

应用概率图和因子分析 对四川旺苍上三叠统沉积环境的探讨

徐修国 陈彦华

(地质部石油地质中心实验室)

本文对四川旺苍上三叠统剖面的72个薄片粒度分析资料,分别用概率图的方法和因子分析的方法加以整理,并进行沉积环境分析。用概率图的方法在剖面上鉴别出九类概率图成因类型—河床点砂坝、河床急流、急流一点砂坝过渡型、河床河道深水区、三角洲河口砂坝、三角洲分支河道、三角洲分支间湾、滨湖、浅湖。为整个剖面环境分析确立了骨架。用主因子分析的方法,得出四个主因子,其地质意义分别代表河床点砂坝、河床河道深水区、三角洲分支河道和浅湖亚相(或河漫沼泽亚相)四种沉积环境。上述两种方法在分析沉积环境时都必须密切结合其他沉积特征的资料。

一、剖面地质概况

本剖面位于四川北部旺苍县城北10公里沥溪岩公路边,这里属于四川盆地北部米仓山隆起带南缘。剖面沉积特征从老至新简述如下:

(一) 小塘子组 (T_{3t})

与下复雷口坡组 (T_{2l}) 呈假整合接触。本组由下部砂岩段,中部泥页岩段和上部砂岩段所构成的粗细粗的沉积旋回。

下部砂岩段:富含植物茎叶碎片、炭

屑、泥砾、钙质砂球和不规则的灰岩团块。在灰岩团块中见有月亮坪褶襞蛤化石 (*Pilcatula Yueliangpingnsis*),岩层为薄—中层状,层理类型为大型平缓的楔型层理。

中部泥页岩段:富含植物化石和瓣鳃化石,瓣鳃化石有海燕蛤 (*Halobiasp*) 拟海燕蛤 (*Parahalobiasp*) 方褶顶蛤 (*Myophoriopsis quadratum*),并见植物根和虫孔,层理类型主要为波状层理、水平层理和波状交错层理。

上部砂岩段:富含钙质结核,灰泥云岩中见有瓣鳃化类,云南蛤 (*Yunnanophorus sp*) 和植物碎片。层理较发育,有斜波状层理、波状交错层理、小型单向斜层理和水平层理。

(二) 须家河组 (T_{3x})

与下复小塘子组整合接触。

须二段

本段以砂岩为主,间夹少量泥页岩和煤线。下部砂岩呈黄灰色,厚一块状中粒和细粒砂岩,富含泥砾、炭屑及定向排列的树茎,常见有冲刷面,层理不太发育,主要为平缓的楔型层理,水平层理和断续波状层理。

须三段

本段为一套煤系地层,由砂质白云岩、

粉砂岩、灰泥云岩与炭质页岩煤系组成多个旋回。发育斜波状、波状和水平层理，植物碎片和植物化石丰富。

二、概率图特征及沉积环境的分析

用薄片粒度分析的方法，将分析结果作概率图(泥质杂基作为粒度组分参加作图)，

将所作概率图与国内外现代和古代不同环境的概率图特征进行分析对比，同时综合其他沉积特征对砂岩体进行沉积环境的分析。在本剖面上共可划分出九类概率图成因类型，其中小塘子组有点砂坝、河口砂坝、分支河道和分支间湾四种环境的概率图组成。

(见图1—A)。须家河组有河床深水区、点砂坝、河床急流、急流一点砂坝、滨湖和浅湖六种环境的概率图组成(见图1—B)。

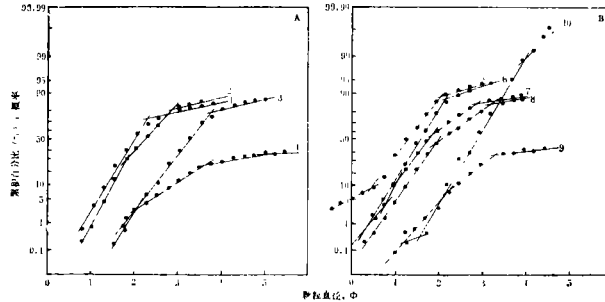


图1 小塘子组四种和须家河组六种概率类型图

- A.小塘子组 1.点砂坝(1号样) 2.河口砂坝(7号样) 3.分支河道(12号样)
4.分支间湾(11号样)
B.须家河组 5.河道深水区 6.点砂坝 7.急流型 8.急流一点砂坝过渡型
9.浅水湖泊 10.滨湖

