

沉积相定量识别中的层次分析方法

欧成华, 陈景山

(西南石油学院, 四川南充 637001)

摘要: 沉积相定量识别可以提高沉积相分析精度和准确性。由于用于确定沉积相类属的相标志物间具有典型的层次特征, 因而可以用层次分析方法来定量确定各相标志物对于沉积相类属的相对重要性定量指标(权重), 并结合模糊综合评判法即可定量识别沉积相类属。通过对鄂中坳陷京山剖面二叠系海相碳酸盐岩沉积相定量识别的结果表明, 用层次分析方法(结合模糊综合评判法)进行沉积相定量识别正判率达 78%~88%, 证明是切实有效的。

关键词: 层次分析; 沉积相; 定量识别; 模糊评判; 鄂中

第一作者简介: 欧成华, 男, 28岁, 博士生, 储层地质

中图分类号: P618.13 文献标识码: A

在对一个地区的沉积相类型进行分析的过程中, 传统的作法是首先寻找该区的相标志物, 然后与已知的标准相的相标志物对比, 从而判断该区沉积相的类属。随着定量沉积学的发展, 相继出现了多种定量识别沉积相的方法^[1-8]。这些方法不同程度地提高了沉积相分析的精度和准确性。沉积相的定量识别主要是通过对相标志物进行量化研究来实现的。在具体的工作中, 我们发现, 用作识别沉积相类属的相标志物具有典型的层次结构特征, 因此可以借用层次分析方法^[9]来量化相标志物间的关系, 从而准确客观地确定相应的沉积相类属。本文正是基于这一思路, 以鄂中坳陷二叠系海相碳酸盐岩沉积相识别^[1]为例, 阐述了运用层次分析方法进行沉积相类属定量识别的一般过程和方法原理, 结果证明这一方法是切实有效的。

1 相标志物的层次结构特征

沉积相分析(简称相分析)就是指通过对沉积剖面中的各种相标志物进行详尽地描述、综合分析研究其规律, 以便恢复地质时期的沉积环境及沉积特征, 识别出该区的沉积相类属, 并在纵横向上摸清它的展布形态。相分析的核心工作是相标志物的描述和归类^[10]。相标志物内部反映出典型的层

次特征(图1)。

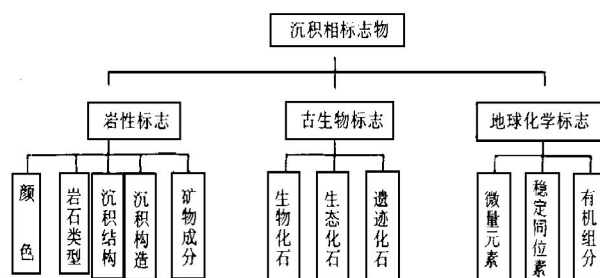


图1 相标志物层次图

Fig. 1 The hierarchy of facies markers

每个上层因素都可细分得到若干下层因素, 这些下层因素特征的总和即为此上层因素的特征, 如颜色、岩石类型、沉积结构、沉积构造和矿物成分加起来即表现为岩性特征。这也即是说, 下层因素的若干集合, 构成了上层各个因素, 从而构成了整个上一级层次。然而, 情况并不如这样简单, 下层每个因素并不只是对分出它的上层因素有贡献, 它还会对上一层中别的因素有贡献, 比如, 各种古生物化石反映出的古生物特征也包含有颜色的信息, 而生物化石则也体现了岩性的某些特征, 即颜色除对岩性特征有贡献外, 对古生物特征也有贡献, 而生物化石则不仅对古生物特征有贡献, 对岩性特征也有贡献, 依此类推得到的便不是图1这样简单的层次图了, 而是像图2那样复杂的递阶层次结构图。图2实质上反映了这样一个事实, 在地质历史时期, 同一沉积环境具有各不相同的沉积物和沉积

特征,而所有这些沉积物及其特征并不是孤立地存在的,而是相互影响、相互制约、共同演化才形成今天我们所看到的这些特征。因此,我们可以用层次结构来反映相标志物间的内在联系,从而用层次分析法来解决定量识别沉积相的问题。

