含油砂岩,但当时还没有人预测到该储油层的重要意义。这主要是由于启莫里阶中的碎屑岩层被认为是没有足够(最低所需)的孔隙性和渗透性的储层,更没有认识到它是一个区域性含油层。1975 年在维京地堑南部发现了布莱(Brae)油田,从而对上侏罗统储层的商业开发价值有了进一步的认识。在布莱油田勘探过程中一个重大的成功是发现含油最大厚度为 450m 的砾岩层和砂层,被认为是一组联合扇,其中存在着侧向断裂,说明在台地和地堑之间相对高的地势起伏的位置上,都含有上侏罗统碎屑岩的展布。同年,在更南面的富尔马(Fulmar)钻井中找到了含油的上侏罗统砂岩。与此同时,下第三系中也有许多油气发现如 Bressay 等,但比起侏罗系来相对差些。

四、1977 年以后的勘探概况

1977 年以来,勘探开发活动仍然很活跃,在北海北部地区的主要勘探目标仍然是上中侏罗统,但对其他的目的层,如古生界、白垩系、古新统和始新统,仍有一定的兴趣,因而,在某些地区仍取得了可观的勘探效果。但经过一段高峰大型油气田集中发现期以后,这个阶段的主要特点是发现相对较小。

这一阶段的另一特点是勘探开发工作更加困难了。上侏罗统圈闭的地震显示已不那么明显可辨。大的地垒、倾斜断块、上覆构造和盐刺穿经前期勘探,已有许多发现,剩下的更加不明显。在此期间维京地堑南部以上侏罗统布莱油田类型的远景目标而富有成效的,有托尼(Toni)油田和蒂法尼(Tiffany)油田。更重要的发现是在挪威海域,发现了上侏罗统的特罗尔(Troll)大油气田和中侏罗统的古尔法克斯(Gullfaks)和奥塞贝格(Oseberg)及斯诺里(Snorre)等大油田。这也许与挪威发出招标区块较晚有关。

在中央地堑的阿盖尔(Argyll)油田附近,Homilfon 公司成功地圈定了一批小断层圈闭,在侏罗系砂岩中于 1981 年发现了都坎(Duncan)和东都坎(East Duncan)油田。另外,在默里湾有限的区域内,证实了下白垩统砂岩沉积中亦含有烃类聚集,如 1980 年发现的北克莱莫尔油田。

第三系的开发集中在设得兰高地的边缘,在那里原油的密度大于英国北海的其他地区的原油。在中央地堑也有若干第三系的油层的发现,菲利浦公司发现的 Joanue 就是其中之一。

对于石炭系和泥盆系或更深更老的对象,勘探研究了解很少,也许未来有可能会更多注意。

上述各阶段所取得的发现,都与地震勘探方法的进步有关。在这一方面,向三维发展趋势是引人注目的,随着发现和钻井的增多,三维地震对确切地解释构造和地层的重要作用更为明显,对解释分析储油构造的地层组成也起着重要的作用。

第三章 盆地油气地质背景

北部北海地区的大量地质和地球物理资料表明,它经历的演化历史形成了一幅复杂的地质格局。

盆地基底主要由加里东期褶皱的变质岩系组成,仅在盆地以东和以西为前寒武纪结晶基底。从传统的观点看来,它是在加里东期形成的年轻地台上发育起来的台向斜盆地。新全球构造的观点认为,它是西北欧克拉通内的一个大陆型裂谷盆地或称衰退的裂谷盆地。

第一节 构造格架及其演变

在加里东期基底之上沉积了泥盆纪—石炭纪—二叠纪的地层,构成了晚古生代的盆地,或称二叠纪盆地,又经历了三叠纪、侏罗纪、白垩纪、第三纪的漫长地质演化过程形成了第三纪的沉积盆地,这两套沉积盆地,构成了区内油气勘探的多层系,多目标的显著特点。

