

文章编号:1009-2722(2011)12-0027-007

北海南部盆地大型气田形成条件

张菲菲, 杨金玉, 杨传胜

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

摘要:通过收集相关资料,结合气源岩、生储盖组合及圈闭特征方面的研究,对北海南部盆地大型气田的形成条件进行了分析,总结了其形成的基本规律后得出:北海南部盆地气源岩为上石炭统维斯特伐利亚阶煤系地层(C_2^2);主力储层为赤底统砂岩,部分地区储层为下三叠统砂岩;区域盖层为上二叠统蒸发盐岩。北海南部大型气田多为反转断裂构造圈闭,其形成与分布的主要受控因素为石炭统气源岩分布及其成熟度、赤底统砂岩发育带的分布以及区域性蒸发盐岩盖层的有效封盖。

关键词:大型气田;形成条件;北海南部盆地

中图分类号:P 618.2 文献标识码:A

北海位于欧洲大陆与不列颠群岛之间,盆地面积约 $52 \times 10^4 \text{ km}^2$,是世界排名第 4 位的大型含油气盆地。北海盆地的油气开发始于 1959 年荷兰巨大的格罗宁根气田的发现,其整个油气区域分布特点为“北油南气”,大型气田主要分布在北海南部盆地区。北海南部气区,探明天然气可采

储量 $1\ 764.7 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中下二叠赤底统占 83%,若包括荷兰陆地上的格罗林根(Groningen)气田,则天然气可采储量为 $28\ 257 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中 92%分布在 P_1 砂岩中^[1,2]。表 1 介绍了北海南部盆地主要气田的基本情况。

表 1 北海南部盆地大气田地质数据(据文献[3])

Table 1 Giant gas fields in south of North Sea Basin (from reference [3])

序号	油气田名称	发现年代	可采储量		所属含油气盆地	产层深度/m	圈闭类型	产层时代	产层岩性	备注
			油/ 10^6 t	气/ 10^8 m^3						
1	莱曼滩	1966	1.4	3 403	英荷盆地	2 000	断背斜	P	砂岩	气田
2	因迪法莱格布尔	1966	1.4	1 330	英荷盆地	2 500	断背斜	P	砂岩	气田
3	休伊特	1966	2.8	1 222	英荷盆地	1 300	断背斜	T	砂岩	气田
4	格罗林根	1959	2 514	28 257	德国西北	2 700	断背斜	P	砂岩	气田
5	安阿芬	1962	68	764	德国西北	2 700	断背斜	P	砂岩	气田

收稿日期:2011-11-01

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:张菲菲(1983—),女,硕士,实习研究员,主要从事固体地球物理方面的研究工作。E-mail:ffeizhang@126.com

1 区域地质背景

北海处于北大西洋板块东侧、欧亚板块的西缘,为大西洋东北部的边缘海。北海盆地占据了西北欧盆地的主体部分,是西北欧克拉通内的一

个大陆型裂谷盆地。该盆地西北为跨越北海的加里东褶皱带,南部为华力西褶皱带,东面为芬挪地盾和俄罗斯地台,东南面为阿尔卑斯褶皱带,周缘国家包括:英国、挪威、丹麦、荷兰和德国等,面积约 $57.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ [4,5,6]。中北海隆起及林克—宾芬隆起将整个北海区域划分为北海盆地和北北海盆地,其中北北海盆地为中生代裂谷盆地,包括维京地堑、中央地堑、默里湾盆地、福斯盆地、挪威丹麦盆地、东设得兰台地、东设得兰盆地、霍达台地、伊戈尔桑次盆地、维斯特兰隆起等构造单元;北海盆地为华力西褶皱前陆盆地,包括英荷盆地,西北德国盆地和特萨尔隆起等构造单元(图1)。

