

鄂尔多斯盆地东南部长₂¹油层段 储层岩石类型聚类分析

王平¹, 常安定², 董安国², 康瑞龙²

(1. 长安大学 地球科学与资源学院 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 理学院 陕西 西安 710064)

摘要 按照中国目前陆源碎屑岩划分和命名的主要标准, 可将陆源碎屑岩的细砂岩—泥岩系列划分为11种岩石类型。考虑到岩心录井, 尤其是岩屑录井和电测曲线岩性解释工作中的实用性, 将11种岩石类型作为各自独立的对象并组成对象集, 经过数据的处理和标准化, 计算切比雪夫距离, 进行聚类分析。结果表明, 当距离系数为0.256 4~0.423 1时, 细砂岩—泥岩系列的11种岩性可综合归类为泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、粉砂质细砂岩和细砂岩5种。优选法的佐证结果表明, 优选的区域(黄金分割区域)恰好也是泥岩—细砂岩系列的11种岩石类型综合聚类为5类的区域, 此聚类结果是该系统聚类中的最佳分类。鄂尔多斯盆地东南部长₂¹油层段的开发实践证明, 这种岩石类型划分的方法既能满足科研的需要, 又方便于生产中应用, 是最优选择。

关键词 陆源碎屑岩 岩石类型划分 聚类分析 最优选择 长₂¹油层段 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)05-0039-04

油田勘探开发工作中需要既准确又简便易行的岩石类型划分标准, 在进行岩屑录井、电测曲线岩性解释和储层精细描述时, 常见的困难就是岩性变化不明显, 电测曲线的变化没有显著特征, 岩屑录井也显示为渐变过渡。这就需要在既满足沉积相分析和储层物性分析等科研的需要又便于生产实践中应用的前提下, 将相邻(近)的岩性层归类、合并, 划定为特征岩性层。

鄂尔多斯盆地东南部油气资源开发的主要目的层是中—晚三叠世形成的一套河流—湖泊相沉积物^[1], 其岩石地层单位为延长群^[2-4]的永坪组和胡家村组^[5], 主要含油气层系为长₂和长₆油层组^[6-8]。长₂油层组为三角洲平原分流河道沉积, 根据其岩性特征可划分为长₂¹、长₂²和长₂³共3个油层段。按照中国关于陆源碎屑岩划分和命名的主要标准^[9-11], 在沉积物的颜色、构造、成分和碎屑颗粒直径确定之后, 以次要矿物(或复合粒度)的含量可将研究区长₂¹油层段的细砂岩—泥岩系列划分为泥岩、含粉砂质泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、含泥质粉砂岩、粉砂岩、含细砂质粉砂岩、细砂质粉砂岩、粉砂质细砂岩、含粉砂质细砂岩和细砂岩共11种岩石类型。考虑到岩心录井, 尤其是岩屑录井和电测曲线

岩性解释工作中的便捷和实用性, 经过储层岩石类型的聚类分析, 笔者将11种岩石类型综合归类为泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、粉砂质细砂岩和细砂岩5种。开发实践证明, 这种岩石类型划分方法既能满足科研的需要, 又方便于生产中应用。

1 区域地质概况

研究区位于鄂尔多斯盆地陕北古拗陷的南部^[12-13], 北起靖边、南至富县, 西从志丹、东到宜川; 研究区分布有小河、青阳岔、天赐湾、镰刀湾、化子坪、谭家营、坪桥、郝家坪、子北、青化砭、蟠龙、直罗、下寺湾等20余个油田(区), 开发目的层主要是延长群永坪组和胡家村组。长₂油层组位于永坪组上部, 岩性为灰绿色厚层细—中粒砂岩夹深灰色泥岩、泥质粉砂岩、沉凝灰岩, 砂岩中含黄铁矿结核。

2 聚类分析

2.1 基本思路

聚类分析又称族群分析, 是研究多要素事物分类问题的一种数学分类方法^[14-16], 基本原理是根据

收稿日期: 2012-07-23。

作者简介: 王平, 男, 副教授, 博士, 从事油田开发教学与科研工作。联系电话: (029)82339081, E-mail: wangping@chd.edu.cn。

