

# 利用灰色聚类判定沉积环境

邓寅生<sup>1</sup> 张鸿升<sup>1</sup> 许建国<sup>1</sup> 葛云<sup>2</sup>

1(焦作工学院 河南焦作 454000) 2(焦作大学 河南焦作 454000)

**摘要** 利用测井曲线确定相应岩层形成时的沉积环境,常因曲线并非典型模式及所携带有关沉积环境的地质信息不完全所困扰。认为这种信息不全的实质是灰色系统理论中“灰”的基本含义,提出了用灰色聚类分析法判定沉积环境。并用以对山东阳谷——茌平煤田聊城勘探区山西组 S<sub>2</sub> 砂岩层形成环境进行判定,取得较好结果。同时,对灰色综合关联度作为聚类指标进行了探讨。

**关键词** 灰色综合关联度 聚类分析 测井曲线 沉积环境

**第一作者简介** 邓寅生 男 46岁 副教授 数学地质

塞利定义沉积环境是“在物理上、化学上和生物上均有别于相邻地区的一块地球”表面,这表明可以从物理、化学及生物学的“地质记录”来鉴别各种古代沉积环境。实际上,这方面的“地质记录”往往保存不完整,且受诸多条件限制又不可能将这些本来保存不全的“地质记录”取准取全。这种“信息不全”的直接结果是各种分析结论出现偏差甚或谬误。80年代创立并得到迅速发展的灰色系统理论,以“信息不全”为“灰”的基本含义,以实现“少”与“多”的辩证统一,“局部”与“整体”的转化为根本目的。有鉴于此,我们可以用灰色聚类的方法鉴别古代沉积环境。

## 1 灰色聚类分析的基本理论与方法

由环境参数计算分类统计量,经类的聚合确定沉积环境,这种所谓的 Q 型聚类分析已在沉积环境分析中得以应用。类似地,可以由环境参数计算样品的灰色综合关联度。经类的聚合确定样品的沉积环境。

设有  $n$  个观察对象(样品),对每一对象测得  $m$  个指标(参数、变量)的取值,写成对象序列:

$$X_1 = (x_{11} \ x_{21} \ \dots \ x_{m1})$$

$$X_2 = (x_{12} \ x_{22} \ \dots \ x_{m2})$$

.....

$$X_n = (x_{1n} \ x_{2n} \ \dots \ x_{mn})$$

求序列的始点零化象:

$$X_i^0 = (x_{1i}^0 \ x_{2i}^0 \ \dots \ x_{mi}^0)$$

$$= (x_{1i} - x_{1i} \ x_{2i} - x_{1i} \ \dots \ x_{mi} - x_{1i})$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

计算:

$$|S_i| = \left| \sum_{k=2}^{m-1} X_{ki}^0 + \frac{1}{2} X_{mi}^0 \right|$$

$$|S_j| = \left| \sum_{k=2}^{m-1} X_{kj}^0 + \frac{1}{2} X_{mj}^0 \right|$$

$$|S_j - S_i| = \left| \sum_{k=2}^{m-1} (X_{kj}^0 - X_{ki}^0) + \frac{1}{2} (X_{mj}^0 - X_{mi}^0) \right|$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j > i)$$

定义:

$$X_{ij} = \frac{1 + |S_i| + |S_j|}{1 + |S_i| + |S_j| + |S_j - S_i|} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j \geq i)$$

为对象  $X_i$  与  $X_j$  的绝对关联度,其具如下性质:

- a.  $0 < X_{ij} \leq 1$ ;
- b.  $X_{ii} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$ ;
- c.  $X_{ij} = X_{ji}$ ;
- d.  $X_i$  与  $X_j$  折线几何上相似程度越大,  $X_{ij}$  就越大。  $X_{ij}$  只与  $X_i$  和  $X_j$  的几何相似程度有关,而与其空间相对位置无关,即平移不改变绝对关联度的值。