根据地质历史的发展和构造特点,该区可划分出一系列正向、负向构造单元,正向单元有:a)中北海隆起;b)林克宾芬隆起;c)东设得兰台地等。负向单元有:a)中央地堑;b)维京地堑;c)福蒂斯坳陷(盆地);d)默里湾坳陷(盆地);e)西挪威坳陷或称挪威—丹麦坳陷(盆地)。

根据该区深部物探资料解释,发现了许多复杂的侵蚀和沉积背景。说明其在加里东期基底上发育的晚古生代、中生代和新生代的沉积层序都有缺失。在空间分布上,岩相和厚度变化等方面都有明显的差异。虽然有着不同的沉降背景,但它们的成因却紧密相关。

盆地除南缘外,其周围被变形较早岩石所组成的隆起所围绕。在盆地中间有贯穿南北向的地堑切割盆地轴和隆起,从构造影响的油气聚集来说,最重要的属锯齿状的维京和中央地堑系。维京地堑在该盆地内分隔了芬诺—斯堪的那隆起(含波罗的地盾)和设得兰地台;而中央地堑除切割盆地外并直插中北海隆起。

一、不同时期的演变概况

该地区地质演变最重要的事件,以地质时代的顺序用略图(图3-1),重点的表示出来。

在早古生代末期,该区由于受加里东造山作用的影响发生变形,形成一组巨大山系(图3-1a-c),到晚石炭世(图3-1e)由于古特提斯洋的关闭,形成了超级潘基亚大陆,才初步明确了北海盆地的南部边界。在二叠纪和三叠纪时期,由于继续拉张使维京地堑切穿整个盆地(图3-1f),使维京和中央地堑裂谷系在本区构造历史发展上起着重要作用。从三叠纪初期开始快速沉降,晚侏罗世到早白垩世构造发展达到高潮,其活动的持续性是使潘基亚超级大陆缓慢解体成劳亚和冈瓦纳两大陆的过程相适应的;也就是说该区地堑的发育是与北大西洋的海底扩张把劳亚大陆分离成北美和欧亚两大陆的过程相连系的(表3-1),扩张初期是沿着罗科尔(Rockall)海槽开始的(图3-1g),到了第三纪早期才发展成现今的大洋轴(图3-1h)。在这次运动中由于复杂的拉张作用形成了一些复杂现象,可从北大西洋区三叠纪时期的裂谷图中表示出来(图3-2)。这些就是该区大地构造演化的基本模式和特征。

