

文章编号:1009-2722(2011)12-0034-07

北海盆地维京地堑构造特征及其演化

杨传胜, 李 刚, 李 清

(国土资源部海洋油气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:北海盆地为典型的中生代裂谷盆地, 维京地堑为其内部最具特征的陆内裂谷之一, 其构造特征及演化过程具有非常好的代表性。综合 IHS、USGS 等资料, 对维京地堑的基底、断裂、圈闭等构造特征进行了分析总结, 并论述了三叠纪与晚侏罗世至早白垩世 2 个时期的断裂作用。断裂作用产生的掀斜断块构造圈闭及后期的反转构造圈闭、压实披覆构造圈闭等, 都深刻影响了油气的形成与分布。根据其构造演化与沉积发育特征归纳为 5 个演化阶段: 前裂谷阶段; 裂谷阶段 I 期; 热坳陷阶段 I 期; 裂谷阶段 II 期; 热坳陷阶段 II 期。

关键词:北海盆地; 维京地堑; 断裂作用; 圈闭; 构造演化

中图分类号: P618.2

文献标识码: A

北海为大西洋东北部边缘海, 北临挪威海, 西以大不列颠岛和奥克尼群岛为界, 东临挪威、丹麦, 南接德国、荷兰、比利时、法国。自 20 世纪 60 年代以来, 北海成为海上最活跃油气勘探开发区之一。北海盆地经历了泥盆纪至第三纪漫长且复杂的地质演化, 形成了二叠纪盆地与第三纪盆地这 2 套沉积盆地。根据地质历史的发展和构造特点, 该区可划分为一系列正向、负向构造单元, 正向单元有: 中北海隆起、林克宾芬隆起、东设得兰台地; 负向单元有: 维京地堑、中央地堑、莫里福斯盆地等^[1,2]。

维京地堑位于北海盆地北部地区, 南北长约 500 km, 北端宽为 180 km、南端宽度仅为 10 km。其西部以东设得兰台地(East Shetland Platform)为界, 北临默里盆地(More Basin), 东北盆地边界为 Øygarden 断裂带, 东靠霍达台地和 Utsira 隆起, 南部以断层与中央地堑相邻(图 1)。维京地堑

