

## 西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层特征及其主控因素

胡明毅<sup>1,2</sup>, 沈 娇<sup>1,2</sup>, 胡 蝶<sup>1</sup>

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100; 2. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100)

**摘要:**以岩心和铸体薄片观察为基础,结合扫描电镜、储层物性、压汞及试采等综合资料分析,对西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层发育特征进行了研究。结果表明,该区平湖组储层岩石类型以长石质石英砂岩为主,颗粒分选和磨圆度较好,成分成熟度中等,结构成熟度高;储层物性表现为低孔、低渗和中孔、中渗的特征,孔、渗相关性好;孔隙类型主要发育有粒间溶孔和剩余原生粒间孔,喉道类型以缩颈型喉道、片状喉道、弯片状喉道为主,孔、喉组合以中孔、粗喉为主。在此基础上,从沉积相、成岩作用和异常超压等方面对该区储层发育主控因素进行了分析。综合研究表明,沉积相是该区储层发育的主控因素之一,其中三角洲平原分支河道砂体物性最好,其次为三角洲前缘水下分流河道砂体;压实作用和胶结作用导致该区储层物性变差,溶蚀作用则有助于形成次生孔隙空间,并大大改善储层物性;异常超压对研究区储层有建设性影响,可以在一定程度上使原生孔隙得以保存,并促进早期碳酸盐胶结物的溶解,形成粒间溶孔,改善储层物性。

**关键词:**异常超压;沉积相;成岩作用;储层特征;平湖组;平湖构造带;西湖凹陷

**中图分类号:**TE121.2

**文献标识码:**A

## Reservoir characteristics and its main controlling factors of the Pinghu Formation in Pinghu structural belt, Xihu Depression

Hu Mingyi<sup>1,2</sup>, Shen Jiao<sup>1,2</sup>, Hu Die<sup>1</sup>

(1. College of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China;

2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China)

**Abstract:** Based on comprehensive analysis of various data such as core observation, casting thin sections, scanning electron microscope, physical property analysis, mercury penetration and production test, we studied the characteristics and the main controlling factors of the sandstone reservoirs in the Pinghu Formation of Pinghu tectonic belt in Xihu depression. The results show that the reservoir rocks are dominated by feldspathic quartz sandstone with good sorting and roundness, moderate compositional maturity and high texture maturity. The reservoir is characterized by low porosity and low permeability or moderate porosity and moderate permeability, as well as a good correlation between porosity and permeability. The pores are dominated by intergranular dissolution pores and relic primary intergranular pores, the pore throats are mainly of necking throat, laminated throat and curved lamellar throat, and the pore-throat assemblages are dominated by moderate pore-coarse throat. The main controlling factors of reservoir development in the research region were studied in respects of sedimentary facies, diagenesis and abnormal high pressure. Sedimentary facies is one of the main factors controlling the reservoir quality. The sandstone reservoirs of delta plain distributary channel facies are the best in physical properties, followed by delta front underwater distributary channel facies. Compaction and cementation are destructive to reservoir physical property, while dissolution is constructive to reservoir physical property as it can generate secondary porosity. The existence of abnormal high pressure is also constructive to reservoir physical property, for it is helpful to the preservation of the original intergranular pores and to the improvement of dissolution of the early carbonate cement, resulting in intergranular dissolution pores and improving the reservoir physical properties.

**Key words:** abnormal high pressure, sedimentary facies, diagenesis, reservoir characteristics, Pinghu Formation, Pinghu tectonic belt, Xihu Depression

平湖构造带位于西湖凹陷西部斜坡带中南部,它为西部斜坡带的主体部分,西与海礁凸起相连,东邻西

收稿日期:2012-08-13;修订日期:2013-02-21。

第一作者简介:胡明毅(1965—),男,教授、博士生导师,储层沉积学。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05023-001)。

