

文章编号:1009-2722(2011)12-0001-09

北海盆地油气分布特点及石油地质条件

杨金玉, 杨艳秋, 赵青芳, 张菲菲

(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:依据 IHS 数据库 2009 年资料,统计了北海盆地不同构造单元和储集层系发现的油气田及大型油气田的个数和油气储量,分析了北海盆地油气分布特点。通过分析得出,北海一半以上的油气资源集中在储量 >5 亿桶的大油气田中,北部油气俱丰,以油为主,南部则以气为主。通过对南、北海盆地的石油地质条件的分析,认为北海盆地发育多套含油气系统。北北海盆地油气分布主要受控于烃源岩和储集岩分布,最重要烃源岩是基末利黏土组,最重要的储层是中、下侏罗统砂岩,北海北部一半以上的油气资源储存在该层系,上石炭统威斯特伐利亚煤系是最大含油气系统的烃源岩;南海盆地最重要储层是上二叠系赤底统砂岩,富集了北海南部 86% 以上的天然气,油气分布主要受控于区域性盖层蔡西斯坦统的发育。

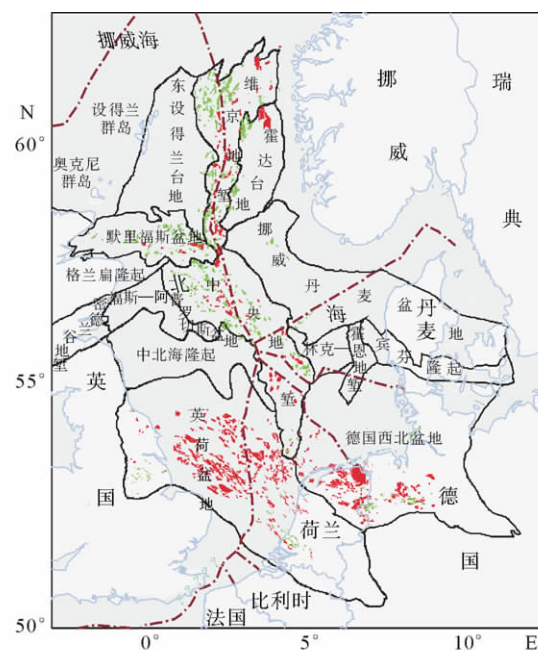
关键词:北海盆地;油气分布;石油地质条件;含油气系统

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

北海海域位于大不列颠群岛、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。北海北邻挪威海,西北以设得兰群岛为界,南至多佛尔海峡,南北长约 1 000 km,东西宽约 640 km,面积约 57.5 万 km^2 ,海域的 88% 位于西欧大陆架上,平均水深 96 m。周边国家包括英国、挪威、丹麦、荷兰、德国、法国和比利时等国^[1](图 1)。

北海油气勘探开发开始起步于 20 世纪 60 年代,70 年代是北海全面勘探和大发现阶段。1985 年北海地区石油产量 1.71 亿 t,占世界海洋石油产量的 22%。2000 年产量达到峰值,为 3.2 亿 t,随后逐渐下降^[2]。此后,北海地区勘探发现减少,勘探难度增加,油气产量呈下降的趋势。北海油田则渐被认为是“成年”油田,不会有大的油气田



图例 ———— 海域界线 构造单元边界 油田 气田

图 1 北海海域主要构造单元与油气田分布

Fig. 1 Geological provinces and oil and gas fields in the North Sea

收稿日期:2011-10-27

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:杨金玉(1973—),女,博士,副研究员,主要从事海洋地球物理方面的研究工作。E-mail:yjinyu@cgs.cn

发现。即使这样,挪威和英国大陆架油气勘探近年来吸引的投资数额依然可观,分别排在美国的墨西哥湾海域之后,列世界第 2、第 3 位。

根据地形地貌以及新生代地质构造特征,北海盆地可划分为多个正向和负向的构造单元。由于北海南北无论从石油地质条件以及油气分布特点上都有较大的不同,因此,传统上石油地质界习惯以中北海隆起(Mid North Sea High)和林克—宾芬隆起(Ringkøbing-Fyn High)为界,将北海盆地划分为北北海盆地与南北海盆地。北北海盆地主要含油气构造单元包括维京地堑(Viking Graben Province)、中央地堑(Central Graben)、霍达台地(Horda Platform)、默里—福斯盆地(Moray Firth Basin)、东设得兰台地(East Shetland Platform)和挪威—丹麦盆地(Norwegian-Danish Basin)。南北海盆地主要含油气构造单元包括英荷盆地(Anglo-Dutch Basin)、德国西北盆地(Northwest German Basin)(图 1)。

