

西北欧海域及邻区构造单元与构造演化

李双林

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘 要:西北欧海域及邻区可划分为 4 个一级构造单元, 分别是劳伦提亚板块、阿维隆尼亚板块、波罗的板块和冈瓦纳板块。进一步可划分为 7 个二级构造单元, 其中劳伦提亚板块划分了 2 个二级构造单元, 分别为劳伦提亚地块和劳伦提亚加里东造山带; 阿维隆尼亚板块划分了 2 个二级构造单元, 分别为阿维隆尼亚加里东造山带和阿维隆尼亚海西造山带; 波罗的板块划分了 2 个二级构造单元, 分别是波罗的地块和波罗的加里东造山带; 冈瓦纳板块划分 1 个二级构造单元, 称为冈瓦纳海西造山带。西北欧海域及邻区古生代以来构造演化经历了古生代, 包括晚奥陶世到志留纪的加里东期和中到晚石炭世海西期的大陆碰撞与大陆增生, 中生代大陆裂谷作用和晚中生代到新生代大陆离散和海底扩展阶段。经过古生代的大陆碰撞与大陆增生, 劳伦提亚板块、波罗的板块、阿维隆尼亚板块和冈瓦纳板块连成一体。中生代的大陆裂谷作用表现为穿过前寒武纪—古生代增生构造的重新活动或裂解和西北欧海域及邻区一系列裂谷盆地的形成。晚中生代到新生代大陆离散和海底扩张导致北美和伊比利亚, 以及格陵兰和欧洲的分离和洋脊进积进入北极。

关键词:西北欧; 北海; 构造演化; 油气

中图分类号: P618.12

文献标识码: A

西北欧海域指英国、爱尔兰、法国、德国的北部和西部、Benelux 同盟国(比利时、荷兰、卢森堡)以及斯堪的纳维亚地区(瑞典、挪威、丹麦、冰岛等)所围的海域。具体有北海、爱尔兰海、凯尔特海、英吉利海峡、东北大西洋部分海域以及挪威海部分海域。西北欧海域发育多个沉积盆地, 其中主要含油气盆地集中在北海海域。北海海域拥有欧洲最多的石油及天然气资源, 是世界主要的非欧佩克产油区之一。西北欧海域及邻区丰富的油气资源使这一地区的基础地质研究得到广泛的开展并对这一地区的油气勘探起到了重要的指导

意义。笔者根据西北欧海域及邻区前寒武纪基底和古生代造山作用特征, 对这一地区构造单元进行了划分, 并在此基础上探讨了西北欧海域及邻区的构造演化。

1 区域构造单元的划分

西北欧海域及邻区构造单元划分为 1 级构造单元和 2 级构造单元 2 个级别。一级构造单元 4 个, 分别是劳伦提亚板块、波罗的板块、阿维隆尼亚板块和冈瓦纳板块。分隔 4 个一级构造单元的构造边界有 3 个, 分别是古大西洋缝合带、通古斯洋缝合带和菲克缝合带。二级构造单元 7 个, 其中与劳伦提亚板块有关的二级构造单元有 2 个, 分别是劳伦提亚地块和劳伦提亚加里东造山带; 与波罗的板块有关的二级构造单元 2 个, 分别是波罗的地块和波罗的加里东造山带; 与阿维隆尼

收稿日期: 2011-10-20

基金项目: 国家专项“全球油气地质综合研究与区域优选——西北欧海域油气地质综合研究与区域优选”(GT-YQ-QQ-2011-7-23)

作者简介: 李双林(1962—), 男, 博士, 研究员, 主要从事石油地质与地球化学方面的研究工作。E-mail: lishuanglin5335@hotmail.com

亚板块有关的二级构造单元 2 个,分别是阿维隆尼亚加里东造山带和阿维隆尼亚海西造山带;与冈瓦纳板块有关的二级构造单元 1 个,为冈瓦纳海西造山带。分隔 7 个二级构造单元的二级构造边界为:分隔劳伦提亚地块和劳伦提亚加里东造山带的莫恩逆冲带;分隔波罗的地块和波罗的加里东造山带的加里东变形前缘带;分隔阿维隆尼亚加里东造山带和阿维隆尼亚海西造山带的海西前缘带(图 1)。

