

东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩岩相类型及特征

张 顺¹, 陈世悦¹, 崔世凌², 龚文磊¹, 于景强², 鄢继华¹, 邵鹏程¹, 刘 姚¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田物探研究院, 山东东营 257022)

摘要:通过岩心观察描述、薄片鉴定、X射线衍射分析、激光共聚焦显微镜分析等技术,以直观反映岩相间差异为原则,综合矿物成分、层理构造、有机质丰度、颜色以及其他混入物等因素,对东营凹陷沙三—沙四段半深湖—深湖细粒沉积岩进行岩相类型划分。结果表明:东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩发育9种岩相类型,根据有机质含量对其中较发育的6种类型进一步细分为11个亚类;相对发育的富有机质纹层状灰岩、中有机质纹层状混合细粒岩、富有机质页状黏土岩、富有机质页状灰岩以及贫有机质块状混合细粒岩等5种岩相类型在宏观及微观特征、测井响应特征及发育环境等方面具有差异性;各岩相的平面分布特征反映了半深湖—深湖内部沉积环境的差异。

关键词:东营凹陷;半深湖—深湖;细粒沉积岩;岩相;测井响应

中图分类号:TE 121.3 **文献标志码:**A

引用格式:张顺,陈世悦,崔世凌,等. 半深湖—深湖细粒沉积岩岩相类型及特征[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2014,38(5):9-17.

ZHANG Shun, CHEN Shiyue, CUI Shiling, et al. Characteristics and types of fine-grained sedimentary rocks lithofacies in semi-deep and deep lacustrine, Dongying Sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(5):9-17.

Characteristics and types of fine-grained sedimentary rocks lithofacies in semi-deep and deep lacustrine, Dongying Sag

ZHANG Shun¹, CHEN Shiyue¹, CUI Shiling², GONG Wenlei¹,
YU Jingqiang², YAN Jihua¹, SHAO Pengcheng¹, LIU Yao¹

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. Geophysical Reserch Institute of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257022, China)

Abstract: Combining detailed description of core, thin sections identification, analysis of whole rock X-ray diffraction and scanning electron microscopy technologies, this study sets up a lithofacies classification scheme that is suitable for the fine-grained sedimentary rock in the 3rd and 4th members of Shahejie Formation in the west part of Dongying area. The analyses are based on the direct reflection of lithofacies differences and integrating various factors such as mineral composition, sedimentary structure, organic matter abundance, color and other foreign matters. The results show that there are nine types of lithofacies, and six major types, which can be further divided into 11 sub-types according to their organic content. This study mainly focuses on the five types of facies which are relatively developed, such as organic-rich laminated limestone, organic-rich calcareous interbedded limestone, organic-contained fine-grained mixed sedimentary rocks, organic-lean massive clay stone and organic-rich laminated clay stone. The differences in macroscopic characteristics, microscopic characteristics, log responses and sedimentary microfacies are analyzed. The lateral distribution of lithofacies is shown to reflect the differences in semi-deep and deep lacustrine.

Key words: Dongying Sag; semi-deep and deep lacustrine; fine-grained sedimentary rock; lithofacies; log response

在沉积盆地中,细粒沉积物数量巨大,但目前对深水细粒沉积岩的基础研究尤其是岩相研究还处于

探索阶段。看似简单的细粒沉积其实是砂-泥-灰(云)在岩石和地层的不同岩相组合,与北美海相页岩地层不同,陆相湖盆细粒沉积岩岩相复杂、相变快、非均质性强,且不同岩相储集性能和生烃能力差异较大^[1]。从目前细粒沉积岩的研究程度来看,岩相的研究主要在海相沉积^[2-7];湖相细粒沉积岩的研究主要集中在烃源岩的地球化学特征、湖盆演化特征、泥页岩矿物的组成^[8-11]等方面,岩相的系统划分及特征的细致研究相对匮乏。泥页岩油气是未来一种主要的接替能源^[12],随着湖盆中心油气勘探新领域的开辟,有必要深化湖相深水细粒沉积岩的岩相基础研究,详细解剖泥页岩的岩石类型、组成和结构,从而进一步指导泥页岩油气勘探。笔者以东营凹陷西部地区沙三段—沙四段为例,对半深湖—深湖细粒沉积岩岩相类型及其特征进行研究。

1 沉积背景

东营凹陷是典型的中新生代陆相断陷湖盆,由利津、博兴、牛庄等次级洼陷组成凹陷的主体。古近系由孔店期和沙四期的咸水湖相、沙三期的微咸水—淡水湖相、沙二期河流—三角洲相构成了一个典型的沉积旋回。沙四中晚期—沙三期是东营凹陷强烈断陷期,广泛分布的深水—半深水环境为细粒沉积岩的发育提供了有利的条件与场所。在盆地北部及次级洼陷中部的半深湖—深湖、浊流及近岸水下扇前缘均发育细粒沉积岩,以半深湖—深湖为主。细粒沉积岩主要指粉砂级(粒径为 3.9 ~ 62 μm)和黏土级(粒径小于 3.9 μm)沉积物,其主要成分包含粉砂、黏土矿物、碳酸盐、有机质、炭质等^[13-14];半深湖—深湖细粒沉积

岩岩石类型复杂,包括油田录井中涉及的泥岩、页岩、灰质泥岩、泥质灰岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩以及灰岩和白云岩等。

