

# 东格陵兰陆架油气地质特征及勘探潜力

冯杨伟<sup>1,2</sup>, 杨晨艺<sup>2</sup>, 屈红军<sup>2</sup>, 张功成<sup>3</sup>, 关利群<sup>4</sup>, 范玉海<sup>5</sup>

(1 中国煤炭地质总局煤航地质勘查院, 西安 710054; 2 西北大学地质学系/大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069;

3 中海油研究总院, 北京 100027; 4 大庆油田有限责任公司, 大庆 163000;

5 中国煤炭地质总局煤航遥感应用研究院, 西安 100054)

**摘要:**东格陵兰陆架深水盆地群是目前深水油气勘探的热点地区之一, 但勘探程度还很低。以收集到的东格陵兰陆架的最新地质基础资料和油气田资料为依据研究发现, 研究区主力烃源岩为上侏罗统 Hareelv 组海相页岩和下侏罗统 Kap Stewart 组三角洲相泥页岩, 主力储层为中侏罗统浅海相砂岩和白垩系深海浊积砂岩, 发育陆生海储海盖型和海生海储海盖型两大类生储盖组合, 圈闭主要为伸展构造圈闭、地垒断块圈闭、盐构造圈闭以及地层圈闭等。东格陵兰陆架油气成藏条件优越, 资源潜力巨大, 储量约为 323.4 亿桶油当量, 待发现油气田约 300 个。

**关键词:**油气地质; 深水区; 富烃凹陷; 主控因素; 勘探潜力; 东格陵兰陆架

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

深水油气是当今世界海洋油气新的增长点<sup>[1]</sup>, 当今世界深水油气勘探与开发主要集中在墨西哥湾<sup>[2]</sup>、非洲西部海岸陆架区<sup>[3]</sup>、巴西东部陆架<sup>[4]</sup>、澳大利亚西北大陆架<sup>[5-8]</sup>、北大西洋沿岸陆架<sup>[9]</sup>、东南亚沿岸陆架<sup>[10]</sup>等区域, 北大西洋沿岸的东格陵兰陆架深水盆地群是目前深水油气勘探的热点地区之一, 在近年的深水油气勘探中备受关注。据美国地质调查局 2007 年对东格陵兰陆架的油气潜力评估显示, 东格陵兰陆架被动大陆边缘盆地油气储量约为 323.4 亿桶油当量, 其中原油 89.0 亿桶, 天然气 24 406.176 亿 m<sup>3</sup>, 液化天然气 81.2 亿桶<sup>[11]</sup>。虽然盆地油气勘探取得了一定成绩, 但是整体而言, 研究区的勘探程度还很低。本文以收集到的东格陵兰陆架的最新地质基础资料和油气田资料为依据, 综合运用石油地质

分析方法, 分析探讨盆地油气地质条件, 揭示其潜在增长区带, 为相关公司介入本区的油气勘探提供一定依据。

## 1 地质背景

格陵兰岛地处北美洲东北部, 东临北大西洋, 东北接北极洋, 位于 60°~80°N 之间, 东部海岸线比较长, 长度 > 1 000 km, 面积约为 30 万 km<sup>2</sup>。东格陵兰陆架共有 7 个构造单元, 部分位于深水区, 分别为: 北 Danmakshavn 盐盆、南 Danmarkshavn 盆地、Jameson Land 盆地、Jameson Land 盆地次火山区、Thetis 盆地、Greenland 东北部火山区及 Liverpool Land 盆地。盆地在中泥盆世—早二叠世时期沉积了 13 km 的陆源碎屑沉积物<sup>[2]</sup>; 在其后的古生代和中生代区域沉降时期, 盆地中沉积了约 4 km 的沉积物; 古新世早期, 北大西洋分裂, 盆地中堆积了厚层的火山岩, 随后整个地区发生抬升和剥蚀<sup>[12-15]</sup>。

收稿日期: 2012-11-14

基金项目: 国家科技重大专项 (2008ZX05025-006); 国家重大基础研究发展规划 (973) 项目 (2009CB219408)

