

克拉玛依砾岩油藏微观孔隙结构及分类

罗明高

张庭辉*

(西南石油学院勘探系, 四川南充 637001)

(新疆石油管理局勘探开发研究院, 克拉玛依 834000)

本文总结了克拉玛依砾岩油藏的基本孔隙特征, 在概括了孔隙结构的定性定量二维三维特征后, 用多种统计学方法对大量实际资料进行分类研究, 从而获得多种分类方案。通过逐级优选将砾岩油藏储层分为三类。此三类储层在数字特征和曲线形态特征上有明显的变化规律; 有不同的沉积相、不同的层位及不同宏观类型分布特征; 在典型相关图中有清晰的分类界限。满足了“理论性强、实用性佳、可分性好”的分类原则, 建立了统一的分类标准。

关键词 克拉玛依 砾岩油藏 储层分类 孔隙结构 统计学分析

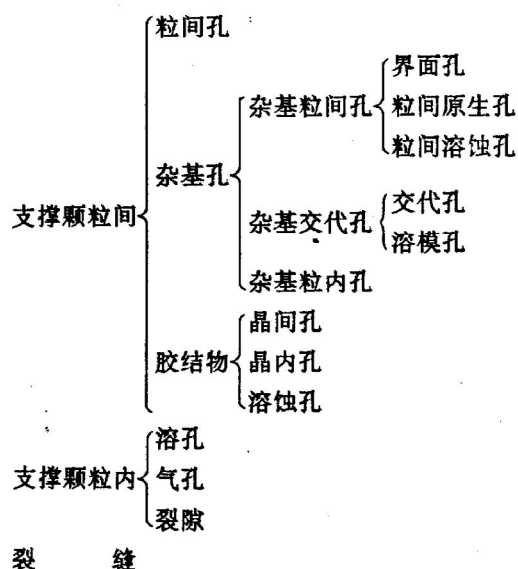
第一作者简介 罗明高 男 35岁 讲师 石油地质

国内外的研究者们普遍认为^[1-5], 该类洪积相砾岩储层的物性较砂岩差, 孔隙结构更为复杂, 无论是油气的运移聚集, 还是油藏的含油性都有其自身的特征。因此评价该类油藏的标准应不同于其它油藏, 需建立起砾岩油藏本身的类型标准, 才能更好地类比和评价。

一、微观孔隙结构特征

(一) 定性特征

储集岩所含各类孔隙及其不同几何形态和大小的组合, 形成了岩石中的网络系统, 这些特征的总和称为孔隙结构特征。砾岩储集层的孔隙类型根据它与支撑颗粒间的关系可分为^[1]:



收稿日期: 1989-06-17 改回日期: 1990-04-27

* 参加此项工作的还有张永智和黄有发。

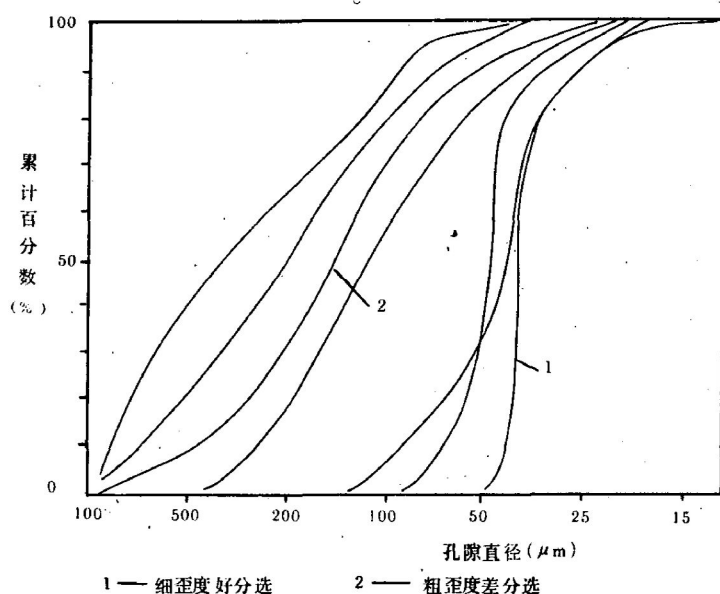


图1 镜下(铸体)孔隙分布特征图

孔型类型在储层中的分布特征因地质环境不同而异,其几何形态大小的镜下二维平面分布特征为:在累积曲线上粗歪度、差分选,细歪度、好分选的特征(图1);频率曲线特征为单峰偏细态,粗和中孔隙常为双峰和多峰。