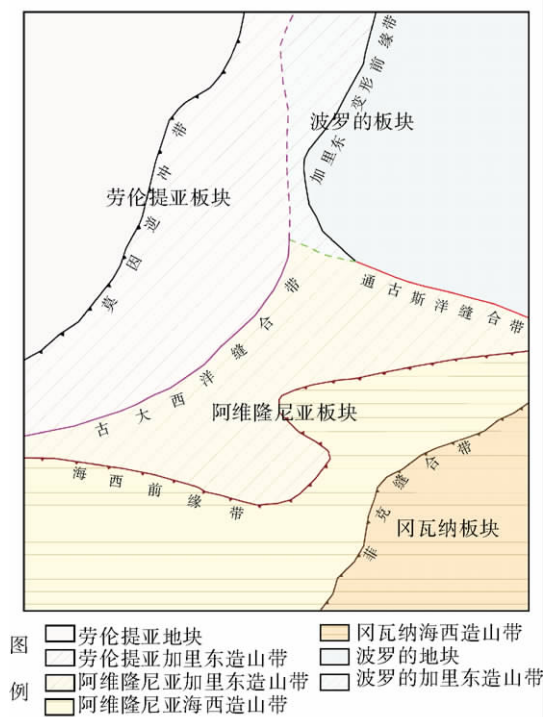


图 1 西北欧海域及邻区构造单元划分

Fig. 1 Tectonic units in the North-West Europe offshore and neighbour area

2 西北欧海域及邻区构造演化

2.1 古生代大陆碰撞和板块增生

西北欧海域及邻区汇聚构造期主要有 460~450 Ma 期间的奥陶纪或塔康/格罗平造山作用、400 Ma 左右的泥盆纪或阿克丹造山作用以及 400 Ma 至 300 Ma 的海西/阿巴拉契亚造山作用。在西北欧地区,这些造山作用可能划分为 2 个独立的增生事件:加里东期(对应着塔康/格罗平

期和阿克丹期)和海西期^[1,2]。

2.1.1 加里东碰撞造山作用

加里东碰撞造山作用涉及到波罗的板块、劳伦提亚板块和阿维隆尼亚板块三者之间的汇聚。北部和南部古大西洋分别将劳伦提亚板块、波罗的板块和阿维隆尼亚板块分隔,而位于阿维隆尼亚板块和波罗的板块之间的通古斯洋则构成了三联汇聚带的第 3 轴^[3]。

图 2 显示了碰撞前古大陆的增生和之后的碰撞拼合。在 460 Ma,在北部劳伦提亚板块与波罗的板块碰撞,北部古大洋闭合,而南部的阿维隆尼亚板块与劳伦提亚板块之间仍为南部古大西洋分隔,与波罗的板块之间的由通古斯洋分隔;在 430 Ma,南部古大西洋的面积逐渐缩小,分隔阿维隆尼亚板块与劳伦提亚板块的南部古大西洋逐渐接近闭合,同时阿维隆尼亚板块与波罗的板块之间的通古斯洋也接近闭合;在 400 Ma,南部古大西洋和通古斯洋均以闭合,一个统一的劳伦提亚—波罗—阿维隆尼亚板块已经形成。与此同时,在统一劳伦提亚—波罗—阿维隆尼亚板块与南部冈瓦纳板块之间可能存在有泥盆纪的古大西洋。

莫恩逆冲带是重要的加里东构造带,位于劳伦提亚板块内部,分隔了劳伦提亚地块和劳伦提亚加里东造山带。在西北欧的不同地区,莫恩逆冲带的表现不尽相同。罗伯特斯等^[4]指出英国西北部加里东挤压变形带的西界位于瑞科尔海槽的东缘之下,并且它影响了其后的盆地发育。

在苏格兰高地的北部到西部,莫恩逆冲带的岩石组成为元古代沉积物。在 870~800 Ma 期间,这些元古代的沉积物由于大规模的褶皱和逆冲推覆而产生变质和变形^[5]。与莫恩逆冲带有关的第 2 次主要变质事件大约在 479 Ma,伴随着强烈的变形,代表了莫恩变形带形成的高峰期。

在中—晚志留世时期,莫恩逆冲带首先由平行于加里东造山带走向的左旋运动而产生位移,然后增生到西北前陆之上(图 2)。大格林断层东南结晶基底是中元古代且在前寒武纪晚期裂开,在古大西洋的西北边缘的被动陆缘上形成几个深盆地。盆地充填了厚的达拉德阶沉积物。在奥陶纪期间,苏格兰高地的南东向俯冲产生了岛弧建造,紧接着仰冲到达拉德阶之上^[6]。其后盆地进