基金项目: 国土资源部重大项目“鄂尔多斯盆地矿产资源综合评价与规划”(1212011088008)。

要素自身的属性,用数学方法按照某种相似性或差异性指标,定量地确定要素之间的亲疏关系,并按这种亲疏关系对要素进行聚类。首先,将要进行分类的 N 个对象看作为 N 个类别,计算其归类指标(相似度或者距离),根据计算所得的归类指标来衡量诸类之间关系密切的程度,将其中关系最为密切的2类合并为1类,其余不变,从而得到 $N-1$ 类,进而将 $N-1$ 类中关系最密切的2类合并,得到 $N-2$ 类,如此依次进行归类,最终实现诸类归一之后,再对聚类的全过程进行综合分析,确定最优类别。

2.2 计算过程

数据的处理和标准化 将细砂岩、泥岩系列的11个岩石类型视为对象集,即 $X = \{\text{泥岩, 含粉砂质泥岩, 粉砂质泥岩, 泥质粉砂岩, 含泥质粉砂岩, 粉砂岩, 含细砂质粉砂岩, 细砂质粉砂岩, 粉砂质细砂岩, 含粉砂质细砂岩, 细砂岩}\}$,表示为 $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}\}$,该对象集中每个对象均具有3个特征指标(泥质含量、粉砂质含量、细砂质含量),由此构成的特征指标集为

$$Q = \{\text{泥质含量, 粉砂质含量, 细砂质含量}\} = \{Q_1, Q_2, Q_3\} \quad (1)$$

由于每个特征指标 $Q_j(j=1, 2, 3)$ 均为区间值,计算中取中点值代表整个区间,表示对象的特征,记为 $Q' = \{Q'_1, Q'_2, Q'_3\}$,故 Q' 是1个三维向量。如对于粉砂岩来说,其泥质含量为0~10%,粉砂质含量为90%~100%,细砂质含量为0~10%,则粉砂岩的特征指标向量 $Q' = \{5\%, 95\%, 5\%\}$ 。

设 $x_{i,j}(i=1, 2, \dots, 11)$ 表示第 i 个岩石类型的第 j 个指标值,为了平抑数据奇异值对结果的影响及确保描述的一致性和准确性,需要对每个指标值进行标准化处理,通常采用极大值标准化公式,即

$$x_{i,j}' = \frac{x_{i,j}}{\max_k x_{k,j}} \quad 1 \leq k \leq 11 \quad (2)$$

在分别求出各聚类要素所对应的极大值后,以各要素数据除以该极大值,即可得相应的聚类数据。

计算切比雪夫距离 这里所说的距离是指事物之间差异性的度量,距离越大、差异性越大,则相似性越小,所以距离是系统聚类分析的依据和基础。聚类分析中计算第 i 个对象到第 n 个对象之间的距离时,常用切比雪夫距离计算公式,即

$$d_{i,n} = \max \left\{ |x_{i,j} - x_{n,j}| \right\} \quad n = 1, 2, \dots, 11 \quad (3)$$

式中: $d_{i,n}$ 为切比雪夫距离。

由此,初次得到相应的距离矩阵 D ,搜索该距离

矩阵中的最小距离,得到 $D_{1,2} = D_{5,6} = D_{10,11} = 0.1282$,将其中的 $D_{1,2}$ 、 $D_{5,6}$ 和 $D_{10,11}$ 分别合并为 $L_{1,2}$ 、 $L_{5,6}$ 和 $L_{10,11}$,并且用被合并类别的指标量平均值作为新类别的指标值,因而得到新的聚类对象集

$$L^{(1)} = \{L_{1,2}, L_3, L_4, L_{5,6}, L_7, L_8, L_9, L_{10,11}\} \quad (4)$$

继续对所得对象进行相互距离计算,可得到第2个距离矩阵,搜索该距离矩阵中的最小距离,得到 $D_{4,5} = 0.1538$,合并 $L_{5,6}$ 和 L_7 ,得到新的聚类对象集

$$L^{(2)} = \{L_{1,2}, L_3, L_4, L_{5,6,7}, L_8, L_9, L_{10,11}\} \quad (5)$$

依次循序逐步进行,可得到第3个距离矩阵,有 $D_{2,3} = D_{5,6} = 0.2564$,合并 L_3 和 L_4 、 L_8 和 L_9 ,得到新的聚类对象集

$$L^{(3)} = \{L_{1,2}, L_{3,4}, L_{5,6,7}, L_{8,9}, L_{10,11}\} \quad (6)$$

同样地,由第4个距离矩阵,有 $D_{1,2} = D_{4,5} = 0.4231$,合并 $L_{1,2}$ 和 $L_{3,4}$ 、 $L_{8,9}$ 和 $L_{10,11}$,得到新的聚类对象集