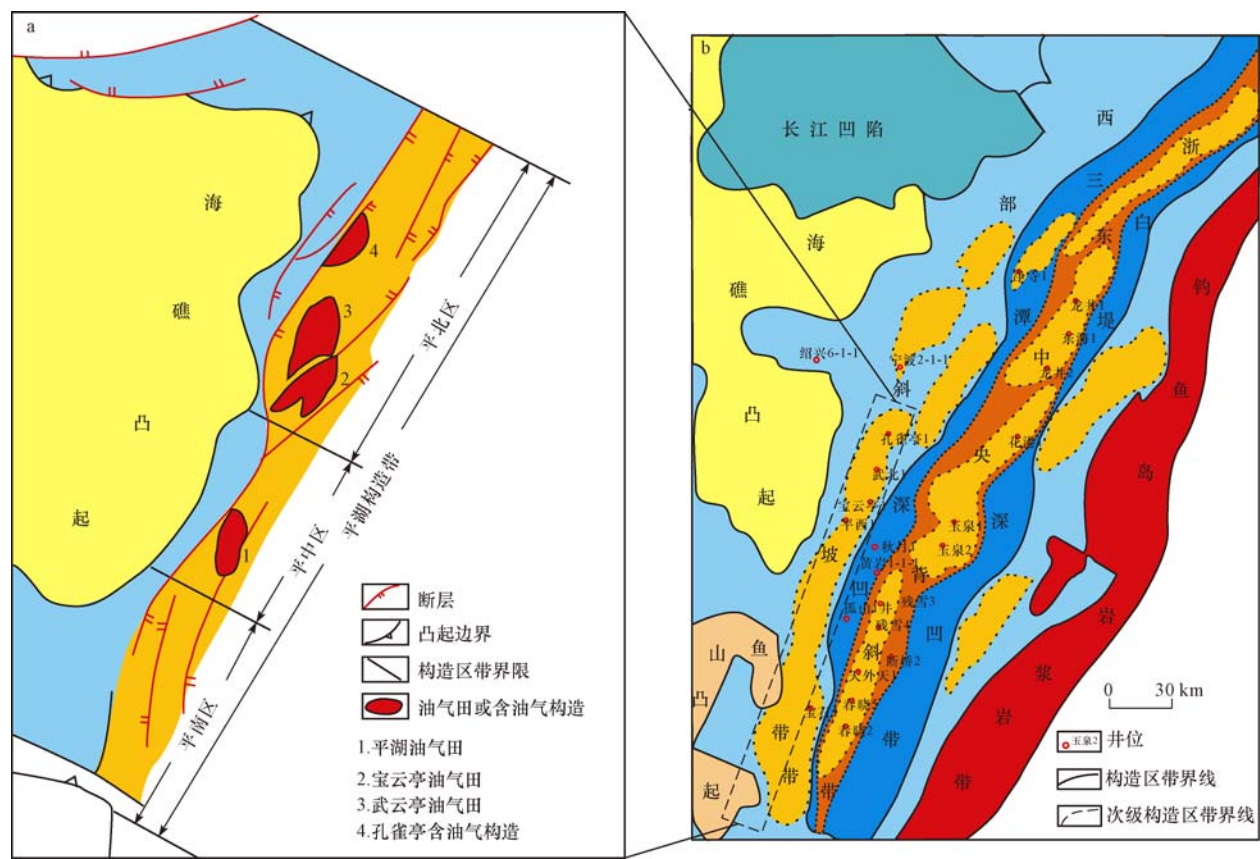


图 1 西湖凹陷平湖构造带构造位置

Fig. 1 Location of the Pinghu structural belt in the Xihu Depression

湖凹陷的生烃中心(三潭深凹),面积大约 4 000 km<sup>2</sup>,总体呈北东向狭长状展布,自北往南由平北、平中及平南 3 个区带组成(图 1),是目前东海油气勘探与开发的重点区域之一。前人对西湖凹陷平湖构造带已做了大量的研究工作<sup>[1-4]</sup>,但对其储层特征和储层主控因素的研究则相对较少,为此,本文充分利用岩心、铸体薄片、扫描电镜、X-射线衍射以及物性分析等资料,对研究区储层特征进行系统研究总结,并从沉积作用、成岩作用以及异常高压 3 个方面对储层主控因素进行分析研究,以期查明研究区储层特征形成机制,为平湖构造带平湖组储层的勘探开发提供一定的地质依据。

# 1 储层特征

## 1.1 岩石学特征

通过大量的岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜和 X-射线衍射等分析,显示平湖构造带平湖组储层的岩石碎屑主要成分为石英、长石和岩屑。其中,石英的相对含量最高,一般为 50.0%~95.5%,平均为 67.6%;其次为岩屑,含量一般为 4.1%~50.0%,平均为 17.6%;长石的含量最低,为 4.5%~33.3%,平均为 16.2%。

根据信荃麟等的砂岩成分分类方案,研究区平湖

组砂岩类型主要为长石质石英砂岩,偶见岩屑质石英砂岩、岩屑质长石砂岩、长石质岩屑砂岩、长石砂岩和岩屑砂岩(图 2)。研究区储层砂岩成分成熟度指数均值为 2.486 结构成熟度高,主要表现在砂岩粒度以中-细粒为主,颗粒分选好,次棱-次圆状,砂岩支撑类型主要为颗粒支撑,颗粒间多为点-线接触,胶结类型以接触式为主,其次为压嵌-接触式,整体表现为一套成分成熟度和结构成熟度中等-较高的碎屑岩。

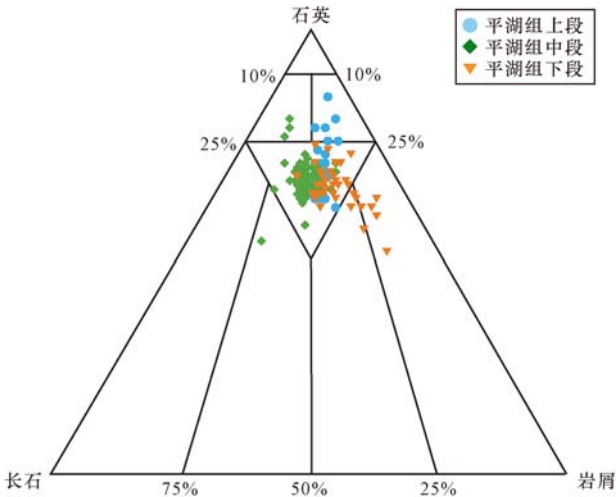


图 2 平湖构造带平湖组砂岩投点图

Fig. 2 Classification of the Pinghu Formation sandstone in the Pinghu structural belt

