

文章编号:1009-2722(2011)12-0048-07

北海维京地堑侏罗纪构造沉积演化

孙 晶,杨金玉,杨传胜

(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: 维京地堑侏罗系是主要的生油岩,浅海相砂岩及深水海底扇砂岩是主要的储层,因此,研究其构造沉积演化具有重要意义。从北海维京地堑侏罗纪时期的构造演化入手,研究了构造对于沉积的控制。研究发现,研究区侏罗纪经历了 2 期构造演化阶段,分别为早—中侏罗世时期的热沉降阶段和晚侏罗世的地壳伸展阶段。热沉降阶段早期发育海相沉积至中侏罗世时期,海相沉积环境逐渐演变为陆相三角洲相沉积体系。地壳伸展阶段发育深水海底扇沉积。根据以上认识,最终建立了 2 种北海维京地堑侏罗纪构造沉积模型。

关键词: 侏罗纪;构造沉积演化;维京地堑;北海

中图分类号: P736.21

文献标志码: A

1 区域地质概况

1.1 研究区地质背景

北海盆地是一个克拉通内盆地,位于大不列颠群岛、欧洲大陆和斯堪的纳维亚半岛之间,为大西洋东北部的边缘海,海域面积约为 57.5 万 km^2 ^[1]。盆地的基底主要为志留系和更老的变质岩,形成于志留纪末期的加里东造山运动。一些变质岩的露头组成了盆地的北部边界,它们出露于北爱尔兰、苏格兰高地、设得兰群岛和波罗的地盾。北海北邻挪威海,西北以设得兰群岛为界,南至伦敦布拉班特隆起,东面以波罗的地盾为界。盆地北部基底为加里东褶皱、南部是海西褶皱带前缘^[2]。

按地理坐标来说,其南界位于 56°N 附近,北界位于 52°N ,东西边界介于 0° 经线两端,东

界位于 7°E 附近,西界位于 3°W 。在地质构造上,整个北海盆地以中北海隆起(Mid North Sea High)和林克宾—芬隆起(Ringkøbing—Fyn High)为界,将其划分为北北海盆地与南北海盆地。北海盆地内构造相对复杂,包括一系列的地堑系统与台地及盆地结构,主要有东设得兰台地、维京地堑、中央地堑、默里福斯盆地、霍达地台等(图1);南北海盆地



图 1 维京地堑位置

Fig. 1 Location map of Viking Graben

收稿日期:2011-10-31

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:孙 晶(1981—),男,助理研究员,主要从事沉积学及油气地质学方面的研究工作。E-mail:sunjing603@163.com

主要包括英荷盆地、西北德国盆地等。

维京地堑是一个南北向的中生代裂谷盆地,跨立于北部北海挪威与英国疆界,东设德兰台地位于地堑以西,发育巨厚的三叠系—白垩系沉积序列。维京地堑在 Beryl 湾处增宽至 50 km,并最终在东设得兰盆地张开,该区发现大量的油气。自东设得兰盆地向东进入霍达地台,该地台特征类似于东设得兰盆地,同样是重要的油气聚集场所^[3]。

1.2 研究区侏罗纪地层发育情况

侏罗系是北海盆地最重要的地层单元系统,侏罗系的划分与命名一般采用 Deegan 和 Scull 对北海中部和北部侏罗系的总结报告^[4]。晚侏罗世基末利阶黏土岩组(Kimmeridge Clay Forma-

tion)中高放射性、富含有机质的海相页岩是区域性的主要生油岩组之一,在北海盆地分布很广。侏罗纪地层绝大部分发育于断陷盆地中,这些断陷盆地和二叠纪开始活动的复杂地堑系统的演化有关。侏罗纪是断层的活动时期。断裂控制着差异沉降与沉积作用,对地层的厚度和岩相有明显影响,在晚侏罗世尤其明显。除了构造作用(断裂作用)外,影响侏罗纪沉积作用和地层的另一个重要因素是海平面的变动。侏罗纪的特点是海平面直至基末利期都是全面的上升。