是一个多旋回的衰退裂谷系统, 它构成了北海三叉裂谷系统的北支(图 2)。

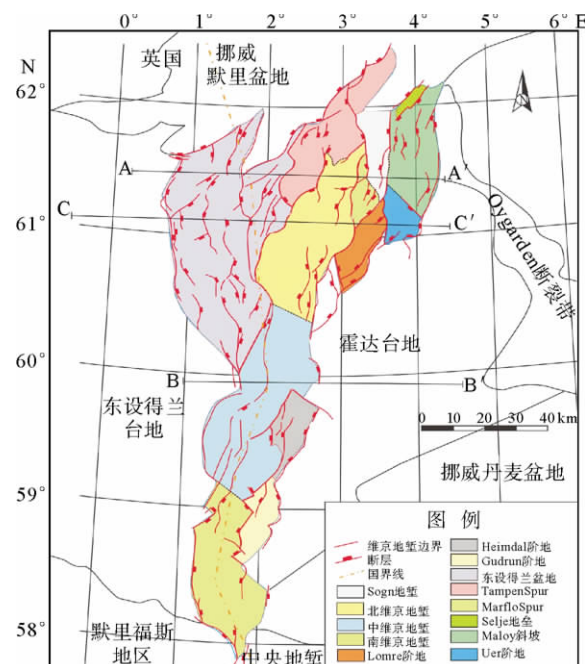


图 1 维京地堑构造区划

Fig. 1 Structural framework map of Viking Graben

收稿日期: 2011-10-09

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

作者简介: 杨传胜(1984—), 男, 研究实习员, 主要从事地震资料解释与构造研究工作。E-mail: ychuansheng@cgs.cn

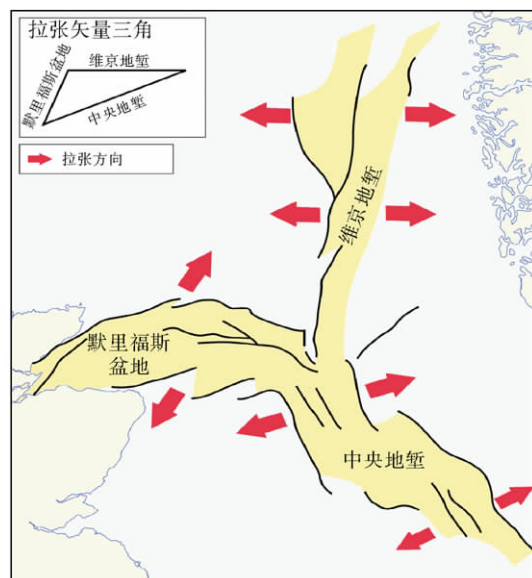


图 2 北海裂谷系统矢量三角模型(据文献[3])

Fig. 2 An 'extension-vector-triangle' model for the North Sea Rift (from reference [3])

1 盆地类型与基底特征

1.1 盆地类型

维京地堑长期以来一直被看作是一个裂谷型盆地(表 1),为衰退裂谷系统,构成了北海地堑系统的北支。雁列式的转换断层带把维京地堑分割为北部、中部和南部亚盆地(南部维京地堑、中部维京地堑和北部维京地堑)(图 1),并且激活了晚侏罗世晚期至早白垩世早期拉张阶段的正断层[4]。

表 1 维京地堑盆地类型

Table 1 The basin types of Viking Graben

年代	专家	观点
1980	Bally & Snelson	克拉通上覆裂谷地堑
1983	Kingston, Dishroon & Williams	陆内断陷
1980	Klemme	裂谷

1.2 盆地基底

维京地堑基底由上元古界经历了格拉姆(晚前寒武纪)和加里东造山作用(460~420 Ma)的

达拉德群沉积变质岩组成,它们包括片岩、石英岩、变火山岩以及云英岩。有 2 期花岗岩侵入作用。与区域变质有关的较老(格拉姆期)侵入体可追溯到大约 490 Ma 前。第 2 期(加里东期)花岗岩侵入发生于 435~390 Ma 间的变质、变形之后。加里东期变形造就了居支配地位的 NE—SW 向和次要的 NW—SE 向基底走向,二者都影响了后期的构造发育。

东设得兰盆地、Transitional Shelf 以及 Maloy Slope 上的许多钻井都钻至基底,通常为石英岩、片岩和片麻岩。

2 盆地构造特征

维京地堑(包括东设得兰盆地和 Tampen Spur)被 SN 向和 NEE—SWW 向断层切割,形成了东倾和西倾的 2 个半地堑。维京地堑主要构造形成于晚侏罗世期间,且具有受区域性断层控制的持续沉降。张性断裂沿二叠纪—三叠纪断裂走向发育,晚侏罗世期间形成了中生界典型圈闭类型——掀斜断块。晚期隆升导致了广泛的断层崖滑塌,常见有大规模断层崖侵蚀。

南维京地堑 Brae Trend 由许多上盘砾岩状深水陆坡裙扇组成,后期经反转作用改造为复杂背斜构造。Maloy Slope 上的 Agat 油气田为重力流砂岩上部斜坡处的地层圈闭。古新统和始新统油气田基本上为地层圈闭,经后期页岩压实改造为构造圈闭。纯粹的构造圈闭发育于盐枕之上或覆盖在较深的侏罗系构造之上。

2.1 盆地断裂特征

维京地堑断裂分布以 SN 向和 NE—SW 向为主,尤其是在地堑边缘。地堑边界断层通常为弧形,其西部边界断层可能为铲状。

2.1.1 三叠纪断裂作用

北海北部地区,三叠纪断裂为 SN 向,形成了东倾或者西倾的半地堑。维京地堑中部,该期断裂受到晚侏罗世拉张作用的强烈影响。

维京地堑东部,三叠纪的主要构造单元为 Sogn 地堑以及毗邻的 Horda 台地和 Stord 盆地(图 3)。三叠纪盆地的东部边界为 Øygarden 断裂带(图 3)。Sogn 地堑北向、东倾的边界断层断