1 北海油气分布特点

截至 2009 年,北海盆地共发现 1 731 个油气田,油气探明控制储量为 205.22 亿 t(表 1)。北海油气区大部分油气资源分布在北北海盆地。北海北部已发现的油气田几乎 80% 以上集中分布在沿盆地轴线宽 80~100 km 的范围内,正好在近 SN 和 NWW 向的北海中央地堑和维京地堑地区^[3]。北北海盆地的总油气资源量为 135.63 亿 t,占整个北海油气资源量的 66.1%,南北海盆地的油气资源量为 69.59 亿 t,占 33.9%。如果分别统计石油和天然气的资源量,可发现北海超过 92.4% 的石油集中在北北海盆地中。南部盆地石油储藏很少,而是以天然气为主,71 375 亿 m³ 的天然气储量占了北海盆地总天然气储量的 57.1%。北北海盆地天然气储量也很可观,共计 53 556 亿 m³,占 42.9%。北海油气资源分布最

表 1 北海盆地油气探明控制储量区域分布

Table 1 Distribution of the proved hydrocarbon reserves in the North Sea Basin

构造分区		地貌	油气田 个数/个	石油		天然气		油当量	
				储量	占全区	储量	占全区	储量	占全区
				/亿 t	油储量/%	/亿 m³	气储量/%	/亿 t	油气储量/%
北 北 海 盆 地	维京地堑	海上	254	37.86	40.8	20 446	16.4	56.26	27.4
	中央地堑	海上	242	26.58	28.7	13 605	10.9	38.82	18.9
	默里—福斯盆地	海上	101	9.33	10.1	2 511	2.0	11.59	5.6
	霍达台地	海上	38	9.57	10.3	14 844	11.9	22.93	11.2
	其他地区	海上	53	4.08	4.4	2 151	1.7	6.03	2.9
	合计	海上	688	87.42	92.4	53 556	42.9	135.63	66.1
南 北 海 盆 地	英荷盆地	海上	424	0.99		24 972		23.46	
		陆上	119	0.61		1 024		1.53	
		小计	543	1.60	1.7	25 996	20.8	24.99	12.2
	德国西北盆地	海上	62	0.51		31 546		28.91	
		陆上	438	3.24		13 834		15.69	
		小计	500	3.75	4.0	45 380	36.3	44.60	21.7
	合计	海上	486	1.50		56 518		52.37	
		陆上	557	3.85		14 858		17.22	
		小计	1043	5.35	5.8	71 375	57.1	69.59	33.9
总计	海上	1 174	88.92		110 074		188.00		
	陆上	557	3.85		14 858		17.22		
	合计	1 731	92.77	100	124 932	100	205.22	100	

大特点是北油南气,更确切地说是北部油气俱丰,以油为主,南部则以气为主。

北海盆地已发现的油气田中,储量超过 5 亿桶油当量的大油气田共有 40 个,其中北北海盆地 34 个,南北海盆地 6 个(表 2)。虽然这些大油气田个数只占全部油气田的 2.3%,但它们却集中了北海盆地 52.4% 的油气储量,共计 107.48 亿 t。北海大油气田总储量较大的是维京地堑、德国西北盆地、中央地堑和霍达台地。北北海盆地的大油气田储量占西北欧海域总探明控制储量的 36.7%,南北海盆地的占 15.6%。在这些发育大油气田的盆地中,有些油气区的储量主要集中于大油气田分布的地区,如霍达台地的大油气田储量占台地总储量的 83.9%。维京地堑、中央地堑、德国西北盆地的大油气田储量占各自盆地油气储量的一半以上。

北海油气在地质层系上的分布规律见图 2。

表 2 北海盆地大油气田统计
Table 2 Giant oil and gas fields
in the North Sea Basin

构造分区	大油气田个数/个	油当量/亿 t(探明控制储量)	占盆地总储量/%	占全区总储量/%
北北海盆地	中央地堑	11	21.89	10.7
	维京地堑	15	32.62	15.9
	默里—福斯盆地	5	1.66	0.8
	霍达台地	3	19.23	9.4
南北海盆地	英荷盆地	4	6.20	3.01
	德国西北盆地	2	25.88	12.6
总计	40	107.48		52.4

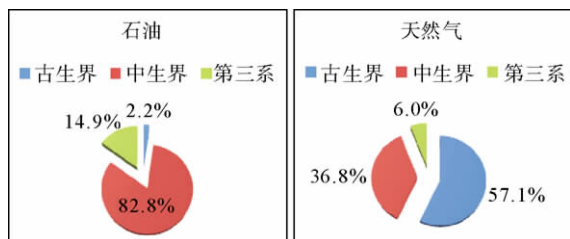


图 2 北海盆地储油气层系储量分布
Fig. 2 Distribution of oil and gas reserves
in the North Sea Basin

北海盆地自古生界到第三系都发育含油气层系,其中中生界是重要的储集层,82.8% 的石油(包括凝析油)和 36.8% 的天然气储存在中生界。古生界的石油极少,但却富集了北海 57.1% 的天然气。对北海含油气层系做了进一步统计(图 3),可以发现中生界最重要的储层是侏罗系,其石油储量占全海区的 59.3%。其中中侏罗统储层最为富集,石油储量占全区的 35.3%,其他比较重要的石油储层还包括上侏罗统、上白垩统和第三系。上二叠统是最重要的储气层,北海盆地 50.8% 的天然气储存在上二叠统,其次是中侏罗统,储存了北海 21.1% 的天然气。北海盆地这些油气分布特点受控于盆地的石油地质条件。