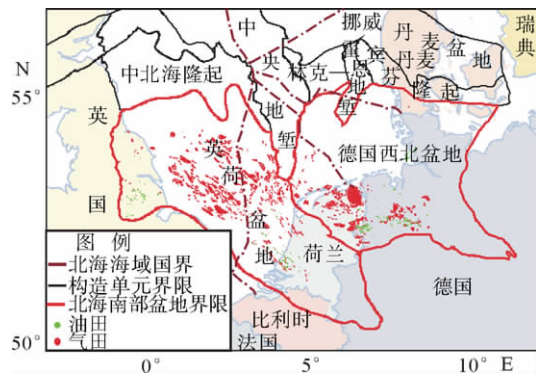


图1 北海南部区域盆地及构造格架

Fig.1 Sub-basins and current structural framework of southern North Sea Basin

2 区域构造演化

北海南部盆地包括其陆上延伸部分为华力西褶皱前陆盆地,属于反转构造体制,盆地形成主要与4个大的构造事件相关联,图2以地质时代的顺序用略图简单地表示了该地区及其邻区的重要地质演化事件,并对各个演化阶段的相关地质事件作相关简述[7,8]。

2.1 加里东造山期

早古生代末期,受加里东褶皱造山作用的影响,北海地区形成了一组巨大的山系(图2a—c),使古北大西洋海槽于晚泥盆世关闭(图2d),导致劳亚大陆的增生,褶皱加固,北海加里东基底形成,随后的塌陷形成了北海南部的石炭系海岸平原煤系地层。

2.2 华力西造山期

石炭纪末,大西洋南面海槽关闭(图2e),华力西山脉形成,处于山脉的前陆部位,从伦敦经北海至华沙一带形成二叠纪盆地。二叠纪初期,盆地经历了短暂的拉张断裂和火山喷发后,形成了早二叠世(P₁)赤底统沙漠湖沉积;晚二叠世(P₂)发生灾变性的海侵,形成镁灰统蒸发盐岩和碳酸

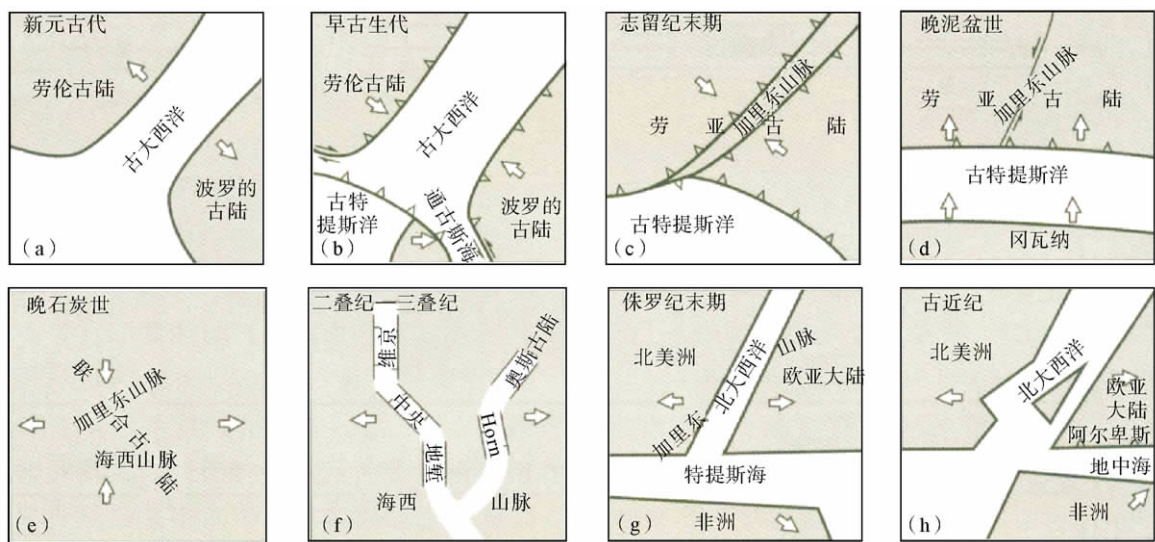


图2 晚元古代—早第三纪北海地区板块相对运动示意图(据文献[4])

