

应用自然电位测井曲线解释沉积环境

马 正

(武汉地质学院)

岩石的地球物理讯息包括声、光、电、热、力、放射性等,其中与沉积环境有关的测井讯息是声、电、放射性。六十年代,皮尔逊首先应用自然电位曲线解释沉积环境,总结出几种主要成因类型砂体的典型曲线形态,开辟了测井资料用于岩相研究的新领域^[1]。随着数字测井技术的发展,用密度—中子—声波测井的综合解释成果,作出评价地层的孔隙率曲线、泥质含量曲线,突出了地质讯息,再结合地层倾角测量的新技术,大大提高了曲线的地质解释精度。目前利用测井曲线进行地下沉积相研究已成为一种重要手段。

1976—1980年,作者等在黄骅地区进行研究工作中,对生产单位积累的大量测井曲线(主要是自然电位曲线)进行了分析综合,总结出一系列典型特征,并应用于该区第三纪沉积的岩相及环境解释,取得了较满意的结果。本文就是这一科研成果的综合报道。

一、基本原理

地下自然电位来自扩散—吸附电势、过滤电势以及氧化还原电势。扩散—吸附电势取决于地层水和泥浆之间的离子浓度差、地层中泥质含量以及受粒度、分选性控制的孔隙半径的大小。在浓度差大、泥质含量少、孔隙半径大时,扩散—吸附电势就大。在压差(泥浆柱压力与地层压力之差)一定时,地层渗透性好,过滤电势就大。渗透性与粒度、分选性、泥质含量有关。砂泥岩层的氧化还原电势取决于水动力条件。因此,可以说由三种电势构成的自然电位主要是受粒度、分选性和泥质含量的控制,而它们又取决于沉积时的水动力能量和物源供应条件,所以自然电位曲线的变化能反映沉积环境。当砂层自下而上粒度变小、分选性变差、泥质含量加多时,意味着水动力能量变弱,物源供应减少,因而自然电位曲线幅度向上变小(图1)。

二、曲线要素及其地质意义

曲线的要素很多,有构成单层的,也有构成多层组合的(图2)。

(一)幅度 影响幅度的因素较多,除了受能量(粒序、分选性、泥质含量)的影响之外,还和其它因素有关。如在地层水和泥浆之间离子浓度差越大,则幅度越大;高阻地层及薄层(小于2米)会使幅度变小。因此,用幅度大小分析井内地层的沉积能量时,只具有相对强度概念。如果能控制采用同一浓度的淡水泥浆,并在砂岩厚度大于2米的条件下,就可以利用幅度的变化进行半定量环境能量解释。在同一比例尺下,可

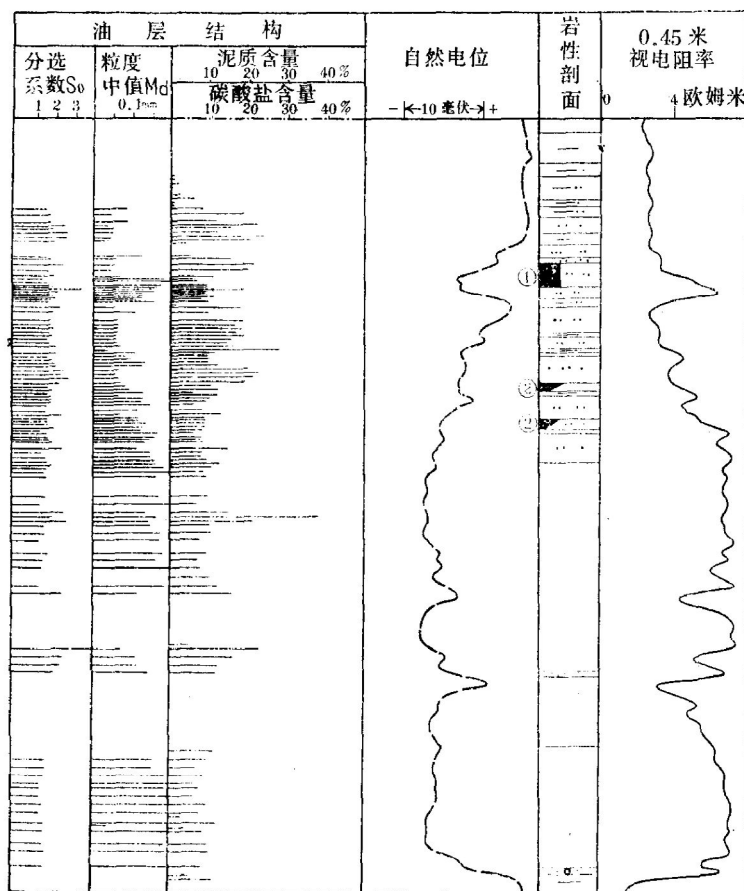


图1 自然电位曲线与粒度、分选性、泥质含量的关系图

①含油层位 ②油水层

以按幅度与厚度的比值分为低幅 ($x/h < 1$)、中幅 ($2 > x/h > 1$) 和高幅 ($x/h > 2$) 三类。幅度越大, 岩粒越粗, 说明沉积时水流能量越强。

(二) 形态 形态的变化反映沉积过程中能量及物源供应情况的变化。单层形态有单一型和复合型两类。单一型有钟形、漏斗形、箱形和齿形。齿形可细分为对称和不对称型, 后者再分为正向齿形和反向齿形两类。复合型常见的有漏斗形—箱形、箱形—钟形和漏斗形—箱形—钟形 (自下而上)。

钟形曲线反映水流能量向上减弱, 它代表河道的侧向迁移或逐渐废弃。漏斗形曲线反映砂体向上部建造时水流能量加强, 颗粒变粗, 分选变好, 代表坝体上部受波浪改造的影响, 此外也可代表砂体前积的结果。箱形曲线反映沉积过程中能量一致, 物源充足的供应条件, 是河道砂坝的曲线特征。齿形曲线为常见的曲线类型, 其中正向齿形多以冲刷充填作用为主, 具有正粒序; 反向齿形以水道末梢前积式充填为主, 具有反粒序; 对称齿形为充填堆积特征, 常代表洪水作用下的堆积, 具有对称粒序; 指形则代表强能量下的中层 (厚度大于 2 米) 均匀粗粒堆积。漏斗形—箱形曲线代表丰富物源供应下的水下砂体堆积, 为河口堆积的典型特征; 箱形—钟形环境为有丰富的物源, 但后期由于河道迁移或废弃导致能量衰退, 具有河道的均质沉积到后期正向粒序的

单 层	1	幅度	$\frac{x}{h} < 1$ 低幅 $1 < \frac{x}{h} < 2$ 中幅 $\frac{x}{h} > 2$ 高幅									
	2	形态	钟形	漏斗形	箱形	对称齿形	反向齿形	正向齿形	指形	漏斗形	箱形	箱形—钟形
曲 线	3	顶、底 接触关系	突变式			渐 变 式						
			顶	加速（上凸）			线性		减速（上凹）			
要 素	4	光滑程度	光滑 微齿 齿化									
			5	齿中线	收敛式							
多 层	6	幅度组合包 络线类型	后积式 （水进式）	加速		均匀		减速		加积式		
			前积式 （水退式）									
曲 线 要 素	7	形态组合 方式	齿形 箱形—钟形 漏斗形 箱形 指形—漏斗形 箱形—钟形 漏斗形 箱形—钟形—漏斗形									

