

# 赵石窑河道砂体储集特征<sup>\*</sup>

张运东

(中国石油天然气总公司信息研究所, 北京 100011)

李 祯 温显端

(中国地质大学, 北京 100083)

赵石窑河道砂体成分成熟度和结构成熟度均较低, 岩屑和长石含量较高, 泥质、硅质、铁质和碳酸盐为主要填隙物, 经历了同生、埋藏和表生 3 个成岩阶段。粒度是造成储层岩性相孔渗性差异的主要原因, 可识别出 8 种孔隙类型和大孔-中喉、大孔-细喉、中孔-细喉和微孔-微隙型 IV 种孔隙结构, 孔隙结构及分布与粒度和填隙物密切相关。曲流点坝相中下部孔渗性最好, 底部次之, 顶部及边缘最差。

**关键词** 曲流河 砂体 微观研究 孔喉结构 孔隙类型 储层物性

**第一作者简介** 张运东 男 29 岁 博士 沉积学

## 1 岩石学特征

### 1.1 碎屑组成

赵石窑地区出露的曲流河道砂体其砂岩成分成熟度和结构成熟度均较低, 主要表现为石英含量较低, 而岩屑和长石含量较高, 矿物分选、磨圆度都较差。石英含量约 40% $\pm$ , 等轴状或次棱角-次圆状, 分选较差, 部分石英具次生加大边, 少量石英有裂纹或包裹体, 阴极发光呈蓝色、紫蓝色。长石含量约 45% $\pm$ , 具柱状晶形, 以斜长石为主, 钾长石次之, 长石次生变化强烈, 表面浑浊不清, 被溶蚀交代现象普遍, 主要发生高岭石化, 有的被强烈溶蚀成为铸模。岩屑含量约 10% $\pm$ , 类型较多, 有花岗片麻岩岩屑、黑云母花岗岩岩屑、千枚岩岩屑及泥岩岩屑等。黑云母含量约 5% $\pm$ , 有时在侧积体顶部的粉细砂岩中含量高达 25% $\pm$ , 呈片状、叶状, 大多弯曲变形, 镜下多呈条带状分布, 形成连续或非连续的显微隔挡层, 降低了砂岩的渗透性, 由于表生淋漓作用, 多数发生不同程度水解, 蚀变为水黑云母并析出铁质沿其边缘分布。

根据三端元分类方案<sup>[1]</sup>, 该类砂岩属于长石砂岩, 在砂体局部有少量的钙质砂岩或黑云母长石砂岩。

### 1.2 填隙物

砂岩中填隙物种类较多, 成因各异, 约占其总体组分的 15% $\pm$ , 主要有泥质填隙物、硅质胶结物、铁质胶结物及碳酸盐胶结物 4 种类型。泥质填隙物主要为次生沉淀的粘土胶结物及

<sup>\*</sup> 本文系中国石油天然气总公司“八五”重点攻关项目(85-103-01-02)

少量粘土杂基, 含量约 10%±, 且以高岭石为主, 其次为伊利石、绿泥石、伊/蒙混层矿物和少量绿/蒙混层矿物; 砂岩粒度越细泥质填隙物含量越高; 高岭石呈板状、书页状及蠕虫状集合体, 晶间微孔很发育。硅质胶结物主要是孔隙水中的二氧化硅围绕碎屑石英共轴增生而成, 堵塞了部分孔喉, 其次生加大边清晰可见, 加大部分与石英颗粒光性不一致。铁质胶结物主要是一些以隐晶质凝聚体形式出现的菱铁矿, 经表生淋滤作用被氧化成黑色的褐铁矿, 团块状分布, 另有一些黑云母水解析出的铁质胶结物。碳酸盐胶结物一般含量极少, 但在砂体局部含量高达 40%±, 形成钙质胶结砂岩, 成为致密非渗透性阻挡层, 碳酸盐胶结物强烈交代了碎屑颗粒及粘土胶结物, 呈均一的嵌晶或连晶形式分布, 阴极发光下呈桔黄色, 环带构造不明显, 是表生成岩阶段大气水淋滤作用的产物。