Fig.2 Movement of plates that affects North Sea Basin and adjacent areas from Proterozoic to Paleogene (from reference [4])

盐岩多个旋回沉积,同时也形成了北海南部煤成气极好的生储盖组合。

2.3 三叠纪新全球构造运动

三叠纪(或晚二叠世)的新全球构造运动,使北大西洋裂谷作用开始(图 2f—g),一个裂谷分支延伸进入了北海。受该构造作用的影响,欧洲中西部形成一个复杂、多向裂谷系统,该系统横切了华力西褶皱带和持续沉降的二叠纪盆地。在北海南部盆地地区,早三叠世的断裂作用复活并发育了一系列分散的、SN 至 NNE—SSE 向的地堑,整个地区发生了缓慢的区域性沉降,使得盆地沉积厚度持续增加,该断裂活动一直持续到早侏罗世晚期。

2.4 侏罗纪到古近纪初反转构造

白垩纪末到第三纪初,非洲大陆逐步向西欧大陆靠近(图 2h),形成了南面的阿尔卑斯褶皱带。压应力传递到北海南部,致使该地区的盆地发生了反转。北海南部盆地发生了 2 期主要的盆

地反转,第 1 期在侏罗纪末到早白垩世,第 2 期在白垩纪末到古近纪初。基底断层被重新活化并带有右旋走滑的性质,从而激发了该地区的另一期的盐类构造活动。

始新世开始,北海整体进入构造活动的相对静止期,盆地演化主要受岩石圈冷却引起的热沉降所控制(表 2)。

2.5 北海南部盆地构造

北海南部盆地近东西走向,面积约为 155 000 km²,盆地经荷兰、德国向东延伸至波兰境内。该盆地属于反转构造体制(图 3),是晚古生代为主的煤成气盆地,北海南部盆地是北海地区主要产气区。

北海南部盆地主要包括了英荷盆地和西北德国盆地,其中西部的英荷盆地包含了索尔皮特断陷、布罗德十四断陷、中荷兰断陷以及西荷兰断陷,是北海南部气田的集中分布区。东部的西北德国盆地的陆上延伸部分是荷兰和德国的主要气区。

表 2 北海构造演化(据文献[9])

Table 2 Tectonic evolution of North Sea Basin (from reference [9])

时代	区域事件		北海						
	特提斯	大西洋	北部	默里海	中部	南部			
新生代	中新世	阿尔卑斯造山运动	现代扩张台地玄武岩	覆于地堑体系上的区域沉降中心			蔡希斯坦刺穿作用 NW—SE走向的 下盆地转变		
	渐新世			西设得兰隆起 晚断裂作用用幕	默里海隆起 苏格兰高地	中央地堑 断层复活 中央地堑 沉降		丹麦海湾 旋转 喷出岩	
	始新世								
	古新世								
白垩纪	晚期	罗科尔海槽扩张 北延伸至 挪威-格林兰海	海底扩张				伊比利亚重新沉降		大西洋中部扩张 开始
	早期								
侏罗纪	晚期	特提斯海海底扩张	大西洋中部裂谷	西北欧盆地发育/地堑体系 蔡希斯坦世浸溢海平面下的盆地	默里湾沉降	北部和南部二叠纪盆地开始沉降	晚赤底统火山岩开始喷发	盆地底板转变为右旋断裂带	华里西前渊 石炭系 2 500 m
	中期								
三叠纪	晚期	裂谷作用用幕	挪威-格林兰海 裂谷	北不列颠 岛裂开	苏格兰高地重新隆起	奥克和阿盖尔 海相灰岩	南部苏格兰火山岩	湖区花岗岩	
	早期								
二叠纪	晚期	海西晚期的 构造运动	北大西洋破裂 样式开始	大格林走向滑移 断层延伸至 北大西洋	奥克尼盆地火山 奥克尼盆地沉降	奥克尼盆地沉降	湖区花岗岩		
	早期								
石炭纪	斯蒂芬	华里西早期碰撞 褶皱(指欧洲) 华里西造山运动 板块碰撞	北大西洋破裂 样式开始	大格林走向滑移 断层延伸至 北大西洋	奥克尼盆地火山 奥克尼盆地沉降	奥克尼盆地沉降	湖区花岗岩		
	威斯特伐利亚								
	纳缪尔								
泥盆纪	狄南	特提斯海关闭	大格林走向滑移 断层延伸至 北大西洋	奥克尼盆地火山 奥克尼盆地沉降	奥克尼盆地沉降	奥克尼盆地沉降	湖区花岗岩		
	晚期								
泥盆纪	中期	特提斯海关闭	大格林走向滑移 断层延伸至 北大西洋	奥克尼盆地火山 奥克尼盆地沉降	奥克尼盆地沉降	奥克尼盆地沉降	湖区花岗岩		
	早期								