侏罗系由下向上分为下侏罗统、中侏罗统和上侏罗统(图 2):

下侏罗统 包括 Statfjord 群和 Dunlin 群。Statfjord 群时代从晚三叠世瑞替阶(Rhaetina)至

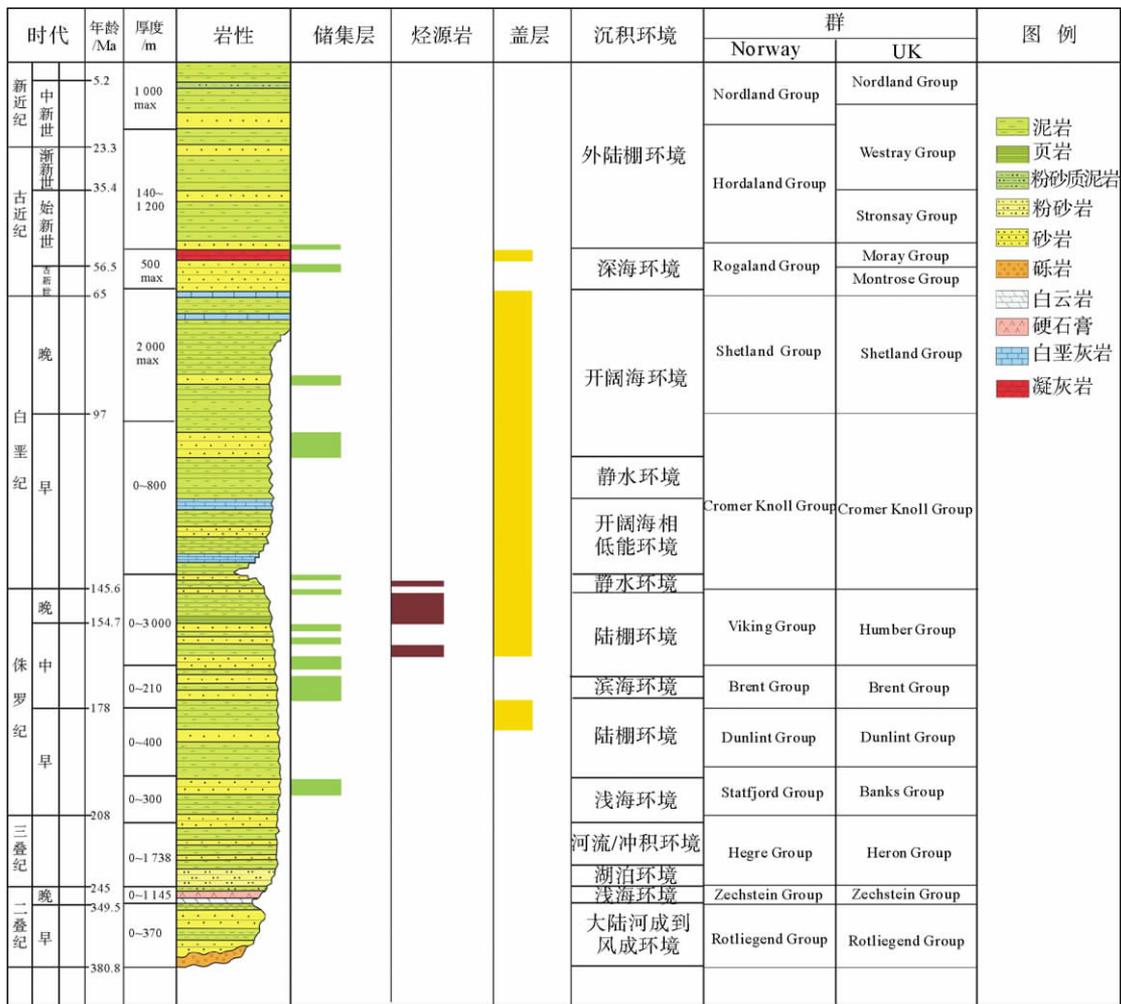


图 2 维京地堑地层综合柱状图

Fig. 2 Integrated stratigraphic column of Viking Graben

早侏罗世,岩性以砂岩为主。Dunlin 群几乎全部是海相碎屑岩沉积。整个下侏罗统岩性主要包括灰色或黑色泥、页岩,夹有薄层灰色砂层。主要由广泛海进沉积的泥岩组成,分布范围较小,北海中部区域隆起和中侏罗世时被广泛剥蚀有关。下侏罗统与下伏三叠系呈整合接触,与上覆中侏罗统一般呈不整合接触,但在不同地区不整合的强度是有所不同的。