2 细粒沉积岩岩相划分依据

对于以深灰—灰黑为主要颜色的湖相深水细粒沉积岩,岩相的划分^[15]应将矿物组分作为最重要依据,在此基础上考虑层理构造、有机质含量等特征。

2.1 矿物组分

不同沉积环境的细粒沉积岩在矿物组成上有明显差异,渤海湾盆地新生界陆(湖)相泥页岩钙质含量较高,鄂尔多斯盆地中生界湖相细粒沉积岩石英含量较高^[16]。张善文等^[17]对渤南洼陷古近系 3 套细粒沉积岩的发育特征进行了研究,认为全岩矿物组成均表现出低黏土、高脆性矿物的特征。

东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩主要由碳酸盐、黏土矿物和长英质陆源碎屑矿物组成,此外含少量黄铁矿、菱铁矿等,几乎不含钾长石(表 1)。对利津洼陷(LY1 井)、博兴洼陷(FY1 井、F119 井)、牛庄洼陷(NY1 井)120 个样品点进行全岩 X 衍射,结果显示,碳酸盐质量分数集中在 10% ~ 70%,变化范围较大,主要为隐晶方解石;石英质量分数普遍较高,平均质量分数超过 20%;黏土矿物质量分数为 6% ~ 57%,平均为 33%,低于海相泥岩和传统观点,这可能与湖盆面积相对较小且近物源有关^[10]。对其中的 50 块样品进行黏土矿物 X 射线衍射分析,结果显示,黏土矿物类型主要为伊利石、伊/蒙混层,绿泥石及高岭石含量低。此外,常见介形虫等浮游生物化石,亦常见分散状自生黄铁矿分布于泥岩中^[18]。

表 1 东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩全岩矿物组成

Table 1 Mineral composition of fine-grained sedimentary rock in Dongying Sag

层位	非黏土矿物质量分数 $w/\%$							黏土矿物 质量分数 $w/\%$	
	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	黄铁矿	菱铁矿		
FY1 井	区间	11 ~ 34	0	2 ~ 18	5 ~ 72	1 ~ 31	0 ~ 13	0 ~ 1	10 ~ 54
	平均值	21.27	0	7.93	30.80	9.80	3.00	0.20	27.00
LY1 井	区间	10 ~ 42	0	2 ~ 21	0 ~ 67	2 ~ 71	0 ~ 8	0 ~ 2	11 ~ 54
	平均值	26.07	0	7.60	15.00	13.47	3.13	0.73	34.00
NY1 井	区间	16 ~ 36	0	2 ~ 10	1 ~ 66	2 ~ 61	0 ~ 9	0 ~ 1	6 ~ 51
	平均值	22.67	0	5.17	26.33	14.67	4.33	0.17	26.67
F119 井	区间	20 ~ 33	0	5 ~ 14	0 ~ 22	1 ~ 12	0 ~ 16	0 ~ 2	37 ~ 57
	平均值	24.50	0	7.67	8.00	7.17	7.83	1.00	43.83
总计	区间	10 ~ 42	0	2 ~ 21	0 ~ 72	1 ~ 71	0 ~ 16	0 ~ 2	6 ~ 57
	平均值	23.63	0	7.09	20.03	11.28	4.57	0.53	32.88

2.2 层理构造

沉积岩的原生构造是定名和分析其成因的重要依据^[19]。东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩具有

丰富的层理构造类型。岩心观察可识别的宏观层理构造有块状层理(厚度大于 10 cm)、水平层理、波状层理、交错层理等(图 1)。水平层理按单层厚度又

可划分为页状层理(即页理)和纹理^[13]。王冠民^[11]认为纹层的组合方式、比例和纹层的稳定程度不同,所构成的岩相类型也不同。镜下观察,发育水平层理的细粒沉积岩,主要由方解石(铁白云石)纹层、有机质纹层和黏土纹层组成(图1(a))。

纹层状构造(水平细层厚度小于1 mm)是东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩最为发育的层理构造类型。镜下观察,黏土、炭质、有机质、陆源碎屑等呈定

向排列或呈条带状顺层分布(图1(d)、(f)、(h))。

页状构造(水平细层厚度为1~10 mm)特指页状层理发育的沉积构造类型^[20]。水平细层界限清晰、连续性好,其中页状黏土岩(狭义的页岩)沿层理方向易剥裂、分离(图1(c)、(g))。