## 1.2 物性特征

西湖凹陷平湖构造带平湖组岩心物性分析表明,储层孔隙度为1%~26.1%,平均值为13.19%。根据石油行业储层孔隙度分级标准(SY/T6285—1997),岩心孔隙度频率分析的结果显示,研究区平湖组砂岩储层孔隙度分布在15%~25%的样品数最多,约占分析样品的40.96%,属于中孔;其次分布在10%~15%,占分析样品的37.41%,属于低孔;孔隙度为<10%的样品数占21.54%,属于特低孔;孔隙度>25%的样品数仅占0.09%,属于高孔。西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层低孔岩样累计频率为58.95%,总体表现为低孔为主、中孔为辅的特征(图3a)。

储层渗透率在 $0.00918 \times 10^{-3} \sim 1620 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为 $62.69 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。对岩心的渗透率频率分析结果显示,平湖构造带平湖组砂岩储层渗透率分布在 $10 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品数最多,占分析样品的62.19%,属于中渗;其次是 $0.1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,占分析样品的30.66%,属于低渗;渗透率< $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品数占6.86%,属于特低渗;渗透率> $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品数仅占0.29%,属于高渗。西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层总体表现为中渗为主、低渗为辅的特征(图3b)。

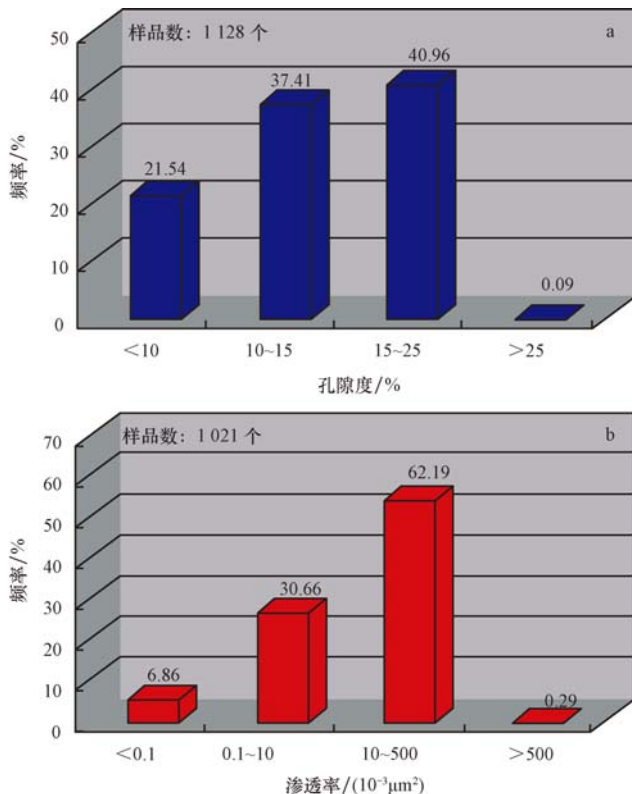


图3 平湖构造带平湖组孔隙度和渗透率频率分布  
Fig. 3 Histogram of porosity and permeability of the Pinghu Formation in the Pinghu structural belt

a. 孔隙度; b. 渗透率

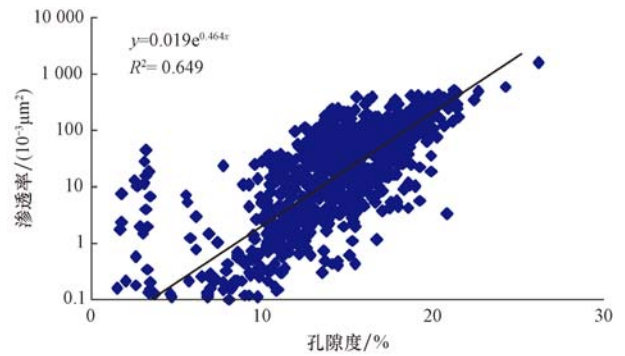


图4 平湖构造带平湖组砂岩储层孔隙度与渗透率关系  
Fig. 4 Relationship between porosity and permeability of the Pinghu Formation sandstone in the Pinghu structural belt

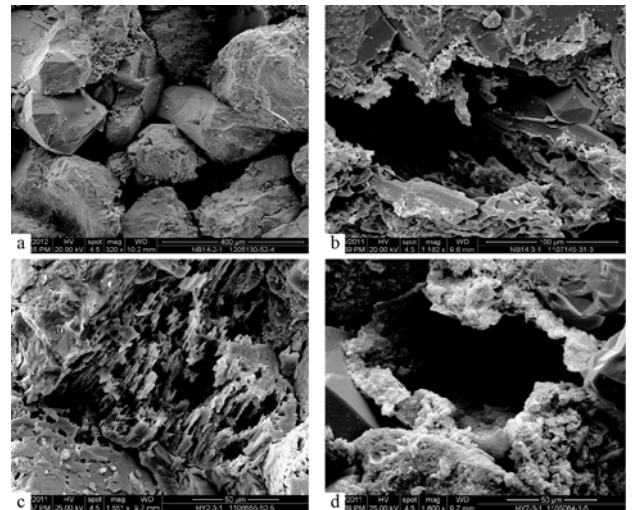


图5 平湖构造带平湖组砂岩储层孔隙类型  
Fig. 5 Pore types of the Pinghu Formation sandstone in the Pinghu structural belt

a. 原生粒间孔; b. 粒间溶孔; c. 粒内溶孔; d. 铸模孔

平湖组砂岩储层的孔隙度和渗透率的相关性统计结果表明(图4),储层孔隙度、渗透率在半对数坐标中呈正相关关系,孔隙度与渗透率的大小呈指数增长,相关性好, $R^2$ 值达到0.65,说明西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层的渗滤通道主要依赖于与孔隙有关的空间而非裂缝等其它通道,总体属于孔隙型储层。