$$L^{(4)} = \{L_{1,2,3,4}, L_{5,6,7}, L_{8,9,10,11}\} \quad (7)$$

由第5个距离矩阵,有 $D_{2,3} = 0.6474$,合并 $L_{5,6,7}$ 和 $L_{8,9,10,11}$,得到新的聚类对象集

$$L^{(5)} = \{L_{1,2,3,4}, L_{5,6,7,8,9,10,11}\} \quad (8)$$

由第6个距离矩阵,有 $D_{1,2} = 0.7019$,合并 $L_{1,2,3,4}$ 和 $L_{5,6,7,8,9,10,11}$,得到新的聚类对象集

$$L^{(6)} = \{L_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}\} \quad (9)$$

至此,所有对象归为一类。

2.3 聚类结果分析

把泥岩、细砂岩系列的11种岩石类型作为各自独立的对象,并组成对象集,每个对象都是用一个三维向量作为其特征指标,在对此11个具有特征指标的三维向量进行直接聚类后,逐次得到距离系数(λ),通过 λ 对聚类对象的分类进行切割,可得到相应的分类群。聚类分析的结果说明了2点:①当 $0.2564 < \lambda < 0.4231$ 时,聚类对象被分为5类,即泥岩(原泥岩、含粉砂质泥岩归为一类)、泥质粉砂岩(原粉砂质泥岩、泥质粉砂岩归为一类)、粉砂岩(原含泥质粉砂岩、粉砂岩、含细砂质粉砂岩归为一类)、粉砂质细砂岩(原细砂质粉砂岩、粉砂质细砂岩归为一类)和细砂岩(原含粉砂质细砂岩、细砂岩归为一类)。②泥岩、细砂岩系列的11种岩石类型综合聚类为5类,即 $0.2564 < \lambda < 0.4231$,是最优选择。因为,从生产应用的角度看,如果 λ 过小,则会人为放大对象之间的差异,不能有效聚类,本应该合成一类的对象,达不到简化问题的目的;如果 λ 过大,则会人为地缩小对象之间的差异,强硬地将本不应该合成一类的对象聚为一类,混淆了对象的本质,使问题过于简化而失真。所以,选取一个

合适的距离系数作为事物分类的依据是十分重要的。对于一组数,在数学上常用其中位数或平均数作为该组数中既不太大又不太小的取值。就本问题而言,无论是距离系数组成的数组、还是相邻两距离系数之差构成的数组、或是类群中平均每减少一类的距离值构成的数组,其中位数或平均值所对应的分类都是5类。所以说,泥岩-细砂岩系列的11种岩石类型综合聚类为5类,是该系统聚类中的最佳分类。

λ 的最大值为0.701 9,对其进行华罗庚优选法^[17]分析如下:区间 $[0, 0.701\ 9]$ 的下黄金分割点和上黄金分割点分别为0.268 1和0.433 8,这个范围正好与 $0.256\ 4 < \lambda < 0.423\ 1$ 相一致。优选的结果表明:优选的区域(黄金分割区域)恰好也是泥岩-细砂岩系列的11种岩石类型综合聚类为5类的区域。