通过岩心及显微镜观察,东营凹陷湖相深水细粒沉积岩主要发育纹层状构造、页状构造及少量块状构造,波状层理及交错层理仅在部分样品中可见。

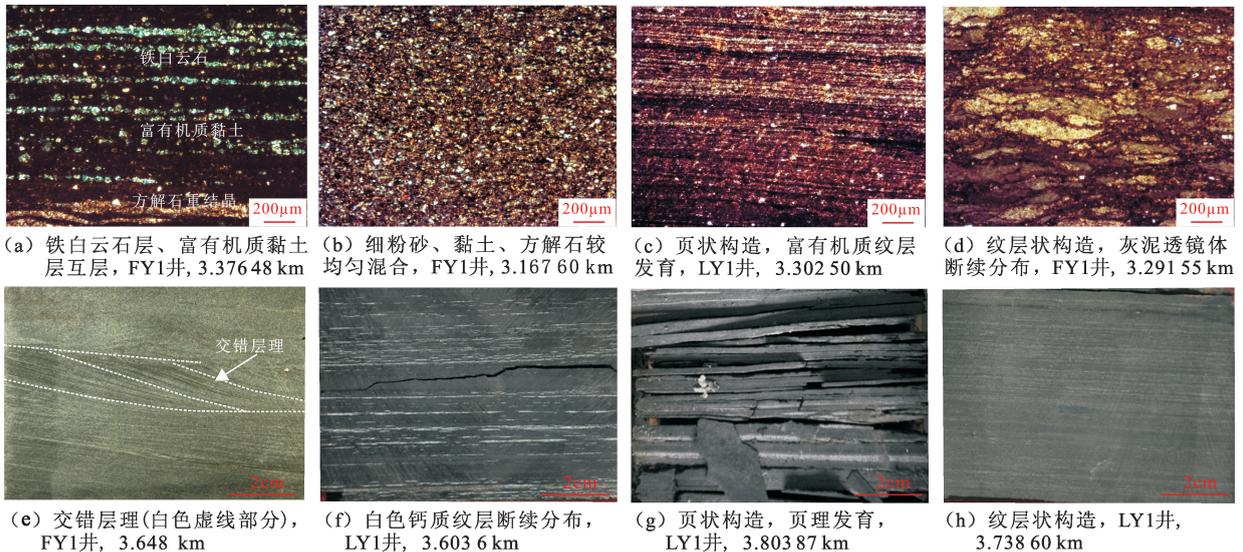


图1 东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩发育的主要层理构造类型

Fig. 1 Major structural types of fine-grained sedimentary rock in Dongying Sag

3 岩相划分方案

细粒沉积岩是复杂的岩石类型组合。针对陆相断陷湖盆细粒沉积岩的岩相划分方案应注意以下几个方面:①要体现细粒沉积岩在矿物组成及宏、微观沉积构造上的多样性;②岩相分类应便于岩相发育机

制的探讨及沉积微环境的研究;③应把握易于鉴别和操作的原理,便于油气勘探工作的实际应用。充分考虑以上条件,本次岩相划分在前人^[20]研究基础上,综合矿物组成、沉积构造、有机质含量、颜色等因素,在沉积成因的限制下,建立一套适合东营凹陷湖相深水细粒沉积岩的多要素岩相命名分类方案(表2)。

表2 东营凹陷西部细粒沉积岩岩相综合命名方案

Table 2 Comprehensive classification naming scheme of fine-grained sedimentary rock lithofacies in western Dongying Sag

细粒沉积物岩石类型	岩相分类	亚类	基本特征
碳酸盐岩	灰岩	富有机质纹层状灰岩	总体深灰色;碳酸盐纹层+泥质纹层
		中有有机质纹层状灰岩	总体深灰色;碳酸盐纹层+泥质纹层
		贫有机质纹层状灰岩	深灰/灰色;碳酸盐纹层+泥质纹层
	页状灰岩	富有机质页状灰岩 中有有机质页状灰岩	白色方解石夹层+灰黑色泥质层(页理欠发育) 白色断续透镜状方解石夹层+灰黑色泥质纹层
白云岩	页状白云岩 块状白云岩		
黏土岩	页状黏土岩	富有机质页状黏土岩 中有有机质页状黏土岩	黑色;页理发育 灰黑色;页理发育
粉砂岩	粉砂岩		主要为较均一块状,次为1~15mm厚的条带状产出
混合细粒岩	纹层状混合细粒岩	中有有机质纹层状混合细粒岩	褐灰/灰色;断续状碳酸盐纹层+泥质纹层
	页状混合细粒岩	中有有机质页状混合细粒岩	
	块状混合细粒岩	中有有机质块状混合细粒岩 贫有机质块状混合细粒岩	灰/浅灰色;偶见断续碳酸盐纹层少量分布

以主要矿物组分的含量为主要依据,把碳酸盐、黏土、长英质矿物作为三端元,以其各自质量分数的50%为界,将细粒沉积岩划分为4类:碳酸盐岩(又可分为白云岩和灰岩)、黏土岩(泥岩)和粉砂岩,随着混入组分含量的增加,则形成过渡岩石类型^[14],暂命名为混合细粒岩,该岩石类型中黏土矿物、碳酸盐矿物以及陆源碎屑矿含量均未大于50%。在此基础上,根据有机质的含量(结合TOC测试结果,暂以TOC含量1.5%~4%为界)将细粒沉积岩划分为“贫有机质细粒沉积岩”、“中有机质细粒沉积岩”以及“富有机质细粒沉积岩”3类,综合考虑宏观沉积构造及微观层理类型对岩相进行划分。

在岩心及镜下观察的基础上,结合TOC测试及X衍射结果可以看出:发育块状构造的细粒沉积岩有机质含量普遍较低,纹层状及页状构造发育的细粒沉积岩中TOC含量普遍大于1.5%,仅有少量断续状纹层发育的岩相呈现出“贫有机质”的特点;细粒沉积岩颜色以深灰、灰、灰黑色为主;有机质含量越高,岩相的主色调越深。这样就克服了特征组合法划分岩相可能存在几百种组合方式的弊端。

4 岩相宏观、微观特征及发育环境

富有机质纹层状灰岩、富有机质页状灰岩、中有机质纹层状混合细粒岩、富有机质页状黏土岩和贫有机质块状混合细粒岩是最为发育的5种岩相类型,约占所有细粒沉积岩相类型的80%,且这5种岩相对于细粒沉积岩的沉积环境有重要的指示意义。