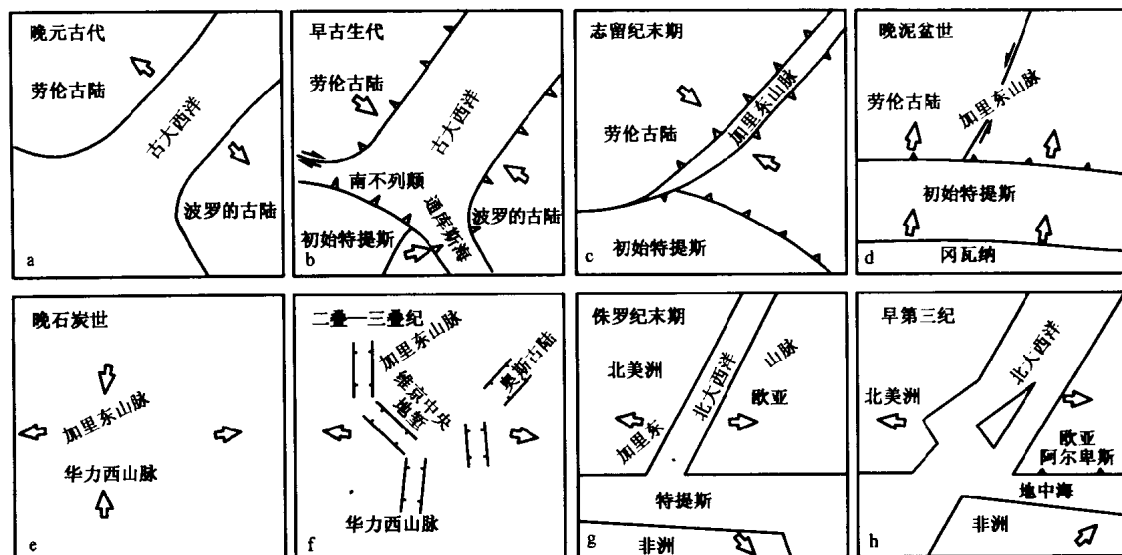


图 3-1 晚元古代—早第三纪北海地区板块相对运动示意图

表 3-1 大西洋的简单演变及北海晚加里东构造运动

时代		区域事件		北海			
		特提斯	大西洋	北部	默里湾	中部	南部
新生代	中新统	阿尔卑斯造山运动	现代扩张 台地玄武岩	西设得兰隆起 晚断裂作用幕	覆于地槽体系上的区域沉降中心		
	渐新统						
	始新统				默里湾隆起 苏格兰高地	中央地槽 断层复活 中央地槽 沉降	蔡希斯坦刺穿作用 NW-SE走向的 下盆地转变
	古新统						
白垩纪	晚期	板块碰撞 特提斯海逐渐关闭	罗科尔海槽扩张 北延伸至 挪威-格林兰海	北维京隆起 主要断裂作用幕	默里湾内恰似速沉降 东部火山活动	地槽的形成主要 阶段和塌陷隆起 和火山活动受限	蔡希斯坦刺穿作用 持续慢地底板 快速沉降 构造扭动和断裂
	早期						
侏罗纪	晚期	特提斯海海底扩张	海底扩张 伊比利亚重新沉降 大西洋中部扩张开始			早蔡希斯坦刺穿作用	三叠系400m
	中期						
三叠纪	早期	裂谷作用幕	大西洋中部裂谷			西北欧盆地发育/地槽体系 蔡希斯坦世漫溢海平面下的盆地	
二叠纪	晚期	海西晚期的构造运动		东苏格兰和新塔 尼亚提火山岩脉群	默里湾沉降	北部和南部二叠纪盆地开始沉降 晚赤底统火山岩开始喷发 盆地底板转变为右旋断裂带	
	早期						
石炭纪	斯蒂芬	华力西早期碰撞褶皱 (指欧洲)	挪威-格林兰海裂谷	北不列颠岛裂开			华力西前渊 石炭系2500m
	威斯特伐利亚						
	纳姆尔						
	狄南						
泥盆纪	晚期	特提斯海关闭	北大西洋破裂样式 开始	苏格兰高地重新隆起			
	中期						
	早期		大格林走向滑移断层 延伸至北大西洋	苏格兰高地 花岗岩侵入	奥克尼盆地火山 奥克尼盆地沉降	奥克尼和阿盖尔 海相灰岩 南部苏格兰火山岩	弧后裂谷 湖区花岗岩