2 成岩演化史

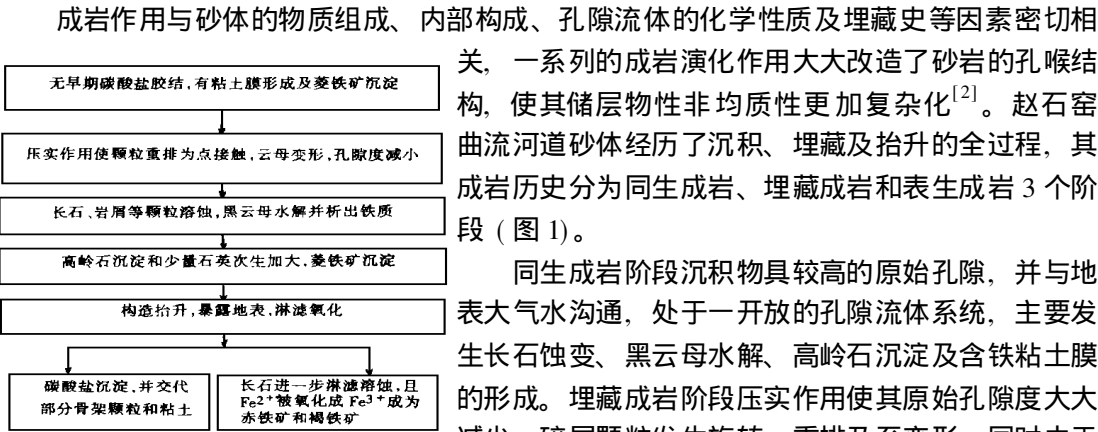


图 1 赵石窑曲流河道砂体成岩演化序列图

一方面碎屑颗粒的溶蚀扩大了粒间孔隙, 另一方面高岭石沉淀和石英增生又堵塞了部分孔喉。表生成岩阶段砂体抬升后受大气水淋滤使长石继续被溶蚀,  $\text{Fe}^{2+}$  被氧化成  $\text{Fe}^{3+}$  成为褐铁矿或赤铁矿, 并在大气水向下渗流过程中由于蒸发、浓缩及离子交换作用使得它所携带的碳酸盐由于过饱和而沉淀。由于  $\text{Ca}^{2+}$  最易被粘土膜所阻滞, 因此碳酸盐胶结作用一般沿泥质阻挡层发生。碳酸盐胶结物强烈交代了碎屑颗粒及早期沉淀的高岭石, 使它们大多具港湾状边缘, 悬浮状漂浮在胶结物之中, 常见长石及岩屑颗粒的残余结构。

3 储层物性特征

在赵石窑砂体中, 根据岩性、粒度、沉积构造、基质含量、分选性及古流能量等参数共划分出 12 种储层岩性相。

不同储层岩性相孔渗性差异很大, 而粒度是造成这种差异的直接原因。并且, 不同的成因相具有各自特征的储层岩性相组合。由于不同储层岩性相孔渗性差异很大, 因而由它们相互配置组合构成的各种成因相其孔渗性也不大相同, 从而造成了各种成因相储集性的差异。

储层岩性相孔渗特征见表 1, 表 2 是曲流河道砂体各成因相特征的储层岩性相组合。

表 1 赵石窑曲流河道砂体储层岩性相类型及孔渗特征

| 储层岩性相         | 代号  | 孔隙度/ % |       |       | 水平渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> |         |         | 垂直渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> |         |        |
|---------------|-----|--------|-------|-------|-----------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------|---------|--------|
|               |     | 最小     | 最大    | 平均    | 最小                                      | 最大      | 平均      | 最小                                      | 最大      | 平均     |
| 大型槽状交错层理粗砂岩   | CSt | 19. 8  | 23. 6 | 21. 5 | 220. 00                                 | 372. 60 | 282. 77 | —                                       | —       | —      |
| 大-中型槽状交错层理中砂岩 | MSt | 18. 1  | 22. 1 | 20. 2 | 15. 68                                  | 233. 86 | 60. 35  | 1. 60                                   | 169. 51 | 22. 05 |
| 具内碎屑泥砾的中砂岩    | MSe | 19. 0  | 20. 6 | 20. 0 | 13. 92                                  | 37. 97  | 30. 75  | —                                       | —       | —      |
| 块状、具递变粒序的中砂岩  | MSm | 18. 2  | 21. 4 | 19. 7 | 13. 60                                  | 213. 84 | 63. 51  | —                                       | —       | —      |
| 中-小型槽状交错层理细砂岩 | FSt | 14. 6  | 20. 3 | 17. 7 | 1. 09                                   | 28. 32  | 10. 73  | 2. 26                                   | 6. 73   | 4. 26  |
| 板状交错层理细砂岩     | FSp | 18. 9  | 19. 7 | 19. 3 | 2. 26                                   | 17. 76  | 10. 40  | —                                       | —       | —      |
| 波纹交错层理细砂岩     | FSr | 11. 6  | 19. 4 | 17. 1 | 0. 74                                   | 19. 79  | 8. 39   | 0. 05                                   | 1. 35   | 0. 70  |
| 块状、具递变粒序的细砂岩  | FSm | 15. 6  | 19. 3 | 17. 8 | 1. 65                                   | 16. 31  | 7. 59   | —                                       | —       | —      |
| 具内碎屑泥砾的细砂岩    | FSe | 16. 1  | 18. 7 | 17. 6 | 4. 41                                   | 10. 71  | 6. 15   | —                                       | —       | —      |
| 波纹交错或波痕纹理粉细砂岩 | SSr | 10. 2  | 17. 6 | 14. 0 | 0. 02                                   | 3. 07   | 0. 48   | 0. 03                                   | 0. 05   | 0. 04  |
| 波纹层理或攀升层理粉砂岩  | SSl | 9. 5   | 12. 3 | 10. 9 | 0. 03                                   | 0. 21   | 0. 12   | —                                       | —       | —      |
| 块状泥岩          | Fm  | 10. 4  | 12. 7 | 11. 4 | 0. 04                                   | 0. 13   | 0. 07   | —                                       | —       | —      |