各类环境概率图特征和沉积特征分述如下：

(一) 河床点砂坝

(1) 概率图特征

由分选良好的跳跃次总体和分选差的悬浮次总体两个直线段构成，不含牵引次总体。(见图2—C和表1)。

(2) 沉积特征

岩性为中粒岩屑长石砂岩和中粒岩屑砂岩，所见层理主要为大型平缓楔形层理、板状单向斜层理和大型波状层理。底部常发育冲刷面，其上富含植物碎片、炭屑和泥砾。

综合野外宏观特征，对比现代、古代概率图特征，本类概率图典型的点砂坝。

(二) 河床深水区

(1) 概率图特征

由分选较差的牵引次总体、分选良好的跳跃次总体和分选差的悬浮次总体三个直线段所构成。(见图2—D和表1)。

(2) 沉积特征

岩性为含细砾中—粗粒岩砾砂岩，层理不显，为厚一块状平行层理，植物茎平行层面定向排列。

本类概率图总体特征与河床点砂坝一致，但在粗端多了一个分选较差的牵引次总体，同时截点比点砂坝偏粗，说明水的搬运能力较点砂坝大，应为河道主流线附近，流速较大的深水区沉积。

(三) 河床急流

(1) 概率图特征

为向上凸起的多个直线段构成。大部分样品均有一个百分之几的牵引次总体和多个跳跃次总体及悬浮次总体。牵引次总体分选较差，跳跃次总体粗端分选好，向细端分选逐段变差，构成了向上微凸的多段型概率图。

(见图2—E和表1)

(2) 沉积特征

岩性为微含细砾的中粗粒岩屑砂岩和中粒岩屑砂岩。层理不显，为厚一块状平行层理，植物茎平行层面定向排列。

根据粒度粗、分选差、牵引次总体和多个跳跃次总体的混杂，认为是急流型河流携带多种粒级的递变悬浮物，在流速突然变慢的地区，引起大量递变悬浮物下沉掺合到分选较好的跳跃次总体中，同时又未能得到充分的分选所致。

(四) 急流一点砂坝过渡型

(1) 概率图特征

由分选较好的跳跃次总体，分选差的悬浮次总体和分选中等的过渡带三个直线段组成。不含牵引次总体，过渡带含量变化范围大。(见图2—F和表1)

(2) 沉积特征

岩性为粗中粒岩屑砂岩、粗中粒岩屑石英砂岩。层理不显，为厚一块状平行层理。植物茎平行层面定向排列。

本类概率图特征与三角洲河口砂坝极为相似，只能根据相带的总体特征和伴生关系来区分，河口砂坝只与三角洲相带伴生，本相带分布于河床相中。格莱斯特建议用电测曲线和伽玛曲线来区分这两种环境，河口砂坝出现于下细上粗反韵律剖面中，本相带出现于下粗上细的正韵律剖面中，电测曲线和伽玛曲线的形状刚好颠倒。格莱斯特解释为不

典型的点砂坝，我们根据它在剖面上的位置经常分布在急流和点砂坝的过渡部位，故把它作为急流一点砂坝过渡类型，它比急流少了牵引次总体，比点砂坝多了一个宽的过渡带。在河床相中过渡带的出现可能由于上游急流型河流进入平原地区，流速减低，大量递变悬浮下沉，加入到点砂坝的跳跃次总体之中，构成了分选较差的过渡带。

(五) 河口砂坝

(1) 概率图特征

由分选较好的跳跃次总体，分选差的悬浮次总体和分选中等的过渡带三个直线段构成。(见图2—G和表1)

