

文章编号: 1001-6112(2010)03-0270-06

渤海湾盆地东营凹陷 有效烃源岩矿物组成特征及其意义

李志明, 余晓露, 徐二社, 蒋宏, 席斌斌, 杨琦

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:渤海湾盆地东营凹陷有效烃源岩 X 射线衍射分析结果表明, 沙三下和沙四上亚段有效烃源岩主要由石英、长石、粘土(伊利石和伊/蒙混层)和碳酸盐(方解石和白云石)组成, 并含少量黄铁矿、石膏、石盐以及钙芒硝, 表明这 2 套烃源岩沉积于半深湖及深湖相咸化、碱性、强还原水体; 伊/蒙混层矿物的混层比可以较真实地反映烃源岩成熟度特征。2 套有效烃源岩矿物组成特征与高产页岩气的页岩矿物组成特征相似, 富含脆性矿物而低含粘土矿物, 有利于产生裂缝, 易于被压裂, 也有利于页岩气的开采。东营凹陷利津洼陷和民丰洼陷的主洼区, 应是页岩气勘探与开发的有利地区。

关键词: 矿物组成; 有效烃源岩; 地质意义; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

THE CHARACTERISTICS OF MINERAL COMPONENTS FOR EFFECTIVE SOURCE ROCKS FROM DONGYING DEPRESSION OF BOHAI BAY BASIN AND ITS SIGNIFICANCE

Li Zhiming, Yu Xiaolu, Xu Ershe, Jiang Hong, Xi Binbin, Yang Qi

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: The results of X-ray diffraction of effective source rocks in Dongying Depression of the Bohai Bay Basin show that the main mineral components of effective source rocks for $E_s^{3(F)}$ and $E_s^{4(U)}$ are quartz, feldspar, clay (illite and illite-smectite), carbonate (calcite and dolomite); the minor mineral components are pyrite, gypsum, anhydrite, mineral salt and brongniartine. This suggests that both source rocks are deposited in moderate deep or deep lacustrine facies with brinish, alkalic and strength reduction water body. The percent of smectite in illite-smectite (%S) of effective effective source rocks can quite truly reflect the thermal maturity of source rocks. The characteristics of mineral components for both source rocks are similar to the shale with high production of shale gas, that is rich in brittle minerals and lower in clay mineral. This means both source rocks in Dongying Depression are favorable to form fracture and can be fractured easily, and are also favorable to produce shale gas. The favorable places for prospecting and developing shale gas in Dongying Depression are at the main sag of Lijin and Minfeng.

Key words: mineral components; effective source rocks; geological significance; Dongying Depression; Bohai Bay Basin

东营凹陷是渤海湾盆地济阳拗陷东南部的一个次级凹陷, 是中国东部最富油的凹陷之一^[1], 已有的研究结果^[1-6]表明东营凹陷的原油主要源自沙三下亚段($E_s^{3(F)}$)和沙四上亚段($E_s^{4(U)}$)烃源层, 说明 $E_s^{3(F)}$ 和 $E_s^{4(U)}$ 烃源岩为东营凹陷的有效烃源岩。其中 $E_s^{3(F)}$ 烃源层主要由深灰色、灰黑色

泥岩、钙质泥岩、褐灰色油页岩或泥页岩组成, 属于深湖、半深湖沉积; $E_s^{4(U)}$ 烃源层以灰褐色钙质页岩、灰色、深灰色和黑色泥岩为主, 夹薄层白云岩、泥质白云岩等, 属浅湖一半深湖沉积^[7]。众多学者对这些有效烃源岩的有机地球化学特征^[1-8]和有机显微组分特征^[9]进行了详细的研究, 为烃源岩评

收稿日期: 2009-10-22; 修订日期: 2010-04-23。

作者简介: 李志明(1968-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事地球化学研究与石油地质综合评价。E-mail: mqzhml@sohu.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科学技术研究开发项目(P05038, P08060)资助。

价、油源对比提供了依据。本文试图通过有效烃源岩矿物组成特征的系统研究,对其蕴含的地质意义进行分析,为进一步烃源岩的评价提供依据。

1 样品采集与分析方法

本次研究样品(46 件)取自东营凹陷的有效烃

源岩层段,即 $Es^{3(下)}$ 和 $Es^{4(上)}$ 烃源岩,均为钻井岩心样品(表 1)。利用 Bruker D8S X 射线衍射仪对烃源岩样品进行了粘土矿物总量和常见非粘土矿物 X 射线衍射定量分析(依据 SY/T6210—1996)、粘土矿物相对含量 X 射线衍射分析(依据 SY/T5163—1995)和伊利石/蒙脱石间层矿物 X 射线

