

高尚堡油田沙河街组三段测井相分析

刘翠荣 冉启佑 游秀玲

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

在建立岩相-电相-沉积相图版基础上, 将高尚堡油田沙河街组三段二、三亚段扇三角洲砂体划分为 9 类自然伽马曲线形态与组合(M), 8 类岩石类型(N), 构成 M/N 形式的测井相, 以表征不同类型的砂体。并利用两口井的地层倾角测井资料, 通过短对比矢量图的对比, 区分出显示大红模式的河道砂体, 大蓝模式的砂坝型砂体和低角度小蓝小绿模式的远端席状砂体。确定古水流 NNE 和 NW, 砂体延伸方向和古水流方向一致, 由 NNE 向 SW 或由 NW 向 SE 延伸, 砂体加厚方向为 SEE 和 SW, 沉积时水深不超过 15 m。

关键词 高尚堡油田 测井相 地层倾角测井 沉积环境 砂体类型

第一作者简介 刘翠荣 女 28 岁 工程师(硕士) 石油地质

测井相就是应用测井信息来研究沉积环境和沉积物。它通过测井曲线提取某些与岩性有关的电性特征参数, 这些参数与沉积相对应, 通常把它们组合称为测井相。

利用自然伽马曲线, 配合深浅双侧向进行测井相研究, 是作者根据自然伽马测井原理, 参与国内外常规测井相研究方法所做的尝试性研究, 有待进一步完善, 望专家及同行赐教指正。

1 岩相-电相-沉积相图版的建立

建立岩相-电相-沉积相图版, 首先从自然伽马的曲线要素(幅度、形态、顶底接触关系、曲线的光滑程度、齿中线、包络线)着手, 判断其沉积方式^[1], 再结合深浅双侧向曲线判断其粒序特征, 根据沉积相的划分原则, 参考钻井岩芯观察资料, 进行测井相分析, 划分的测井相类型以 M/N 形式表示, 其中 M 代表自然伽马曲线形态及组合特征, N 代表岩石类型。本文将自然伽马曲线形态组合特征(M)分为 9 种类型: 钟形(A)、漏斗形(B)、箱形(C)、指形(D)、齿形(E)、低平形(F)、箱形-钟形(C-A)、漏斗形-钟形(B-A)、漏斗形-箱形(B-C); 将岩石类型(N)分为 8 种类型。砾岩+砂砾岩(a)、含砾粗砂岩(b)、含砾中-细砂岩(c)、粗砂岩(d)、中-细砂岩(e)、粉砂岩-泥质粉砂岩(f)、紫红、杂色页岩(g)、灰色泥岩(h)。

1.1 水上辫状河道 C/(a+b)及河道间 E/(f+g)

自然伽马曲线形态对应河道部分为齿化的箱形, 而河道间部分为齿化的低平形, 深、浅双侧向显示的形态基本与前者相同。辫状河道的主要岩性为灰黄色砾岩、砂砾岩, 与其上覆、下伏的紫红色泥岩呈突变接触, 河道间沉积则主要表现为紫红色泥岩、灰绿色粉砂岩或粉砂质泥岩的互层, 整体上显示出下粗上细的正韵律特征, 反映沉积过程中水动力能量由强变弱的特点(图 1)。

1.2 近岸水下主河道 $C/(a+b+c)$

自然伽马曲线形态呈齿化的箱形,顶底均为突变接触,为灰白色的含砾粗砂岩、砂砾岩及中-细砂岩,而与其相邻的顶、底泥岩均显示灰绿色的水下特征(图2)。

1.3 近岸河道侧翼 $B-A/(e+f+h)$

自然伽马曲线呈中幅漏斗形-钟形的组合形态,微齿化,底部呈突变接触,齿中线内收敛,岩性为厚层灰白、灰绿中细砂岩往上渐渐变成粉砂岩至灰绿色泥岩,反映了水动力强度由弱到强又变弱(图2)。

