

# 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  $56^\circ$  线附近，北界在北纬  $62^\circ$  线，东界在东经  $7^\circ$  线附近，西界在西经  $3^\circ$  线。在地质构造上，以北海中部高地和林克宾芬高地为界，在高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一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  $1.4 \times 10^{10} \text{t}$ ,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 1964 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  $750\text{m}^3$  含微量气）及奥克（Auk）油田（每天产轻质低硫原油  $740\text{m}^3$  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  $128\text{m}^3$  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  $1040\text{m}^3$  的密度为  $38^{\circ}\text{API}$  的油和  $1550\text{ft}^3$  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)福蒂斯拗陷(盆地)；d)默里湾拗陷(盆地)；e)西挪威拗陷或称挪威—丹麦拗陷(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)和设得兰台地；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联系的(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。

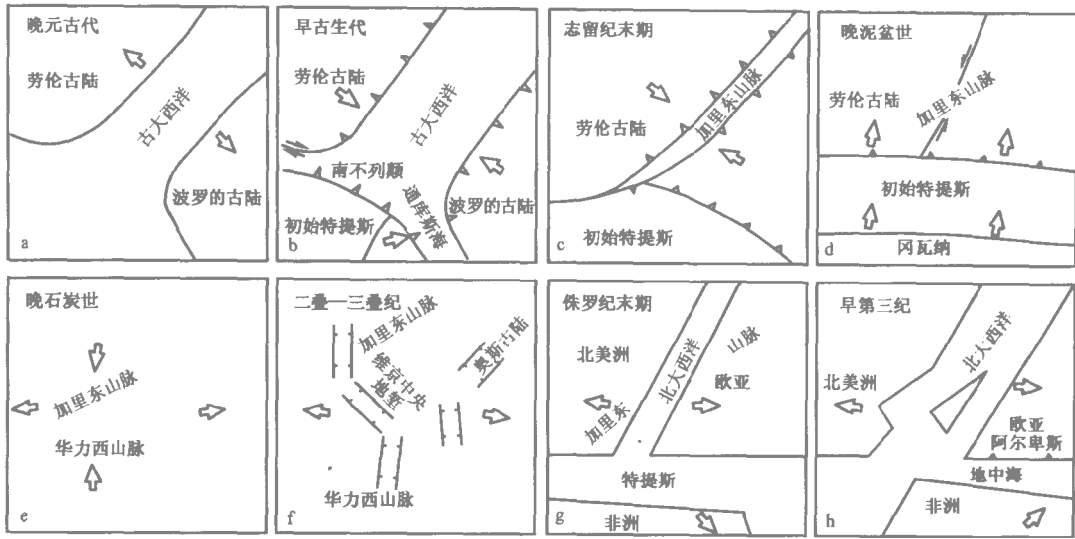


图 3-1 晚元古代—早第三纪北海地区板块相对运动示意图

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  |            | 覆于地槽体系上的区域沉降中心 |                |           |
|     | 渐新统    |           |            | 默里湾隆起          | 中央地槽           | 蔡希斯坦刺穿作用  |
| 白垩纪 | 晚期     | 板块碰撞      | 现代扩张       | 苏格蘭高地          | 丹麦海湾           | NW-SE 走向的 |
|     | 早期     | 特提斯海逐渐关闭  | 罗科尔海槽扩张    | 晚断裂作用幕         | 中央地槽           | 下盆地转变     |
| 侏罗纪 | 晚期     | 伊比利亚旋转    | 北延伸至       |                | 丹麦海湾           | 蔡希斯坦刺穿作用  |
|     | 早期     | 特提斯海海底扩张  | 挪威-格林兰海    | 北维京隆起          | 中央地槽           | 持续侵蚀      |
| 三叠纪 |        | 裂谷作用幕     | 海底扩张       | 主要断裂作用幕        | 丹麦海湾           | 快速沉降      |
|     |        |           | 伊比利亚重新沉降   | 默里湾内似快速沉降      | 火山活动           | 构造扭动和断裂   |
| 二叠纪 | 晚期     |           | 大西洋中部裂谷    | 东部火山活动         | 地槽的形成主要        | 三叠系 400m  |
|     | 早期     | 海西晚期的构造运动 |            | 西北欧盆地发育/地槽体系   | 和火山活动有限        | 早蔡希斯坦刺穿作用 |
| 石炭纪 | 斯蒂芬    | 华力西早期碰撞褶皱 | 挪威-格林兰海裂谷  | 蔡希斯坦世漫溢海面下的盆地  | 早蔡希斯坦刺穿作用      |           |
|     | 威斯特伐利亚 | 指欧洲)      |            | 默里湾沉降          | 北部和南部二叠纪盆地开始沉降 |           |
| 泥盆纪 | 纳姆尔    | 华力西造山运动   | 北大西洋破裂样式开始 | 东苏格蘭和新地        | 晚赤底统火山岩开始喷发    | 华力西前渊     |
|     | 狄南     | 板块碰撞      |            | 北不列颠岛裂开        | 盆地底板转变为右旋断裂带   | 石炭系 2500m |
| 泥盆纪 | 晚期     | 特提斯海关闭    | 北大西洋破裂样式开始 | 苏格蘭高地重新隆起      |                | 弧后裂谷      |
|     | 早期     |           | 大格林走向滑移断层  | 苏格蘭高地          | 奥克尼盆地火山        | 湖区花岗岩     |