## 1.3 孔隙结构特征

通过对构造带7口井263块岩样铸体薄片和扫描电镜的观察与数据统计,认为研究区平湖组的孔隙类型主要有原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔,各类型孔隙在研究区的构成状况如图5所示。受压实作用和胶结作用的影响,研究区平湖组储层中原生粒间孔的含量较少,占有孔隙类型的24%,主要存在于骨架颗粒之间,形态较规则,多呈三角形、多边形等(图5a);粒间溶孔是研究区最重要的孔隙类型,占有孔隙类型的44%,形态多呈不规则状、多边形状等,部分孔隙呈溶蚀港湾状(图5b);粒内溶孔在研究区储



层中比较常见的是长石溶孔和岩屑溶孔,含量较少,约占所有孔隙类型的 21%,形态多呈不规则网格状、蜂窝状或拉长状(图 5c);铸模孔在研究区储层中,具形态看一般为长石、易溶岩屑的铸模孔,往往与粒间溶孔和粒内溶孔相伴生,数量少,约占所有孔隙类型的 11%(图 5d)。

平湖组储层砂岩的喉道类型以缩颈型喉道、片状喉道、弯片状喉道为主,其次是管束状喉道,孔隙缩小型喉道则较少见。大量铸体薄片的孔隙图像分析资料显示,研究区平湖组储层孔径在 8.58 ~ 172.06  $\mu\text{m}$ ,平均孔隙直径为 83.43  $\mu\text{m}$ ;喉径在 1.47 ~ 28.30  $\mu\text{m}$ ,平均喉道直径为 10.91  $\mu\text{m}$ ;平湖组孔喉组合类型以中孔粗喉型为主,平均孔喉比为 6.21,平均配位数为 0.56。

2 储层主控因素

2.1 沉积微相

影响储层物性的地质因素中,沉积相带是最宏观和最直接的地质因素。研究区沉积作用对储层的影响主要体现在不同沉积环境形成的砂体,其粒度和分选特征决定了原始孔隙度特征,同时也影响后期成岩作用对储层的改造。不同的沉积相带其水动力条件不同,水动力能力强的沉积相带往往砂岩厚度大,粒度较粗,

砂质较纯,泥质含量和碳酸岩含量较低,因而具有较好的储集物性,相反储集物性较差。研究区平湖组储层属潮控三角洲沉积体系和潮坪沉积体系,主要包括三角洲平原分支河道、决口扇,三角洲前缘水下分流河道、席状砂,潮道等五种微相。通过对平湖组储层不同成因砂体的平均孔隙度的统计表明(图 6),三角洲平原的分支河道砂体物性最好,其次是三角洲前缘的水下分流河道砂体,三角洲前缘的席状砂砂体物性最差,说明沉积作用为储层发育奠定了基础,宏观上沉积相的分布是储层物性垂向和平面展布特征的重要控制因素之一<sup>[5-7]</sup>。

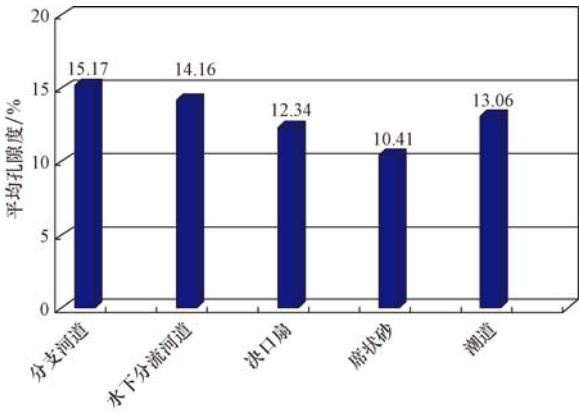


图 6 平湖构造带平湖组各成因砂体孔隙度直方图  
Fig. 6 Porosity histograms of sandbodies of different origin in the Pinghu Formation, Pinghu structural belt

