

山东桩海地区中生界碎屑岩储层特征及其控制因素

帅 萍

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 采用岩芯观察、薄片鉴定、扫描电镜分析及X-衍射分析等手段,对桩海地区中生界碎屑岩储层的成岩作用、储集空间和控制因素进行了研究。结果表明,桩海地区中生界碎屑岩储层经历了强烈的压实压溶作用和胶结交代作用、多期次的溶解作用和裂缝形成作用;成岩作用阶段可划分为早成岩B,中成岩A₁, A₂和中成岩B期。储集空间以溶解孔隙和裂缝为主,裂缝主要有构造裂缝、压实裂缝和解理裂缝;溶解孔隙主要有长石溶解孔隙和碳酸盐胶结物溶解孔隙,其成因主要与大气降水溶解作用和沙河街组、东营组有机质演化过程中形成的有机酸溶解作用有关。桩海地区中生界碎屑岩储层的控制因素主要有沉积作用、成岩作用和构造作用。沉积作用控制了碎屑岩杂基、分选、磨圆等结构特征,进而控制了原生孔隙结构,为后期溶解作用的形成奠定了基础。断层和不整合面作为流体运移通道为溶解作用提供酸性介质,断层和不整合的规模越大对碎屑岩储层物性的控制作用越明显,距离断层和不整合面越近的储层物性越好。溶解作用受沉积作用和构造作用的控制,在原始孔隙结构好、压实作用和早期胶结作用弱以及裂缝发育的地区,溶解作用强烈、次生孔隙发育、储层物性好。在沉积作用、成岩作用和构造作用的综合控制下,中生界顶底及内部不整合面附近发育多个次生孔隙发育带,中生界顶部处于中成岩A₁亚期的储层次生孔隙最发育。

关键词: 中生界;成岩作用;储集空间;控制因素;桩海地区

中图分类号: P618.103.21

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2009)-03-0398-09

Characteristics and Controlling Factors of Mesozoic Clastic Reservoirs in Zhuanghai Area, Shandong Province

SHUAI Ping

(Geological Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: The diagenesis, reservoir space and controlling factors of Mesozoic clastic reservoirs in Zhuanghai area have been researched in this paper through core observation, thin section determination, scanning electron microscope and X-diffraction analysis. The results show that, the clastic reservoirs experienced strong compaction, cementation and metasomatism as well as polyphase dissolution and crack formation. The diagenetic processes can be divided into four stages including early diagenesis B, middle diagenesis A₁ and A₂ and middle diagenesis B. There exist two chief types of reservoir space: the one is fractures including structural fractures, compaction fractures and cleavage cracks; the other is secondary pores including feldspar dissolution pores and carbonate cement pores which are related to atmospheric water dissolution and organic acid dissolution during the course of organic matter evolution in Shahejie Formation and Dongying Formation. The Mesozoic clastic reservoirs in Zhuanghai area are chiefly affected by sedimentation, diagenesis and tectonism. Sedimentation controlled the textures of clastic rocks such as matrix, sorting and rounding, and further affected the texture of primary pores, which served as basement for later dissolution. As the migration pathways of fluids, the faults and unconformity surfaces supplied acidic media for dissolution. Therefore, the scale of faults and unconformity surfaces controlled the properties of clastic reservoirs obviously. The closer the distance from faults and unconformities is, the better the reservoir properties are. In the areas of favourable sedimentation and geotectonic conditions with

收稿日期: 2009-04-24; 修回日期: 2009-05-27

基金项目: 教育部新世纪优秀人才计划(NBCT-06-0604); 国家油气重大专项(2008ZX05051-02-01)项目资助

作者简介: 帅萍, 1969年生, 女, 工程师, 主要从事石油地质勘探工作; dchqgq@slof.com

good primary pore structure, weak compaction and cementation, and well developed fractures, the strong dissolution, good primary pores and reservoir properties were formed, leading to development of several secondary pore zones around the unconformity surfaces, and the most favorable secondary pores occurred on the top of Mesozoic during the middle diagenetic stage A₁.

Key words: Mesozoic; diagenesis; reservoir space; controlling factors; Zhuanghai area.

1 引言

20世纪90年代,在钻探桩海地区古生界潜山的同时,在新桩101井区中生界发现了安山岩和玄武岩油藏,初期日产油100 t,由此揭开了桩海地区中生界油气勘探的序幕。随后在滩海地区埕岛中生界潜山油藏勘探中又取得重大突破,埕北11块发现了储量 298×10^4 t的中生界顶面风化壳油藏。2000年以来,桩海地区中生界油气勘探工作取得进一步突破,在埕北古6井中生界潜山内幕中发现砂岩油气藏,见到油气层6层61 m,日产原油70.7 t和天然气 $4\,895\text{ m}^3$ 的高产工业油气流;桩海10井中生界碎屑岩油气藏试油获得日产油54.3 t,天然气 369 m^3 的较高产量,并且桩海10块中生界地层上报石油地质储量 $1\,174 \times 10^4$ t,等等。上述勘探成果表明,桩海地区中生界碎屑岩储层具有良好的勘探潜力。但是,中生界碎屑岩储层经历多期复杂的构造作用和成岩作用的强烈改造后,原生储集空间消失殆尽,次生储集空间受沉积、构造和成岩作用等多因素的综合控制,分布规律极其复杂,导致中生界碎屑岩油气藏的发现更多地依靠兼探来实现。因此,探讨桩海地区中生界碎屑岩储层特征及其控制因素,对研究区中生界碎屑岩油气勘探具有重要的指导意义。