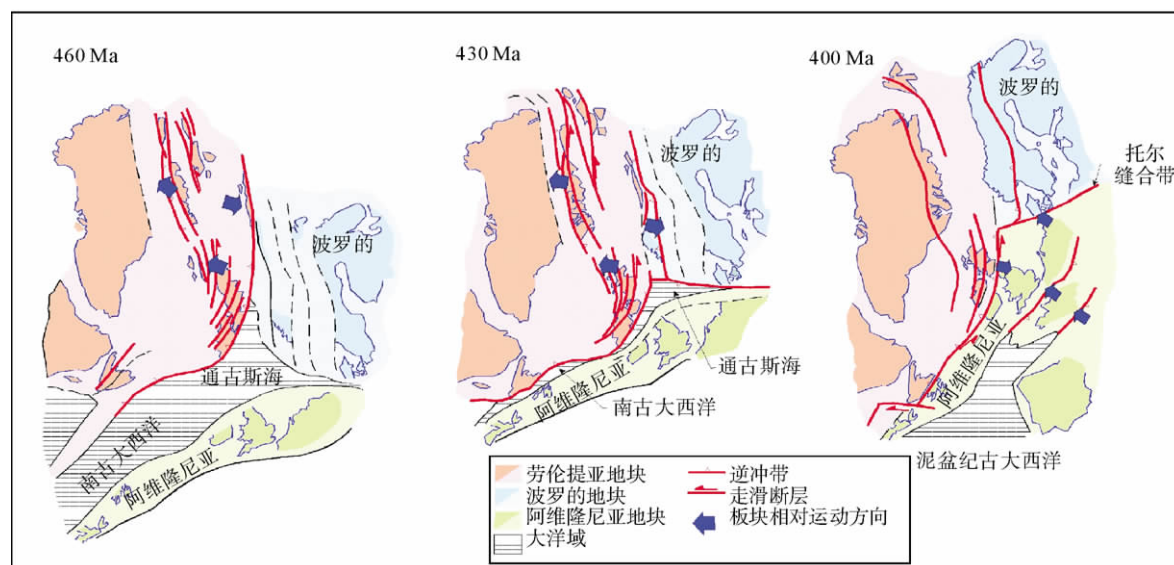


图 2 西北欧海域及邻区加里东期构造演化(据文献[1]修改)

Fig. 2 Tectonic Evolution of the Caledonides in the North-West Europe offshore and neighbour area (modified from reference [1])

一步倒转,导致大规模褶皱和扇形褶皱建造的发展。在 460~400 Ma 期间,莫恩逆冲带至少缩短了 90 km^[7]。

在晚志留世,古大西洋南边,增生椎最终与古大西洋南边的岩浆弧合成一体。古大西洋缝合线在挪威穿过北海的加里东构造特征明显不同,在那里加里东期构造涉及到劳伦提亚板块与斯堪的纳维亚板块之间的碰撞。碰撞始于奥陶纪,伴有岛弧物质的逆冲,但几百千米的南东向薄皮逆冲作用一直持续到志留纪。

2.1.2 晚古生代沉降与海西造山作用

在晚志留世到早泥盆世,波罗的板块与劳伦提亚板块之间的加里东碰撞作用停止。泥盆纪盆地可能比现今要宽广的多^[8]。在挪威南部的陆上和海域形成地堑,而且在北海南部可能发育泥盆纪盆地。这些盆地可能形成于厚地壳的重力垮塌,但也可能由拉分作用形成。按照考瓦特^[9]的观点,北海北部拉分盆地深,形成了初生维京地堑,说明了维京地堑和北海盆地的地壳减薄。

在中泥盆世时期,大格林断层的西部有盆地反转和褶皱存在。在西设得兰,NE 向褶皱被巨大的泥盆纪花岗岩切割^[9]。火山岩地区的隆升提供了厚度直到 9 km 的沉积扇,红层和磨拉石沉积的物源^[10]。冲积扇的源区是在西北部。晚泥

盆世岩石具有大规模的北东向褶皱,伴有陡的东南向面理。巨大的泥盆纪拉分盆地由北部的左行剪切带形成。这一剪切带也形成了敖克丹—东设得兰盆地和初生维京地堑。

在早石炭世中韦宪时期,围绕泥盆纪—石炭纪过渡带以砂为主的冲积红层沉积之后,紧接着一个中海西期的三角洲相,以及晚韦宪和早纳谟尔时期的约尔德型沉积。哈提兹等^[11]建议在东格陵兰早石炭世沉积作用的构造环境可能是左行剪切带。