2.4 应用实例

在研究区北部子北油田理825井(图1)、中部安塞油田杏58井、南部富县油田中富32井的开发实

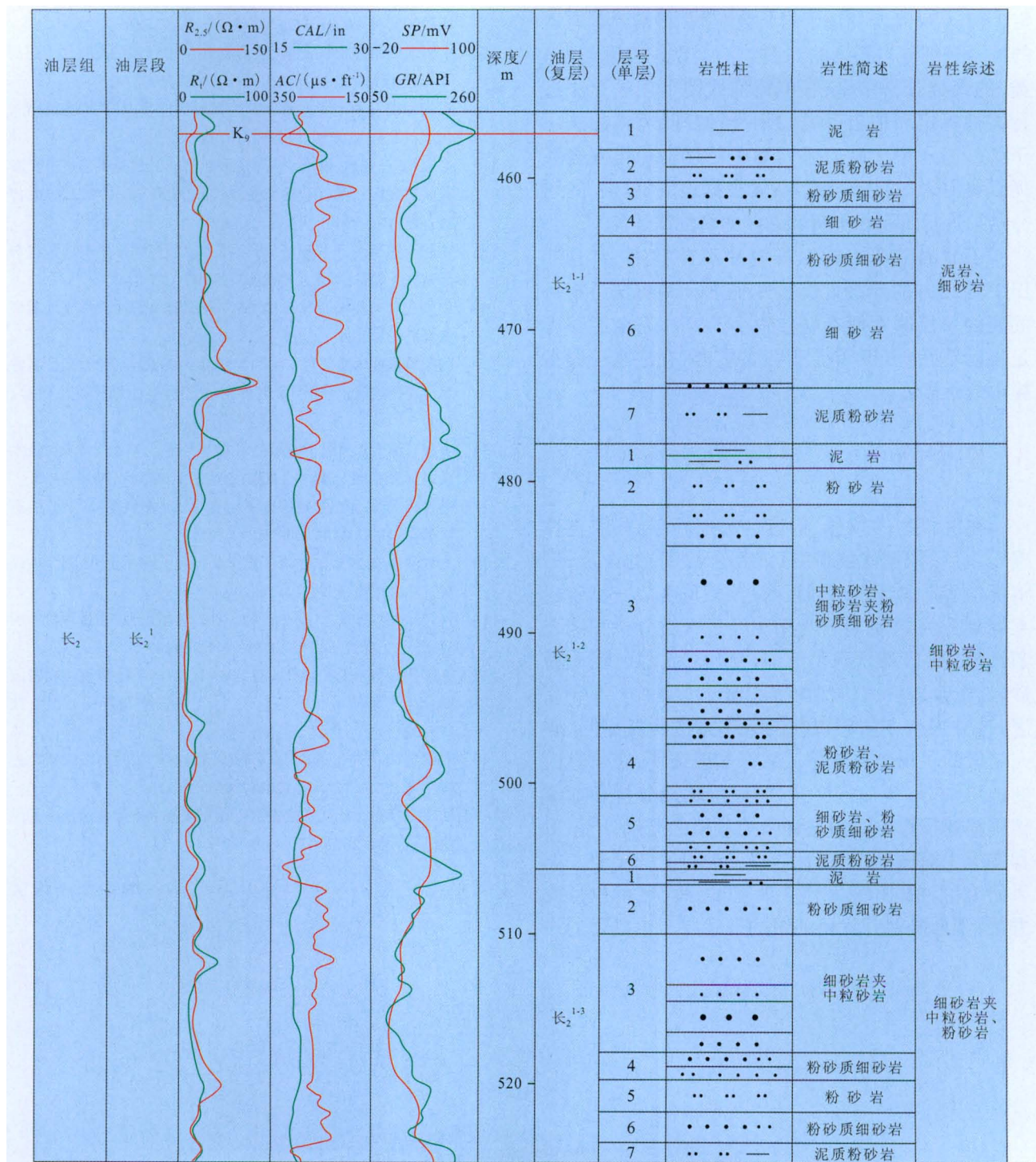


图1 子北油田理825井长₂¹油层段精细划分结果

践中,应用 将陆源碎屑岩的泥岩 细砂岩系列的 11 种岩石类型综合聚类为 5 类 的聚类分析方法,并将分析结果用于地层划分、含油气层系划分和沉积相分析中,实践证明了这种方法不但在实际工作中简便易行,而且能够保证科研的需要。具体工作步骤包括:①根据标准测井图(比例尺为 1:500)和组合测井图(比例尺为 1:200)的测井曲线(自然电位、自然伽马)特征分析沉积旋回;②研究每一个沉积旋回中岩心、岩屑与电测曲线特征的对应关系,确定 2 个端点(泥岩和细砂岩);③应用 将陆源碎屑岩的泥岩 细砂岩系列的 11 种岩石类型综合聚类为 5 类 的聚类分析结果,在电测曲线图上用内插法进行岩性标定和地层(单层)划分;同理,可将此法用于细砂岩 中粒砂岩系列和中粒砂岩 粗砂岩系列以及泥岩 粗砂岩系列;④根据地层(单层)的划分结果进行沉积相分析和油藏的精细描述。

子北油田理 825 井、安塞油田杏 58 井、富县油田中富 32 井的开发实践表明,这种研究方法可将目的层的单层厚度精确划分到小于 2 m,完全能够满足流动单元研究和单层开发的需要,在注水工程施工中效果显著。