孔喉直径的分布服从于 X^2 分布^[2],特征值 n^* 以2、3和4为主;其次为孔喉半径的倒数服从 X^2 分布,极少部分服从正态分布^[6](图2)。

孔-喉组合关系较为复杂,镜下观察平面配位数为1—3,以1为主,在三维空间的特征主要为双模态和单模态^[3],极少数样品在局部有复模态的特征^[1,4,6]。单模态的岩石主要为不等粒砾岩、砂质不等粒砾岩等混杂堆积岩;双模态二级颗粒支撑的岩性主要为细粒小砾岩、含砾巨-粗砂岩、砾状巨-粗砂岩及部分不等粒砾岩;复模态仅为极少数含泥砂质砾岩。

(二) 定量特征

孔隙结构三维空间的定量特征描述多采用毛管压力整理资料,其整理方法较多,常见的为正态法、矩法(地质混合经验法)、指数分布法及 X^2 分布法^[2,6]。

克拉玛依砾岩油藏的孔喉直径均值为 $5.6-0.08\mu\text{m}$,变化范围大,为毛细管和微毛细管孔隙;其标准差为0.1—1.6;既有正偏态也有负偏态($-0.6-0.7$),尖度表现为极平坦(0.42)到尖峰态(12)。

非均质特征还表现为微观均质系数极小(0.003—0.4),孔喉比变化大(0.5—12.6),退汞效率低(10%—65%)。孔隙度渗透率相关性极差的砾岩油藏特征^[7]。

由此可见,该类储层孔喉直径变化大,非均质特征严重,不仅较普通砂岩储层结构特征复杂,且较国外同类储层更复杂。

二、分类研究

定量描述储层微观孔隙结构的参数包括孔喉大小、孔喉分布特征及非均质特征三个主要方面, 采用矩法及正态法整理毛管压力曲线所得的参数及物性参数共 16 项。

(一) 分类参数筛选

各项参数虽然意义不同, 但有些参数间在数学上有不同的关系。为了找出参数间的相关性, 同时也希望从中找出反映孔隙结构特征的主要参数, 采用了统计学方法中的对应分析^[8]。

原始数据各参数的量纲和数量级不同, 为了消除这种因数量级不同在统计分析中的影响, 对原始数据分别采用数据标准化、数据中心化和数据规格化的预处理。

引用对应分析方法, 对预处理的数据进行分析后, 得到不同的主要参数组合, 综合其成果可得:

1. 主要参数 孔隙度、渗透率、中值 (ϕ_{50})、矩法均值、矩法变异系数和退汞效率各项 (位于两个主因子的轴间对角线上或轴上, 见图 3)。

2. 相关参数 正态尖度和孔喉比与其它参数相关 (位于坐标的原点, 见图 3)。

(二) 分类原则

1. 理论性 各类储层的成因不同而使其性质各异, 分类结果应能反映出不同成因的储层特征。

2. 实用性 储层微观孔隙结构分类研究的目的是为了地更好地评价储层, 以利于在石油勘探中合理评价各区的储油物性, 提高勘探效率; 在油田开发中, 更好地针对不同储层采用合理开发方式和措施, 为其它各项油藏工程研究提供地质依据。因而, 分类结果应能较好的满足以上各项的需要。