表 1 渤海湾盆地东营凹陷有效烃源岩矿物组成

Table 1 The table showing the components of minerals of effective source rocks in Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

井号	岩性	井深/m	层位	全岩矿物组成/%											
				粘土	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	硬石膏	石盐	黄铁矿	钙芒硝	石膏
纯 371	黑色页岩	2 748.2	$Es^{4(上)}$	14	37.5	0	3	21	18	1.5	1	0	0	0	4
纯 371	黑色页岩	2 757.8	$Es^{4(上)}$	3	16	0	2	74	1	0	2	0	0	0	2
纯 372	灰黑色页岩	2 606	$Es^{4(上)}$	2	16	0	0.5	78.5	0	0	2	0	0	0	1
丰 8	泥岩	3 947	$Es^{4(上)}$	25	23	2	8	5	20	0	4	8	2	2	1
丰 8	灰色泥岩	3 131.5	$Es^{4(上)}$	23	37	2	4	28	2	3	0	0	1	0	0
丰 8	黑色泥岩	3 403.4	$Es^{4(上)}$	32	46	1	3	10	4	3	1	0	0	0	0
丰深 1	黑色泥岩	3 762.8	$Es^{4(上)}$	23	46	1	3	18	1	5	1	0	2	0	0
丰深 1	黑色泥岩	4 025.9	$Es^{4(上)}$	19	28	5	10	6	27	0	4	0	1	0	0
丰深 1	黑色泥岩	3 686.6	$Es^{4(上)}$	11	40	0	1	41	6.5	0	0	0	0.5	0	0
河 88	盐间泥岩	3 384.6	$Es^{4(上)}$	14	22	0	10	25	20	1	0	5	1	0	2
河 88	黑色泥岩	3 045.5	$Es^{4(上)}$	25	45	3	4	16	3	3	0	0	1	0	0
菜 108	褐灰色泥岩	2 477.6	$Es^{4(上)}$	5	25	0	1	68	0	0	0	0	1	0	0
菜 64	黑色泥岩	3 795	$Es^{4(上)}$	26	44	1	4	13	10	0	0	0	1	0	1
菜 64	黑色泥岩	3 457.5	$Es^{4(上)}$	14	28	0	2	49	4	0	0	2	1	0	0
菜 64	粉砂质泥岩	3 667	$Es^{4(上)}$	16	58	1	8	15	0.5	1	0	0	0.5	0	0
梁 242	黑色泥岩	2 433.7	$Es^{3(下)}$	15	35	1	3	43	1	0	0	0	2	0	0
梁 242	页岩	2 918.8	$Es^{3(下)}$	30	41.5	0	4	12	9	1.5	0	0	2	0	0
牛 301	灰褐色泥岩	2 786.5	$Es^{3(下)}$	30	48	3	4	12	0	2.5	0	0	0.5	0	0
牛 33	深灰色泥岩	3 141	$Es^{3(下)}$	12	37	0	3	42	5	0	0	0.5	0.5	0	0
牛 33	灰黑色泥岩	3 041	$Es^{3(下)}$	17	32	3	9	28	3	2	1	4.5	0.5	0	0
史 121	黑色泥岩	3 529.4	$Es^{3(下)}$	44	45.5	1	1	1.5	1	3	0	2	1	0	0
史 121	黑色泥岩	3 287.3	$Es^{3(下)}$	46	49	0		31.5	0	0	0	0	0.5	0	0
史 122	黑色泥岩	3 406.5	$Es^{3(下)}$	23	65	0	2	7	0	2.5	0	0	0.5	0	0
史 128	黑色泥岩	2 794.8	$Es^{3(下)}$	20	58	3	6	9	1	1	2	0	0	0	0
史 128	黑色泥岩	3 065.2	$Es^{3(下)}$	19	60	1	5	8	1.5	3	0	1.5	0	1	0
史 129	黑色页岩	3 259	$Es^{3(下)}$	20	48	2	2	20	5	3	0	0	0	0	0
王 78	黑色页岩	3 732.6	$Es^{3(下)}$	23	35.5	1	1	29	8	0	0	0.5	2	0	0
王 78	黑色页岩	3 905.2	$Es^{4(上)}$	7	23	0	1.5	57	11	0	0	0	0.5	0	0
辛 163	深灰色泥岩	2 840.4	$Es^{3(下)}$	22	46	2	6	13	7	1.5	0	2	0.5	0	0
辛 165	深灰色泥岩	2 900.5	$Es^{3(下)}$	18	68	0	7	4	2	0.5	0	0	0.5	0	0
辛 165	灰黑色泥岩	3 020	$Es^{3(下)}$	36	42	1	2	3	10	5	0	0	1	0	0
营 891	黑色泥岩	3 056.6	$Es^{3(下)}$	22	53	0	4	12	4	3	0	0	2	0	0
营 891	深灰色泥岩	3 193.2	$Es^{3(下)}$	22	23	0	3	25	23.5	0	1	1.5	1	0	0
营 921	黑色泥岩	3 159.1	$Es^{3(下)}$	13	50	0	2	34	0	0	0	0.5	0.5	0	0
营 93	灰色泥岩	2 556.2	$Es^{3(下)}$	25	43		14	18	0	3	1	3	2	0	0
营 93	灰色泥岩	2 663.2	$Es^{3(下)}$	18	68	2	4.5	4	0.5	2	0	1	0	0	0
营 93	褐色页岩	2 865.2	$Es^{3(下)}$	12	56	2	10	14	3	0	1.5	1.5	0	0	0
博 11	灰黑色泥岩	2 061	$Es^{4(上)}$	20	28	0	3	26	10	2	1	1	2	1	6
博 16	灰黑色泥岩	1 712	$Es^{4(上)}$	27	47.5	0	2	8	2	3	0	0.5	4	3	3
官 111	灰色泥岩	1 968.5	$Es^{3(下)}$	27	47	0	5	7	2.5	4	1	0	2	2	2.5
官 111	灰色泥岩	1 976	$Es^{3(下)}$	25	37.5	3	8	3.5	15	2	2	0	3	0	1
利 371	褐灰色泥岩	1 980	$Es^{4(上)}$	22	46	2	2	21	2	1	1	0	3	0	0
通 29	褐色页岩	2 098	$Es^{4(上)}$	35	28	3	8	5	6	1.5	1	0	5	1.5	6
王 33	褐色页岩	1 993	$Es^{4(上)}$	26	40.5	3	5	10	2	2	3	0	1.5	2	5
王 35	褐色页岩	2 052.4	$Es^{4(上)}$	33	41	1	5	0	5	2	1	0	2	3	7
王 35	褐色页岩	2 161	$Es^{4(上)}$	25.5	33	7	5	5	11	2	2	0	1	2.5	6