图2 曲线要素图

特性; 漏斗形—箱形—钟形曲线代表河道在迁移摆动条件下, 有丰富物源供应的水道充填式堆积。

(三) 顶、底接触关系 单砂层底、顶曲线变化的形态反映了砂体沉积初期、末期的水动力能量及物源供应的变化速度。有突变、渐变两大类, 后者又可细分为加速式、匀速式和减速式三亚类。顶部突变代表物源供应的突然中断, 如风成砂丘。顶部加速渐变呈上凸形, 代表水流能量在后期急剧减退或物源供应的急剧减少, 多与河道末期沉积有关。顶部均匀渐变呈斜线形, 代表匀速的能量减退过程, 为河道侧向迁移典型特征。顶部减速渐变呈下凹形, 代表能量或物质供应在后期缓速消退, 水下河道常具有这种特点, 代表后续水流滞后沉积。底部突变常代表冲刷面。底部加速渐变为上凸形, 以冲刷能力较差的水下河道为特征, 在冲刷面下部还有原先滞留的沉积砂。底部匀速渐变代表高坡处枯水道在洪水期的沉积, 或是漫堤、漫滩的沉积特点。底部减速渐变为上凹形, 为

沉积初期物源供应有限所致, 常为岸外砂坝的特点。

(四) 光滑程度 属曲线形态上的次一级变化, 取决于水动力条件对沉积物改造持续时间的长短, 既反映了物源的丰富程度, 也反映水动力能量强度。可分为齿化、微齿和光滑三级。齿化往往代表韵律性沉积, 物源丰富但沉积能量有节奏性变化; 光滑型曲线代表均质的沉积, 物源不丰富但能量稳定, 并且是长期作用下的结果; 微齿型介于两者之间, 代表物源丰富, 沉积能量有变化, 改造不彻底的结果。

(五) 齿中线 指齿形或其它形态曲线上次一级齿的中线。根据齿中线的相互关系, 可以分为收敛和平行两类, 前者有内收敛(相交点在曲线右侧)和外收敛(相交点在曲线左侧)两类, 后者有下倾、水平和上倾三类。齿化的箱形(或钟形)曲线, 其齿中线具有内收敛的特点, 底部齿中线下倾, 中部齿中线水平, 到上部齿中线上倾, 齿中线相交于曲线右侧, 反映河道砂坝是由初期的冲刷滞留沉积、中期的较均质的河道砂堆积及末期出露水面充填式堆积的三个阶段组成。齿化—微齿的漏斗形曲线, 齿中线具有外收敛特点, 其底部, 齿中线近于水平, 往上齿中线下倾, 且逐渐变陡, 齿中线相交于曲线左侧, 为水下坝体向上建设时层面产状逐渐变陡所致。齿中线相互平行反映能量周期性的变化, 其中, 齿中线水平且相互平行的反映薄层滩砂、堤岸砂、扇和席状砂加积式堆积特点; 中线下倾相互平行的代表正粒序的韵律层沉积; 而中线上倾相互平行的代表水道末梢前积式沉积组合。

(六) 多层的幅度组合形式 反映沉积层序上的沉积能量变化及其变化速率。从多层幅度的包络线形态可以表现出砂体的前积、后积和加积特征。按前积、后积速度的变化, 又可细分为加速、匀速和减速式三类。

由多层滩砂组成的层序, 其前积层序反映水退(或海退)层序, 后积层序代表水进(或海侵)层序; 从其幅度变化或者从它的包络线形态, 可以判断水退和水进的速率变化, 包络线形状为“/”的, 表示加速水进, “/”表示均匀水进, “\”表示减速水进; 包络线形状为“\”者, 表示加速水退, “\”则表示均匀水退, “\”则表示减速水退。

(七) 层序的形态组合特征 一种沉积环境是由多种成因上相关的相组合而成, 不同的相有自己特有的曲线形态, 因而一种环境常由几个形态组合而成, 它们构成一种特有的环境标志, 可以用来研究沉积相。

三、几种常见沉积环境的相模式、典型曲线及纵向形态组合特征

在我国东部第三纪断陷盆地中, 常出现的沉积环境有冲积扇、河流、三角洲、滩坝、水下冲积扇、重力流水道及深水浊积扇沉积。

(一) 冲积扇

发育于干旱和半干旱气候条件下的山口陡坡地带。在山洪暴发时, 剥蚀是快速的, 并成锥形扇体堆积。开始时, 能量强, 一般以间歇性泥石流及洪水流为主, 后期有间歇性河流作用(图3)。

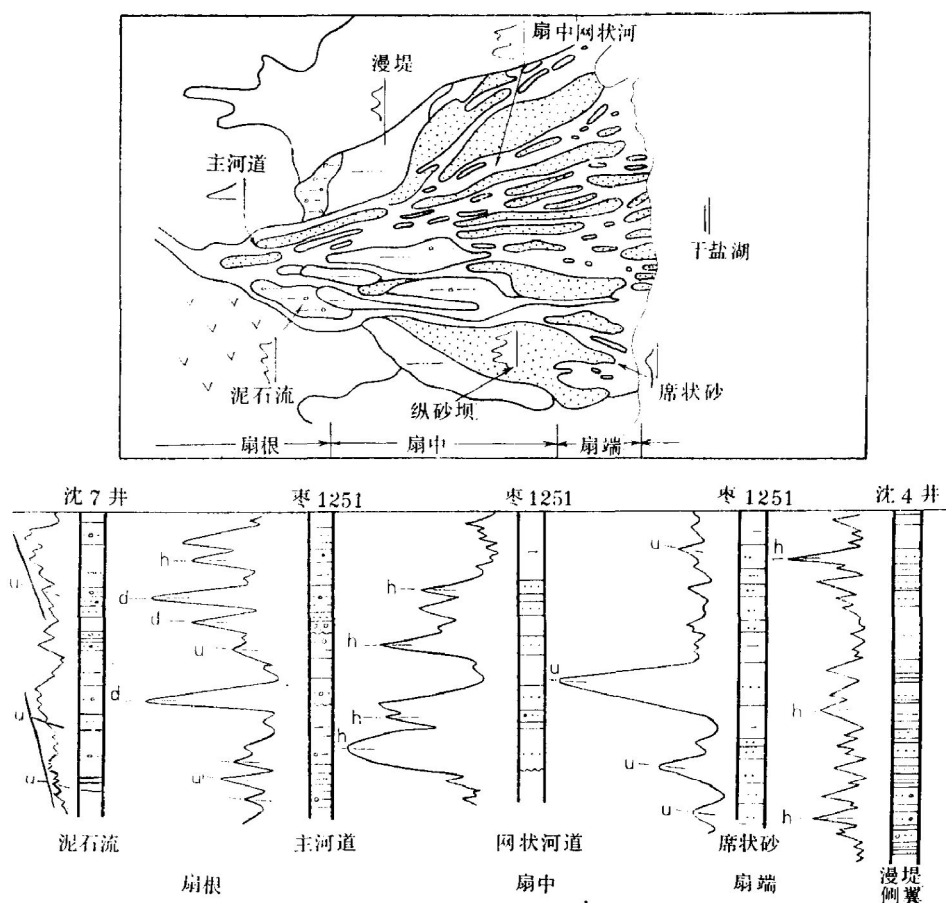


图3 冲积扇环境模式及典型曲线

(模式图引自《Train Canyon fan, Death Valley California》, 1965)