3. 可分性 分类结果是以各项指标体现的, 因此分类要选择合理分类指标, 而且也只有通过某些定量指标反映出来的特征才能在分类中予以考虑。

前述描述参数是在这些原则基础上确定的, 它们基本能反映出上述原则。

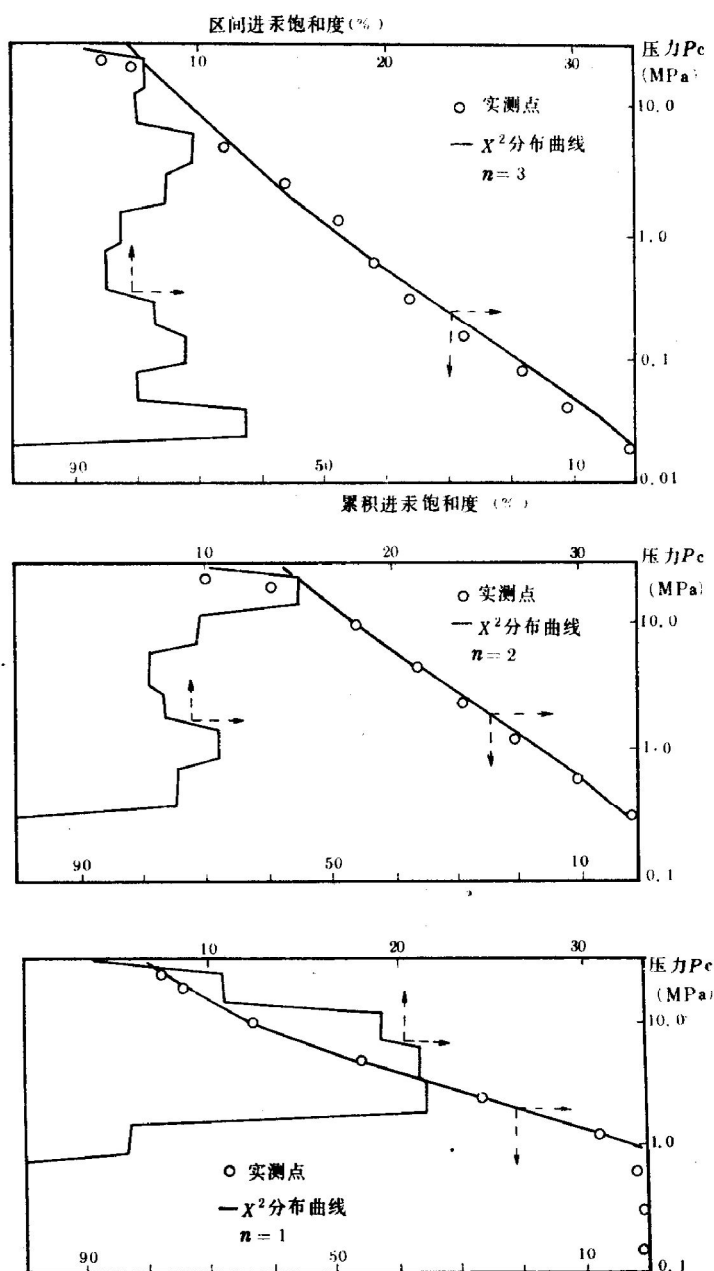


图2 不同自由度 (n^*) 的 X^2 分布毛管压力曲线

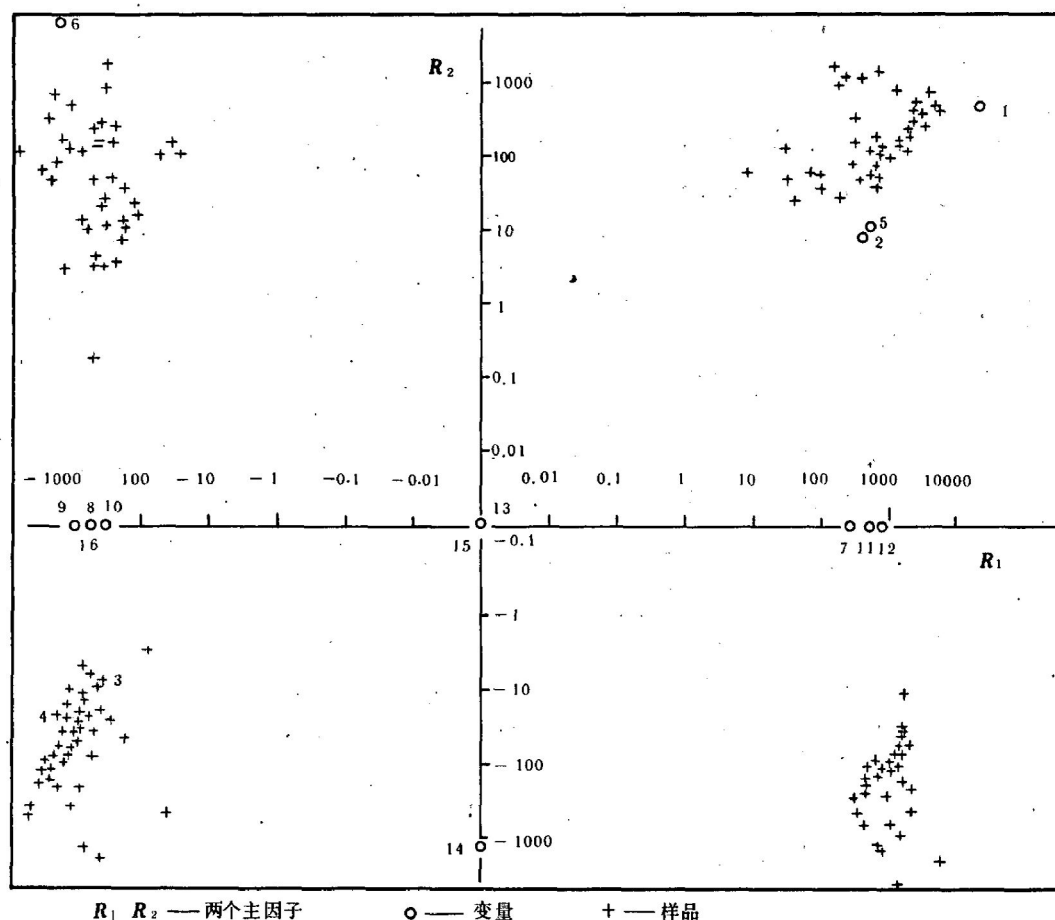


图3 对应分析成果图

1. 各象限与样品对应分布的变量反映了其相关特征
2. 在坐标轴上的变量表明了两个主因子的实际意义
3. 在坐标原点的变量为与其它变量相关
4. 样品分布在四个象限内, 表明数据标准化可分为四类

孔隙结构的成因描述目前无直接定量指标, 但根据加拿大阿尔伯达下埃尔姆沃斯特大气田福尔赫砾岩储层的研究表明^[7], 孔隙度与渗透率的组合关系能反映出不同类型的岩性特征。因此所选的参数中, 孔隙度、渗透率间接地反映了孔隙结构的成因特征, 退汞效率可为油藏的采收率研究提供有用的资料, 孔喉比等对油田开发研究是颇有价值的参数, 正态和矩法的各项统计学参数反映了孔喉的组合及不同类型孔喉间的关系。