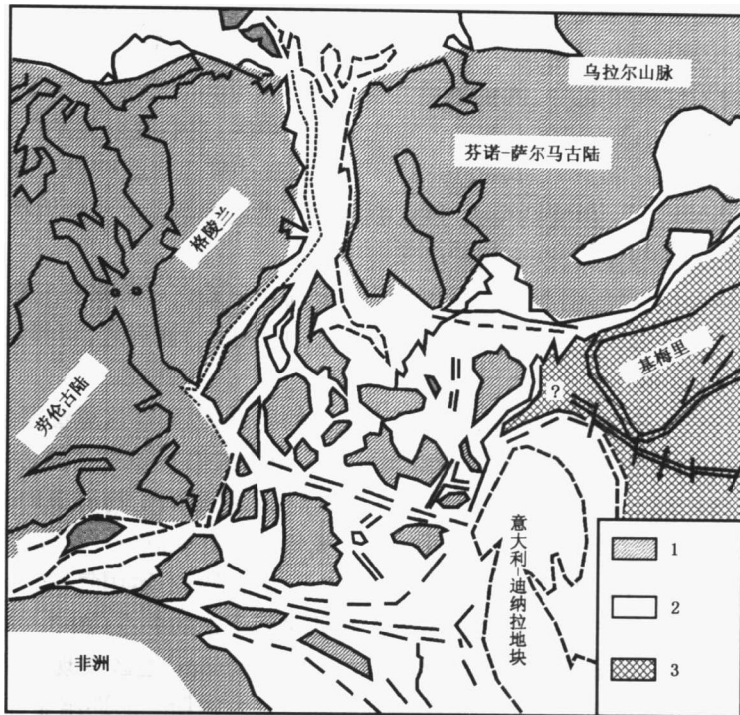


图 3-2 北大西洋地区三叠纪时期的裂谷系统图

(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, 或者是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 (Torngust) 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 (Glen 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 (Northumber-land) 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 (Torngust) 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

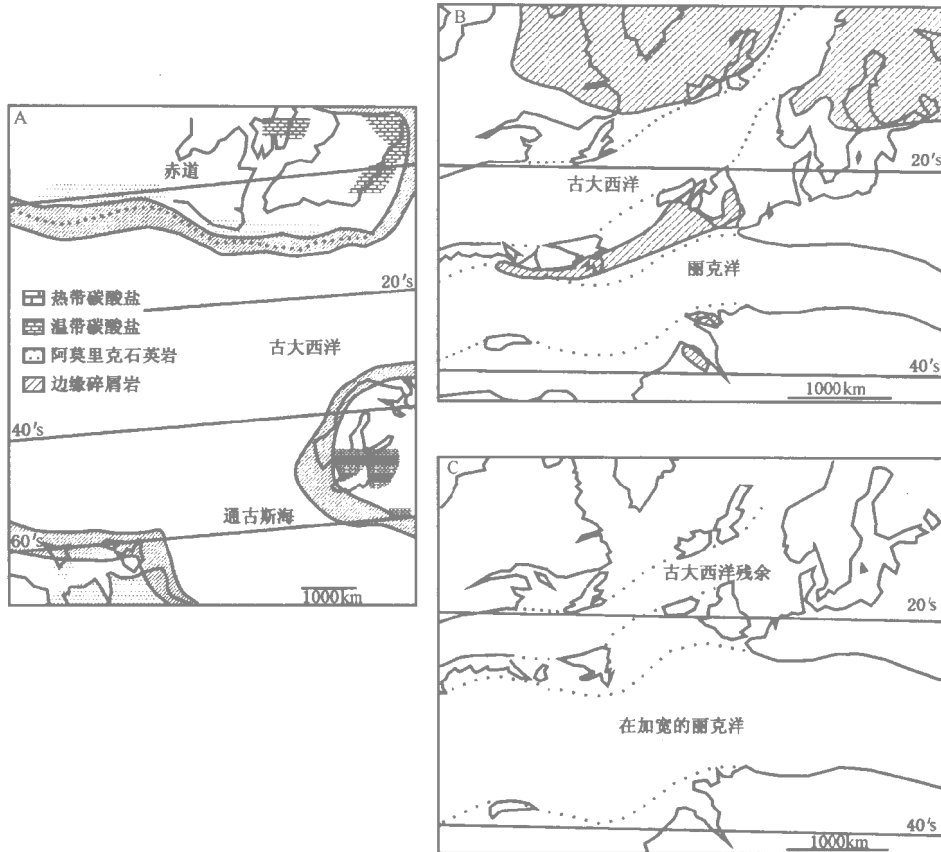


图 3-3 古生代时期古大西洋演化的 3 个阶段

A—早奥陶世 (Arenig 世); B—早志留世 (Llandovery 世); C—晚志留世 (Roderic 世) 依动物化石证据, 此时亚皮特斯洋基本关闭