4.1 中有机质纹层状混合细粒岩

中有机质纹层状混合细粒岩是东营凹陷最发育的细粒沉积岩岩相类型,占有细粒沉积岩岩相类型的32%。主要包括灰(云)质泥岩、含灰(云)泥岩以及少量粉砂质泥岩,主要发育在沙三下地层上部及沙四上地层中上部,TOC为1.5%~3.8%。

总体呈灰色,由浅色纹层与暗色纹层在垂向上频繁叠置构成,浅色纹层断续分布,纹层间界限较模糊。镜下观察,浅色纹层主要为隐晶方解石层,由大小不一(3~20 μm)的灰泥透镜体断续组成,局部可见连续性较好的钙质纹层;暗色层主要为有机质含量较高的黏土层。有机质呈分散状、断续纹层状及短线状分布。

该岩相发育于半闭塞、半咸水湖相;发育季节性纹理,冬季湖水分层使底层水处于缺氧环境,沉积富含有机质的黏土层,夏季富含碳酸钙的底层水由于分层消失,发生循环进入表层,形成泥晶方解石沉淀。

测井曲线上表现为“四中、一中或高、一小幅异常”,即中声波时差、中自然伽马、中补偿中子、中补偿密度值,中或高视电阻率值,自然电位小幅度异常。

4.2 富有机质纹层状灰岩

该岩相集中发育于沙三下亚段中下部,占有细粒沉积岩岩相类型的22%。总体呈深灰色,浅色纹层与深色纹层互层,浅色纹层比例较大,界限较清晰;发育构造缝(高、低角度构造缝均发育,普遍将纹层错断,部分裂缝充填方解石)、异常压力缝以及少量层间缝。在构造裂缝不太发育的地区,由成岩收缩造成的层间缝会成为主要的储集空间^[21]。浅色层主要为方解石层,暗色层为富有机质黏土层,层间可见细小石英颗粒半定向分布;激光共聚焦观察可见,有机质赋存方式以顺层状为主(图2)。

富有机质纹层状灰岩是气候潮湿、相对稳定的持续沉降下广阔深湖区的产物。Sr/Ba值总体小于0.5,湖水盐度较小;石英长石含量低而黄铁矿含量较高,反映陆源输入减少的强还原环境,沉积物中有机碳含量相对丰富。

测井曲线上表现为“三高、一中或高、一低、一异常”,即高声波时差、高视电阻率、高补偿中子值,中或高自然伽马值,低补偿密度值,自然电位较明显幅度异常。

4.3 富有机质页状灰岩

富有机质页状灰岩又称为钙片页岩^[20],在LY1、FY1井岩心中最为常见,占有所有岩相类型的10%。X衍射结果显示,其与纹层状灰岩在主要的矿物组分上类似,均呈现低黏土、高钙质含量的特点,含少量黄铁矿。

白色方解石部分呈具有一定厚度的脉状或夹层状(3.0~10.0 mm)产出,垂向上可形成多个白色夹层的似叠瓦状排列。部分岩心截面页理间可见细小植物叶片化石和炭质结核。钙质夹层与纹层间界限清晰易辨。由于钙质夹层与富有机质黏土层在矿物成分及力学性质上差异较大,加之有机质含量高且较为集中,层间缝大量发育(图2),易剥离。镜下观察方解石呈重结晶状态,晶间孔发育;偶尔可见极少量的石英颗粒散布在有机质层内。激光共聚焦观察发现,有机质兼有分散状和顺层富集的特点。

富有机质页状灰岩多是富碳酸盐、富有机质的细粒沉积物在晚成岩期的产物,白色的钙质夹层发育于相对闭塞的还原弱水动力环境;重结晶方解石的发育与碳酸盐含量及有机质丰度均有密切关系。该岩相虽然总体厚度不大(0.1~1.2 m),但在沙三

下层序中下部及沙四上层序中上部出现频繁,沉积环境应与页状黏土岩(黑色页岩)相似,与半咸水湖、咸水湖相环境有关;与纹层状灰岩相比,湖水深度减小,水体较清澈;陆源碎屑输入及外来溶解的碳酸盐影响较小。

富有机质页状灰岩与纹层状灰岩具有相似的测井响应特征,由于页状灰岩中方解石重结晶形成的晶间孔缝更为发育,使得有机质及烃类流体更为富集,页状灰岩的视电阻率值普遍稍高于纹层状灰岩,对应刀锋状高电阻值。