2 地质概况

桩海地区位于渤海湾南部极浅海地区的海上埕岛油田和陆上桩西油田之间。构造上处于济阳坳陷与渤中坳陷交界处,即埕岛、埕东、桩西、长堤四个披覆构造的交汇处,东邻黄河口凹陷,西邻埕北凹陷,包括埕北30潜山披覆构造的南部、埕北断裂带东段、长堤潜山披覆构造带北端、桩西潜山披覆构造北东翼(代莉等,2003)。中生代到古近纪早期,由于强烈的挤压褶皱和构造反转拉张断陷等构造活动,桩海地区

中生界地层经历了多期强烈剥蚀(吴智平等,2003),现今残留地层有侏罗系坊子组和三台组以及白垩系蒙阴组和西洼组,并且局部缺失三台组和西洼组地层。研究区中生代主要发育河流-三角洲-湖泊沉积体系, J_{1+2} 时期为河流、沼泽相沉积,岩性为灰色泥岩、碳质页岩、煤、砂岩、含砾砂岩、砾岩,该时期岩性、岩相变化小,沉积范围广,残余厚度一般400~700 m; J_3 -K沉积以河流相、三角洲相沉积和火山岩系发育为特征,残余厚度为200 m左右,最大可达600 m,岩性以灰色泥岩、含砾砂岩、砾岩、凝灰质粗砂岩、岩屑砂岩为主,火山岩从上侏罗统一白垩系均有分布。中生界与古生界和新生界均为不整合接触,中生界内部至少存在两个角度不整合面:即侏罗系坊子组与三台组及三台组与白垩系蒙阴组之间的不整合接触。

3 成岩作用特征

3.1 成岩作用类型

桩海地区中生界储层埋藏深度大(一般大于3 000 m)、岩性多样、遭受多期剥蚀、成岩历史复杂,因此成岩作用类型具有多样性。综合运用常规薄片、铸体薄片、扫描电镜、X-衍射等手段进行分析,总结了中生界成岩作用类型及特征。

3.1.1 压实、压溶作用

中生界储层经历漫长而复杂的成岩历史,埋藏深度大,压实压溶作用强度大,岩石已进入不可压缩状态。显微镜下观察特征明显:(1)塑性颗粒(如泥岩岩屑、云母)压实变形;(2)长石、石英等刚性颗粒破裂;(3)颗粒间呈线接触或凹凸接触。

3.1.2 胶结作用

桩海地区中生界碎屑岩储层胶结作用类型多样,根据胶结物的类型主要分为硅质胶结、碳酸盐胶结和粘土矿物胶结等。

硅质胶结主要表现为石英的次生加大,加大程度显著。长石也具有加大现象,并且常与石英次生加大现象共生,但石英和长石的次生加大现象分布局限,对储层影响较小。碳酸盐是该区中生界储层主要的胶结物,分布广泛,含量高(最高可达25%),成分多样,以方解石和含铁白云石为主(图版I-A,B)。总体上,方解石含量随埋深增加而减少,顶部2 950~3 150 m处形成高含量带;铁白云石随埋深增加变化不大。早期方解石胶结物既可抑制压实作用,又可为晚期溶解提供物质基础。如桩181井3 019~3 112 m方解石普遍发育,含量最高可达20%,在方解石含量小于8%的储层中,方解石溶解强烈,孔隙度一般为13.1%~23.48%,渗透率最高可达 $106.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。粘土矿物胶结主要表现为鳞片状高龄石胶结和栉壳状绿泥石胶结,高龄石胶结可以形成晶格孔隙,但其渗透性较差;绿泥石胶结物减小孔隙喉道,大大降低了储层的渗透率。黄铁矿胶结常呈团块状出现,分布局限。

3.1.3 交代作用

桩海地区中生界碎屑岩储层中交代作用普遍

存在,概括起来主要有以下几种类型:(1)碳酸盐矿物交代石英、长石、岩屑等碎屑颗粒;(2)晚期碳酸盐交代早期碳酸盐,如铁方解石交代方解石;(3)粘土矿物交代碎屑颗粒。

3.1.4 溶解、溶蚀作用

桩海地区中生界碎屑岩储层溶解、溶蚀作用强烈,是形成次生孔隙的主要因素。通过显微镜和扫描电镜观察发现,被溶解的组分主要有长石、酸性喷出岩岩屑、安山岩及碱性喷出岩岩屑中的长石斑晶、碳酸盐矿物(如方解石和菱铁矿)等。

3.1.5 裂缝的形成作用

裂缝是深部储层的一种主要储集空间,它可以大大提高储层的渗透率。桩海地区中生界碎屑岩储层裂缝主要有构造作用形成的构造裂缝和压实作用形成的压实碎裂缝。

3.2 成岩阶段划分

根据中国石油天然气行业新的碎屑岩成岩阶段划分标准(应凤祥等,2004),结合本区具体情况,将桩海地区中生界地层划分为早成岩B、中成岩A和中成岩B期,其中中成岩A期可进一步划分为A₁和A₂亚期(表1)。