(三) 分类方法选择

分类方法主要有划分法和聚合法两种, 该项研究主要选用系统聚类、动态聚类及对应分析, 其中系统聚类属聚合法, 动态聚类属划分法, 而对应分析加入专家思想进行划分^[8]。

三、分类结果及评价

(一) 筛选最佳方案

用系统聚类、动态聚类及对应分析三种方法, 分别对原始数据和标准化、中心化及规格化数据进行分类, 得到 12 种 (3×4) 不同的分类方案, 为了获得最佳的分类方案, 首先在相

同分类方法中确定较好的方案, 再将较好的方案比较筛选出最佳方案。

动态聚类的成果为分类类数-距离总和关系图, 根据其曲线的拐点可确定较好的分类方案^[8], 该项研究结果为数据标准化后分三类较好。

系统聚类分析的成果为谱系图, 根据谱系图中各种大小不同的组间关系可确定出较好的分类方案^[8], 该项研究结果为数据规格化后用误差平方和法及可变法联接为较好的方案 (分为3—4类)。

对应分析不仅能反映主次因子、相关因子等与变量有关的特征, 而且能反映出样品之间及样品与变量间的关系^[8], 在两个主因子坐标图上, 样品较集中地分布在不同的区域, 这种区域之间无或较少过渡样品时为较好分类, 该项研究结果为数据标准化分四类, 规格化分三类较好。