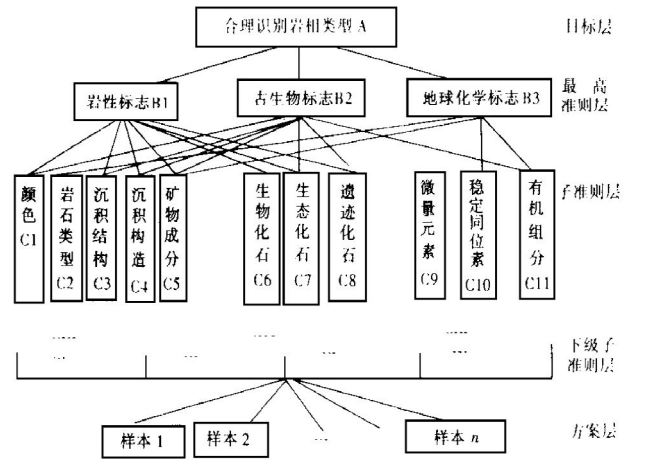


图 2 沉积相识别递阶层次结构模型

Fig. 2 The structural model of graded hierarchy for recognizing sedimentary facies

(为简便起见,这里将多目标即多个沉积相类型识别取等权,归结为一个总目标即单个沉积相类型识别来考虑)

2 沉积相定量识别中的层次分析法

层次分析方法应用于定量识别沉积相类属,首先要建立体现相标志物内在关系的递阶层次结构,在此基础上获得各相标志物间相对重要性的判断矩阵,然后用一定的算法得出表示各相标志物对于目标沉积相类属的相对重要性的定量指标,最后结合模糊综合评判法即可识别出沉积相类属。

2.1 建立递阶层次结构模型

相标志物间内在关系的递阶层次结构是在图 1 所示的简单层次结构的基础上建立起来的。如图 2 所示,目标层定为 A 层,仅一个因素,其下的最高准则层为 B 层,有 3 个因素,再下面的为 C 层子准则层有 11 个因素,而下级子准则层因地制宜,不具有普遍意义,故略。图中各层间的连线表示所连的下层因素对上层因素有贡献,而所有的下层因素共同贡献于目标层,这样就构成了由上往下逐级细分,由下往上依次集合的递阶层次结构。

2.2 构造判断矩阵

层次结构模型一经建立,上下层因素之间的隶属关系就被确定了,可以构造体现这种隶属关系的判断矩阵。

判断矩阵是通过两两比较来构造的。假设以上一层元素 A 为例,它们所支配的下层次的因素为 B₁, B₂, B₃,则需要比较 B_i 和 B_j 相对于 A 的重要性程度,并按 1- 9 的比例标度赋值,其中 1- 9 标度的含义见表 1^[9] 所示。

表 1 1- 9 标度的含义

Table 1. The meaning of the data ratio 1~ 9

标 度	含 义
1	表示两个因素相比,具有同样的重要性
3	表示两个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比,前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相临判断的中间值
倒数	若因素 i 与因素 j 的重要性之比为 C _{ij} , 那么因素 j 与因素 i 的重要性之比就为 C _{ji} = 1/ C _{ij}

2.3 各相标志物相对重要性定量指标的计算

当我们构建了各因素针对其上级准则的判断矩阵后,就可以着手通过判断矩阵计算各个因素相对于上级准则的相对重要性定量指标(即权重,下同)。

2.3.1 单一准则下因素排序权重向量的计算^[9]

2.3.1.1 计算方法

目前所见到的计算因素排序权重向量的方法主要有:和积法、方根法、特征根方法、最小二乘法和对数最小二乘法等几种,鉴于沉积相识别牵涉的因素很多,计算量较大,一般采用如下类似于和积法的公式计算权重向量 $W=(W_1, W_2 \cdots, W_m)$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij}}{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m C_{kj}}, i=1, 2, \cdots, m \tag{1}$$

式中 C_{ij} 为判断矩阵中元素; m 为因素个数; W_i 为因素权重。

2.3.1.2 判断矩阵的一致性检验

判断矩阵的一致性检验使用公式

$$CR=CI/RI \tag{2}$$

式中 CR 称为一致性比例; RI 称为平均一致性指标(具体数据见文献[9]表 1, 2); CI 称为一致性指标, $CI=(\lambda_{\max}-m)/(m-1)$, 其中的 $\lambda_{\max}=\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^m C_{ij} W_j)/W_i$ 为判断矩阵的最大特征根(W_i 为由式(1)求出的因素权重)。

当 $CR<0.1$ 时,判断矩阵具有满意的一致性,否则,要重新建立判断矩阵直达到满意的一致性为止。

2.3.2 计算各层因素相对于目标层的合成权重^[9]