等特征得到证明。也可以说是古大西洋的关闭, 导致劳亚大陆的增生。从美国到加拿大 (阿巴拉契亚) 再经英国北部到格林兰和斯堪的纳维亚北端的巨大山系的上升 (图 3-4A)。早泥盆世大范围花岗岩的侵入和伴随的火山岩活动, 可能造成早古生代生油层的破坏而变质成石墨, 如在英国湖区所见那样。

早期老红色砂岩沉积限于山间湖盆中 (图 3-5)。在刚形成的加里东山系南缘, 它们沉积时的水系是平行山前带的, 但是不远就流经当时的北部河道位置。由于盆地形态不断变化导致晚期老红色砂岩向米德兰山谷和直接与北部北海区相通的诺森伯兰拗槽搬运。那时泥盆的海区仅达英国南部地区只有一海槽深入到北部北海 (见图 3-5)。

奥克尼 (Orcadian) 盆地 (见图 3-5) 内老红色砂岩地层厚达 5km 以上 似乎主要发育在大格林 (Great Glen) 扭动断层的两侧 (见图 3-4B)。从奥克尼盆地内老红厚层砂岩沉积的位置和变形的情况来看, 可能是由于拉张和挤压应力相互作用并伴生水平位移的结果。

原始特提斯从早古生代开始就已存在, 一直保持到晚石炭世华力西造山运动才关闭 (图 3-1E)。其后的构造发展可能是受通古斯海关闭抑或与加里东造山作用有关, 中泥盆世时, 海的一个分支, 向北延展到奥克和阿盖尔油田, 那里有浅海碳酸盐岩和蒸发岩沉积 (图 3-5)。这条海的分支似乎沿着后期中央地堑这条线关闭。显示出一条脆弱的老的构造线反复继承活动的特点。