在中到晚石炭世时期,由于海西造山作用,原有的泥盆系和晚石炭世走滑及正断层位置反转,引起了构造倒转^[4,9,12]。在这一时期,巨大与褶皱有关的反转形成于东设得兰和东设得兰台地上^[13],并且沿大格林断层和苏格兰米德兰德山谷产生右行位移。在西北欧,晚石炭世反转期也许伴随着与海西构造有关的北西到南东向挤压。然而,苏格兰米德兰德山谷以及北部以远的反转较东米德兰蒂斯和北海南部更早。

在东格陵兰与巴伦特斯海,早到中石炭世的拉张伴随着被动热沉降^[14,15]。斯瓦巴德地区在中石炭世产生了强烈的斜向走滑拉张,接着是在晚石炭世和二叠纪的热沉降。然而,在晚石炭世和二叠纪期间,没有类似于在英国识别出的盆地

反转。相反,在东格陵兰发育的拉张裂谷充填了碎屑岩和碳酸盐。在东格陵兰,在 300 km 长的半地堑内沉积了厚度达 1 500 m 的纳谟尔到下斯蒂芬地层。相似的半地堑可能沿挪威西部陆架形成。裂谷向南进积,证据是向南沉积作用前缘年龄变轻。

在维京地堑、英国北部和北海南部,这种反转产生明显的褶皱。广泛分布有晚石炭世到早二叠世的火山岩。早二叠世以玄武岩为主的火山作用,预示二叠纪以拉张作用为主。这一地区下伏有热的软流圈,可能是西北欧热点的边缘。

在晚二叠世,存在有与冈瓦那石炭—二叠纪冰体融化有关的海平面抬升。来自北部的海侵导致穿过欧洲北部和中部大部分地区的蔡西施坦海的形成。在晚二叠世晚期初始区域拉伸代表了北极裂谷系发育的第 1 个阶段。在东格陵兰和巴伦特斯海,穿过南北向断层有明显的厚度变化,在下盘高地上有厚的碳酸盐建造。含沥青的页岩沉积在邻近的半地堑内,形成了潜在的烃源岩。

2.2 中生代的大陆裂谷作用

中生代的大陆裂谷作用代表了先前前寒武纪—古生代增生构造的再活动和破裂。在英国南部和西南部区,由于受海西变形作用的影响,导致二叠纪和三叠纪拉张构造重组了早期的挤压地壳片理。在中欧和北海中部,转换欧洲断层带/托尔缝合带由于中生代的裂谷作用而再次活动,并且可能向东进入东特提斯。然而,在其他地区,如北海和英国西部,加里东期构造大部分没有因为中生代拉张而再活动。

早三叠世时期,设得兰西部与设得兰北部及东北部构造相似,形成了北东走向的断裂构造。在东格陵兰,沿泥盆纪断裂系统的再生裂谷使得来自北极的海相沉积物短期内大量输入,而滨岸—平原沉积物沉积远达设得兰的南部。西设得兰、索兰和弗拉盆地沉积了厚的晚三叠世沉积物,但沉积物的厚度向南减小,在爱尔兰变薄或缺失,表明向南裂谷作用的强度减小。

在三叠纪最后期,由于欧洲连续北向漂移以及海西造山带的剥蚀和垮塌,导致西北欧气候的增加,产生了从红层到灰层的快速变化^[4]。这最终导致挪威海域近海含煤沉积物的沉积,在那里

有厚达 500 m 的冲积分叉河道砂岩、泛滥平原泥岩以及煤的互层。煤层也许是当地气田的来源。

在早侏罗世的海侵导致主体的海相沉积物沉积在英国的西南部,充满了三叠纪盆地,另外一次海侵确立了北海丹林组的海相沉积以及挪威海域潮汐砂沉积^[16]。在大约 175 Ma,与海底扩张有关的海侵在中大西洋、阿早斯—吉尔伯特破碎带的南部开始。同时,三叠纪到早侏罗世盆地向北产生了后期的热沉降。

在斯尔尼和艾瑞斯盆地,超过 1 500 m 厚的巴柔阶—巴通阶沉积物充填在一个被动沉降的盆地内。相似厚度的沉积序列在远离不列颠西部的地方,如圣乔治海峡盆地也有发现。在舍德兰西部盆地,三叠纪同生裂谷盆地剥蚀削平,表明了后三叠纪的反转。布斯等^[17]估算了在这次反转事件中有超过 1.5 km 的地层剥蚀掉。