在上述方法确定的较好分类方案的基础上, 根据前述的分类原则, 结合储层的岩性、孔隙镜下特征及各种分类得到的典型相关图 (图4) 进行筛选, 确定对应分析的规格化分三类为最佳的分类方案。

其结果不仅反映不同成因的储层特征, 而且能较好地评价各类储层 (图5), 在数学上有很好的可分性, 从而较好地满足了分类原则, 达到了目的。

(二) 各类特征综述及评价

1. 第Ⅰ类——好储层

主要为分选较好的细粒小砾岩及砾状砂岩和砂质砾岩, 孔隙类型主要为粒间孔、界面孔及方沸石溶孔, 孔隙间形成较好的连通网络系统, 岩石颗粒多以点-线接触。

孔隙度一般为15%—25%, 平均17.5%, 最大为33%, 渗透率为 60×10^{-3} — $400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $203.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, (图6), 孔-渗为正相关 (相关系数为0.6), 较加拿大阿尔伯达油田的最好类型——单峰态砾岩的孔隙度、渗透率高^[7]。

孔喉直径均值为0.7—4 μm , 平均1.4 μm , 最大为5.6 μm 。渗透率随平均 ϕ 值减小而增加的负相关关系 (即随平均孔喉直径增大而增加), 表明孔喉直径直接影响渗透率的大小。均值与孔隙度关系也有类似的相关性。典型毛管压力曲线 (图6) 为与坐标对角线平行的差分选特征 (正态标准差约为1)。由此表明 (1) 大孔隙形成高孔隙度, (2) 粗孔隙由粗喉道连接 (对应样品的铸体薄片和压汞分析分布曲线对比关系也说明了这一点), (3) 偏粗态、低尖度差分选。

综上所述, 此类储层以大孔隙、高渗透、差分选、偏粗态为孔隙结构特征。主要为粗碎屑的扇顶 (39%) 和扇中 (59%) 亚相*。相当于双河油田第Ⅰ类**, 较阿尔伯达^[7]的单峰态砾岩类好。

2. 第Ⅱ类——中等储层

较第Ⅰ类孔隙小, 粒间孔多为被基质或自生矿物 (主要为沸石类) 充填后的残余孔, 但孔隙仍发育较好, 互相连通形成较好的网络系统, 颗粒间以线接触为主^[5,9]。

孔隙度为8%—17% (平均13.2%), 渗透率分布与第Ⅰ类有明显界限, 为 5×10^{-3} — $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $8.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度-渗透率相关性较第Ⅰ类差 (相关系数为0.33), 孔

* 张纪易. 粗碎屑洪积扇沉积模式. 新疆石油管理局勘探开发研究院, 1981.

