

文章编号:1001-6112(2012)01-0057-05

渤海湾盆地南堡凹陷 烃源岩地球化学特征与地质意义

刚文哲¹, 仵岳¹, 高岗¹, 马乾², 庞雄奇¹

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249;

2. 中国石油天然气股份有限公司 冀东油田分公司 石油勘探开发研究院, 河北 唐山 063004)

摘要:通过对渤海湾盆地南堡凹陷烃源岩地球化学特征的多参数精细描述和对比研究认为,沙三段有效烃源岩厚度大,有机碳含量高达2.5%~8%,以II₁和I型有机质为主,处于成熟—高成熟阶段,为好的有效烃源岩;沙一段有机碳含量1.2%~2.3%,有机质类型以II₂和III型为主,为好的有效烃源岩。东三段有机碳含量0.2%~2.6%,以II₂型有机质为主,处于成熟演化阶段,为较好的有效烃源岩。因此,预测南堡凹陷勘探有利方向:第一类为紧邻以II₁和I型有机质烃源岩为主的生烃凹陷分布的南堡1-2号构造和南堡3-4号构造;第二类为紧邻以II₂和I型有机质烃源岩为主的生烃凹陷分布的高尚堡构造—柳赞构造;第三类是紧邻以II₂和III型有机质烃源岩为主的生烃凹陷分布的老爷庙构造—北堡构造和南堡5号构造。

关键词:地球化学特征;古近系;有利勘探区带;南堡凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Geochemical features and geologic significances of source rocks in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

Gang Wenzhe¹, Wu Yue¹, Gao Gang¹, Ma Qian², Pang Xiongqi¹

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Research Institute of

Petroleum Exploration and Development, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063004, China)

Abstract: Fine description and comparative study of the geochemical features of source rocks in the Nanpu Sag of the Bohai Bay Basin have been made according to multiple parameters. It has been concluded that effective source rocks in the 3rd member of the Shahejie Formation are regarded as excellent effective hydrocarbon source rocks thanks to big thickness and high organic abundance (2.5%–8%). They are mainly of II₁ and I organic types, and are in mature and over mature stages. Effective source rocks in the 1st member of the Shahejie Formation are regarded as good ones since the organic abundance ranges from 1.2% to 2.3%, and the organic types are dominated by II₂ and III. Effective source rocks in the 3rd member of the Dongying Formation are regarded as relatively good ones of mature stage since the organic abundance ranges from 0.2% to 2.6%, and the organic type is dominated by II₂. 3 regions favorable for exploration in the Nanpu Sag have been pointed out. 1) Structures Nanpu1–2 and 3–4 close to hydrocarbon generation sags dominated by types II₁ and I source rocks. 2) Structures Gaoshangpu and Liuzan close to hydrocarbon generation sags dominated by types II₂ and I source rocks. 3) Structures Laoyemiao–Beipu and Nanpu5 close to hydrocarbon generation sags dominated by types II₂ and III source rocks.

Key words: geochemical feature; Paleocene; favorable exploration region; Nanpu Sag; Bohai Bay Basin

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,是新生代发育起来的北断南超的箕状生油凹陷,面积为1 932 km²,其中滩海地区面积为1 100 km²。凹陷整体上呈现“四凹三凸”的特征(图1)^[1-5],主要发育第

三系东营组东三段(Ed³)、沙河街组沙一段(Es¹)、沙三段(Es³)3套烃源岩层系。沙一段烃源岩发育于半深湖相,为深灰色泥岩,厚度200~300 m,分布广泛,为南堡凹陷的有效烃源岩。东三段烃源岩

收稿日期:2011-08-25;修订日期:2011-11-13。

作者简介:刚文哲(1965—),男,博士,副教授,从事油气地质化与油气地质科研与教学。E-mail: gwz@cup.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05006-006)资助。

