

文章编号: 0253-9985(2007)01-0069-08

塔里木盆地哈得 4 油田东河砂岩层序 地层界面类型及测井识别方法

焦翠华¹, 王海更¹, 牛玉杰², 昌伦杰², 徐怀民¹, 刘太勋¹, 刘晓兵¹

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249)

2. 中国石油天然气股份有限公司 塔里木油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 通过对露头、岩心资料的详细分析, 在塔里木盆地哈得 4 油田东河砂岩三级层序内部识别出了 5 种类型的层序界面, 即三级层序界面、准层序组界面、准层序界面、岩层组界面和岩层界面。以常规及地层倾角测井资料的层序界面响应特征研究为基础, 提出了各级层序地层界面的测井资料识别标准和方法, 包括常规测井曲线识别模式、长窗长处理倾角资料识别模式、倾角测井原始电导率曲线识别模式和精细倾角处理资料识别模式等。应用上述各类测井资料识别层序界面的模式和方法, 对全区各井进行了多级层序界面的识别和对比, 识别出了 5 级界面, 划分出 1 个三级层序、1 个准层序组、2 个准层序(砂层组)、12 个岩层组(小层)和 50 个岩层(单砂体), 建立了东河砂岩的高分辨率层序地层格架。

关键词: 层序地层界面; 测井响应; 东河砂岩; 塔里木盆地

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Sequence boundary types and logging identification of Donghe sandstone in HD4 oilfield, Tarim Basin

Jiao Cuihua¹, Wang Haigeng¹, Niu Yujie², Chang Lunjie², Xu Huamin¹, Liu Taixun¹, Liu Xiaobing¹

(1. Faculty of Resources and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Exploration & Development Research Institute, Tarim Oil Field Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract Five types of sequence boundaries within the third-order sequence of Donghe sandstone in Tarim Basin are recognized through the detailed analysis of outcrop and core data: the third-order sequence boundary, parasequence group boundary, parasequence boundary, stratum group boundary, and stratum boundary. Based on the response characters of conventional logging and dip logging through sequence boundaries, the standards and methods of sequence boundary identification using logging data are proposed, including the identification model of conventional logging data, the identification model of dip data with long window-length processing, the identification model of original dip-logging conductivity curves, the identification model of precise dip-processing data, etc. By applying the above-mentioned models to the multi-sequence boundary identification and correlation in all wells of the oilfield, five orders of sequence boundaries are identified, and one third-order sequence, one parasequence group (sandbody group), twelve stratum groups (substratum zone) and fifty stratum (single sandbody) are recognized. As a result, the high-resolution sequence stratigraphic framework of Donghe sandstone is established.

Key words sequence boundary; logging response; Donghe sandstone; Tarim Basin

层序地层界面是沉积体性质发生变化的界面, 其上下地层间表现出地层产状、沉积类型、岩

收稿日期: 2006-11-08

第一作者简介: 焦翠华(1960—), 女, 教授, 测井资料综合解释与地质应用

石性质等的差异,是不同性质地层的分界面^[1];而测井曲线记录的是反映地层性质差异的各种物理参数。因此,层序地层界面在测井曲线上都会有特定的响应特征。由于测井曲线具有较高并且不同的纵向分辨率,因此,测井资料能为不同级别的层序地层界面的识别提供丰富的信息,在层序地层界面识别中具有非常重要的作用^[2]。特别是在取心资料较少、地震资料分辨率有限的地区或开发程度较低的油田,主要是运用测井资料,结合岩心标定开展高精度层序地层研究。

1 概况

哈得 4 油田位于塔里木盆地满加尔凹陷北部的哈得逊构造带上^[3],主要含油层为石炭系底部的东河砂岩段,属于海侵体系域的滨岸相沉积的石英砂岩体,向北超覆尖灭,为一受地层超覆尖灭和构造双重控制的隐蔽油藏(图 1)。东河砂岩油藏埋深超过 5 000 m,构造幅度低于 34 m(图 2),具有含油面积大(已证实超过 130 km²)、储层厚度小(平均有效厚度小于 6 m)、储量丰度低(小于 50 × 10⁴ t/km²)等特点^[4]。

哈得 4 东河砂岩段由巴楚组和卡拉沙依组组成(图 3),自下而上分为东河砂岩段、角砾岩段、中泥岩段和标准灰岩段等,与下伏志留系呈区域不整合接触,自下而上分为 3 个三级层序。层序 iv 对应东河砂岩段,层序 ⑤ 对应角砾岩-中泥岩

段,层序 ⑥ 对应标准灰岩段。其中层序 iv 为主要含油层位,超覆志留系地层之上,顶部被剥,与上覆砾岩层呈削截关系;层序 ④ 内的中泥岩段为区域盖层^[5];层序 iv 下伏志留系层系为可能生油层^[6](图 3)。

