

文章编号: 1009-3850(2003)01-0084-06

东营凹陷北部陡坡带西段水下扇体储集层特征

徐晓晖¹, 许建华², 谢远军³, 于会利⁴, 刘重玉¹

(1. 胜利油田 有限责任公司 滨南采油厂, 山东 滨州 256606; 2. 胜利油田 有限责任公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015; 3. 胜利油田 有限责任公司 临盘采油厂, 山东 临邑 251507; 4. 胜利油田 有限责任公司胜利采油厂, 山东 东营 257000)

摘要: 东营凹陷北部陡坡带发育多种类型的砂砾岩扇体, 近年来一直是寻找隐蔽性油气藏的有利地区。其西段古近纪沙河街期四段时期形成以砂岩、砾岩为主的近岸水下扇沉积体。储集层岩石结构成熟度和成分成熟度均较低, 多为双模态和复模态结构。本文首先从宏观上对储集层的岩石类型、沉积特征和平面分布进行描述, 再从微观上对影响储集层物性的主要成岩作用进行描述, 分析该砂砾岩体储集层的孔隙类型和孔隙结构特征。最后, 对储层进行综合评价, 认为该类储集层孔隙类型多样, 孔隙结构复杂, 为中低孔隙度、低渗透率储层类型。

关键词: 东营凹陷; 陡坡带; 水下扇; 储集层特征; 山东

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标识码: A

1 前言

随着油气勘探程度的成熟化, 隐蔽性油气藏勘探的地位日益重要。由于砂砾岩体的非均性强, 其油气藏往往为复杂的岩性、构造岩性或地层岩性等隐蔽性油气藏。济阳坳陷的东营北带由于其特殊的构造位置, 形成“十沟十一梁”的古构造面貌, 发育了水下扇、扇三角洲、深水密度流水道等多种类型的砂砾岩体隐蔽性油气藏, 且具有很大的储量规模。因此, 砂砾岩体油气藏是近年来胜利油田众多隐蔽性油气藏的一种重要类型, 具有很大勘探潜力与重要的研究意义。

东营凹陷北部陡坡带西段地理位置位于山东省利津县境内; 构造位置, 北部为陈家庄凸起, 西部为滨县凸起, 南临利津生油洼陷。古近纪沙河街期四段沉积时期, 来自北部陈家庄凸起的物源在该区入湖, 由于地形陡, 沉积物沿斜坡带快速沉积下来, 形

成以砂岩和砾岩为主的近岸水下扇沉积。1999年上报控制石油地质储量4122万吨, 但由于该类型储层复杂, 平面变化较大, 储层具有非均质性和敏感性, 因此储量难以动用。笔者通过从宏观和微观两个方面, 对储层的平面分布和主要控制因素进行研究, 总结储层发育的规律, 为勘探开发提供依据。

2 储层宏观特征

2.1 岩石学特征

本区储集层主要为砂岩、砾岩及粉砂岩。由于该套储层是断陷内多物源、近距离、快速堆积的产物, 因此, 其成分成熟度和结构成熟度均较低, 岩性主要为岩屑长石砂岩或长石岩屑砂岩。不同地区岩性不同, 其中北部临近物源, 粒度粗, 岩性以砾岩为主, 砾岩中砾石大小混杂, 分选差, 砾径一般为 2 ~ 10mm, 成分主要有中酸性喷出岩、碳酸盐岩及部分变质岩。砾岩基本上为杂基支撑, 以砾石为骨架的

孔隙空间大多被砂级颗粒充填,而在由砂粒组成的孔隙中,又被粘土颗粒充填,构成了复杂的双模态结构或复模态结构。向南岩性变细,以砂岩和粉砂岩为主,主要为长石岩屑砂岩和岩屑砂岩,粒间泥质杂基含量一般为10%左右。

