

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 枣园油田孔一、二段储层成岩作用和 孔隙结构特征

王伟锋 林承焰 信荃麟

(石油大学油藏地质研究所, 山东东营)



本文综合应用研究区目的层段岩芯样品的各项分析测试资料,对储集砂岩的成岩作用和孔隙结构进行研究,揭示了枣园油田储集砂岩的成分成熟度和结构成熟度均较低,各组分含量变化大是造成储层成岩变化和孔隙结构复杂的因素之一。孔一、二段砂岩经历了压实、胶结、交代、溶解和自生矿物充填等成岩作用。孔一段上部孔隙类型以原生孔隙为主,孔隙和喉道发育、孔渗高,但孔喉分选差;下部原生和次生孔隙并存。孔二段主要是次生孔隙,孔喉细、分选差,孔渗性较孔一段上部差。

关键词 成岩作用 孔隙类型 孔隙结构 枣园油田

枣园油田位于黄骅拗陷南部孔店凸起带上,由自来屯、风化店和沈家铺3个局部构造组成,面积为43.6 km<sup>2</sup>。主要含油层段为孔店组一段和二段,油层埋深1500—2900 m。孔一段砂体为扇三角洲前缘沉积,孔二段砂体为深湖浊积水道沉积。由于断裂构造较发育,孔一、二段储层被切割成0.02—2.6 km<sup>2</sup>的多个断块,因此,断块油藏是研究区的主要油藏类型。长期以来,枣园油田开发效果差,为了改善开发效果,1989年中国石油天然气总公司组织了“改善枣园油田开发效果”科技攻关项目,其中“砂岩成岩作用和孔隙结构”研究是“枣园油田油藏精细描述的三级课题”,目的在于揭示储层的微观特征,为改善开发效果提供依据。

## 1 岩石学特征

孔一段砂岩以低成分成熟度和低结构成熟度为特征。岩石类型以岩屑(质)长石砂岩和长石(质)岩屑砂岩为主,碎屑组分约占70%,其中石英含量较低,仅占碎屑颗粒的30%—40%。不稳定成分含量高,长石和岩屑普遍存在,含量变化较大。杂基组分约占10%±,以粘土矿物为主,有蒙脱石、伊/蒙混层、伊利石、高岭石、绿泥石和绿泥石/蒙脱石混层粘土矿物等。胶结物约占10%±,以碳酸盐胶结物为主,其次为自生粘土矿物和硅质胶结物。碳酸盐胶结物以方解石为主,还有铁方解石、白云石、铁白云石和菱铁矿等。胶结方式以接触-孔隙式和孔隙-接触式为主,少量基底-孔隙式胶结。

孔一段砂岩粒度较细,分选性和磨圆度差,岩石以粉细砂岩为主,少量中砂岩,个别含砾砂岩和砂质砾岩。

孔二段II油组砂岩以长石砂岩和岩屑砂岩为主。碎屑组分中,石英为35.9%;长石主要是正长

石和斜长石, 分别为 22% 和 25.2%。岩屑以酸性火山岩岩屑为主, 其次是变质岩、沉积岩和基性火山岩岩屑, 平均含量为 16%。胶结物以泥质和碳酸盐为主, 硅质胶结物也常见, 少量黄铁矿胶结。杂基组分以泥质杂基、细粉砂和云母片最为常见。泥质含量 < 30%, 钙质胶结物 < 40%, 硅质 < 3%。砂岩普遍具有粒度细、分选差、磨圆度差等结构成熟度低的特点。

砂岩的成分和结构成熟度低是导致其孔隙结构复杂和孔渗性变化大的主要因素之一。

## 2 砂岩成岩作用特征

### 2.1 成岩作用类型及特征

研究区储集砂岩经历了压实、胶结、交代、溶解、自生矿物的形成与充填, 以及烃类充填等成岩作用类型。

1. 压实作用: 由于砂岩的不稳定组分和杂基含量高, 压实作用普遍存在且表现较强, 常见颗粒的定向排列、挤压变形和颗粒破裂, 以及颗粒接触由点接触到凹凸接触和线接触。随着埋深增加压实作用逐渐增强, 至孔一段枣 IV、V 油组压溶作用开始发育, 至孔二段压溶作用已较普遍。