2 层序地层界面类型及特征

根据 Van Wagoner 的观点^[7],并参考前人沉积相的研究结果,通过对露头、岩心及测井资料的综合分析,在层序 iv 东河砂岩段分布区内共识

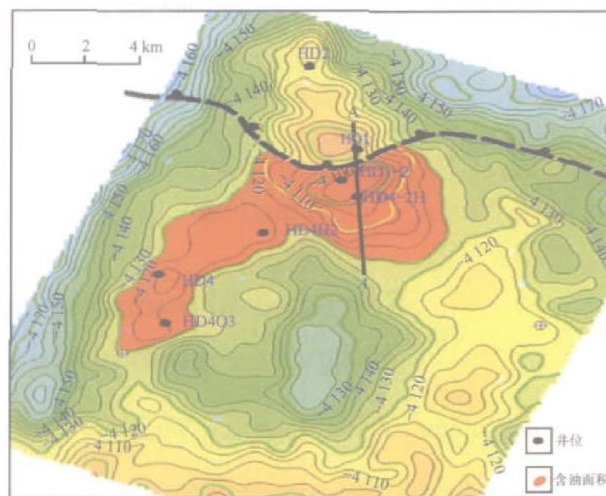


图 1 哈得 4 油田东河砂岩油藏平面图
(据塔里木勘探开发研究院, 2000)

Fig. 1 Structure top map of the Donghe sandstone in HD4 oilfield

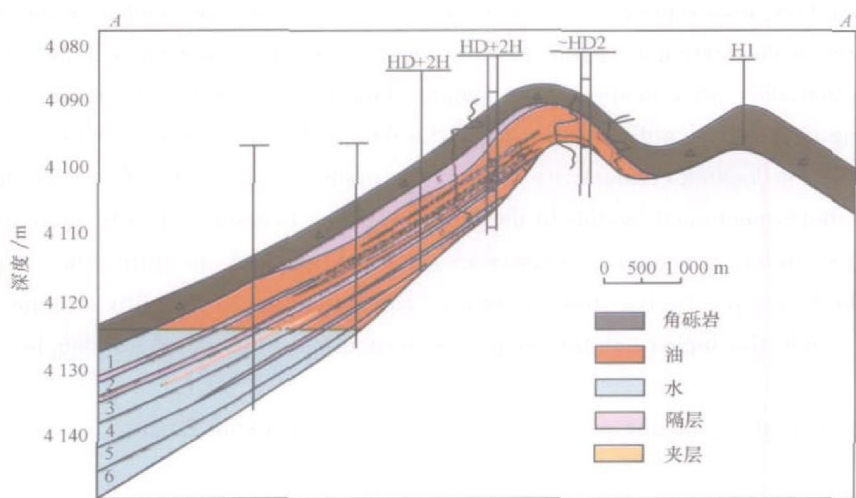


图 2 哈得 4 油田东河砂岩油藏 HD4-2H-HD1 井油藏剖面 (据塔里木勘探开发研究院, 2000)