衍射鉴定(依据 SY/T5983—1994)。检测条件如下:靶型:Cu;滤波片:石墨;起始角: $2^\circ(2\theta)$;终止角: $32^\circ(2\theta)$;扫描速度:0.5 秒/步;步长: $0.02^\circ(2\theta)$;管流:1 000 Ma;管压:40 kV;狭缝:发散、散射狭缝均为 1 mm;接受狭缝为:0.2 mm。另外对部分样品进行了扫描电镜(仪器 SEM—XL30)和能谱(仪器 EDX—INCA)分析,分析依据分别为 GB/T18295—2001 和 SY/T6189—1996。

2 有效烃源岩矿物组成特征

东营凹陷 $E_s^{3(F)}$ 和 $E_s^{4(L)}$ 有效烃源岩的粘土矿物总量和常见非粘土矿物组成列于表 1 和图 1, 2, 粘土矿物相对含量和伊利石/蒙脱石间层矿物的混层比(%S)如图 3, 4 所示。由表 1 和图 1, 2, 3 可见, 东营凹陷有效烃源岩主要由碎屑矿物(石英、斜长石、钾长石)、粘土矿物(伊利石和伊/蒙混层等)、碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿)组成, 另外大部分烃源岩尚含有少量黄铁矿, 个别样品含有少量膏盐(硬石膏和石膏)、石盐以及钙芒硝。