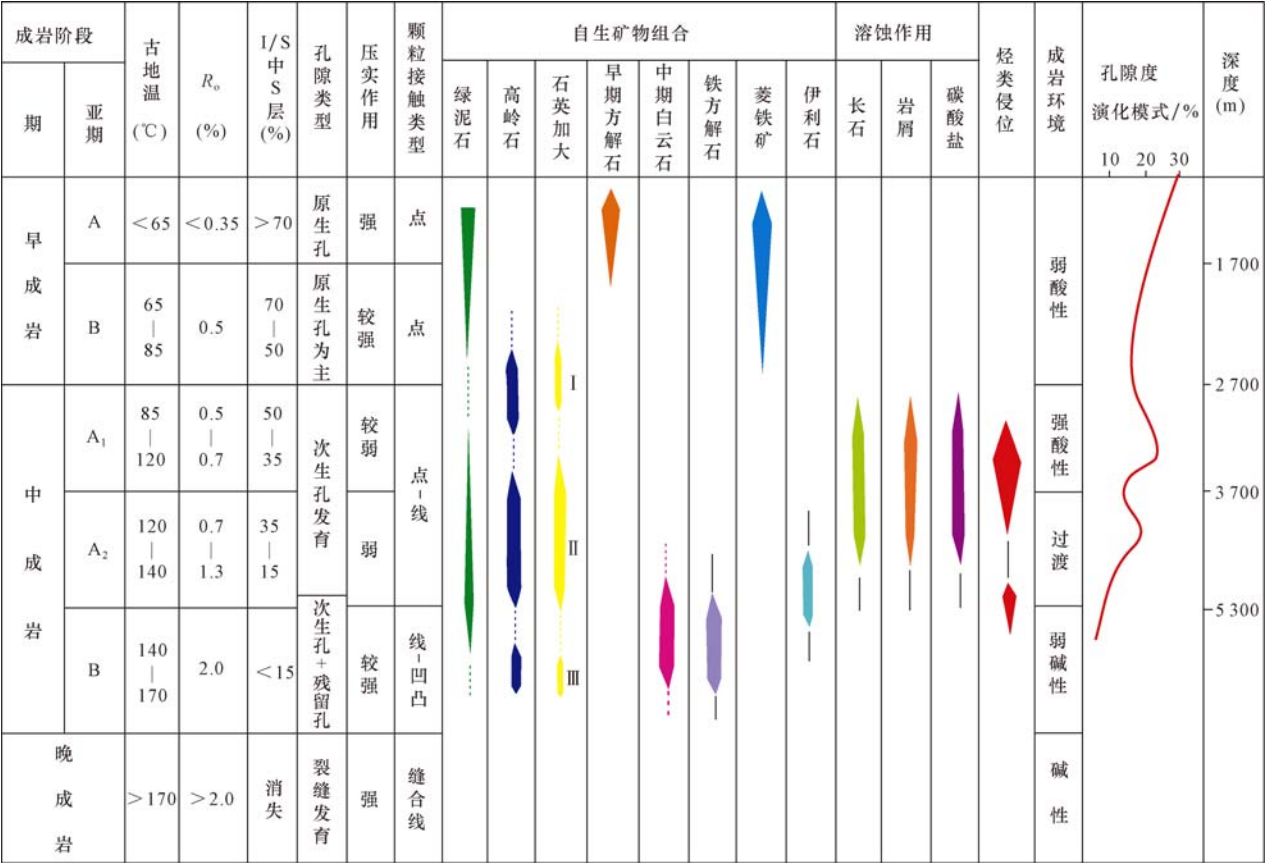


图 7 平湖构造带成岩序列及孔隙演化

Fig. 7 Diagenetic sequence and pore evolution of reservoir rocks in the Pinghu structural belt

## 2.2 成岩作用

岩石学和地球化学研究表明,平湖构造带整体地温梯度较低,镜质体反射率最大在1.3%左右,其成岩演化进程较慢,平湖组总体上属于中成岩A期,研究区成岩演化序列可以归纳为:早期粘土模形成—机械压实—早期方解石沉淀—有机酸流体进入—长石、岩屑溶蚀—次生孔隙+自生高岭石+自生石英—液态烃类侵位—伊利石沉淀—晚期气态烃充注—晚期铁方解石充填交代(图7)。根据成岩作用对储层物性的改善和破坏结果,可划分为破坏性成岩作用和建设性成岩作用。

### 1) 破坏性成岩作用

研究区破坏性成岩作用主要有压实作用、碳酸盐胶结作用、硅质胶结作用、自生高岭石析出作用等。

① 压实作用:是平湖构造带储层孔隙度降低最主要的因素。随着砂岩埋藏的加深,半塑性岩屑,例如各种火山岩屑、生物碎屑等变形明显,部分颗粒假杂基化等,使粒间原生孔隙因半塑性颗粒变形而减小,孔隙度降低<sup>[8-9]</sup>。实验室研究表明,不同级别的压实作用产生的压实压溶程度不同,其结果对碎屑岩的孔隙度损失不同,一般将其分为3级(表1)。压实作用按压实强度的不同可分为3个阶段,即弱压实阶段,中等压实阶段和强压实阶段,研究区平湖组储层目前多处于中等压实阶段,其特征主要表现为颗粒以点—线接触为主,刚性颗粒呈紧密线接触,塑性颗粒强烈变形,变成假杂基,粒间体积中等,残余粒间孔多。

② 碳酸盐胶结作用:碳酸盐胶结是研究区平湖组砂岩储层中普遍存在的胶结类型,主要呈粒间胶结、交代或次生孔隙内充填物等形式出现,成分最常见的主要有方解石和白云石。方解石胶结物通常具较低的铁含量,且大部分呈连生结构,少量呈粒状结构,在所有的碳酸盐组分中,连生方解石胶结物具最低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,说明其形成温度最高,形成时间最晚;白云石胶结物通常具较高的铁含量,大多数具半自形—自形粒状结构,并以不规则的颗粒环边或孔隙衬里的方式产出,其沉淀时间较早,属早成岩阶段产物。研究表明白云石胶结物一般占据原生粒间孔隙,方解石胶结物不仅占据原生粒间孔隙,也占据次生孔隙空间(主要是长石溶孔),使储层孔隙度大大降低(图8a)。