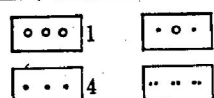
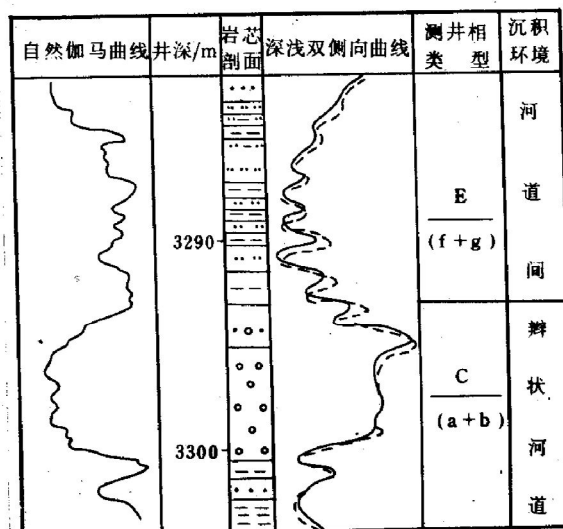


图1 水上辫状河道与主河道间(G65-1)

1—砾岩;2—砂砾岩;3—泥岩;4—砂岩;5—粉砂岩;
6—泥粉砂

1.4 水下分流河道 $C-A/(b+c+f)$

自然伽马曲线呈中-高幅的箱形-钟形的组合形态,底界面为突变接触,顶为渐变接触,齿中线内收敛,表明沉积能量由强变弱,岩性为灰褐色含砾粗砂岩、灰白-灰绿中细砂岩与灰绿色粉砂岩、深灰色泥岩,表现为下粗上细的河

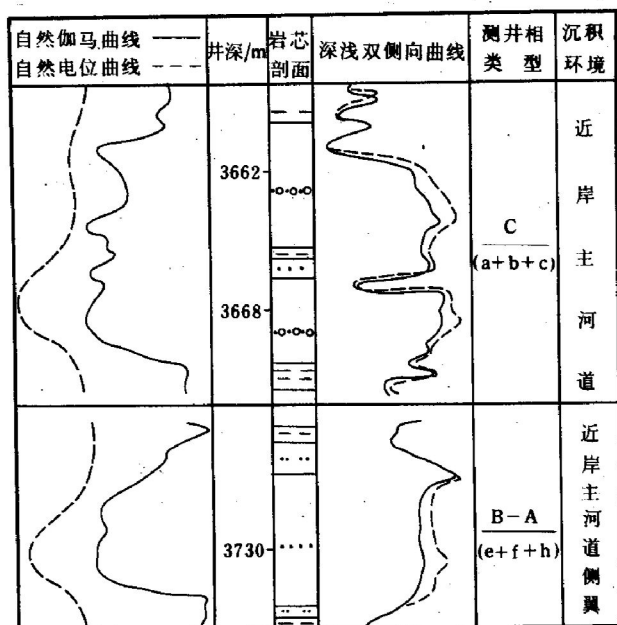


图2 近岸主河道与近岸主河道侧翼(G3105)

(图例同图1)

道正韵律特征(图3)。

1.5 水下分流河道 $B-C/(a+f)$

自然伽马曲线呈中-高幅的漏斗-箱形的组合形态,顶界面为突变接触,底界面为渐变接触,齿中线内收敛,岩性为浅灰色砂砾岩、灰色粉砂岩,表现沉积能量由较强-弱的变化过程(图3)。

1.6 水下分流河道侧翼 $B-A/(h+e)$

自然伽马曲线呈中-低幅的漏斗形-钟形组合形态,岩性为灰绿色泥岩与灰色中细砂互层,反映了沉积过程中水动力能量变化较小,由

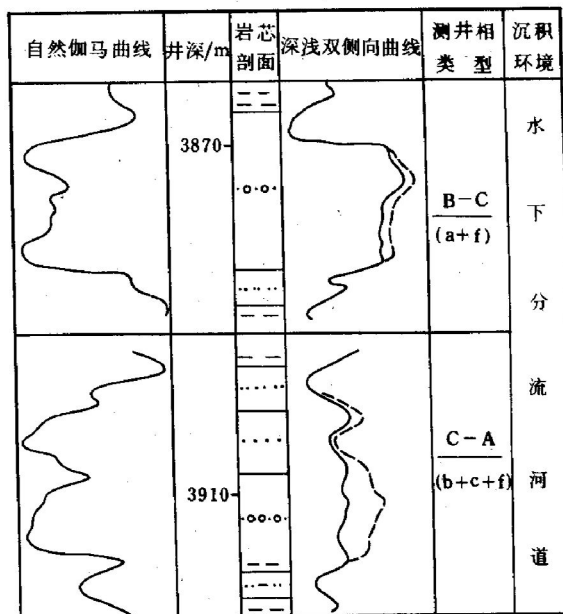


图3 水下分流河道(G3106)