由  $X_{ij}$  的定义可计算得序列  $X_1, X_2, \dots, X_n$  的绝对关联度矩阵  $E$ :

$$E = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & X_{nn} \end{pmatrix}$$

求序列的初值象:

$$X'_i = (x'_{1i} \ x'_{2i} \ \dots \ x'_{mi})$$

$$= \begin{pmatrix} x_{1i} & x_{2i} & \dots & x_{mi} \\ x_{1i} & x_{1i} & \dots & x_{1i} \end{pmatrix}$$

( $i = 1, 2, \dots, n$ )

定义  $x'_i$  与  $x'_j$  的灰色绝对关联度为对象  $x_i$  与  $x_j$  的灰色相对关联度, 简称为相对关联度, 记为  $r_{ij}$ , 即

$$r_{ij} = \frac{|x'_i - x'_j|}{|x'_i - x'_i| + |x'_j - x'_j|} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j \geq i)$$

相对关联度具如下性质:

- a.  $0 < r_{ij} \leq 1$ ;
- b.  $r_{ii} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$ ;
- c.  $r_{ij} = r_{ji}$ ;
- d.  $X_i$  与  $X_j$  的折线相对始点的变化速率越趋于一致,  $r_{ij}$  就越大.  $r_{ij}$  仅与  $X_i, X_j$  相对始点的变化速率有关, 而与各观测数据的大小无关, 即数乘不改变灰色相对关联度.

由相对关联度的定义可算得序列  $X_1, X_2, \dots, X_n$  的灰色相对关联度矩阵  $R$ :

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & r_{nn} \end{pmatrix}$$

为既体现对象  $X_i$  与  $X_j$  的折线的相似程度, 又反映  $X_i$  与  $X_j$  相对于始点的变化速率的接近程度, 较全

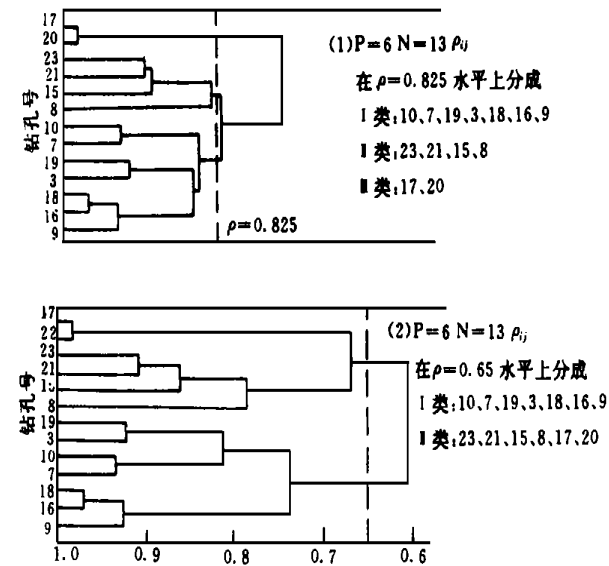


图 1  $S_2$  物性灰色综合关联聚类谱系图

(1)一次计算紧邻聚类 (2)叠次推算聚类

Fig. 1 The pedigree drawing of comprehensive relationship cluster about geophysical properties of  $S_2$  sandstone

面地表征对象间联系的紧密程度, 定义:

$$P_{ij} = \theta X_{ij} + (1 - \theta) r_{ij}$$

为对象  $X_i$  与  $X_j$  的灰色综合关联度, 简称综合关联度. 其中  $\theta \in [0, 1]$  若对绝对量之间的关系较关心,  $\theta$  可取得大些; 若对变化速率看得较重, 则  $\theta$  可取得小些. 这使得应用上有了较大的主动性和灵活性.