③ 硅质胶结作用:研究区储层砂岩具有较低的硅

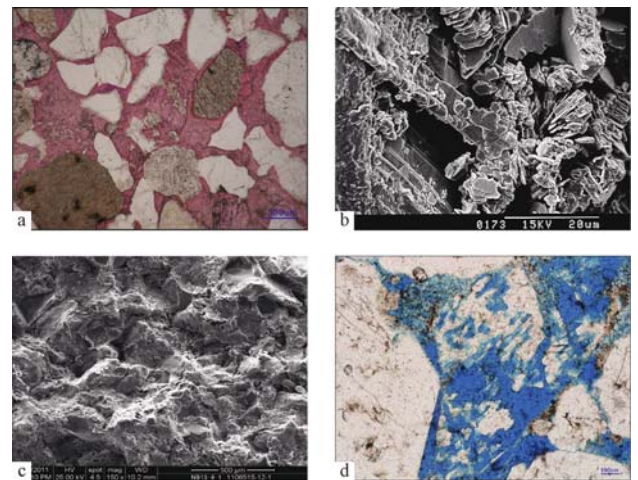


图8 研究区平湖组砂岩主要成岩作用显微照片

Fig. 8 Microphotographs showing the major diagenesis of the Pinghu Formation sandstone in the study area

a. 方解石胶结物占据长石溶解空间,平湖4井,3 685.07 m; b. 高岭石占据长石溶解形成的粒内孔,具晶间孔隙,平湖5井,3 092.40 m; c. 硅质胶结,石英Ⅲ级次生加大,NB13-4-1井,4 117.00 m; d. 长石颗粒内部发生溶蚀,NB13-4-1井,4 251.00 m

质胶结物含量,平均仅为0.5%,并多以石英次生加大的方式存在,加大部分常由多个具相同光性方位的石英组成,这些石英最终连接成一个大的晶体形成“加大边”并堵塞一部分孔隙(图8b),对储层起破坏性作用。

④ 高岭石析出作用:研究区高岭石含量在自生矿物构成中仅次于碳酸盐,居第二位,对砂岩储层的影响较复杂。自生高岭石以孔隙充填形态产出,多数粒间孔隙中不同程度地存在高岭石晶体,部分高岭石充填于喉道,减小了喉道宽度,使储集性能变差,对储层起破坏性作用。

但值得一提的是,自生高岭石在后期的溶蚀过程中会脱出 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SiO}_2$ 等组分使体积减小,形成大量高岭石晶间隙,使砂岩的孔隙度增大(图8c)。自生高岭石是长石溶解的产物,且通常占据长石的溶解空间,指示着长石溶解的次生孔隙的发育;同时,统计分析表明,研究区储层砂岩孔隙度/渗透率与自生高岭石含量之间均表现为正相关关系(相关系数分别为0.56和0.58),说明自生高岭石是研究区储层建设性成岩过程的标志矿物<sup>[10-11]</sup>。

### 2) 建设性成岩作用

本区建设性成岩作用主要有溶蚀作用和烃类侵位作用。

① 溶蚀作用:是研究区形成次生孔隙,改善储层物性的主要控制因素。研究区内砂岩储层中的溶蚀作用比较普遍,其在沉积物刚沉积时就开始进行,并一直延续到成岩晚期,被溶组分主要有长石颗粒、含长石的火山岩屑以及粘土基质(本区主要是自生高岭石)等,碎屑颗粒间的早期碳酸盐胶结物也容易发生溶蚀,形成粒间

表1 压实强度分级

Table 1 Different levels of compaction strength

| 类别          | 分 级 |       |       |
|-------------|-----|-------|-------|
| 压实作用强度      | 弱压实 | 中等压实  | 强压实   |
| 颗粒填集密度/%    | <70 | 70~90 | 90    |
| 压实后损失的孔隙度/% | <10 | 10~15 | 15~30 |

溶孔和晶间微孔。溶蚀作用可使原生孔隙得以扩大,并形成多种类型的次生孔隙,大大改善储层物性(图8d)。

② 烃类侵位作用:研究区烃类侵位作用发生在中成岩A期。对储层的影响主要体现在两方面,一方面,由于烃类是多种碳氢化合物的混合物,它对各自组成自生矿物的无机盐类没有溶解和沉淀能力,因此,砂岩孔隙中烃类物质的聚集有效的抑制了无机成岩作用(自生矿物的形成以及矿物的交代和转化、胶结、重结晶等)的进行,有利于原始孔隙的保存;另一方面,烃类侵位作用将原来的水-岩两相系统改变为水-油-岩三相系统,改变了岩石的地球化学环境,在侵位过程中会产生大量的有机酸,这些有机酸的存在会加快了长石、早期碳酸盐矿物等的溶解作用<sup>[12]</sup>,因此有利于储层砂岩次生孔隙的发育和物性条件的改善。

### 2.3 异常高压

西湖凹陷是我国海域一个富含油气尤其是天然气的超压凹陷,近几年来,西湖凹陷在先后完成的10余口钻井中钻遇异常地层压力,异常超压在西湖凹陷深部地层发育普遍。结合钻井试油测压数据分析认为,西湖凹陷平湖构造带储层在浅部处于正常压力,深部普遍发育异常高压,超压系统主要发育在平湖组内<sup>[13]</sup>。

异常超压在成藏过程中对储层的影响,主要表现在对孔隙度和渗透率的保存和改善方面,在超压的成长期,对孔隙度的保存是主要的,而在其消亡期,超压对渗透率的改善是主要的。研究区超压系统对平湖组储层物性的影响则具体表现在:①异常高压使作用于岩石颗粒的压实效应得以减缓,且可以阻止超压体系内流体的运动和能量的交换,一定程度上减缓和抑制压实作用和胶结作用,从而有助于深部储层原生孔隙的保存;②超压的存在,进一步加强了深部酸性孔隙水对易溶矿物(长石和碳酸盐类矿物等)的溶解作用,从而促进次生孔隙的形成发育,改善了储层物性,对储层起建设性作用<sup>[14-15]</sup>。