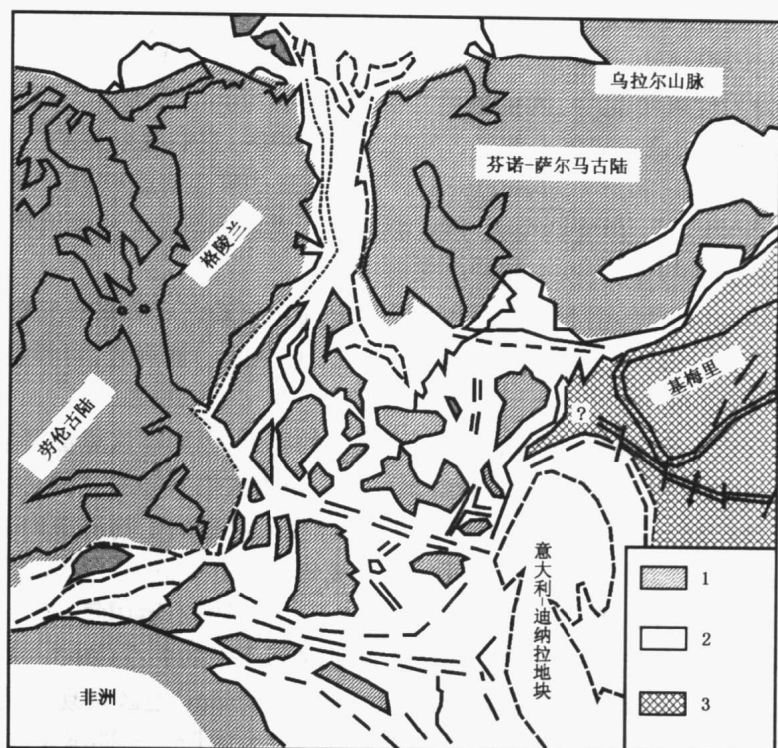


图 3-2 北大西洋地区三叠纪时期的裂谷系统图

(早期历史复原图据 Ziegler, 1982)

1—地壳上升区; 2—沉积盆地; 3—洋盆

从上面的简略叙述就可以看出, 该区经历了一个复杂的地质演变过程, 成为不同构造区及沉积盆地的一部分。概括起来, 可以把该盆地的发育划分如下几个阶段。

1. 前寒武纪的历史

关于这一段的演化历史, 所知甚少。从英国、斯堪的那维亚、格林兰和加拿大的研究中获得的一些资料, 许多认识仍属推断, 尽管如此, 英伦三岛仍不失为我们识别该地区演化历史的最好的地方。

除在赫布里底盆地边缘暴露出来的太古代刘易斯群 (Lewisian) 片麻岩外, 苏格兰高原 (Scottish Highlands) 上的变质岩自下而上可划分成两大岩石组合: 莫因组 (Moine) 和达拉德组 (Dalriadians)。莫因组岩石仅出露于西北部 (Highland 和 Grampians 的西北), 并在达拉德组地层覆盖 (主要分布在 Highlands 边界断层附近), 其中还发现包括早期洋壳组成的火成岩, 如安斯特岛 (Anst); 设得兰 (Shetland), 莫文 (Morven) 和阿伯丁洲 (Aberdeen Shire) 等基性岩类。

目前所见加里东造山带是多次地质事件的结果, 它也许与 10 亿年前的地质事件有关。格林维尔 (Grenvillian) 造山带 (约 10.4 亿年) 是一次拉张运动, 这可从大陆上的太古代刘易斯群所构成的结晶基底中有地堑形成得到明显的证明, 其中充填有最早的托里东 (Torridonian) 群的陆相沉积物 (Stewart, 1981)。在莫因冲断带的西侧赫布里底地台的边缘, 这些古老的沉积物并未变质。然而, 在冲断带的东侧, 它们与其下的格林维尔基底 (约 7.4 亿年) 一起变质了, 称摩拉维亚 (Moravian) 事件; 到了晚寒武世和早奥陶世, 与其上覆的达拉德组地层再次变质 (Johnson 等, 1979; Watson 和 Dunning, 1979)。

2. 早古生代的发展

在古大西洋 (Iapetus) 中的加里东褶皱带中沉积了许多海相地层, 在整个早古生代, 古大西洋

洋分隔了波罗的(Baltic)劳亚地盾,当时大洋破裂的位置可能是在当今的苏格兰的南缘米德兰山谷。Anderland(1982)提出该洋的扩张前奏可以米德兰山谷之北的 Ensialic 盆地中的 Tayvallich 火山岩喷发为代表(6 亿年,晚前寒武纪或早寒武世)。沿着劳亚大陆边缘形成的这个狭窄盆地,就成为高原边缘杂岩体上的早古生代海相沉积区,它们后来又发生变质成为达拉德组中的一部分(Henderson 和 Robertson,1982)。这套地层中伴生有蛇纹岩、辉长岩和细碧岩等可能属大洋型地壳的特征。但直到今天,该区裂谷的形成是否与古大西洋的扩张有关,或者为后期大洋关闭形成的弧后盆地,这一问题尚未解决。