综合关联度  $P_{ij}$  具如下性质:

- a.  $0 < P_{ij} \leq 1$ ;
- b.  $P_{ii} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$ ;
- c.  $P_{ij} = P_{ji}$ ;
- d.  $P_{ij}$  既与对象  $X_i, X_j$  的各观测数据大小有关, 又与各数据相对于始点的变化速率有关;
- e.  $\theta = 1$  时,  $P_{ij} = X_{ij}$ ;  $\theta = 0$  时,  $P_{ij} = r_{ij}$ .

性质 c 表明用灰色综合关联度  $P_{ij}$  作为分类统计量满足聚类统计量不变性原则, 性质 d 说明  $P_{ij}$  作分类统计量满足聚合最紧密原则, 可引入传统的聚类方法进行类的聚合.

由综合关联度的定义很容易得到灰色综合关联度矩阵的计算公式:

$$P = \theta E + (1 - \theta) R = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & P_{nn} \end{pmatrix}$$

并可根据矩阵  $P$  进行各种方法的聚类

## 2 利用灰色综合关联度判定沉积环境

各种参数的测井曲线是从不同侧面对古环境中各种“地质记录”的物性记录, 携带着相应地质体形成环境的各种信息, 同时由于影响沉积环境的因素的复杂性, 这种信息表现是“灰色”的. 为此, 我们在对山东阳谷——茌平煤田聊城勘探区山西组沉积环境进行研究时, 选用十三个钻孔的  $S_2$  砂岩层的视电阻率最小值 ( $X_1$ ), 平均值 ( $X_2$ ), 最大值 ( $X_3$ ), 自然伽玛最小值 ( $X_4$ ), 平均值 ( $X_5$ ) 和最大值 ( $X_6$ ) 为变量测得对象 (样品) 序列:

$$X_i = (X_{1i} \ X_{2i} \ \dots \ X_{6i}) \quad (i = 1, 2, \dots, 13)$$

计算出各对象之间的灰色综合关联度矩阵  $P$ . 根据矩阵  $P$  采用一次计算紧邻聚类法和叠次推算聚类法作出  $S_2$  物性灰色综合关联聚类谱系图 (见图 1).

由聚类谱系图可将各钻孔  $S_2$  砂岩分成:

- I 类 { A 亚类: 10 7 3 19  
B 亚类: 18 16 9

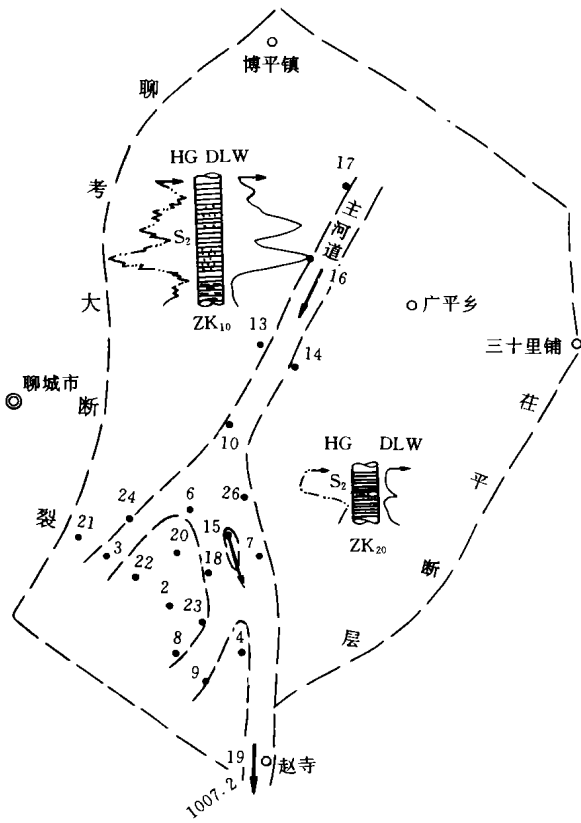


图 2 S<sub>2</sub> 物性灰色关联聚类分区及沉积环境解释图

Fig. 2 The divided areas of grey comprehensive relationship cluster about S<sub>2</sub> geophysical properties and the explanation of its sedimentary environments