2.2 平面分布特征

该区沙河街组四段储层主要为近岸水下扇沉积。沉积相研究表明,主要有两个物源,一个是北部的陈家庄凸起,一个是西部的滨县凸起。对沉积控制作用的断层主要为北部的利津断层和胜北断层,多条次级断层依次向洼陷带发育,形成有限后退型盆地边界,造成古地形断阶发育。在这种古构造背景条件的控制下,由陡坡带大断层向洼陷区依次发育扇根亚相、扇中亚相、扇端亚相及深湖相沉积(图1)。

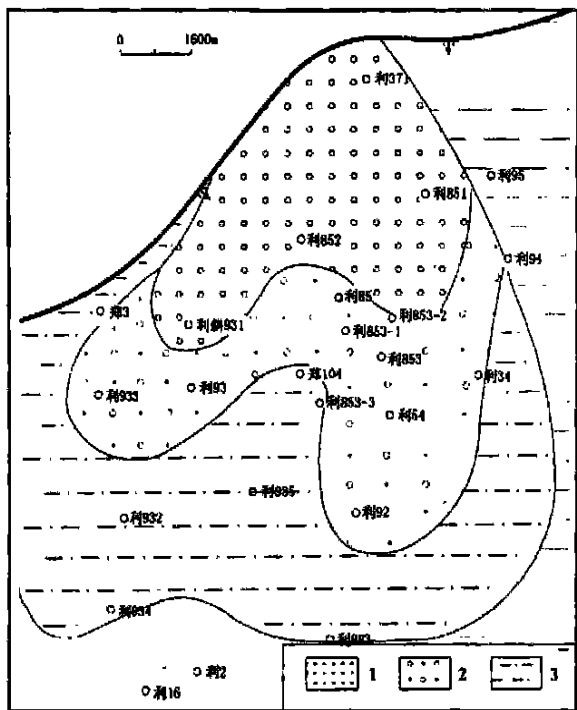


图 1 东营北带西段沉积相平面分布图

1. 扇根; 2. 扇中; 3. 扇端

Fig. 1 Planar distribution of the sedimentary facies in the western segment of the steep slope zone of northern Dongying depression

1= proximal fan; 2= mid-fan; 3= distal fan

储层在平面上的分布具有不均匀性,厚度变化较大。储层的分布受沉积控制,从沉积相图上可知,扇体包括两个主要水道。其中东部为主要水道,规模大。储层单层厚度大,累计厚度亦大,达 350m;西

部扇体水道厚度小,厚度为 100~150m;而位于水道前方的扇端亚相厚度最小,为50~100m(图2)。

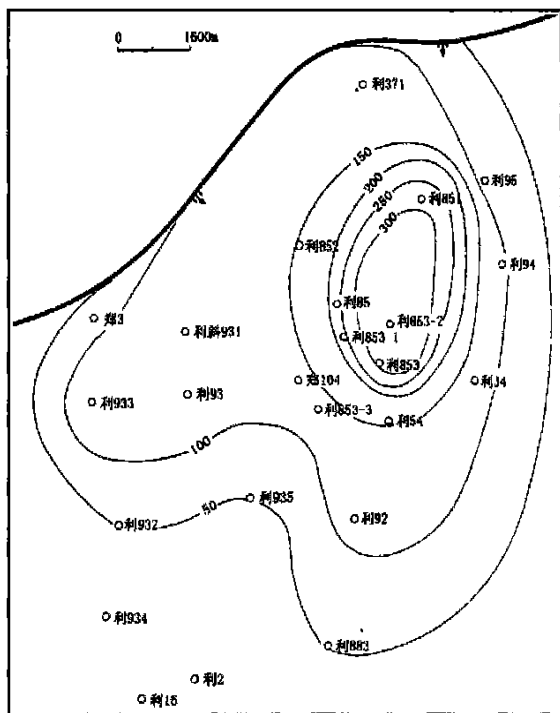


图 2 东营北带西段储层厚度等值线图

Fig. 2 Isopach map of the reservoir rocks in the western segment of the steep slope zone of northern Dongying depression