中侏罗统 主要是 Brent 群,是一个三角洲相沉积旋回,代表一个主要海退期。岩性以砂岩为主,夹有泥、页岩和煤层。通常与下伏地层(Dunlin 群)呈假整合接触,而与上覆地层(Humber 群)的接触关系较复杂,这是因为中侏罗世以后的构造活动和剥蚀作用较强。沉积环境表现为由陆相过渡到滨海。中侏罗统在维京地堑的北部厚度约为 300 m。

上侏罗统 主要是 Humber 群,包括海相黑色泥岩、黏土岩、富含有机质的页岩以及局部分布的砂岩夹层。本群的顶界在大多数地区表现为与上覆地层不整合。上侏罗统沉积稳定,岩相侧向变化不大,纵向没有明显的地层间断。

2 维京地堑侏罗系演化分析

2.1 下侏罗统演化分析

早侏罗世时期,北海区域内的火山活动保持在较低水平,维京地堑受到热沉降作用的控制,北极洋和特提斯洋通过维京地堑及霍达盆地相连(图 3),从而形成了下侏罗统开阔海相页岩的沉积。下侏罗统广泛分布于整个维京地堑,而在南部地区,由于缺少以下侏罗统为研究目标的探井,所以分布情况尚不明确。

最老的侏罗系地层是沉积在东设得兰盆地的 Statfjord 组砂岩,该地层在 Statfjord 油田记录为由非海相向边缘海相沉积环境的过渡。自下而上由泛滥平原、曲流河、辫状河以及顶部的滨海平原沉积所组成。

Statfjord 组地层主要沿着维京地堑北部中心发育,并向西超覆于东设得兰台地边缘,之上覆盖着大量残余的下侏罗统海相页岩,之间发育有若干薄砂层,形成了一套储层单元^[5,6]。

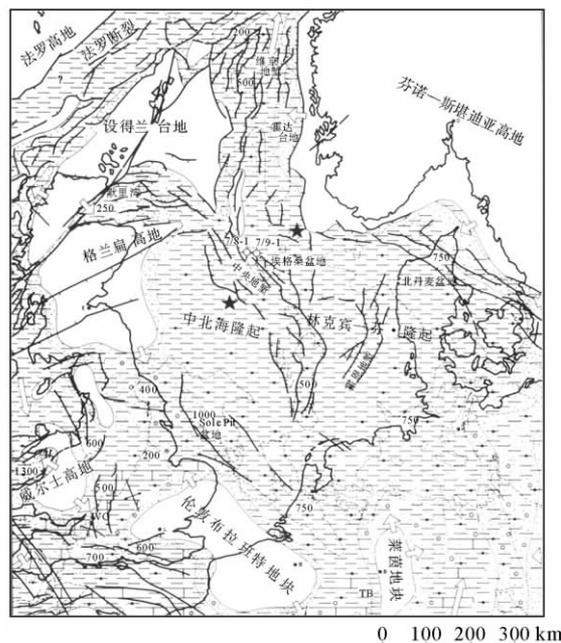


图 3 早侏罗世辛涅缪尔—土阿辛期古地貌(据文献[7])
Fig. 3 Lower Jurassic Sinemurian-Toarcian palaeogeography map (from reference [7])