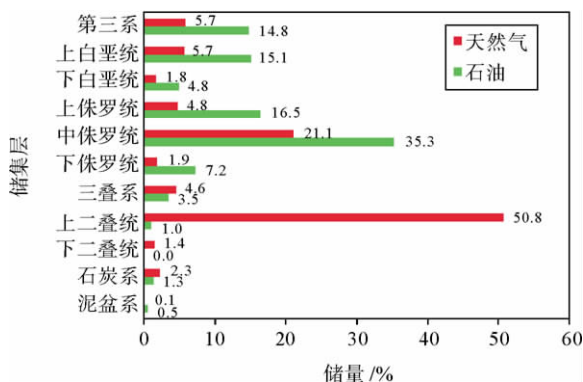


图 3 北海盆地石油和天然气储量储集层分布
Fig. 3 Distribution of oil and gas reserves in
hydrocarbon plays in the North Sea Basin

2 北北海盆地石油地质条件

2.1 烃源岩

北北海盆地最重要的烃源岩是晚基末利阶—晚里亚赞阶的 Kimmeridge 组(基末利黏土组)^[4],其横向同期层组包括挪威北海的 Draupne 组、Tau 组、Mandal 组以及丹麦北海的 Farsund 组。以下将它们统称为基末利黏土组,是区域性分布的烃源岩,除了构造高部位缺失外,在北北海盆地广泛分布。基末利黏土组的 TOC(总有机碳)含量一般为 6%,最高可达 10%。Heather 组(卡洛阶—牛津阶)也是重要的烃源岩,但分布不如基末利阶黏土广泛^[5],其横向同期层组包括 Haugesund、Egersund 以及 Lola 组,这套烃源岩

的 TOC 含量平均为 2%。其他有潜力的烃源岩还包括中侏罗统的布伦特群页岩/煤以及下侏罗统的 Dunlin 群、下白垩统的 Sola 组、二叠系的 Kupferschiefer、以及石炭系和泥盆系。从图 4 中可以发现,这套烃源岩 TOC 含量从各地堑边缘向地堑中心随着沉积厚度加大而增加。北北海盆地良好的生烃岩系是北海大量油气聚集的基础。

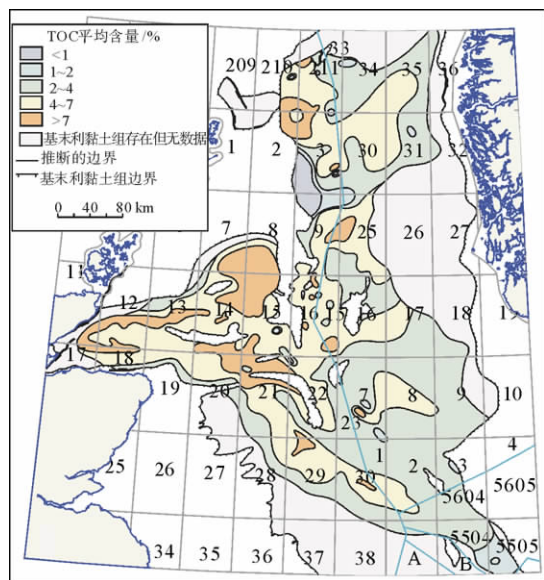


图 4 北北海盆地基末利黏土组有机质丰度分布(据文献[6])

Fig. 4 TOC map of the Kimmeridge Clay and Heather units in the northern North Sea Basin (from reference [6])

具体到北北海盆地各主要构造单元情况略有不同,维京地堑整个侏罗系的煤、页岩和碳质泥岩都具有生烃能力,尤其以上侏罗统泥岩、页岩为主要烃源岩。Heather 组页岩厚 350~1 000 m, TOC 含量为 2%~2.5%,上部“热”页岩 TOC 含量增加,如基末利阶黏土组/Draupne 组,厚度一般为 50~250 m, TOC 含量为 2%~12%;以生油为主,Heather 组下部“冷”页岩具生气与凝析油潜力。中央地堑英国/挪威和丹麦部分的烃源岩是下白垩统基末利阶—早贝里亚斯阶富含有机质的深海相基末利黏土/Farsund-Mandal 组, TOC 含量为 0.5%~15% (平均 3.5%), II 型干酪根。荷兰中央地堑发育的烃源岩可能是上三叠统一下侏罗统滨海相—海相页岩,土伦阶—巴柔阶 Werkendam 页岩组是偏油烃源岩。上石炭统威斯特伐利亚阶 Limburg 群煤层是荷兰中央地堑

内生气的烃源岩。默里—福斯盆地的主要烃源岩为深海盆地相基末利阶黏土组, TOC 含量为 2%~10%,而霍达台地由于构造位置较高,台地上烃源岩埋藏不够深,还未成熟。