表1 桩海地区中生界碎屑岩储层成岩阶段划分
Table 1 Diagenetic stage classification of Mesozoic clastic reservoirs in Zhuanghai area

| 成 阶 段 | 埋 深 (m) | 地 温 (℃) | R _o (%) | 有 机 质 演 化 阶 段 | 粘 土 矿 物 演 化 特 征 | | | | | | 压 实 作 用 | 石 英 加 大 | 长 石 加 大 | 方 解 石 | 铁 方 解 石 | 白 云 石 | 铁 白 云 石 | 长 石 溶 解 | 岩 屑 溶 解 | 碳 酸 盐 溶 解 | 孔 隙 度 演 化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|------------|-----------------------|------------------|-----------------|------------|------------|----------|----------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|---------|---------|-----------|-----------|--|--|--|---|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | I/S 比 值 | C/S 间 层 | I/S 间 层 | 绿 泥 石 | 高 岭 石 | 伊 利 石 | | | | | | | | | | | (%) | | | | 0 | 10 | 20 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 早 成 岩 期 | B | | | 半 成 熟 | 70 ~ 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注: R_o-镜质体反射率; I/S-伊利石/蒙皂石有序间层矿物; C/S-绿泥石/蒙皂石间层矿物。

3.2.1 早成岩B期

埋深小于2 950 m, 古地温低于105℃~115℃, $R_o < 0.5\%$, I/S间层比70%~50%, 高岭石含量达70%以上, 有机质处于半成熟阶段, 方解石是该阶段主要成岩矿物。该阶段长石、岩屑和碳酸盐均发生溶解作用, 形成第一个次生孔隙发育带。

3.2.2 中成岩A₁亚期

埋藏深度小于3 350 m, 古地温低于125℃~135℃, $R_o = 0.5\% \sim 0.7\%$, 有机质开始进入成熟阶段。I/S间层比降至50%以下, 高岭石和C/S间层含量高, 出现少量伊利石和绿泥石。方解石出现高含量带, 成为发生溶解作用的物质基础, 铁白云石晶体开始析出。溶解作用强烈, 形成了中生界储层最大的次生孔隙发育带。

3.2.3 中成岩A₂亚期

埋藏深度小于4 050 m, 古地温低于145℃~155℃, $R_o = 0.7\% \sim 1.3\%$, 有机质处于高成熟阶段。I/S间层比为20%~40%, 高岭石减少, 伊利石和绿泥石含量明显增加, 方解石含量减少, 铁白云石含量增加, 出现高含量带。溶解作用减弱, 对应两个次生孔隙发育带。

3.2.4 中成岩B期

埋藏深度大于4 050 m, 古地温高于145℃~155℃, $R_o > 1.3\%$, 相当于有机质演化生湿气阶段。I/S间层比降至15%以下, 出现伊利石高含量带。石英次生加大强烈, 铁白云石含量较高, 溶解作用进一步减弱, 但仍形成两个低次生孔隙发育带。

4 储集空间特征

4.1 储集空间类型及特征

4.1.1 原生储集空间

原生储集空间是指沉积物原始沉积时形成并保存至今的粒间孔隙。桩海地区中生界碎屑岩储层原生储集空间主要以杂基中微孔隙形式出现, 原生粒间孔隙均被后期改造成胶结物溶解孔隙。

4.1.2 次生储集空间

次生储集空间是指岩石在埋藏过程中由于各种成岩作用和其它地质因素(如构造作用)形成的储集空间。其类型按成因可分为溶解孔隙, 矿物晶间孔隙和裂缝。

(1) 溶解孔隙: 桩海地区中生界碎屑岩储层

最主要的储集空间, 是指在一定的成岩环境中, 岩石组分发生溶解作用所形成的孔隙。按溶解组分可将其分为长石溶解孔隙, 岩屑溶解孔隙和碳酸盐溶解孔隙。长石颗粒常被溶解为港湾状、蚕食边状、蜂窝状或残余状, 形成部分溶解孔隙、粒内孔隙、残余孔隙和铸模孔隙(图版 I-C)。岩屑溶解孔隙主要指酸性喷出岩、安山岩和碱性喷出岩岩屑的溶解, 酸性喷出岩岩屑常被溶解为蜂窝状, 安山岩岩屑和碱性喷出岩岩屑中的长石微晶和基质均有溶解现象(图版 I-D)。方解石和菱铁矿常被溶解为蜂窝状、斑状以及残余状, 形成粒间溶解孔隙和超大孔隙(图版 I-E)。

(2) 矿物晶间孔隙: 由地层水中沉淀出的自生矿物在较大空间内自由结晶以及矿物重结晶形成的微孔隙。如自生高岭石晶间孔隙和方解石晶间孔隙。

(3) 裂缝: 桩海地区中生界碎屑岩储层中主要发育三种裂缝, 即构造裂缝、压实裂缝和解理缝。构造裂缝指在构造活动特别是断层活动中形成的储集空间, 岩芯观察发现以垂直裂缝为主, 一般延伸较长, 并且沿裂缝常伴有溶解现象, 显微镜下常见切穿颗粒的开启裂缝(图版 I-F)。压实裂缝指脆性颗粒在上覆地层压力或构造应力作用下破碎而形成的裂缝(图版 I-G), 此类裂缝可以提高孔隙度、增大渗透率。解理缝指当压力与矿物解理方向呈一定的角度或沿解理方向时, 解理缝扩大形成的储集空间(图版 I-H), 显微镜下常见长石、云母等矿物的解理缝, 如果解理缝切穿颗粒就可以作为有效的储集空间, 并起到连接孔隙、提高渗透率的作用。

4.2 次生孔隙成因

桩海地区中生界碎屑岩储层储集空间主要为长石、中酸性喷出岩岩屑和碳酸盐胶结物等溶解孔隙, 并发育多个次生孔隙发育带(表1)。由该区重点井孔隙度垂向演化发现, 次生孔隙发育带与中生界顶底及内部不整合面或断层有良好的对应关系(图1)。如埕北古6井位于埕北断层上升盘埕北11潜山的较低部位, 由断面进入中生界, 顶部2 500~2 650 m高孔隙带恰好对应于早成岩B期的次生孔隙发育带; 除埕北11断块中生界顶面埋藏深度在2 350 m左右, 其它断块潜山中生界顶