3 结束语

在沉积物的颜色、构造、成分和碎屑颗粒直径确定之后,依据次要矿物(或复合粒度)的含量,可将鄂尔多斯盆地东南部长 2₁ 油层段的泥岩 细砂岩系列划分为 11 种岩石类型。经过聚类分析和综合归纳后,将 11 种岩石类型综合归类为泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、粉砂质细砂岩和细砂岩 5 种。在研究区,这种工作方法与以往的工作方法明显不同,研究结果的运用尚属首例。生产实践证明,在研究区的地层划分、含油气层系划分、沉积相分析和油藏精细描述工作中应用这种聚类分析的结果,不但工程实施中简便易行,而且能够保证科研的需要。如果研究区油田开发工作中所有油井均严格执行此方法,则会确保开发目的层的准确并产生显著的注

水增油效果。

参考文献:

- [1] 中国地质科学院地质研究所.陕甘宁盆地中生代地层古生物[M].北京:地质出版社,1980:1-29.
- [2] 陕西省区域地层表编写组.西北地区区域地层表:陕西省分册[M].北京:地质出版社,1983:33-56.
- [3] 卢宗盛,陈斌.陕西横山晚三叠世鱼类游泳遗迹(Undichna)的发现[J].古生物学报,1998,37(1):76-84.
- [4] 《中国地层典》编委会.中国地层典:三叠系[M].北京:地质出版社,2000:16,20,98,112.
- [5] 中国地质调查局地层古生物研究中心.中国各地质时代地层划分与对比[M].北京:地质出版社,2005:359,374.
- [6] 长庆油田石油地质志编写组.中国石油地质志:长庆油田[M].北京:石油工业出版社,1992:10,38-39.
- [7] 王学军,王志欣,陈杰,等.鄂尔多斯盆地镇北油田延长组低渗透储层成因及油气运移特征[J].油气地质与采收率,2010,17(1):15-19.
- [8] 王起琮.安塞 子长地区延长组长 1、2 段沉积体系与成藏组合研究[D].西安:西北大学,2005:2-19.
- [9] 中华人民共和国能源部.SY 5517-92 野外石油天然气地质调查规范[S].北京:石油工业出版社,1993.
- [10] 国家质量技术监督局.GB/T 17412.2-1998 岩石分类和命名方案:沉积岩岩石分类和命名方案[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [11] 中国石油天然气股份有限公司.勘探与生产工程监督现场技术规范:地质监督分册[M].北京:石油工业出版社,2006:9-12.
- [12] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002:48-60.
- [13] 王双明.鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M].北京:煤炭工业出版社,1996:12-14.
- [14] 黄晓,陈刚,孙进忠.系统聚类法在工程地质环境质量评价中的应用[J].工程地质学报,2008,16(1):169-173.
- [15] 王莎莎,倪晓阳,王洪,等.基于 MATLAB 的系统聚类法在我国安全生产事故分析中的应用[J].工业安全与环保,2010,36(8):52-54.
- [16] 邓继辉,陈柏林,吴小宁,等.岩体结构面产状的自组织聚类分析[J].长江科学院院报,2011,28(3):50-53.
- [17] 谭杰,刘羽.0.618 优选法在水电站正常蓄水位优化选择中的应用[J].吉林水利,2007(4):1-2.

编辑 经雅丽

300452, China

Wu Changwu, Xiong Liping, Huang Yanqing. Hydrocarbon distribution and control factors on accumulation in Bonaparte basin. *PGRE*, 2012, 19(5): 31–33.

Abstract: Bonaparte basin is a gas prone basin in which Sinopec hold 3 blocks interests. It baffled blocks exploration and development efficiently of these existing blocks and the acquisition of new blocks that the main control factors of hydrocarbon accumulation and potential are not so clear. The author points out the main control factors of hydrocarbon accumulation and the potential of Bonaparte basin through the research of petroleum geology and the hydrocarbon distribution. Hydrocarbon dose unequally distribute in this basin, the west part of basin is mainly small and medium oil fields but the east part of basin mainly contains giant gas fields. The kerogen type, maturity and preservation condition determined hydrocarbon type. In the west part of basin, the reactivation of faults leads to the lost of hydrocarbon and the scale of oil fields is small. But, in the east part of basin, the structure reinforced in late Miocene leads to the gas fields grow giant. Sub-basins in this basin have different main control factor of oil–gas accumulation. Preservation condition is the main control factor of oil–gas accumulation of Vulcan sub-basin, for the Calder Garben, the main control factor is the reservoir quality, and the trap is the main control factor of the east slope of the basin. Bonaparte basin still has good potential for exploration especially in medium and small structural traps, faults related traps, lithologic traps and salt related traps.