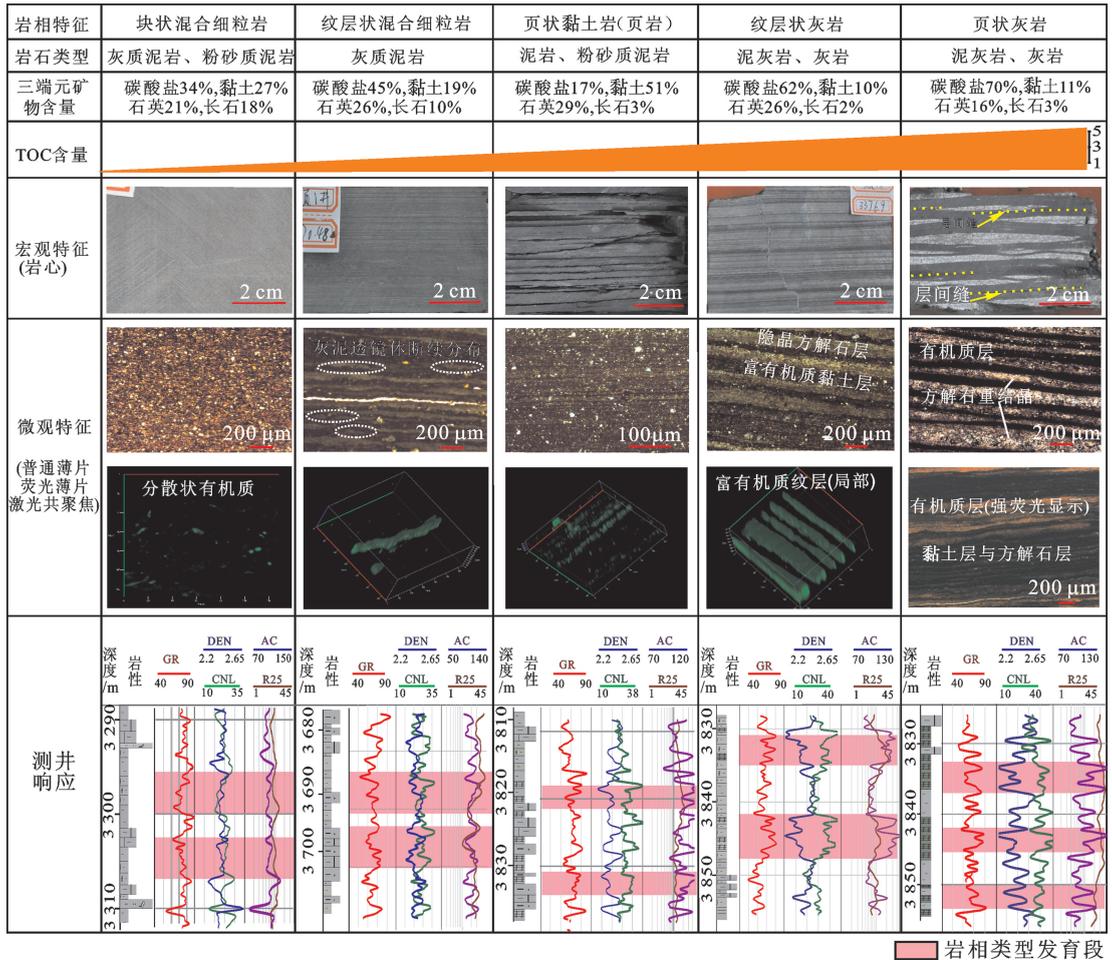


图 2 岩相类型主要特征

Fig. 2 Characteristics of fine-grained sedimentary rock lithofacies

4.4 贫有机质块状混合细粒岩

该岩相主要发育于大套泥页岩发育段的底部及顶部,约占所有岩相类型的 8%。当粉砂质碎屑含量增大时,逐渐向粉砂质泥岩及泥质粉砂岩过渡。TOC 低(1.3% ~ 2%),呈分散状(图 2)、团块状或矿物沥青基质产出。

该岩相灰—深灰色,较均匀块状,除极少量断续纹层外,宏观无层理。部分黄铁矿呈不规则透镜体状产出。长英质矿物、黏土矿物与隐晶碳酸盐矿物相混合,局部见黄铁矿、介形虫碎片、炭屑略定向分布。此外,块状粉砂质泥岩的岩石密度小于块状灰质泥岩。

块状混合细粒岩主要发育在低位体系域及高位体系域,在贫有机质纹层状灰岩段也可见该岩相。

块状的混合细粒岩尤其是粉砂质泥岩,指示水体变淡变浅无分层、陆源输入增强的循环含氧—弱还原环境,有机质不易保存。

贫有机质混合细粒岩测井响应特征为“一高、两中、一低或中、一低、无异常”,即高补偿密度值,中补偿中子、自然伽马值,低或中声波时差值,低视电阻率值,自然电位无异常。

4.5 富有机质页状黏土岩

多数学者^[20-22]将该岩相命名为“黑色页岩”,该岩相所占比例为 8% ~ 10%,主要发育在沙三下、沙四上层序的湖侵体系域。有机质含量 3.8% ~ 6%。通过岩心观察发现其总体上与页状灰岩以及纹层状混合细粒岩以岩相组合的形式出现,作为单一岩相出现时,厚度小于 1.5 m。

颜色黑—灰黑,页理发育,硬度较小多呈薄片状,少部分岩样可见白色钙质纹层稀疏夹于页理间。由富有机质泥质纹层(暗色层)与黏土纹层(较暗色层)组成。纹层特征不明显,界限不够清晰;石英颗粒为粉砂级别,顺层性及定向性较差。

颜色深、有机质丰富,表明湖水为长期缺氧的深水环境,是盐度、温度所造成湖水密度持久分层的结果。该岩相指示冬季湖水分层形成的湖底强还原环境,水体少受扰动,湖中生物遗体可以在这种安静缺氧的还原环境中得以较好的保存, FY1井页状黏土岩页理间常见完整的鱼类化石。