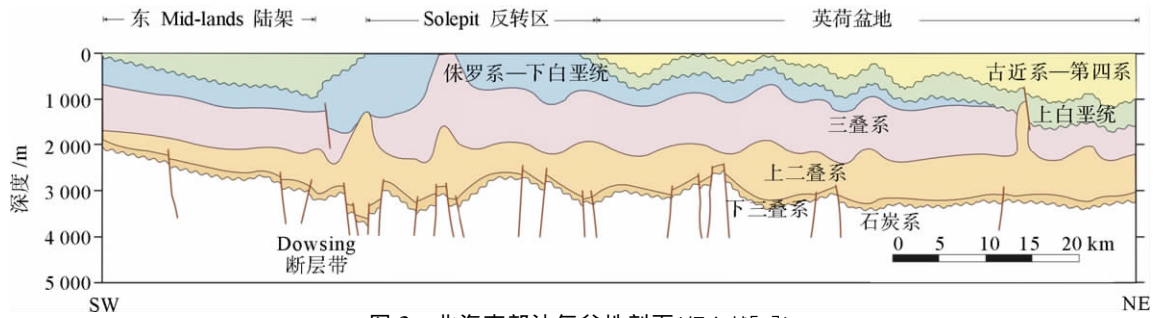


图3 北海南部油气盆地剖面(据文献[9])

Fig. 3 A profile of oil and gas basins in southern North Sea Basin (from reference [9])

3 北海南部盆地大型气田形成条件

3.1 气源岩

北海南部气源岩是维斯特伐利亚阶煤系地层(C₂),但发表资料相对较少。该煤系4个地层广泛分布于北海南部盆地,分为A、B、C、D4层,主要生气段为下部A、B层,上部的C、D层常被剥蚀或变为了红层。A、B层灰色层段以三角洲海岸平原沉积为主,岩性为页岩夹砂岩和煤层,中间夹有部分灰岩,厚度1200~2500m。气源岩的厚度跟岩性变化很大,估计煤层厚度占3%左右,煤TOC值大于60%,氢指数约为60~200mg/g。暗色页岩干酪根一般为Ⅲ型,TOC值超过1%。C₂气源岩在北海南部分布广泛,但中北海隆起(55°30'N)以北不含煤层。C₂气源岩的生气曲线和成熟度(图4、图5)表明英荷盆地和西北