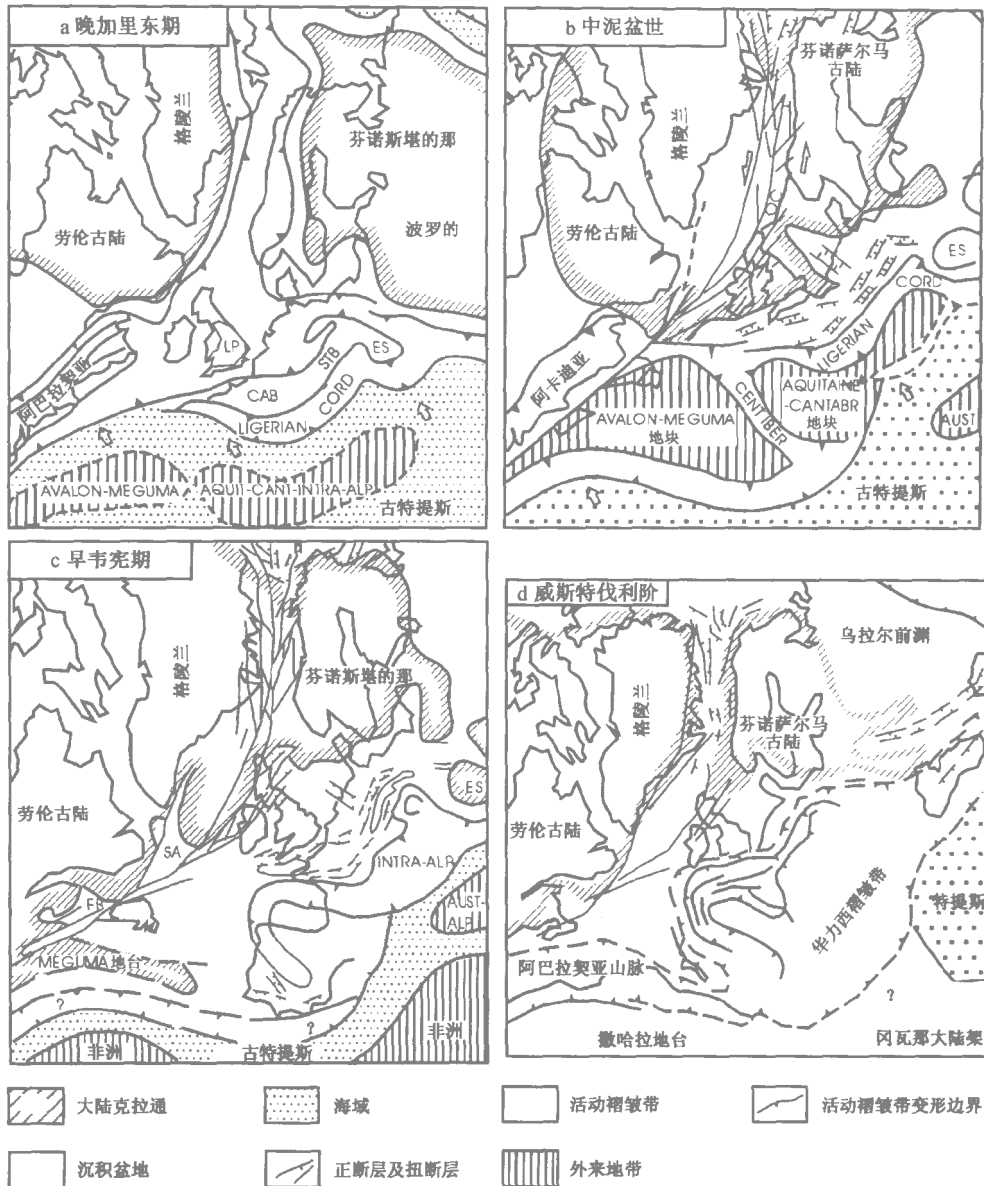


图 3-4 晚加里东期—威斯特伐利亚期北大西洋构造格架示意图

到晚泥盆世时，老红色砂岩大陆沉积广泛分布在北海区的拗陷区，其范围东达斯堪的纳维亚高地，西达至苏格兰高地，东南达到爱尔兰—威尔士—伦敦—布拉班特 (Brabant) 高地 (图 3-5)。泥盆纪盆地的形态和大小，大约相似于中生代的北海盆地。

### 5. 石炭纪时期

石炭系是南部北海和荷兰—德国—波兰含气带的生油层。该地区含煤沉积主要成煤期是该系的维斯德阶，沉积厚度达 2500m，局部地区聚煤厚度超过 75m。

在北部北海盆地范围内保留下来了石炭系地层分布概貌 (如图 3-6)。在北部北海范围内据目前资料在中北海隆起和林肯宾芬隆起上，尚存有以下石炭系中段以上及维斯法阶 A 段的地层而其他广大范围内仅在局部发现，而且厚度也大大的减薄了。