页状黏土岩与页状灰岩往往以岩相组合的形式间或出现在大套泥页岩中,加之常规测井方法的分辨率有限,页状黏土岩在测井曲线上难以进行识别。页状黏土岩较集中出现的细粒沉积岩段,测井曲线起伏幅度介于纹层状混合细粒岩与页状灰岩之间(图2)。

5 细粒沉积岩岩相分布及沉积模式

5.1 主要岩相类型的平面分布特征

以东营凹陷西部为例,在明确古地貌特征及粗碎屑骨架沉积相特征的基础上,总结主要细粒沉积岩岩相类型在平面上的分布特征。

如图3所示,富有机质页状黏土岩分布范围较小,主要发育在靠近洼陷北部陡坡的深洼区;纹层状灰岩及页状灰岩的分布面积较大,主要发育在富有机质页状黏土岩周缘以及南部次洼。纹层状、页状混合细粒岩呈环带状分布在灰岩周围,面积较大;在博兴洼陷,纹层状混合细粒岩主要发育在洼陷北部纯化构造带附近。块状混合细粒岩及粉砂岩、主要分布在靠近物源、浊积岩周缘及断裂带的附近半深湖—滨浅湖过渡区,反映了强水动力条件下陆源输入及浊流的影响。总体上各主要岩相自湖盆中心向滨浅湖(岸)呈环带状分布。

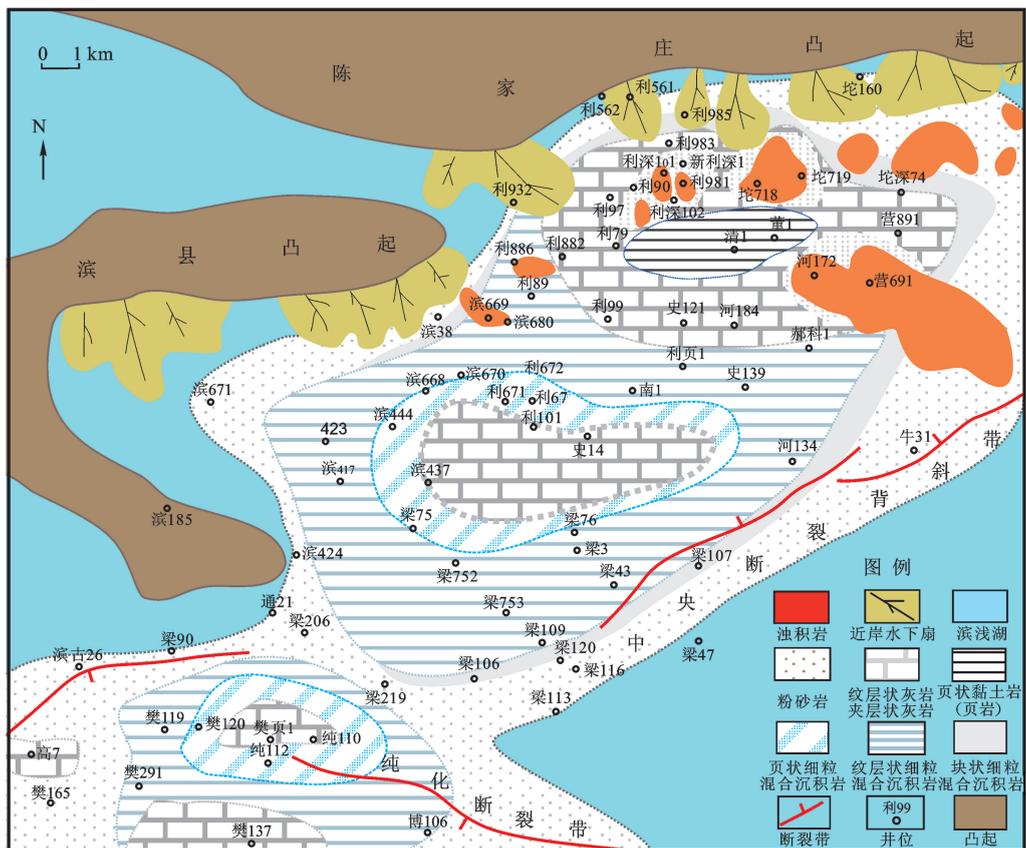


图3 东营凹陷西部主要泥页岩岩相分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of shale lithofacies in western Dongying Sag