Fig. 2 Reservoir profile across well HD4-2H-HD1, Donghe sandstone, HD4 oilfield

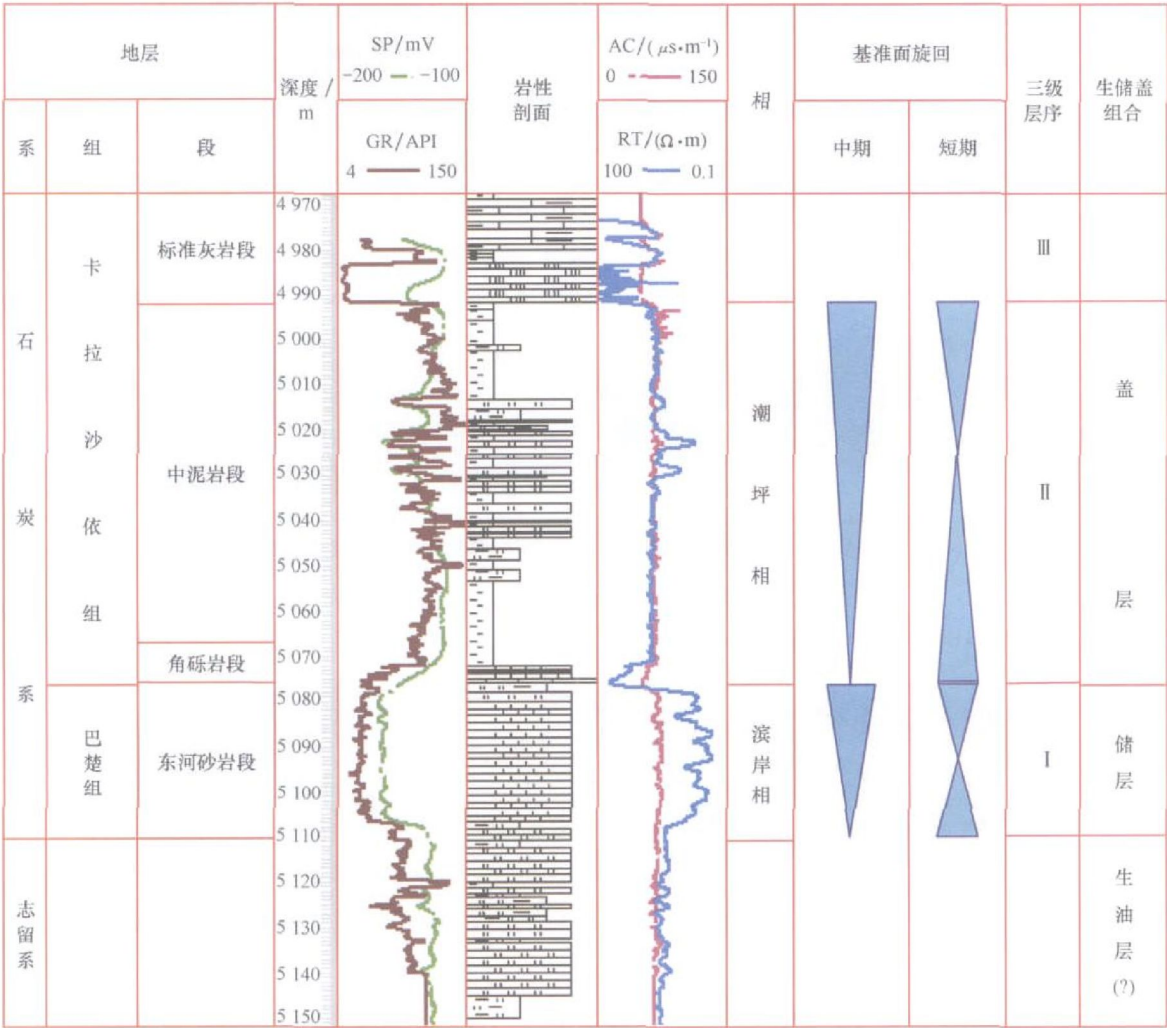


图 3 哈得 4 油田 HD401 井东河砂岩地层剖面

Fig. 3 Stratigraphic column of donghe sandstone in wellHD401, HD4 oilfield

别出 5 种类型层序地层界面, 分别对应于三级层序界面、准层序组界面、准层序界面、岩层组界面和岩层界面。

2 1 三级层序界面

层序界面是一种常见并且重要的界面类型, 反映地层之间较大的沉积间断, 是将较老的地层和较新的地层分开的界面, 通常有地层剥蚀的证据。研究区在东河砂岩段的顶底均存在一个不整合面, 底部不整合面为砂体上超型不整合面, 顶部不整合面为削蚀型不整合面。

在野外露头区, 东河砂岩底部为一套褐色细砂岩与下伏泥盆系紫红色泥质粉砂岩不整合接触, 界面清楚, 界面上下地层产状不同, 沉积特征差异明显 (图 4a); 顶部界面为灰色细砂岩与石英砾岩接触面 (图 4b), 该套石英砾岩在露头区分布

连续, 可横向追踪, 界面上下明显为两种截然不同沉积环境下的产物, 石英砾岩普遍下切下部地层, 为明显的不整合面, 在靠近不整合面下部的细砂岩内部可见结核及周围氧化圈, 表明该层为靠近大气的强氧化环境下的沉积。据此可将东河砂岩划分为一个三级层序。

在哈得 4 油田的岩心上, 东河砂岩底部不整合面下部为志留系褐色细砂岩或褐色泥质粉砂岩, 界面上部东河砂岩段为灰色细砂岩 (图 5a)。东河砂岩顶部界面表现为局部削蚀的不整合界面, 灰色细砂岩与砾岩或角砾岩的突变面 (图 5b), 界面上部可见薄层褐色泥岩层, 为暴露于氧化环境下的标志性特征。

2 2 准层序、准层序组界面

水体深、浅的变化控制沉积物性质, 水体深度

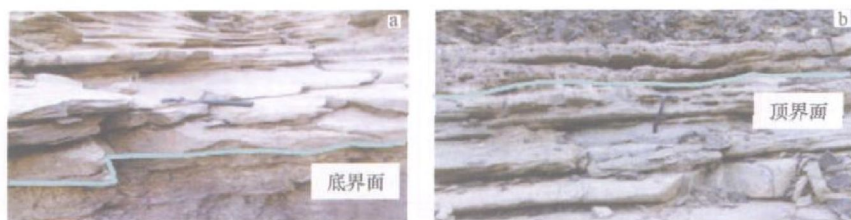


图 4 巴楚露头区东河砂岩顶 a)、底 b) 层序界面

Fig. 4 Top a) and bottom b) sequence boundaries in Donghe sandstone of Bachu outcrop area