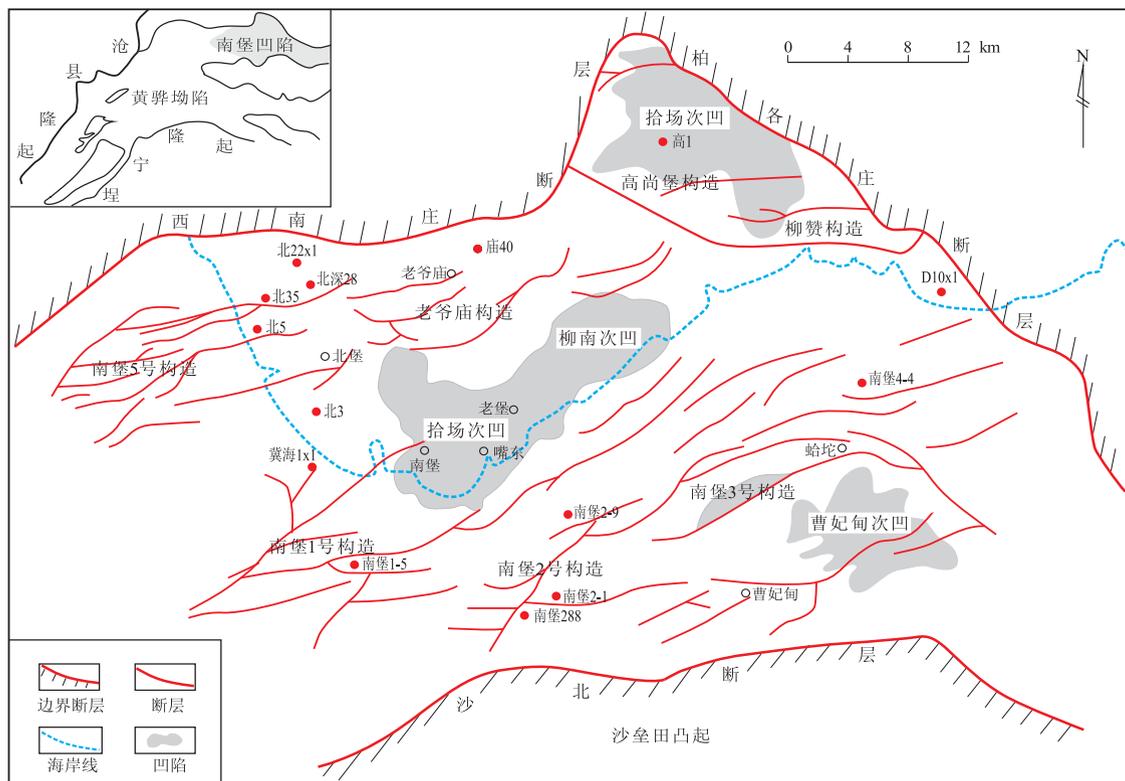


图1 渤海湾盆地南堡凹陷区域位置及地质简图

Fig. 1 Tectonic location and geologic map of Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

为深灰色湖相泥岩,暗色泥岩厚度在 600 m 左右,主要分布在林雀次凹南部和曹妃甸北部地区,其次是高柳断层南侧地区。沙三段烃源岩发育在深湖相中,为一套优质烃源岩地层,具有很高的有机质丰度^[6-7]。平面上,厚层暗色泥岩主要分布在高柳断层的北部和凹陷的中部,呈东西向条带状展布,其厚度也可达 300 m 以上(图 2)。勘探实践表明,南堡凹陷油气资源丰富,油气丰度较高^[8-14]。对南堡凹陷烃源岩进行精细评价,确定其分布及特征,是确定勘探新方向和新领域的基础。本文应用研究区 30 口井的 107 个测试实验数据,对南堡凹陷烃源岩的地球化学特征进行了细致的分析研究,预测南堡 1-2 号构造等是下一步的有利勘探方向。

1 有机质丰度与分布特点

从南堡凹陷单井剖面(图 2)中可以看出,烃源岩普遍达到生油标准,有机碳含量普遍大于 0.5%,氯仿沥青“A”含量大于 0.05%。

纵向上,以第三系沙河街组沙三段和东营组的东三段有机碳含量最高,其中,有机碳含量大于 0.4% 的样品数分别占到 60% 和 94% (图 2)。

东三段有机碳含量主要分布在 0.03% ~ 7.8% (样品数为 813 个),均值约为 1.15%,其中,低于

0.4% 的样品数仅占 6% 左右。沙一段有机碳含量主要分布在 0.05% ~ 5.31% (样品数为 281 个),均值约为 0.97%,其中,低于 0.4% 的样品数仅占 9% 左右。沙三段有机碳含量主要分布在 0.04% ~ 8.78% (样品数 472 个),均值约为 1.32%,其中,低于 0.4% 的样品数仅占 40% 左右。