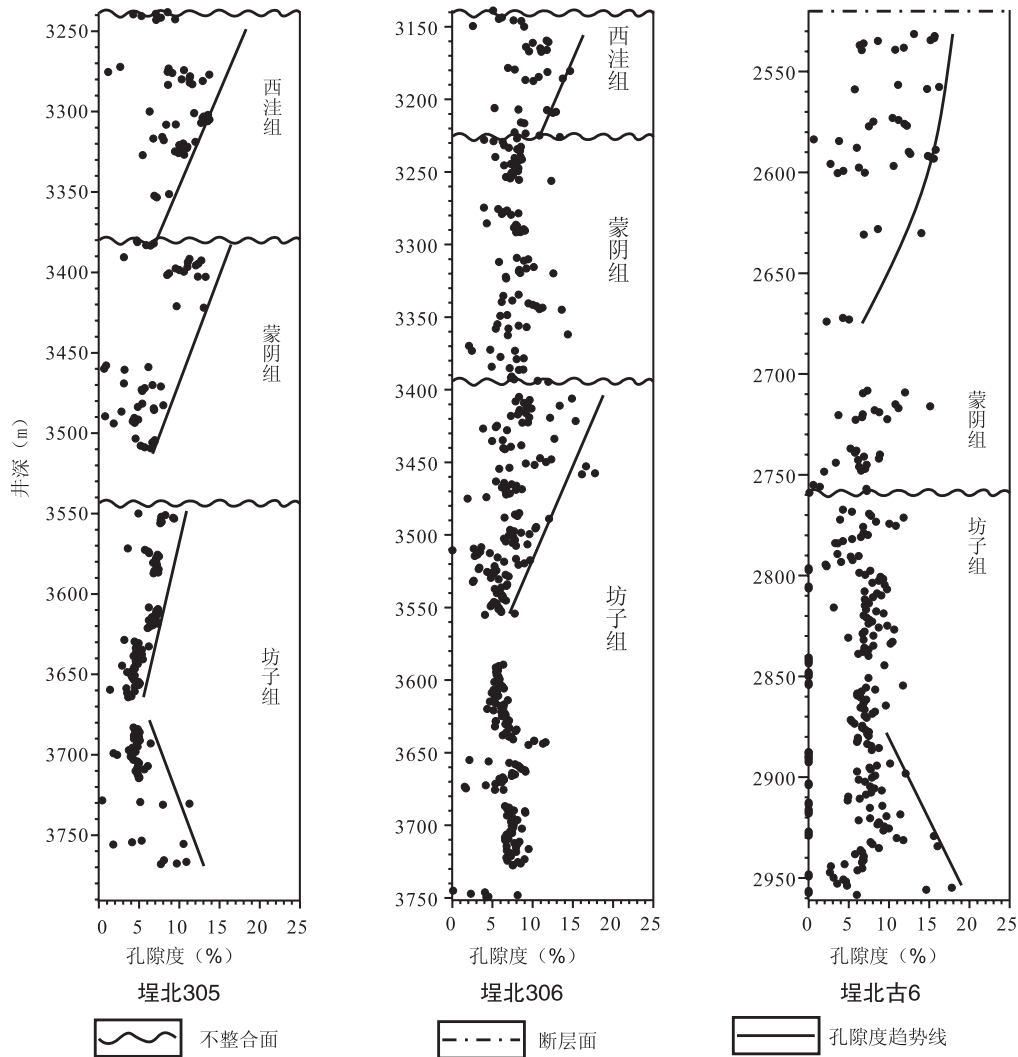


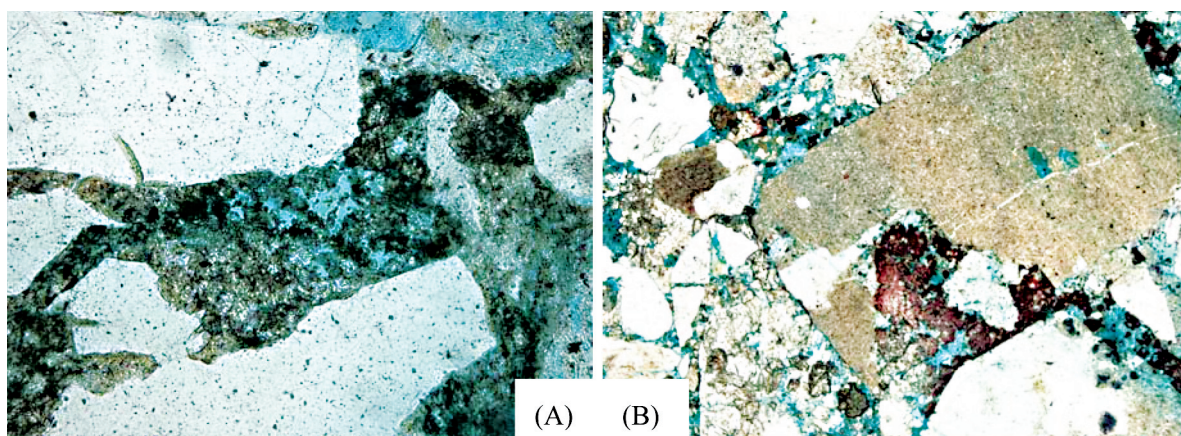
图1 桩海地区中生界碎屑岩储层孔隙度演化剖面
Fig. 1 Porosity evolution profile of Mesozoic clastic reservoirs in Zhuanghai area