2.1 碎屑矿物

由表 1 可见, $E_s^{3(F)}$ 和 $E_s^{4(L)}$ 有效烃源岩中, 碎屑矿物的组成特征基本一致, 主要碎屑矿物为石英, 次为斜长石, 少量钾长石, 碎屑矿物的总量主要介于 20%~60% 之间, 其中石英的含量主要为 20%~50%, 斜长石的含量为 2%~8%, 钾长石的含量一般小于 3%。同时, 由表 1 和图 1 可见, 碎屑矿物含量与深度之间不存在相关性, 反映碎屑矿物主要源于沉积母源, 成岩自生矿物的贡献不大, 2 套烃源岩的沉积物源基本一致, 并且反映出内陆湖盆沉积的沉积特征。

2.2 碳酸盐矿物

研究表明, 泥岩中碳酸盐矿物含量较高应是湖相泥质沉积物的特征之一^[10]。东营凹陷 $E_s^{3(F)}$ 和 $E_s^{4(L)}$ 有效烃源岩均不同程度地含有碳酸盐矿物, 并且碳酸盐矿物的组成和含量基本一致, 主要由方解石组成, 次为白云石, 部分含有少量菱铁矿(表 1), 碳酸盐矿物总量一般在 10%~50% 之间, 个别大于 60%。其中方解石含量主要介于 5%~50%, 白云石的含量一般介于 0%~20%, 菱铁矿的含量一般小于 5%, 并且碳酸盐矿物组成和含量与深度之间无规律性关系(表 1, 图 1)。这些数据表明, $E_s^{3(F)}$ 和 $E_s^{4(L)}$ 有效烃源岩主要沉积于较深的半深湖及深湖相带中, 与前人地质地球化学研究结果^[7]相吻合。

2.3 粘土矿物

由表 1 可见, $E_s^{3(F)}$ 和 $E_s^{4(L)}$ 有效烃源岩的粘

土矿物的总量基本一致, 均主要介于 10%~30%, 粘土矿物总量的变化与深度之间无规律性关系(图 1), 反映烃源岩中粘土矿物总量受沉积碎屑粘土总量控制, 这与扫描电镜观察结果一致。粘土矿物总量与其它主要组成矿物的相关图解(图 2)表明, 粘土矿物总量与方解石呈显著负相关性, 与石英含量呈弱正相关性, 而与斜长石、白云石含量无相关性, 进一步说明现今有效烃源岩中粘土矿物的总量主要受控碎屑物源的组成特征与沉积环境。

如图 3 所示, 2 套有效烃源岩的粘土矿物组成也一致, 主要由伊利石和伊/蒙混层组成, 次为高岭石, 另含少量绿泥石, 个别含少量绿/蒙混层, 在研究样品中均未检测到蒙脱石。其中伊利石相对含量介于 12%~65%, 伊/蒙混层相对含量介于 26%~85%, 随烃源岩埋藏深度的增大, 伊利石相对含量逐渐增高, 而伊/蒙混层相对含量逐渐降低; 同时蒙脱石层占伊/蒙混层的 10%~70%, 并随埋藏深度的增大而发生规律性降低(图 4); $E_s^{4(L)}$ 有效烃源岩中高岭石相对含量一般小于 8%, 而 $E_s^{3(F)}$ 有效烃源岩中高岭石相对含量稍高些, 一般在 5%~16%; 绿泥石相对含量一般均低于 4%。另外, 高岭石和绿泥石的相对含量与埋深之间无规律性变化(图 3)。根据世界不同地区、不同深度钻孔对蒙脱石、伊利石相对丰度变化的研究, 证实随埋藏深度的增加, 蒙脱石向伊利石转化。实验研究也证明, 蒙脱石不能简单地通过离子交换转变成伊利石, 原因为蒙脱石是一种典型的以水合阳离子及水分子作为层间物的 3:1 型粘土矿物, 随着埋深的增加、温度的升高、压力的加大, 蒙脱石将有一部分层间水脱出, 造成某些层间塌陷, 导致了晶格的重新排列和碱性阳离子的吸附, 首先形成伊/蒙混层矿物, 进而转变为伊利石。一般认为蒙脱石向伊/蒙混层矿物转换的深度应在 1 200~3 500 m 之间, 并且蒙脱石向伊利石转化的重要条件是孔隙水为碱性介质, 如果孔隙水为酸性, 蒙脱石则将向高岭石转换^[11]。由此, 可以推断 2 套烃源岩中伊利石和伊/蒙混层主要由蒙脱石经成岩演化而成, 而高岭石和绿泥石则主要来源于沉积物源。从实测结果分析, 东营凹陷蒙脱石向伊/蒙混层矿物转换的深度应在 1 500 m 左右, 烃源岩孔隙水应为碱性介质。