2.2 储盖条件

2.2.1 中、下侏罗统储层及其盖层

北北海盆地自古生界到新生界有多套产层。中、下侏罗统、上白垩统、古新统和始新统均为良好的区域性储层,其中最重要的区域性储层为中、下侏罗统砂岩储层,分布面积约 14 万 km²。自 1971 年英国壳牌公司在北北海掀斜断块上发现了布伦特油田后,北北海的中、下侏罗系一直是开发重点层系^[7]。北海第 1 大油气田挪威的 Statfjord 油田以及 Gullfaks、Oseberg、Kvitebjorn 等大型油气田的产层均是这套层系。根据 IHS2009 年发布的数据统计,北北海盆地中 44.3% 的石油和 53.2% 的天然气储存在中、下侏罗统砂岩中,而其他任一层系的石油或天然气储量还不到中、下侏罗统的一半。

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。中、下侏罗统在北北海盆地发育主要受三叠系裂谷地形、中侏罗世隆起和剥蚀作用以及晚侏罗世的裂谷和剥蚀作用控制,特别是侏罗纪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。造成这套储集岩层系在北海北部分布和厚度不均(图 5),各油气区资源量大小直接受控于此。中、下侏罗统在北部地区较厚,在地堑中的埋藏深度大于 3 km,厚度超过 1 000 m,南部很薄或缺失。在大部分地区中侏罗统与下侏罗统之间为一区域性不整合面,称为中基梅里不整合,或阿伦阶内部不整合面。在不同地区该不整合的强度是有所不同的,由西向东,由北向南加大,在盆地的东部和南部造成下侏罗统缺失,中侏罗统直接不整合在三叠系或更老的地层之上^[8,9]。因此,北部的维京地堑和霍达台地由于中、下侏罗统保存较全,成为北北海盆地区最主要的油气区,虽然中北部(维京地堑南部及中央地堑北部)由于侵蚀造成地层缺失,仍为第 2 主要油气区;中央地堑中这套层系保存最不完整,且发育有大量火成岩,因此油气聚集较少;中、下侏罗

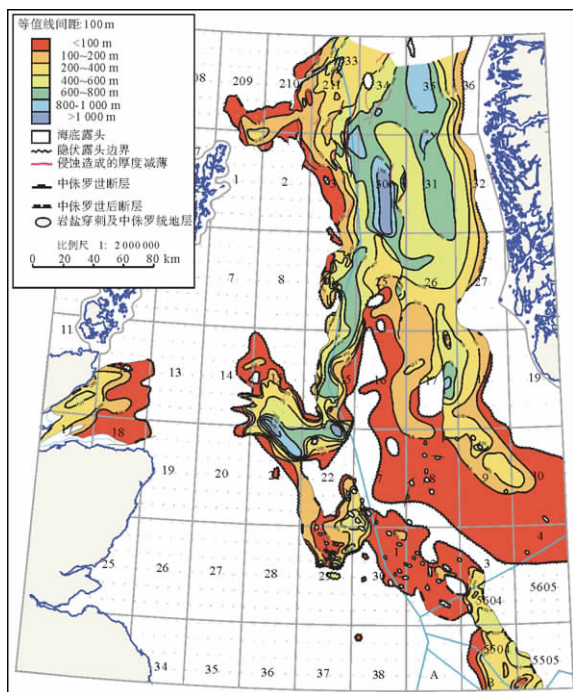


图 5 北海盆地中、下侏罗统厚度(据文献[6])

Fig. 5 Thickness of Lower and Middle Jurassic in the northern North Sea basin (from reference [6])

统在西部保存不完整,局限分布在默里福斯盆地内部;东部分布面积广泛,但中、下侏罗统保存不全,厚度小,油气分布较为分散,有少量油气发现和油田。按储层统计的油气资源量也反映了这个规律,中央地堑中 69.7% 的油气储存在中、下侏罗统,霍达台地中 89.5% 的资源量储存在这一层系中,而中央地堑和默里福斯盆地中相应层系仅有 3.5% 和 0.4% 的油气储量。

除分布广,厚度大,中、下侏罗统储层物性条

件也很好。中侏罗统布伦特群是由浪控/河控共同作用形成的布伦特三角洲所发生的海进和海退环境下沉积的一套由砂岩、粉砂岩和页岩组成的地层,布伦特群 95% 的油气保存在塔伯特组和内斯组上部。布伦特群储层孔隙度为 13%~22%,平均孔隙度 18%,渗透率为 0.06~10 000 mD,其中北布伦特平均值为 800 mD,东布伦特和西北布伦特为 500 mD。下侏罗统 Statfjord 组(斯坦特福约尔得组)由互层状的砂岩和页岩构成,沉积环境为河流—辫状河三角洲,平均厚度 265 m,粒度整体向上变粗^[10]。斯坦特福约尔得组砂岩成分成熟度高,含 50% 石英和大量长石(主要为钾长石)和石英砂砾,还有少量黏土、云母和角闪石^[11]。砂岩孔隙度为 11%~16%,平均孔隙度为 13.5%;渗透度为 0.2~3 000 mD,平均渗透率为 330 mD。