1. 扇根:

(1) 泥石流沉积: 为泥质支撑砾岩, 大小混杂, 分选性差, 渗透性差。多期叠置, 末期转化为紊流性泥石流甚至是洪水流, 因此向上渗透性变好。曲线特征: 为一套低幅反向齿形, 齿中线上倾、平行, 呈前积式幅度组合。

(2) 主河道沉积: 发育在泥石流沉积上, 水流冲刷、搬运能力强。沉积有滞留的碎屑支撑砾岩, 底部常有残留的泥石流层, 单层厚度不大。曲线特征: 中幅、正向或对称齿形, 齿中线下倾或水平。

2. 扇中网状河道: 水浅流急, 河道迁移快, 以含砾砂岩为主, 有时几期河道叠置成一厚层。曲线特征: 中幅、厚层, 常由几个齿叠加而成, 具箱形或钟形的外貌, 齿中线水平或下倾, 相互平行。

3. 扇端: 席状泛滥的砂质沉积, 夹有透镜状砾石层。曲线特征: 平直曲线上出现中幅到低幅的反向齿形, 齿中线上倾。

4. 侧翼: 为漫滩沉积, 偶有沼泽相的炭质层。曲线为低幅齿形, 齿中线水平, 相互平行。

冲积扇是以堆积作用为主、冲刷为辅的沉积环境。每一期洪水形成面广而薄、范围

有变化的砂砾堆积。冲积扇发育的长期性和间歇性,造成多期重复的和总厚度很大(通常有数百米)的碎屑堆积。它的层序有向上变细、变粗或混合方式。由于物源区供应的衰减、构造运动的减弱造成向上变细的层序,即从扇根泥石流到扇端席状砂的层序为主要出现的形式。曲线为大套的齿形形态组合特征,幅度中到低幅,在齿形叠置时反映为漏斗形、箱形、钟形的轮廓特征,齿中线相互平行。

(二) 河流

包括上游网状河及中下游的蛇曲河。水流通过河道的形式不断对陆源碎屑进行冲刷、搬运和沉积作用。

1. 网状河

在席状泛滥滞留砾岩的基础上发育着网状水系。主要沉积为河道砂坝,底部冲刷明显,为圆度好的中砾、粗砾的河道滞留物,其上为河道砂沉积。坝的生长沿水流方向的下方或侧方。露出水面时,形成冲积岛,沉积物更细,并使水道迁移。网状河的层序为以迁移叠置形成的河道砂坝为主体,夹有席状滞留砾岩及漫岸沉积的泥质砂岩。砂坝为正向粒序结构,也有由于洪水期侧向迁移造成的洪水河道的底部反向粒序结构。

曲线特征:为河道砂坝的箱形曲线组合夹席状泛滥砾石层的齿形曲线,其顶、底面有突变、渐变两种形式,齿化到微齿,齿中线内收敛。冲积岛为箱形—钟形组合。天然堤、河道边滩为齿状曲线,齿中线水平,相互平行(图4)。

网状河环境的纵向层序决定了曲线的形态组合,为以箱形曲线为主,幅度及厚度向上变小,泥岩层变厚,基线变明显,由齿化向微齿、光滑方向过渡。

2. 蛇曲河

蛇曲河道仅占有同期冲积平原的极小一部分,它由活跃河道、废弃河道和近河道亚环境三部分组成。河道的侧向迁移形成平行于古水流方向的带状砂,并导致了纵向上不同亚相的组合(图5)。

(1) 点砂坝:发育在活跃河道凸岸,底为冲刷面,为河道滞留砾石堆积,其上为河道砂,上部为侧向迁移后形成的堤岸砂和漫滩泥,是一套正韵律沉积。曲线特征呈中幅钟形,齿化到微齿,齿中线内收敛。

(2) 废弃河道:洪水期蛇曲河截弯取直作用形成原有河道的废弃。河道后期的充填物质有突然中断和逐渐终止两种,具箱形曲线,顶部有突变和加速渐变两种,齿中线

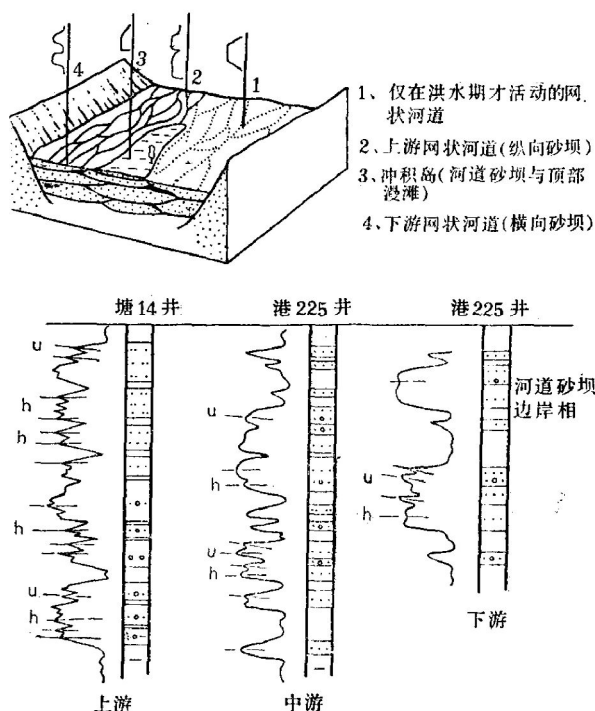


图4 网状河环境模式及典型曲线

(模式图据J.R.L.艾伦, 1965)

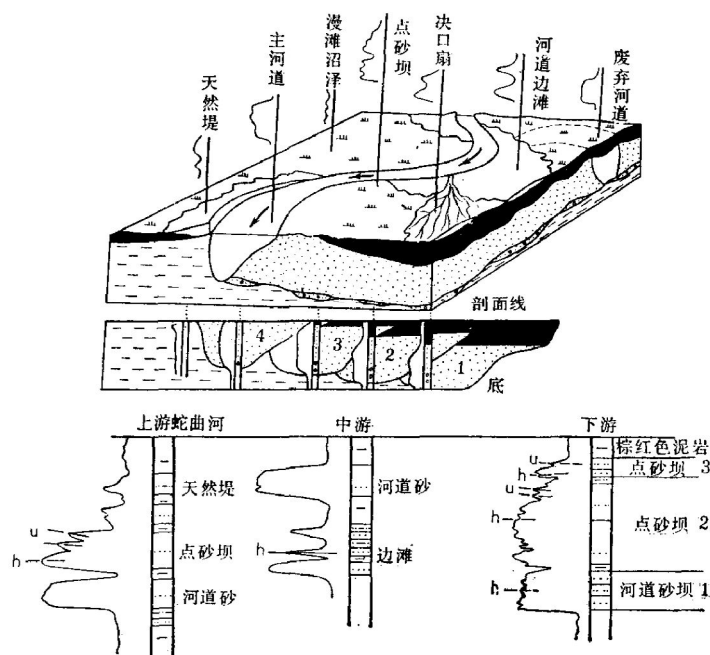


图5 蛇曲河环境模式及典型曲线

(模式图据F.J.Pettijohn等, 1972)

