

川东地区下三叠统嘉陵江组一、二段 沉积相计算机评判

罗强 陈景山 郑永坚 高卫东

(西南石油学院)

余兴云

(四川石油管理局)

提 要 通常沉积相分析以定性为主,不同的研究者对同一岩石组合所确定的沉积相存在一定差异。本文在研究了川东地区区域沉积相的基础上,确定出本区嘉一、嘉二段的主要沉积相类型。结合野外相分析,归纳出相分析过程中最重要的四种相标志,即确定四种主因素,以此来判断沉积相。逻辑评判法是以专家系统的思想为基础,基本原理是依据多个沉积相专家提供的川东地区嘉一、嘉二段沉积相研究知识及相分析过程,在诸多相标志中选定四个主因素即岩性、结构、构造、化石,模拟专家判定沉积相的思路和过程。在给出四个主因素后,计算机通过推理程序而判断出沉积相。模糊综合评判法是以模糊数学为基础,在获得沉积相专家的经验 and 判别知识后。建立因素集,对选取的四个主因素赋予不同的权重,建立模糊子集,然后通过评价矩阵判定四个给定因素最该符合于哪个相。程序的使用是十分方便的,通过主菜单选择不同的评判方法,回答计算机的提问,输入不同的相标志,然后由计算机推理计算得出可能的沉积相名称及环境解释,通过对几口钻井取芯剖面的研究,计算机评判结果与人工分析结果基本吻合。沉积相工作由定性向定量化发展是一个大趋势,在沉积相研究领域计算机将发挥愈来愈大的作用。

关键词 沉积相 计算机逻辑评判 模糊评判

第一作者简介 罗强 男 30岁 副教授 沉积学

0 引 言

传统沉积相研究以野外定相为主。这是一项经验性很强的工作,由于研究者不同的工作经验和水平,不同的研究手段。对于同一套岩石组合做出的沉积相解释可能出现较大差异。然而,沉积相研究是油气田勘探的重要基础工作之一。沉积相的展布与许多因素有关,如沉积过程、物源气候条件、大地构造、海平面变化、生物活动等。因此,沉积相分析是一项十分专业化和技术化的工作。要准确确定沉积相离不开沉积学家的指导。沉积学家通过地层的序列、岩性、结构、矿物特征、原生沉积构造、古生物标志、古流向标志等判断沉积相。但在油气田勘探中,需对单井岩芯进行相分析,而这往往又是十分困难的。一是“一孔之见”所能观察到的相标志太少,二是缺乏沉积学专家。因此,有必要将某一地区或油田已成熟的相分析过程总结归纳引入计算机技术,用计算机进行相分析,使沉积相工作更科学,同时也可使沉积

相专家和非沉积相专家能根据油气田井场较易收集到的信息判断沉积相,这对于油田单井评价和单井相分析意义深远,不仅可提高准确性,也可提高工作效率。

1 川东地区下三叠统嘉一、嘉二段沉积相

早三叠世,川东地区为一受潮汐、波浪控制的浅水碳酸盐台地。台地西侧为川中半局限海,东侧为鄂西广海。

通过研究将川东地区下三叠统嘉一、嘉二段沉积相类型归纳如下:

A. 台内洼地相 以一套深灰色~灰色灰泥岩,含水平虫迹灰泥岩夹粗结构砾屑、砂屑、生屑灰岩等岩类构成。发育腕足、瓣鳃、有孔虫、介形虫等化石,沉积构造以水平纹层为主。该相代表潮下低能、水体盐度正常、位于风暴浪基面以上、水深约50m以内的环境。

B. 潮下泻湖相 以一套深灰色薄层灰泥岩夹少量砾屑、砂屑灰岩构成,灰泥岩中常有黄铁矿斑点,发育少量广盐性生物化石如瓣鳃、介形虫或成不含化石。沉积构造以水平纹层为主。该相代表潮下低能、水体盐度增大、位于风暴浪基面以上的局限环境。

C. 台内浅滩相 以一套中层状灰色、灰白色生屑、砂屑、鲕粒颗粒岩构成主体,含大量腕足、瓣鳃、棘皮、绿藻等正常浅水底栖生物化石,沉积构造有波痕、砂纹层理、冲洗层理等。该相代表潮下、潮间水体盐度正常、潮汐和波浪作用强烈、水深5m以内的高能环境。该相与台内洼地相、潮下泻湖相可相互迭置。该相可根据颗粒的成份进一步分为生物碎屑滩亚相、砂屑滩亚相、鲕粒滩亚相。