在北北海盆地的许多油田中,基末利阶页岩不仅生成了油气,同时为侏罗及白垩系砂岩中石油聚集起着盖层和封闭的作用。具有中侏罗统储层的大部分油田的顶部盖层是 Heather 组或基末利阶黏土/Draupne 组页岩。Alwyn North、Strathspey、Brent、Statfjord、Vigdis 和 Gullfaks 等油田构造都经历了严重的顶部侵蚀,中侏罗统及更早的储层的盖层是 Cromer Knoll 和 Shetland 群泥岩。图 6 是以维京地堑的以基末利黏土组为源岩的含油气系统图,这也是北北海盆地最为典型的含油气系统。除中、下侏罗统外,北北海盆地其他重要储层还包括上侏罗统、第三系和上白垩统一下古新统白垩群的白垩或灰岩(早赛诺曼阶—早丹尼阶)。

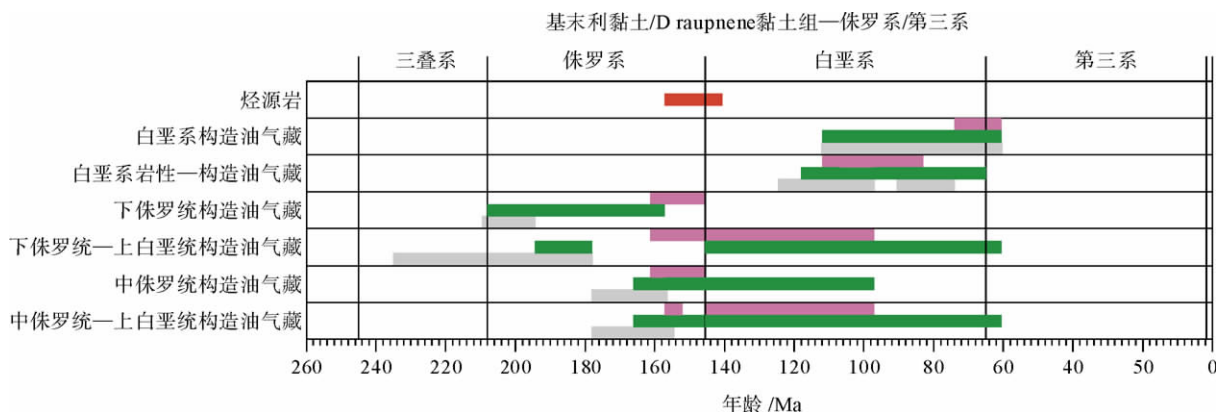


图 6 北北海盆地维京地堑典型含油气系统(据文献[12])

Fig. 6 Typical petroleum systems of the Viking Graben in the northern North Sea Basin (from reference [12])

2.2.2 其他重要储层及盖层

上白垩统一下古新统储层主要是 Ekofisk (埃克菲斯克组)、Tor (托尔组) 白垩, 主要分布在中央地堑地区, 厚度约 1~2 km, 中央地堑 50.4% 的油气产自该层系。白垩群向北延伸可到维京地堑南部以及东设得兰台地, 但夹杂了硅质沉积。据岩心及测井资料, 托尔和埃克菲斯克组主要是受生物广泛搅动的再沉积白垩, 物性差异很大, 孔隙度为 5%~45%, 渗透率较差或中等, 但如果有裂缝存在, 则能成为较好的储层。这套储层的物性质量最好的部分是盆地边缘或盆地内较高部位引发的重力流沉积。这套储层发现了许多大油气田, 如 Ekofisk、Valhall、Dan、Tyra 等多个储量大于 5 亿桶的大型田。孔隙发育的 Tor 组白垩被上覆 Ekofisk 组底部钙质泥岩所隔开, 而 Ekofisk 组白垩则被上覆的古新统泥岩, 即古新统 Rogaland 群内深海环境下沉积的超压泥岩所封盖, 形成区域盖层。古新统与始新统浊积扇砂岩, 被其层内深海相泥岩与页岩夹层所封盖。

北北海盆地有 15.4% 的油气资源储存在上侏罗统中, 上侏罗统储层是最重要的剩余勘探目标层之一, 将来可能会在隐蔽性岩性、构造油气藏以及组合油气藏圈闭等方面有重要发现^[13,14]。2001 年默里福斯盆地外侧发现的 Buzzard 上侏罗统深水油气田就属于此种类型。上侏罗统地层主要保存在裂谷系统的地堑区, 顶部埋藏深度为 2 000~5 000 m 海底面以下, 厚度可达 3 000 m。上侏罗统储层为浅海相 Fulmar 组和 Piper 组, 深海相的 Magnus 砂岩段和 Brae 组及海岸三角洲相的 Sognefjord 和 Fensfjord 组。上侏罗统油气藏性质主要被晚侏罗世到早白垩世裂谷的进一步演化和衰退所控制。深海相盆底扇和浅海相陆坡裙砂岩是质量最好的储层, 在维京地堑、中央地堑和默里福斯地堑系统均有分布, 体现了沉积环境和构造演化之间密切的关系^[15]。这 3 个地堑中均有一定数量的油气储藏在侏罗统中, 默里福斯盆地 57.1% 的油气储藏在侏罗统中。