(图例同图1)

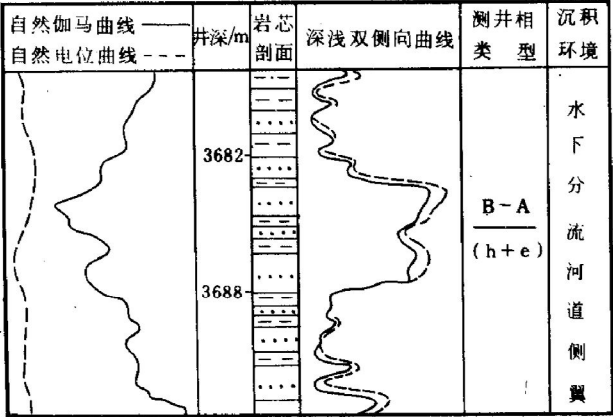


图 4 水下分流河道侧翼(G3105)
(图例同图 1)

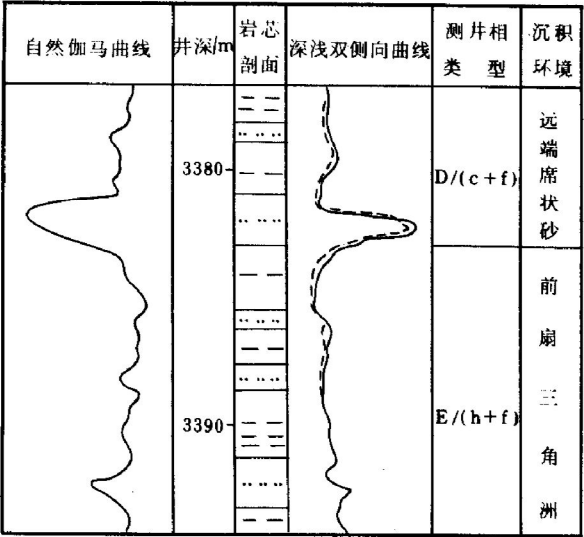


图 6 边缘席状砂与前扇三角洲(G3106)
(图例同图 1)

更多的是突变接触(图 6)。

1.9 前扇三角洲 E/(h+f)

自然伽马曲线呈对称低幅齿形，其岩性为深灰色、灰褐色泥岩，偶夹有灰绿色泥质粉砂岩或粉砂质泥岩(图 6)。

2 利用地层倾角测井资料解释沉积环境

本文仅选用处理参数合理且其他资料较全的 G97-1、G63-1 井作为实例，来分析高尚堡油田沙河街组三段二、三亚段的沉积环境。

2.1 原始资料的选取

高分辨率地层倾角测井测量 4 条或 8 条微聚焦电阻率曲线和井斜角及井斜方位曲线，采用相关对比法用不同的计算机程序处理这些信息，可以得到一系列解决不同地质问题的信息和图件。在相关对比中，步长、窗长和探索长度这 3 个参数的选取是至关重要的，涉及研究

弱—较强—弱的变化过程(图 4)。

1.7 分流河口坝(前缘砂)B/(b+f+h)

自然伽马曲线呈典型的中幅-低幅微齿漏斗形，顶部呈突变接触，齿中线外收敛，岩性由灰绿色泥岩、灰绿粉砂岩，渐变为灰白色含砾粗砂岩，整体表现为上粗下细的反韵律沉积，表明水动力条件由弱到强(图 5)。