** 王寿庆等. 双河油田储层微观孔隙结构及其三维数值模式. 河南石油勘探局, 1987.

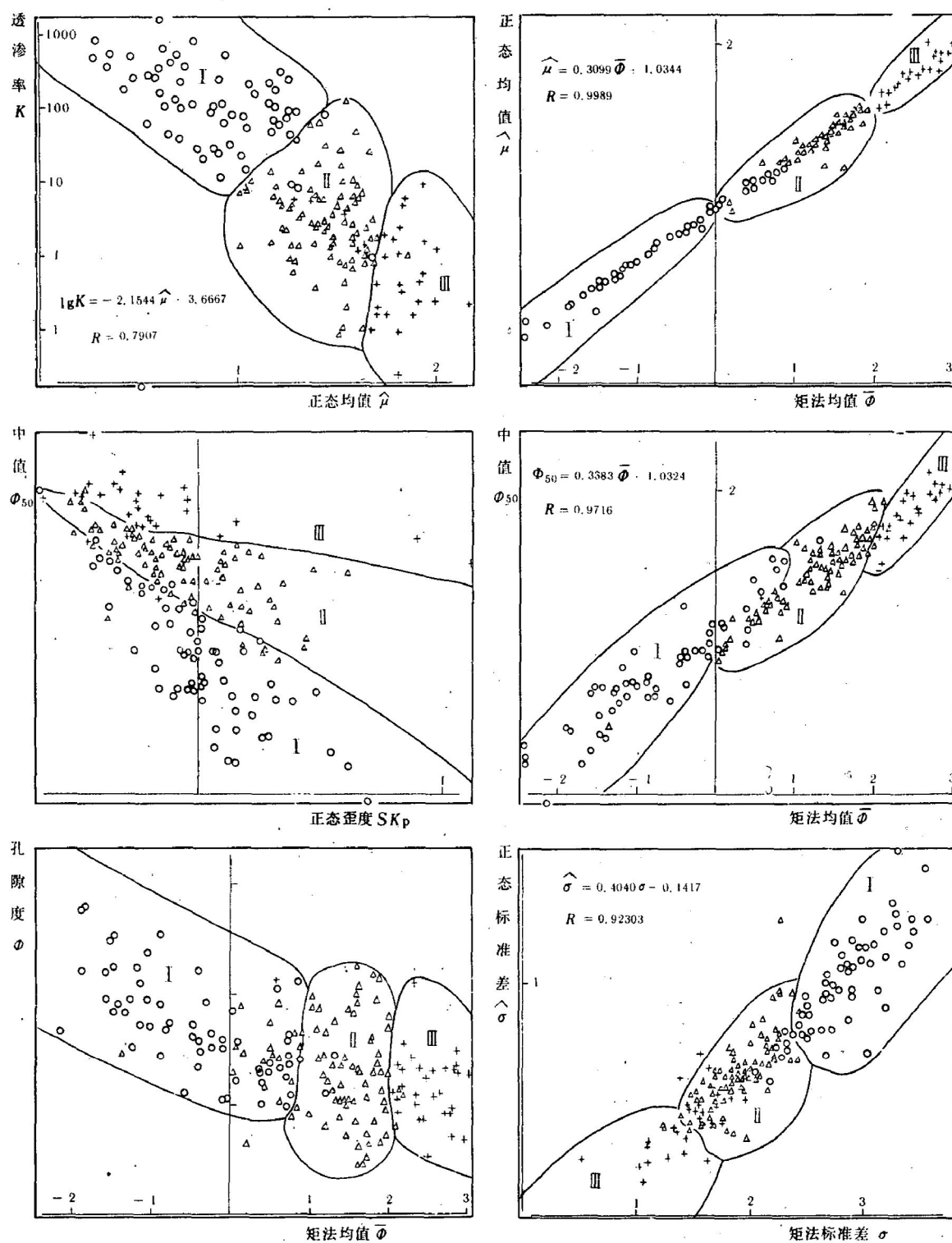


图4 典型相关特征图

隙系统的次生改造作用较强。

孔喉均值较第 I 类小, 为 $0.25-0.75 \mu\text{m}$, 平均 $0.4 \mu\text{m}$, 与孔隙度无相关关系, 与渗透率相关性略好 (相关系数 0.4), 表明后生改造作用主要影响渗透率, 而对孔隙空间的总量影响

[illegible]

图 5 孔隙结构特征图

甚微,为微偏细态、中等尖度、中等分选的孔喉分布特征。

此类储层形成以粒间孔、晶间孔、界面孔及微裂缝等原生和次生孔为特征的中等孔隙渗透性、中等分选、略偏细态、中等峰态的孔隙结构系统。主要为扇中亚相(74%),约60%分布在三叠系中统,与阿尔伯达的中砾支撑双峰态砾岩类似,相当于双河油田的第Ⅲ类。

3. 第Ⅲ类——差储层

分选差、泥质含量高,颗粒间以线接触和凹凸接触为主,粒间半充填或全充填,充填颗粒很少被溶蚀,以粒间残留孔,粒内孔和杂基间孔为主。

孔隙度变化范围大(4%—15%),平均为11.6%,渗透率极低,一般 $0.1 \times 10^{-3} - 1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $1.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度与渗透率相关性较第Ⅰ类好、较第Ⅰ类差,渗透率与孔喉均值成正比,与分选、变异系数成反比。

孔喉均值为 $0.18 - 0.35 \mu\text{m}$,较第Ⅰ、Ⅱ类小,分选好(标准差 $0.1 - 0.5$,平均 0.4),细偏态(SK_p 为 -0.2)高尖度(K_p 为 1.122)的分布特征。