3 储层微观特征

3.1 成岩作用类型

该区沙河街组四段储层位于东营凹陷北部陡坡带上,埋藏深度变化较大,北部仅为1790m,而南部深达3190m,因此储层经历后期改造作用不同。研究成岩作用,可以发现影响储层物性的主要因素,预测有利储层发育带^[1]。

笔者通过薄片、阴极发光、扫描电镜及粘土矿物X-衍射等化验分析资料, 对该区沙四段上储层成岩作用进行了研究, 认为该区储层主要经历了以下几种成岩作用。

1. 压实作用

由于岩石组成的多岩屑、双模态或复模态的特点, 该区砂砾岩体的抗压实能力较弱, 因此经历了较强的压实作用, 碎屑颗粒间多呈线-凹凸接触。压实作用的强度受埋藏深度的控制。北部埋藏浅的储层压实程度稍低, 颗粒间多为线接触; 南部储层埋藏深, 压实作用强, 颗粒间大多呈线-凹凸接触。压实强度受粘土杂基含量的影响^[2], 当粘土杂基含量大

于10%时,压实作用普遍较强,镜下可见颗粒间形成压溶缝合线,岩屑中部分软颗粒如黑云母被挤入孔隙形成假杂基,物性明显变差,特别是渗透率,一般为 $(0.01 \sim 1.0) \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 。

2. 胶结作用

该区储层的胶结作用主要包括石英和长石的次生加大作用、碳酸盐胶结作用。石英次生加大较为普遍,一般具有尘线,加大边 $10 \sim 60 \mu\text{m}$;长石次生加大次之。石英和长石次生加大占据了少部分的孔隙空间,对原生孔隙有一定的破坏作用,但程度不大,一般为2%~4%左右,同其它因素相比,应属次要因素。另一方面,石英的再生长可抑制压实作用的进一步进行,一定程度上起到保护原生粒间孔隙的作用。

碳酸盐胶结物在本区较普遍,成分包括方解石、白云石、铁方解石和铁白云石等,其中以铁白云石为主,其次为铁方解石,而方解石和白云石含量较小,反映本区以晚期胶结物为主。在不同地区胶结物的含量有所变化,北部地区含量小,多在10%以下,平均为7.2%。中部和南部地区含量较高,一般为8%~20%,最高达28%。碳酸盐胶结物主要表现为:①围绕碎屑颗粒,形成环边式胶结,多为泥晶、粉晶白云石围绕碎屑颗粒形成等厚包壳;②充填粒间孔隙,形成充填式连晶胶结;③充填溶孔;④充填裂缝。后三种胶结方式多为中—粗晶铁白云石。

另外,本区砂岩中普遍见分散状或晶粒状的黄铁矿。通过统计各类胶结物的含量,可知胶结作用可使孔隙度降低8.94%,是除压实作用之外另一重要降低孔隙度的成岩作用。

3. 溶蚀作用

溶蚀作用是对储层物性具有重要意义的成岩作用。由于本区压实作用强烈,原生孔隙损失较大,溶蚀作用可产生次生孔隙,改善储集层的储集性能。被溶蚀物质包括石英、长石、岩屑及碳酸盐胶结物,其中主要为长石。本区溶蚀作用主要包括以下3种方式:①沿石英颗粒边缘溶蚀,形成扩大的原生粒间孔;②长石溶蚀作用沿节理缝、双晶,形成粒内窗格孔或蜂窝状溶孔,溶蚀完全者形成铸模孔;③沿颗粒边缘发生轻微溶蚀,形成贴粒缝。另外,碳酸盐胶结物和石英加大边也见溶蚀现象。通过镜下观察,次生溶蚀作用可使孔隙度增加4.89%。