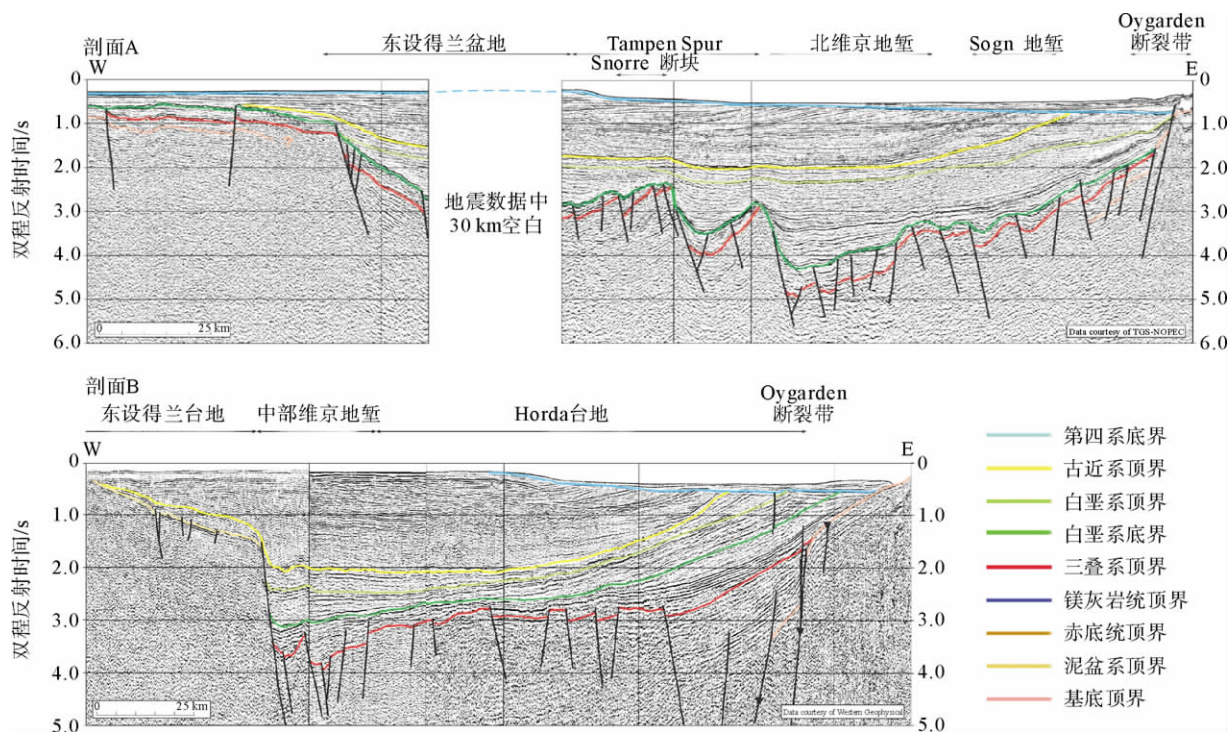


图 3 区域地震横剖面(剖面位置见图 1)(据文献[4])

Fig. 3 Regional seismic profiles (from reference [4])

距约 4.5 km, 其中大约 2 km 为三叠纪拉张。三叠纪期间, 断块东部基底被抬升和侵蚀, 并向东逐渐被中生代沉积物超覆^[5]。

维京地堑西部, 三叠纪构造位于东设得兰盆地及相邻的 Unst 盆地。北西倾的 North Tern 断层构成了东设得兰三叠纪盆地的边界, 并向北延伸至 West Penguin 断层(图 4)。其他断层(如 Cormorant 断层)上下盘间厚度变化不大。向西旋转的半地堑以南北向、东倾 Snorre 断层和 Hutton 断层为界。穿过 Hutton 断层的前侏罗纪沉积物逐渐增厚, 局部断距达 3 km。然而以 Hutton 断层为界, 三叠纪沉积物向东逐渐增厚。东设得兰盆地三叠系的平行反射层结构反映了快速断陷期后的均匀沉降。垂直构造走向的最大拉张值约为 15%。