内收敛。

(3) 近河道亚环境：蛇曲河陡岸发育有天然堤、决口扇、边滩及漫滩沼泽。天然堤的曲线特征为低幅对称齿形；决口扇层序为下粗上细，曲线为正向到对称齿形，齿中线下倾到水平。

3. 河流相层序及曲线特征

河流相为间断的正韵律剖面。在滞留砾石滩上发育了上游网状河河道，由于河道迁移频繁，造成分布广泛、层层迭置的河道砂坝沉积，为砂多泥少的层序组合；而蛇曲河是在冲积平原上发育的河道，为泥多砂少的层序。曲线特征：网状河以大致齿化的箱形曲线为主，过渡到分散的微齿箱形曲线；蛇曲河则是在平直曲线上出现大型齿化到微齿的钟形曲线组合。河道部分均具有内收敛特征。

(三) 三角洲

属于河口沉积环境，它处于海、陆过渡地带，受到河流、滨海（或湖滨）、浅海甚至较深海的沉积作用的影响，海陆相沉积相互交替，岩性岩相多种多样，常见的沉积相为海退序列。在这里，河流携带大量物质在河口迅速堆积下来，在没有强大的潮流和波浪能量时形成建设性三角洲。它可分为三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲相（图6）。

1. 三角洲平原相 由分支河道、废弃河道、天然堤、决口扇、沼泽和分支间湾等亚相组成。有砂岩、粉砂岩、泥岩和泥炭、褐煤等组成的交替层。其中最主要的是河床的砂质沉积和沼泽的泥炭沉积。

分支河道亚相：具有河床沉积特点。底部有轻度剥蚀，有泥砾；中部为砂或细砂；顶部为粉砂和泥交互。具中幅微齿的箱形或钟形曲线，上部细齿加多，内收敛。底部有突变和渐变两种。

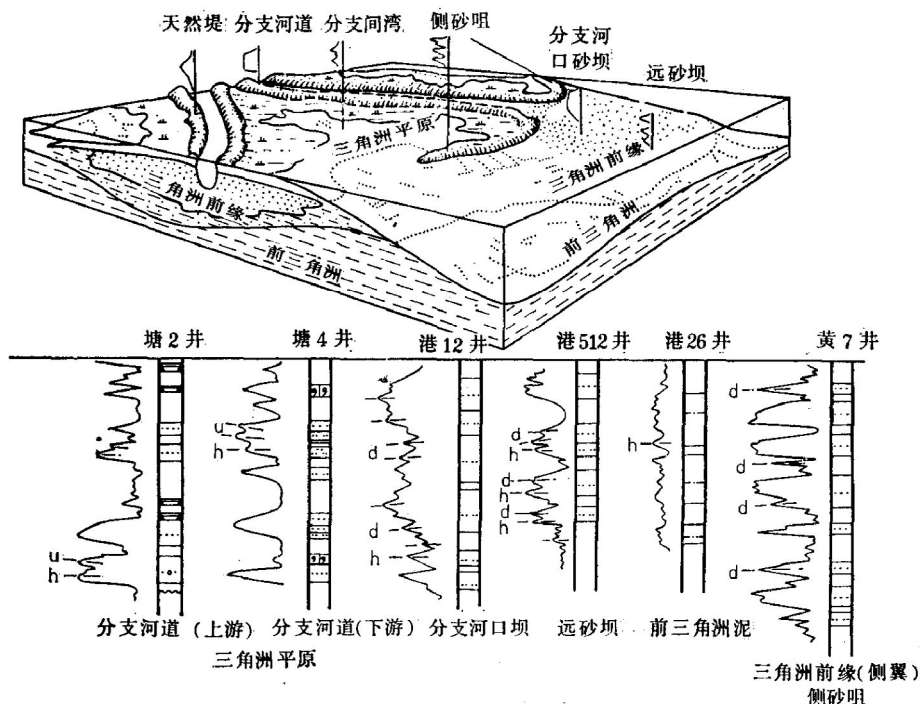


图6 三角洲环境模式及典型曲线

(模式图据潘钟祥, 1975)

2. 三角洲前缘相 为大型向上变粗的层序, 细分为河口坝、远砂坝及侧翼亚相。

(1) 分支河口砂坝亚相: 河流带来的砂质物质因流速降低在分支河口处或前方以前积方式堆积在底积层上, 形成河口砂坝。坝的前方和上部受到波浪再改造, 砂子很纯, 分选变好, 颗粒变粗, 形成反粒序。具中到大幅漏斗形—箱形曲线, 下部齿化, 齿中线由缓向上变陡, 具有外收敛特征, 前积式幅度组合。上部为加积式幅度组合, 微齿, 齿中线近于水平。

(2) 远砂坝亚相: 河口坝的前方(向海一坡)堆积称为远砂坝。这里只有洪水期才有砂子沉积, 故它是泥、粉砂和少量的砂组成的多期的反韵律沉积。曲线特征: 低到中幅的漏斗形曲线, 呈前积式幅度组合, 微齿, 齿中线外收敛。收敛中心向上偏向外侧, 反映前积时多期沉积层层面的变陡。

(3) 侧砂咀亚相: 为前缘砂的侧翼, 距河口物源稍远, 面临开阔水域, 波浪改造充分, 形成粗粒、分选好的多砂层层序。反映为高幅层薄的漏斗形曲线与指形曲线交互, 齿中线有外收敛和近于水平平行两种。

建设性三角洲的纵向层序是向上变粗、变薄的反粒序, 顶部出现分支河道砂的正粒序。曲线特征: 自下而上形成连续的、大型的前积式幅度组合, 上部为加积式中幅的箱形曲线组合, 顶部为分散的箱形、钟形曲线组合, 齿中线由外收敛, 其中心逐渐外移, 到齿中线水平, 最后以内收敛告终。对于以波浪为主的破坏性三角洲, 其纵向层序为河道与滩砂相的交互, 曲线特征为箱形、指形组合。

(四) 滩坝

滩是指低潮线到最大风暴线之间的、向海(湖)倾斜的斜坡上的砂砾等物质堆积地带。坝则离岸有一定距离,由砂粒堆成的长条形水下隆起,它是由于在破浪带波浪能量降低而释放砂粒,并平行于岸线堆积;也可以是由于斜交岸线的岸流或底流携砂,在近岸地形抬起或湾口处,由于速度减缓而形成的近岸砂坝、砂咀。当砂咀延伸生长时,可以形成堡坝,其内侧为半封闭水域。常见的滩、坝特征如下(图7)。