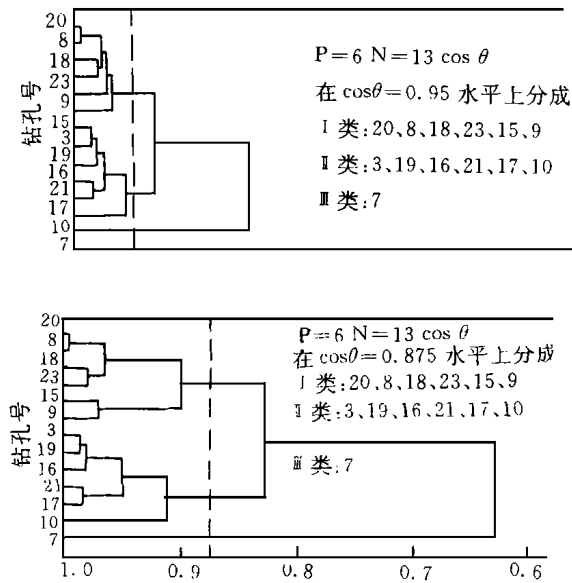


图 3 S<sub>2</sub> 物性相似系数聚类谱系图

(1)一次计算紧邻聚类 (2)叠次推算聚类

Fig. 3 The pedigree drawing of resemblance coefficient cluster concerning S<sub>2</sub> geophysical properties

II 类 { A亚类: 17 20  
B亚类: 23 21 15 8

由于 ZK<sub>10</sub>、ZK<sub>18</sub>的测井曲线为典型的河道—分流河道沉积曲线模式,将I 类各孔 S<sub>2</sub>砂岩解释为河道—分流河道沉积。ZK<sub>20</sub>孔 S<sub>2</sub>砂岩的测井值相对较小,曲线低平,为典型的分流间沉积曲线模式,故将II 类各孔 S<sub>2</sub>砂岩解释为分流间沉积。进而据此分类解释结果作出 S<sub>2</sub>物性灰色综合关联聚类分区及沉积环境解释图(见图 2) 由图 2并结合测井曲线可进行更详细解释:I 类的 A亚类区为河道长期发育区, B亚类区则可能出现过短暂间断;II 类的 A亚类区为长期河间沉积发育区, B亚类区则可能短暂地发育河道沉积,其中 ZK<sub>15</sub>孔的 S<sub>2</sub>砂岩很可能为心滩沉积。