作者简介: 冯杨伟 (1987—), 男, 工程师, 在读博士, 主要从事沉积学与成藏地质学研究。E-mail: 2005130009@163.com

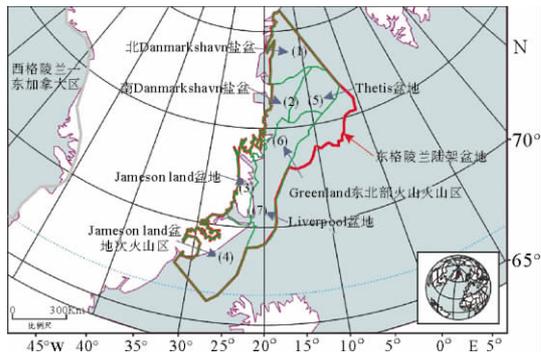


图1 东格陵兰陆架构造单元划分(据文献[11])

Fig.1 Geotectonic map of the East Greenland margin (from reference [11])

格陵兰岛东部陆架的构造演化主要受控于北大西洋的裂开。构造演化划分为早三叠世印度期(250 Ma)以前的前裂谷期、早三叠世印度期直到古近纪古新世的裂谷期和从始新世伊普里斯期(53.4 Ma)至今的漂移期3个阶段。沉积充填序列跟演化阶段相对应,前裂谷期沉积充填是在加里东变质岩基底上沉积的泥盆系、石炭系及二叠系的蒸发岩、老红砂岩、陆缘砂砾岩及少量碳酸盐岩沉积;裂谷期沉积充填层序包括三叠系、侏罗系、白垩系及古近系古新统的砂岩、泥页岩、少量碳酸盐岩和部分浊积砂岩;大陆漂移期沉积充填序列包括始新统至现今的沉积地层,主要为陆缘碎屑沉积的砂泥岩、页岩及其部分地区的浊积砂岩<sup>[16,17]</sup>。

## 2 油气地质特征

### 2.1 烃源岩

东格陵兰陆架至少发育4套烃源岩:裂谷期上侏罗统 Hareelv 组与 Fossilbjerg 组页岩和下侏罗统 Kap Stewart 组三角洲相泥页岩,前裂谷期的上二叠统 Ravenfjeld 组和上石炭统 Lacustrine 页岩。主要烃源岩为裂谷期上侏罗统 Hareelv 组页岩和下侏罗统 Kap Stewart 组三角洲相泥页岩<sup>[11,15,18,19]</sup>。

上侏罗统海相页岩是北大西洋地区的主力烃源岩,格陵兰东部的上侏罗统 Hareelv 组相当于北海盆地的 Draupne 组和挪威地区的 Spekk 组。

Spekk 组是一套含高放射性物质的泥岩页岩,总有机碳(TOC)含量为5%~8%,氢指数(HI)为800 mgHCs/gTOC,干酪根类型为II和III型<sup>[20]</sup>,是一套富油的烃源岩<sup>[21]</sup>(图2)。Fossilbjerg 组地层相当于北海盆地的 Heather 组和挪威的 Melke 组地层, Melke 组等同于北海地区的 Heather 组,富含有机质,TOC为1%~4%<sup>[22]</sup>。Hareelv 组和 Fossilbjerg 组为一套海相页岩沉积,其中, Hareelv 组夹深水浊积砂岩, Fossilbjerg 组夹浅海砂岩。

下侏罗统三角洲平原相泥页岩及煤层沉积也是北大西洋区域比较重要的烃源岩,格陵兰东部陆架地区沉积的 Kap Stewart 组相当于挪威地区的 Åre 组,干酪根类型为III和IV型,生烃能力为 $(10\sim 25)\times 10^6\text{ m}^3/\text{km}^2$ 的油和凝析油,并生成至少同等数量的气<sup>[21]</sup>。