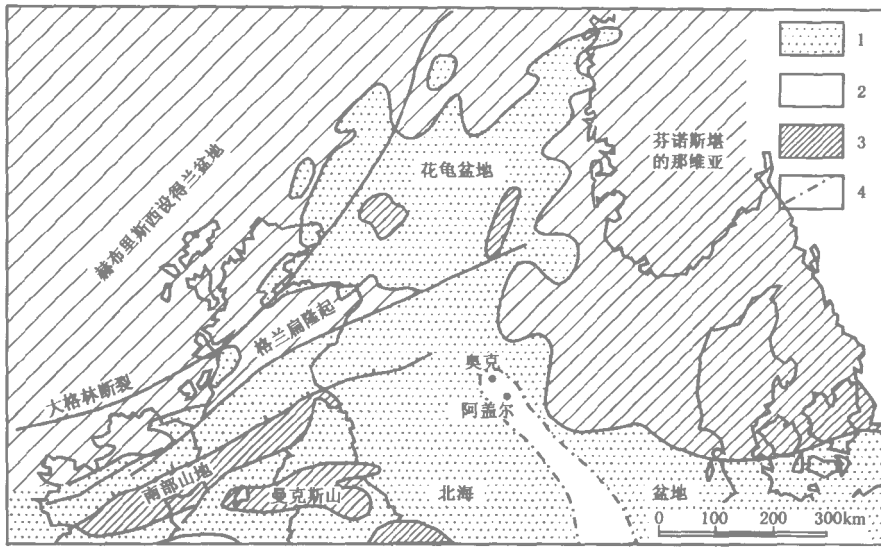


图 3-5 北部北海盆地泥盆系陆相老红砂岩及海相沉积  
1—老红砂岩；2—海相泥盆系；3—前泥盆纪；4—泥盆系海侵线

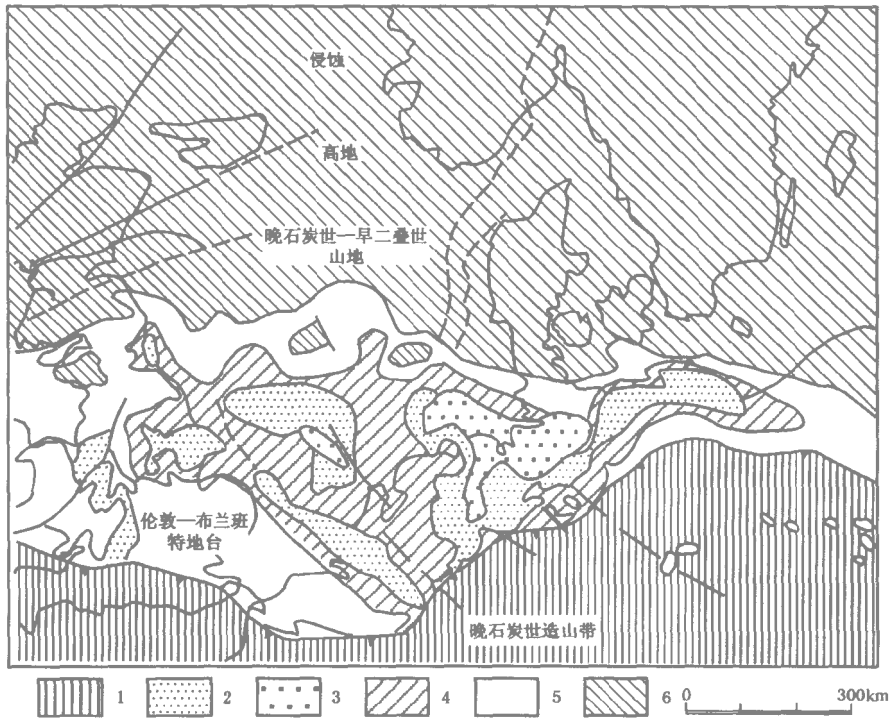


图 3-6 北海石炭纪地层分布  
1—华力西褶皱带；2—斯蒂芬阶；3—威斯伐利亚阶 C/D；4—威斯伐利亚阶 A/B；  
5—纳缪尔阶；6—前石炭纪

### 狄南期 (Dinantian)

早石炭世时期由于劳亚大陆缓慢的向北漂移,使南半球干旱气候条件下沉积的老红色砂岩向上逐渐过渡到赤道型的浅海相石灰岩沉积和较潮湿气候的石炭系含煤沉积。在南部北海广泛分布着该期海相地层,但向北部则出现石炭纪 Cemetstone 群的泥裂状页岩和泥质白云岩,表明是在内陆状态下海水遭受周期性的干旱作用的沉积,因而在苏格兰的中部谷地形成了滨湖和湖相条件下很厚的油页岩沉积。

陆相和海相交替演变(包括煤系地层形成),反映出冈瓦纳石炭纪一二叠纪冰期所引起的海平面升降变化。由于冰期诱发的海平面升降可能影响整个石炭纪的沉积作用,特别是大范围内的维斯法期煤系具有此特征。在英国东北部的韦宪期周期性的沉积作用,包括海相的石灰岩煤系地层是著名的约尔德尔(Yoredale)层。这套地层仅在所钻的北海中部隆起的钻井中获得了该层的近似年龄值。

在有些地区(如米德兰山谷等地)沉降作用是与火成岩活动伴生的,但到纳缪尔和早维斯法期,地堑发育和火成岩活动均停止了。推测与华力西造山期发生南北向的挤压有关。

### 纳缪尔期 (Namurian)

纳缪尔期形成的河流—三角洲相的砂岩、煤系及海相页岩,就是著名的磨拉石砂岩(Millstone Grit)层,这套发育较好的地层似乎仅限于南北向延伸带中,它与现今的奔宁(Pennine)隆起的轴线是一致的,向东西两侧显著减薄。该阶地层仅在本研究区的西南部在奔宁山脉中见有出露。

### 维斯法期和斯蒂芬期

该时期在南部北海盆地及周缘广泛分布,而且是煤系地层的主要发育时期,特别是维斯法期沉积很厚,厚度可达 1200m。但向北到中北海隆起—林克宾芬隆起则逐渐减薄,在北部北海盆地中仅在局部有维斯法阶一部分地层,在许多钻井中仅钻到石炭系地层,厚不超过 10~20m,在二叠系风成沉积之前,其中许多地层已被氧化成紫褐色。由于氧化地层覆盖缺失,早被氧化的维斯法最晚期和斯蒂芬期红色地层,被称作伯来恩(Barren)红色标准层。

## 6. 华力西造山运动

泥盆纪末和早石炭世时,原特提斯的洋壳向北俯冲,使劳亚和冈瓦纳大陆靠进。但是两大陆发生碰撞可能在韦宪晚期,造山活动导致华力西褶皱山系的形成,一直持续到晚维斯法—早斯蒂芬期(表 3-1)。这个山系位于新形成的联合古陆的核心部分(图 3-1E)从摩洛哥一直延续到西班牙、法国、德国、波兰的南部和罗马尼亚(图 3-4D)。伴随华力西造山运动发生的南北向挤压,在劳亚和冈瓦纳大陆之间变为东西方向上的相对拉张运动。从萨克森(P<sub>3</sub>)阶开始,南部北海和北部北海二叠纪盆地开始沉降,这时蔡希斯坦海侵区已发育成为重要的沉积中心。