从不同层段的有机碳含量均值对比分析(图 3)可见,研究区沙三段有机碳含量均值较高,其次为东三段和沙一段。因此,古近系下部烃源岩明显好于上部。

平面上,有机碳分布特征显示东三段主要存在 2 个高值区,分别位于林雀次凹和曹妃甸次凹附近,其中,林雀次凹高值区分布范围尤为广泛,有机碳含量一般在 1.5% 以上。沙一段有机碳含量高值区与浅层东三段分布位置大体相当。沙三段有机碳含量高值区则主要位于林雀次凹附近。

2 有机质类型与特征

有机质丰度决定了烃源岩生烃物质含量的多少,有机质类型决定了一套烃源岩最终到底能生成油气比例的多少。根据研究区有机质显微组分划分结果,有机质类型主要为 II₂ 型和 II₁ 型,少量 I 型。其中东三段主要为 II₂ 型,少量 II₁ 型和 III

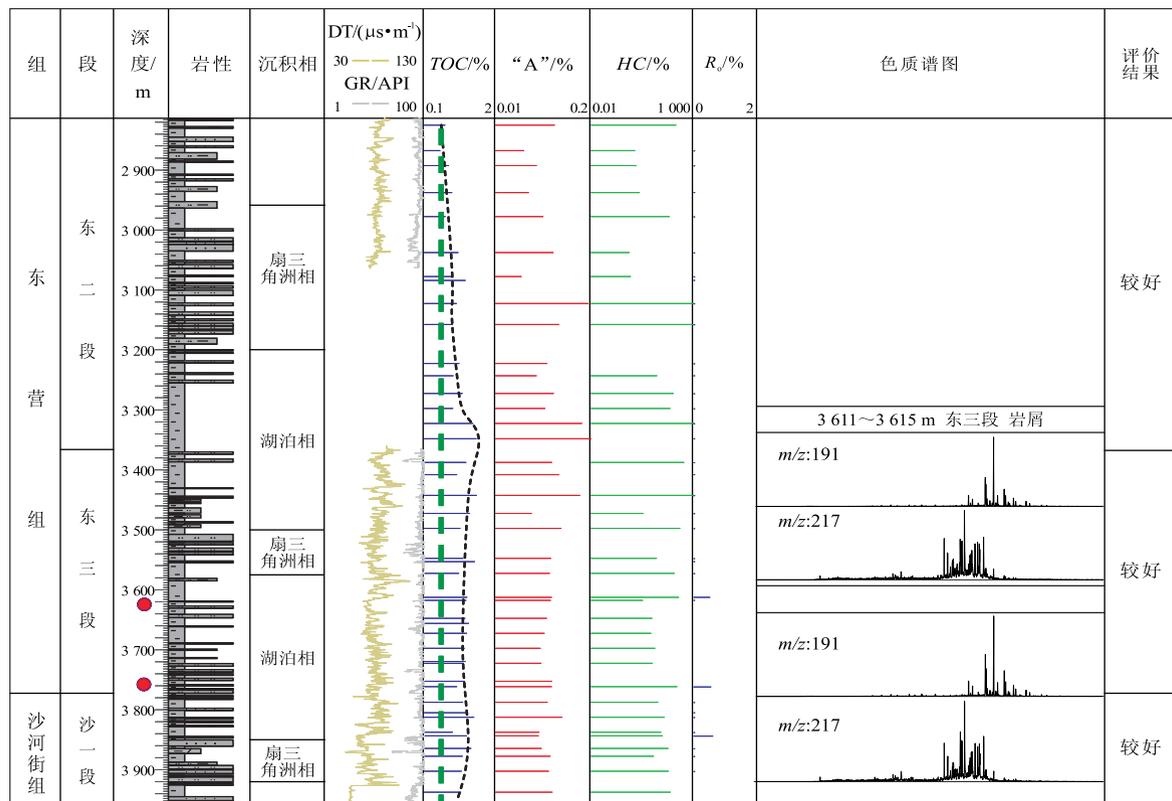


图 2 渤海湾盆地南堡凹陷南堡 1-5 井生油岩综合评价单井柱状图

Fig. 2 Synthetic column chart of organic matter abundance and maturity parameters of well Nanpu 1-5 in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