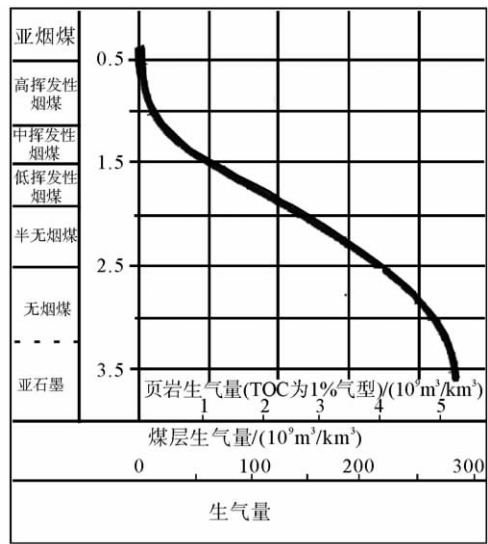


图5 维斯特伐利亚阶煤和页岩实验生气量曲线(据文献[10])

Fig. 5 Curves of gas generating amount for Westphalia Seam and Shale (from reference [10])

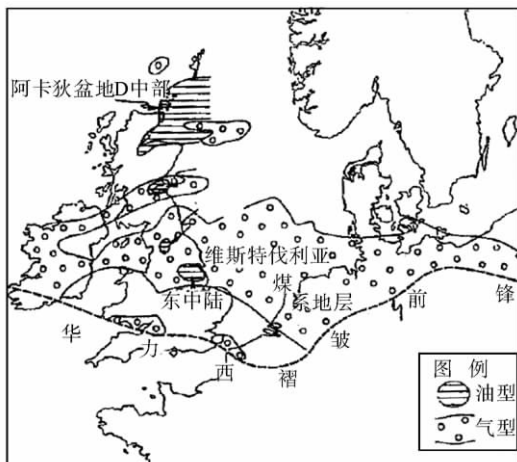


图4 北海南部地区维斯特伐利亚阶干酪根类型(据文献[10])

Fig. 4 The types of Westphalia kerogen in southern North Sea Basin (from reference [10])

德国盆地的大部分地区 $R_o > 2\%$, 是可靠的生气区。按照生烃曲线, 当 R_o 为 2% 时, 100 km^2 面积内每 10 m 煤层的生气量约为 $160 \times 10^9 \text{ m}^3$, 而北海南部气田分布在约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 范围内, 生气量是不成问题的。

3.2 优质的生储盖组合

北海南部储层主要是赤底统风成砂岩, 以沙丘砂岩为最好(图6), 孔隙度 $10\% \sim 24\%$, 渗透率为 $1 \sim 1000 \text{ mD}$, 北海南部盆地的南部一般砂岩厚度在 100 m 以上^[11]。除赤底统外, 下三叠统底部砂岩也是储层之一。

石炭纪末造山期, 处于前陆的北海南部同时上升, 上石炭统被不同程度剥蚀, 造成赤底统砂岩

直接覆于 C₂ A、B 层气源岩之上,而其上是厚达 500~1 000 m 的镁灰统蒸发盐岩区域性封盖,组成极了好的生储盖组合。由于蒸发盐岩的封盖,下三叠统的储盖组合只在局部地区有意义(蒸发盐岩发育差或断裂破坏)。

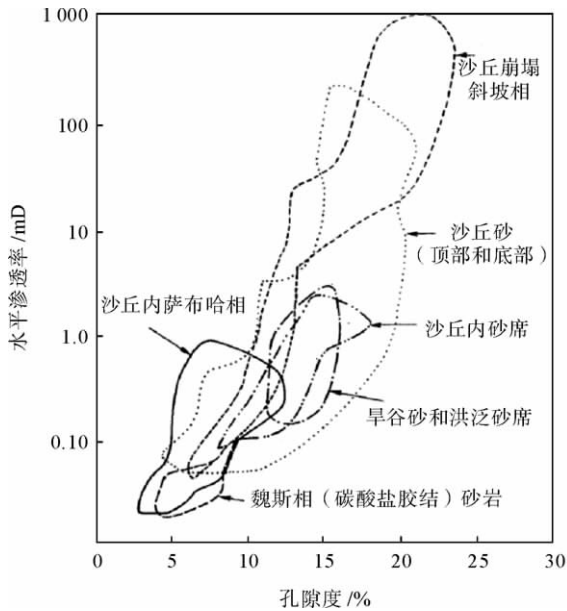


图 6 索尔皮特区不同沉积相的孔隙度与渗透率关系(据文献[9])