D. 台内潮坪相 以灰色、灰黄色中层状细至粉晶灰云岩、灰泥岩、云灰岩、膏云岩、石膏岩等夹藻鲕、砂屑、生屑颗粒岩构成。含瓣鳃、介形虫等广盐性生物化石,沉积构造有潮汐层理、鸟眼构造。该相代表台地内潮下至潮上以潮汐作用为主的极浅水沉积环境,水深从十几米到零米。该相可分出潮间坪、潮上萨布哈等亚相。

E. 风暴岩相 它是由强劲的风暴流改造海底沉积物而形成的岩石组合。其代表性的岩性为堆积在底部侵蚀面上的具粒序层理的粗结构岩(砾屑、砂屑灰岩等),反映一事件沉积。因其在川东嘉陵江组中广泛存在,故单独列出。

2 川东嘉一、嘉二段碳酸盐岩沉积相计算机逻辑评判

该方法以专家系统的思想为基础,基本原理是根据多个沉积相专家提供的川东地区嘉一、嘉二段沉积相研究的知识和经验进行推理和判断,模拟专家做决定的过程。使用时,只要回答程序提问输入主要相标志,即可由计算机仿照专家相分析过程而定出沉积相。该方法包括设立知识库、数据库、推理机、解释部分和知识获取部分。

A. 根据川东地区嘉一、嘉二段主要沉积相归纳出常见的几个相带(包括亚相),输入系统。

B. 建立知识库和规则库,将嘉一、嘉二段的典型相标志及判别过程用规则表示,按规则库的推理网络图得出若干规则。如:

规则1 如果岩层为水平层理,则是低能环境/安静水体沉积。

规则 2 如果岩层有浪成波痕,则以波浪作用为主的高能环境。

规则 3 ~ 规则 10.....

规则 11 如果岩层为膏岩/膏云岩,且具有泥晶结构或粉晶结构或细晶结构,且发育干裂或水平层理,且不含化石,则为潮上萨布哈沉积。

规则 12 如果岩层为砾屑灰岩或粒泥灰岩或泥粒灰岩,且具有粒屑结构、砾屑、砂屑、灰泥充填,且下部为正向粒序层理、上部水平层理,且化石杂乱:瓣鳃、介形虫、有孔虫、腕足、棘皮、藻类均可出现或少量化石,则可能为“风暴沉积”。

图 1 为判别两种沉积相的推理网络图实例。

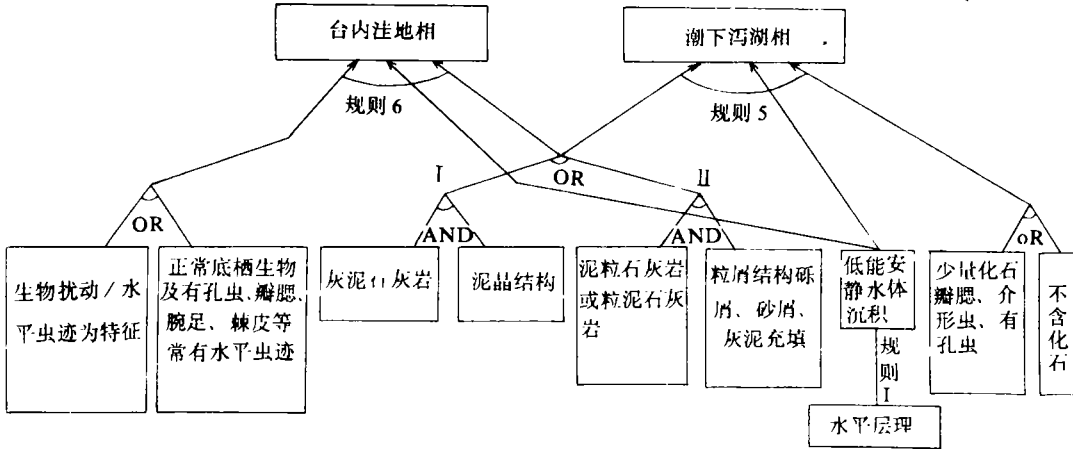


图 1 台内洼地相和潮下泻湖相判定的推理过程

Fig. 1 The inferring process of intraplateau depression facies and subtidal lagoon facies