面埋深均在3 000 m左右,恰好对应于中成岩A₁亚期2 950~3 300 m次生孔隙发育带;中成岩A₂亚期3 400~3 500 m次生孔隙发育带与埕北306井坊子组与蒙阴组间不整合相对应,3 650 m~3 900 m次生孔隙发育带与埕北305井中生界与古生界不整合面深度相当。因此,次生孔隙形成与不整合面有密切关系。

显微镜下观察发现埕北11B-1井中生界顶部2 351~2 388 m菱铁矿溶解氧化现象明显(图2A),长石颗粒风化强烈,高岭石含量达到70%以上,说明地层曾处于酸性氧化环境,溶解孔隙的形成与大气降水有关。晚侏罗世—白垩纪受郯庐断裂左行走滑的影响,原NW向逆断层发生负构造反转,J₁₊₂时期沉积地层遭受剥蚀,形成J₁₊₂与

J₃+K间的角度不整合(吴智平等,2003)。中生界顶部遭受严重的剥蚀,普遍缺失王氏组地层,局部缺失西洼组和王氏组,剥蚀厚度为2 000~2 500 m(李伟等,2005)。因此,构造活动期,大气降水沿断裂面向下渗流,沿不整合面横向运移(图3A),致使地层水持续保持酸性条件,不稳定组分发生溶解作用,同时形成大量高岭石矿物。盖洛(Galloway,1984)认为这种大气水向下渗透的深度可达2~3 km,甚至更远,其下渗深度与孔隙水密度、孔隙压力有关(刘孟慧和赵澄林,1993)。次生孔隙发育带随深度减弱与此应该有一定关系(表1)。

粘土矿物X-衍射分析发现,2 950 m~3 300 m次生孔隙发育带内高岭石含量高达60%~80%,显



(A) 埕北11B-1井, 2385.1m, (-), $\times 200$, 菱铁矿溶解、氧化现象
 (B) 埕北30井, 2978.8m, (-), $\times 50$, 方解石充填长石早期溶解孔隙, 方解石再次被溶解
 (A) well Chengbei 11B-1, 2385.1m, (-), $\times 200$, siderite dissolution and oxidation; (B) well Chengbei 30, 2978.8m, (-), $\times 50$,
 Calcite fills in the early dissolution pores of feldspar and dissolved again

图2 桩海地区中生界碎屑岩储层酸性溶解作用微观特征

Fig. 2 Microscopic features of acidic dissolution in Mesozoic clastic reservoirs of Zhuanghai area

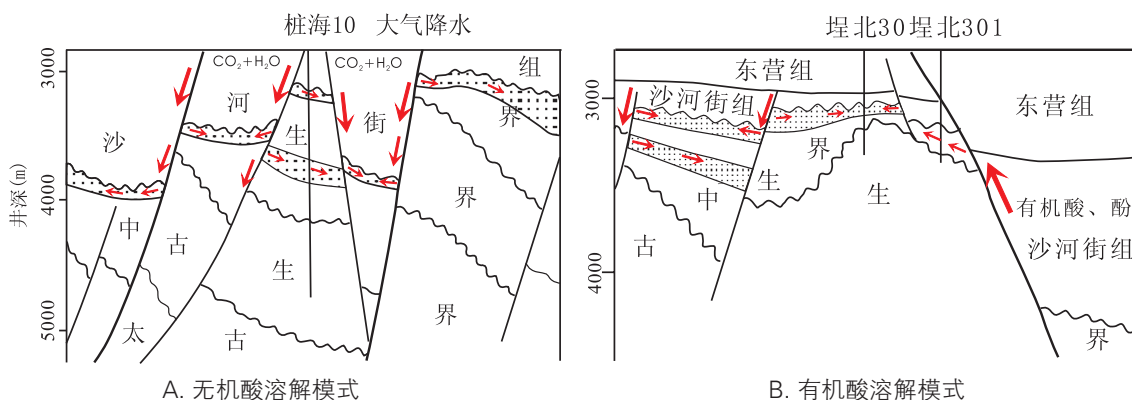


图3 桩海地区中生界碎屑岩储层次生孔隙成因模式

Fig. 3 Genetic model of secondary pores in Mesozoic clastic reservoirs of Zhuanghai area

显微镜观察发现, 埕北30井中生界顶部2 978.8 m长石溶解孔隙被方解石充填, 方解石又被溶解现象(图2B), 说明次生孔隙的形成至少经历了两期溶解, 除了与大气水溶解作用有关外, 还受到有机质热演化过程中形成的有机酸的溶解作用。桩海地区主力生油层为埕北洼陷和黄河口洼陷内的沙河街组和东营组上段, 中生界基本不具备生油潜力(代莉等, 2003)。埕北断层、长堤断层以及派生的次级断层在古近纪继承性活动, 均为油源断层, 如埕北307东部断层控制了其东部沟谷中古近系烃源岩与埕北306、桩海10潜山直接对接, 新生界底界面落差400~1 200 m, 为该区主要的油源通道^①。馆陶组沉积末期—明化镇组沉积末期,

埕北洼陷生成的油气发生大规模和远距离运移, 黄河口洼陷生成的油气在明化镇组沉积末期开始运移(代莉等, 2003)。Surdam(1989)研究发现干酪根含氧侧链在热演化早期阶段大量断裂产生大量的有机酸。因此, 在油气大规模生成、运移之前大量有机酸沿继承性活动的断层和不整合面运移进入中生界碎屑岩储层(图3B), 致使地层水持续保持酸性条件, 不稳定组分遭受溶解, 形成次生孔隙发育带。

5 储层控制因素

5.1 沉积作用对储层的控制作用

由桩海地区钻遇中生界探井资料来看, 中生

① 张善文, 王永诗, 谢忠怀, 等. 2003. 济阳坳陷中生界地层、储层特征及勘探目标研究. 胜利油田地质科学研究院.