(2) 沉积特征

岩性为细粒岩屑石英砂岩和中粒岩屑砂岩。主要为楔形交错层理，部分见斜层理，含少量植物碎片和炭屑。

本类概率图中过渡带的存在，可以认为河流入海(湖)时，靠近河口流速减慢，造成悬浮负载中较粗的颗粒下沉，掺入跳跃负载一起移动，一起沉积。

(六) 分支间湾

潘钟祥教授在“三角洲沉积体系特征及其和石油的关系”一文中写道：“这种环境主要为分支河道中间的凹陷区域，常和海相通。”

(1) 概率图特征

为角度平缓向上微凸的多段形和三段形曲线，分选差的悬浮次总体是最主要的组分。(见图2—H和表1)

(2) 沉积特征

剖面上分支间湾为一套黄褐色薄层状粉砂质泥岩夹泥灰岩和砂质灰岩的透镜体。富含海相瓣鳃化石，植物碎片和植物化石。我们对所夹的具波交错层理的砂质灰岩作了薄片粒度分析。

本类概率图的成因是由于洪水期由分支河道漫出的较粗的砂加入分支间湾细粒沉积物中，并经波浪和水流微弱的改造所致。

(七) 分支河道

(1) 概率图特征

由分选良好的跳跃次总体和分选差的悬浮次总体二个直线段构成。二个直线段的结合点是突然的。(见图2-1和表1)

(2) 沉积特征

岩性为细粒岩屑石英砂岩。常见小型单向板状斜层理。富含泥砾和植物碎片。

本类概率图特征与河床点砂坝相似，但截点明显偏细，悬浮次总体含量高。格莱斯特曾指出：“分支河道的粒度分布与上游的直接亲源的冲积系非常类似。因此它们可以与网状河或点砂坝的概率图相像。”

(八) 浅湖亚相

(1) 概率图特征

由分选较好的跳跃次总体，分选较差的悬浮次总体和分选中等的过渡带三个直线段构成，以悬浮次总体为主要组分。(见图2-1和表1)

(2) 沉积特征

岩性为砂质白云岩、白云质细砂岩、粉砂岩夹泥云岩。微波状和斜波状层理发育。含植物碎片，未见动物化石。

本类概率图特征似分支间湾，说明它们具有相似的水动力条件，反映由河流带入湖盆的碎屑以机械分异作用为主，掺入到湖盆内就地形成的碳酸盐沉积物中，由于波浪和水流改造作用较弱，未能使粗粒部分充分和分选，反映了波基面附近浅湖沉积的水动力特征。