表 2 曲流河道砂体各成因相特征的储层岩性相组合

| 成因相类型    | 储层岩性相组合                   |
|----------|---------------------------|
| 河道充填组合   | 曲流点坝相 CSt MSt FSt FSr SSr |
|          | 河道底部充填相 MSm MSe FSm FSe   |
|          | 决口水道 MSm MSt FSm FSt FSr  |
| 河道边缘组合   | 决口扇 FSp FSr SSr           |
|          | 天然堤 SSl SSr               |
|          | 越岸沉积 SSr FSr              |
| 河间泛滥盆地组合 | 泛滥平原 Fm SSr               |
|          | 废弃河道 Fm                   |

利用半对数坐标作出的砂体中各种成因相孔渗值散点图, 可以很直观地比较不同成因相孔渗性的差别(图 2)。从图中可以看出, 曲流点坝相孔渗性最好, 是最有利的储集层, 其次为决口水道和河道底部充填相, 河道边缘沉积中的天然堤、决口扇及河间泛滥盆地沉积中的越岸沉积、废弃河道和泛滥平原孔渗性都很差, 属非储集层。研究发现, 在曲流点坝相中, 以中下部孔渗性最好, 底部次之, 顶部及边缘最差。

## 4 孔隙特征

### 4.1 类型

砂岩中孔隙类型较多, 成因复杂, 未经改造的原生粒间孔少, 遭受成岩改造的混合成因孔隙较发育, 主要为次生溶蚀作用形成的粒间溶蚀孔。孔隙大小变化范围广, 小到 1 μm 以下的晶间微孔, 大至 1 000 μm 左右的特大溶蚀孔, 孔隙分选性很差, 主要孔隙直径集中有 50~ 200 μm 之间。