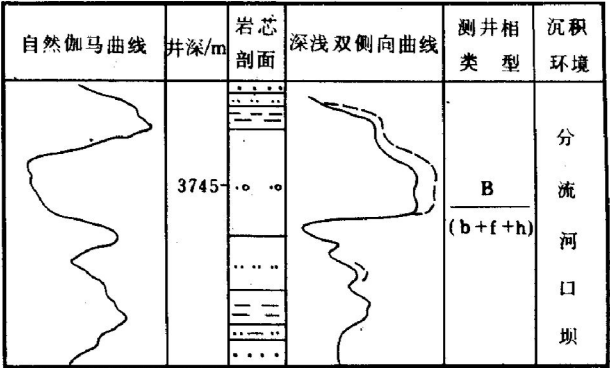


图 5 分流河口坝(前缘砂)(G3106)
(图例同图 1)

1.8 远端席状砂 D/(c+f)

自然伽马曲线呈典型的中-高幅的指形，岩性主要为灰绿色粉砂岩，底部含砾。底部与泥岩呈突变接触，砂层内部为正韵律。同河流三角洲前缘席状砂相比，有三点不同，一是粒级偏粗且变化大，以粉细砂岩占多数，经常含细砾；二是常具洪水浊积的性质，分选较差，有时出现轻微的侵蚀现象，底面有侵蚀并有泥砾；三是过渡岩性较小，泥岩厚度较大，砂泥间更

精度、地质复杂程度和地层倾角的陡缓。利用地层倾角测井资料研究沉积环境时，由于细小层理及不均质性往往在相当小的范围内就有很大的变化，只有在短的窗长内才能有效地看出它的微观变化特点，所以窗长为步长的倍数要小，一般为 2~3 倍^[2]。

针对具体井的实际情况，处理参数选择合适后，利用相应的软件就可以得到用于沉积环境分析的主要图件，如短对比矢量图、全方位频率图等。G97-1 井的地层倾角成果图的处理参数为：窗长 1.5 m、步长 0.5 m，窗长为步长的 3 倍。G63-1 井的倾角处理参数为：窗长 2.0 m、步长 1.0 m，窗长为步长的 2 倍，这两口井处理参数都符合沉积环境解释的基本要求。

2.2 不同砂体的倾角测井特征

高尚堡油田沙河街组二、三亚段的整体沉积环境为扇三角洲，广泛发育河道（包括水上平原辫状河道、水下分流水道）、砂坝（河口坝、分支河口坝）和远端席状砂 3 种砂体类型，而这三种沉积砂体类型在短相关矢量图上各有特点，这些特点也是区分砂体类型的一个依据。