2. 胶结作用: 本区砂岩中胶结作用较发育。胶结物类型有碳酸盐、泥质、硅质及少量黄铁矿、沸石等。

胶结作用自上而下, 有增强趋势, 一般孔一段枣 I、II 油组以泥质胶结为主, 岩石固结程度低; 枣 III、IV 油组泥质和碳酸盐共同胶结; 枣 V 油组以碳酸盐胶结为主, 方解石、白云石自形程度高 (图版 I-1), 岩石固结程度高。孔二段除泥质和碳酸盐胶结外, 硅质胶结已相当普遍, 表现为石英次生加大和自生石英小晶体 (图版 I-2), 石英加大高达 III、IV 级, 一般含量 < 3%。胶结方式以孔隙-接触式和接触-孔隙式为主, 还有泥质包壳和碳酸盐包壳式胶结, 由于这种包壳的存在使成岩作用 (如石英的次生加大) 受到抑制<sup>[1]</sup>。

3. 交代作用: 在显微镜下经常见到长石、石英和碳酸盐矿物被交代现象。主要表现为方解石交代碎屑颗粒和粘土杂基以及硅质胶结物, 粘土矿物交代碎屑颗粒, 黄铁矿交代碎屑颗粒和孔隙物, 白云石交代方解石。枣北孔二段砂岩自上而下白云石不断增加, 到 II 油组 5 小层个别砂层全部转变为白云石菱面体晶体胶结, 并继承了方解石的形态, 表明为晚期白云石交代的产物。

4. 溶解作用: 被溶解的物质主要是碳酸盐矿物、长石、岩屑和石英。孔一段砂岩中碳酸盐矿物溶解程度是有限的、不均一的, 而长石和石英等硅酸盐矿物的溶解比较强烈, 成为孔一段非常重要的成岩现象。长石被溶解成残骸状或蜂窝状 (图版 I-3), 形成晶内溶孔。溶解最强烈的是钾长石, 其次是斜长石。石英常常从边缘开始溶解, 呈港湾状或不规则外形, 产生贴粒缝。不稳定岩屑如喷出岩屑尤其是碳酸盐砂屑或晶屑可以形成粒内孔。

孔一段溶解作用自上而下有逐渐增强趋势, 如沈家铺枣 I 油组孔隙度平均为 18.2%, 枣 IV 油组为 18.3%, 枣 V 油组为 22.9%。孔隙度随埋深的增加不仅没有减少, 反而有所增大, 反映了溶解作用在枣 V 油组中较发育, 形成较多次生孔隙。

溶解作用在孔二段枣 II 油组中更加发育, 形成大量次生孔隙。长石、岩屑局部溶蚀呈蜂窝状淋滤孔隙、方解石胶结物内溶孔, 以及砂岩局部溶解形成特大孔隙和伸长状孔隙。

5. 自生矿物的形成和充填: 溶解作用后, 孔隙水或地层水达到过饱和时, 便发生沉积作用, 形成自生矿物。

本区储集砂岩中自生矿物包括自生粘土矿物, 有蒙脱石、伊利石、高岭石和绿泥石、伊/蒙混层 (图版 I-4-7); 自生碳酸盐矿物有方解石、铁方解石、白云石、铁白云石; 其它自生矿物尚

有自生石英、黄铁矿,少量石膏、沸石和萤石。

自生粘土矿物孔一段以蒙脱石为主,大部分由早期泥质包壳、杂基等转化而来,晶形差。孔二段枣Ⅱ油组中,以伊/蒙混层和伊利石为主,由杂基和蒙脱石转化而来。但不同小层自生粘土矿物的类型和含量有所不同,如Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>、Ⅱ<sub>3</sub>小层,伊/蒙混层和伊利石,由上向下减少,绿泥石、高岭石增加;Ⅱ<sub>4</sub>、Ⅱ<sub>5</sub>小层以高岭石为主。

自生矿物的形成与分布和岩石成分、成岩环境有关。以孔二段枣Ⅱ油组为例,研究表明该区储集砂岩以长石砂岩、岩屑长石砂岩为主,在酸性条件下,不稳定的长石、岩屑、黑云母等易蚀变形成高岭石,在碱性条件下形成伊利石和绿泥石。因此,从自生粘土矿物的纵向分布来看,Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>小层以伊/蒙混层、伊利石为主,表明介质由酸性向碱性过渡;Ⅱ<sub>3</sub>小层以绿泥为主,介质为碱性;Ⅱ<sub>4</sub>和Ⅱ<sub>5</sub>小层,高岭石大量出现,成岩环境为酸性。