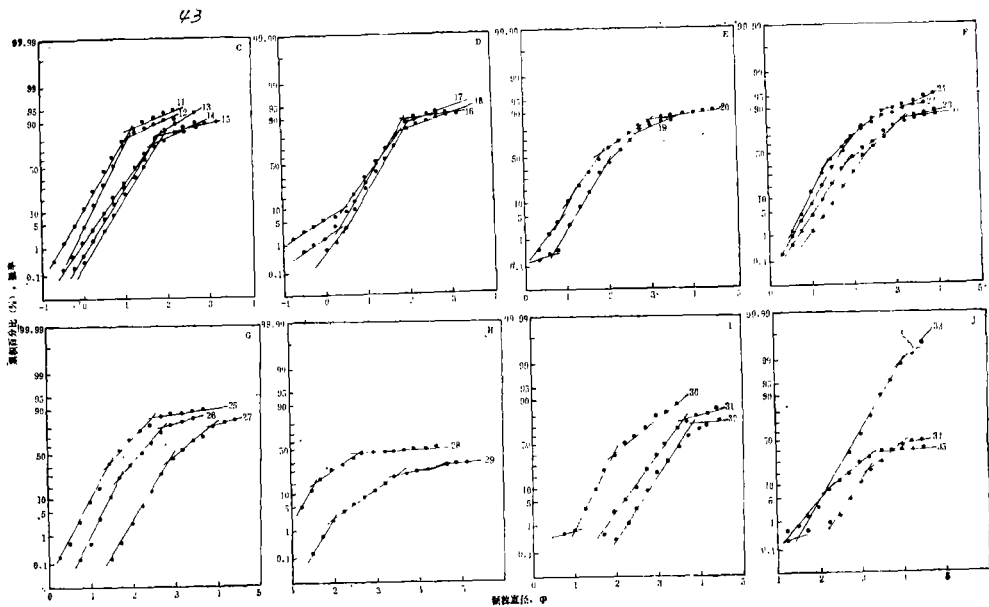


图2 各种概率曲线图

C.河床点砂坝 D.河床深水区 E.急流型 F.急流一点砂坝过渡型 G.河口砂坝

H.分支间湾 I.分支河道 J.浅湖滨湖

11,样号60—b₁ 12,30—b₁ 13,42—b₁ 14,50—b₁ 15,56—b₁ 16,56—b₁ 17,72—b₁ 18,70—b₁
 19,71—b₁ 20,69—b₁ 21,73—b₁ 22,64—b₁ 23,36—b₁ 24,52—b₁ 25,16—b₁ 26,18—b₁
 27,17—b₁ 28,21—b₁ 粗 26,21—b₁ 细 30,20—b₁ 31,24—b₁ 32,25—b₁ 33,95—b₁ 34,86—b₁
 35,82—b₁

(九) 滨湖亚相

(1) 概率图特征

由一个分选很好的跳跃次总体和分选中等的悬浮次总体所构成的近于直线状的概率图。(见图1—J和表1)

(2) 沉积特征

岩性为细粒石英砂岩，几乎不含泥质，见断续波状层理，岩石结构成熟度和矿物成熟度均很高。

本类概率图特征类似维谢尔的近滩砂丘沉积和格莱斯特的成熟海滩沉积，可以认为是滨湖沉积，但不排除湖滩砂经风的改造作用，但目前缺乏可靠的证据。

三、应用主因子分析与粒度分

析对沉积环境的探讨

主因子分析是多元统计分析中的一种浓缩信息，抓主要矛盾的统计方法。运用这种

表 1 四川旺苍上三叠统 (T₃) 剖面概率图成因类型分类表

沉积环境		河床相				三角洲相			湖泊相		
		河道深水区	急流型	急流一点砂坝过渡型	点砂坝	河口砂坝	分支河道	分支间湾	滨湖	浅湖	
概 率 图 特 征	细载点 (φ)	1.80~2.05	2.75~2.90	2.70~3.25	2.30~2.90	2.60~4.00	>3.70	>3.60	4.00	3.30~4.60	
	粗载点 (φ)	0.25~0.50	0.50~0.75	1.60~2.25	/	1.50~3.60	/	2.00	/	2.25~3.25	
	牵次总引体	含量%	3~10	1~4	/	/	/	/	/	/	/
		斜率	30°~50°	20°~45°	/	/	/	/	/	/	/
	跳次总跃体	含量%	77~86	80	35~64	73~85	26~48	63~77	3	98	8~20
		斜率	52°~60°	变化大	55°~62°	51°~58°	54°~64°	46°~77°	58°	60°	50°~55°
	悬次总浮体	含量%	10~20	15~20	10~20	15~27	15~20	23~37	77	2	54~64
		斜率	7°~18°	5°~30°	10°~22°	10°~12°	10°~15°	5°~17°	20°	45°	5~7°
	过渡带	含量%	/	由多个跳跃次总体	38~53	/	35~54	/	20	/	28
		斜率	/	变化大	36°~44°	/	38°~47°	/	33°	/	40°
沉 积 特 征	岩性	含砾中粗粒岩屑砂岩。	含砾中粗粒岩屑砂岩，中粒岩屑砂岩，	粗中粒岩屑砂岩，岩屑石英砂岩。	中粒岩屑长石砂岩，岩屑砂岩	中粒岩屑砂岩，细粒岩屑石英砂岩。	细粒岩屑石英砂岩	泥岩尖砂质灰岩透镜体	细粒石英砂岩。	砂质白云岩夹泥云岩	
	层理	层理不显厚一块状平行层理	层理不显厚一块状平行层理	层理不显厚一块状平行层理	大型平缓楔形层理，大型波状层理。	楔型交错层理和斜层理。	小型单向板状斜层理。	水平层理和波状斜层理	断续波状层理	波状层理和水平层理发育。	
	生物	植物茎平行层面定向排列	植物茎平行层面定向排列。	植物茎平行层面定向排列。	冲刷面发育，冲刷面上植物碎片和炭屑。	含少量植物碎片和炭屑。	符合泥砾和植物碎片。	符合海相瓣鳃化石和植物碎片。	未见动植物。	含植物碎片。	