以平湖构造带平中区块的平湖组储层为例,该区块储层以3350 m为界,浅部储层属正常压力系统,深部储层发育异常高压(图9),对该区块储层的孔隙度和深度关系进行统计,发现在3350~3500 m之间的地层存在次生孔隙发育带(图10),且由图可以看出在3350 m界面之上孔隙度正常压实减小,之下的储层实测孔隙度则明显偏离正常压实趋势线,这也说明了超压的存在抑制了储层的压实效应,加强了岩石中易溶矿物的溶解作用,促使次生孔隙发育,改善了储层物性。

## 3 结论

1) 西湖凹陷平湖构造带平湖组储层岩石类型以长

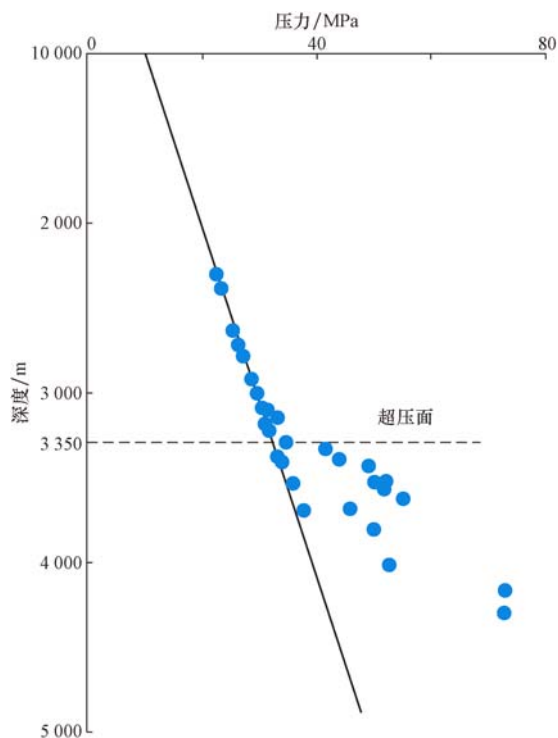


图9 平湖构造带平中区块压力-深度关系

Fig. 9 Pressure vs. depth of Pingzhong area in the Pinghu structural belt

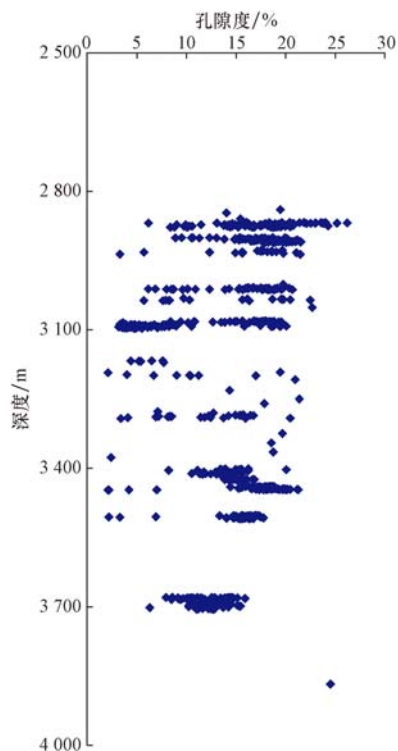


图10 平湖构造带平中区块孔隙度-深度关系

Fig. 10 Porosity vs. depth of Pingzhong area in the Pinghu structural belt

石质石英砂岩为主,岩石颗粒具较好的分选性和磨圆度,颗粒间以点-线接触为主,总体具有中等的成分成熟度和较高的结构成熟度的特征;研究区储层砂岩平均孔隙度为13.19%,平均渗透率为 $62.69 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,总



体表现为低孔低渗和中孔中渗的特征,储层孔、渗相关性明显,属于孔隙型储层;储层孔隙空间主要有原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔4种类型,其中粒间溶孔是研究区储层最重要的储集空间类型;喉道类型以缩颈型喉道、片状喉道、弯片状喉道为主,孔喉组合以中孔粗喉为主。

2) 研究区主要发育潮控三角洲沉积体系和潮坪沉积体系,物性分析资料表明三角洲平原分支河道砂体物性最好,其次是三角洲前缘水下分流河道砂体,三角洲前缘席状砂砂体物性最差;不同成岩作用类型对储层物性的控制作用不同,压实作用和胶结作用使储层孔隙空间变小,物性变差,溶蚀作用和烃类侵位作用则会形成各种类型的次生孔隙,大大改善储层物性。

3) 研究区的异常高压对储层物性起到积极的建设作用,一方面使原生孔隙在某种程度上得以保存,另一方面促进了岩石中易溶矿物的溶解作用,促使储层次生孔隙发育,改善储层物性。