2.2 中侏罗统演化分析

中侏罗世时期,盆地仍然受到热沉降作用的控制,表现为中北海区域的抬升,形成被中央地堑横切的广阔穹窿。这一断裂穹窿的形成,终止了北极洋与特提斯洋的连接^[8](图 4),使得早侏罗世时期的海相沉积环境过渡为中侏罗世时期的陆相沉积环境。伴随着此穹窿的抬升,位于维京、中央和默里福斯盆地三者接触区域发育大量火山群,表现为在维京地堑最南端,中侏罗统地层中含有火山碎屑物质。

抬升导致的剥蚀作用在邻近拗陷盆地内,产生了大量砂岩,如维京地堑内的 Brent 群砂岩^[9](图 5)。Brent 群砂岩厚度达到了 300~400 m,为维京地堑北部优质储集层。

对于 Brent 群的沉积模式和古地理格局存在不同意见。比较统一的认识是,Eynon^[10]认为中侏罗世三角洲前积体向北沉积,至维京地堑的最北端过渡为海相泥岩。Morton^[11]对 Brent 群砂岩物源的研究表明,物源极有可能来自于维京地堑西部和东部的基岩。Richards 等^[12]建立了维京地堑中侏罗世古地理,认为北海中部中侏罗世

隆起区在沉积物物源供给和对水系的控制作用不是很重要。

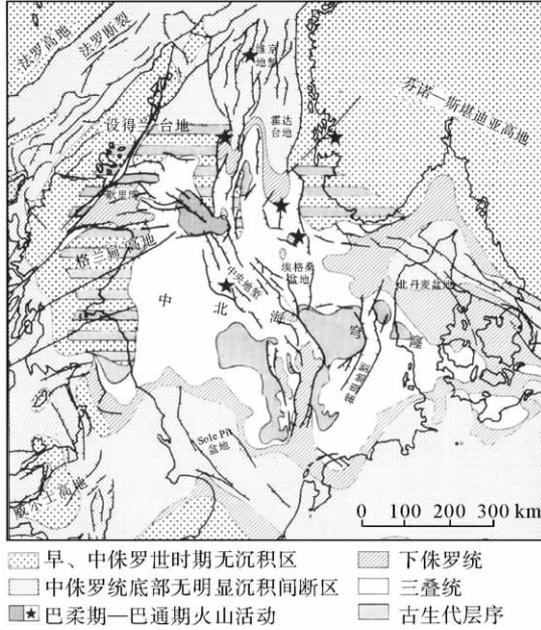


图 4 中侏罗世早期古地貌(据文献[7])

Fig. 4 Early Middle Jurassic palaeogeography map (from reference [7])

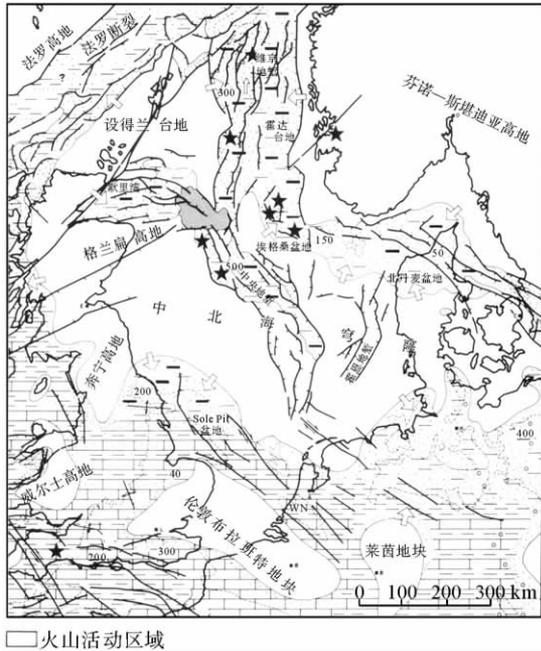


图 5 中侏罗世巴柔—巴通期古地貌(据文献[7])

Fig. 5 Middle Jurassic Bajocian-Bathonian palaeogeography map (from reference [7])

在巴通期,维京地堑沉降速率加大,同时由于相对海平面的上升,导致了维京地堑南部 Brent-Pentland 三角洲的发育。卡洛夫期(Calloviaian)到牛津期(Oxfordian),北海中部穹窿区域持续沉降,表现为维京地堑南部、中央地堑与霍达—埃格桑北丹麦盆地发生海侵。