1-1/2

方法可从一些错综复杂关系的地质现象中找出少数几个主要因子，每一个主因子就集中反映地质变量间的结合关系，因此可以帮助我们通过对大量的观测数据进行分析 and 解释。

我们将剖面上72个薄片的粒度资料整理成72个标本和20个变量（从小于 0ϕ 至大于 4.5ϕ ，按 $\phi\frac{1}{2}$ 值间隔分成20个粒级）的原始矩阵。然后求每个标本之间的相似矩阵。从相似矩阵中求特征值及特征向量。得出初始因子载荷矩阵。为了便于进行地质解释，根据方差极大准则，旋转因子轴，从而使因子载荷矩阵尽可能两极“分化”以利于进行地质解释。

表2 主因子及其特征值

主因子	特征值	累积值	累积百分比	代表性标本号
1	48.37	48.37	67.18	53, 59, 62, 64
2	13.45	61.82	85.86	13, 46, 70, 71
3	4.70	66.52	92.39	2, 15, 34, 49
4	1.80	68.32	94.89	30, 55

表2各主因子特征值的大小，分别代表了所能解释信息的多少，四个主因子可以解释总信息的94.89%，这样四个主因子就可以近似地代表所有的信息。

根据初始因子载荷矩阵，各因子载荷不够“分化”，我们进行了方差极大旋转（图3）图中将72个标本划分成四个类型，并指明了每种类型的典型标本。

表3中：

因子1，主要是代表 $0.75-2.00\phi$ 中粒径，其中以 $1.25-1.50\phi$ 的粒级②为最主要，相当于中粗砂岩，它反映了全部信息的67%，代表样品64号；

因子2，主要是代表 $2.75-4.00\phi$ 的粒径，其中以 $3.25-3.50\phi$ 的粒级为最主要，相当于细砂岩，代表样品13号；

因子3，主要是代表 $1.75-2.95\phi$ 的粒

径，其中以 $2.00-2.25\phi$ 的粒级为最主要，相当于中砂岩，代表样品34号；

因子4，主要是代表 $3.50->4.50\phi$ 的粒径，其中以大于 4.50ϕ 的粒级为最主要，相当于粉砂岩，代表样品55号。

根据上述计算分析结果结合其他资料综合分析，得出各个因子的地质意义如下（详见图4-A）：

因子1，代表性样品有53、59、62、64。所代表的概率图为三段型，（图5-B）牵引次总体含量3—9%，斜率 $40^\circ \pm$ 跳跃次总体含量80%，斜率 $55-65^\circ$ 粗截点斜 0.5 细截点：2.00

主要岩性：中—粗粒岩屑砂岩。

代表沉积相：河床河道深水区。

因子2，代表性样品有13、46、70、71。所代表的概率图为二段型，（图5-D、E）跳跃次总体含量：60—75%，斜率： $45-55^\circ$ 。悬浮次总体含量：22—26%，斜率： $5-15^\circ$ ，细截点： $3.5-4.0\phi$ 。

主要岩性：细粒岩屑石英砂岩。代表沉积相：三角洲相分支河道。

因子3，代表性样品有，2、15、34、49。

所代表的概率图为二段型，（图5-F、G）跳跃次总体含量：75—85%，斜率： $57-60^\circ$ ，悬浮次总体含量：15—25%，斜率： $8-15^\circ$ 细截： $2.3-2.5\phi$

主要岩性：中粒长石岩屑砂岩。

代表沉积相：河床相点砂坝。

因子4，代表性样品为30、55号。所代表的概率图为三段型，（图5-H、I）跳跃次总体含量：50—60%，斜率 $50^\circ \pm$ 悬浮次总体含量：30—50%，斜率 $5-7^\circ$ 。细截点： $3.8-4.8\phi$ 。