Fig. 6 The relation between porosity and permeability in different sedimentary facies in Sol Peter Area (from reference [9])

3.3 反转构造圈闭

北海南部主要有 2 期反转运动,第 1 期在侏罗纪末到早白垩世,第 2 期在白垩纪末到古近纪初。反转运动形成了一大批盐下层反转断裂背斜圈闭,有的早期反转(如格罗林根,图 7)晚期又增大幅度;大部分构造形成于晚期反转,如 Laman 气田、拉温斯伯尔南气田、不倦气田(地垒为主、多断块)。盐上层的三叠系圈闭一般是“空”构造,也有一些小气藏,唯独赫威特气田(T₁)是一个约 1 000 亿 m³ 储量的气田。在北海南部盆地,普通的断裂无法通过盐层,上下 2 套断裂系统均在盐层中消失,从而使得气在赤底统地层中能够长期保存,但赫威特区盐层相对比较薄,被断层破损,从而导致气体上蹿。

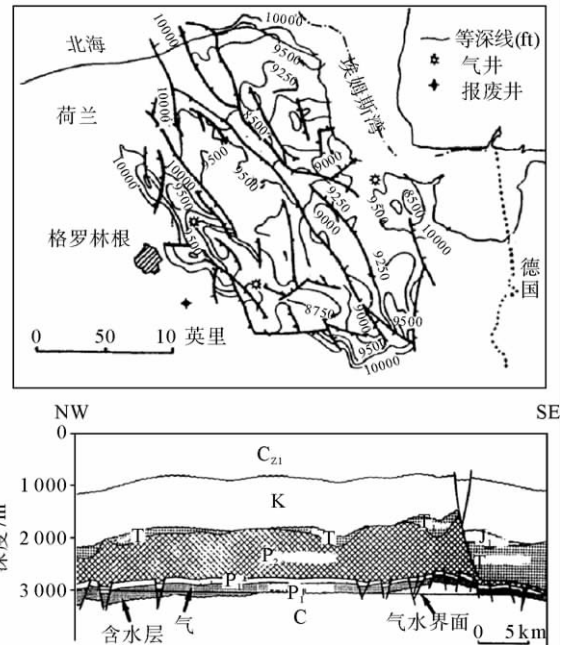


图 7 格罗林根气田构造及剖面(据文献[10])

Fig. 7 Structure and profile of Groningen Gas Field (from reference [10])

3.4 赤底统气田分布的控制因素

赤底统气田的分布范围,出现在上石炭统气源岩成熟区(一般 R_o 为 1%~3%)、北海南部盆地南部东西向延伸的赤底统砂岩发育带以及厚度 500~1 000 m 以上的镁灰统蒸发岩发育区,以上 3 个因素的叠合区,就是目前赤底统气藏的分布区(图 8)^[12,13]。此发育带以北,即北海南部盆地的北部,赤底统砂岩变为页岩和盐滩相,无气藏发现;此带以南由于蒸发盐岩变差,盖层以碳酸盐岩(P₂)为主,也没有赤底统气藏。

3.5 天然气运移形式

北海南部盆地多为赤底统气藏,主要运移形式是在粗层中反向再运移的 E 型模式,部分气藏是在圈闭形成后持续补充天然气(如格罗林根),部分气藏是断陷深部在侏罗系到下白垩统埋藏期已经大量生气,然后先运移到断陷边部的高部位地区聚集起来,到 K₂/E 之交地堑处发生强烈反转(如索尔皮特断陷),使得原来地堑最深的地方,反转后变为隆起最高的地方,原来已聚集的气回