在规则库和推理网络中根据研究区实际,选取“主要岩性”、“结构”、“特征沉积构造”、“化石特征”四个评判因素。不同地区不同层位可选取不同因素。应当指出,沉积相分析是一组地层序列的分析,而不是对某种岩性的相分析。本评判法是针对井下地层的相分析,是总结归纳一段厚度地层的四个主要评判因素做出判断,对于垂向序列的变化在输入相名时已考虑。

在评判过程中,为了便于编写程序,必须将选定的判别因素用代号表示。如灰泥岩(AL)、生屑颗粒岩(BL)、泥晶结构(AT)、不含化石(AF)等。

C. 采用正向精确推理形式,对川东地区嘉一、嘉二段各沉积相进行判定。例如:满足条件“岩性为灰泥岩(AL)、泥晶结构(AT)或者粒泥岩(HL)、泥粒灰岩(GL)且为水平层理(AS)且不含化石(AF)”,则为潮下泻湖相,屏幕显示出该相解释。又如:如果“岩石为白云岩或灰云岩”,且“泥晶结构”或“粉晶结构”或“细晶结构”,且“发育鸟眼构造或水平层理或冲洗层理”,且“只含少量瓣鳃、介形虫等广盐性化石”或“不含化石”,则该相为潮间坪相。屏幕上显示出该相结果。在本评判法中对所有相均采用正向推理。程序框图见图 2。

该软件建立后,即便是油田的一般地质人员(非沉积相专业),也可以从井口获取简单的

相标志而判断沉积相。

3 川东嘉一、嘉二段沉积相模糊综合评判

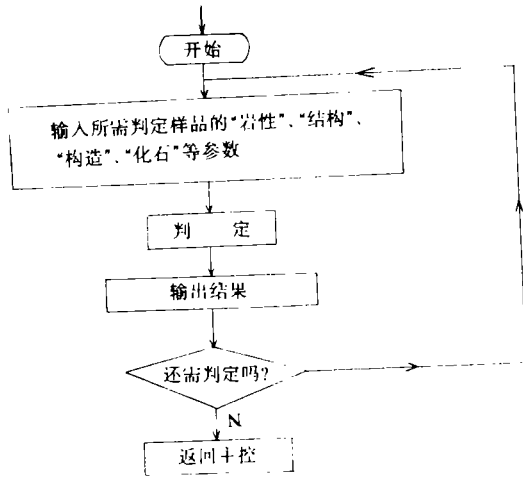


图 2 逻辑评判框图

Fig. 2 Map of the logical judgement

众所周知,沉积相的判定具有模糊性。模糊数学的方法能针对沉积相分析的特点,便沉积相工作向定量化、科学化发展。

3.1 模糊综合评判基本原理

综合评判是对多种因素所影响的事物或现象做出总的评价,若这种评价过程涉及模糊因素,便称为模糊综合评判。模糊评判包括以下步骤:

A. 设立因素集:设 u 代表影响评判对象的各种因素为元素所组成的集合,称为因素集。即

$$u = \{u_1 u_2 \dots u_m\}$$

式中 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 代表影响因素,这些因素可以是模糊的,也可以是非模糊的,他们对因素集 u 的关系是 $u_i \in u$ 或 $u_i \notin u$ 。

B. 设立备择集:设 v 代表评判者对评判对象可能做出的各种评判结果所组成的集合,此集合称为备择集。

$$v = \{v_1 v_2 \dots v_n\}$$

式中 $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 代表各种评判结果。 v_j 对 v 的关系是 $v_j \in v$ 或 $v_j \notin v$ 。