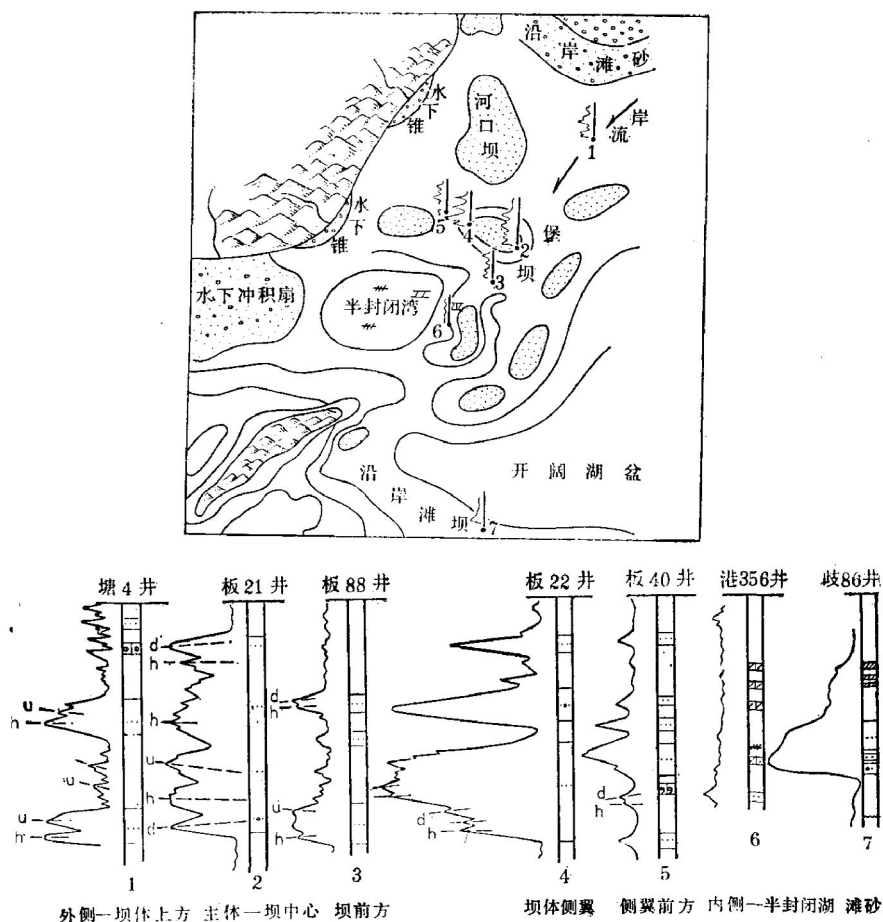


图7 滩坝环境模式及典型曲线

1. 滩 形成于缓坡,有稳定的物源供应,在一定强度的波浪能量作用下沉积粗粒的和分选好的砂砾。曲线特征:中到高幅,对称齿形到指形曲线,光滑,齿中线水平,相互平行。

2. 坝

(1) 坝中心:分有底流作用和无底流作用两种类型。砂坝的组成物质主要为砂、粉砂,还有砾石及其它松散物质。对于以波浪能量为主的坝体中心,随着坝体的向上堆积,波浪能量的加强而使粒度变粗,分选变好,泥质变少。曲线呈中到高幅、光滑的漏斗形,底为减速渐变型。由底流卸载而形成的坝体,其中心部位在沉积过程中能量有转变。初期水流遇阻卸载时,水道有一定的冲刷能力,急速卸载;中期水流能量减小,形成水下堆积特点;末期水浅,受到波浪作用,能量加强。因此在粒序上,下段为正韵律,

上段为反韵律特点。曲线特征：外观为箱形，顶底突变，齿化。细分时，底部为微齿的钟形曲线，内收敛，其底呈急速渐变到突变式接触，是水下水道充填特点；中部为齿形曲线组合，齿中线水平，近于平行，为加积式堆积特点；上部为漏斗形曲线，外收敛，为波浪改造的沉积特点。

(2) 坝内翼(堡坝内翼)：面临半封闭或封闭型水域，坡陡，波浪能量小，沉积物分选差。共生岩性为油页岩、白云岩。曲线呈低幅漏斗形到齿形，齿中线外收敛。对应油页岩部位的电阻率曲线显示高值。

(3) 坝外翼：面临开阔水域，波浪能量强，沉积物具滩砂特点。反映为高幅层薄的漏斗形到指形曲线，齿中线近于水平。对应泥岩部位电阻率为低值。

3. 滩、坝层序的识别及曲线特征

滩、坝为共生层序，滩侧有坝，坝翼成滩。它们成指形、漏斗形曲线的叠置组合。由于岸线的变迁引起滩坝纵向层序的变化。水进时自下而上层序为：河道相或冲积平原相、滩砂相、半封闭水域相、堡坝内侧相、堡坝中心相和坝外翼滩砂相。其曲线自下而上为中幅钟形曲线(河道及水进滩砂)、平直段、漏斗形曲线(在有底流时为箱形)和后积式指状曲线。实际岸线进退变化很大，而且沿岸堡坝往往不止一排，因此纵向层序当更复杂些。

(五) 水下冲积扇

位于盆地陡岸，由山洪携带碎屑经山口直接进入盆地形成的一个水下扇形体。沉积能量强，以间歇性洪水水流和末期形成的浅水密度流为特征。水下冲积扇分扇根、扇中和扇端三部分(图8)。

1. 扇根 为洪水水流的急速堆积。

(1) 主河道：厚层到块状，由递变层砂砾岩、砾状砂岩组成，碎屑支撑。曲线为低幅筒状，齿化，齿中线下倾，相互平行。

(2) 堤岸部分：单层厚度减薄，为递变层砂砾岩、砾状砂岩，受浅水波浪的不完全改造，分选变好，并有鲕粒及波状层理的粉砂岩间互。反映为密集的、幅度增大的齿形曲线组合，以齿中线下倾类型为

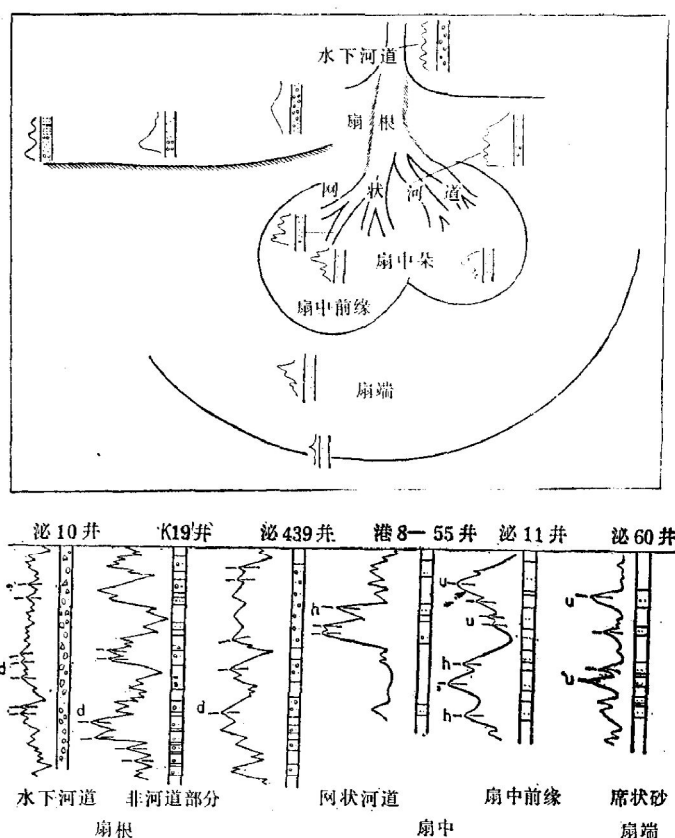


图8 水下冲积扇环境模式及典型曲线

(模式图引自《Sedimentary Environments and Facies》, P. 408)