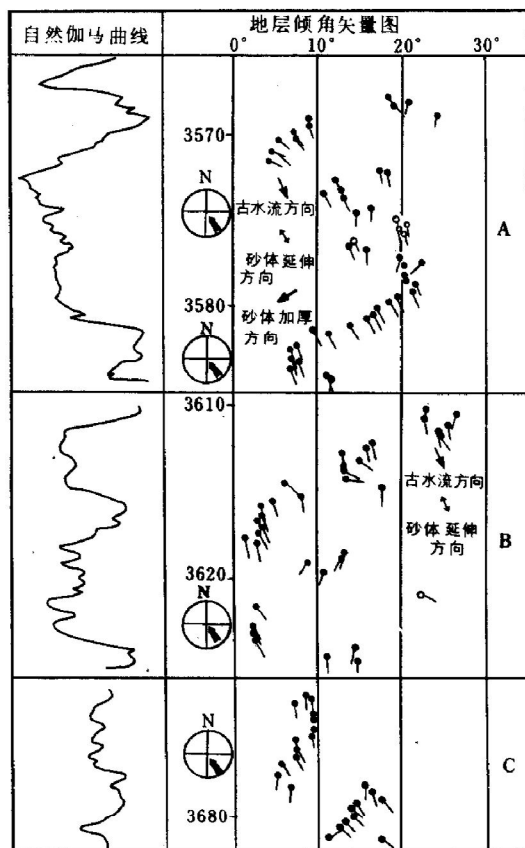


图 7 G97-1 井扇三角洲砂体倾角图

—表示矢量可信度高；·表示矢量可靠性低

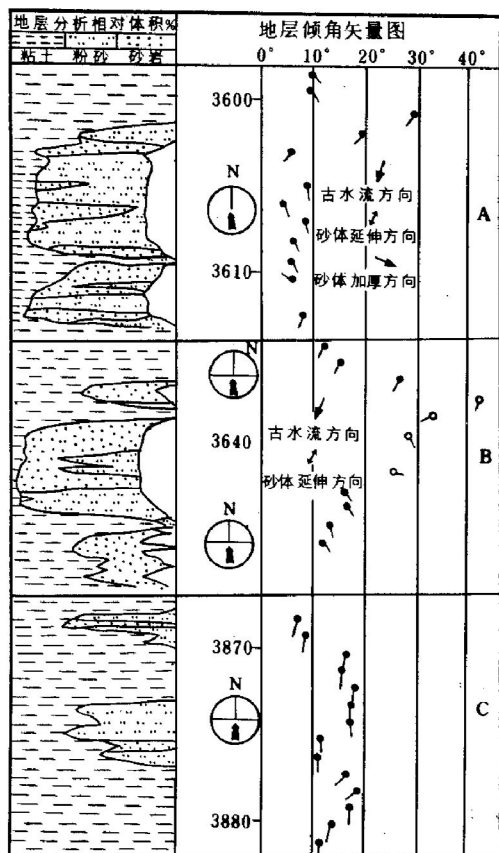


图 8 G63-1 井扇三角洲砂体倾角图

(图例同图 7)

2.2.1 河道型砂体

这种水道沉积在高尚堡地区极其发育，一般为中等分选的砂砾岩、含砾砂岩和中细砂岩，单砂层并不厚，一般为 5~10 m，整体显示为正韵律或顶底突变不显示韵律，不论何种类型的河道砂体，其自然伽马曲线为齿化的箱形或钟形-箱形（图 7A）；地层体积分析剖面（图 8A）反映颗粒向上变细；短相关矢量图整体上显示一个大红模式趋势，说明砂体上平下凸。砂层段矢量的倾角自下而上由大变小，这是由于河道的水流能量自下而上由强变弱，水流层理由陡变缓所致。矢量方位多数一致，它们代表着水流方向，小模式有红型和蓝型两种，在砂层层段内，有时会出现几组小型红型矢量或单个矢量，它们的倾向与水流方向垂直，这些代表砂体沉积层面的产状，它们的倾向指向河道中心，即砂体加厚方向，这是小型充填式河道的特点。在 G97-1 井的河道砂体沉积倾角矢量图上方位频率图表现为单峰，指向 SE，代表了古水流方向和砂体的延伸方向，根据蓝红模式 90 度法可判断出砂体的加厚方向为 SW。同样，G63-1 井的古水流方向和砂体的延

伸方向为 SSW, 而砂体的加厚方向为 SEE。

2.2.2 砂坝型砂体

由于沉积物为阵发洪水性补给, 扇三角洲平原相辫状河入湖后, 形成许多水下河道并分流向湖推进, 河道变宽变浅, 分叉增多, 并随水流能量的降低, 常发生周期性淤塞而改道, 故河口坝不很发育, 仅见少量小规模不很典型的河口砂坝。其主要沉积特征表现为下细上粗的反粒序, 底部多发育水平或微波状层理, 上部则多发育交错层理或槽状层理; 自然伽马曲线为齿化的漏斗型 (图 7B); 体积分析剖面表明颗粒向上变粗 (图 8B); 短相关矢量图整体上显示为大蓝模式趋势, 说明砂体下平上凸。砂层段内倾角趋势自下而上逐渐由小变大, 这是由于砂坝顶部的水流能量变强, 层理面变陡所致。此外, 坝体的层面倾角也由缓变陡, 砂层段内矢量方位近于一致, 小模式有红、蓝型, 代表水流方向和砂体延伸方向。邻近砂层的上覆泥岩受到差异压实变形产生披覆构造, 层面倾角越接近砂顶就变得越大, 具有红型特征, 倾向与下伏砂岩段矢量一致, 它指向砂坝的减薄方向。