已经证实第三系为北北海盆地具有重要价值的油气储集层之一, 并发现了一批油气田, 如安德鲁、莫林、罗蒙德、科德、奥丁、海姆达尔和巴特尔等油田和气田。所有这些油田的砂岩储集层均是

古新统和始新统一系列的水下扇复合体。由于新生代是相对快速的沉积阶段, 沉积的砂岩和页岩厚达 3 500 m, 主要为分布在盆地边缘不连续的碎屑楔, 古新统浊积扇储集层, 其分布模式复杂, 导致其中油气的分布变化很大, 这种复杂性是水下扇储集层变化的基本特征。古新统和早始新统泥岩和粉砂岩为区域性盖层。

3 南北海盆地石油地质条件

3.1 烃源岩

南北海盆地最大的石炭系含油气系统的源岩是上石炭统威斯特伐利亚煤系。这套煤系地层分布广泛, 从英国岸外延伸到德国西部, 呈东西向展布, 除南部和北部地区受后期抬升被剥蚀外, 其他地区仅局部剥蚀(图 7)。上石炭统威斯特伐利亚期沉积的这套厚的煤系地层, 主要为三角洲相炭质页岩和煤, 为易于生气的 III 型干酪根, 沉积总厚度可达 3 000 m, 单个煤层厚度一般 <1 m, 大部分地区煤层累计沉积厚度达几十米, TOC 含量为 75%^[16]。这是南北海盆地成为西北欧海域重要产气区的重要条件。南北海盆地 700 多个油气藏的气主要或完全源自于该煤系, 包括 Leman、Indefatigable 等大气田。

下石炭统的狄南阶和上石炭统的纳谟尔阶页岩也是南北海盆地重要的烃源岩。侏罗系土阿

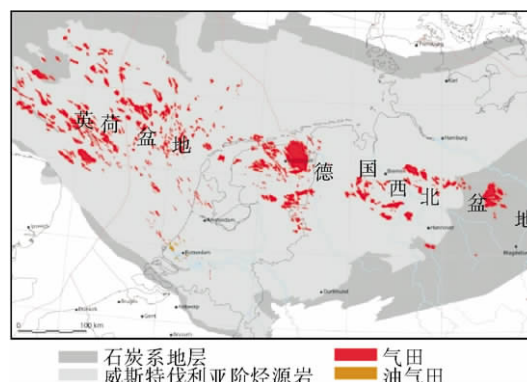


图 7 南北海盆地威斯特伐利亚阶烃源岩及其为源岩的油气田分布(据文献[17])

Fig. 7 The petroleum province in southern North Sea Basin with locations of fields and accumulations charged by the Westphalian Coal Measures (from reference [17])

辛阶海相 Posidonia 页岩是该盆地德国部分的主要生油岩,页岩层平均厚度 25 m,干酪根丰富,为 II 型,TOC 含量平均为 8%。

上石炭统威斯特伐利亚阶煤系在北海盆地整个区域上沉积环境和源岩性质都非常相似,但受后期构造运动影响,使得不同地区油气的生成、运移和聚集情况有很大不同。

3.2 储盖条件

根据 IHS^[12] 数据统计,北海盆地 86.1% 的天然气储存在二叠系赤底统砂岩中。晚二叠世海西造山运动后期,地壳热沉降最终导致北海盆地的形成^[18,19],赤底统砂岩不整合地上覆于上石炭统煤系之上,构成北海盆地内重要的储集层。赤底统砂岩储集层由互层的风成相、河流相、萨布哈相以及水淹作用引起的再沉积砂岩组成,以风

成相砂岩储集物性最好。在英国为 Leman 组,在荷兰为 Slochteren 组。渗透率高达 $1 \sim 1\,000$ mD,孔隙度可达 10%~24%。地层厚度从西向东加厚,英荷盆地中莱曼砂岩组平均厚度为 200 多米,在德国西北盆地平均厚度 600~800 m 范围内,最厚可达 1 800 m。

上二叠赤底统砂岩的沉积终止于蔡希斯坦统的海侵作用。在海进环境下沉积的蔡希斯坦统盐岩为区域性盖层,其厚度约 450 m。厚层的蔡希斯坦统盐岩对下伏赤底统砂岩内天然气形成有效封盖,从而构成北海盆地最为有利的生储盖组合。北海盆地威斯特伐利亚阶含油气系统事件图反映出虽然煤系产生的油气能在所有岩层中聚集,而形成油气藏的主要控制因素是上覆岩层中是否具有封盖条件(图 8)。无疑,蔡希斯坦统的发育情况对油气藏的形成起关键作用。北海盆