主，个别有齿中线水平的、代表波浪改造的浅水滩砂。

2. 扇中

(1) 网状水道：具递变层理的砾状砂岩和块状砂岩沉积，水道有迁移特点，下游能量减弱。具中高幅齿化的箱形到微齿的钟形曲线，齿中线近于水平，相互平行。

(2) 水道间堤岸部分：岩性显著变细，层变薄。为低幅、齿形曲线，齿中线水平、平行。

(3) 扇中前缘：具有交错层理的砂岩前积于水平纹层粉砂岩之上，侧向延伸好，河道特征消失。曲线为中幅漏斗形，微齿，齿中线上倾、平行，代表水道末梢前积充填的特点。

3. 扇端 与扇中前缘相均属于浅水密度流特点，有不完全的上部鲍马层序，薄层。宏观岩性为粉砂岩前积在块状砂质泥岩之上。曲线为低幅分散的齿形，齿中线水平到上倾、平行。

水下冲积扇纵向层序及曲线特征

扇根位置受地形及构造控制，因此它的层序发育具有继承性的特点，在物源减少时形成滩砂沉积。具正向齿形、指形曲线组合。在扇的大部分面积上，一般反映为向上变细、能量消退的后积式（水下沉积）层序组合，其中也夹有一些前积式（水下沉积）层序，反映个别时期能量的增长。其总的层序在曲线上的反映与冲积扇类似，为大套的齿形曲线组合，幅度中到高值，在齿形叠置时形成箱形、钟形和漏斗形的包络线。

(六) 重力流沉积

重力流指碎屑和水混合后，在重力作用下呈块体搬运。它的沉积物分布形式有水道沉积和扇体沉积两类。

1. 重力流水道 多发育在古隆起陡坡，断拗一侧的边缘，在灾变性动力（如海底地震、滑坡）下形成重力流，具有间歇性沉积特点，水道有大的地形坡度，深水或浅水背景，砂体沿水道延伸方向分布，断面为透镜状（图9）。

(1) 坝中心：块状砂岩与底部的泥岩突变接触。具中高幅、微齿的箱形到钟形曲线组合，底部突变到加速渐变型，齿中线由下倾、平行变到水平、平行。

(2) 坝前缘：粉砂岩与粉细砂岩间互，单层厚度减薄。具对称齿形曲线组合，向

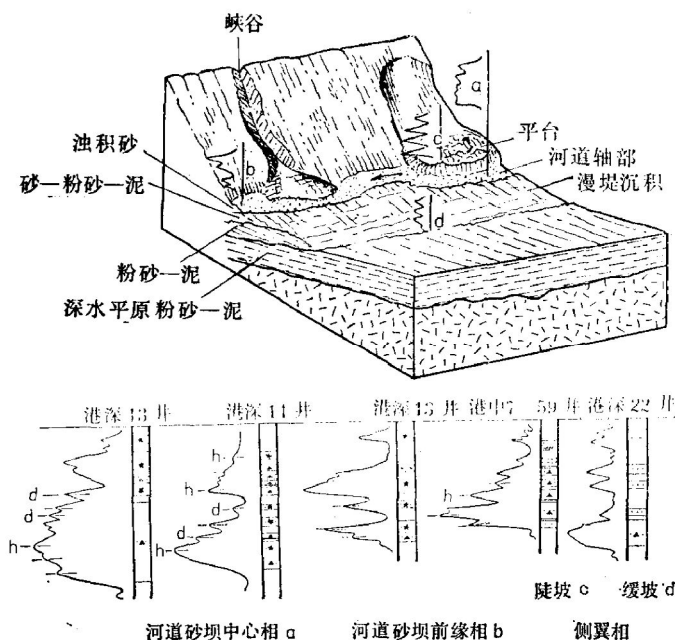


图9 重力流水道环境模式及典型曲线

（模式图引自《Sedimentary Environments and Facies》，P. 395）

上幅度减小, 齿中线水平、平行。

重力流水道纵向层序的特点是随着灾变性动力的减弱, 碎屑供应减少, 形成向上变细、层变薄的层序, 即由河道中心相转变为前缘相沉积, 与盆地内部的沉积相间成层。曲线为微齿的箱形、漏斗形组合, 齿中线平行, 代表多期间歇性沉积特征。

2. 深水浊积扇 形成于灾变性动力条件下的深水密度流。开始发生在深水峡谷中, 呈长槽形分布, 其后在峡谷出口处形成扇形堆积, 再前端则扩展成薄层席状铺于深水平原之上。总的沉积厚度大, 单层厚度由小于1米到大于几十米, 组成韵律层, 分布面积广(图10)。

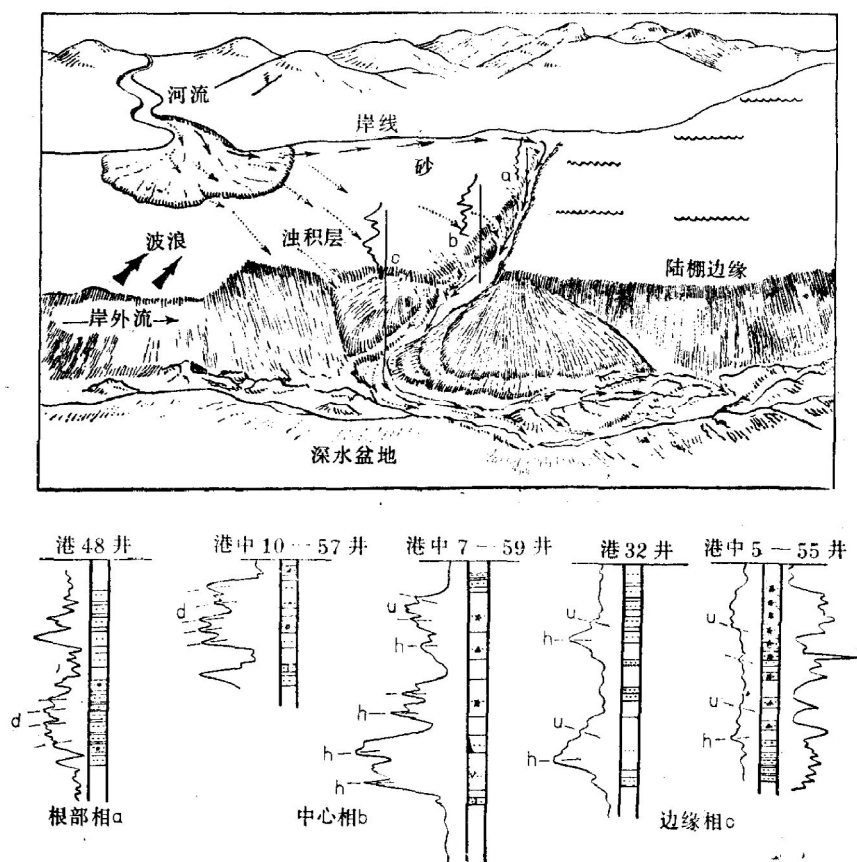


图10 深水浊积扇环境模式及典型曲线

(模式图引自《Sedimentary Environments and Facies》, P. 384)