总的来说,中侏罗统是以砂岩为主的三角洲沉积序列,其上覆盖着上侏罗统海相页岩。

2.3 上侏罗统演化分析

晚侏罗世时期,北海裂谷系部位的地壳伸展速率明显加快,断裂大量发育,此时的构造活动多集中于维京和中央地堑以及默里湾—Witch Ground 地堑系处。局部右旋会聚走滑变形,表明在晚侏罗世到早白垩世时期,北海区域地壳的拉伸不是纯正交方向。

牛津期到基末利期,维京和中央地堑以及默里福斯盆地均为深水沉积环境(图 6)。到晚基末利期,中北海隆起发生一定的下沉,北海中部区域与英格兰南部之间形成了开阔海的沉积环境。整个维京地堑上侏罗统,包括东设得兰盆地上侏罗统,主要由海相页岩组成,局部发育一套重要的粗碎屑层序,该套层序主要发育在沿西缘受断层

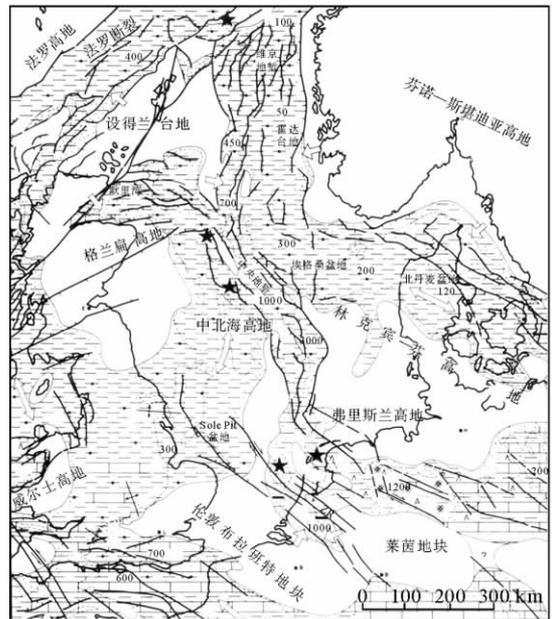


图 6 晚侏罗世基末利—提塘期古地貌(据文献[7])

Fig. 6 Upper Jurassic Kimmeridgian-Tithonian palaeogeography map (from reference [7])

控制的重力流沉积。

基末利期开始,在北海中部与北部区域范围内,广泛沉积富有机质、高放射性的基末利阶页岩层,它们的厚度与有机质丰度变化较大。这些深水泥页岩为聚集于北海中部与北部烃类主要的源岩。

卡洛夫期到牛津期,尤其是在牛津期和基末利期,来自于抬升区域的碎屑物质向东堆积于维京地堑南部,形成扇体。法罗—罗卡尔北部穹窿,在基末利期迅速形成。与此同时,在法罗海槽、维京地堑和中挪威裂谷带三者接触区域同样发生了隆起(图6)。Nordfjord山脊和Tampen突起北部抬升,使得Brent和Statfjord组砂岩及三叠系层序遭受剥蚀,剥蚀的产物向南堆积于维京地堑区域,同样沉积形成扇体。

对于这些扇体的沉积模型有2种认识。一种是Harms等^[13]主张的1个扇三角洲模型的观点,由于受到河流作用,粗粒沉积物堆积在扇体表面,边缘细粒互层沉积属于海相沉积;另一种是Stow等^[14]海底扇型模型的观点。相比之下,后者更受认可。二者不同点在于,扇三角洲模型在三角洲的滨线处发生突然的相变,而水下扇沉积环境所特有的重力流作用具有搬运粗粒物质的能力,从而在远端形成了泥岩朵体,虽然不发生突然的相变,但是也缺乏良好的储层。Turner等^[15]证实了海底扇假说,认为细粒沉积体的形成是由于只有少量碎屑物质供给。粗粒物质沉积在大型海底河道和扇缘带,细粒物质沉积在河道间,同时其他未受到控制的区域,沉积物在水平上呈席状分布。