### 3 灰色综合关联度聚类结果评价

对完全相同的原始资料进行了相似系数 (cos θ)聚类分析,其相似系数矩阵为 Q

由矩阵 Q所作的 S<sub>2</sub>砂岩的物性聚类谱系图、聚类分区及沉积环境解释图如图 3 4 比较图 1 与 3

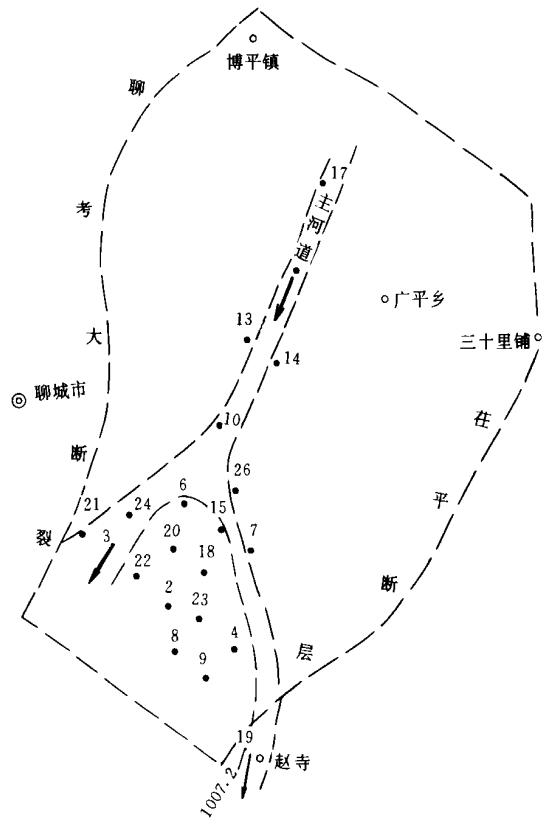


图 4 S<sub>2</sub> 物性灰色关联聚类分区及沉积环境解释

Fig. 4 The divided areas of resemblance coefficient cluster about S<sub>2</sub> geophysical properties and the explanation of its sedimentary environments

图 2 与 4, 不难看出, 其分类结果将具典型河道—分  
流河道沉积特征的 ZK<sub>10</sub>、ZK<sub>18</sub> 的 S<sub>2</sub> 砂岩分为不同的  
类, 前者分为河道沉积, 后者却分为分流间沉积, 中  
间的分支河道未被辨认出来。同时还可看出, 尽管相

似系数聚类分析与灰色综合关联度聚类分析的结论  
从总的沉积环境格局而言是基本一致的, 灰色综合  
关联度聚类结果对沉积环境的划分却更细, 更接近  
实际

$P=$

21	16	15	17	7	10	3	20	8	19	9	18	23
1	0.7562	0.8197	0.6210	0.5886	0.6040	0.7607	0.7524	0.7344	0.7214	0.8215	0.8001	0.9059
	1	0.6944	0.5906	0.6632	0.7775	0.7816	0.5908	0.6416	0.8508	0.9377	0.9706	0.7259
		1	0.6479	0.5582	0.5687	0.6173	0.6536	0.8304	0.6545	0.7136	0.7042	0.8998
			1	0.5354	0.5339	0.5620	0.9821	0.6845	0.5825	0.5924	0.5965	0.6539
				1	0.9365	0.8104	0.5048	0.5108	0.7783	0.6390	0.6618	0.5711
					1	0.8467	0.5339	0.5492	0.8070	0.6598	0.6826	0.5826
						1	0.5621	0.5967	0.9238	0.7240	0.7728	0.6314
							1	0.6843	0.5826	0.5926	0.5967	0.6543
								1	0.6184	0.6514	0.6501	0.7900
									1	0.8127	0.8367	0.6673
										1	0.9107	0.7563
											1	0.7338
												1

$Q=$

21	16	15	17	7	10	3	20	8	19	9	18	23
1	0.9303	0.7702	0.9831	0.7994	0.8753	0.9392	0.8429	0.8186	0.9714	0.7517	0.7501	0.6910
	1	0.4442	0.9397	0.7862	0.9397	0.9791	0.8789	0.8855	0.9810	0.9146	0.8839	0.8049
		1	0.8121	0.6361	0.8530	0.8952	0.8456	0.8716	0.8705	0.9689	0.9170	0.8456
			1	0.7293	0.8378	0.9408	0.8868	0.8597	0.9752	0.7797	0.7888	0.7375
				1	0.8494	0.7489	0.4353	0.4391	0.7821	0.5410	0.4549	0.3020
					1	0.9557	0.7749	0.7987	0.9216	0.8621	0.8328	0.7273
						1	0.9310	0.9191	0.9843	0.8985	0.9091	0.8406
							1	0.9950	0.8893	0.9015	0.9511	0.9597
								1	0.8830	0.9316	0.9764	0.9779
									1	0.8490	0.8480	0.7793
										1	0.9733	0.9349
											1	0.9796
												1

用灰色综合关联度聚类分析确定沉积环境, 对  
单由测井曲线类型定性确定环境而相当部分钻孔的  
测井曲线并非典型模式带来的困难, 对“信息不全”  
存在的较大“灰度”, 无疑是个很好的补充。二者的有  
机结合, 使得分析结果更加可靠。