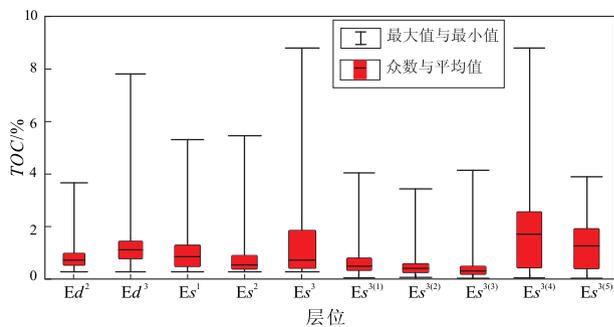


图 3 渤海湾盆地南堡凹陷不同层段烃源岩 TOC 含量最大值—最小值对比

Fig. 3 Maximum and minimum values of TOC of source rocks from different layers in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

型;沙一段以 II₂ 型和 III 型为主,仅个别为 I 型;沙三段以 II₂ 型和 III 型为主,仅个别为 I 型。沙三段有机质类型较好,其次为东三段和沙一段(图 4)。

从不同层段的泥岩干酪根同位素比值来看(图 5),东三段泥岩干酪根比值主要分布在 -24.5‰ ~ -27.5‰,主峰在 -25‰ ~ -27‰;沙一段泥岩干酪根比值主要分布在 -22‰ ~ -26.5‰,主峰在 -24.5‰ ~ -26.5‰;沙三段泥岩干酪根比值主要分布在 -22‰ ~ -27.5‰,主峰在 -24.5‰ ~ -26‰。不同层段泥岩干酪根碳同位素组成显示,东三段以 II₁ 型和 II₂

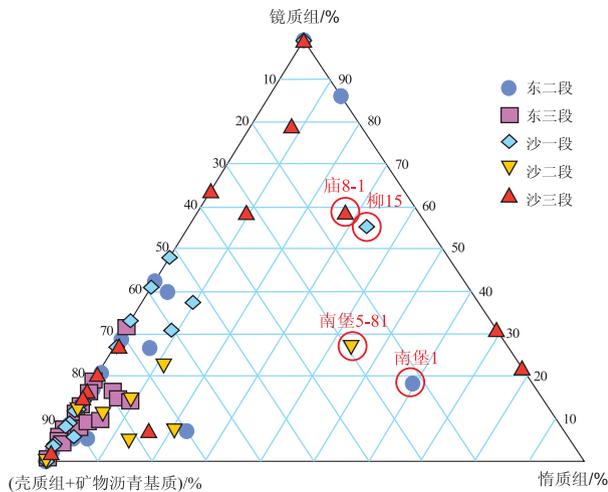


图 4 渤海湾盆地南堡凹陷烃源岩有机质显微组分组成三角图

Fig. 4 Triangular figure of hydrocarbon maceral in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

型为主;沙一段以 II₂ 型为主,部分为 II₁ 型和 III 型;沙三段以 II₂ 型为主,部分为 II₁ 型和 III 型。

同样,岩石热解参数表明,东三段氢指数(I_H)主要分布在 0 ~ 500 mg/g 范围内,有机质类型主要为 II₁ 型和 II₂ 型,少量 III 型;沙一段 I_H 主要分布在 0 ~ 400 mg/g 范围内,有机质类型以 II₁ 型、II₂ 型和