2.4 其它矿物

在东营凹陷 2 套有效烃源岩的部分样品中均不同程度地含有硬石膏、石膏与石盐矿物(表 1), 这反映其沉积水体属咸水湖水。据扫描电镜观测, 石膏往往沿层面分布, 呈团块状; 硬石膏则主要充

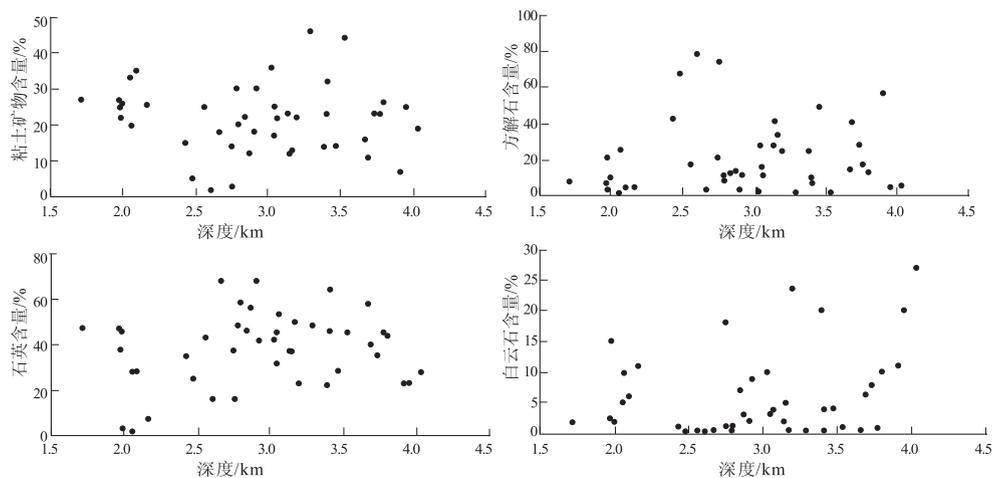


图 1 渤海湾盆地东营凹陷不同深度段有效烃源岩主要矿物含量

Fig. 1 The contents of main minerals of effective source rocks at various depths in the Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

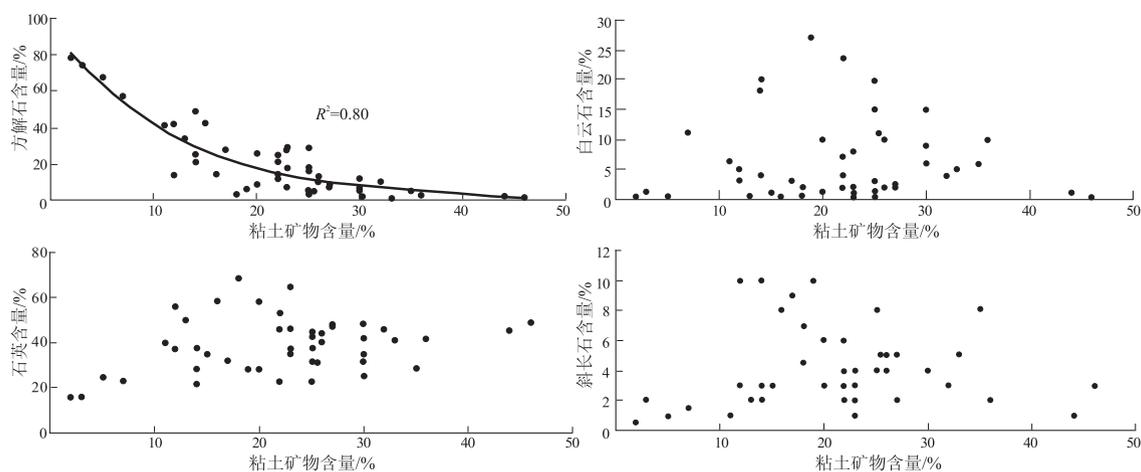


图 2 渤海湾盆地东营凹陷有效烃源岩粘土矿物含量与其它主要矿物含量的关系

Fig. 2 The diagram between contents of clay mineral and other main minerals of effective source rocks in the Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