### 参 考 文 献

- [1] 胡芬,叶加仁,刘俊海. 东海西湖凹陷平湖构造带油气运聚特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2003,23(1):95-102.  
Hu Fen, Ye Jiaren, Liu Junhai. Characteristics of oil and gas migration and accumulation in the Pinghu structural belt, Xihu depression, East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(1):95-102.
- [2] 刘书会,王宝言,刘成鑫. 西湖凹陷平湖地区平湖组沉积相的再认识[J]. 油气地质与采收率,2009,16(3):1-3.  
Liu Shuhui, Wang Baoyan, Liu Chengxin. The recognition about sedimentary facies in Pinghu formation of Pinghu region[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3):1-3.
- [3] 舒艳,胡明毅,蒋海军,等. 西湖凹陷西部斜坡带储层成岩作用及孔隙演化[J]. 海洋石油,2011,31(4):63-67.  
Shu Yan, Hu Mingyi, Jiang Haijun, et al. Diagenesis and reservoir porosity evolution of Western Slope Zone of Xihu Sag[J]. Offshore Oil, 2011, 31(4):63-67.
- [4] 赵丽娜,陈建文,张银国,等. 东海西湖凹陷平湖构造带平湖组沉积特征[J]. 世界地质,2008,27(1):42-47.  
Zhao Lina, Chen Jianwen, Zhang Yinguo, et al. Sedimentary characteristics of Pinghu Formation in Pinghu structural belt of Xihu depression, East China Sea[J]. Global Geology, 2008, 27(1):42-47.
- [5] 刘双莲,李浩,周小鹰. 大牛地气田大12—大66井区沉积微相与储层产能关系[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):45-49.  
Liu Shuanglian, Li Hao, Zhou Xiaoying. Relationship between sedimentary microfacies and reservoir productivity in Da12 - Da66 well-block, Daniudi gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1):45-49.
- [6] 李文浩,张枝焕,咎灵,等. 渤南洼陷北部陡坡带沙河街组砂砾岩有效储层物性下限及其主控因素[J]. 石油与天然气地质,2012,33(5):766-777.  
Li Wenhao, Zhang Zhihuan, Zan Ling, et al. Lower limits of physical properties and their controlling factors of effective coarse-grained clastic reservoirs in the Shahejie Formation on northern steep slope of Bonan subsag, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5):766-777.
- [7] 李凤杰,王多云,徐旭辉. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组储层特征及影响因素分析[J]. 石油实验地质,2005,27(4):365-370.  
Li Fengjie, Wang Duoyun, Xu Xuhui. The influential factors and characteristics of Triassic Yanchang Formation reservoir in Longdong area, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(4):365-370.
- [8] 王金鹏,彭仕宓,史基安,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长6—长8段储层特征及其主控因素[J]. 新疆地质,2008,26(2):163-166.  
Wang Jinpeng, Peng Shimi, Shi Ji'an, et al. Reservoir characteristics and its main controlling factors of Chang6 - Chang8 formation in Longdong, Ordos basin[J]. Xinjiang Geology, 2008, 26(2):163-166.
- [9] 罗文军,彭军,杜敬安,等. 川西坳陷须家河组二段致密砂岩储层成岩作用与孔隙演化——以大邑地区为例[J]. 石油与天然气地质,2012,33(2):287-295.  
Luo Wenjun, Peng Jun, Du Jing'an, et al. Diagenesis and porosity evolution of tight sand reservoirs in the 2<sup>nd</sup> member of Xujiahe Formation, western Sichuan Depression: an example from Dayi region[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2):287-295.
- [10] 张建培,葛和平,漆滨汶. 西湖凹陷砂岩自生高岭石发育特征及其对储层物性的影响[J]. 海洋石油,2009,29(1):1-8.  
Zhang Jianpei, Ge Heping, Qi Binwen. Characteristics of authigenic kaolinite in sandstones of Xihu Sag and its impact on reservoir physical properties[J]. Offshore Oil, 2009, 29(1):1-8.
- [11] 张建培,葛和平. 西湖凹陷古近系及新近系储层砂岩自生高岭石分布特征及形成机制[J]. 中国海上油气,2008,20(6):362-366.  
Zhang Jianpei, Ge Heping. Authigenic kaolinite distribution and origin in Paleogene and Neogene reservoir sandstones in Xihu sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(6):362-366.
- [12] 赵俊兴,黄德才,罗媛,等. 鄂尔多斯盆地南部长6段储层成岩作用特征[J]. 天然气工业,2009,29(3):34-37.  
Zhao Junxing, Huang Decai, Luo Yuan, et al. Diagenetic features of reservoirs in the Chang-6 member, south Ordos basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(3):34-37.
- [13] 张先平,张树林,陈海红,等. 东海西湖凹陷平湖构造带异常压力与油气成藏[J]. 海洋地质与第四纪地质,2007,27(3):93-97.  
Zhang Xianping, Zhang Shuli, Chen Haihong, et al. Abnormal pressure and related reservoir formation in the Pinghu structural belts of Xihu depression, East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(3):93-97.
- [14] 叶加仁,顾惠荣. 东海西湖凹陷油气系统特征及勘探评价[J]. 天然气工业,2004,24(8):8-12.  
Ye Jiaren, Gu Huirong. Characteristics and exploration evaluation of the petroleum systems in Xihu depression of East China Sea[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(8):8-12.
- [15] 张先平,陈海红. 东海西湖凹陷温压系统与油气成藏[J]. 海洋地质与第四纪地质,2008,28(2):87-91.  
Zhang Xianping, Chen Haihong. Geotemperature-pressure systems and related reservoir formation in the Xihu sag, East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2008, 28(2):87-91.