此类储层以粒间残孔、晶间孔、粒内孔、杂基间孔为主构成细孔隙、低渗透、好分选、细偏态、尖峰态的孔隙系统。75%为扇中亚相,与双河油田的第Ⅳ类相似。

从第Ⅰ类到第Ⅲ类,有孔隙度、渗透率、孔喉均值减小,分选变好,歪度变细,尖度减小的变化特征(图5)。表明:孔渗性高的岩样孔喉均值大、孔喉分布范围广、不对称;相反孔渗性差的样品均值小、分布集中、大小均一、对称性好。这种现象为“粗孔喉系统不均一,细孔喉系统单一”。

第Ⅰ类到第Ⅲ类的毛管压力曲线及 J 函数曲线特征(图5)为:毛管压力曲线分布从对角线向右上方偏移,曲线的平台段越来越明显、越来越长。第Ⅰ类分布较第Ⅱ、Ⅲ类集中。

在典型相关图中不仅可见各参数间的相关性,而且表明了各类间的界线及各类的相关性特征(图4)。毛管压力综合图更清楚地表明了各类毛管压力曲线的分布区间;均值关系图和均值与中值关系图中可见从第Ⅰ类到第Ⅲ类有规律的变化(ϕ 值逐渐增大),在标准差关系图中则是逐渐减小;在渗透率与均值关系图中,从第Ⅰ类到第Ⅲ类渗透率减小,均值的 ϕ 函数值增大,但各类的变化幅度不同(斜率不同);在中值(ϕ_m)和偏度(SK_p)关系图中各类均表现为负相关关系,但各类的斜率迥异,第Ⅰ类变化最陡,第Ⅱ类次之,第Ⅲ类最平缓。

(三) 判别图形和函数

典型相关特征图(图4)有各类明显的分布范围和界线,由此可判别出新样品的类属。也可用判别函数的方法来判别任意样品的类属,各类判别函数如下:

$$Y_1 = 58.522\sigma + 0.01511C + 1.3956K_p + 58.731\hat{\mu} - 49.3185\hat{\sigma} + 47.361\hat{C} - 473.243A - 93.317 \quad (1)$$

$$Y_2 = 54.266\sigma + 0.07308C + 0.9282K_p + 68.587\hat{\mu} - 54.5865\hat{\sigma} + 50.677\hat{C} - 497.186A - 91.197 \quad (2)$$

$$Y_3 = 46.914\sigma + 0.07544C + 1.5381K_p + 77.216\hat{\mu} - 52.4053\hat{\sigma} + 52.352\hat{C} - 451.993A - 97.513 \quad (3)$$

式中: Y_1, Y_2, Y_3 ——各类的判别函数, σ ——矩法标准差, C ——变异系数, K_p ——矩法尖度, $\hat{\mu}$ ——正态平均值, ϕ 值, $\hat{\sigma}$ ——正态标准差, $\hat{C}$ ——正态变异系数, A ——微观均质系数

判别方法为:根据样品的孔隙结构特征参数,代入判别函数公式(1)、(2)和(3)中,可分别得到对应的 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 值,如果有:

$$\hat{Y}_k = \max [Y_i] \quad i=1, 2, 3$$

则该样品属第 K 类。

结 论

(1) 克拉玛依砾岩油藏储层微观孔隙结构具有粗孔喉分选差, 细孔喉分选好, 大孔隙形成高孔隙度, 粗喉道连接大孔隙的特征。

(2) 克拉玛依砾岩油藏储层微观孔隙结构可分为三类, 各类特征参数有明显的变化规律, 不同的毛管压力和 J 函数曲线分布范围, 典型相关图上各类间有明显的分带性和分区线。符合分类原则, 达到分类目的。