2.1.2 晚侏罗世—早白垩世断裂作用

维京地堑于晚侏罗世—早白垩世被正断层再次改造。地堑体系的不对称性在中、南维京地堑表现明显(图 3)。50~70 km 长的走向断层构成了南维京地堑的边界, 断块宽 25~30 km。地堑西部边缘为一系列东倾断层, 晚侏罗世同构造沉积物厚达 3 000 m。地堑东部边缘为小规模、西倾断层, 断距 100~

500 m。铲状正断层见于断块倾向坡, 包括薄皮逆冲和褶皱等挤压构造所形成的斜坡^[6]。

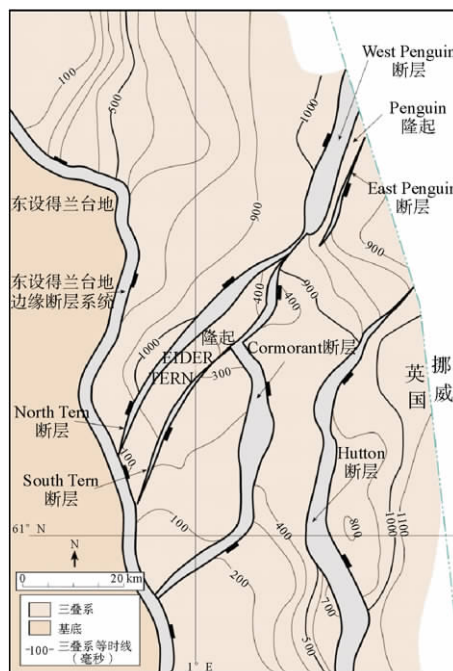


图 4 东设得兰盆地断裂系统(据文献[6])

Fig. 4 Fault systems in the East Shetland Basin (from reference [6])

地堑的许多边界断层为弧形,形成于较小断层连接处,并且这种连接构成了穹隆,例如 Gullfaks 油气田。Brae 北部、East Brae 和 North Brae 油气田的边界断层没有连接,而是偏移形成 NE 向、向盆内倾斜的传递斜坡。该传递斜坡成为沉积物分流进入南维京地堑的重要通道,为 East Brae 和 North Brae 油气田的砂岩沉积创造了条件(图 5)。

在维京地堑,反转与原始正断层的旋转、变陡有关,与上盘变形、半地堑充填物的侵蚀有关^[7]。逆断层可能切割了早期正断层的下盘,例如 Tern—Eider 隆起的边界断层。

2.2 主要构造圈闭

构造圈闭是由于地壳运动使得地层发生变形

或移位而形成的圈闭,是地堑内主要油气藏圈闭类型。维京地堑中构造圈闭为主的油气田数量占整个地堑油气田数量的 49.8%,其油、气储量分别占整个地堑储量的 13.9%和 32.1%(复合圈闭中构造圈闭部分未统计在内)。依据形成时期、地质背景的不同,维京地堑构造圈闭主要可分为侏罗纪同裂陷期构造圈闭和裂陷后构造圈闭(图 6)。

2.2.1 侏罗纪同裂陷期构造圈闭

(1) 简单掀斜断块圈闭

Snorre 油气田虽然为构造—不整合圈闭类型,但其构造部分仍为维京地堑中典型的掀斜断块圈闭。油气田圈闭中包括一系列向西掀斜的断块,该区域地层侏罗纪时期发生隆升、倾斜、侵蚀。另外, Magnus、Beryl 等油气田也是维京地堑中发育简单掀斜断块圈闭的典型代表。