主要岩性：粉砂岩。

代表沉积相：河漫沼泽亚相或浅湖亚相。

表 3

因子锡分矩阵

变 量	主因子 粒级间隔 $1/4\phi$	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
1	< 0	0.13	0.02	0.09	0.02
2	0—0.25	0.12	0.02	0.07	0.02
3	0.25—0.50	0.24	0.05	0.14	0.07
4	0.50—0.75	0.59	0.08	0.31	0.12
5	0.75—1.00	1.42	0.16	0.64	0.22
6	1.00—1.25	2.18	0.14	0.66	0.30
7	1.25—1.50	2.55*	-0.11	0.22	-0.11
8	1.50—1.75	2.02	-0.21	-0.70	-0.17
9	1.75—2.00	1.41	-0.31	-1.70	-0.17
10	2.00—2.25	0.12	-0.23	-2.51*	-0.48
11	2.25—2.50	-0.09	0.06	-2.10	-0.22
12	2.50—2.75	-0.31	0.98	-2.03	0.28
13	2.75—3.00	-0.02	2.02	-0.54	1.47
14	3.00—3.25	0.08	2.08	-0.12	0.73
15	3.25—3.50	0.17	2.29*	0.38	0.27
16	3.50—3.75	0.09	1.60	0.25	-1.08
17	3.75—4.00	0.12	1.35	0.37	-1.26
18	4.00—4.25	0.06	0.76	0.22	-1.90
19	4.25—4.50	0.04	0.42	0.14	-1.61
20	> 4.50	-0.10	0.04	-0.12	-2.76*

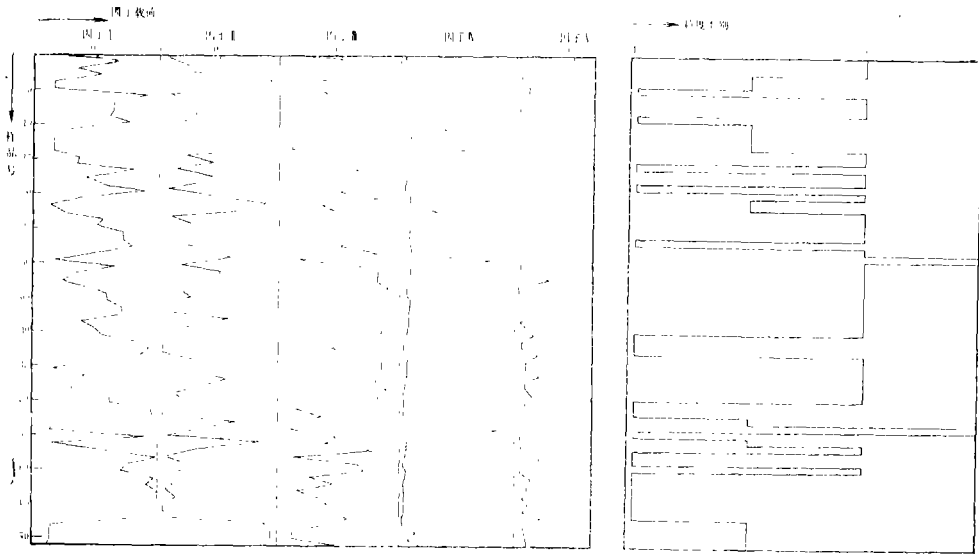


图3 方差极大旋转因子载荷变化曲线及粒度分类示意图
(DTS—6机 LZ—5型绘图仪绘制)