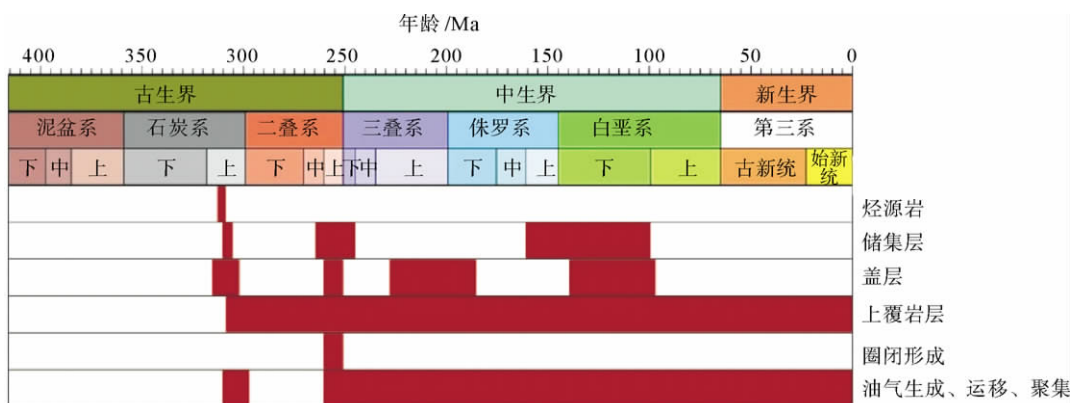


图 8 北海盆地威斯特伐利亚阶含油气系统事件(据文献[17]修改)

Fig. 8 Events of Westphalian petroleum system in the southern North Sea Basin (modified from reference [17])

地的蔡希斯坦统厚度估计有 $1\,500 \sim 2\,000$ m^[20-22],由于晚二叠世岩运动及侵蚀作用,蔡希斯坦统残留厚度变化很大,盆地中心厚且向盆地边缘减薄(图 9)。英荷盆地大多数油气田位于盆地轴线附近,盆地边缘也发现少量油气田,而在缺少蒸发岩的蔡希斯坦统沉积区,则未发现赤底统油田。

蔡希斯坦统盐岩下层形成的反转断裂背斜圈闭主要是 J_3-K_1 以及 K_2-E_1 两期反转运动造成。盐岩发生塑性流动形成盐相关构造,能有效地减弱断层对盖层的破坏,而盐下部分构造运动产生的断裂与裂缝系统,又为煤系地层中产生的天然气提供了良好的运移通道,有利于天然气的聚集成藏。

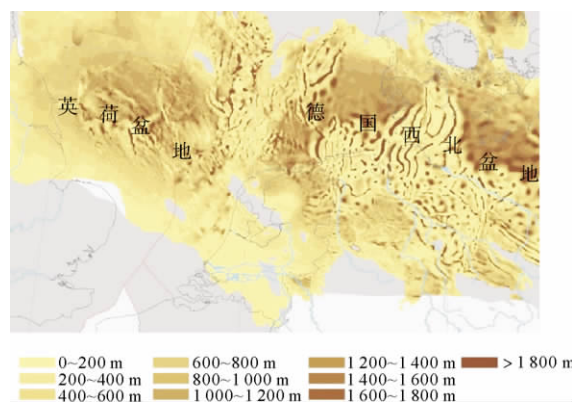


图 9 北海盆地蔡希斯坦统厚度(据文献[17]修改)

Fig. 9 Thickness of the Zechstein Series in the southern North Sea Basin (modified from reference [17])

南北海盆地的其他重要储层还包括德国西北盆地,德国部分发育的中侏罗统和下白垩统浅海相砂岩(Lias 和 Dogger 序列),孔隙度平均 20%,渗透率平均 145 mD。该储层以及第三系油气藏以下白垩统页岩为主要盖层。

4 结论

(1)北海油气区油气分布最主要特点是北油南气,更准确地说是北部油气俱丰,以油为主,南部则以气为主。北海一半以上的油气资源集中在储量>5 亿桶的大油气田中。

(2)晚基末利阶—晚里亚赞阶基末利黏土组是北北海盆地最重要的烃源岩,它形成了北北海盆地多套含油气系统。北北海盆地最重要的储层是下侏罗统斯塔福约德砂岩以及中侏罗统布伦特高渗透性砂岩,主要分布在北部的维京地堑和霍达台地。北海北部一半以上的油气资源储存在该层系。北北海盆地中部(中央地堑)的油气主要分布在上白垩系到古近系灰岩、砂岩储层中。基末利黏土组分布以及储层分布和厚度是决定油气分布最主要因素。北海的巨量油气聚集在中央地堑和维京地堑的轴线附近,正是由于 2 个地堑发育大量而丰富的成熟生油岩、大面积层状发育良好的储集层以及圈闭构造间距小、运移路程短等有利的石油地质条件。

(3)南北海盆地是以产气为主的二叠纪盆地。上石炭统威斯特伐利亚煤系是最大含油气系统的烃源岩。上二叠赤底统砂岩是最重要储层,北海南部超过 86% 的天然气富集在该层系。蔡希斯坦统蒸发岩是区域性盖层,南北海盆地油气田分布主要受控于蔡希斯坦统的发育。

参考文献:

- [1] 叶德燎,易大同. 北海盆地石油地质与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 潘继平,张大伟,岳来群. 全球海洋油气勘探开发状况与发展趋势[J]. 国土资源情报,2006(7): 1-4.
- [3] Gautier D L. Kimmeridgian Shales Total Petroleum System of the North Sea Graben Province[R/OL]. U. S. G. S. Bulletin 2204-C, 2005, 4. <http://pubs.usgs.gov/bul/2204/c>
- [4] Cooper B S, Barnard P C, Telnaes N. The Kimmeridge clay formation of the North Sea[M]//Katz B J. Petroleum Source Rocks. Springer-Verlag, 1994: 89-110.
- [5] Gormley J R, Buck S P, Chung H M. Oil-source rock correlation in the North Viking Graben[J]. Organic Geochemistry, 1994(22): 403-413.
- [6] Evans D, Armour G A, Bathurst P. The Millennium Atlas: Petroleum Geology of the Central and Northern North Sea[M]. London: The Geological Society, 2003.
- [7] Bowen J M. Exploration of the Brent Province[M]//Morton A C, Haszeldine R S, Giles M R, et al. Geology of the Brent Group. London: The Geological Society Special Publication, No. 61, 1992: 3-14.
- [8] Ziegler P A. Geological Atlas of Western and Central Europe[M]. 2nd ed. Bath: GSL, 1990.
- [9] 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.
- [10] Inglis I, Gerard J. The Alwyn North Field, Blocks 3/9a, 3/4a, UK North Sea[M]//Abbotts I L. United Kingdom Oil and Gas Fields, 25 Years Commemorative Volume. London: Memoir of the Geological Society, No. 14, 1991.
- [11] Johnson A, Eyssautier M. Alwyn North Field and its regional geological context[M]//Brooks J, Glennie K W. Petroleum geology of North West Europe. London: Graham & Trotman, 1987: 963-977.
- [12] IHS Energy. North Sea Basin [DB]. 2009 (unpublished PDF database).
- [13] Johnson H D, Fisher M J. North Sea Plays: Geological Controls on Hydrocarbon Distribution[M]//Glennie K W. Petroleum Geology of the North Sea Basic Concepts and Recent Advances. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1998: 463-547.
- [14] Boldy S A R, Fraser S I. Jurassic subtle traps: Introduction and review[C]//Proceedings of the Petroleum Geology of Northwest Europe. London: Geological Society, 1999.
- [15] 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: Geological Society, 1990.
- [16] 李国玉,金之钧. 世界含油气盆地图集(上,下册)[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [17] Doornenbal J C, Stevenson A G. Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area[M]. Houten: EAGE Publications, 2010.
- [18] Bachmann G H, Hoffmann N. Bildung und Entwicklung des Norddeutschen Rotliegend-Beckens[M]//Plein E.

- Stratigraphie von Deutschland I-Norddeutsches Rotliegend-becken. Frankfurt am Main; Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 1995, 183: 156-169.
- [19] Geluk M C. Stratigraphy and tectonics of Permo-Triassic basins in the Netherland and surrounding areas[D]. Utrecht: Utrecht University, 2005.
- [20] Olsen J C. Tectonic evolution of the North Sea region. [M]// Brooks J, Glennie K W. Petroleum Geology of North West Europe. London: Graham and Trotman, 1987, 389-401.
- [21] Wagner R. Stratigraphy and development of the Zechstein Basin in Poland[J]. Prace Pań stwowego Instytutu Geologicznego, 1994, 146: 1-71.
- [22] Taylor J C M. Upper Permian-Zechstein[M]// Glennie K W. Petroleum Geology of the North Sea-Basic concepts and recent advances. Oxford: Blackwell, 1998: 174-212.

OIL AND GAS DISTRIBUTION PATTERN AND PETROLEUM GEOLOGICAL CONDITION OF THE NORTH SEA BASIN

YANG Jinyu, YANG Yanqiu, ZHAO Qingfang, ZHANG Feifei

(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: Based on the data from IHS database 2009, this paper analyzed the hydrocarbon resources distribution pattern in the North Sea Basin by counting up the numbers and reserves of oil and gas fields as well as giant oil and gas fields in different geological units and reservoirs. More than half of the hydrocarbon resources are preserved in the giant oil and gas fields over 5 billion barrels of oil equivalent. The northern North Sea Basin is rich in both oil and gas, but dominated by oil, while the southern North Sea is predominated by gas. The analysis of the petroleum geological condition shows that there are several petroleum systems developed in the North Sea Basin. The hydrocarbon distribution in the northern North Sea Basin is mainly controlled by of source and reservoir rocks. The Kimmeridge Clay Formation is the most important source rock, and the middle and lower Jurassic and the upper Permian System are the richest reservoirs which contains more than half of the reserves of the northern North Sea Basin. The Upper Carboniferous Westphalian coal is the source rock of the largest petroleum system of the Basin, and the most important reservoir is the Upper Permian Rotliegendian sandstone which stores more than 86% gas reserves in the southern North Sea Basin. The gas distribution is largely controlled by the availability of the regional cover of the Zechstein Series.

Key words: North Sea Basin; hydrocarbon distribution; petroleum geological condition; petroleum system