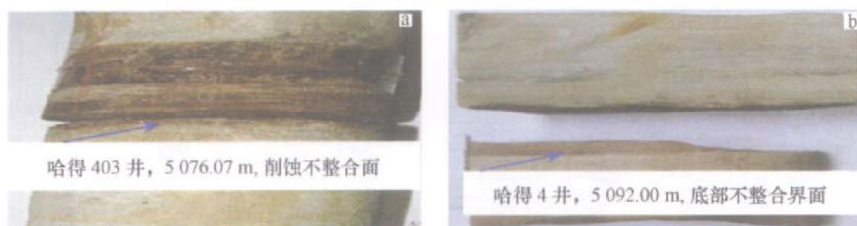


图 5 哈得 4 油田岩心东河砂岩顶 a)、底 b) 层序界面

Fig. 5 Top a) and bottom b) sequence boundaries in Donghe sandstone identified by the cores in HD4 oilfield

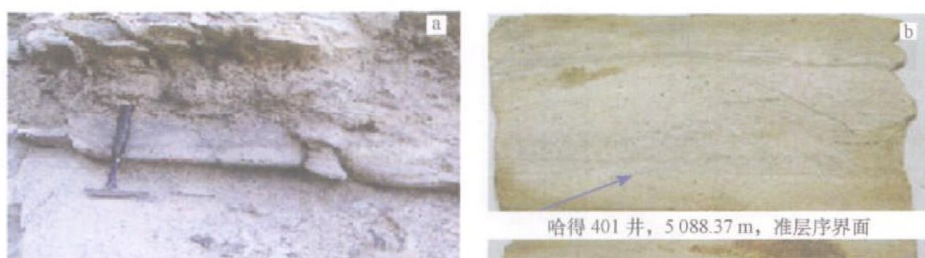


图 6 巴楚露头区 a) 及岩心 b) 准层序界面

Fig. 6 Parasequence boundaries of Donghe sandstone in Bachu outcrop area a) and core samples b)

的每一次事件性的变化都形成一个容易识别的海泛面,即准层序界面。因此准层序是以海泛面和与之可以对比的面为界划分的,是在成因上有联系、相对整合的一套岩层或岩层组^[8]。

东河砂岩段沉积环境一直处于滨岸带,在海平面升降变化的过程中,其沉积环境的差异造成了沉积物特征的变化。在露头剖面中可识别出 1 个准层序界面(图 6a),其界面以下沉积褐色细砂岩,界面以上沉积灰色、浅灰色细砂岩。

在哈得逊地区岩心中,可见 1 个与海泛面对应的准层序界面,界面处可见明显突变。界面以上沉积物为具波状纹层的泥质细粉砂岩,层薄;界面以下为细砂岩沉积,厚度大。界面以上生物扰动较强;界面以下生物扰动减弱(图 6b)。据此海泛面将东河砂岩段划分为两个准层序。

准层序组是一套成因相关、堆砌特征相似的一套准层序组成,因此其界面是明显的或规模较大的海泛面和可与之对比的地层界面。通过分析

岩心及测井资料表明,哈得逊地区东河砂岩段发育一个进积式准层序组,准层序组内发育 2 个准层序,下部准层序为退积式,为早期高水位时期形成的,其准层序底界与层序底界一致。上部准层序为一进积式准层序,底部为区域上的最大海泛面,为晚期高水位沉积,其顶部地层被部分剥蚀,与剥蚀面一致。

2.3 岩层、岩层组界面

岩层是一组相对整合、有内在联系的纹层序列,以侵蚀面或与之相关的整合面为界,其界面为冲刷面、截切面等,它代表同一期水动力特征的起始和结束^[9],在哈得逊地区东河砂岩内,垂向上相当于同一期沉积微相沉积体的顶底界面。在岩心观察中,这类界面显示为一些冲刷面、粒度变化界面,以及同一类型层理组合之间的变化面。在区内东河砂岩岩心中共识别出 48 个岩层界面(图 7b)。图 7a 是野外露头的岩层界面。

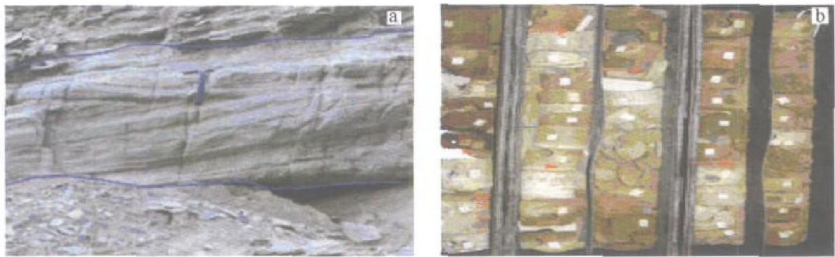


图 7 巴楚露头区 a) 及 HD4 井岩心 b) 岩层界面

Fig. 7 Stratum boundaries of Donghe sandstone in Bachu outcrop area a) and core samples from well HD4 b)