C. 模糊综合评判的数学模型

模糊综合评判的目的,就是综合考虑所有影响因素的基础上从备择集中得出一最佳评判结果,模糊综合评判的数学模型如下:

$$\tilde{B} = \tilde{A} \cdot \tilde{R} \text{ 或}$$

$$\{b_1 b_2 \dots b_n\} = \{a_1 a_2 \dots a_m\} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

$$\text{其中 } r_{ij} = u_{ij}(u_i, r_j) \quad 0 \leq r_{ij} \leq 1$$

式中 \tilde{A} 是因素作用模糊子集,它反映单因素 u_i 在总评判因素中所起作用大小的度量,并在一定程度上代表单一因素 u_i 评定等级的能力,记为:

$$\tilde{A} = \frac{a_1}{u_1} + \frac{a_2}{u_2} + \dots + \frac{a_m}{u_m} \quad \text{或}$$

$$\tilde{A} = (a_1 a_2 \dots a_m) \quad (0 \leq a_i \leq 1)$$

这里 $a_i (i=1, 2, \dots, m)$ 为 u_i 对 A 的隶属度。

式中 \tilde{B} 是模糊综合评判的结果, 是备择论领域 V 上的等级, 即

$$\tilde{B} = \frac{b_1}{v_1} + \frac{b_2}{v_2} + \dots + \frac{b_n}{v_n} \quad (0 \leq b_j \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n)$$

这里 b_j 为备择集中 v_j 对综合评定所得模糊子集 \tilde{B} 的隶属度, 是模糊综合评判的结果。

式中 \tilde{R} 为模糊评价矩阵, 即单因素模糊评价矩阵(单因素评价矩阵), \tilde{R} 应看作是 u 到 v 的模糊关系和变换, 它是联合所有的单因素模糊评判得出单因素评价矩阵。

3.2 川东地区嘉一、嘉二段沉积相模糊评判

A. 因素集的选择, 通过区域沉积相的研究选定岩性、结构、沉积构造、化石特征这四个最能反映研究区沉积相的参数作为川东嘉一、嘉二段沉积相评价因素, 这里没有考虑颜色、矿物特征等非主要因素, 即有:

因素集 $u = \{\text{岩性 } u_1, \text{结构 } u_2, \text{沉积构造 } u_3, \text{化石 } u_4\}$ 。

B. 建立备择集: 归纳出川东地区下三叠统嘉一、嘉二段典型碳酸盐沉积相, 建立备择集。

备择集 $v = \{\text{台内洼地相 } v_1, \text{潮下泻湖相 } v_2, \text{台内生屑滩亚相 } v_3, \text{台内砂屑滩亚相 } v_4, \text{台内鲕粒滩亚相 } v_5, \text{潮间坪亚相 } v_6, \text{潮上萨布哈亚相 } v_7, \text{风暴岩相 } v_8\}$ 。

需要说明, 这里将滩相、潮坪相的亚相列为备择集是为了程序评判方便、高效, 其效果和先评判到相, 再评判亚相的方法是同样的。

C. 建立模糊子集: 本评判中选用以下权重; “岩性” u_1 对评判各相权重为 0.4, “结构” u_2 对评判各相权重为 0.2, “沉积构造” u_3 对评判各相权重为 0.2, “化石”对评判各相权重为 0.2, 这样确定出模糊子集 u 。

$$u = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} = \{0.4, 0.2, 0.2, 0.2\}$$

这里各因素的权重不是由公式导出的, 而是由专家经验得出的, 这样更加符合研究区实际情况和沉积相工作的特点。

D. 建立评价矩阵: 经过研究、比较, 由沉积相专家给出所需判定样品的岩性 (u_1)、结构 (u_2)、沉积构造 (u_3)、化石 (u_4) 分别对八个相(亚相)的隶属度。

采用的隶属函数采用专家打分评判得出, 其比二元对比法和统计法更切合实际。评判时, 分别将对应各相的隶属度组成一个评价矩阵。如需要判定的样品为“具有水平层理的深灰色薄层灰泥岩、不含化石”, 则“灰泥岩”对八个相的隶属度为 (0.85, 0.85, 0.05, 0.05, 0.05, 0.3, 0.15, 0.2), “泥晶结构”对八个相的隶属度为 (0.9, 0.9, 0.1, 0.1, 0.1, 0.7, 0.75, 0.1), “水平层理”对八个相的隶属度为 (0.95, 0.95, 0.15, 0.15, 0.15, 0.75, 0.75, 0.65), “不含化石”对八个相的隶属度为 (0.4, 0.85, 0.05, 0.2, 0.3, 0.8, 0.95, 0.3)。