### 2.2 储集层

格陵兰东部陆架地区主要的储层为中侏罗统浅海相砂岩和白垩系深海浊积砂岩,次要储层为上二叠统下部碳酸盐岩储层及下侏罗统 Kap Stewart 组和 Neill Klintner 组三角洲平原相砂岩。中侏罗统浅海相砂岩主要为 Vardekloft 组的 Pelion 段和 Olympen 段砂岩,其中 Pelion 段地层相当于北海地区的布伦特群和挪威的 Gam 组, Gam 组的砂岩孔隙度约为22%,渗透率较好,埋深约为4.7 km,是已证实的良好储层。下侏罗统 Kap Stewart 组三角洲平原相砂岩相当于北海盆地的斯塔福约德组砂岩和挪威 Båt 组砂岩<sup>[11,15,18]</sup>。

### 2.3 生储盖组合

格陵兰东部陆架地区长时间处于海相环境,海相泥页岩沉积作为盖层分布较好。依据沉积环境,格陵兰东部陆架生储盖组合划分为陆生海储海盖型和海生海储海盖型2种(图2)。

#### (1) 陆生海储海盖型生储盖组合

格陵兰东部陆架前裂谷期生储盖组合中,生油岩为上石炭统 Lacustrine 组页岩和上二叠统 Ravenfjeld 组页岩,储层为上二叠统碳酸盐岩,上覆的页岩地层为盖层。

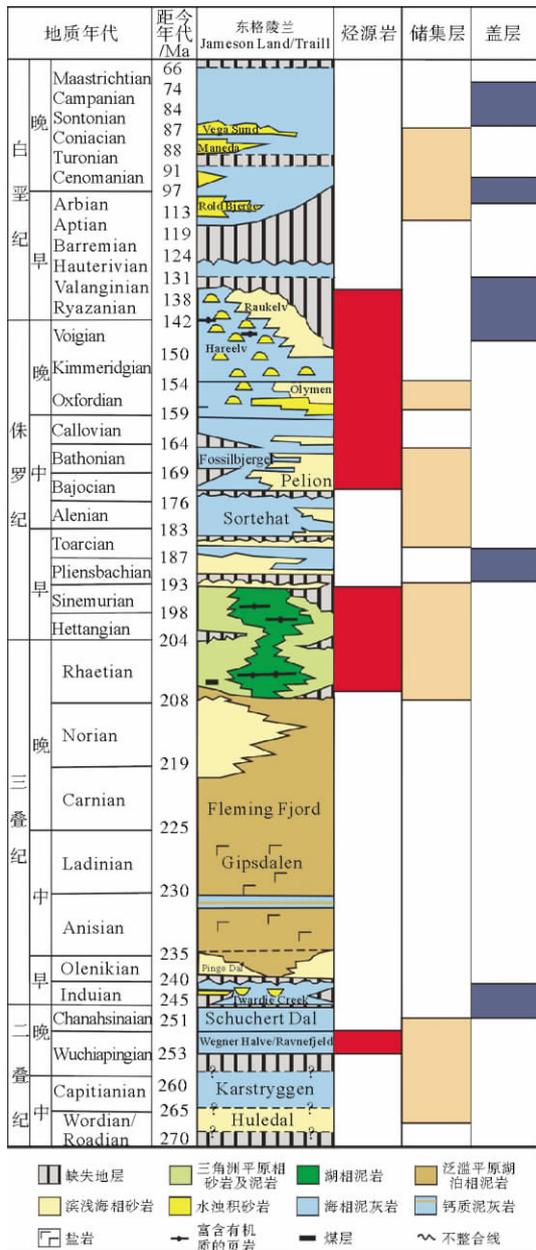


图 2 东格陵兰陆架主要生储盖组合(据文献[19])

Fig. 2 Source rock-reservoir-seal assemblage in the East Greenland margin(from reference [19])

(2)海生海储海盖型生储盖组合

包括 3 套生储盖组合:①为上生下储型,生油岩为上侏罗统 Hareely 组和 Fossilbjerg 组海相泥页岩。储层为中侏罗统浅海砂岩,盖层为上侏罗统海相泥页岩;②为下生上储型,生油岩为上侏罗统 Hareely 组和 Fossilbjerg 海相泥页岩,储层为白垩系海相浊积砂岩,盖层是其间的泥页岩沉