4. 粘土矿物的成岩作用

粘土矿物的演化对储层有重要的影响。一方面,它可以充填粒间孔隙,减少孔隙空间;另一方面,粘土矿物是造成储层敏感性的主要因素之一,可降低储层的渗透率。因此,粘土矿物的演化对储层研究具有重要意义^[3]。

本区粘土矿物主要包括伊利石(35%~60%)和伊/蒙混层(40%~55%),高岭石(10%~20%)和绿泥石(9%~18%),含量较小,且分布局限,偶见蒙皂石(1%)。高岭石和绿泥石主要分布于北部利津断层附近,由于北部储层埋藏浅,粘土矿物演化程度低。粘土矿物纵向演化具有一定的规律性,随着埋藏深度的增加,伊利石和伊/蒙混层含量增加,而高岭石和绿泥石含量逐渐减少。

笔者通过成岩作用研究,结合镜质体反射率的热演化资料,对成岩阶段进行了划分。本区镜质体反射率为0.5%~1.3%,伊/蒙混层中蒙皂石含量为20%~35%。综合各种资料,确定利津地区沙河街组四段储层处于晚成岩阶段A亚期。

3.2 孔隙结构及物性特征

1. 孔隙类型

根据薄片、扫描电镜等分析资料,认为本区储层发育孔隙和裂缝两类储集空间。孔隙包括原生粒间孔、粒内溶孔和粒间溶孔三类。原生粒间孔指原生孔隙或原生孔隙经充填后剩余的孔隙,由于该区砂砾岩体埋藏深度大,原生孔隙很少,主要以次生溶蚀孔隙为主。粒内溶孔指长石、岩屑等碎屑颗粒溶蚀后形成的粒内孔隙或铸模孔。粒间孔隙指沿碎屑颗粒边缘溶蚀或粒间胶结物发生溶蚀作用形成的孔隙。这三类孔隙构成本区主要的储集空间。裂缝包括构造缝、贴粒缝、收缩缝等。裂缝的发育对储集空间的贡献较小,但它可以改善储层的渗透性。

2. 孔隙结构和物性特征

储层孔隙结构是指岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其相互连通关系。它是评价储层的重要标志,是影响储集空间的重要因素,可以较为真实的揭露储集岩的储集面貌。将储集空间分为孔隙和喉道两部分是孔隙结构研究的基本前提,从常规物性可得到孔、渗分布,而通过孔隙结构研究则可得孔喉大小、形状、孔喉组合及其连通性等^[3]。

根据物性分析资料,郑南-利津地区沙河街组四段储层孔隙度为0.9%~23.7%,主要分布于6%~

14%，平均为10.7%；渗透率为 $(0.00017 \sim 123) \times 10^3 \mu\text{m}^2$ ，其中渗透率小于 $0.6 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的样品占56%， $(0.6 \sim 10) \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的样品占29%，大于 $10 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的样品占15%。孔隙度和渗透率的相关系数为0.69，其相关性较差。孔隙结构参数排驱压力为 $(0.1 \sim 1) \times 10^6 \text{Pa}$ ，饱和中值压力为 $(1 \sim 25) \times 10^6 \text{Pa}$ 。喉道均值半径为 $0.01 \sim 5.7 \mu\text{m}$ ，毛管压力曲线主要为中—细歪度。综合评价储层孔隙结构为中等。

4 储层综合评价

以储集层微观孔隙结构为分类依据，储集层物

性为主要评价标准，储集层厚度为评价参考，沉积相、成岩相带为宏观指导，综合各种参数对本区的砂砾岩储集层进行分类及评价。将本区储集层共分4类^[4]，各类储集层压汞曲线特征见图3。

1. I 类储层

此类储层的孔隙度大于15%，渗透率大于 $10 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ ，排驱压力小于 $0.1 \times 10^6 \text{Pa}$ ，饱和中值压力小于 $4 \times 10^6 \text{Pa}$ ，喉道均值大于 $1 \mu\text{m}$ ，表现为低排驱压力，大喉道，毛管压力曲线为粗歪度，分选中等。