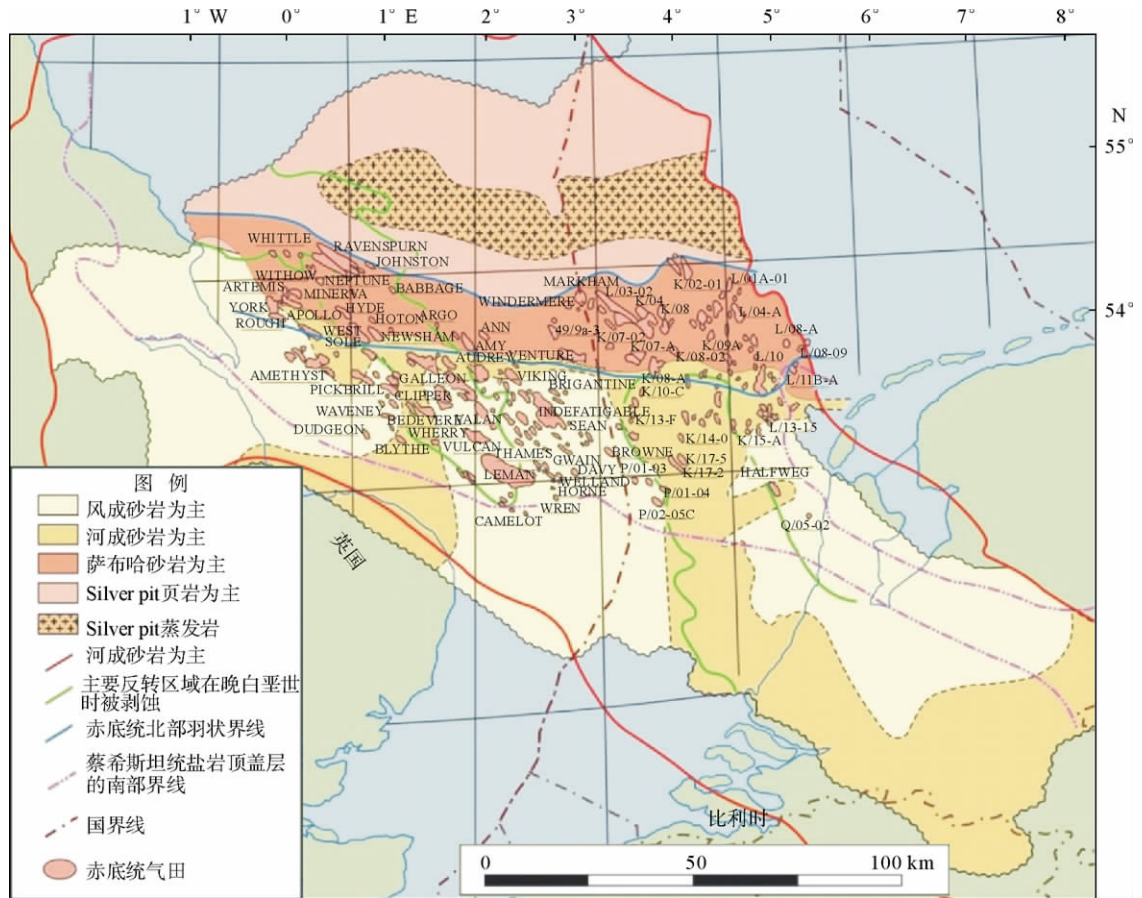


图8 英荷盆地内赤底统砂岩各相带分布(据文献[5])

Fig. 8 Rotliegendes-Fields and facies map in Anglo-Dutch Basin (from reference [5])

头再反向运移到反转轴部的圈闭中(如莱曼气田),还有部分气藏是漏失到三叠系圈闭中聚集(如赫威特气田)。

由于该地区盐层的封盖良好,随着构造的反转动,气在储层中来回运移仍然可以得到有效的保存。

4 总结

北海南部盆地是北海主要的产气区,几乎所有的大型气田都是断裂构造圈闭模式的巨型气田,大型气田模式有以下主要特征:

(1)以 C₂煤系地层为气源岩,具有极好的生储盖组合,多为赤底统风成砂岩直接不整合覆于源岩上,而其上又为上二叠统蒸发盐岩封盖。这套生储盖组合是大区域性的,从英国陆上、经北海南部到荷兰、德国一直到波兰,最好的地带

是荷兰和北海南部。局部地区为下三叠统储盖组合,由于盖层遭到破坏,该组生储盖组合的意义不大。

(2)北海南部盆地构造主要形成于晚白垩世到古近纪盆地反转期,气源岩最大埋深期是侏罗—白垩纪,即气田构造多形成于排烃期之后,是构造形成后再运移聚集的结果。

(3)北海南部气田多属于断裂构造圈闭的低渗透块状砂岩底水气藏,气田多分布于石炭统气源岩成熟区(一般 R_o 为 1%~3%)、北海南部东西向延伸的赤底统砂岩发育带以及厚度 500~1 000 m 以上的镁灰统蒸发岩发育区。

参考文献:

[1] Glennie K M. History of Exploration in the southern North Sea[M]// Ziegler K, Tuener P, Daines S R. Petroleum Geology of the Southern North Sea: Future Potential. Lon-

- don: Geological Society Special Publications, 1997; 5-16.
- [2] 白国平,郑 磊. 世界大气田分布特征[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 161-167.
- [3] IHS Energy. Northwest German Basin[DB]. 2009 (unpublished PDF database).
- [4] 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.
- [5] 哈尔布特 M T(美). 大油田地质学[M]. 中国科学院兰州地质研究所译. 兰州: 甘肃人民出版社, 1979.
- [6] 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, 2001.
- [7] Blundell D J, Gibbs A D, Programme I L. Tectonic Evolution of the North Sea Rifts[M]. Oxford: Clarendon Press, 1990.
- [8] Glennie K. Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea[M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1990.
- [9] IHS Energy. Anglo-Dutch basin [DB], 2009(unpublished PDF database).
- [10] 杨祖序. 欧洲北海大中型天然气田形成条件[R]. 北京: 中国海洋石油勘探开发研究中心, 1993.
- [11] Hillier A, Williams B. The Leman Field, Blocks 49/26, 49/27, 49/28, 53/1, 53/2, UK North Sea[M]. London: Geological Society, Memoirs, 1991, 14(1): 451-458.
- [12] George G T, Berry J K. Permian (Upper Rotliegend) synsedimentary tectonics, basin development and Palaeogeography of the Southern North Sea[M] // Ziegler K, Turner P, Daines S R. Petroleum Geology of the Southern North Sea; Future Potential. London: Geological Society Special Publications, 1997; 31-61.
- [13] Leeder M R, Hardman M. Carboniferous geology of the southern North Sea Basin and controls on hydrocarbon prospectivity[M] // Hardman F P, Brooks J. Tectonic Events Responsible for Britain's Oil and Gas Reserves. London: Geological Society Special Publications, 1990, 55: 87-105.

FORMING CONDITION OF LARGE GAS FIELD IN SOUTHERN NORTH SEA BASIN

ZHANG Feifei, 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: A comprehensive review of the data on gas source rock, source-reservoir-cap assemblage and trap characteristics, the formation condition of large gas field in Southern North Sea Basin was made in this paper in order to understand the basic mechanisms of oil accumulation. In this area, the Westphalia coal measures of the Late Carboniferous is the major gas source rock, with the Rotliegende sandstone as the main reservoir. The Lower Triassic sandstone is also a reservoir in some areas. The Upper Permian evaporite deposits provide a unique regional cap. Most large gas fields are preserved fractured structural traps. The formation of gas field depends upon the combination of the availability of Carboniferous gas source rock, distribution of Rotliegende sandstone and the effective sealing by regional evaporite cap rock.

Key words: large gas field; formation condition; southern North Sea Basin