积;③自生自储和下生上储型,生油岩为下侏罗统 Kap Stewart 组三角洲相泥页岩,储层为下侏罗统 Kap Stewart 组和 Neill Klintner 组三角洲平原相砂岩及中侏罗统 Vardekløft 组的 Pelion 段和 Olympen 段浅海相砂岩,盖层为上侏罗统海相泥页岩。

2.4 圈闭

晚二叠世到三叠世,格陵兰岛与斯堪的纳维亚半岛开始发生裂谷作用,在这样的拉伸背景下,格陵兰东部陆架存在大量的拉伸构造,有利于形成拉伸构造圈闭和地垒断块构造圈闭。北部 Danmarkshavn 盐盆可能发育与盐构造相关的构造圈闭;在深海浊积扇发育的地区发育地层圈闭<sup>[15,18,23,24]</sup>。

3 勘探潜力

东格陵兰陆架具有丰富的油气资源,但是由于目前海洋深水油气勘探技术的局限性和其特殊的地理环境,该区域勘探程度极低。美国地质调查局在其 2000 年对格陵兰东部陆架进行的油气潜力评估和后期丹麦格陵兰地质调查局对格陵兰东部地区研究的基础上,于 2007 年对格陵兰东部陆架重新进行油气潜力评估。在评估过程中,将格陵兰东部陆架划分为北 Danmarkshavn 盐盆、南 Danmarkshavn 盆地、Jameson Land 盆地、Jameson Land 盆地次火山区、Thetis 盆地、Greenland 东北部火山区和 Liverpool Land 盆地共 7 个构造单元,其中除了 Jameson Land 盆地和 Jameson Land 盆地次火山区没有进行定量评估外,其他盆地的油气资源都已经进行了定量的评估。预测数据显示,格陵兰东部被动大陆边缘盆地油气储量约为  $32\ 340 \times 10^6$  桶,折合重量约为  $44.85 \times 10^8$  t<sup>[11,25,26]</sup>(表 1)。

截至目前,东格陵兰陆架区域没有一口油气勘探钻井,但其油气成藏条件优越,裂谷期厌氧还原环境发育的侏罗系优质三角洲相—海相泥页岩烃源岩和侏罗系三角洲相—浅海相砂岩及其上覆泥页岩有机组合形成良好的生储盖组合,裂谷期构造活动强烈且处于拉张环境导致发育一系列正断层,伴生地垒圈闭、断块圈闭、滚动背斜圈闭以

表 1 东格陵兰陆架油气评估结果(据文献[11])

Table 1 The result of hydrocarbon assessment in the East Greenland margin (from reference [11])

油气系统总量(TPS) 及评估单元(AU)	AU 概率	油气 类型	未 勘 探 能 源 总 量											
			石油/ $\times 10^8$ 桶				天然气/ $\times 10^6$ ft <sup>3</sup>				凝析油/ $\times 10^8$ 桶			
			F95	F50	F5	平均值	F95	F50	F5	平均值	F95	F50	F5	平均值
北Danmarkshavn 盐盆	0.65	油 气	0	1 989	11 793	3 274	0	3 827	26 779	7 255	0	264	2 123	570
			0	23 820	107 409	32 756	0	2 284	10 730	3 237				
南Danmarkshavn 盐盆	0.72	油 气	0	3 228	13 996	4 384	0	6 325	32 081	9 700	0	449	2 603	761
			0	19 344	83 621	26 251	0	1 844	8 362	2 598				
格陵兰东北部火山区	0.26	油 气	0	0	2 757	497	0	0	6 212	1 105	0	0	492	87
			0	0	16 551	3 003	0	0	1 651	297				
Thetis 盆地	0.49	油 气	0	0	2 095	537	0	0	4 908	1 184	0	0	397	93
			0	0	12 489	3 206	0	0	1 251	317				
Liverpool Land 盆地	0.29	油 气	0	0	1 122	209	0	0	2 528	464	0	0	200	37
			0	0	6 740	1 255	0	0	672	124				
Jameson Land 盆地	0.07	油 气	未定量评估											
Jameson Land 盆地 亚火山伸展区	0.04	油 气	未定量评估											
常规能源总数			8 901				86 179				8 121			