界广泛发育砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩等碎屑岩储集体。在单井相分析的基础上,利用实测孔隙度和测井解释孔隙度,统计各沉积环境中全部碎屑岩储层的孔隙度发现:三角洲相储层好于河流相储层,三角洲相储层中前缘亚相储层好于平原亚相储层,河流相储层中心滩微相储层好于河床滞留微相储层(图4)。连通性良好的原生孔隙是大规模形成溶解孔隙的前提条件,而碎屑岩原生孔隙结构取决于杂基含量、颗粒的分选性、磨圆程度等特征。如该区孔隙度与杂基含量之间存在良好的负相关关系(图5A);三角洲前缘水下分流河道和河口坝微相分选好、磨圆为次圆状、杂基含量低的砂岩储层实测孔隙度(13.1%~18.45%)明显高于河流心滩微相分选中等、磨圆为次棱状的砂岩储层的孔隙度(8.49%~12.38%)(表2)。因此,认为沉积作用控制了碎屑岩杂基、分选、磨圆等结构特征,进而控制了原生孔隙结构,为后期溶解作用的形

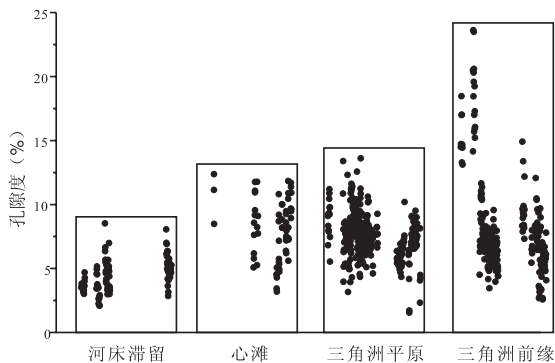
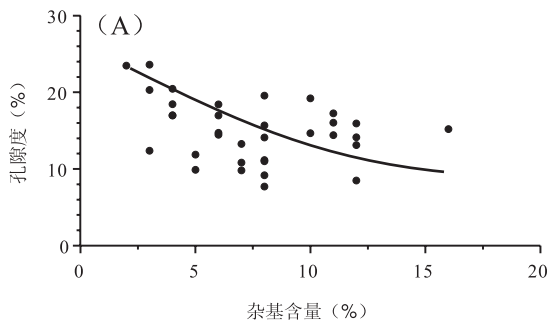


图4 桩海地区中生界碎屑岩储层孔隙度与沉积相关系图

Fig. 4 Relationship of porosity and sedimentary facies of the clastic reservoirs of Mesozoic Group in Zhuanghai area



成奠定了基础。

5.2 成岩作用对储层的控制作用

成岩作用对储层的控制作用主要表现在两个方面:(1)溶解作用和裂缝的形成作用对储层改造;(2)压实作用和胶结作用对储层破坏。溶解作用的发生需要两个前提条件:(1)具有连通良好的储集空间,地层水介质能够在储层中循环流动;(2)具有能够溶解岩石的水介质。该区中生界酸性水介质主要来自大气降水和沙河街组、东营组有机质向烃类转化伴生的有机酸,与中生界的成岩演化和有机质演化关系不大。压实作用和胶结作用对储层的破坏程度决定了后期溶解作用对储层的改造程度,如埕北11B-1井2 351.5~2 355 m点-线接触、白云石胶结的砂岩孔隙度明显低于桩181井3 022.3~3 032.2 m点接触、方解石胶结的砂岩孔隙度(表2);孔隙度与碳酸盐含量之间存在明显的负相关关系(图5B),主要原因是早期方解石胶结物抑制了压实作用,后期被溶解而含量减少,晚期铁白云石胶结对储层只起到破坏作用,含量越少,孔隙保存的越多。因此,溶解作用是在压实作用和早期胶结作用对早期孔隙结构改造相对较弱的条件下发生,进而改造储层,晚期白云石胶结作用弱使得次生孔隙能够良好保存。

5.3 构造作用对储层的控制作用

构造作用对储层的控制作用主要表现在两方面:(1)储层在构造应力的作用下形成裂缝;(2)不整合面和继承性活动的断层作为大气水和有机酸运移通道。中生界与新生界不整合面剥蚀时间最长、剥蚀厚度最大、成岩作用对其附近储层的破坏最用最弱,溶解作用强烈,因此,中生

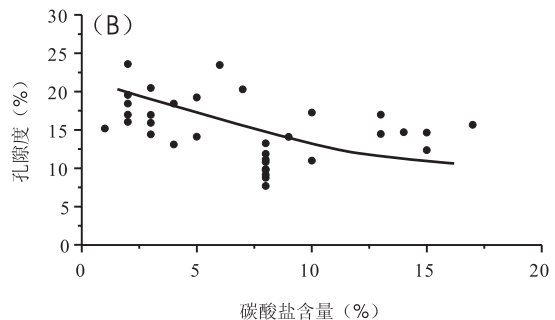


图5 桩海地区中生界碎屑岩储层孔隙度与杂基、碳酸盐含量关系图

Fig. 5 Relationship of porosity and contents of matrix and carbonate in the Mesozoic clastic reservoirs of Zhuanghai area