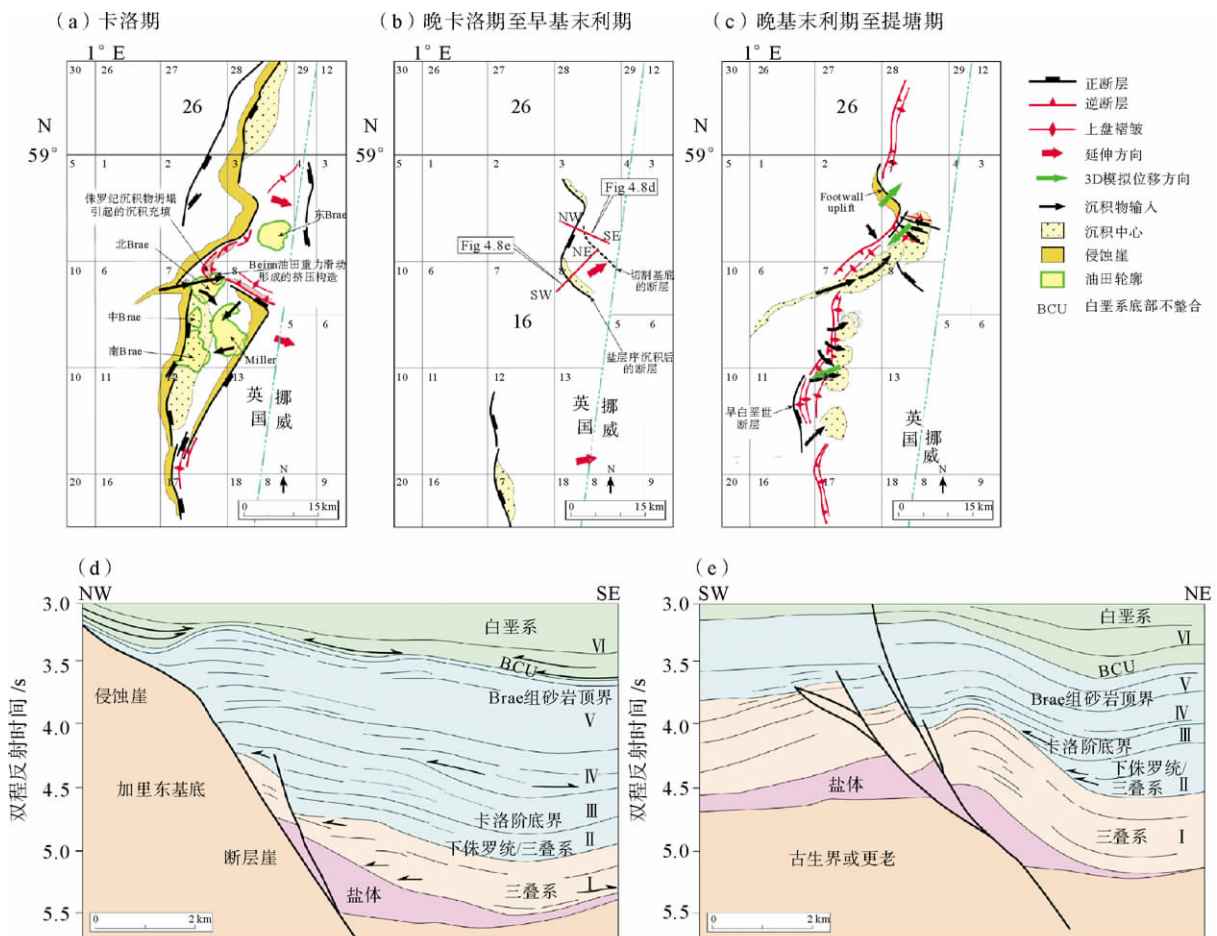


图 5 南维京地堑 Brae 地区构造演化(据文献[8])

Fig. 5 Evolution of the South Viking Graben in the Brae area (from reference [8])