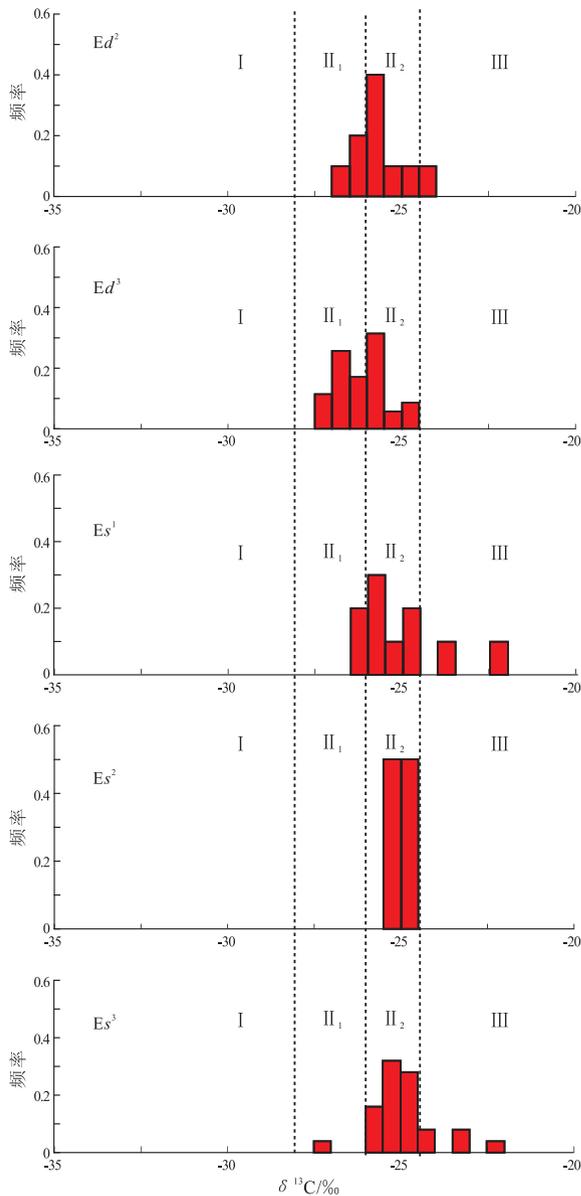


图5 渤海湾盆地南堡凹陷干酪根碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$)特征

Fig. 5 $\delta^{13}\text{C}$ frequency distribution of Paleogene in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

III型为主,仅个别为I型;沙三段 I_{H} 分布范围在0~600 mg/g,有机质类型以II₂型和III型为主,仅个别为I型。沙一段有机质类型较好,其次为东三段和沙三段。

3 有机质成熟度演化

南堡凹陷烃源岩实测镜质体反射率(R_0)主要分布在0.25%~1.75%范围内(图6), R_0 分布深度在2 000~5 500 m。据此推测石油生成高峰对应深度应在4 200 m左右。

平面上,在不同构造带, R_0 随地层埋深增加而增大的速率存在一定差别(表1)。北堡油田烃

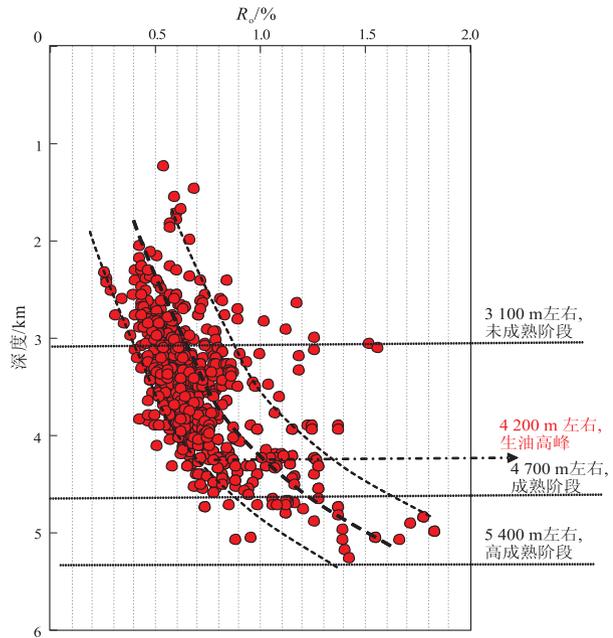


图6 渤海湾盆地南堡凹陷暗色泥岩 R_0 与深度关系

Fig. 6 Relationship between R_0 of dark mudstone and burial depth in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

源岩在2 900 m以后 R_0 值才达到0.5%,进入生烃门限;2 900~5 000 m进入成熟阶段,生烃高峰深度在4 500 m,大于5 000 m进入高一过成熟阶段。老爷庙油田烃源岩在2 900 m以后 R_0 值才达到0.5%,进入生烃门限;2 900~4 000 m进入成熟阶段。柳赞地区在2 600 m深度时 R_0 值达0.5%,并且随着深度增加而逐渐增大;2 600~3 900 m进入成熟阶段。高尚堡地区在埋深2 900 m时 R_0 值达0.5%,进入生烃门限;2 900~5 100 m进入成熟阶段,生烃高峰深度在4 750 m,大于5 100 m进入高成熟阶段。滩海地区在3 000 m进入生烃门限,3 000~4 100 m进入低成熟阶段,生烃高峰深度为4 600 m,大于4 900 m进入高一过成熟阶段。