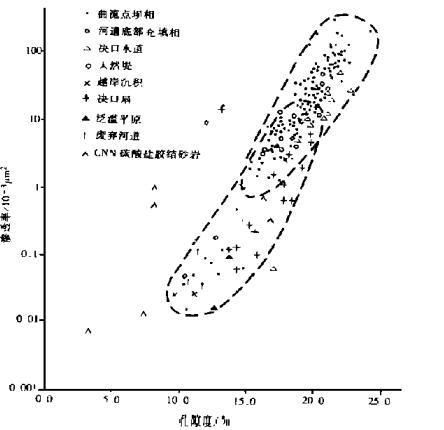


图 2 赵石窑曲流河道砂体各成因相孔渗值散点图

粒度是控制孔隙大小与发育程度

的主要因素,砂岩粒度粗,则孔隙较大且很发育,反之,则较差。

通过大量的铸体薄片观察,共识别出以下 8 种孔隙类型:(1)缩小的原生粒间孔,分布于碎屑颗粒之间,受压实及胶结作用影响而缩小的粒间孔隙,周围的骨架颗粒未受到明显的溶蚀作用,多呈孤立的三角形或多边形,边界平直,数量较少,约占孔隙总量的8%±,孔隙直径一般75 μm ±。(2)粒间溶蚀孔,它是由于碎屑颗粒和填隙物中不稳定组分发生次生溶蚀,从而在原生孔隙基础上扩大而成。数量多,约占孔隙总体积的70%±,孔隙直径10~ 500 μm,主要集中在50~ 200 μm 之间,连通性好。(3)粒内溶蚀孔,主要是长石和岩屑颗粒内不稳定组分溶蚀而成,约占孔隙总量的10%±,孔隙直径10~ 60 μm,连通性差。(4)贴边孔,紧贴碎屑颗粒边缘,由于碎屑颗粒的不稳定包壳被溶蚀或颗粒发生成岩收缩而成,数量少。(5)铸模孔,由长石或岩屑颗粒完全溶解后形成,保留颗粒的轮廓,形态较规则。(6)特大溶蚀孔,碎屑颗粒被溶蚀后,相邻孔隙彼此相连形成比周围碎屑颗粒直径还大的特大孔隙,有的直径达1 000 μm。(7)微孔隙,粘土杂基和淀晶高岭石晶间的微孔隙,直径小于10 μm,分布较普遍,约占5%±,因孔径太小,不能明显改善砂岩的孔渗性。(8)微裂隙孔,是石英或长石等颗粒中的裂缝或构造微裂隙,数量少,但能起很好的连通作用。

上述 8 种孔隙类型以不同组合方式发育于不同的储层岩性相中,从而导致了其孔隙性的差异。

4.2 结构

流体在砂岩孔隙系统中的流动受喉道大小控制,喉道控制了砂岩的渗透性能。因此,弄清砂岩喉道大小和分布特征是研究储层微观非均质性的中心内容<sup>[3]</sup>。

毛细管压力曲线(即压汞曲线)能够直观地反映出砂岩孔喉的大小、分选性、偏度及不同孔隙直径的总体分布特征。根据压汞实验结果,将赵石窑曲流河道砂体孔隙结构分为Ⅳ种类型,其孔喉结构参数见表3。

表 3 赵石窑曲流河道砂体孔喉结构特征表

| 类型  | 储层岩性相                   | $P_{c50}/\text{MPa}$ | $R_{\text{max}}/\mu\text{m}$ | $R_{50}/\mu\text{m}$ | $S_{\text{min}}/\%$ | SP    | $K/10^{-3}\mu\text{m}^2$ | $\Phi/\%$ | 压汞样数/个 |
|-----|-------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------------|-----------|--------|
| I   | CSl, MSt, MSm           | 0.19~ 0.40           | 50~ 80                       | 5~ 10                | 0~ 10               | 2.98± | 50~ 400                  | 20.9±     | 4      |
| II  | MSe, FSt, FSp           | 0.48~ 0.97           | 10~ 50                       | 1~ 5                 | 2~ 12               | 2.35± | 10~ 50                   | 19.2±     | 5      |
| III | FSr, FSm, FSe, SSr, SSL | 40~ 2.28             | 5~ 10                        | 1±                   | 5~ 15               | 2.18± | 0.1~ 10                  | 15.5±     | 2      |
| IV  | Fm 钙质砂岩                 | > 30                 | —                            | < 0.1                | 70                  | —     | < 0.1                    | 5±        | 1      |

I 类:大孔-中喉型,孔隙分布百分比直方图呈双峰态,峰值对应的喉道半径为10~ 40 μm 和0.4~ 1.5 μm,前者控制的孔隙体积约35%±,主要以粒间溶蚀孔为主;后者控制的孔隙体积约15%±,主要是一些粒内溶蚀孔和原生粒间孔,此外,还发育一些孔径小于0.1 μm 的微孔隙。

II类:大孔-细喉型,孔隙分布百分比直方图呈单峰态,峰值对应喉道半径为8~ 15 μm,它所控制的孔隙体积约25%±,以粒间、粒内溶蚀孔为主,另外细孔隙和微孔隙的体积也占较大比例,是高岭石发育的缘故。

II类:中孔-微喉型,孔隙分布百分比直方图峰态不明显,主要喉道半径分布在0.1~ 5 μm,小于1 μm 的孔喉体积占很大比例,对应粉细砂岩中较小的粒间孔隙和微孔隙,次生孔隙不发育。

IV类: 微孔-微隙型, 以小于  $0.08 \mu\text{m}$  的微孔隙为主, 这是碳酸盐强烈胶结作用的结果, 它基本上堵塞了大部分的孔隙和喉道。另见少量粗孔喉, 对应少量的裂隙和粒间孔隙。

从孔隙分布百分比直方图中可以清楚看到不同喉道所控制的孔隙体积百分比, 而对砂岩孔隙性影响最大的是两种关键性体积, 其一是小于  $0.1 \mu\text{m}$  的微孔隙体积, 其二是主要喉道半径所对应的孔隙体积。微孔隙体积愈大, 砂岩储集性愈差; 主要喉道半径及其所对应的孔隙体积愈大, 则砂岩储集性愈好。