度, 又考虑了对象序列对始点的变化速率 (一定意义  
下的消长关系), 二者所占比例由参数  $\theta$  控制, 使得  
应用它进行聚类分析时, 可据不同具体情况及分类  
目的, 赋予不同的  $\theta$  值, 以突出不同的物理意义, 使  
用起来更加灵活、主动。

在聚类分析时, 由于不同的分类统计量所衡量  
聚类对象相似程度的物理意义不同, 常产生出不同  
的分类结果。一般而言, 相关系数主要反映对象间的  
消长关系; 距离系数主要与对象的空间位置有关; 相  
似系数, 当对象几何上相似时就突出几何相似程度,  
当位置相近时则突出位置关系, 其虽具较强分辨能  
力, 但不同物理意义的分类混合在一起, 给解释带来  
困难。灰色综合关联度, 既考虑了对象的几何相似程

参 考 文 献

- 1 邓聚龙. 灰色预测与决策. 武汉: 华中工学院出版社, 1986. 125~134
- 2 山东省地矿局第二地质队. 山东省阳谷——茌平煤田聊城煤矿区普查地质报告 (附件二), 1990. 17~38
- 3 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫全等. 矿床统计预测. 北京: 地质出版社, 1983. 142~161
- 4 刘思峰. 灰色系统理论及其应用. 河南开封: 河南大学出版社, 1983.

1991. 49~ 143

## The Deduction of Sedimentary Environments Using Grey Cluster Analysis

Deng Yinsheng<sup>1</sup> Zhang Hongsheng<sup>1</sup> Xu Jianguo<sup>1</sup> Ge Yun<sup>2</sup>

1( Jiaozuo Institute of Technology, Jiaozuo Henan 454000) 2( Jiaozuo University, Jiaozuo Henan 454000)

### Abstract

When sedimentary environment of corresponding rocks are determined by well logging data, there is often a puzzle about their environmental sense because all log-curves are not typical and full of geological information concerning sedimentary environments. The authors consider that the essence of the inadequate information is the basic meaning of the term "grey" in grey system theory, and propose that an analysis method of cluster of grey comprehensive relationship be applied to deduce sedimentary environments. This method is applied to discriminate S sandstone environment in Shanxi Group, situated the Liao City exploring district of Yanggu-Ciping coalfield in Shandong province, with a better result gotten. At the same time, grey comprehensive relationship degree regarded as cluster index has been discussed in this paper.

**Key words** grey comprehensive relationship degree cluster analysis logging curves sedimentary environments

(Continued from page 155)

## The Study on High-Pressure-High-Temperature Aqueous Pyrolysis

### I . Influence of temperature and pressure on maturation of organic matter

Jiang Feng<sup>1</sup> Du Jianguo<sup>2</sup> Wang Wanchun<sup>1</sup> Cao Zhenglin<sup>3</sup>

1(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 73000)

2(Seismological Analysis and prediction centre, State Seismologic Bureau, Beijing 100036)

3(Northwest Institute of Petroleum Geology, Lanzhou 730000)

### Abstract

Immature organic matter(peat) were pyrolyzized at temperatures ranging from 200°C to 400°C under high pressure ranging from 0. 1 to 2 GPa in a closed system. As the index of maturation, vitrinite reflectance ( $R_o$ ) of samples was measured. The results display that  $R_o$  value of samples tends to rise when temperature increases under constant pressure and the  $R_o$  value decreases when pressure increases under constant pressure. These results indicate that pressure is one of factors that influence the maturation of organic matter as important as temperature do, and the pressure can retard the thermal evolution of organic matter. The function of pressure has its interior kinetic principle. The role of pressure in organic maturation process of organic matter can't be ignored as suggested by results of experiment and fact of Geology. It has important theoretical and practical significance on studying the function and influence of pressure by means of pyrolysis.

**Key words** high temperature high pressure pyrolysis vitrinite reflectance retardation