及断背斜圈闭等,油气从烃源灶区生成后在超压和自身浮力作用下初次运移进入储集层,然后主要沿着断层和不整合面向圈闭中运移富集成藏。在跟东格陵兰陆架构造位置相对应且经历相同构造演化阶段的挪威中部陆架区,目前已经在裂谷期沉积充填层中发现了诸如 Ormen Lange 气田<sup>[27]</sup>、Smørbukk 油气田<sup>[28]</sup>、Tyrihans 油田<sup>[29]</sup>等,因此,随着油气勘探的逐步展开,东格陵兰陆架区必将有重大油气发现。目前,据 USGS 预计,东格陵兰陆架待发现的油田数量可以达到 250 个,其中最小的油田储量约为 20 百万桶,储量介于 32~64 百万桶的油田数目最多,预计超过 60 个;预计格陵兰东部陆架待发现的气田数量可以达到 50 个,最小的气田储量约为 1 200 亿 ft<sup>3</sup>,储量介于 1 920~3 840 亿 ft<sup>3</sup> 的气田数量最多,超过 14 个(图 3)。

#### 4 结 语

(1)东格陵兰陆架油气成藏条件优越,至少发育 4 套烃源岩,主要烃源岩为裂谷期厌氧还原环境下的上侏罗统 Hareelv 组海相页岩和下侏罗统 Kap Stewart 组三角洲相泥页岩,前裂谷期上二叠统 Ravenfjeld 组和上石炭统 Lacustrine 页岩为次要烃源岩。主要储层为中侏罗统浅海相砂岩和白垩系深海浊积砂岩,次要储层为下上二叠统

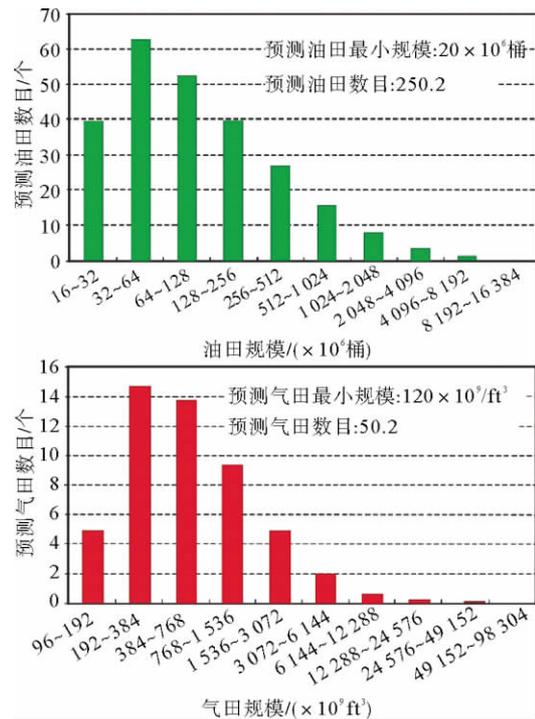


图 3 东格陵兰陆架预测的油田规模(上)和气田规模(下)分布(据文献[11])

Fig. 3 Scale distribution of oil fields (upper) and gas fields (below) in the East Greenland margin (from reference [11])

碳酸盐岩储层及中侏罗统 Kap Stewart 组和 Neill Klintner 组三角洲平原相砂岩。

(2)依据沉积环境,格陵兰东部陆架生储盖组

合划分为陆生海储海盖型和海生海储海盖型 2 种。主要发育拉伸构造圈闭和地垒断块构造圈闭,部分地区发育与盐构造相关的构造圈闭,深海浊积扇发育区发育地层圈闭。

(3)东格陵兰陆架油气勘探程度低,但是资源前景广阔,油气储量约为 31 400 百万桶油当量,约为 44.85 亿 t,待发现的油田数量可达 250 个,待发现的气田数量可达 50 个。随着海洋深水勘探技术的不断进步,在东格陵兰陆架区发现大一超大型油气田的前景光明。