毛细管压力曲线类型见图3。

## 5 结论

(1) 孔喉结构及分布与粒度和填隙物密切相关, 粒度粗, 则孔隙发育, 喉道较大, 砂岩连通性好; 反之, 则都变差。填隙物含量越高, 孔隙、喉道均不发育, 砂岩物性变差。

(2) 曲流点坝相孔渗性最好, 其次为决口水道和河道底部充填相, 天然堤、决口扇、越岸沉积、废弃河道和泛滥平原等孔渗性都很差。在曲流点坝相中, 以中下部孔渗性最好, 底部次之, 顶部及边缘最差。

本文得到李思田教授的指导和帮助, 在此谨表衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 1 余素玉, 何镜宇. 沉积岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 66~70
- 2 郑浚茂, 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. 32~38
- 3 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构. 北京: 科学出版社, 1986. 56~60

(下转第168页)

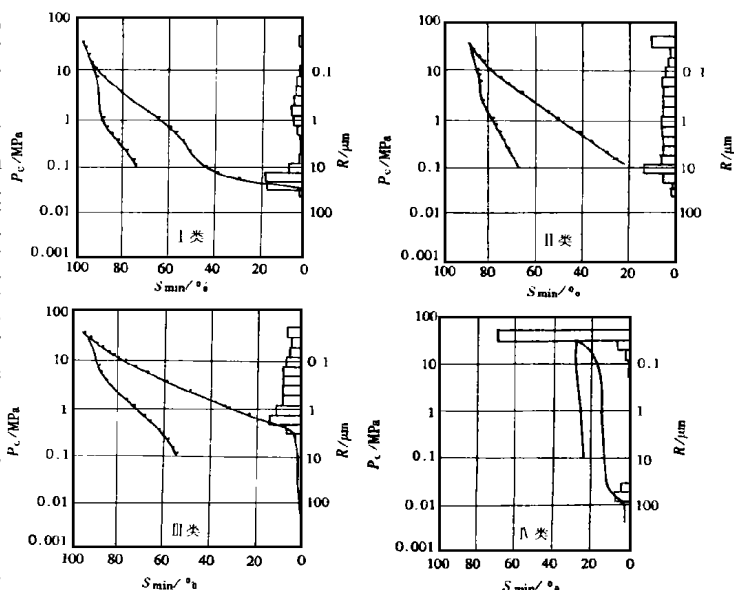


图3 赵石窑曲流河道砂体毛细管压力曲线基本类型图

## CO<sub>2</sub>: AN IMPORTANT RESOURCE IN MESO – CENOZOIC BASINS OF EASTERN CHINA

Luo Kaiping Xia Zunyi Xu Yangang Zheng Lunju

(*Research Institute of Petroleum Exploration, CNSPC, Jingzhou, Hubei*)

Gao Shanghai

(*Research Institute of hydrocarbon Exploration and Development,*

*Zhongnan Bureau of Petroleum Geology, Changsha, Hunan*)

### Abstract

The main part of China's CO<sub>2</sub> resources — mantle magmatogenic CO<sub>2</sub> is concentrated in the Mesozoic-Cenozoic stretching basins in Eastern China. The basic conditions for the formation of this kind of CO<sub>2</sub> pools or gas-fields are the faults cut deep in CO<sub>2</sub> gas source and mantle magmatic activities. The CO<sub>2</sub> gas pools could be divided into mantle magmatogenic origin and thermolysis origin. All the CO<sub>2</sub> gas pools and fields discovered are almost fault complex type.

---

(上接第 161 页)

## RESERVOIRING PROPERTY OF RIVER CHANNEL SANDBODIES IN ZHAOSHIYAO AREA

Zhang Yundong

(*Petroleum Information Institute, CNPC, Beijing*)

Li Zhen Wen Xianduan

(*China University of Geosciences, Beijing*)

### Abstract

The river channel sandbodies in Zhaoshiyao area are characterized by low compositional maturation and low textural maturation, high debris and feldspar contents. The filling materials of the sandbodies are mainly argillaceous, siliceous, iron substance and carbonatite. The sandbodies underwent three diagenetic periods such as syngenetic, burial and epidiagenetic periods. Their porosity and permeability are closely related to their granularity. The porosity of the sandbodies could be classified into 8 pore types and 4 kind of pore textures. The pore textures are related to the granularity and the filling materials. It has been proved by study that the mid and lower parts of the meandering river point bars usually have the best porosity and permeability, the bottom part is secondary and the top and marginal parts are the worst.