在中侏罗世,穿过挪威海的北方裂谷持续活动,在设得兰和伯克宾系统的西部与北大西洋裂谷带相连。在斯凯岛向南西进积的海岸沉积指明向南的海路,然而,巴柔时代的非海相沉积物在北伯克宾盆地的生成表明了这种连接的确立只是局部的。在北海北部的卡洛阶火山岩表明中侏罗世地幔热点的存在。按照安德赫尔等^[18]观点,在北海中部,与热点有关的隆升向下剥蚀到了里埃斯科或三叠纪地层。在这一时期,与特提斯和中大西洋初期海底扩张有关的裂谷阶段向南开始对西北欧的构造有了重要影响。中大西洋裂谷系统扩张进入爱尔兰西部和南部盆地,而且可能进入法罗斯—设得兰盆地和挪威近海。

牛津阶到基末利阶的进一步下沉,伴有贯穿整个东格陵兰暗色页岩的沉积。沿柔那洋脊的顶部产生了晚侏罗世小型裂谷盆地。在侏罗纪末期,马卡提亚瑞普和马尼特洋脊是活动的,将快速下沉的摩尔盆地与北海盆地分离。摩尔盆地的南缘,沿马卡提亚索和马尼特洋脊产生剥蚀并且等量的同裂谷沉积物沉积到南部的马格纳斯建造中。

在西北欧海域及邻区最重要的裂谷期产生在晚侏罗世,当时北海盆地基本构造格架已经确立。在巴通阶时期,维京地堑可能已经开始相对少量的拉张,但在卡洛阶到早基末利阶时期,在北极的裂谷作用扩张进入北海,在维京地堑形成了北到北东走向的正断层,伴有北西走向的剪切和转换

断层。

在北海北部和维京地堑,有证据表明在牛津期有连续拉伸,推测在挪威陆架中部的部分地区也有相同的情况发生。在北海中部多数拉伸是沿着更早的三叠纪断层斜向走滑的。然而,在挪威和丹麦水系南部,一些晚侏罗世地堑同这种拉伸方向是近于垂直的,而且在维京地堑的东部,大量三叠纪断层废弃作为盆地发育一直到更远的西部。

在晚基末利阶到沃尔格阶,北海中部主要是 NE 向 SW 方向的拉张。这一时期建议的盆地演化模式采用了罗伯特斯等^[19]等的矢量三角形模式,考虑到拉伸方向随时间的变化进行了修改^[20](图 3)。

中到晚侏罗世裂谷活动导致北极与中大西洋系统连接。大多数张性断层的主要活动期是在卡洛阶到早基末利阶和侏罗纪末期到欧特里夫阶。在德国和波兰,拉伸方向是 NE 向 SW,而沿大西洋裂谷系统,拉伸方向是 NW 到 SE,表明三联点重新发育。三联点的位置随时间变化,从北海中部到摩尔盆地的南部。因此,在北海中部在卡洛

阶到基末利阶期间,拉伸方向发生变化,伴随 NW—W 走向断层和 NE—SW 向拉伸^[20]。

早白垩世时期的构造作用主要为 2 期断层活动。两期主要的断层活动的表现是不同的:一期主要是凡兰吟阶—欧特里夫阶位移,另一期是阿尔布阶—阿普特阶运动。

在设得兰西部和北部的大西洋边缘,早白垩世 NW 到 SE 向的拉张形成了法尔罗盆地和马格纳斯海槽。思科斯特等^[21]估计从瑞科尔海槽到南巴伦提斯海有 50~70 km 的地壳拉伸。拉张作用的主要活动期是在凡兰吟期,次要活动一直持续到欧特里夫期。沉积作用可能主要为海相泥岩,在盆地边缘伴有少量浅海砂岩。

在北海中部和北部,在白垩纪最早期,正断层一直在活动,伴有靠断层斜坡的碎屑岩楔沉积。拉张作用在早白垩世随着被动热沉降的开始而停止;海进沉积覆盖了同生裂谷地形形成了所谓的白垩纪基底不整合。在纽芬兰和伊比利亚之间的大西洋,海底扩张始于大约 132 Ma (晚凡兰吟阶到早欧特里夫阶)。在南部裂谷的加宽引起最强