合成权重向量 W 的计算公式如下

$$W = W^{(k)} W^{(k-1)} \dots W^{(2)} \tag{3}$$

式中 $W^{(k)}$ 为最低级准则层上因素相对于其上级准则层的排序权重向量; $W^{(2)}$ 为最高准则层相对于总目标层的排序权重向量。同样地, 我们也需要对整个递阶层次结构在 K 层及其以上水平的所有判断矩阵进行一致性检验, 检验使用如下公式

$$CI^{(k)} = (CR_1^{(k)}, CR_2^{(k)}, \dots, CR_{m_k-1}^{(k)}) W^{(k-1)}$$
$$RI^{(k)} = (RI_1^{(k)}, RI_2^{(k)}, \dots, RI_{m_k-1}^{(k)}) W^{(k-1)} \tag{4}$$
$$CR^{(k)} = CI^{(k)} / RI^{(k)}$$

式中 $CR^{(k)}$, $RI^{(k)}$ 和 $CI^{(k)}$ 为第 K 层的综合指标; $CR_j^{(k)}$ 和 $RI_j^{(k)}$ 分别为以 $K-1$ 层上因素 j 为准则的一致性指标, 和平均一致性指标。

如果 $CR < 0.1$ 则认为递阶层次结构在 K 层及其以上的所有判断矩阵具有满意的一致性, 计算出的合成权重合理, 否则, 须重新调整递阶层次结构及其各判断矩阵直到达到满意的一致性为止。

3 实例分析

为了进行对比研究, 我们选用文献[1]中实例, 对鄂中坳陷二叠系海相碳酸盐岩的沉积相进行识别。我们仍采用单级模糊综合评判法, 依据文献[1]中的评判标准, 采用其综合评判算子和单因素隶属度的求法进行沉积相识别。因素权重则采用本文提出的方法来确定。

3.1 确定沉积相标物的相对权重

文献[1]中的评判因素集(相标物)为 $U =$ 颜色, 方解石, 白云石, 石英, 粘土矿物, 古生物 1-5 类, 硅质结核, 瘤状体。岩性标志包括颜色、矿物组分和沉积构造, 其中矿物组分又进一步分为方解石、白云石、石英和粘土矿物, 沉积构造则以硅质结核和瘤状体为代表。古生物标志主要为古生物化

石, 分为五类: 古生物 1 主要为苔藓、海绵; 古生物 2 主要为钙球、钙藻、生物屑; 古生物 3 为有孔虫、海百合; 古生物 4 为腕足类、棘皮动物(海百合除外); 古生物 5 为腹足类、介形虫。

由文献[1]中的描述和我们自己在沉积相分析中的经验, 可以认为: 除颜色本身外, 方解石、白云石、石英和粘土矿物本身所具有的颜色特征具有程度不同的指相意义, 因此对“颜色”有一定程度的贡献; 而古生物的活动对沉积构造存在不可忽略的影响, 反过来, 沉积构造和矿物组分所代表的古水体环境则制约着古生物的分布, 而方解石、石英和粘土矿物则在古生物化石中屡见不鲜。综上所述, 根据本文提出的方法, 可以建立如下适合本区特点的基本评判因素层次结构模型(图 3)。

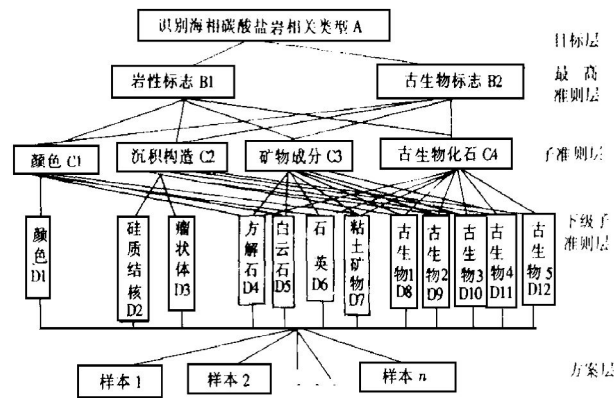


图 3 鄂中坳陷二叠系海相碳酸盐沉积相识别递阶层次结构模型

Fig. 3 Graded hierarchic structural model of Permian marine carbonate rocks in Central Hubei Depression
(为简便起见, 这里将多目标即 6 个沉积相类型识别取等权, 归结为一个总目标即单个沉积相类型识别来考虑)

通过构造各层次的判断矩阵并利用式(1), (2), (3)和(4)计算获得的相对权重排序向量(其中 $CR = 0.031\ 66 < 0.1$)如表 2 所示。

表 2 权重对比表

Table 2. The comparison between two types of weights

U	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
W_1	0.144 0	0.046 6	0.062 9	0.112 6	0.070 8	0.079 6	0.102 5	0.050 6	0.062 6	0.090 8	0.076 8	0.100 2
W_2	0.169 5	0.042 4	0.067 8	0.118 7	0.050 8	0.050 8	0.042 4	0.050 8	0.067 8	0.110 1	0.093 2	0.135 5