岩层组是有内在联系的一套岩层的组合, 其界面也是侵蚀面及其与之对应的面, 在研究区也表现为冲刷界面, 与岩层界面一致, 所不同的是在垂向上它是相当于同一期沉积亚相沉积体的顶底界面。从哈得逊地区东河砂岩岩心中一共识别出 10 个岩层组界面 (图 8b)。图 8a 为野外露头识别

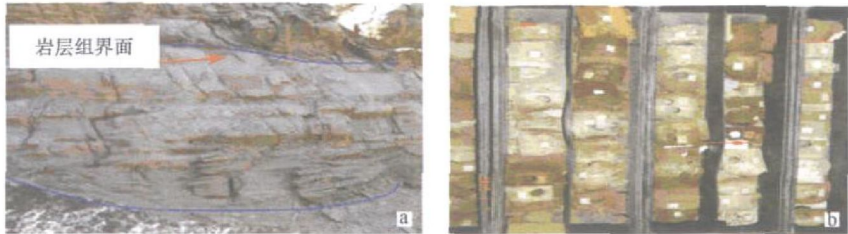


图 8 巴楚露头区 a) 及 HD4 井岩心 b) 岩层组界面

Fig. 8 Stratum group boundaries of Donghe sandstone in Bachu outcrop area a) and core samples from well HD4 b)

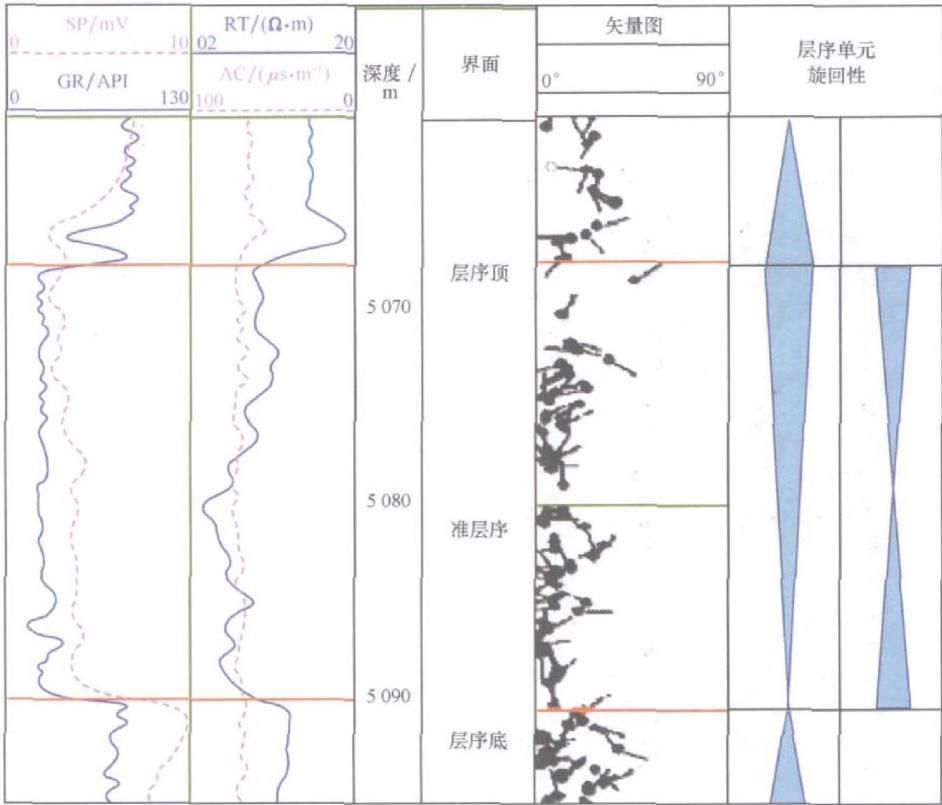


图 9 HD4 井层序及准层序界面测井响应特征及识别

Fig. 9 Logging response features and identification of sequence and parasequence boundaries in well HD4

出岩层组界面。

3 层序地层界面的测井响应特征及识别方法

3.1 常规测井曲线识别模式

对于沉积物性质及产状突变的三级层序界面,在分辨率相对较低的常规测井曲线上的响应特征非常明显,如电阻率、自然电位、自然伽马曲线表现为台阶状突变接触^[10]。对于研究区内大多数的井,用自然电位、自然伽马曲线突变的半幅点就可以非常准确的识别出该类界面(图 9),而准层序及岩层组、岩层界面在常规测井曲线上特征不明显^[11]。