世界洋中脊体积的增加,引起老莫因和达拉德组陆相层系之后的寒武纪海侵,这个海侵在波罗的地区可以看到,例如那里沉积有尚未变形的矾土(Alum)油页岩,可惜在丹麦这套岩石过成熟(Thomsen 等,1983)。

劳伦板块是构成苏格兰的一部分,它曾位于赤道的附近,因而在这里曾发生碳酸盐岩台地的沉积。在中寒武世以前它是重要的沉积盆地。早为人们熟知的英国斯科特地区亦属赤道型的寒武纪—奥陶纪大陆架碳酸盐岩沉积,其中有相当数量的生物群德内斯(Durness)石灰岩沉积,它们的岩性非常类似于宾夕法尼亚的毕克曼顿(Beekmantown)石灰岩(属下奥陶世),而不同于现今相邻的威尔士(Wales)层系。Cocks 和 Fortey(1982)运用气候影响浅海中浮游生物和深水中底栖生物组合的思路,重塑了古大西洋随时间变化的关系(图 3-3)。劳伦群分布在东部沿岸,包括苏格兰的北部,在挪威的特隆赫姆(Trondheim)地区发现有两个很高的推覆构造,它应该是在早奥陶世时位于近赤道期间形成的。其余的斯堪的那维亚、威尔士和英国的部分大约位于南纬 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ (图 3-3A)。此外,用生物组合标志来分区,又进一步发现斯堪的那维亚和英国当时是为深海区所隔开的,这个深海称为通古斯特(Tornquist)海,相当于德国—波兰的加里东褶皱带的缝合线(Ziegler,1982),通古斯特海在奥陶纪关闭(图 3-3B)。

3. 加里东造山运动

从晚元古代到早古生代的沉积和火山岩,经过 6 亿年的演变,多次发生变形和变质,如早已注意到的苏格兰高原上托里东沉积在 7.4 亿年(Moravian 事件)发生变质作用,形成莫因系。在晚寒武世至早奥陶世的格兰扁(Gram-Pian)剧烈造山期里,导致了达拉德组和早已变形的莫因组发生强烈的褶皱和变质作用,并有许多花岗岩侵入,如在高原东北较老的花岗岩(Tohnstone,1966;Bradburg 等,1976)。随着高原的隆起,浊流扇向南分布在古大西洋上。到了晚奥陶世和志留纪,这些浊流扇随着板块向北俯冲,因而产生一系列叠瓦状构造和高地南缘的增生楔。这也正是古大西洋最终关闭的时候。

似乎在古大西洋关闭的不同时期曾产生北西向和南东向的两种消减作用,在不列颠群岛范围内,这条关闭的缝合界线从西爱尔兰的香农(Shannon)河口经索尔威湾(Solway Firth)进入北东向延伸的诺森伯兰(Northumberland)海槽。这条缝合线表现出的平直和巨大的破碎现象,表明它是在大洋西侧缓慢的汇聚,并有走向滑动的显示。这条缝合线延到北部北海中的情况尚不清楚。

通古斯(Tornquist)海的关闭并未引起大的褶皱带。有人认为古大西洋在英国和斯堪的纳维亚的部分,俯冲潜没的几何形态,竟使通古斯海关闭,造成波罗的和英国板块歪斜收敛的结果。而其他的微型陆块则封闭在东欧和中欧的加里东造山带中。

4. 泥盆纪时期

加里东褶皱运动使北大西洋大陆显著地扩大了。从此以后差不多就再没有褶皱运动波及英国和斯堪的纳维亚一带了,这可由泥盆系地层产状近水平或微呈波状起伏,而且是陆相沉积