北海地区在东西向的拉张运动在华力西造山期起着重要的作用,这种作用在以后的 2 亿年期间又多次活动。

## 7. 早二叠世时期的火山活动和盆地发育

上述表明,一个是南北向挤压,另一个是东西向拉张,两种明显对立的构造作用同时或彼此相继发生,从而造成了盆地展布的基本特点。

(1)从苏格兰到斯堪的纳维亚的加里东褶皱带到南延至海西褶皱带之间的地区,是受两个东西向的盆地控制,即南部北海和北部北海二叠纪盆地。其间被中北海—林克宾芬隆起所分隔。

(2)中央和霍恩地堑几乎垂直切过这些盆地和隆起，而这两个地堑又各自向北延伸进入维京和奥斯陆的两个地堑内。在霍恩地堑的东部还有切过林克宾芬隆起的一系列较小的地堑。

上述的有关拉伸构造格局，是与晚石炭世至早二叠世的东西向扭动有关的，这些构造导致了局部地区的快速沉降和厚的早赤底世 (Lower Rotliegend) 火山岩的喷发，在北部北海盆地中该期火山活动可能主要与奥斯陆一班希勒 (Bamble) — 霍恩地堑系的发育有关，这些地堑是在维苏法阶的最晚期至斯蒂芬阶最早期，利用早已存在的早古生代甚至前寒武纪的构造薄弱带形成的 (Russeland Smythe, 1983)。在奥斯陆地堑内，这些火山活动发生于浅海沉积及风积沉积之前 (Olaussen, 1982)。类似的巨厚火山岩也出现在霍恩地堑内，在中北海隆起至林克宾芬隆起的翼部及中央地堑内部，东西向岩脉群横切苏格兰的中部谷地及诺森伯兰海槽。

尽管在维京地堑内没有发现赤底型火山岩，但它形成最早的时期很可能与中央、霍恩、奥斯陆地堑同时，也许苏格兰的中部谷地和挪威西南地区的火山岩形成于晚石炭世至早二叠世，它标志着斯蒂芬—奥顿 (Stephanian - Autunian) 断裂体系的北部界限。

这样的解释与 Ziegler 的解释不同，但是目前尚没有充分地证据支持维京地堑和中央地堑的形成时期早于早三叠世或二叠纪最晚期的观点。Glennie 根据中央地堑内有近似于下赤底统的火山岩和在维京地堑以南 200km 内有晚二叠世蔡希斯坦盐岩 (具有足够的厚度与底辟活动) 来力图说明这个问题。此外，他还认为蔡希斯坦海盆的赤底世沙漠盆地迅速被海水淹没，其水源来自北极圈附近且经过早已存在的北大西洋断裂系 (Glennie 和 Buller, 1983)。这个断裂系在晚石炭世发育于北边较远的地区 (表 3-1)，但它到底是从石炭纪末期还是从早二叠世开始向南扩展到北部北海地区，目前还是一个有争议的问题。有关维京地堑南部存有厚的蔡希斯坦盐层的解释，是蔡希斯坦时期地壳早期凹陷的结果，到早三叠世又隆起，和随后在其年轻裂谷的翼部又发生侵蚀，这是 Ziegler (1982) 提出的观点。另外，在裂谷两侧翼部发现三叠系直接覆于老红砂岩之上。

海西造山运动之后，在其褶皱带以北的部分地区形成了一片干旱的沙漠，风蚀作用强烈，雨量稀少 因而在北部北海盆地中堆积了赤底统砂岩 (即通称的新红色砂岩) 属干旱气候条件下的沙漠沉积。到晚二叠世蔡希斯坦海侵时，尤其是在蔡希斯坦沉积的早期，浅水盆地的边缘富含有机碳 而盆地中心的海底又深又暗 不适于有机碳的快速增长 再加上降雨量小 河流供应少，所以沉积物的注入速率很低。由于高温和快速蒸发作用，限制了海水和浅水变换的通路，从而使封闭的蔡希斯坦盆地成为一个具有强烈蒸发作用的凹地。首先沉积了一层石膏层，随后是一套厚层岩盐，最后是以可溶性极高的钾盐结束。虽然蔡希斯坦盆地缺乏良好的沉积物供应，但他们最终还是被岩盐这些重要的化学沉积物所充填。

仔细划分蔡希斯坦统由 5 个沉积旋回组成，每个旋回都表明含盐度随时间而增加，旋回开始时具有低盐度的正常海水，而结束时则伴随着蒸发作用甚至可能干涸。这些海水可能来自于挪威和格陵兰之间的广海地区，其海水供应速度与全球海平面变化相一致，而海平面的波动又是与冈瓦纳大陆冰盖终端的进退相协调。