岩性主要为砾岩、含砾砂岩、粗砂岩以及部分中—细砂岩。胶结物和杂基含量少，一般不超过6%。

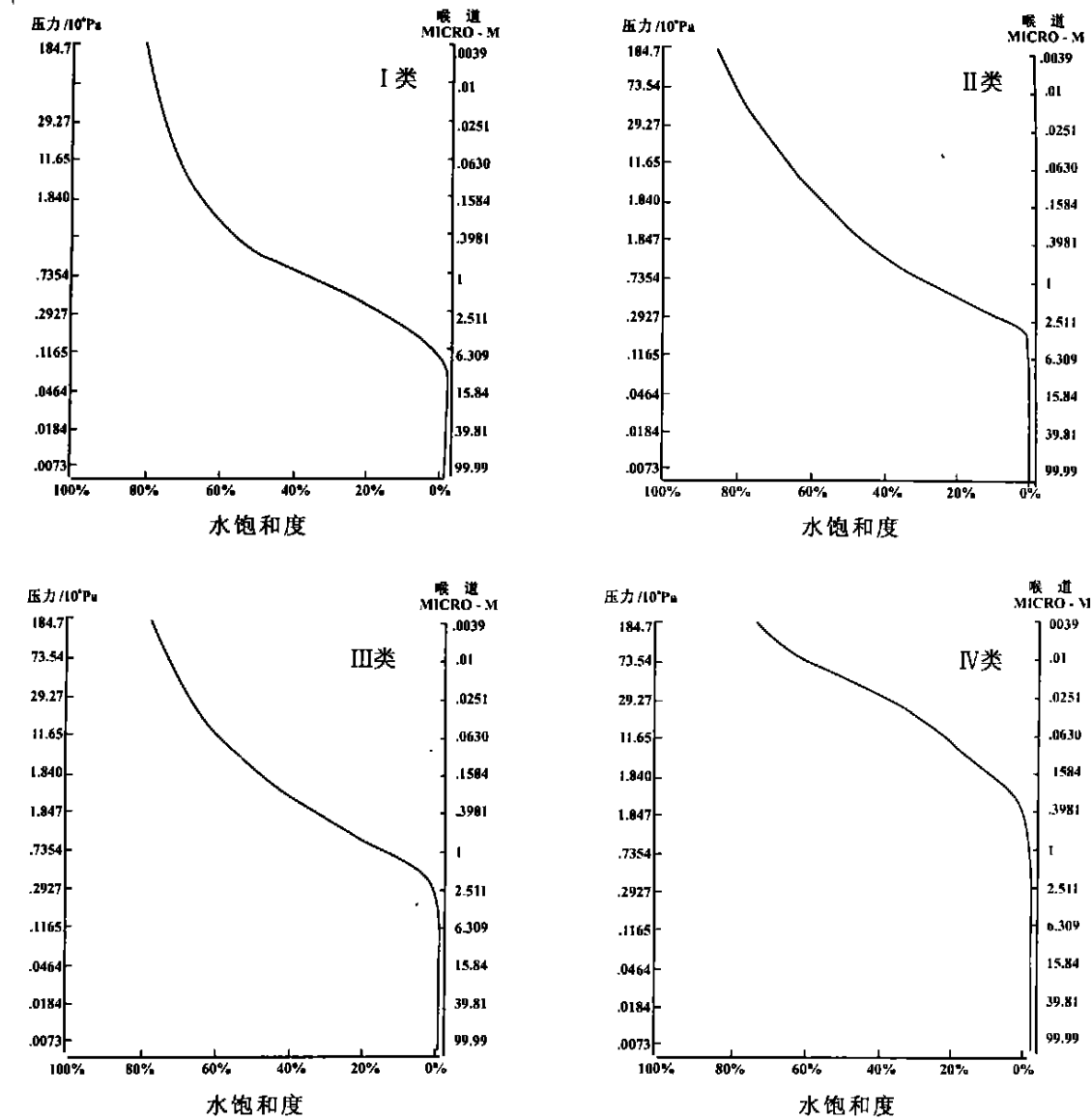


图3 东营北坡西段各类储层压汞曲线特征

Fig. 3 Curves plotted by means of the mercury-injection method for the reservoir rocks in the western segment of the steep slope zone of northern Dongying depression