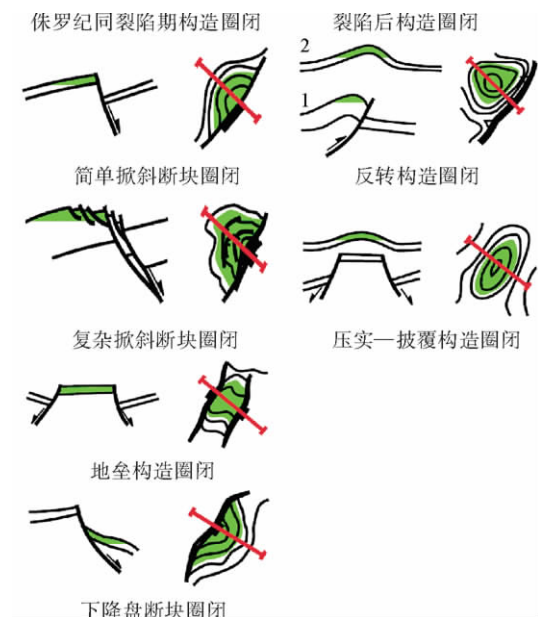


图 6 维京地堑主要构造圈闭示意图

Fig. 6 The main structural traps of Viking Graben

(2) 复杂掀斜断块圈闭

维京地堑拥有最多、最典型的复杂掀斜断块圈闭成因油气田,例如 Statfjord、Brent 和 Ninian 等油气田。Statfjord 油气田最典型构造特征为断层脊部被铲状断层高度切割,断层滑脱面主要发育于泥岩地层。

(3) 地垒圈闭

此类构造圈闭的典型特征就是发育 2 个倾向相反的正断层,从而形成了较好的圈闭。在维京地堑中,Beryl Alpha 油气田是该类圈闭的典型代表。

(4) 下降盘断块圈闭

维京地堑内最典型的断层下降盘圈闭沿南维京地堑 Brae 断层带发育,该区主要储层为侏罗系上统靠近断层发育的海底扇砂岩和砾岩。Brae 地区边界断层斜位移造成了断层下降盘弯曲褶皱,进而形成了圈闭,同时边界断层和上覆泥岩为圈闭提供了较好的封盖条件。

2.2.2 裂陷后构造圈闭

早白垩世—新生代盐活动、盆地反转、披覆构造以及差异压实作用所形成的构造圈闭都为裂陷后构造圈闭。此类构造圈闭均以白垩系白垩岩或新生界砂岩为储层,未见三叠系或侏罗系储层。

(1) 反转构造圈闭

反转构造圈闭主要是由于上侏罗统正断层导致的压实作用形成的十字倾角闭合背斜。维京地堑中发育此类圈闭的油气田只有 Sleipner East 油气田。

(2) 压实—披覆构造圈闭

压实—披覆构造圈闭为发育在隆起或者是掀斜断块脊部的十字倾角闭合且地势低缓的背斜,维京地堑中发育此类圈闭的油气田较少。

3 盆地构造演化

维京地堑早期断裂作用发生于二叠纪至早三叠世。下二叠赤底统同裂谷期砂岩和镁灰岩统海相碳酸盐岩、蒸发岩仅分布于维京地堑的中部和南部。

早侏罗世土阿辛晚期,地堑边缘的区域性隆起导致了北维京地堑 Brent 群三角洲的沉积;在中、南维京地堑则形成了 Sleipner/Pentland 以及 Hugin 组的滨海沉积物。中侏罗世拉张作用复活,但主要活动期为晚牛津期至基末利期。南维京地堑断裂作用分布相对比较局限,而东设得兰盆地和 Tampen Spur 则分布非常广泛。随之形成的半地堑逐渐被海相 Heather 组泥岩所充填。早基末利期至中沃尔格期,盆地边界断层的间歇性复活导致了 Magnus 上盘盆地的 Magnus 和 Ptarmigan 砂岩组盆底扇的沉积。中沃尔格期,富含有机物的泥岩超覆了整个盆地。由于 Snorre 和 Gullfaks 断块的局部隆升与旋转,毗邻上盘盆地 Draupne 组上部沉积了浅海相砂岩。南维京地堑内,张性断层的复活为 Brae East、Kingfisher 和 Miller 油气田盆底砂岩的沉积提供了来源。