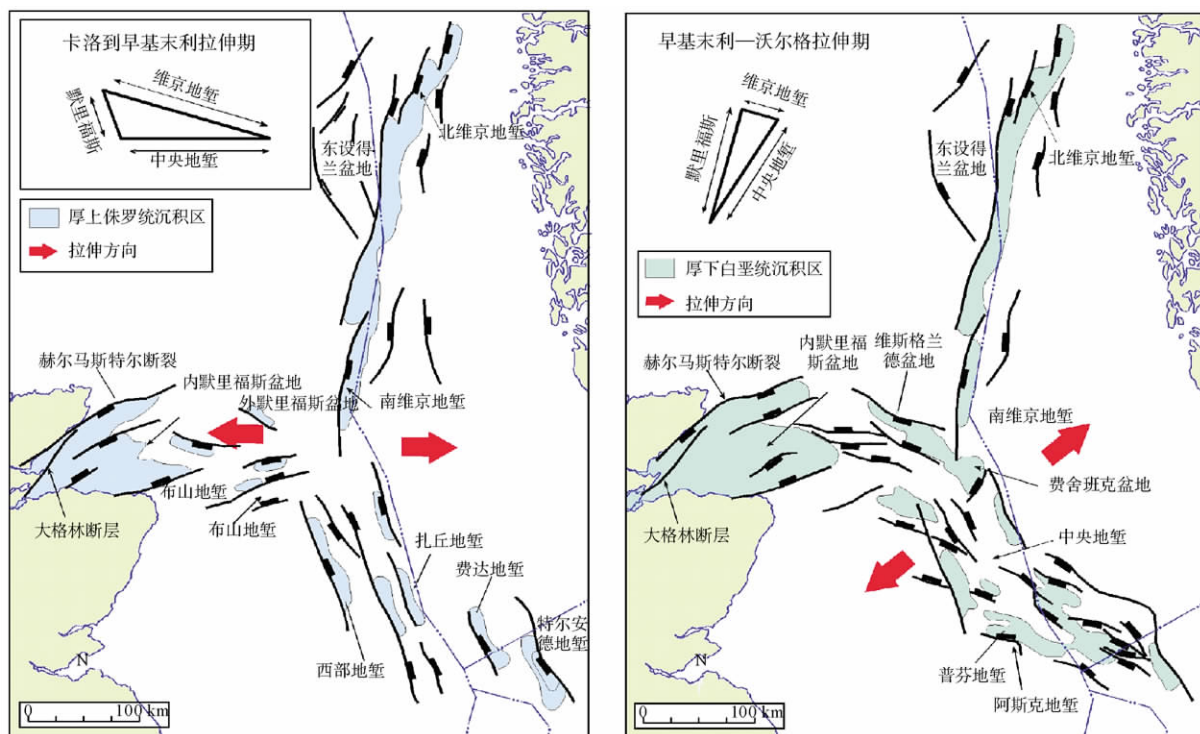


图 3 北海裂谷系统两期垂直拉伸模式(据文献[20])

Fig. 3 A 'two-phase' model for the orthogonal opening of the North Sea rift system (from reference [20])

的裂谷向北进积,裂谷的分支进入伯克宾盆地和瑞科尔海槽。

2.3 晚中生代到新生代大陆离散和大洋扩张

在中白垩世,裂谷作用产生了拉布拉多海和比斯凯海湾,形成于中大西洋扩张脊的北端。北大西洋和北海的拉张作用在这一时期停止,并且盆地产生被动热沉降,而且局部有盆地反转。

在晚白垩世,北大西洋有相对少的裂谷活动,并且在区域上产生被动热沉降。瑞科尔海槽和法尔罗—设得兰盆地的拉张基本停止。伴随早白垩世拉伸造成的裂谷边缘的广泛出露导致在东格陵兰部分地区中晚白垩世三角洲沉积。在那里,凝固的砾岩和部分含煤碎屑岩盖在海相阿尔布阶泥岩之上。在法尔罗—设得兰盆地边缘,沿克莱尔洋脊土伦阶的背斜露头以及索兰盆地的挤压构造指示了晚白垩世反转^[4]。

在古新世和始新世期间,北大西洋由于地幔柱的影响,岩石圈减弱并且重新扩张。在微弱的始新世扩张之后,洋壳生成,导致格陵兰从欧洲分离并且大洋脊加积进入北极。在扩张方向上的微弱变化,以及更老的基底构造作为新生代剪切带的再活动,产生反转带。大陆裂解和挪威海的初生始于 57 Ma 之前。在大陆裂解的早期,通过森加破碎带南部的海底扩张形成了洋壳,当时格陵兰沿一个区域转换带产生北北西向运动,离开斯瓦尔伯德,没有深盆地形成。在初期裂谷作用阶段,大西洋的火山边缘保持在海平面以上并且也许有微弱抬升,许多玄武岩显示已经沉积到地面或水下环境^[22],而且可能来源于裂隙式火山作用,与今天的冰岛相似。熔岩堆积的厚度达到 4~5 km^[23]。由于大陆离散,厚度达 15 km 的新火成物质增生到地壳下部。在新近纪,阿尔卑斯造山带和大西洋邻近地区的上隆也使得新的沉积物输入到西北欧盆地内。