属扇中辫状水道沉积。储集空间长石溶孔、粒间溶孔发育, 见铸模孔。大部分可见粒缘缝, 沿缝有溶蚀, 并见有网状成岩缝, 未充填。

2. II类储层

此类储层的渗透率为 $(1 \sim 10) \times 10^3 \mu\text{m}^2$; 孔隙度变化范围很大, 为 $9\% \sim 20\%$; 排驱压力为 $(0.1 \sim 0.3) \times 10^6 \text{Pa}$, 饱和中值压力为 $(4 \sim 10) \times 10^6 \text{Pa}$; 喉道均值为 $0.3 \sim 11 \mu\text{m}$ 。毛管压力曲线表现为低排驱压力、较低饱和中值压力、平均喉道半径较大。

岩性主要为中—细砂岩为主, 包括了部分砾岩和含钙细砂岩。属扇根主水道和扇中辫状水道沉积。储集空间特征包括孔隙和裂缝两类。孔隙空间主要有粒间溶孔、砾缘溶孔和少量粒内溶孔; 裂缝主要包括砾缘缝、溶缝和少量构造缝。溶缝较多见。

3. III类储层

此类储层的渗透率为 $(0.5 \sim 1) \times 10^3 \mu\text{m}^2$; 孔隙度一般小于 10% ; 排驱压力为 $(0.3 \sim 0.5) \times 10^6 \text{Pa}$, 饱和中值压力为 $(10 \sim 20) \times 10^6 \text{Pa}$; 喉道均值为 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$, 分选较好。毛管压力曲线表现为中等排驱压力、平均喉道半径中等。

该类储层岩性为岩屑长石或长石岩屑砂岩。砂岩粒级主要为中—细砂, 含少量粗砂粒砂岩, 分选差, 杂基含量较少, 属扇中辫状水道堤岸和扇端沿岸砂坝微相沉积。储集空间特征以孔隙为主, 部分见微裂缝。孔隙类型包括粒间充填剩余孔, 粒间溶蚀孔和粒内溶孔。

4. IV类储层

此类储层的渗透率小于 $0.5 \times 10^3 \mu\text{m}^2$; 孔隙度一般小于 5% ; 排驱压力大于 $0.5 \times 10^6 \text{Pa}$, 饱和中值压力大于 $20 \times 10^6 \text{Pa}$; 喉道均值小于 $0.1 \mu\text{m}$, 分选较好。毛管压力曲线表现为细歪度、高排驱压力、平均喉道半径较低。

该类储层岩性为泥质砂岩和钙质砂岩, 粒度变

化大, 从细粒砂岩至含砾粗砂岩。主要分布于外扇末梢砂坝和沿岸砂坝沉积中。储集空间特征孔隙类型为杂基内溶孔及少量长石溶孔和粒间溶蚀孔, 溶蚀孔内部分充填自形白云石、石英和含铁方解石。

统计表明, 利津地区 I 类储层厚 160.75m, 占 13%; II 类储层厚 206.625m, 占 16%; III 类储层厚 537.75m, 占 43%; IV 类储层厚 353.5m, 占 28%。储层以 II 类和 IV 类为主, 反映其储层总体较差, 以中-低孔、低渗储层为主。