注: U —因素; W_1 —本文权重; W_2 —原文权重; D1—颜色; D2—硅质结核; D3—瘤状体; D4—方解石; D5—白云石; D6—石英; D7—粘土矿物; D8—古生物 1; D9—古生物 2; D10—古生物 3; D11—古生物 4; D12—古生物 5

由表中数据可以看出, 由于考虑了因素间的相互作用, 用层次分析法计算出来的权重在保持判对率(原作者的权重是用判对率计算出来的)大小趋势基本一致的前提下, 出现了一些变化。和原文相

比, 方解石、硅质结核、瘤状体、古生物 1 和古生物 2 这 5 个因素的相对权重基本未变, 颜色、古生物 3、古生物 4、古生物 5 这 4 个因素的相对权重略有减少, 白云石和石英的相对权重略有增大, 而粘土

矿物的增大显著。所有这些变化,都是因为考虑了因素间的相互影响造成的,例如粘土矿物,不仅其本身的含量多少具有指相意义,而且其颜色也有较好的指相意义,因此与未考虑因素间的相互作用的原文相比,它的指相作用加强了,其相对权值也随之增大;再如颜色,因为除独立考虑生态环境的颜色外,其他矿物和生物化石本身也具有颜色特征,所以,单独取出颜色来考虑,其针对沉积相类别的

相对重要性当然有所削弱。其他亦同此理。

3.2 识别结果及效果分析

采用单级模糊综合评判法,利用本文上节中算出的因素权重,并依据文献[1]中的评判标准,以及它所用的综合评判算子和单因素隶属度的求法对鄂中坳陷二叠系京山剖面的海相碳酸盐岩沉积相进行了定量识别,结果如表 3 所示。

表 3 京山剖面沉积相识别结果

Table 3. Recognizing results of sedimentary facies in Jingshan section

样本号	潮坪 (1)	台坡 A (2)	台洼 (3)	台坡 B (4)	局限台洼 (5)	台滩 (6)	确切模式
1	0.151 775	0.156 622	0.106 072	0.213 906	0.188 736	0.182 891	(4)
2	0.171 043	0.152 504	0.140 756	0.172 741	0.203 258	0.159 699	(5)
3	0.153 329	0.162 072	0.114 947	0.184 821	0.208 695	0.176 136	(5)
4	0.154 64	0.172 348	0.258 878	0.139 71	0.148 789	0.125 636	(3)
5	0.174 382	0.178 722	0.108 04	0.185 195	0.187 331	0.166 329	(5)
6	0.180 242	0.160 728	0.118 939	0.177 68	0.201 071	0.161 339	(5)
7	0.166 007	0.166 216	0.128 61	0.172 052	0.193 788	0.173 327	(5)
8	0.197 804	0.163 429	0.107 696	0.190 832	0.173 164	0.167 076	(1)
9	0.164 088	0.163 318	0.160 495	0.167 801	0.195 59	0.148 708	(5)
10	0.181 874	0.172 056	0.135 69	0.164 568	0.189 653	0.156 16	(5)
11	0.170 626	0.173 771	0.146 927	0.173 775	0.183 181	0.151 72	(5)
12	0.166 665	0.177 697	0.136 56	0.163 191	0.199 884	0.156 003	(5)
13	0.176 733	0.183 317	0.138 915	0.173 103	0.177 607	0.150 326	(2) *
14	0.194 713	0.179 737	0.126 776	0.177 467	0.155 288	0.166 019	(1) *
15	0.155 061	0.172 274	0.258 812	0.139 616	0.148 695	0.125 542	(3)
16	0.155 853	0.163 168	0.253 386	0.141 228	0.159 704	0.126 661	(3)
17	0.154 636	0.172 354	0.258 888	0.139 706	0.148 785	0.125 632	(3)
18	0.155 784	0.162 198	0.252 604	0.141 159	0.161 664	0.126 591	(3)
19	0.167 076	0.173 055	0.246 011	0.133 974	0.143 696	0.136 189	(3)
20	0.154 572	0.172 291	0.259 206	0.139 642	0.148 721	0.125 569	(3)
21	0.178 158	0.167 501	0.180 184	0.158 84	0.172 408	0.142 909	(3)
22	0.166 834	0.178 55	0.113 203	0.190 158	0.179 808	0.171 448	(4)
23	0.161 084	0.159 968	0.112 013	0.197 255	0.154 976	0.214 704	(6) * - (4)
24	0.152 717	0.148 733	0.108 338	0.207 267	0.162 153	0.220 793	(6) * - (4)
25	0.150 185	0.153 847	0.101 4	0.212 623	0.184 477	0.197 469	(4)
26	0.159 378	0.140 688	0.100 025	0.231 518	0.159 194	0.209 197	(4)
27	0.144 337	0.149 826	0.116 515	0.217 726	0.160 117	0.211 479	(4)
28	0.150 442	0.157 854	0.125 136	0.207 182	0.164 423	0.194 963	(4)
29	0.174 645	0.148 07	0.122 992	0.191 373	0.171 493	0.191 428	(6) * - (4)
30	0.178 102	0.153 163	0.233 395	0.150 591	0.140 178	0.144 57	(3) *
31	0.161 687	0.171 25	0.111 054	0.185 174	0.167 982	0.202 853	(6) *
32	0.155 853	0.163 168	0.253 386	0.141 228	0.159 704	0.126 661	(3)