4 地质意义

南堡凹陷是一个典型的陆相淡水湖泊沉积盆地,形成了半深湖—深湖相暗色泥岩和油页岩等优质烃源岩,发育了沙三段、沙一段、东三段3套有效烃源岩,油气资源丰富。勘探的关键是精细评价不同类型的烃源岩特征及分布。上述不同地区烃源岩地球化学特征纵、横向对比分析表明,沙三段有效烃源岩厚度最大,集中在100~400 m,主要分布在凹陷中部及北部;主要为II₁和I型有机质,有机碳含量高达2.5%~8%,处于成熟—高成熟阶段,为极好的有效烃源岩。沙一段有效烃源岩沉积中心集中在凹陷的中央部位,有效烃源岩厚度集中在50~

表 1 渤海湾盆地南堡凹陷不同区带有有机质演化程度与深度关系
Table 1 Relationship between organic matter evolution and burial depth in different areas of Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

有机质演化阶段	全区	柳赞	高尚堡	老爷庙	北堡	滩海
未成熟	<3 100	<2 600	<2 900	<2 900	<2 900	<3 000
低成熟	3 100 ~ 4 000	2 600 ~ 3 900	2 900 ~ 4 200	2 900 ~ 4 000	2 900 ~ 3 900	3 000 ~ 4 100
成熟	4 000 ~ 4 700		4 200 ~ 5 100		3 900 ~ 5 000	4 100 ~ 4 900
生烃高峰	4 200		4 750		4 500	4 600
高一过成熟	>4 700		>5 100		>5 000	>4 900