中沃尔格期至贝利阿斯期所有拉张都终止并被区域热沉降所取代。晚白垩世期间,海平面格外高并且热沉降占据了主导地位。南维京地堑沉积了白垩群石灰岩;设得兰组泥岩则沉积于其他地区。截至土仑期至坎潘期,大多现存的隆起被超覆。

古新世晚丹尼期至早坦尼特期,奥克尼—设得兰台地大规模隆升,南维京地堑沉积了 Maureen (Ty) 和 Heimdal 组厚层海底扇砂岩。中坦尼特期一次较大的海平面上升终止了粗碎屑物的

供应。晚伊普利斯期之前,该区为受泥岩沉积控制的大西洋沉降被动陆缘的一部分。相对海平面的较大下降沉积了较厚的 Frigg 组海底扇砂岩。鲁帝特期至巴尔通期,沉积了 Grid 组浅海相至深海相砂岩。晚始新世至早渐新世区域性洪水泛滥,砂岩沉积终止。

维京地堑是最为典型的陆内裂谷之一。根据其沉积特征和构造发育情况,其演化大致可划分为 5 期(图 7):

(1)前裂谷阶段(冥古代—晚泥盆世)

前裂谷时期经历了多期构造演化,盆地基底包括在加里东褶皱基底上堆积的泥盆系“老红砂岩”和石炭系—中、下三叠统碎屑岩和碳酸盐岩^[9]。

(2)裂谷阶段Ⅰ期(二叠纪—早三叠世)

该期断裂作用发生于晚早二叠世并且持续活跃至早三叠世。早三叠世的拉张作用导致了大部分区域沿南北向断层沉降,东设得兰盆地和 Tampen Spur 地区则是沿着原先存在的 NE—SW 向加里东断裂沉降。

(3)热坳陷阶段Ⅰ期(中三叠世—中侏罗世)

晚中三叠世的海平面升高导致了地堑地区 Teist 组富黏土冲积相的沉积以及东设得兰盆地

边缘、Maloy Slope 和 Lomre Terrace 地区的河流相沉积。卡尼期,侵蚀基准面的下降导致了河流和漫流沉积物的突然涌入,从东部一直扩散延伸至维京地堑的低缓冲积平原。自瑞替期至辛涅缪尔期,Statfjord 组显示了由半干旱大陆环境(Raude 段)到滨海环境(Eiriksson 段)的转折。

(4)裂谷阶段Ⅱ期(晚侏罗世—早白垩世)

维京地堑主要构造形成于晚侏罗世期间,并具有受区域性断层控制的持续沉降。张性断裂以掀斜断块的形式出现,沿着二叠—三叠纪走向。断层活动集中于 SN 向、NE—SW 向的断层,尤其是在地堑边缘。

(5)热坳陷阶段Ⅱ期(晚白垩世至今)

晚白垩世期间,海平面格外高并且自阿尔布期至赛诺曼期热坳陷占优势。南维京地堑的上白垩统沉积物最大可达 1 000 m,北维京地堑厚度为 1 250 ~ 1 500 m。东设得兰盆地厚度约为 1 000 m,但毗邻的 Horda Platform,仅现存了 100 m 的上白垩统沉积物。

4 结论

(1)维京地堑断裂作用主要有 2 期:三叠纪和晚侏罗世—早白垩世。断裂分布以 SN 向和 NE—SW 向为主,地堑北部分布非常广泛(如东设得兰盆地和 Tampen Spur),南部分布则相对比较局限。

(2)同裂陷期形成的构造圈闭主要见于侏罗系。侏罗纪之前形成的构造圈闭油气藏比较少,多被侏罗纪裂陷活动所改造。裂陷后构造圈闭主要储层为白垩系的白垩岩或新生界砂岩,未见三叠系或侏罗系储层。

(3)维京地堑构造演化总体可归纳为 2 期裂谷与 2 期热坳陷,分别为二叠纪—早三叠世以及晚侏罗世—早白垩世发生的 2 期主动裂谷作用;中三叠世—中侏罗世和晚白垩世至今的 2 期热坳陷。