3.2 长窗长处理倾角资料识别模式

当界面上下地层产状存在明显差异时,在长窗长处理的反映地层产状的倾角矢量图中,界面处出现倾角和倾向的突变,表现为杂乱模式或空白模式,通常对应角度不整合界面^[12]。图 9 中 HD4 井的倾角矢量图,在层序顶底及准层序界面

处,倾角和倾向出现了突变。

当地层界面上下产状变化不大时,一般对应平行不整合或整合界面,用倾角矢量图直接识别界面较困难,可以采用 Nei F. Hurley 提出的累计地层倾角图来识别^[13 14]。对于目的层段的倾角处理结果中地层倾角,把测量结果按由浅到深顺序进行排列,对每一测点结果给定一个编号,最浅的编号为 1,向下依次增加。累计倾角图是累计倾角的数值对深度或测点编号的交会图。累计倾角图

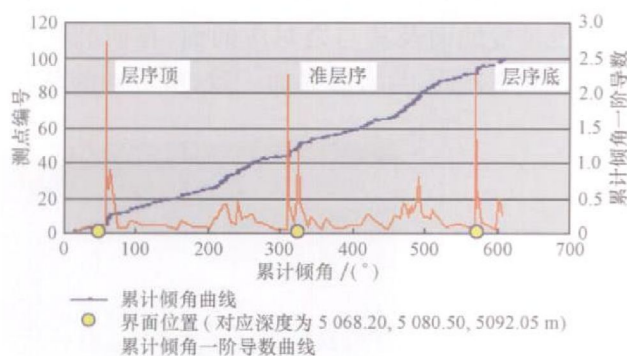


图 10 HD4 井东河砂岩段累计地层倾角

Fig. 10 Cumulative dip of Donghe sandstone interval in well HD4

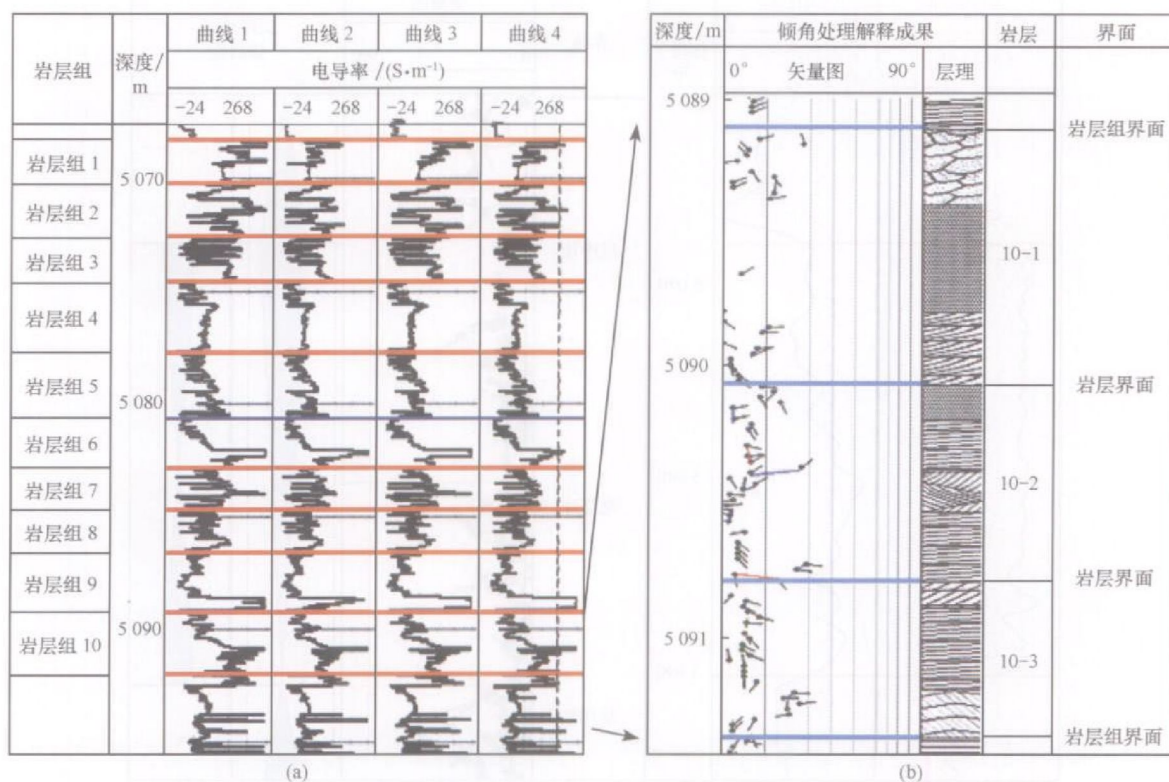


图 11 HD4 井岩层及岩层组界面倾角测井响应特征及识别

Fig. 11 Dip-logging response features and identification of stratum and stratum group boundaries in well HD4