上述成岩类型中压实、胶结、交代和自生矿物充填等作用均使砂岩孔隙减小,物性变差,而溶解作用则使储层产生次生孔隙,物性变好。

## 2.2 成岩阶段划分

根据1989年12月南充会议通过的《含油气区碎屑岩成岩阶段划分及主要标志》<sup>①</sup>,将研究区孔一、二段成岩阶段划分如下:

1. 孔一段枣Ⅰ油组(沈家铺)和枣Ⅱ、Ⅲ油组(枣北)砂岩成岩温度为70℃;早期碳酸盐胶结发育;岩石固结程度低,石英加大不发育,扫描电镜下可见石英小晶体;自生粘土矿物以蒙脱石为主,伊/蒙混层比>70%,枣Ⅱ油组局部发育自生高岭石。孔隙类型以原生孔隙为主,可见少量次生孔隙。泥岩中伊/蒙混层比为50%—65%。因此,孔一段上部为早成岩期B亚期。

2. 孔一段枣Ⅳ、Ⅴ油组砂岩成岩温度76—84℃;晚期碳酸盐胶结物常见;次生孔隙发育,不稳定组分如长石常见溶蚀残余,自生粘土矿物以蒙脱石、伊利石为主,并见有高岭石和绿泥石;石英加大可达Ⅲ级,常见自生石英晶体;偶见油沸石。泥岩中伊/蒙混层比为40%。孔一段枣Ⅳ、Ⅴ油组属早成岩期B亚期,局部进入晚成岩期A亚期。

3. 孔二段Ⅱ油组(枣北)砂岩成岩温度90—110℃;晚期含铁碳酸盐胶结物常见,铁方解石、铁白云石充填孔隙并交代其它组分;长石、岩屑等颗粒、碳酸盐胶结物和杂基常被强烈溶蚀,次生孔隙发育;石英加大Ⅲ—Ⅳ级,自形晶面发育;自生粘土矿物有高岭石、伊/蒙混层、伊利石和绿泥石,伊蒙混层比为20%—38%。泥岩中伊/蒙混层比为40%—60%。孔二段Ⅱ油组属晚成岩期A亚期。

综上所述,该区成岩阶段的划分,因层位埋深和时代新老而异,随着埋深增大和时代越老,成岩阶段越往更高层次发展。各成岩阶段均有相对应的孔隙演化模式。根据成岩标志和成岩演化特点可以将孔一段和孔二段分别概括出两种孔隙演化模式,如图1所示。

## 3 孔隙类型及孔隙结构

### 3.1 孔隙类型

通过铸体薄片观察,结合扫描电镜分析,砂岩中原生和次生孔隙常常共存,但两者相对含量难于定量估计。一般来说,随埋深增大,有总孔隙度变小,次生孔隙逐渐发育的趋势,至孔二段以次生孔隙为主(图版I-8)。常见的孔隙类型如下:

① 据中国石油天然气总公司科技发展部,储层评价研究进展,1990,30—33页。

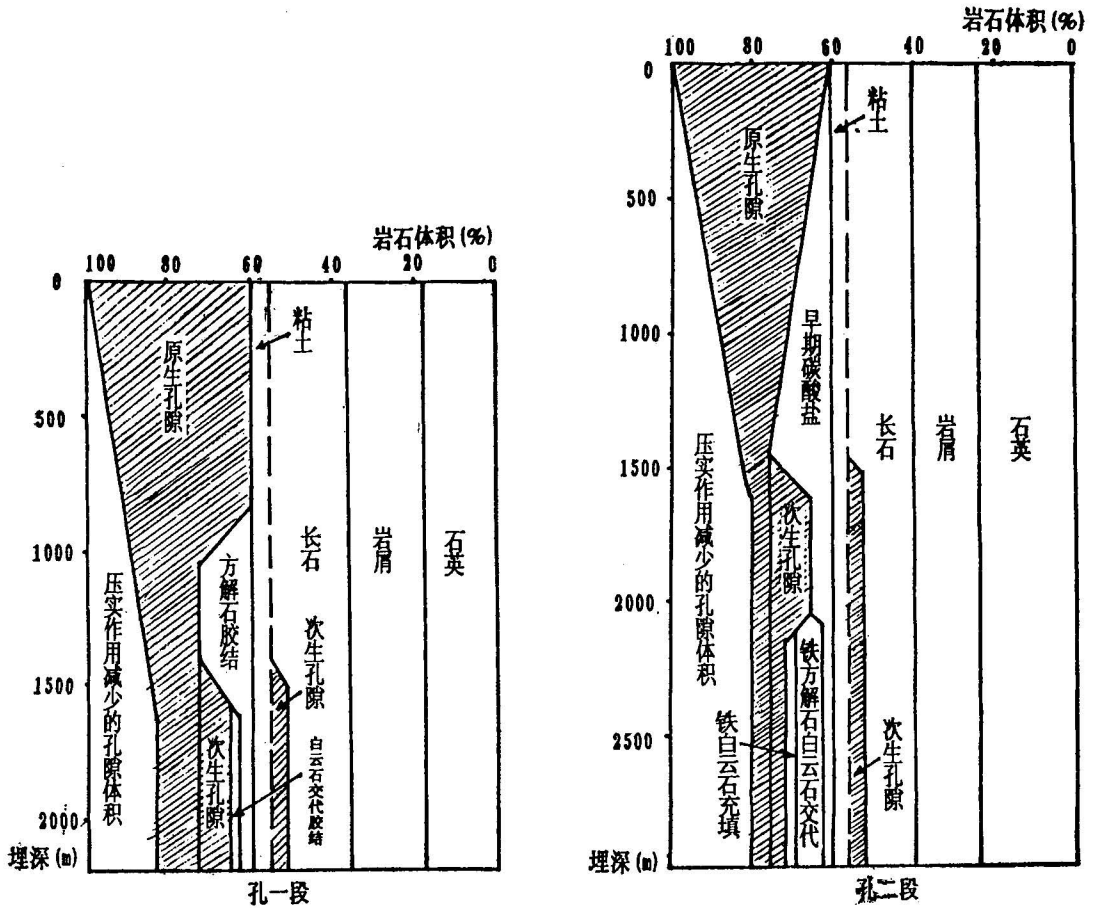


图 1 孔一、二段孔隙演化模式图

Fig. 1 The evolution model of the pores in the First and Second Members of the Kongdian Formation

1. 粒间孔隙：为最主要的储集空间，包括溶蚀扩大和泥质等充填而缩小的粒间孔隙。如枣北 K<sub>2</sub>II、IV 油组和 K<sub>2</sub>II 油组砂岩粒间孔隙分别占总孔隙的 90%、68% 和 80%±。
2. 组分内孔隙：为较次要的储集空间，包括不稳定颗粒溶蚀的粒内孔隙和胶结物内孔隙，自生矿物晶体生长残余的晶间微孔隙。如枣北 K<sub>1</sub>II、IV 油组及 K<sub>2</sub>II 油组组分内孔隙分别占总孔隙的 2.5%—8.3%、14.4% 和 10%—15%。
3. 特大孔隙、印模孔隙和裂隙：所占比例很小，显微镜下偶见。

### 3.2 孔喉分布

据压汞资料所反映的孔喉分布特征来看，储集砂岩孔喉分选差，大多数样品的毛管压力曲线略偏粗或略偏细歪度。孔喉分布频率直方图上，孔喉以多峰或双峰分布，峰值低，峰位宽，以枣北孔一段 II、IV 油组为例，峰值一般 < 10%，峰位一般在 0.1—6.3 μm 之间。按照王允诚等<sup>[2]</sup>根据最大连通孔喉半径 (Rd) 的分类标准 (> 7.6 μm 为好储层，1.07—7.5 μm 为中等储层)，沈家铺孔一段 I、IV、V 油组 Rd 值为 5.2 μm、4.8 μm、7.4 μm，均属于中等储层；枣北孔一段 II 油组和孔二段 II 油组 Rd 值为 15.43 μm 和 7.77 μm，均属于好储层。

据电镜观察，在泥、钙胶结物富集处，发育管束状喉道。在填隙物含量低的部位，发育缩颈

喉道和片状喉道,前者主要分布在差储层中,后者多为中-好储层所具有。

上述孔喉类型和分布特征表明储层微观非均质性严重。

### 3.3 孔喉结构分类

将研究区孔喉结构分为5类:即①大孔中喉结构;②大(中)孔较细喉结构;③中孔细喉结构;④小孔细喉结构;⑤小孔特细喉结构。

研究表明,枣北K<sub>1</sub>II油组主要属①、②类孔喉结构,具高孔高渗特征,压汞曲线形态分别为I、II类(图2),孔喉分布偏粗-偏细歪度,孔喉分选好-较差;K<sub>1</sub>IV油组主要属于③类孔喉结构,压汞曲线形态为III类(图2),孔喉分选差,分布频率直方图上无明显峰值,具中孔中渗特征。K<sub>2</sub>II油组①、②、④、⑤均有出现,其中以④、⑤为主,压汞曲线形态分别为III、IV类(图2),孔喉分选很差,偏细歪度,具低孔低渗特点。自来屯K<sub>1</sub>III、IV油组和沈家铺K<sub>1</sub>IV、V油组均有①、②、④类出现,但以②中的中孔细喉结构为主。压汞曲线形态属于II类(图2),孔喉分选较差,偏细-略偏粗歪度,一般具中孔中渗特点。