参考文献:

- [1] 叶德燎,易大同. 北海盆地石油地质特征与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社,2004: 7-111.
- [2] 刘政,何登发,童晓光,等. 北海盆地大油气田形成条件

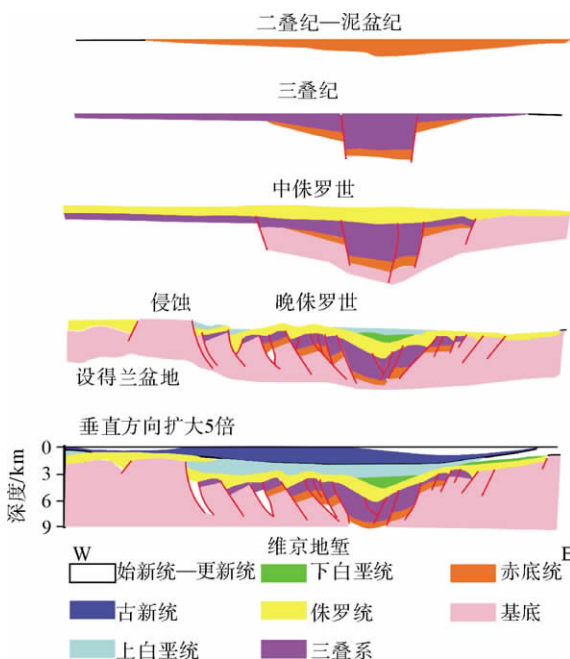


图 7 维京地堑构造发育史(位置见图 1,CC)(据文献[1])

Fig. 7 Tectonic history of Viking Graben

(from reference [1])

- 及分布特征[J]. 中国石油勘探, 2011(03): 31~43.
- [3] Roberts A M, Yeilding 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.
- [4] Zanella E, Coward M P. Structural framework[M]// Evans D, Graham C, Armour A, et al. The Millennium Atlas: Petroleum Geology of the Central and Northern North Sea. London: Geological Society of London, 2003: 45-59.
- [5] Faerseth R B. Interaction of Permo-Triassic and Jurassic extensional fault-blocks during the development of the northern North Sea[J]. Journal of the Geological Society of London, 1996, 153: 931-944.
- [6] Thomas D W, Coward M P. Mesozoic regional tectonics and South Viking Graben formation: evidence for localised thin-skinned detachments during rift development an inversion[J]. Marine and Petroleum Geology, 1996, 13: 149-177.
- [7] Thomas D W, Coward M P. Late Jurassic-Early Cretaceous inversion of the northern East Shetland basin, northern North Sea[M]// Buchanan J G, Buchanan P G. Basin Inversion. Special Publication of the Geological Society of London, No. 88, London: The Geological Society, 1995: 275-306.
- [8] Armour A, Barhurst P, Evans D, et al. The Millennium Atlas: Petroleum Geology of the Central and Northern North Sea[M]. London: Geological Society, 2004.
- [9] 陆克政, 朱筱敏, 漆家福. 含油气盆地分析[M]. 东营: 石油大学出版社, 2003: 73-91.

STRUCTURAL FEATURES AND EVOLUTION OF VIKING GRABEN IN THE NORTH SEA

YANG Chuansheng, LI Gang, LI Qing

(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: The Viking Graben is a classic Mesozoic rift basin with typical tectonic features and evolutionary history in the North Sea Basin. Using the data from IHS, USGS, we studied the basement, faults, traps and other geological features of the basin as well as the rifting history during Triassic and the period from Late Jurassic to Early Cretaceous. Traps formed by the rifting-caused tilted fault block, and the traps formed by inversion structure and compaction-drape strongly affect the formation and distribution of hydrocarbon. According to the tectonic evolution and sedimentation history, the basin has passed 5 phases of evolution: (1) pre-rift phase; (2) phase I of rifting; (3) phase I of the thermal subsidence; (4) phase II of the rifting; and (5) phase II of the thermal subsidence.

Key words: North Sea Basin; Viking Graben; rifting; traps; tectonic evolution