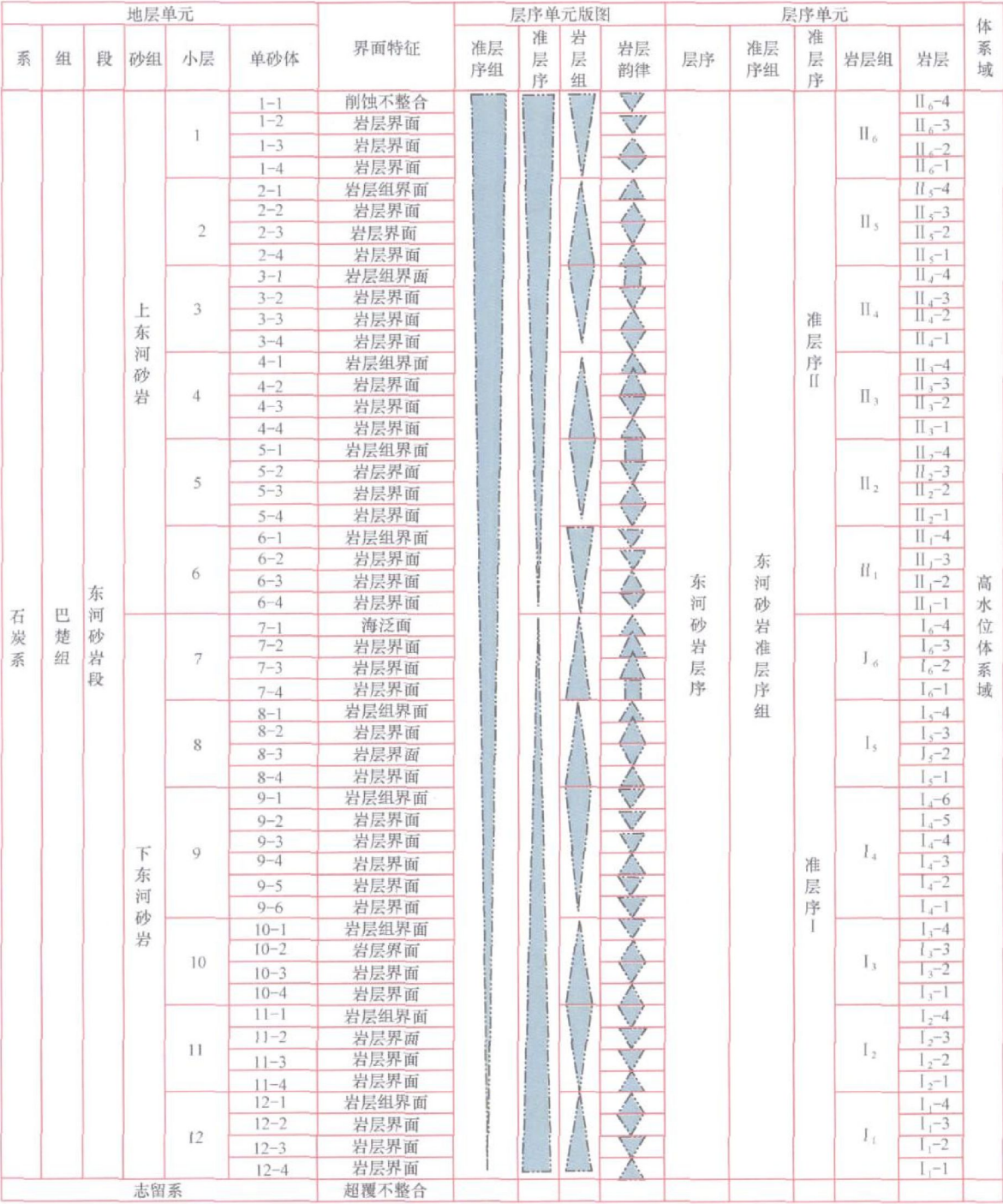


图 12 哈得 4 油田东河砂岩高分辨层序地层格架

Fig. 12 High-resolution sequence stratigraphic framework of Donghe sandstone in HD4 oilfield

上的转折点往往就是我们要识别的层序地层界面位置。为了突出那些小倾角变化引起的转折点, 可以做出累计倾角的一阶导数曲线 (一阶导数 = 测量点编号差 / 累计倾角差), 一阶导数的极大值点代表着具有重大意义的倾角值的改变, 对应着层序地层界面位置。