## 8. 二叠纪以后的构造演化特征

对大范围来说，这种地质发育情况涉及整个北海盆地更大范围所发生的地质事件，所以这里只就其内部关系的简单轮廓加以叙述。表 3-1 列出了它们在区域上某些方面的可对比性。要想彻底查明本区大范围内的地质事件，必须依靠遍布北海地区的高精度地震资料的解释。但由于缺乏清晰而连续的反射界面，对本区较老的地层就难于加以解释了。

有 3 个突出的地质事件影响着北海地区二叠纪以后的地质演化历史。第一，对北海地质

构造演化影响最小的事件,要算在晚三叠世至侏罗纪之间,古特提斯洋的打开导致了联合古陆(Pangaea)分裂为劳亚大陆和冈瓦纳大陆(表 3-1)。第一,在中侏罗世后起着影响北大西洋诞生和劳亚大陆分裂为北美大陆和欧亚大陆这一事件(图 3-1g)。在早侏罗世从北极到中大西洋之间的海道就已存在(Hallam,1977)。两大陆间的海底扩张作用在侏罗世仅局部开始,而此时也只限于中大西洋。北美洲和欧洲之间的地壳完全分离是晚古新世至早始新世期间才出现的,这种观点的依据来自挪威中部的内陆边缘。第三个事件是,白垩纪至第三纪早期,由于古特提斯洋的关闭,导致非洲与欧亚大陆的分离和阿尔卑褶皱链的诞生。

地壳破裂又重新联合叠加的变化方式,总体上是建立在大陆缓慢向北漂移的过程中,使北海地质从泥盆纪在赤道以南逐渐漂移到它现今的纬度,大约跨越了从赤道到北极之间一半以上的里程。在岩石中记录了它在漂移过程中生物和沉积物方面受纬度气候的影响特征,而且它的漂移对其他板块运动也有着重大关系和相互影响。

东西向的拉张导致了北部北海盆地地堑系的形成,从而构成盆地的发育,这种发育是从晚古生代开始的,现代北大西洋扩张轴的活动,导致劳亚大陆地壳完全分隔是在始新世。这种地壳拉张和最终衰减的影响,使盆地具有下列 3 个方面的主要特征(表 3-1)。

第一,由于地壳拉张和旋转断块的沉降引起地堑的进一步发育;这在晚侏罗世是很重要的。如在维京地堑内和 Rockall—Faeroe 海槽附近。

第二,由于走滑断层继承了先前的活动历史,使这些断层目前已贯穿整个盆地地区。在大区域内沿着较大的断层活动导致了主要坳陷(盆地)的发育。在几个孤立地带,发生了局部的沉降。如维京地堑中就有一个小规模例子,可由 Fagerland 的地震资料来说明。就大规模而言,Broad Fourteens 盆地在侏罗纪和早白垩世期间局部沉降了 4000 多米。走滑断层活动的结果,必然会影响到上覆层,它可能促使这些地区的蔡希斯坦统中的盐层发生底辟活动,这些地区的盐层厚达 150 多米,其上又有 1000m 或更厚的覆盖层。既然北部北海的底辟作用不是偶然发生的,就可根据底辟活动开始时的地层年代来推断局部断层活动的大约时间。在北部北海中央及南部北海地区,这种底辟活动在晚侏罗世至早白垩世发展到了顶峰,这就是所谓的晚启莫里阶(Kimmerian)运动。在有些地区底辟活动很清楚在中三叠世已局部开始,可能是与北海地堑系主要发育阶段有关的运动所引起。

第三,据推测隆起作用可能出现在地壳减薄与热力梯度增加相一致的地区,严重情况下,还会导致火山活动。这种隆起作用见于默里湾断层系和维京—中央地堑相交处,在那里有中侏罗世的火山活动。在古新世时期西设得兰台地上发育了类似的拱起作用,在维京地堑内导致了粗碎屑的重新沉积。更晚的穹隆作用发生在靠近 Rockall—Faeroe 海槽的大陆架上,有广泛的火山活动,在北爱尔兰和西苏格兰有高原玄武岩的喷发,并沿着早已存在的断裂发生岩脉群侵入,有一些已达到北部北海边缘地区。已有资料认为火山活动中心的冷凝作用会导致地壳的沉降和盆地形成(表 3-1)。

由于地壳被拉张从而导致了地壳的均衡沉降,并得到沉积物的补偿。同样,均衡抬升将导致侵蚀作用发生。在地壳运动中,海平面升降的影响通常为其他更强的运动所掩盖。

在晚侏罗世的启莫里阶期间,全球性海平面的抬升,使海水侵入到沉降的维京—中央地堑内,导致了油源岩的形成。在其后的凡兰吟期,早白垩世海平面的下降导致了早白垩世的广泛侵蚀,但某些侵蚀可能与海水发生迁移有关。