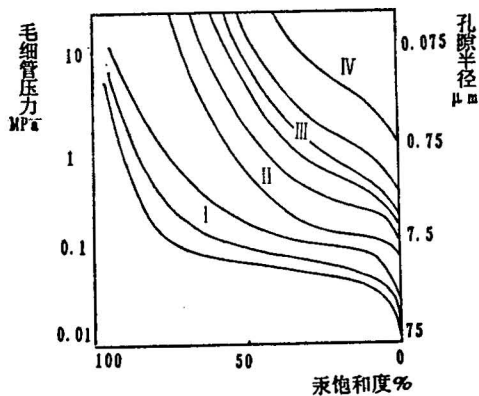


图2 枣园油田孔一、二段毛管压力曲线类型图

Fig. 2 The types of injection curves of the reservoirs in the First and Second Members of the Kongdian Formation, Zaoyuan Oilfield

I、II、III、IV说明见正文

## 4 结论

1. 枣园油田孔一段I、II、III油组砂岩成岩程度较低,以泥质胶结为主,岩石较松散。主要储集空间是原生粒间孔隙。孔隙结构类型以中孔较细喉和大孔中喉结构为主。

2. 孔一段IV、V油组砂岩成岩程度较高,碳酸盐胶结作用发育,石英次生加大较常见。主要储集空间为溶蚀次生孔隙和原生残留孔隙。孔隙结构以中孔细喉结构和小孔细喉结构为主。

3. 孔二段砂岩碳酸盐胶结,交代作用常见,石英加大普遍为III级。原生孔隙已基本消失,溶解作用形成的次生孔隙为主要储集空间。孔隙结构以小孔细喉结构为主

## 参 考 文 献

- 1 郑俊茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.
- 2 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构. 北京: 科学出版社, 1986.

## 图 版 说 明

1. 自生方解石充填孔隙。
2. 生长在碎屑颗粒表面的石英晶体。
3. 颗粒内溶孔。
4. 絮状蒙脱石。
5. 片状伊/蒙混层。
6. 自生高岭石充填孔隙。
7. 绿泥石。
8. 溶蚀次生孔隙。

照片均为矿物的二次电子像，照片中左边的数字代表井号及井深，右边的数字代表放大倍数及长度。

## CHARACTERISTICS OF DIAGENESIS AND PORE STRUCTURES OF THE RESERVOIRS IN THE FIRST AND SECOND MEMBERS OF THE KONGDIAN FORMATION IN THE ZAOYUAN OILFIELD

Wang Weifeng, Lin Chengyan and Xin Quanlin

*(University of Petroleum, Dongying, Shandong)*

### Abstract

The sand reservoirs in the Zaoyuan Oilfield are low in compositional maturity and textural maturity, as revealed by the investigations on the diagenesis and pore structures on the basis of the core analyses. The great variation of the contents of various components in the reservoirs is one of the geological factors responsible for the diagenetic change and complex pore structure of the reservoirs. The diagenesis in the First and Second Members of the Kongdian Formation is represented by compaction, cementation, replacement, dissolution and authigenic mineral filling. The pores in the upper part of the First Member of the Kongdian Formation are mainly primary ones with high porosity and permeability and large pore throats, but poorly sorted pore throats. The primary and second pores coexist in the lower part of the First Member of Kongdian Formation. Most pores in the Second Member of the Kongdian Formation are secondary ones with fine throats and poor sorting. The porosity and permeability are not so good as those in the upper part of the First Member of the Kongdian Formation.

**Key words:** diagenesis, pore type, pore structure, Zaoyuan Oilfield

### 作者简介

王伟锋，生于1958年12月。1982年毕业于长春地质学院地质系，1990年获石油大学石油地质专业硕士学位。现为石油大学（华东）油藏地质研究所讲师，从事油藏描述和构造地质学研究。通讯地址：山东省东营市石油大学勘探系。邮政编码：257062。