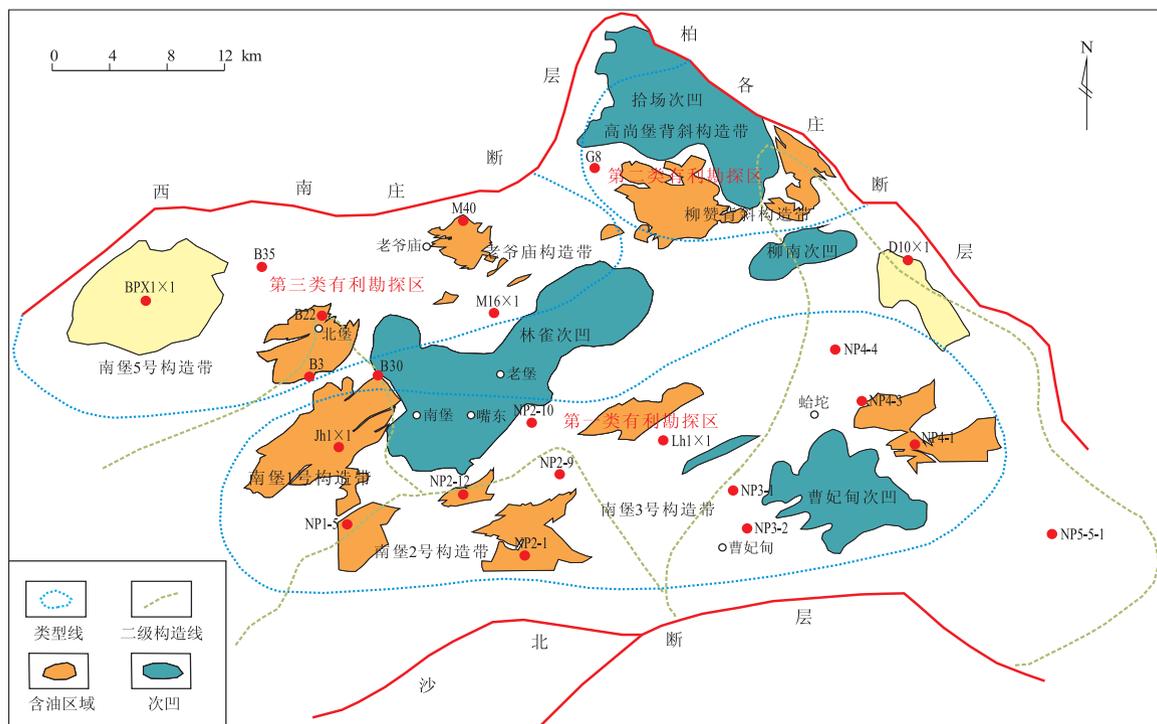


图 7 渤海湾盆地南堡凹陷有利勘探区带划分

Fig. 7 Division of favorable exploration zones in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

250 m,最大厚度超过 300 m;有机质类型以 II₂ 和 III 型为主,有机碳含量一般在 1.2% ~ 2.3%,处于生油高峰期,为好的有效烃源岩。东三段有效烃源岩全区均有分布,厚度范围集中在 50 ~ 200 m,最大厚度超过 250 m;有机质类型以 II₂ 型为主,有少量 II₁ 型和 III 型,有机碳含量一般为 0.2% ~ 2.6%,处于成熟演化阶段,为较好的有效烃源岩。因此,南堡凹陷勘探有利方向可以分为 3 类(图 7):第一类主要分布于南堡 1-2 号构造和南堡 3-4 号构造。该类构造紧邻以 II₁ 和 I 型有机质为主的极好有效烃源岩的生烃凹陷,是油气勘探最有利区;第二类主要分布于高尚堡构造—柳赞构造,紧邻以 II₁ 和 II₂ 型有机质为主的好的有效烃源岩的生烃凹陷,是油气勘探有利区;第三类主要分布于老爷庙构造—北堡构造、南堡 5 号构造,紧邻以 II₂ 和 III 型

有机质为主的较好烃源岩的生烃凹陷,该类构造油气的横向运移距离大于 10 km,纵向运移距离小于 1 km,是油气勘探次有利区。

参考文献:

- [1] 刘蕴华,周海民,熊保贤,等. 南堡凹陷的含油气系统分析[J]. 石油与天然气地质,2000,21(4):364-366.
- [2] 周天伟,翟瑞国. 渤海湾盆地南堡凹陷构造样式成因与控油作用试验研究[J]. 石油天然气学报,2008,30(2):10-14.
- [3] 万涛,蒋有录,董月霞,等. 南堡凹陷 1 号构造带油气成藏研究[J]. 石油天然气学报,2011,33(8):26-30.
- [4] 李宏义,姜振学,董月霞,等. 冀东油田南堡 2 号构造古潜山成藏条件及模式[J]. 断块油气田,2010,17(6):678-681.
- [5] 徐德英,周江羽,王华,等. 渤海湾盆地南堡凹陷东营组地层水化学特征的成藏指示意义[J]. 石油实验地质,2010,32(3):285-289.

物,二者具类似的地球化学特征;另一类酸性岩与玄武岩来自不同的源区,这时酸性岩的比例较大,酸性岩与玄武岩通常具有不同的地球化学特征^[5],酸性岩是地壳深熔作用的产物。

已有资料表明^[11],在新元古代早期扬子陆块处于拉张的大地构造背景,沿扬子古陆块周缘的晋宁期造山带形成一系列裂谷。从同位素年龄可知,裂陷作用可能始于距今 900 Ma。结合罗迪尼亚超大陆演化过程,可认为发生在扬子陆块新元古代早期(距今 900 ~ 800 Ma)的裂陷作用及其沉积物可能代表着罗迪尼亚超大陆裂解初期的产物。扬子北缘的裂解事件,如南秦岭武当地区、随(州)一枣(阳)地区中发育基性岩墙群。武当地区基性岩墙群 Sm-Nd 全岩等时年龄为(782 ± 164) Ma、角闪石⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为(694.4 ± 21) Ma;随一枣地区基性岩墙群的辉石⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为(750 ± 4) ~ (743 ± 12) Ma。武当地区基底岩系之上以不整合关系沉积了南华纪耀岭河群火山—沉积岩系,其中的火山岩以基性岩为主,岩石地球化学显示为裂谷火山岩。