3 结论

(1)西北欧海域及邻区前中生代以来可划分为 4 个一级构造单元,分别是劳伦提亚板块、阿维隆尼亚板块、波罗的板块和冈瓦纳板块,进一步可划分为 7 个二级构造单元,分别是劳伦提亚地块、

劳伦提亚加里东造山带、阿维隆尼亚加里东造山带、阿维隆尼亚海西造山带、波罗的地块、波罗的加里东造山带和冈瓦纳海西造山带。

(2)西北欧海域及邻区古生代以来构造演化经历了古生代(包括加里东和海西期)大陆碰撞与大陆增生、中生代大陆裂谷作用,以及晚中生代到新生代大陆离散和海底扩张阶段。经过古生代的大陆碰撞与大陆增生,劳伦提亚板块、波罗的板块、阿维隆尼亚板块和冈瓦纳板块连成一体。中生代的大陆裂谷作用代表了先前前寒武纪—古生代增生构造的再活动和破裂,导致西北欧海域及邻区一系列裂谷盆地的形成。晚中生代到新生代大陆离散和海底扩张导致北美和伊比利亚以及格陵兰和欧洲的分离和洋脊进入北极。

参考文献:

- [1] Klemperer S L, Hobbs R. The BIRPS Atlas[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [2] Mckerrow W S, Macniocail L C, Dewey J F. The Caledonian Orogeny redefined[J]. Journal of the Geological Society of London, 2000, 157: 1 149-1 154.
- [3] Soper N J, England R W, Snyder D B, et al. The Iapetus suture zone in England, Scotland and eastern Ireland: a reconciliation of geological and deep seismic data[J]. Journal of the Geological Society of London, 1992, 149: 697-700.
- [4] Roberts D G, Thompson M, Mitchener B, et al. Palaeozoic to Tertiary rift and basin dynamics: mid-Norway to the Bay of Biscay—a new concept for hydrocarbon prospectivity in the deep water frontier[C]// Fleet A J, Boldy S A R. Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 5th Conference. London: The Geological Society, 1999: 7-40.
- [5] Bluck B J, Dempster T J, Rogers G. Allochthonous metamorphic blocks on the Hebridean passive margin, Scotland [J]. Journal of the Geological Society of London, 1997, 154: 921-924.
- [6] Dewey J F, Shackleton R M. A model for the evolution of the Grampian tract in the early Caledonides and Appalachians[J]. Nature, 1984, 312: 115-121.
- [7] Butler R W H, Coward M P. Geological constraints, structural evolution and deep geology of the northwest Scottish Caledonides[J]. Tectonics, 1984, 3: 347-365.
- [8] Sherlock S C. Molasse storage, basin inversion and sediment recycling in the Norwegian Sea[J]. Abstracts, Geoscience 2000, University of Manchester, 17-20 April, London: The Geological Society, 2000: 70.
- [9] Coward M P. The effect of Late Caledonian and Variscan