#### 参考文献:

- [1] 张功成,米立军,屈红军,等.全球深水盆地群分布格局与油气特征[J].石油学报,2011,32(3):1-6.
- [2] Nixon L D, Shepard N K, Bohannon C M, et al. Deepwater Gulf of Mexico 2009: interim report of 2008 highlights, OCS report MMS 2009-016[EB/OL]. MMS, 2009[2012-09-28]. [http://gomr.boemre.gov/homepg/what\\_snew/publicat/gomr/recpub.html](http://gomr.boemre.gov/homepg/what_snew/publicat/gomr/recpub.html).
- [3] 冯杨伟,屈红军,张功成,等.西非被动大陆边缘构造—沉积演化及其对生储盖的控制作用[J].海相油气地质,2010,15(3):45-51.
- [4] Mello M R, Azambuja F, Bender A, et al. The super giant discoveries in the pre-salt hydrocarbon province of Santos Basin, Brazil [EB/OL]. Abstracts Volume of AAPG Annual Convention & Exhibition, 2009[2012-09-28]. <http://d.wanfangdata.com.cn/ExternalResourcesyytrqdz200905022%5e3.aspx>.
- [5] 冯杨伟,屈红军,张功成,等.澳大利亚西北陆架中生界生储盖组合特征[J].海洋地质动态,2010,26(6):16-23.
- [6] 冯杨伟,屈红军,杨晨艺.澳大利亚西北陆架油气成藏主控因素与勘探方向[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(6):2259-2268.
- [7] 冯杨伟,屈红军,张功成,等.澳大利亚西北陆架深水盆地油气地质特征[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(4):131-140.
- [8] 冯杨伟,屈红军,张功成,等.澳大利亚西北陆架深水盆地油气分布规律[J].地质科技情报,2011,30(6):99-104.
- [9] Anell I, Thybo H, Artemieva I M. Cenozoic uplift and subsidence in the North Atlantic region: Geological evidence revisited [J]. Tectonophysics, 2009, 474: 78-105.
- [10] 迟愚,梦祥龙,王福合.东南亚油气勘探开发形势及对外合作前景[J].国际石油经济,2008(11):50-56.
- [11] USGS. Assessment of undiscovered oil and gas resources of the East Greenland rift basins province[EB/OL]. 2007 [2012-10-09]. [http://pubs.usgs.gov/fs/2007/3077/pdf/FS07-3077\\_508.pdf](http://pubs.usgs.gov/fs/2007/3077/pdf/FS07-3077_508.pdf)
- [12] Dassing A, Stemmerik L, Dahl-Jensen T, et al. Segmentation of the eastern North Greenland oblique-shear margin—regional plate tectonic implications [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2010, 292: 239-253.
- [13] Lars S, Clausen O R, Korstgrd J, et al. Petroleum geological investigations in East Greenland: project Resources of the sedimentary basins of North and East Greenland [J]. Geology of Greenland Survey Bulletin, 1997, 176: 29-38.
- [14] Watt G R, Thrane K. Early Neoproterozoic events in East Greenland [J]. Precambrian Research, 2001, 110: 165-184.
- [15] Berger D, Jokat W. Sediment deposition in the northern basins of the North Atlantic and characteristic variations in shelf sedimentation along the East Greenland margin [J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26: 1321-1337.
- [16] Nttvedt A, Johannessen E P, Surlyk F. The Mesozoic of Western Scandinavia and East Greenland [J]. Episodes, 2008, 31(1): 59-65.
- [17] Stemmerik L. Late Palaeozoic evolution of the North Atlantic margin of Pangea [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2000, 161: 95-126.
- [18] Henry M E. Northeast Greenland shelf rift systems assessment unit 52000101[EB/OL]. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment, 2000 [2012-10-09]. <http://energy.cr.usgs.gov/WEcont/regions/reg5/P5/tps/AU/au520011.pdf>.
- [19] Daniel W, Wilfried J, Laura J, et al. Submarine end moraines on the continental shelf off NE Greenland—implications for Lateglacial dynamics [J]. Quaternary Science Reviews, 2010, 29: 1069-1077.
- [20] Whitley P K. The geology of Heidrun; a giant oil and gas field on the mid-Norwegian shelf [R]//Halbouty M T. Giant oil and gas fields of the decade 1978-1988. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1992: 131-136.
- [21] Heum O R, Dalland A, Meisingset K K. Habitat of hydrocarbons at Haltenbanken (PVT-modelling as a predictive tool in hydrocarbon exploration)[C]//Spencer A M. Habitat of hydrocarbons on the Norwegian continental shelf, proceedings of an international conference, Graham & Trotman, 1986: 259-274.
- [22] Ehrenberg S N, Gjerstad H M, Hadler J F. Smorbukk Field; a gas condensate fault trap in the Haltenbanken Province, offshore mid-Norway [R]//Halbouty M T. Giant oil and gas fields of the decade 1978-1988. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1992.
- [23] Andrew M, Claire H, Dominic S, et al. Evolution of provenance in the NE Atlantic rift: the Early-Middle Jurassic succession in the Heidrun Field, Halten Terrace, offshore Mid-Norway [J]. Marine and Petroleum Geology