该样品的评价矩阵为:

$$v = \begin{pmatrix} 0.85 & 0.85 & 0.05 & 0.05 & 0.05 & 0.3 & 0.15 & 0.2 \\ 0.9 & 0.9 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.7 & 0.75 & 0.1 \\ 0.95 & 0.95 & 0.15 & 0.15 & 0.15 & 0.75 & 0.75 & 0.1 \\ 0.4 & 0.85 & 0.05 & 0.2 & 0.3 & 0.8 & 0.95 & 0.3 \end{pmatrix}$$

很显然,灰泥岩和水平层理对滩相、潮间坪、潮上萨布哈亚相的隶属度是很低的,而对泻湖相、台内洼地相隶属度较高。因此,专家给出的隶属度是符合客观实际的。

E. 进行模糊综合评判:将模糊子集 u 和评价矩阵 v 相乘,得出最终判属于各相的隶属度矩阵 R 。

$$R = u \cdot v = (u_1, u_2, u_3, u_4) \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{18} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{28} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \dots & v_{38} \\ v_{41} & v_{42} & v_{43} & \dots & v_{48} \end{pmatrix}$$

$$= (R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 R_8)$$

比较 R_i , 若 $R_k = \text{Max}\{R_i\}$ ($i=1, 2, \dots, 8$) 则样品属于第 k 个相。

3.3 程序(软件)应用

图 3 为模糊综合评判川东地区嘉一、嘉二沉积相的框图。打开软件包,显示主菜单,选择模糊综合评判法,随即进入模糊综合评判,按计算机提问输入样品四种相标志,稍候由计算机运算后得出最可能的相名称及解释。在程序运行前,使用者可根据情况重新输入权重和隶属度。然后再按计算机提问输入各种相标志,判别沉积相。

4 川东地区下三叠统嘉一、嘉二段单井沉积相评判实例

川东地区嘉一、嘉二段为川东矿区主力产气层之一。在生产、科研中准确地判定单井沉积相是十分重要的。笔者选取不同类型的几口井进行了评判,这里以川东黄草峡构造草 5 井为例;该井嘉一、嘉二段产气,其取芯段为 1053~1080m。

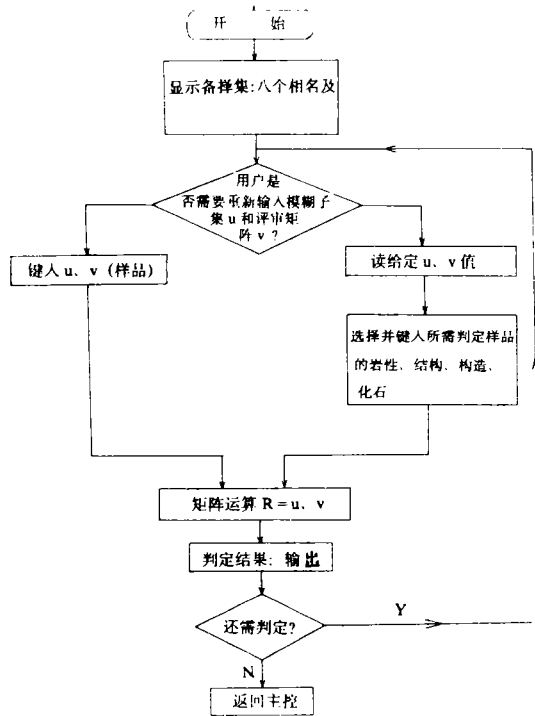


图 3 模糊综合评判框图

Fig. 3 Map of the Comprehensive fuzzy fudgement

通过对岩芯观察及测井曲线研究,分别对取芯段归纳出逻辑评判法所需要的四个因素,即岩性、结构、沉积构造、化石特征,然后打开程序,输入计算机询问标志,计算机运行片刻,即由屏幕显示出相解释。图4所列计算机评判结果与专家分析结果基本一致。