(1) 根部相: 分布在深水峡谷中, 为薄层砂砾岩层与深水泥岩相间, 具递变层理。呈低幅齿形曲线组合, 齿中线下倾、平行。

(2) 中心相:

① 扇上水道沉积: 块状中到细砂岩, 分选性变好, 向上颗粒变细夹杂有泥砾。曲线为中幅齿化的箱形到钟形, 齿中线由下倾渐变为水平、平行。

② 堤岸部分: 薄层钙质砂岩。曲线呈齿形, 齿中线水平、平行。

(3) 边缘相: 分布在沟口开阔地带, 为薄层粉细砂岩与深水泥岩间互, 侧向延伸

好。曲线为中到低幅齿化的漏斗形和对称齿形, 齿中线水平到上倾、平行, 代表多期前积特征。

深水浊积扇大型层序及曲线形态组合特征: 各部位的层序均为向上单层厚度变薄、粒度变细的韵律沉积, 它封闭于深水泥岩之中。曲线幅度组合特征是在平直曲线中出现一大套自下而上由高到低幅的组合, 形态为由齿化的箱形、钟形到漏斗形曲线组合。齿中线平行, 由下倾、水平到上倾逐渐转换。根部相层序继承性强, 曲线为在平直曲线段

表1 各类沉积环境自然电位测井曲线要素特征表

曲线要素 环境		幅 度	形 态	接 触 关 系	光滑程度	齿 中 线	幅度组合	形 态 组 合
冲积扇	扇泥石流	低 幅	齿形(反向)			上倾、平行	前积式	漏 斗 形
	根主河道	中 幅	齿形(对称—正向)			平 行 (水平—下倾)		
	扇中网状河道	中—高幅	齿 形 组			水平、平行	加积、后积	箱形—钟形
	扇端席状砂	中—低幅	齿形(反向)			上倾、平行		
河流	网状河道砂坝	中 幅	箱 形	突变—渐变	齿化—微齿	内 收 敛	加积	
	蛇曲河点砂坝	中 幅	钟 形		齿化—微齿	内 收 敛	侧积	
三角洲	三分支河道决口扇	中 幅	箱形、钟形	顶: 加速式渐变 底: 突变—渐变	微齿—光滑	内 收 敛		
	三角洲原	中—低幅	齿 形			水平		
	河口坝	中—高幅	漏斗—箱形		齿化—微齿	外收敛—水平	前积、加积	箱 形
	三角洲前缘	低—中幅	漏斗形组		微齿	外 收 敛	前积	漏 斗 形
沿岸体系	侧翼相	高 幅	漏斗形、指形		微齿—光滑	外收敛、水平	加积	
	滩	中—高幅	齿—指形	渐变—突变	光滑	水平—平行	加积、前积、后积	指 形
	中心	中—高幅	漏 斗 形	底: 减速渐变	光滑	外收敛—水平		
	中心(底流)堡坝内侧	中 幅	钟—漏斗形	顶、底突变	齿化—微齿	内收敛—外收敛	加积	箱 形
水下冲积扇	堡坝外侧	低 幅	齿形、漏斗形		微齿	外 收 敛		
	高幅	高 幅	漏斗形、指形		光滑	外 收 敛		
	扇根主河道	低 幅	齿 形 组			下倾平行	加积	筒 形
	扇中网状河道	中—高幅	箱—钟形		齿化—微齿	平 行 (下倾、水平)		
重力流	前缘	中 幅	漏 斗 形		微齿—光滑	平 行 (水平、上倾)	前积	
	扇端席状砂	低 幅	漏斗—反向齿形		微齿—光滑	平行(水平)		
	坝中心	中—高幅	箱—钟形	底: 突变—渐变	微齿	平行(下倾)	后积	
	坝前缘	中 幅	漏 斗 形		光滑	平 行 (水平—上倾)	后积、前积	
深水浊积扇	坝侧翼	中—低幅	对称齿形组		齿化	水平、平行	后积	钟 形
	深水根部相	低 幅	齿 形			平行、下倾	加积	筒形—钟形
	中心相	中 幅	箱—钟形		齿化—微齿	平行、水平		
流	边缘相	中—低幅	漏斗—齿形		微齿	平行、上倾	前积	