- continental escape tectonics in basement structure, Palaeozoic basin kinematics and subsequent Mesozoic basin development in NW Europe[C]//Parker J R. Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 4th Conference. London: The Geological Society, 1993: 1 095-1 108.
- [10] Haughton P D W. A cryptic Caledonian flysch terrane in Scotland[J]. Journal of the Geological Society of London, 1988, 145: 685-703.
- [11] Hartz E H, Torsvik T H, Andersen A. Carboniferous age for the East Greenland Devonian Basins: paleomagnetic and isotopic constraints on age stratigraphy and plate reconstructions. Geology, 1997, 25: 675-678.
- [12] Coward M P, Enfield M A, Fischer M W. Devonian basins of Northern Scotland: Evidence of inversion related to late Caledonide-Variscide tectonics[M]//Cooper M A, Williams G W. Inversion Tectonics. London: Special Publication of the Geological Society, 1989, 44: 275-307.
- [13] Serrane M. Devonian extensional tectonics versus Carboniferous inversion in the northern Orcadian basin[J]. Journal of the Geological Society of London, 1992, 149: 27-37.
- [14] Surlky F, Hurst J M, Piasecki S, et al. The Permian of the West Margin of the East Greenland Sea-a future exploration target[M]//Halbouty M T. Future Petroleum Provinces of the World. Memoir of the American Association of Petroleum Geologists, 1986, 40: 629-660.
- [15] Gudlaugsson S T, Faleide J I, Johansen S E, et al. Late Paleozoic structural development of the south western Barents Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 1998, 15: 73-102.
- [16] Doré A G. Synoptic palaeogeography of the Northeast Atlantic Seaway: late Permian to Cretaceous[M]//Parnell J. Basins on the Atlantic Seaboard: Petroleum Geology Sedimentology and Basin Evolution. London: Special Publication of the Geological Society, 1992, 62: 421-446.
- [17] Booth J, Swiecicki T, Wilcockson P. The tectono-stratigraphy of the Solan Basin, west of Shetland[C]//Parker J R. Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 4th Conference. London: The Geological Society, 1993: 987-998.
- [18] Underhill J R, Partington M A. Jurassic thermal doming and deflation in the North Sea: implication of the sequence stratigraphic evidence[C]//Parker J R. Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 4th Conference. London: The Geological Society, 1993: 337-346.
- [19] Roberts A M, Yielding G, Badley M E. A kinematic model for the orthogonal opening of the late Jurassic North Sea rift system, Denmark-Mid Norway[M]//Blundell D J, Gibbs A D. Tectonic Evolution of the North Sea Rifts. Oxford: Oxford Science Publications, 1990: 181-199.
- [20] Erratt D, Thomas G M, Wall G R T. The evolution of the Central North Sea Rift[C]//Fleet A J, Boldy S A R. Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 5th Conference. London: The Geological Society, 1999: 63-82.
- [21] Skogseid J, Planke S, Faleide J I, et al. NE Atlantic continental rifting and volcanic margin formation[M]//Ntvedt A. Dynamics of the Norwegian Margin. London: Special Publication of the Geological Society, 2000, 167: 295-326.
- [22] White R S. A hot spot model for Early Tertiary volcanism in the North Atlantic[M]//Morton A C, Parsons L M. Early Tertiary Volcanism and the Opening of the NE Atlantic. London: Special Publication of the Geological Society, 1988, 39: 3-13.
- [23] Barton A J, White R S. Volcanism on the Rockall continental margin[J]. Journal of the Geological Society of London, 1997, 154: 531-536.

TECTONIC UNITS AND EVOLUTION IN THE NORTH-WEST EUROPE OFFSHORE AND NEIGHBOURING AREAS

LI Shuanglin

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Four first order tectonic units, i. e the Laurentia plate, Avalonia plate, Baltica plate and Gondwana plate, are recognized in the North-West Europe offshore and neighbouring areas. There are seven second order units, including two units, the Laurentia block and Laurentia Caledonian orogenic belt in the Laurentia plate, two units, the Avalonia Caledonian orogenic belt and Avalonia Variscan orogenic belt in the Avalonia plate, two units, the Baltica block and Baltica Caledonian orogenic belt in the Baltica plate, and one unit, the Gondwana Variscan orogenic belt in the Gondwana plate.

In the North-West Europe, Palaeozoic orogeny can be divided into two separate events, the Caledonian and the Variscan. The Caledonian collision involved three plates, the Laurentia plate, Avalonia plate and Baltica plate. Prior to the collision, the Tornquist Ocean separated the Baltica plate from Avalonia plate, and the Iapetus Ocean separated the Laurentia plate from the two opposite plates. The Caledonian collision resulted in the Caledonian orogeny. During the Mid to Late Carboniferous, the Variscan orogeny closed the Iapetus Ocean among Laurentia plate, Avalonia plate and Baltica plate.

The Mesozoic continental rifting tectonic movement represented a process to rework or break the preexisting Precambrian-Palaeozoic accretionary structures, and formed a series of rift basins in North-West Europe. During the Early Cretaceous, oceanic spreading broke through the Gibraltar Transform to initiate separation between North America and Iberia. During the Paleocene and Eocene, the North Atlantic was affected by a mantle plume that weakened the lithosphere and allowed the renewed spreading. Oceanic crust formed after only a slight amount of Eocene extension, leading to the separation of Greenland from Europe and ocean-ridge propagation into the Arctic.

Key words: North-West Europe; North Sea; tectonic evolution; oil and gas