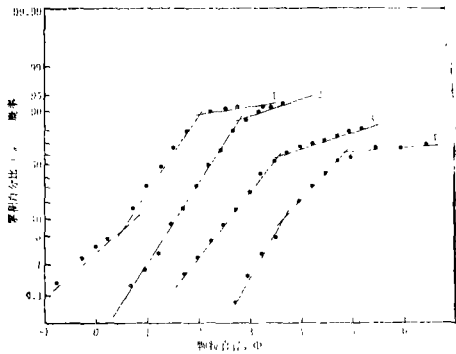


图4 主因子的四种概率曲线类型
1. 因子1 近山间河床相 2. 因子3 平原河流
3. 因子2 分支河道 4. 因子4 河漫沼泽相

结 束 语

应用概率图可直接进行环境分析, 比用复杂计算的矩法或图解参数进行环境分析简单而有效。它可以直观的反映沉积介质搬运的方式和得出有关参数 (三个次总体的

含量、斜率及截点的位置)。根据这些特征再综合其他地质情况, 可以较详细的解释碎屑物质的搬运和沉积作用的过程, 对比已知环境概率图的特征直接鉴别环境。

主因子分析可以充分利用全部粒度分析资料所提供的信息, 比较客观的确定沉积类型。该法不足之处是突出了中位数和众数附近的那些粒级作用, 而对反映沉积环境非常敏感的粗端和尾部未予强调。而粒度概率图的优点正是对粗端和尾部起了放大作用, 因此上述两种方法在环境分析中可互为补充。

沉积环境分析是一项综合性的研究工作, 单一的粒度资料不可能对环境作出正确的判断 (不论用什么方法整理)。因为相似的水动力条件可以出现相似的粒度分布, 河流、湖泊和海洋的局部环境中常常有相似的水动力条件, 因此分析沉积环境时还必须综合其他有关资料。

(收稿日期1979.10.10)

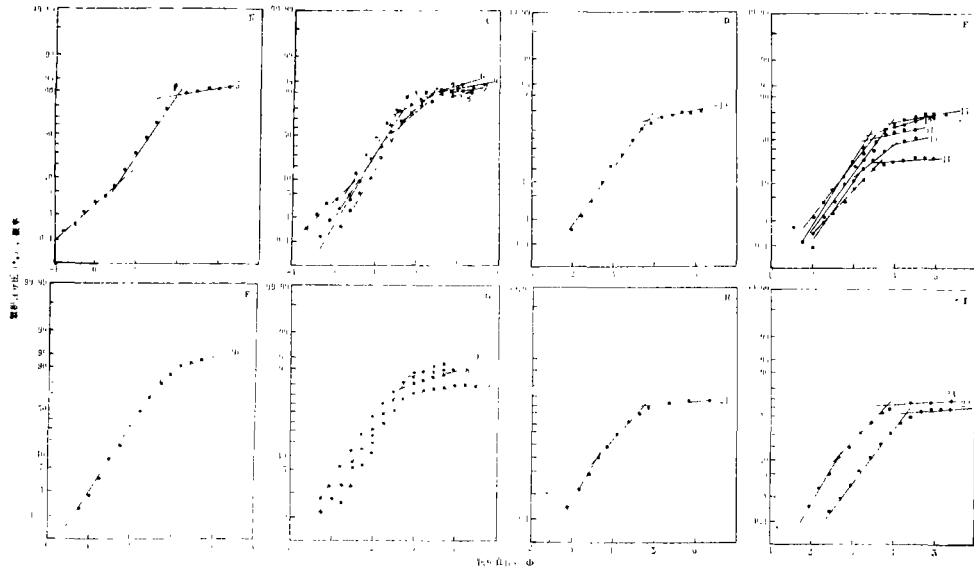


图5 主因子分析中各种概率曲线图

B, 因子₁概率曲线 C, 因子₁高载荷样品 D, 因子₂概率曲线 E, 因子₂高载荷样品
 F, 因子₃概率曲线 G, 因子₃高载荷样品 H, 因子₄概率曲线 I, 因子₄高载荷样品
 5.64号 (72-b₁) 6.53号 (60-b₁) 7.59号 (67-b₁) 8.62号 (71-b₁) 9.64号 (92-b₁)
 10.13号 (25-b₁) 11.4号 (7-b₁) 12.46号 (53-b₁) 13.70号 (86-b₁) 14.71号 (88-b₁)
 15.13号 (25-b₁) 16.34号 (42-b₁) 21.55号 (63-b₁) 22.30号 (39-b₂) 23.55号 (63-b₁)