(3) 建立了包括“数字特征、形态特征、分布特征和相关特征”的全油田砾岩储层微观孔隙结构分类的统一标准。

参 考 文 献

- 1 欧阳可悦, 罗明高. 八区乌尔禾组储集层研究及开发试验. 见: 全国低渗透油藏开发讨论会论文. 1987.
- 2 罗明高. 用 X^2 分布研究毛管压力曲线及对八区乌尔禾巨厚砾岩油藏的研究. 石油勘探与开发, 1989, (1): 73—83.
- 3 Clark R H. Reservoir properties of conglomerates and conglomeratic sandstones. *AAPG Bull.* 1979, 63 (5): 799—813.
- 4 刘敬奎. 砾岩储层结构模态及储层评价探讨. 石油勘探与开发, 1983, (2): 45—55.
- 5 刘敬奎. 克拉玛依油田二叠系巨厚砾岩储集层. 见: 第二次国际石油工程会议论文集. 1986. 1—30.
- 6 罗明高. 毛管压力曲线分布特征的确定. 西南石油学院学报, 1988, (4): 74—85.
- 7 Douglas J C, et al. 加拿大阿尔伯达省埃尔姆沃斯气田福尔赫段砾岩储集层性质所受成岩控制作用与其岩性之关系. 国外油气勘探, 1988, (1): 1—30.
- 8 罗明高, 孙丽霞, 任花萍. 克拉玛依油田砾岩油藏储层宏观特征描述及主要参数. 石油地质情报, 1988, (7): 8.
- 9 王振亚. 准噶尔盆地二叠系储层条件及其评价. 新疆石油地质, 1986, (2): 61—66.

MICROPORE STRUCTURE AND CLASSIFICATION OF CONGLOMERATE RESERVOIR FORMATION IN KARAMAY OILFIELD

Luo Minggao

(Department of Geological Exploration, Southwest Petroleum Institute)

Zhang Tinghui

(Institute of Exploration and Development, Xinjiang Petroleum Administration, Karamay)

Abstract

The basic pore types, the origin, the characteristics of micropore structure both in 2-

dimension and 3-dimension space, the modality of the pore texture in the conglomerate reservoir formation of Karamay Oilfield were studied in this paper. The main parameters describing the pore structures were determined by statistics. Then the data from different oil districts, facies zones and formations were studied and twelve classifying programmes were obtained with different statistical cluster methods (cap analysis, dynamic cluster and system cluster). The pore structures could be divided into three kinds through optimization, which were characterized by different facies zones, formations and macro-types. The variation regularities of parameters and curves (both capillary pressure curve and J -function curve) differ from each other. Obvious boundaries existed in correlation diagrams. All of them satisfied the principle of the classification that are the most reasonable, applicable and classifiable. Finally, the standard of classification was set up.

《湖泊沉积体系与油气》一书问世

大庆石油学院周书欣教授与英国里丁大学 V. P. Wright 博士、瑞士伯尔尼大学 N. H. Platt 博士和英国阿伯丁大学 B. P. J. Williams 教授合著的《湖泊沉积体系与油气》一书已由科学出版社出版。此书的问世,表明湖泊沉积的研究已经步入一个新的阶段,必将对沉积学的发展和湖盆油气勘查产生推动作用。

该书利用作者对西班牙、葡萄牙、澳大利亚、巴西、美国、英国、法国、瑞士、比利时、朝鲜,以及我国湖泊沉积体系与油气聚集的丰硕研究成果,以翔实的资料、充分的论证,对湖盆及其沉积体系作了系统、全面的归纳和概括。并以古构造为主导,探寻其与湖盆产生的内在联系,提出湖盆的构造成因分类,并分别以实例剖析了拗陷盆地、裂谷盆地、走滑盆地和前陆盆地的沉积特征、相模式及与油气聚集的关系。

湖泊蒸发岩、碎屑岩、碳酸盐岩形成机制、相模式的论述是专著的重要组成部分。它以世界各地典型的实例为基础,广采博纳,兼收并蓄,着力于各湖泊相内涵的分析和规律性的总结,图文对照,相映生辉。松辽盆地沉积体系与油气聚集是其内涵的外延,以沉积体系为中心,作了多方位的延伸与拓展。

中国大陆东部中、新生代断陷盆地沉积体系与沉积充填型式一章深入、系统,可以视为典型解剖,也可看成沉积体系的具体深入,是专著的有机组成部分,也是独立于其外的一篇学术论文。

该书装帧精美,铜版纸印刷,充分显示内容、形式的合谐,是一册具有学术价值和收藏价值的专著。

(贺自爱)