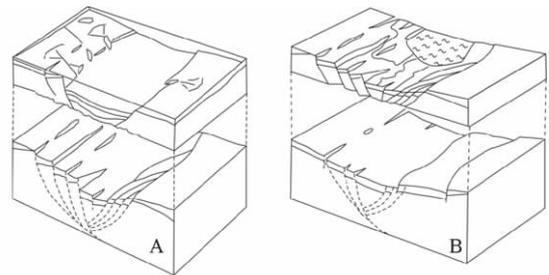
3 维京地堑侏罗纪构造沉积演化模式

通过上面对维京地堑侏罗系演化分析可以看出,整个侏罗纪经历了2期构造作用,即早侏罗世—中侏罗世的热沉降阶段和晚侏罗世的地壳伸展阶段(裂谷发育阶段)。

早侏罗世早期,延续了三叠世时期的构造格局,盆地受到热沉降作用的影响,整个维京地堑处于海相沉积环境。早侏罗世后期—中侏罗世,由于中部断裂穹窿的形成,终止了北极洋与

特提斯洋的连接,海相沉积环境逐渐演变为陆相沉积环境,并在维京地堑南端发育火山沉积。晚侏罗世时期,地壳伸展作用增强,发育了大量的裂谷,沉积物沿着裂谷分布,并在深水沉积环境中发育海底扇。

考虑到维京地堑侏罗纪构造发育阶段不同,建立2种不同构造沉积模型,即热沉降模型和地壳伸展模型,分别对应于早—中侏罗世和晚侏罗世(图7)。



A 早—中侏罗世的热沉降模型 B 晚侏罗世的地壳伸展模型

图7 维京地堑侏罗纪构造沉积演化模型

Fig. 7 Tectonic-sedimentary evolution model of the Jurassic in Viking Graben (A. thermal subsidence model of Lower-Middle Jurassic; B. active stretching model of Upper Jurassic)

3.1 热沉降模型

在热沉降阶段,沉积物沿着斜坡向盆地内供给,地堑的坡度在区域范围内增大,这将大大增强沉积物的沉积作用(图7a)。在海相沉积环境中,由于水体较深,往往形成大段的海相泥岩,有少量砂岩夹层发育。

在陆相沉积环境中,当处于快速沉降阶段时,以横向砂体输导系统为主。沿着盆地边缘,大片砂体往往会形成孤立的三角洲砂体。而当处于慢速沉降阶段,特别是当沉积物供给充足时,横向砂体输导系统往往合并形成轴向砂体输导系统,表现为三角洲砂体的互相叠置。反过来,这将会使砂体的分布范围更加广泛。

3.2 地壳伸展模型

在地壳伸展阶段,上地壳变薄,产生低角度正断层,并产生了平行于地堑边缘的裂谷(图7b)。沿着裂谷发育重力流沉积,重力流可以将沉积物搬运到较远的距离,形成海底扇体沉积。由于裂

谷的发育,破坏了横向物源体系。随着伸展作用的加强,至地壳伸展阶段后期,如果海平面的上升速度超过了沉积物的供给速率,海平面将处于一个很高的位置。

4 结论

(1) 维京地堑侏罗纪构造演化经历了 2 期,即继承了自中三叠世起的早—中侏罗世热沉降阶段;自晚侏罗世起,地壳伸展作用逐渐加强,盆地处于裂谷阶段。

(2) 受构造活动的影响,维京地堑侏罗纪时期的沉积格局表现不同:早侏罗世时期,盆地处于裂谷后的热沉降阶段,且由于北极洋与特提斯洋相连接,故以海相沉积环境为主,表现为 Statfjord 组自下而上发育泛滥平原、曲流河、辫状河,以及顶部的滨海平原沉积;中侏罗世时期,盆地仍然处于热沉降阶段,此时由于北海中部产生隆起,终止了北极洋与特提斯洋的连接,故海相沉积环境过渡为陆相沉积环境,表现为以砂岩为主的三角洲沉积序列;晚侏罗世时期,构造方式发生转变,热沉降阶段过渡为地壳伸展(裂谷发育)阶段,断裂大量发育,海侵作用增强,沿着深水断层发育海底扇沉积。