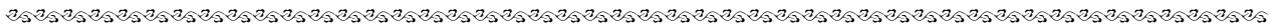
本文所研究的苏北盆地海州群中火山岩为富碱、富钠的双峰值火山岩,海州群中石英角斑岩与板内碱性玄武岩的 MORB 标准化模式相似度较大。石英角斑岩和细碧岩富集 LREE、具不同的稀土元素球粒陨石标准化分布模式(图 6),表明石英角斑岩和细碧岩来自不同的源区,石英角斑岩是地壳深熔作用的产物。王秀丽等^[12]获得海州群上部云台组的碎屑锆石年龄值(3 个云母石英片岩样品)主要集中于 800 ~ 740 Ma 之间;全岩初始

$\epsilon_{Nd}(800 \text{ Ma})$ 值变化在 -12.8 ~ -8.8 之间,两阶段亏损地幔 Nd 模式年龄为 2.1 ~ 2.4 Ga,认为海州群云台组的沉积时代可能为新元古代,晚于 740 Ma 左右。从上述资料可见,海州群形成于非造山张性环境,产于裂陷槽,是与晚元古代罗迪尼亚超大陆裂解有关的岩浆作用的产物。

参考文献:

[1] 樊金涛. 苏北海州双峰式火山岩稀土组成及其成因[J]. 地球化学, 1994, 23(S1): 182-191.
 [2] 樊金涛. 苏北海州群细碧角斑岩系的成因[J]. 中国区域地质, 1995(2): 118-124.
 [3] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
 [4] 周建波, 郑永飞, 李龙. 大别—苏鲁超高压变质带内部的浅变质岩[J]. 岩石学报, 2001, 17(1): 39-48.
 [5] 王焰, 钱青, 刘良, 等. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J]. 岩石学报, 2000, 16(2): 169-173.
 [6] 陈骏, 王鹤年. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [7] 高长林, 秦德余, 吉让寿, 等. 扬子板块北部古被动大陆边缘的地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1991, 10(4): 330-338.
 [8] 黄泽光, 高长林. 秦岭—大别造山带北侧盆地序列及油气前景[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 25-32.
 [9] 黄泽光, 方成名, 杨潇, 等. 东秦岭—大别造山带及两侧古生代构造环境与油气意义[J]. 石油实验地质, 2009, 31(2): 142-147.
 [10] 何治亮, 程喆, 徐旭辉, 等. 东秦岭—大别及两侧大地构造旋回与油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2009, 31(2): 109-118.
 [11] 黄泽光, 高长林, 陆永德, 等. 东秦岭及邻区显生宙古海洋与盆地原型序列[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
 [12] 王秀丽, 陈福坤, 李秋立, 等. 苏鲁超高压造山带海州群锆石年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 2005, 26(S1): 125.

(编辑 徐文明)



(上接第 61 页)

[6] 赵彦德, 刘洛夫, 张枝焕, 等. 南堡凹陷古近系层序地层格架中烃源岩分布与生烃特征研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 1078-1084.
 [7] 郑红菊, 董月霞, 朱光有, 等. 南堡凹陷优质烃源岩的新发现[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 385-391.
 [8] 梅玲, 张枝焕, 王旭东, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷原油地球化学特征及油源对比[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(6): 40-46.
 [9] 赵彦德, 刘洛夫, 张枝焕, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷滩海地区奥陶系原油油源分析[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 265-272.
 [10] 范泓澈, 黄志龙, 庞雄奇, 等. 南堡凹陷古近系深层烃源岩分布特征及厚度预测[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2): 21-25.
 [11] 李素梅, 姜振学, 董月霞, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷原油成因类型及其分布规律[J]. 现代地质, 2008, 22(5): 818-823.
 [12] 朱光有, 张水昌, 王拥军, 等. 渤海湾盆地南堡大油田的形成条件与富集机制[J]. 地质学报, 2011, 85(1): 97-112.
 [13] 梅玲, 张枝焕, 范有余, 等. 南堡凹陷 E₃⁴ 段烃源岩有机地球化学特征及其油源贡献[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(6): 961-967.
 [14] 贾齐山, 李胜利, 马乾, 等. 冀东油田南堡凹陷南堡 2 号构造带烃源岩地球化学特征与油源对比[J]. 地质力学学报, 2006, 12(4): 469-475.

(编辑 韩 或)