5.2 细粒沉积岩的沉积模式

针对陆相湖盆细粒沉积岩的沉积模式,部分学者^[23-26]进行了探讨和研究。结合东营凹陷西部沙三下—沙四上沉积期古地貌、气候演化特征,分析细

粒沉积岩在矿物成分、沉积构造、有机质含量等方面垂向变化规律,总结东营凹陷西部半深湖—深湖细粒沉积岩的沉积模式(图4)。

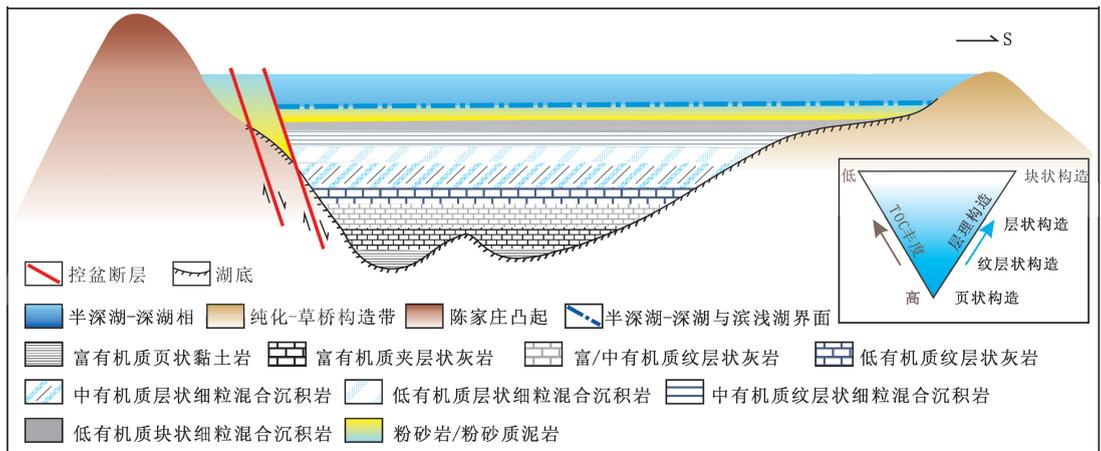


图4 东营凹陷半深湖—深湖细粒沉积岩沉积模式

Fig. 4 Sedimentary model of fine fine-grained sedimentary rocks

在少受外源水体干扰的湖盆最深处,水体分层形成强还原—还原环境,陆源碎屑和高等植物供给量很小,减少有机质稀释,有机质得以很好地保存,形成页理发育的富有机质细粒沉积岩;重结晶方解石的发育与碳酸盐含量及有机质丰度均有密切关系,在深湖弱水动力环境下发育富有机质页状灰岩,且常常与富有机质页状黏土岩伴生。在半深湖区靠近风暴浪基面,碳酸盐及有机质含量开始降低,主要沉积中、低有机质纹层状灰岩及纹层状混合细粒岩。至正常浪基面附近,有机质含量明显降低,水体分层不明显,且容易受到阶段性浊流的影响,长英质矿物含量开始增大,发育中有机质层状混合细粒岩、低有机质块状混合细粒岩及粉砂岩。

6 结 论

(1)看似单一的半深湖—深湖细粒沉积岩其实包括了多种岩石类型的组合,不同岩相所反映的沉积微环境也有所不同。东营凹陷半深湖—深湖发育纹层状灰岩、页状灰岩、页状白云岩、块状白云岩、页状黏土岩、粉砂岩、页状混合细粒岩、纹层状混合细粒岩、块状混合细粒岩等9类岩相。引入有机质丰度并进行亚类的划分,可结合泥页岩出油井段试油数据及测井曲线特征进行优势有利岩相的评价和预测,便于泥页岩油气的勘探。

(2)富有机质纹层状灰岩、中有机质纹层状混合细粒岩、富有机质页状黏土岩、富有机质页状灰岩以及贫有机质块状混合细粒岩是研究区最为发育的5种岩相类型,且代表了不同的沉积微环境,主要岩相自湖盆中心向滨浅湖(岸)呈环带状分布。岩相的平面分布反映了半深湖—深湖内部沉积环境的差异。

致谢 特别感谢中石化高级专家、胜利油田地质科学研究院教授级高工王永诗对本文给予意见和指导。

参考文献:

- [1] 王永诗,李政,巩建强,等. 济阳坳陷页岩油气评价方法:以沾化凹陷罗家地区为例页岩油气储层基本特征及评价要素[J]. 石油学报,2013,34(1):83-91.
WANG Yongshi, LI Zheng, GONG Jianqiang, et al. Discussion on an evaluation method of shale oil and gas in Jiyang depression: a case study on Luoia area in Zhanhua sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 83-91.
- [2] GUY PLINT A. Mud dispersal across a Cretaceous prodelta: storm-generated, wave-enhanced sediment gravity flows inferred from mudstone microtexture and microfacies[J]. Sedimentology, 2014, 61(3): 609-647.
- [3] SCHIEBER J. Facies and origin of shales from the mid-Proterozoic Newland Formation, Belt Basin, Montana, USA [J]. Sedimentology, 1989, 36(2): 203-219.
- [4] LOUCKS Robert G, RUPPEL Stephen C. Mississippian Barnett shale: lithofacies and depositional setting of a deep-water shale-gas succession in the Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 579-601.
- [5] ABOUELRESH Mohamed O, SLATT Roger M. Lithofacies and sequence stratigraphy of the Barnett Shale in east-central Fort Worth Basin, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2012, 96(1): 1-22.
- [6] HICKY James J, HENK Bo. Lithofacies summary of the Mississippian Barnett Shale, Mitchell 2 TP Sims well, Wise County, Texas [J]. AAPG bulletin, 2007, 91(4): 437-443.
- [7] 马文辛,刘树根,黄文明,等. 四川盆地周缘筇竹寺组泥页岩储层特征[J]. 成都理工大学学报:自然科学