5 结 论

(1) 东营凹陷北部陡坡带西段储层主要为近源的砂砾岩体扇体, 岩性主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩, 成分成熟度和结构成熟度均较低。储层厚度大, 非均质性强。

(2) 影响储集物性的主要因素为成岩作用, 其中压实作用和胶结作用是孔隙度降低的主要因素, 后期溶蚀作用使储层物性有所改善。

(3) 储层的孔隙类型多样, 孔隙结构复杂。综合分析储层以较差和差储层为主, 储层类型主要为中-低孔、低渗储层。

参考文献:

- [1] 郑浚茂, 庞明. 碎屑岩储集岩的成岩作用研究[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1989.
- [2] 许建华, 张世奇, 纪友亮. 藏北羌塘盆地中上侏罗统碎屑岩储层成岩演化特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(1): 4—7.
- [3] 裘亦楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国油气储层研究论文集(续一)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [4] 裘亦楠, 薛叔浩, 等. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.

The reservoir rocks of the subaqueous fans in the western segment of the steep slope zone of northern Dongying depression, Shandong

XU Xiao-hui¹, XU Jian-hua², XIE Yuan-jun³, YU Hui-li⁴, LIU Zhong-yu¹

(1. *Bimman Oil Mining Factory, Shengli Oil Field Cor., Ltd., Birzhou 256606, Shandong, China*; 2. *Research Institute of Geological Sciences, Dongying 257015, Shandong, China*; 3. *Linpan Oil Mining Factory, Shengli Oil Field Cor., Ltd., Linyi 251507, Shandong, China*; 4. *Shengli Oil Mining Factory, Shengli Oil Field Cor., Ltd., Dongying 257000, Shandong, China*)

Abstract: A variety of sandstone and conglomerate fans occur along the steep slope zone of northern Dongying depression, Shandong, a prospective area for the concealed oil and gas pools. These sandstone- and conglomerate-dominated nearshore fans were formed during the deposition of the fourth member of the Paleogene Shahejie Formation in the western segment of the slope zone. The reservoir rocks have lower textural maturity and compositional maturity and display bimodal or polymodal structures. The study of the porosity types and structures of the sandstone and conglomerate reservoirs on the basis of rock type, deposition, planar distribution and diagenesis shows that the reservoir rocks in the study area have moderate to low porosity and low permeability.

Key words: Dongying depression; steep slope zone; subaqueous fan; reservoir rock; Shandong

伊利石-蒙脱石的基本原理研究及其对粘土矿物系列的意义

伊利石-蒙脱石夹层粘土矿物在沉积盆地中普遍存在,人们已把它们同碳氢化合物的成熟度、迁移和圈闭、岩石的胶结作用、成岩作用期间孔隙水化学演化及孔隙压力的发展联系起来。然而,不管这些粘土的重要性如何,其结构是有争议的。存在有两个相对抗的模式,在理解成岩过程上具完全不同的结论。模式 A 把这样的夹层粘土视为与端员矿物伊利石和蒙脱石层一样的一组岩层,意指不连续的、独立形成的单元(基本颗粒);而模式 B 把这些粘土矿物视为由具相同结构的微晶组成,在较大的距离范围内保持一致,并与夹层的局部电荷平衡一致。美国密执安大学地球科学系的 Lars Stixpude 和 Donald R. Peacor 用密度-函数理论的基本原理探索伊利石-蒙脱石夹层粘土矿物(比率为 1:1, Reichweite 参数为 1)这两个模式的动力和结构。他们发现,由于局部电荷不平衡,模式 B 的总能量为 $2.3\text{ kJ/atom}\cdot\text{mol}$, 低于模式 A。由于局部电荷失衡,其能量差异能在模式 A 中引起结构的变形。模式 B 的稳定性需要对粘土矿物伊利石-蒙脱石序列的演化,包括共生矿物的性质、稳定关系、生长机制及基本颗粒的模式等进行重新评价。

摘编自《Nature》420, 165 — 168 (2002)