2.2.3 远端席状砂型

物源较近和阵发性的洪水, 使得本区远端席状砂极为发育。自然伽马曲线呈典型的中-高幅的指形 (图 7C); 体积分析表明其岩性为薄层的粉砂岩和泥质粉砂岩, 且常与泥岩、粉砂质泥岩形成砂、泥岩薄互层 (图 8C); 在短相关矢量图上显示低角度的小蓝模式和低角度的小绿模式, 是沉积时的水动力能量较弱的显示。

2.3 确定古水流方向

利用地层倾角测井资料可以简捷有效地确定每个单砂体的古水流方向。目前, 用矢量图来判断古水流方向的方法有两种: 一种是全矢量方位频率图法, 就是将研究的砂层中的所有矢量进行方位统计绘出方位频率图, 哪个方向的点子最多, 表明该方向就是主要的古水流方向; 另一种方法是蓝绿模式法, 在单砂层内部小蓝模式及小绿模式的倾角矢量方向都代表古水流方向^[3]。

2.4 确定古水深

沉积时的水深与沉积岩石的沉积倾角有一定的关系, 浅水环境的沉积能量通常都大于深水环境的沉积能量, 沉积能量大时, 沉积倾角相应也大, 反之, 沉积倾角就小。因此, 根据沉积倾角的变化范围可以估计沉积时的水深, 一般认为, 最大倾角—最小倾角在 40° 左右时, 估计水深 $0\sim 15\text{ m}$; 15° 左右时, 估计水深 $15\sim 90\text{ m}$; 2° 左右时, 估计水深 $>90\text{ m}$ 。当然, 这些数字在不同地区可能不同。

G97-1 和 G63-1 两口井的倾角变化范围都在 30° 左右, 估计沉积时的水深不会超过 15 m , 与该区其他资料的研究结果基本一致, 说明高尚堡油田沙河街组三段二、三亚段为较浅水的沉积。

3 结论

(1) 扇三角洲沉积的测井相可划分为 9 种类型, 代表着该区不同沉积微相测井曲线特征。

(2) 古水流方向主要为 NNE (G63-1 井) 和 NW (G97-1 井), 与地质资料显示的主物源一致, 表明用地层倾角资料判断古水流的方法是切实可行的。

(3) 砂体延伸方向与古水流方向一致, 由 NNE 向 SSW 方向延伸, 或由 NW 向 SE 方向延伸。利用红蓝模式 90° 度法可以确定河道型砂体的加厚方向。

(4) 沉积时的水深不超过 15 m。

(5) 河道型砂体显示大红模式，砂坝型砂体显示大蓝模式，而远端席状砂则显示低角度的小蓝模式和小绿模式。

致谢：本文是我所与冀东油田石油地质研究所合作项目《高尚堡油田 E_3^{2+3} 储层沉积相研究》的一部分，借此感谢油田各级领导、同仁及油田地质室的同行们所给予的多方指导和帮助。

参 考 文 献

- 1 陈立官. 油气田地下地质学. 北京: 地质出版社, 1983. 68~84
- 2 曾文冲, 欧阳健, 何登春. 测井地层分析与油气评价. 北京: 石油工业出版社, 1987. 363~390
- 3 陈立官. 油气测井地质. 成都: 成都科技大学出版社, 1990. 49~72

LOG FACIES ANALYSIS OF THIRD MEMBER OF SHAHEJIE FORMATION IN GAOSHANGPU OIL FIELD

Liu Cuirong Ran Qiyong You Xiuling
(*Institute of Petroleum Geology, MGMR, Beijing*)

Abstract

Based on the plate of lithofacies, log facies and sedimentary facies, the fan-delta of the third member of the Shahejie Formation in Gaoshangpu oil field could be divided into 9 natural gamma curve shapes and assemblages (M), 8 rock types (N). This constitutes M/N type of log facies so as to demonstrate different kinds of sand bodies. The dipmeter data from two wells were used to distinguish channel sand body represented by large red mode, sand bar represented by large blue mode and distal sheet sand body of small blue or green mode through arrow plot of short correlation. The results show that the stretch directions of sand bodies are coincident with that of paleocurrent, the water depth was less than 15 m during deposition.