- 版,2012,39(2):182-189.
- MA Wenxin, LIU Shugen, HUANG Wenming, et al. Mud shale reservoirs characteristics of Qiongzhusi Formation on the margin of Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology), 2012, 39(2):182-189.
- [8] 王慧中,梅洪明. 东营凹陷沙三下亚段油页岩中古湖泊学信息[J]. 同济大学学报:自然科学版,1998,26(3):315-319.
- WANG Huizhong, MEI Hongming. Paleolimnological Information from the oil shale in the Lower Part of Sha 3 Formation, in Dongying Depression[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 1998, 26(3):315-319.
- [9] 朱光有,金强,张水昌,等. 济阳坳陷东营凹陷古近系沙河街组深湖相油页岩的特征及成因[J]. 古地理学报,2005,7(1):59-69.
- ZHU Guangyou, JIN Qiang, ZHANG Shuichang, et al. Characteristics and origin of deep lake oil shale of the Shahejie Formation of Paleogene in Dongying Sag, Jiyang Depression[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1):59-69.
- [10] 李钜源. 东营凹陷泥页岩矿物组成及脆度分析[J]. 沉积学报,2013,31(4):616-620.
- LI Juyuan. Analysis on mineral components and frangibility of shales in Dongying Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(4):616-620.
- [11] 王冠民. 济阳坳陷古近系页岩的纹层组合及成因分类[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2012,42(3):666-671.
- WANG Guanmin. Laminae combination and genetic classification of Eogene shale in Jiyang Depression[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(3):666-671.
- [12] 邹才能,董大忠,杨桦,等. 中国页岩气形成条件及勘探实践[J]. 天然气工业,2011,31(12):26-39.
- ZOU Caineng, DONG Dazhong, YANG Hua, et al. Formation conditions and exploration practice of shale gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12):26-39.
- [13] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [14] 郝运轻,谢忠怀,周自立,等. 非常规油气勘探领域泥页岩综合分类命名方案探讨[J]. 油气地质与采收率,2012,19(6):16-19.
- HAO Yunqing, XIE Zhonghuai, ZHOU Zili, et al. Discussion on multifactors identification of mudstone and shale[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6):16-19.
- [15] 谢宗奎. 柴达木台南地区第四系细粒沉积岩相与沉积模式研究[J]. 地学前缘,2009,16(5):245-250.
- XIE Zongkui. Research on Quaternary fine-fraction lithofacies and sedimentation model in Tainan area, Qaidam Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(5):245-250.
- [16] 邹才能. 非常规油气地质[M]. 北京:地质出版社,2011.
- [17] 张善文,王永诗,张林晔,等. 济阳坳陷渤南洼陷页岩油气形成条件研究[J]. 中国工程科学,2012,14(6):49-55.
- ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, ZHANG Linye, et al. Formation conditions of shale oil and gas in Bonan sub-sag, Jiyang Depression [J]. Engineering Science, 2012, 14(6):49-55.
- [18] 陈世悦,鄢继华,袁文芳. 滨南、利津地区古近系沉积相演化[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):36-38.
- CHEN Shiyue, YAN Jihua, YUAN Wenfang. Evolution of sedimentary facies of the Paleogene in Binnan-Lijin areas, Dongying Sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3):36-38.
- [19] 冯宝华. 细粒沉积岩显微镜鉴定的重要性[J]. 岩石矿物学杂志,1989,8(2):139-143.
- FENG Baohua. The importance of fine-grained sedimentary rock microscope identification[J]. Acta Petrological et Mineralogica, 1989, 8(2):139-143.
- [20] 邓宏文,钱凯. 深湖相泥岩的成因类型和组合演化[J]. 沉积学报,1990,8(3):1-20.
- DENG Hongwen, QIAN Kai. The genetic types and association evolution of deep lacustrine facies mudstones [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8(3):1-20.
- [21] 袁静. 沾化凹陷罗家地区沙四段顶部至沙三段泥质岩裂缝特征及其影响因素[J]. 石油大学学报:自然科学版,2003,27(4):20-23.
- YUAN Jing. Characteristics of fractures in argillaceous rocks of LuoJia area in Zhanhua sag[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(4):20-23.
- [22] 苗建宇,祝总祺,刘文荣,等. 泥岩有机质的赋存状态与油气初次运移的关系[J]. 沉积学报,2004,22(1):169-175.
- MIAO Jianyu, ZHU Zongqi, LIU Wenrong, et al. Relationship between occurrence of organic matter and the primary migration of the hydrocarbon in argillaceous rock [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1):169-175.
- [23] 邱隆伟,姜在兴,梁宏斌,等. 石灰泥岩:一种陆源机械成因的碳酸盐岩[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(6):1-7.

- QIU Longwei, JIANG Zaixing, LIANG Hongbin, et al. Limemudstone: a kind of carbonate rock of terrigenous mechanical origin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(6): 1-7.
- [24] 邹才能, 杨智, 崔景伟, 等. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策 [J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(1): 14-26.
- ZOU Caineng, YANG Zhi, CUI Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 14-26.
- [25] 孙平昌. 松辽盆地东南部上白垩统含油页岩系有机质富集环境动力学 [D]. 吉林: 吉林大学地球科学学院, 2013.
- SUN Pingchang. Environmental dynamics of organic accumulation in the oil shale bearing layers in the Upper Cretaceous, Southeast Songliao Basin (NE China) [D]. Jilin: Department of Earth Sciences, Jilin University, 2013.
- [26] 姜在兴, 张文昭, 梁超, 等. 页岩油气储层基本特征及评价要素 [J]. 石油学报, 2014, 35(1): 184-196.
- JIANG Zaixing, ZHANG Wenzhao, LIANG Chao, et al. Characteristics and evaluation elements of shale oil reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(1): 184-196.

(编辑 徐会永)