为了突出大的层序界面, 排除砂岩层理变化的影响, 应使用长窗长处理倾角资料并作出倾角

累计图, 分析累计倾角图时, 应根据研究区的其它地质资料, 去除个别反常的倾角值及断层引起的异常变化, 突出由不整合面所引起的倾角变化。图 10 是 HD4 井累计地层倾角图, 在东河砂岩层序的顶底及准层序组界面处累积倾角出现明显的拐点, 一阶导数曲线上出现极大值。

3.3 倾角测井原始电导率曲线识别模式

岩层组界面在高分辨率的原始电导率曲线上有较明显的显示, 界面处电导率值有明显的突变。利用这一特征可以识别岩层组界面。在研究区东河砂岩内共识别出 10 个岩层组界面。图 11a 是 HD4 井 10 个岩层组界面的识别结果。

3.4 精细倾角处理资料识别模式

研究区东河砂岩岩层内部都是由厚度只有 2~3 cm 的纹层组组合而成, 其层的界面主要由层理类型的变化或局部水流冲刷面构成。这些界面通常在常规测井曲线上识别不出来, 一般只能通过高分辨率的地层倾角资料来识别。传统的长窗长倾角测井资料处理结果, 1 m 深度范围内最多不超过 10 个计算点, 这种精度满足不了精细划分厚度只有 2~3 cm 纹层组的要求。本文采用关键井岩心刻度调整、选取合适的处理参数对倾角资料进行了短窗长精细地层倾角处理和解释, 经过取心资料验证可识别出波状层理、水平层理、斜层理、槽状交错层理和冲刷沉积构造等类型, 用层理类型和冲刷界面的变化划分岩层。图 11b 是 HD4 井第 10 个岩层组中 3 个岩层的界面识别结果。

3.5 东河砂岩高分辨层序地层格架的建立

应用上述各类测井资料识别层序界面的模式和方法, 对全区各井进行了多级层序界面的识别和对比, 识别出了 5 级界面, 划分出 1 个三级层序、1 个准层序组、2 个准层序 (砂层组)、12 个岩层组 (小层) 和 50 个岩层 (单砂体), 建立了东河砂岩的高分辨层序地层格架 (图 12)。

4 结论

在大的沉积环境的控制下, 通过露头观察及岩心资料详细分析, 识别出了研究区东河砂岩地层的 5 种类型的层序地层界面: 三级层序界面、准层序组界面、准层序界面、岩层组界面和岩层界面。

以岩心刻度为基础, 建立不同级别层序地层界面的常规测井、原始及不同窗长的地层倾角处理解释结果的响应模式, 利用该模式对全区各井进行处理解释, 识别和划分出了各级层序地层界面, 建立了东河砂岩高分辨层序地层格架。

参 考 文 献

- 1 威尔格斯 C K. 层序地层学原理 (海平面变化综合分析) [M]. 徐怀大, 译. 北京: 石油工业出版社, 1993. 47~ 225
- 2 孙志华, 吴奇之, 张一伟, 等. 层序界面在地球物理资料上的响应特征 [J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(5): 626~ 632
- 3 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64~ 77
- 4 Sun Longde Donghe sandstone subtle reservoir exploration and development technology in Hade 4 oilfield [J]. Petroleum Science 2004, 2(4): 35~ 43
- 5 于炳松, 陈建强, 林畅松. 塔里木盆地奥陶系层序地层格架及其对碳酸盐岩储集体发育的控制 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 306~ 316
- 6 蔡希源. 塔里木盆地台盆区油气成藏条件与勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 590~ 597
- 7 Van Wagamer J C. Siliclastic sequence stratigraphy in well logs cores and outcrops concepts for high-resolution correlation of time and facies [J]. AAPG Methods in Exploration Series(7), 1990
- 8 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~ 184
- 9 邓宏文, 王红亮, 王居峰, 等. 层序地层构成与层序控砂、控藏的自相似特征——以三角洲- 浊积扇体系为例 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 491~ 495
- 10 王卫红, 姜在兴, 操应长, 等. 测井曲线识别层序边界的方法探讨 [J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(3): 1~ 5
- 11 郑小武, 邓宏文, 徐怀大, 等. 测井高分辨率层序地层自动划分技术与应用尝试 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 357~ 360
- 12 曹颖辉, 王贵文, 朱筱敏. 地层倾角测井资料在层序地层分析中的应用 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(4): 286~ 288
- 13 Hurley N F. Recognition of faults unconformities and sequence boundaries using cumulative dip plots [J]. AAPG Bulletin 1994, 78(8): 1 173~ 1 185
- 14 付晓飞, 宋岩, 吕延防, 等. 塔里木盆地库车坳陷膏盐质盖层特征与天然气保存 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 25~ 29

(编辑 陈喜禄)