(3) 建立了 2 种北海维京地堑侏罗纪构造沉积模型,即热沉降模型和地壳伸展(裂谷)模型。

参考文献:

- [1] 刘 政,何登发,童晓光,等. 北海盆地大油气田形成条件及分布特征[J]. 中国石油勘探, 2011(3): 31-43.
- [2] 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.
- [3] 曹守连. 北海盆地北部的构造[J]. 地质科学译丛, 1996, 13(3): 18-23.
- [4] Deegan, C E, Scull B J. A proposed standard lithostratigraphic nomenclature for the central and northern North Sea[R]. Rep. Inst. Geol. Sci., No. 77/25, 1977.
- [5] Hazeu G J A. 34/10 Delta structure, geological evaluation and appraisal [C]//Norwegian Symposium on Exploration. Norwegian Petroleum Society, 1981, 13: 1-36.
- [6] Eriksen T, Hello M, Hendon J, et al. Giffaks[M]//Spencer A M. Geology of the Norwegian Oil and Gas Field. London:Graham & Trotman,1987:273-286.
- [7] Blundell D J, Gibbs A D. Tectonic Evolution of the North Sea Rifts[M]. Oxford: Clarendon Press, 1990.
- [8] Ziegler P A. Faulting and graben formation in western and central Europe[J]. Phil. Trans. Roy. Soc. London A 305, 1982:113-143.
- [9] Graue E, Holland-Hansen W, Johnson L, et al. Advance and retreat of Brent Delta system, Norwegian North Sea [M] // Brooks J, Glennie K W. Petroleum Geology of North West Europe. London: Graham & Trotman, 1987: 915-938.
- [10] Eynon G. Basin development and sedimentation in the Middle Jurassic of the northern North Sea[M]// Illing L V, Hobson G D. Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe. Institute of Petroleum, Heyden, London, 1981: 196-204.
- [11] Morton A C. A new approach to provenance studies: electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea[J]. Sedimentology, 1985, 32: 553-566.
- [12] Richards P C, Brown S, Dean J M, et al. A new palaeogeographic reconstruction for the Middle Jurassic of the northern North Sea[J]. J. Geol. Soc. London, 1988, 145: 883-886.
- [13] Harms J C, Tackenberg P, Pickles E, et al. The Brae oil field area[M]//Illing L V, Hobson G D. Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe. Institute of Petroleum, Heyden, London, 1981: 352-357.
- [14] Stow D A V, Bishop C D, Mills S J. Sedimentology of the Brae oil field, North Sea: fan models and controls[J]. J. Petrol. Geol. 1982, 5: 129-148.
- [15] Turner C C, Cohen J M, Connell E R, et al. A depositional model for the South Brae Oilfield [M] // Brooks J, Glennie K W. Petroleum Geology of North West Europe. London: Graham & Trotman, 1987: 852-864.

TECTONIC-SEDIMENTARY EVOLUTION OF JURASSIC IN VIKING GRABEN, THE NORTH SEA

SUN Jing, YANG Jinyu, YANG Chuansheng

(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 Jurassic contains the major source rock in the Viking Graben, with shallow-marine sandstones and deep-water submarine-fan sandstones as main reservoirs. Careful study of tectonic-sedimentary evolution is the key to oil and gas exploration. The Jurassic in the Viking Graben could be divided to two phases: Early-Middle Jurassic thermal subsidence and Late Jurassic active stretching phases. In the early stage of the thermal subsidence phase, marine depositional environments prevailed. But in the Middle Jurassic stage it is dominated by a non-marine delta depositional system. In the phase of active stretching, there formed a deep-water submarine-fan system. Based on the facts mentioned above, two tectonic-sedimentary models were established for the Jurassic in Viking Graben of the North Sea.

Key words: Jurassic; tectonic-sedimentary evolution; Viking Graben; North Sea