Key words: oil & gas distribution character; main control factor of oil–gas accumulation; source rock; preservation condition; reservoir quality; trap condition; Bonaparte basin

Wu Changwu, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing City, 100083, China

Yu Jianghao, Liao Yuantao, Lin Zhengliang et al. Research on temporal diversity of settlement characteristics of Paleogene, Fushan Sag. *PGRE*, 2012, 19(5): 34–38.

Abstract: Tectonic is very active in Cenozoic of Beibuwan Basin, Fushan Sag located in margin of Beibuwan Basin, whose regional tectonic of Paleogene is very complicated and research level is low, without study of tectonic subsidence history. Application of EBM basin modeling system for subsidence history in Fushan Sag, the back stripping analysis shows that: Fushan Sag has successively suffered rift period, transformational period and depression period, the changing of subsidence rate emerges “episode” characteristic; west secondary depression sedimentation rate is higher than which in east secondary depression since chasmic I episodic period, but from the chasmic III episodic, the east secondary depression sedimentation increased, so, the sedimentation rate is higher than which in west secondary depression. From the location of the center of subsidence, at the early period of chasmic, the subsidence center is located in the Huang Tong region of western depression, but at the advanced of chasmic (chasmic III episodic), the center of subsidence gradually migrates to the Bailian region of eastern depression, then, the regional center of subsidence continues migration to the northeast. Vertical sedimentation rates of the east and west secondary depression are different, besides, regional subsidence center migrates from west to east of Paleogene in Fushan Sag, reflecting the east and west secondary depression in Fushan Sag having space–time diversity in the characteristics of subsidence; Research finds that the tectonic activity diversity of secondary depression and Fushan Sag suffered by regional asymmetric extension effect is inner mechanism which has caused this space–time diversity of east–west settlement.

Key words: subsidence evolution; asymmetric tensile; diversity mechanism; occurrence mechanism; episodic tectonic; Fushan Sag

Yu Jianghao, Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan City, Hubei Province, 430074, China

Wang Ping, Chang Anding, Dong Anguo et al. Reservoir rock type cluster analysis of Chang₂¹ oil and gas-bearing member, south-east of Ordos Basin. *PGRE*, 2012, 19(5): 39–42.

Abstract: Based on the main criteria of terrigenous clastic rock classification and nomenclature at present in China, the clastic fine sandstone–mudstone may be divided into 11 types. Taking core logging into account, especially rock fragment logging and practical lithologic logging interpretation in work, we regard 11 rock type as respective independent object, and formed the object collection, then, after the data treatment and standardization, we count the Chebyshev’s distance and implement the cluster analysis, which indicates that, when $0.2564 < \lambda < 0.4231$, the 11 rock type of series of fine sandstone–mudstone can be generalized as 5 rock types: mudstone, muddy siltstone, siltstone, silty fine sandstone, fine sandstone. The filed practice of Chang₂¹ oil and gas-bearing member in the south-east of Ordos Basin has proved that the method for rock type classification can both meet the needs of scientific research and field application, it is the optimum selection.

Key words: Chang₂¹ oil and gas-bearing member; terrigenous clastic rock; rock type classification; cluster analysis; optimum selection; Ordos Basin

Wang Ping, College of Earth Science and Resources, Chang’an University, Xi’an City, Shaanxi Province, 710054, China

Zhang Liqiang, Yang Wan. Characteristics of red mudstone and its significance in recognition of sequence boundary of Es₄ in Dongying depression. *PGRE*, 2012, 19(5): 43–46.

Abstract: In the study of sequence stratigraphy underground, the sequence boundary’s identification is mainly based on the seismic section with low vertical resolution, log data with high multiple solution and so on, but ignoring rocks’ paleo-weathering characteristic which is relative to unconformable surface. Therefore, it leads to the ambiguity of stratigraphic sequence correlation. Based on the study of petrology, geochemistry and paleo-weathering characteristics about the red mudstone in Es₄ Yong 82 well of Dongying