- gy, 2009, 26: 1 100-1 117.
- [24] Ceramicola S, Stoker M, Praeg D. Anomalous Cenozoic subsidence along the passive continental margin from Ireland to mid-Norway[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2005, 22: 1 045-1 067.
- [25] Stemmerik L, Larsen M, Koefoed J B, et al. Petroleum geological characteristics and its revelation of the study of oil potential offshore in East Greenland Basin[C]// 33rd International Geological Congress Abstract, 281. 高红芳, 译. 东格陵兰盆地陆地石油地质特征对海区石油潜力研究的启示[J]. *海洋地质*, 2008(3): 65-65.
- [26] 李国玉, 金之钧. 世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [27] Smith R, Møller N. Sedimentology and reservoir modeling of the Ormen Lange field, mid-Norway[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20: 601-613.
- [28] Corfield S, Sharp I R. Structural style and stratigraphic architecture of fault propagation folding in extensional settings: a seismic example from the Smørbukk area, Halten Terrace, Mid-Norway[J]. *Basin Research*, 2000, 12: 329-341.
- [29] Karlsen D A, Nyland B, Flood B, et al. Petroleum geochemistry of the Haltenbanken, Norwegian continental shelf[C]// England W A. *The Geochemistry of Reservoirs*. London: Geological Society of London, 1995: 203-256.

## PETROLEUM GEOLOGY AND EXPLORATION POTENTIAL OF THE EAST GREENLAND MARGIN

FENG Yangwei<sup>1,2</sup>, YANG Chenyi<sup>2</sup>, QU Hongjun<sup>2</sup>,  
ZHANG Gongcheng<sup>3</sup>, GUAN Liqun<sup>4</sup>, FAN Yuhai<sup>5</sup>

(1 Geological Exploration Institute of Aerophotography & Remote Sensing of China Coal, Xi'an 710054, China;

2 State Key Laboratory of Continental Dynamics/Department of Geology in Northwest University, Xi'an 710069, China;

3 Research Center of CNOOC (China), Beijing 100027, China; 4 Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing 163000, Heilongjiang, China;

5 The Remote Sensing Application Institute of Aerophotography & Remote Sensing of China Coal, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The deepwater basins in the East Greenland margin is one of the hot spots of global petroleum exploration in deepwater area, but its exploration degree is still low. Based on the latest data of basic geology of the East Greenland margin, we found that main source rocks occur in the Upper Jurassic marine shale of Hareelv Formation and the lower Jurassic deltaic shale of Kap Stewart Formation, The main reservoirs are found in the Middle Jurassic marine sandstone and Cretaceous turbidite sandstone. There are two types of source rock-reservoir-seal assemblages, namely the continental source rock-marine reservoir-marine seal assemblage and marine source rock-marine reservoir-marine seal assemblage. The trap types are dominated by the extensional structural trap, horst block trap, salt dome trap and stratigraphic trap. The East Greenland margin is rich in hydrocarbon. Its reserve reaches about  $323.4 \times 10^8$  barrel of oil equivalent, and the undiscovered fields may be up to three hundreds.

**Key words:** petroleum geology; deepwater area; hydrocarbon-rich depressions; main control factors; hydrocarbon exploration potential; the East Greenland margin