表4

各主因子所代表的地质意义

主因子	牵引次总体	跳跃次总体	悬浮次总体	截点		岩性	沉积相	注
				粗截点	细截点			
因子1 0.75~2.00 以 1.25~1.50 为主	含量: 3~9% 斜率: 40°±	含量: 80% 斜率: 55°~65°	含量: 8% 斜率: 10°±	0.5φ	2φ	中—粗粒 岩屑砂岩	河床相河 道深水区	见图 13, 14 5-B, C
因子2 2.75~4.00 以 3.25~3.50 为主	/	含量: 60~75% 斜率: 45°~55°	含量: 22~26% 斜率: 5°~15°	/	3.5~ 4.0φ	细粒岩屑 石英砂岩	三角洲 分支河道	见图 15, 16 5-DE
因子3 1.75~2.75 以 2.00~2.25 为主	/	含量: 75~85% 斜率: 57°~60°	含量: 15~25% 斜率: 8°~15°	/	2.3~ 2.5φ	中粒长石 岩屑砂岩	河床相 点砂坝	见图 17, 18 5-F, G
因子4 3.50~ 74.50 以 74.50 为主	/	含量: 50~60% 斜率: 50°±	含量: 30~50% 斜率: 5°~7°	/	3.8~ 4.5φ	粉砂岩	河漫沼泽 或浅湖亚 相。	见图 19, 20 5-H, I

Lg的计算:

$$Lg = \frac{M}{\sum_{i=1} Ri/K}$$

式中: M—正剩余值点数;

K—经验系数。

K有三个取法: (1) $K = N$ (样品点数); (2) $K = \frac{1}{2}N$; (3) $K = \frac{1}{3}N$ 。

趋势面分析经验系数K选取对比 表7

地区	K的选取	异常数	
		油区	非油区
A区	N	7	0
	$\frac{1}{2}N$	4	0
B区	N	6	1
	$\frac{1}{2}N$	5	1
C区	N	6	1
	$\frac{1}{2}N$	4	1

根据我们的经验³²选用 $K = N$ (见表7)由表7可以看出,若经验系数 K 选用 N 比选用 $\frac{1}{2}N$ 在含油区的异常点数多,而非含油区的点数并不增加。计算出异常分量后,便可以编制剩余异常图。

我们编绘了三个不同地区地下水 Cl^- 的三次趋势面分析剩余异常与油田分布关系图,可以得出以下认识:大部分含油区内

有 Cl^- 的剩余异常存在,三个地区只有两个含油区没有异常,还有两个异常点不在含油区内。这是因为 Cl^- 与油气并没有直接关系,只是由于油气存在的环境中,有利于 Cl^- 的富集,因此 Cl^- 的剩余异常与油气的存在之间有较高的概率关系。如果把不存在 Cl^- 异常的油区和 Cl^- 异常不在油区都算为非成功的,那末,在这三个地区,应用趋势面分析中的 Cl^- 剩余异常确定油区的成功率可达81%。看来对勘探油气是有一定意义的。

(收稿日期:1979.10.10)

参考文献

1. 中国地质科学院矿产所四室数学地质组, 1978. 祁连山某超基性岩体矿化特征的统计分析. 国际交流地质学术论文集, 第4辑.
2. 地质出版社, 张金来, 1979. 我国陆相油田水的基本特征及其分类的讨论. 地质论评, 第25卷, 第2期. 地质出版社.
3. 张金来, 1964. 水化学中的比值在石油普查勘探中的应用. 地质论评, 第22卷, 第6期. 科学出版社.
4. 中国科学院地质研究所编著, 1977年, 数学地质引论. 地质出版社.
5. A.G. Collins, 1975. Geochemistry of oilfield waters. New yok.

(上接71页)

参 考 文 献

1. R.P. 格莱斯特和 H.W. 纳尔逊“粒度分布, 一种定相的辅助手段” 成都地院沉思译自 Bulletin of CANADIAN PETROLEUM GEOLOGY Vol. 22, No. 3, pp203—240
2. “沉积岩(物)粒度分析及其应用” 成都地院陕北队编, 地质出版社
3. 潘钟祥“三角洲沉积体系特征及其和石油的关系”, 石油地质科技情报, 1975.4第三期