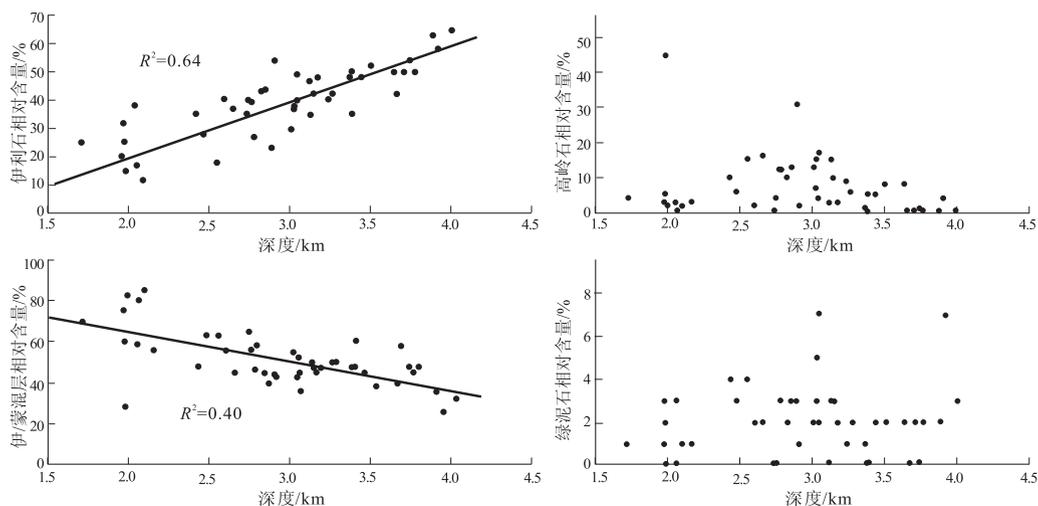


图 3 渤海湾盆地东营凹陷不同深度有效烃源岩主要粘土矿物相对含量

Fig. 3 The relative contents of main clay minerals of effective source rocks at various depths in the Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

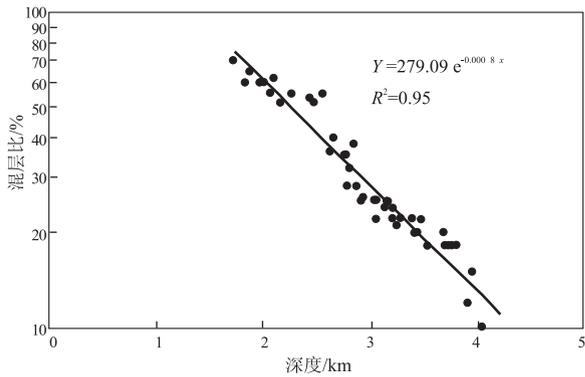


图 4 渤海湾盆地东营凹陷不同深度有效烃源岩粘土矿物伊/蒙混层比

Fig. 4 The percent of smectite in illite-smectite of effective source rocks at various depths in the Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

填于层理或页理中,垂直页理生长;石盐则自形晶粒和块状发育。另外,大部分烃源岩均含有黄铁矿,可达 5%,扫描电镜观测显示黄铁矿呈草莓状集合体产出,说明 2 套烃源岩沉积于缺氧的强还原环境。

3 地质意义

已有研究表明,东营凹陷有效烃源岩($E_s^{4(上)}$ — $E_s^{3(下)}$)镜质体反射率存在不同程度的抑制^[1,12-14],故实测的镜质体反射率实际上不能真实地反映烃源岩的成熟度。由东营凹陷有效烃源岩镜质体反射率与深度关系(图 5)可见,现今埋深 1 500 m 的烃源岩其镜质体反射率仅为 0.30% 左右,埋深 3 000 m 的烃源岩其镜质体反射率为 0.5% 左右,而埋深为 4 000 m 的烃源岩其镜质体反射率也仅为 0.80% 左右。而利用 FMM 技术重新厘定后成熟度与深度的对应关系为:埋深 1 500, 2 700, 3 750, 4 000 m 左右的烃源岩的真实成熟度分别为 0.5%, 0.70%, 1.0% 和大于 1.1%^[15]。前面的分析已指出,2 套烃源岩的伊/蒙混层矿物主要由蒙脱石经成岩演化而成,并且蒙脱石层占伊/蒙混层的百分率与深度之间具有显著的相关性(图 4),埋深 2 000, 2 750, 4 000 m 的烃源岩其蒙脱石层占伊/蒙混层的百分率分别为 60%, 35%, 15% 左右。有机质热演化与伊/蒙混层矿物的混层比关系研究结果表明,混层比 70%, 40%, 15% 时所对应的有机质成熟度分别为 0.35%, 0.70%, 1.25%^[11]。对比分析可见,东营凹陷有效烃源岩伊/蒙混层矿物的混层比基本上可以较真实的反映烃源岩成熟度特征。在东营凹陷利津洼陷和民丰洼陷的主洼区, $E_s^{4(下)}$ 有效烃源岩的埋藏深度均大于 4 000 m,最深处超过 4 500 m,意味着其成熟度应处于高成熟阶段。