注: * 表示判错样。

经与正确结果比较发现,正判率达到 78.0%~80.0%,证明本文提出的沉积相定量识别方法是切实可行的。

4 结论

(1) 相标志物间具有典型的层次结构特征,因

而可以用层次分析方法来定量确定各相标志物对于沉积相类属的相对重要性定量指标(权重),并结合模糊综合评判法即可定量识别沉积相类属。

(2) 通过对鄂中坳陷京山剖面二叠系海相碳酸盐岩沉积相定量识别的结果表明,用层次分析方法(结合模糊综合评判法)进行沉积相定量识别正判

率达 78%~88%, 是切实有效的。

参 考 文 献

- 1 王硕儒, 刘仲衡, 葛颀林. 模糊综合评判法及其对海相碳酸盐岩相的识别[J]. 石油学报, 1992, 13(1): 44~51
- 2 冉启全, 李仕伦. 用神经网络模式识别沉积微相[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 59~63
- 3 张兴全, 徐景祯. 沉积相的模糊模式识别方法及其应用[J]. 石油学报, 1994, 15(2): 32~38
- 4 雍世和, 文政. 用 Bayes 判别法定量识别沉积微相[J]. 测井技术, 1995, 19(1): 22~27
- 5 毛志强, 金振武. DENIS——一个用于识别沉积环境的专家系统. 见: 金振武, 刘瑞林. 人工智能在勘探开发中的应用译文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 16~23
- 6 张春生. 最大赋权树模糊聚类分析在沉积相划分中的应用[J]. 江汉石油学院学报, 1992, 14(2): 15~20
- 7 蔺景龙, 张淑梅. 测井相分析方法的研究[J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(1): 16~22
- 8 牟中海, 蒋裕强. 沉积环境与多元统计综合分析方法[J]. 西南石油学院学报, 1996, 18(1): 21~26
- 9 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990. 5~18
- 10 裘亦楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 5~18

HIERARCHIC ANALYSIS METHOD USED IN SEDIMENTARY FACIES QUANTITATIVE RECOGNITION

Ou Chenghua Chen Jingshan

(Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan)

Abstract: Hierarchic analysis method used in sedimentary facies quantitative recognition can improve the analytic accuracy and correction of sedimentary facies. The facies markers that are used in determining facies types are characterized by typical hierarchic properties. These properties could be used as important quantitative indexes(weight). Combining with Fuzzy comprehensive evaluation, hierarchic analysis method could be used to recognize facies types. A quantitative recognition example of Permian marine carbonate facies in Jingshan section of Central Hubei Depression suggests that this method is effective and the correct ratio is up to 78%~88%.

Key Words: Hierarchic analysis; sedimentary facies; quantitative recognition; fuzzy evaluation; Central Hubei

(上接第 254 页)

mentioned periods used to generate and expel large amount of oil and gas. The oil and gas migrated respectively in Late Paleozoic-Early Jurassic and Early Miocene-Quaternary along Cambrian and Ordovician sediments to the west, north and east sides. The northern and eastern parts of the sag uplifted intensively during late Hercynian, the erosion lasted for 40 Ma. As a result, not only the Permian sediments there were eroded completely, but also the oil and gas that had generated before escaped along faults. That is why more than ten wells drilled there are all dry. As for the Carboniferous and Triassic traps formed on the slope between Caohu sag and Ackule uplift, they should be taken as targets of oil and gas exploration since they formed earlier, underwent small damage, oil and gas there have seldom escaped.

Key Words: Caohu Sag; petroleum system; source rock; oil-gas migration; exploring direction