地层	井深 (m)	主要岩性	结构	特征构造	化石特征	相分析结果	
						人工解释	计算机评判
嘉二段 Tc ²	1053-4-	灰泥岩	泥晶结构		不含化石	潮下泻湖	潮下泻湖
	5-6-	白云岩	粉晶结构	水平层理	不含化石	潮间云坪	潮间坪
	7-		粒屑结构 含砾屑 砂屑			潮下泻湖	
	8-	灰泥岩 粒泥岩			少量瓣鳃化石	风暴沉积	潮间泻湖
嘉一段 Tc ¹	9-1060-1-	夹一层 17cm 厚 鲕粒灰岩	鲕粒,多为薄皮鲕	不清	少量瓣鳃碎屑	可能台内鲕粒滩滩缘	台内洼地 台内鲕粒滩
	2-						
	3-						
	4-						
	5-	灰泥岩	泥晶结构	水平层理 含水平虫迹	正常底栖生物化石	台内洼地	台内洼地
	6-						
	7-						
	8-						
	9-1070-1-	夹泥粒岩 砾屑灰岩	粒屑结构,含砾屑、砂屑	上部水平层理 下部正向粒序层理	化石杂乱	台内洼地相 夹风暴沉积	风暴岩相
	2-						
	3-						
	4-						
	5-	灰泥岩	泥晶结构	水平层理	正常底栖生物化石,腕足、瓣鳃等	台内洼地	台内洼地
6-							
7-							
8-							
9-1080-							

图4 黄草峡构造5井取芯段沉积相计算机评判结果

Fig. 4 Computer judgement for sedimentary facies of Cores obtained from well No. 5 in Huang Caoxia structure

由图4可见,计算机相分析结果比较“死板”,对于一些特殊的现象或模糊性较强的判断,计算机就显得无能为力,因其只能根据知识库里的相带判定。但我们可以在使用中不断充实完善知识库,修正规则库,使评判系统智能得以提高。同时,对于归纳一段地层主要相标志的准确程度、精确程度,也将影响相类型的判别。

5 结 论

1)逻辑评判法是集中多位沉积相专家的思想对样品“会诊”,使相分析的结果更准确。逻辑

辑评判法选用四个主要相分析因素是可行而有效的。

2)模糊综合评判法结合沉积相分析的特点,在沉积相分析中,可根据不同情况对四个主因素或多个主因素给予不同权重,从而使相识别结果趋于合理。

3)沉积相计算机评判在已进行了区域沉积相研究的油田中、在单井评价、储层研究中有重要的意义。在此基础上可进一步发展、建立某油田、某时代地层沉积相专家系统。

参 考 文 献

- [1] 汪培庄,1983,模糊集合论及其应用,上海科技出版社。
- [2] 刘震等,1992,陆相断陷盆地单井岩芯相分析专家系统,石油大学学报,(1):1~5。
- [3] Reading,周明鉴等译,1985,沉积环境和相,科学出版社,1。
- [4] 赵瑞清编,1988,专家系统初步,气象出版社。
- [5] 王硕儒等,1992,模糊综合评判法及其对海相碳酸盐相的识别,石油学报,(1):45~51。
- [6] 查明等,1992,盆地数值模拟方法研究与发展,石油大学学报(自然科学版),(2):106~110。

Computer Judgement for Sedimentary Facies Analyses of
the First and Second Member, Jialing Jiang Formation,
Low Triassic, East Sichuan

Luo Qiang Chen Jingshan Zheng Yongjian Gao Weidong

(Southwest Petroleum Institute)

Yu Xingyun

(Chuan Dong Exploration Company)

Abstract

Usually, sedimentary facies is denominated by determining the nature. There are different facies analysis results to the same beds by different researchers. In the study area, the main types of sedimentary facies have been denominated. Through field facies analysing, four important facies factors have been introduced in this paper. The logic judge method is on the basis of expert system's thought. The basic principal is utilizing sedimentary facies expert's knowlege and analysing progress on Tc¹—Tc² of East Sichuan. Four factors, including lithology, tectonic, structure and fossil are given to computer, the computer can judge the type of facies through the judging sequence. The fuzzy comprehensive judgement method is on the basis of fuzzy mathematics. The factor set theory has been built when the computer gets the facies expert's experience and judging knowlege. Then, different weight factor must be given to four main factors. In order to build fuzzy set theory, the computer will judge the facies through comparing four given factors in judging matrix. The different judging method can be used through main menu, then answer the computer's question, input different facies sign, at last, computer can give the most possible facies and explains. Comparing cores analyses, the result of computer explain is close to the nature. The sedimentary facies work will be developed from determining the nature to the amount. The computer will play a more and more important role in sedimentary facies analysis.