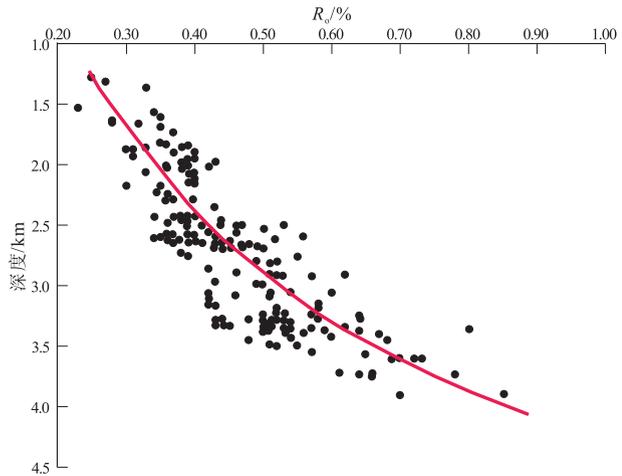


图 5 渤海湾盆地东营凹陷有效烃源岩镜质体反射率与深度关系

Fig. 5 Diagram showing relationship between vitrinite reflectance and depth of effective source rocks in the Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

另外,近年来随着页岩气在北美等地区勘探与开发的快速发展,在我国也日趋受到关注。国外页岩气的勘探与开发实践表明,控制页岩气藏的因素可以分为内部因素和外部因素;内部因素是指页岩本身的因素,主要包括有机质类型及含量、成熟度、裂缝、孔隙度和渗透率、矿物组成、厚度等;外部影响因素也较多,但对于具体的页岩气藏来说,主要包括深度、温度与压力等^[16]。东营凹陷 $E_s^{3(下)}$ 和 $E_s^{4(上)}$ 2 套有效烃源岩有机质丰度高、有机质类型以腐泥和偏腐泥混合型为主,页岩发育,其中 $E_s^{4(上)}$ 暗色泥岩厚度 250~350 m,页岩厚度为 40~120 m; $E_s^{3(下)}$ 暗色泥岩厚度一般在 300 m 以上,页岩厚度为 150~200 m。2 套烃源岩主体处于成熟阶段,部分已进入高成熟演化阶段^[1,13-15,17]。地球化学等参数对比表明,东营凹陷具备形成工业性页岩气的物质基础,与北美地区页岩具有较好的可比性^[17]。

大多数页岩含有很多的粘土,然而著名的页岩气产层——Barnett 页岩的粘土含量并不高。在寻找 Barnett 型页岩气藏时,勘探工作者必须寻找可以被压裂的页岩,这些页岩中粘土含量小于 50%,能被成功压裂。X 射线衍射分析表明,页岩气产层的页岩主要矿物组成为石英、粘土和碳酸盐^[18]。气体的生产速度依赖于裂缝的发育程度,而裂缝发育程度取决于页岩的矿物组成,故页岩的矿物组成在很大程度上影响着页岩气的产能^[16],脆性矿物(如石英、长石、碳酸盐矿物等)富集的泥页岩比主要由粘土矿物等构成的岩石更容易产生裂缝^[18-19]。

东营凹陷 2 套有效烃源岩矿物组成特征研究

表明(表1),2套有效烃源岩以高含碎屑矿物(石英和长石)和碳酸盐矿物(方解石、白云石和菱铁矿)而较低粘土矿物总量(一般小于30%)为特征,脆性矿物总量一般在50%~90%之间,平均高达74%。东营凹陷2套有效烃源岩不仅具备形成工业性页岩气的物质基础,并且矿物组成特征与高产页岩气的页岩矿物组成特征相似,富含脆性矿物而低含粘土矿物。显然有利于产生裂缝,易于被压裂,这样也有利于页岩气的开采,尤其在东营凹陷利津洼陷和民丰洼陷的主洼区,Es^{4(F)}有效烃源岩已处在高成熟演化阶段,其应是页岩气勘探与开发的有利地区。