表2 桩海地区中生界碎屑岩储层特征
Table 2 Characteristics of Mesozoic clastic reservoirs in Zhuanghai area

| 井号 | 深度 (m) | 渗透率 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$) | 孔隙度 (%) | 分选性 | 磨圆度 | 接触 关系 | 石英 (%) | 长石 (%) | 岩屑 (%) | 杂基 (%) | 方解石 (%) | 白云石 (%) | 沉积相 |
|---------|-----------|------------------------------------|------------|-----|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|----------------------------|
| 埕北11B-1 | 2351.5 | 5.36 | 12.38 | 中等 | 次棱 | 线-点 | 25 | 43 | 32 | 3 | | 2 | 心 滩 |
| 埕北11B-1 | 2353.1 | 3.45 | 11.15 | 中等 | 次棱 | 线-点 | 16 | 42 | 42 | 8 | | 8 | |
| 埕北11B-1 | 2354.9 | 1.04 | 8.49 | 中等 | 次棱 | 线-点 | 48 | 35 | 17 | 12 | | 15 | |
| 桩181 | 3022.3 | 5.147 | 14.7 | 好 | 次圆 | 线-点 | 53 | 26 | 21 | 6 | 14 | | 水 下 分 流 河 道 |
| 桩181 | 3026 | 6.719 | 16.97 | 好 | 次圆 | 点 | 59 | 19 | 22 | 4 | 3 | | |
| 桩181 | 3027.5 | 1.241 | 13.27 | 中等 | 次棱 | 点 | 67 | 18 | 15 | 7 | 8 | | |
| 桩181 | 3020.6 | 4.844 | 14.47 | 好 | 次圆 | 点 | 61 | 24 | 15 | 6 | 13 | | 河 口 坝 |
| 桩181 | 3025.3 | 5.724 | 18.45 | 好 | 次圆 | 点 | 51 | 20 | 29 | 4 | 2 | | |
| 桩181 | 3032.2 | 1.268 | 13.1 | 好 | 次棱 | 线-点 | 48 | 23 | 29 | 12 | 4 | | |

界顶部2 950 m ~ 3 300 m形成了最大的次生孔隙发育带。中生界内部不整合面剥蚀厚度较小，其附近储层受成岩作用改造复杂，早期形成的次生孔隙被后期的压实作用和胶结作用破坏，因此，内部不整合面对储层的控制作用小于中生界与新生界不整合面。

6 结论

1) 桩海地区中生界碎屑岩储层经历了强烈的压实压溶作用和胶结交代作用、多期次溶解溶蚀作用和裂缝的形成作用。

2) 桩海地区中生界碎屑岩储层可划分为早成岩B，中成岩A和中成岩B期，其中中成岩A期可进一步划分为A₁和A₂亚期。中成岩A₁亚期次生孔隙最发育。

3) 桩海地区中生界碎屑岩储层储集空间以溶解孔隙为主，其成因主要与大气降水和沙河街组、东营组有机质演化过程中形成的有机酸的溶解作用有关。

4) 桩海地区中生界碎屑岩储层主要受沉积作用、成岩作用和构造作用的控制。沉积作用控制储层的原始孔隙结构，为溶解作用奠定基础；构造作用可形成裂缝，断层和不整合面又作为流体运移通道，为溶解作用提供酸性介质；溶解作用在压实和胶结作用对储层破坏较弱的整合面附近最强烈，形成次生孔隙发育带。

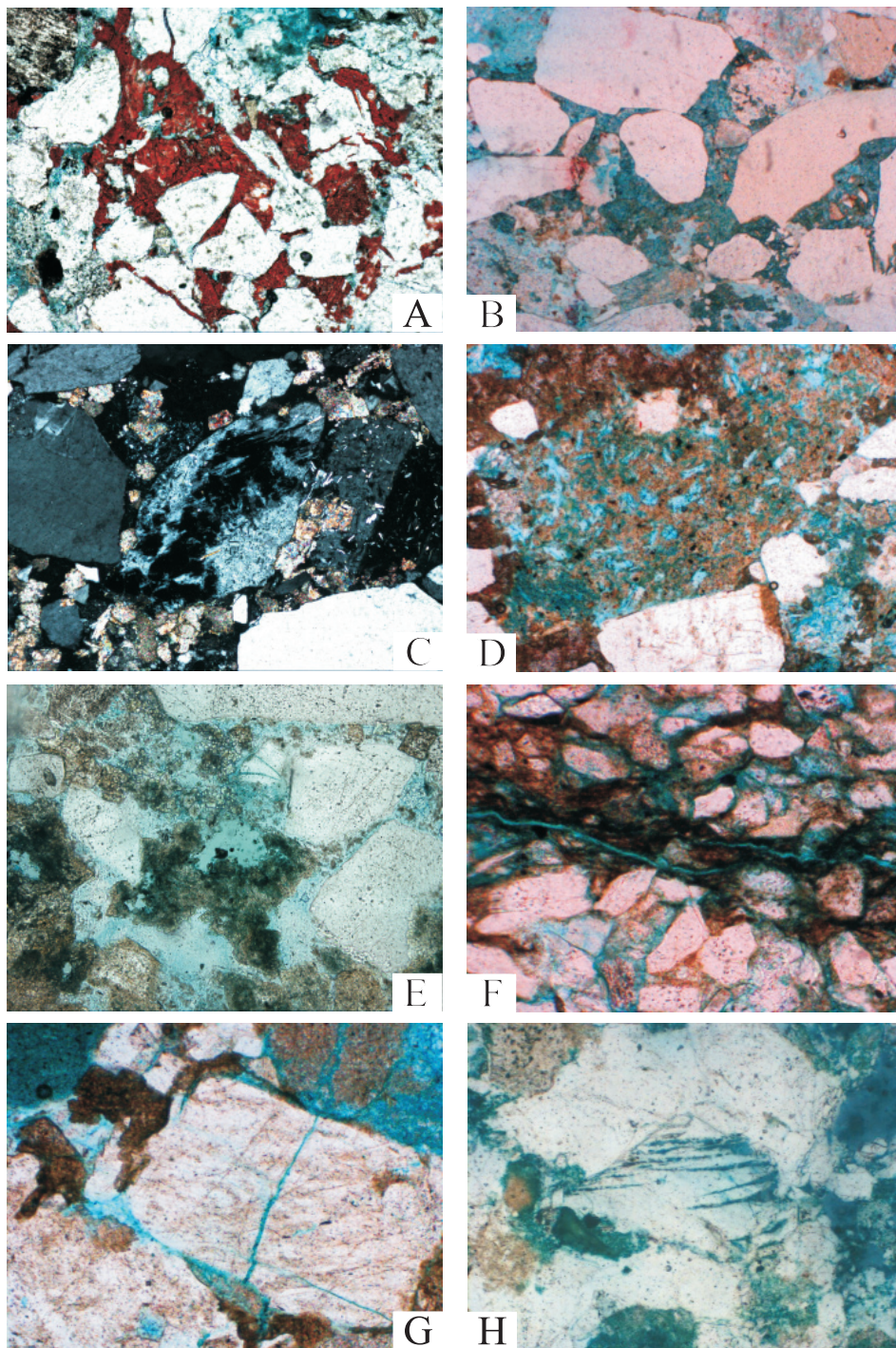
References:

- Dai Li, Zhang Jie, Wang Chaoan, et al. 2003. Analysis of oil-gas reservoir-forming system in Zhuanghai area [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 10(4): 20–22. (in Chinese with English abstract)
- Galloway W E. 1984. Hydrogeologic regimes of sandstones diagenesis [C]. AAPG Memoir, 37: 3–13.
- Li Wei, Wu Zhiping, Zhou Yaoqi. 2005. Reconstruction of the Mesozoic strata and Mesozoic proto-type basin in the Jiyang depression [J]. *Geological Review*, 51(5):507–516. (in Chinese with English abstract)
- Liu Menghui and Zhao Chenglin. 1993. Diagenetic Evolutionary Model of Clastic Reservoirs [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 26. (in Chinese with English abstract)
- Surdam R C, Crossey L J, Hagen S E, et al. 1989. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis [J]. *AAPG Bulletin*, 73: 1–12.
- Wu Zhiping, Li Wei, Ren Yongjun, et al. 2003. Basin evolution in the Mesozoic and superposition of Cenozoic basin in the area of the Jiyang depression [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 280–286. (in Chinese with English abstract)
- Ying Fengxiang, Luo Ping, He Dongbo, et al. 2004. Diagenesis and Diagenetic Numerical Simulation of Clastic Reservoirs in Oil-Gas Basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 91–93.(in Chinese)

参考文献:

- 代莉, 张杰, 王朝安, 等. 2003. 桩海地区油气成藏系统分析 [J]. *油气地质与采收率*, 10 (4): 20–22.
- 李伟, 吴智平, 周瑶琪. 2005. 济阳拗陷中生代地层剥蚀厚度、原始厚度恢复及原型盆地研究[J]. *地质论评*, 51(5):507–516.
- 刘孟慧, 赵澄林. 1993. 碎屑岩储层成岩演化模式[M]. 东营: 石油大学出版社, 26.
- 吴智平, 李伟, 任拥军, 等. 2003. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. *地质学报*, 77 (2): 280–286.
- 应凤祥, 罗平, 何东博, 等. 2004. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟 [M]. 北京: 石油工业出版社, 91–93.

图版 I



图版说明 (Explanation of plate) :

- A-桩42井, 3617m, 10×, (-), 方解石胶结 (well Zhuang 42, 3617 m, 10×, (-), calcite cementation) ;
 B-埕北11B-1井, 2351.5m, 4×, (-), 铁白云石胶结 (well Chengbei 11B-1, 2351.5 m, 4×, (-), iron dolomite cementation) ;
 C-埕北11B-1井, 2371.4 m, 10×, (+), 长石颗粒内溶解孔隙 (well Chengbei 11B-1, 2371.4 m, 10×, (+), feldspar inner-granular dissolution pore) ;
 D-埕北11B-1井, 2367.8 m, 4×, (-), 安山岩岩屑长石斑晶溶解孔隙 (well Chengbei 11B-1, 2367.8 m, 4×, (-), andesite lithic greywacke porphyrotopes dissolution pore);
 E-埕北11B-1井, 2385.1 m, 20×, (-), 碳酸盐胶结物溶解孔隙 (well Chengbei 11B-1, 2385.1 m, 20×, (-), carbonate cement dissolution pore) ;
 F-埕北11B-井, 2354.9 m, 10×, (-), 构造裂缝 (well Chengbei 11B-1, 2354.9 m, 10×, (-), structural fracture) ;
 G-埕北11B-1井, 2367.8 m, 10×, (-), 长石颗粒压实裂缝 (well Chengbei 11B-1, 2367.8 m, 10×, (-), feldspar compaction fracture) ;
 H-桩107-1井, 2840m, 10×, (-), 长石解理缝 (well Zhuang 107-1, 2840 m, 10×, (-), feldspar cleavage crack) 。