众所周知,北部北海盆地在晚白垩世开始沉降,一直持续到整个新生代。沉降带的中轴基本上在中央和维京地堑附近,那里的白垩系地层局部超 2000m。晚侏罗统启莫里阶页岩在

中央和维京地堑内埋深现已超过了 3000m, 这就是为什么有如此多的油气产生在这里的生油岩中并聚集在邻近的构造隆起的原因, 通过区域 API 度变化的分析, 可清楚看出, 生油岩的埋深越大生成的石油 API 度越高, 到达 4300m 深度时, 生油岩达到过成熟, 而仅能排出气态烃。

新生代的沉降格局应归因于下伏岩石圈的冷却和收缩, 以及由于水体和沉积物负载增加, 所引起的均衡调整, 北部北海盆地下面的地壳显然有变薄的趋势, 从挪威和设得兰岛屿下面的 30~35km 变到维京地堑下面的 10~15km 厚。Ziegler(1983) 曾提出, 并非所有的这种变薄作用都是由力学拉伸造成的, 也有可能是壳下侵蚀作用的结果, 但在裂谷作用阶段, 这种作用是无法了解和证实的。

继中侏罗世火山喷发之后, 在断层交叉点附近已没有与中央和维京地堑有关的火山活动了。因此, 北海水下的新生代盆地的沉降, 很可能与地壳减弱带下面的热异常降低有关, 这种热降低在白垩纪已经开始。

回顾北部北海的构造发育史是在托恩基斯特洋关闭时对奥陶纪形成的地壳落弱带重复利用的结果。如果认为此带在泥盆纪已成为一个沉降轴的活, 那么到后来就变成了拉张、挤压、走滑运动的叠加影响及热流体系的变化。

### 9. 现代北北海地震横剖面的构造特征

图 3-7 是北北海地区的复合地震横剖面, 可划分为 4 个主要地层单元, 每一单元都通过岩心, 岩屑及测井等资料对比及综合分析, 在压域上确定了地层时代, 概括起来其表现出来的基本特征有:

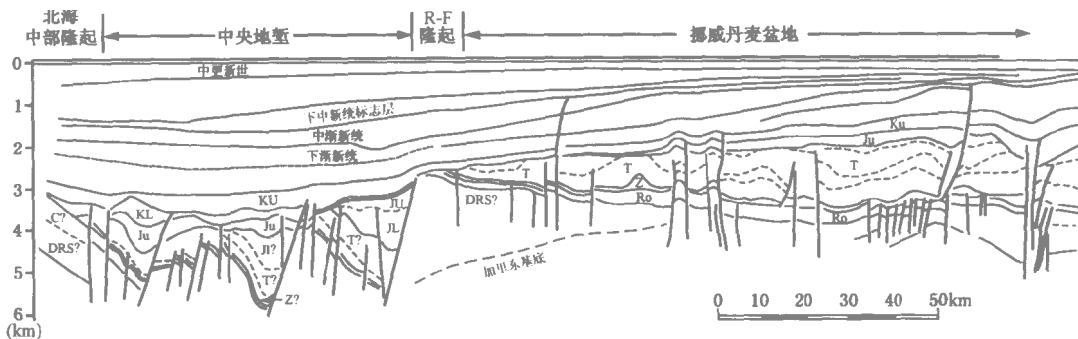


图 3-7 北海北部盆地地震剖面图

P—早第三系; KU—上白垩; KL—下白垩统; JU—上侏罗统; JL—下侏罗统; TR—三叠系; Z—上二叠统;  
RO—下二叠统; C—石炭系; DRS—泥盆系老红砂岩

第一, 前二叠纪的基底地层, 在最深的部分仅有微弱的构造显示, 其基底面起伏约有 3s 的双程时差, 换算成深度大约有 3000~4000m 厚的上覆层。中央地堑的两翼地势最高。区域资料表明, 基底反射面可能代表加里东期的强烈褶皱基底与上覆老红砂岩之间的侵蚀接触面。北海中部隆起的沉积层序特征, 反映了可与下覆老红砂岩对应的石炭系地层的存在, 并已于区域钻井资料所证实。

第二, 根据地震构造特征, 在挪威—丹麦盆地的基底岩石之上, 覆有一个削蚀楔状沉积体, 推测为早二叠世(赤底世)到晚侏罗世(已由钻井资料证实)的地层。在林克宾芬隆起北部边缘的钻井中已打穿赤底统, 而在盆地中央则没有见到。晚二叠世的蔡希斯坦层通过典型的盐丘底辟特征来确认, 它的底面形成一个可以进行区域对比的地震界面。前蔡希斯坦层很可能代表早二叠世的赤底统, 它属于沙漠湖泊相。

继蔡希斯坦统之上覆盖着三叠系, 其“厚度”大约是 1.5s 的双程时差。内部反射的几何形