4 结论

1)东营凹陷沙三下和沙四上亚段2套有效烃源岩基本具有相似的矿物组成特征,主要由碎屑矿物(石英、斜长石、钾长石)、粘土矿物(伊利石和伊/蒙混层为主)、碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿)组成,另外大部分烃源岩尚含有少量黄铁矿,个别样品含有少量膏盐(硬石膏和石膏)、石盐以及钙芒硝。矿物组成特征表明2套烃源岩沉积于半深湖及深湖相咸化、碱性、强还原的水体中。

2)2套烃源岩中伊利石和伊/蒙混层主要由蒙脱石经成岩演化而成,蒙脱石向伊/蒙混层矿物转换的深度应在1500m左右,烃源岩孔隙水应为碱性介质;同时,伊/蒙混层矿物的混层比基本上可以较真实地反映烃源岩成熟度特征。

3)2套有效烃源岩不仅具备形成工业性页岩气的物质基础,并且矿物组成特征与高产页岩气的页岩矿物组成特征相似,富含脆性矿物而低含粘土矿物,有利于产生裂缝,易于被压裂,有利于页岩气的开采,尤其在东营凹陷利津洼陷和民丰洼陷的主洼区,沙四下亚段有效烃源岩已处在高成熟演化阶段,其应是页岩气勘探与开发的有利地区。

参考文献:

- [1] 张林晔,刘庆,张春荣. 东营凹陷成烃与成藏关系研究[M]. 北京:地质出版社,2005:1-187.
- [2] 刘庆. 东营凹陷东辛油田油源分析和成藏过程研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(3):263-270.
- [3] 刘伟. 东营凹陷沙河街组烃源岩结构对排烃及成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2005,12(5):30-32.
- [4] 孙永壮. 东营凹陷南斜坡地层油藏成藏规律[J]. 油气地质与采收率,2006,13(4):52-54.
- [5] 周建林. 胜坨整装油田成藏模式和油气勘探[M]. 东营:石油大学出版社,2004:33-50.
- [6] 刘华,蒋有录,杨万琴,等. 东营凹陷中央隆起带油源特征分析[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):39-43.
- [7] 朱光有,金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化学特征研究[J]. 沉积学报,2003,21(3):506-512.
- [8] 谭丽娟,蒋有录,苏成义,等. 东营凹陷博兴地区烃源岩和油源特征[J]. 石油大学学报(自然科学版),2002,26(5):1-4.
- [9] 李佩珍,张学军,黄蓉,等. 低熟烃源岩的有机岩石学描述及研究[J]. 沉积学报,1997,15(2):169-172.
- [10] 苗建宇,祝总祺,刘文荣,等. 济阳坳陷古近系一新近系泥岩孔隙结构特征[J]. 地质论评,2003,49(3):330-336.
- [11] 赵澄林,朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社,2001:117-124.
- [12] 谢明举,邱楠生. 东营凹陷镜质体反射率异常的无机作用探讨[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2005,20(5):12-16.
- [13] 郭汝泰,王建宝,高喜龙,等. 应用激光探针技术评价烃源岩成熟度:以东营凹陷生油岩研究为例[J]. 自然科学进展,2003,13(6):626-630.
- [14] 李志明,徐旭辉,秦建中,等. 镜质体反射率抑制与烃源岩质量关系:以渤海湾盆地东营凹陷烃源岩为例[J]. 石油实验地质,2008,30(3):276-280.
- [15] 李志明,关德范,徐旭辉,等. 有效泥质油源岩有机碳丰度评价标准研究:以东营凹陷为例[J]. 石油实验地质,2009,31(4):379-383.
- [16] 聂海宽,唐玄,边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报,2009,30(4):484-491.
- [17] 张林晔,李政,朱日房,等. 济阳坳陷古近系存在页岩气资源的可能性[J]. 天然气工业,2008,28(12):26-29.
- [18] MANGER K C, CURTIS J B. Geological influences on location and production of Antrim shale gas [J]. Devonian Gas Shales Technology Review, 1991,7(2):5-16.
- [19] 李新景,胡素云,程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发,2007,34(4):392-400.

(编辑 黄娟)