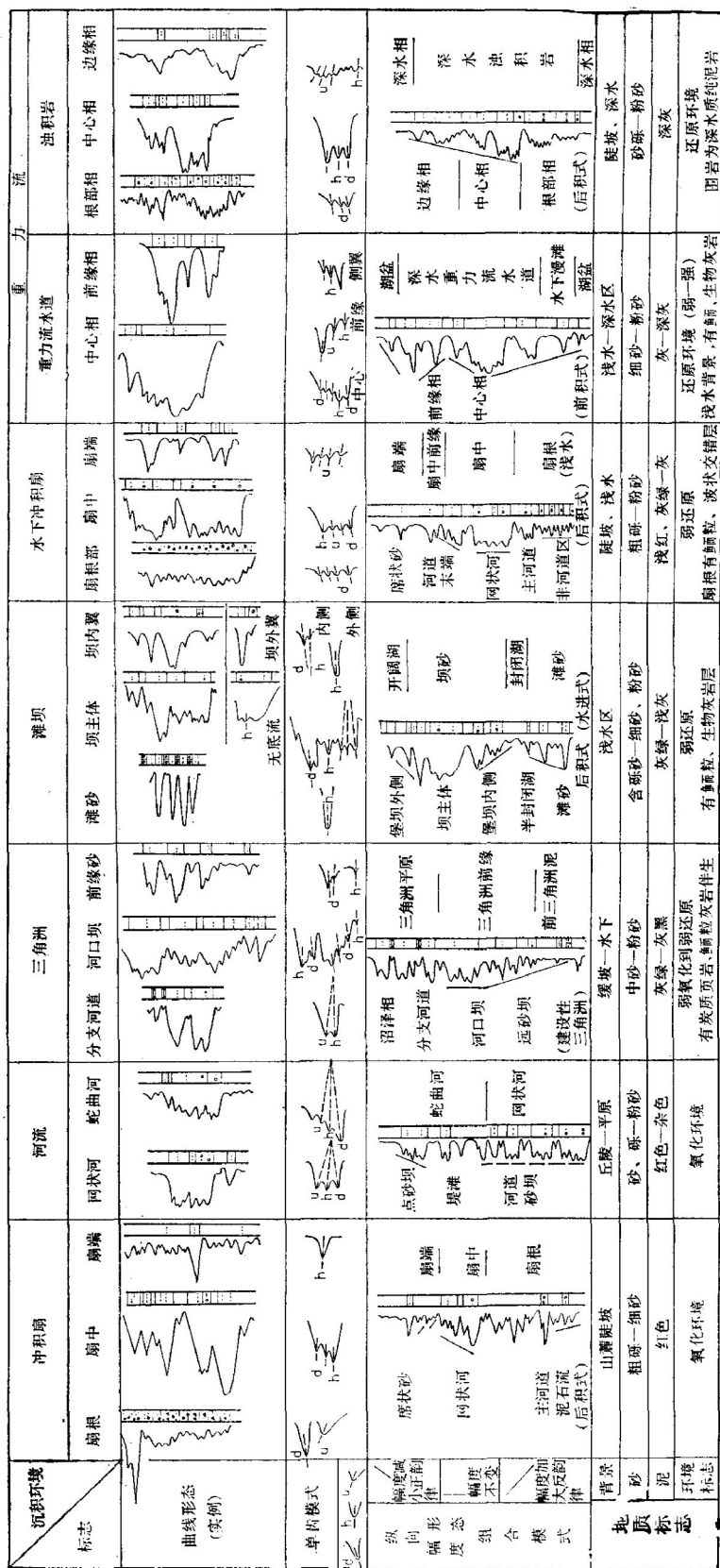


图 11 各类沉积环境自然电位测井曲线形态组合图

中出现的一大套低幅齿形曲线组合, 下倾、平行。

结 束 语

从以上沉积环境的自然电位测井曲线形态组合可以归纳几点:

(一) 各类沉积环境砂体的曲线形态及其组合是不同的, 因而可以利用曲线的综合标志判别环境(表1、图11)。

(二) 曲线形态变化是有规律的, 它是环境的产物, 随着物源供应及水流能量的减弱, 曲线由急速粗相堆积的低幅、密集的齿形逐渐变成水道冲刷充填的中幅箱形、钟形曲线, 再变成水道末梢前积的中或高幅的漏斗形、指形曲线, 最后, 随着水体加深形成薄层分散、低幅的齿形曲线。

(三) 阵发性水力条件形成韵律性层序, 使齿形相似, 齿中线近于平行; 而持续性水流随时间带来水流能量上的变化, 齿中线具收敛性。

(四) 在用自然电位曲线形态组合特征判别沉积环境时, 必须有平面上曲线组合的资料, 并要结合岩心、岩屑录井资料以及构造、古地理背景资料综合分析, 才能够提高相分析的精度。

(收稿日期 1980年12月22日)

参 考 文 献

- [1] Pirson, S. J., 1970, *Geologic well log analysis*, Gulf Publishing Company, Houston.
- [2] Conybeare, C. E. B., 1976, *Geomorphology of oil and gas fields in sandstone bodies. Developments in petroleum science, 4*. Australian National University, Canberra, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam · Oxford · New York.
- [3] Reading, H. G., 1978, *Sedimentary environments and facies*, Department of Geology and Mineralogy, University of Oxford, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

UTILIZATION OF THE COMBINATION OF LOG SHAPES FOR EXPLANATION OF THE SEDIMENTARY ENVIRONMENT

Ma Zheng

(Wuhan College of Geology)

Abstract

The variation of sorting, grain size and clay content is controlled by hydrodynamic conditions. Each environment follows its own special law in hydrodynamic properties and evolution. They may control sand distribution, sequence and log shape, with the last one reflecting the first two macroscopic sedimentary characters (in this paper, the log refers mainly to SP curve). Consequently, the combinations of log shapes in various environments

are different. Synthesizing the characteristics of log such as amplitude, shape, upper and lower contact, smooth or serrated degree, combination of log shape, and combining them with other geologic logging, we can reach a correct conclusion on sedimentary environment.

In eastern China, Tertiary faulted lake basins contain many kinds of environments such as alluvial fans, braided and meandering streams, deltas, littoral beaches and bars, subaqueous alluvial fans, sebaqueous channels of density current and turbidity current (deep water). This paper summarizes the characters of logs for the environments mentioned above, including those of single serration and combinations of log shapes reflecting the sequence and their relations with geologic background.

In the stage of exploration, a comprehensive interpretation of the characters of these logs is helpful to geologists in explaining sedimentary environments and predicting distribution of sandbodies. So it is an useful method.

塔里木盆地跃参一井获新成果

位于塔里木盆地塔东坳陷区跃进一号重力高北部沙雅县境的跃参一井,于1981年9月终孔,井深4747.18米。这是辽阔的塔东坳陷区目前唯一的一口深井。它对认识该区中生代以来的地质构造、沉积发育及含油气远景等都有重要意义。

该井钻遇上第三系(N)厚3564.5米(钻厚,下同),为黄灰、棕黄、浅褐、灰白等色细—粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩,含海相有孔虫和介形虫化石,与库车坳陷上第三系基本可比。

下第三系库姆格列木群(E_{km})厚477米,为棕红、褐棕色泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及灰白色粉砂岩,底部为细砾岩夹泥质粉砂岩,见高岭石、伊利石及埃洛石等风化矿物。

侏罗—三叠系(J—T)厚660.68米(未见底),上部棕褐、深灰、褐灰色泥岩、粉砂质泥岩、炭质页岩夹粉—细砂岩、煤及砾岩;中部紫褐色泥岩与灰白色粉—细砂岩不等厚互层夹深灰色泥质岩;下部深灰色泥岩、粉砂质泥岩夹褐色泥质岩及薄层灰岩,底部为杂色砾岩。该套地层可与库车坳陷侏罗—三叠系对比。富含孢粉化石。

鉴于该井4086.5米以下的地层可与孔雀河斜坡的阿南一井、铁南二井的侏罗系对比,可见塔东坳陷区内侏罗—三叠系的分布相当广泛;联系到库车坳陷的三叠系和西南坳陷区可能存在的三叠系,推测塔里木盆地三叠系的分布很可能具有区域性。

该井侏罗—三叠系暗色泥质岩累计厚达300多米(未钻穿),有机质丰度中等,转化系数较好。估计向坳陷中心还会变厚、变好,将是塔东坳陷区内重要勘探目的层之一,因而提高了该区含油气远景评价。

又通过跃参一井向北过塔里木河的地震大剖面,几个地震波组连续、对比较好,未发现有断层迹象。原认为沙雅隆起上缺失中生界,现在看来并非如此。从而对沙雅隆起的沉积特征及油气远景有了新的看法。

该井下第三系倾角很小,一般在2°—3°,而侏罗—三叠系倾角可达13°—15°。又在第三系底部见大套砾岩及风化现象等,表明两者间有长期沉积间断(尚缺失白垩系),并成角度不整合接触。

可以认为,跃参一井的完工,为塔东坳陷的油气远景评价提供了重要依据。已取得的地质成果表明,塔东找油是大有希望的。

(康玉柱)