[**5]著格式]**年涛,王贵文,肖承文,等.图科1井电成像测井碳酸盐岩岩性解释 [J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2015, 37 (5+6):16~24.

图科1井电成像测井碳酸盐岩岩性解释

年涛,王贵文 (油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)) 中国石油大学(北京)地球科学学院,北京102249
肖承文 (中石油塔里木油田分公司,新疆 库尔勒 841000)
冉冶,刘超,崔玉峰 (中国石油大学(北京)地球科学学院,北京102249)
李籽娴 (长江大学工程技术学院,湖北 荆州 434020)

[摘要] 井壁电成像测井是地层岩石电属性的图像反映,基于离散的岩心标定、统计,提高了井壁电成像 测井的地质解释精度。但是岩心深度归位误差和地层岩石结构的相似性等因素导致的图像多解性不容忽 视,制约了成像测井的有效应用。图科1井是塔里木盆地部署的第1口针对碳酸盐岩基准剖面展开的露 头科研井,完钻井深207m,钻遇层位奥陶系良里塔格组、吐木休克组、一间房组和鹰山组。该井对奥陶 系实施了全井段连续取心(60~186.9m)和综合地球物理测井资料采集,试图建立露头、岩心和测井标 准刻度井。测井项目包括常规测井和地层微电阻率成像、偶极横波成像、阵列侧向和 P 型核磁等测井新 技术。在全井段岩心和成像测井等比例归位的基础上,基于岩心铸体薄片和岩心描述,对图科1井高质 量的电成像测井图像进行了岩性特征解释,剖析了图像特征差异的微观机理,厘定了泥晶灰岩、隐藻泥 晶灰岩、生屑灰岩、砂屑灰岩、生物格架岩和生屑泥晶灰岩等岩性在井壁电成像测井图像上的特征。泥 晶灰岩为规则带状模式,隐藻泥晶灰岩表现为"塑性"特征,生屑灰岩为亮暗斑组合模式,砂屑灰岩为 不规则带状模式和块状模式,生物格架岩为亮斑模式,生屑泥晶灰岩为不均一色彩下的规则组合带状模 式。

[关键词] 成像测井; 露头科研井; 连续取心; 岩性解释; 塔里木盆地; 图科1井

[中图分类号] P631.84 [文献标志码] A [文章编号] 1000 - 9752 (2015) 05+06 - 0016 - 09

碳酸盐岩储层在国内外分布比较广泛^[1,2],其油气储量十分丰富,以油气当量计,约占全球油气总 可采储量的47.09%^[1]。该类储层岩性一般为颗粒滩、生物礁、白云岩等^[3],储集空间主要为次生溶蚀 孔洞和裂缝^[3,4]。岩性精细识别对于碳酸盐岩储层相分析、储集空间类型识别和储层的空间展布起着至 关重要的作用。目前,常用的岩性鉴定手段包括露头、岩心、录井和常规测井解释等。露头岩性描述具 有空间展布的局限性;岩心是最直观的岩性描述方法,但是取心成本问题制约了利用该方法进行长井段 地层岩性描述;录井虽然解决了长井段的岩性描述问题,但是岩屑深度归位的误差不容忽视;而常规测 井其数据平均采样间隔为分米级^[5,6],很难利用其进行复杂的地层岩性精细解释。井壁电成像测井具有 贴井壁测量、长井段、连续数据采集和高分辨率、方位性以及规范的数据处理、成图等特点,可以提供 类似岩心的图像^[5]。因此,其岩性解释具有上述各方法不可替代的优点,尤其针对非均质性较强的碳酸 盐岩地层的岩性解释。

传统的井壁电成像测井岩性解释流程是通过有限的、"离散"的岩心刻度测井,在图像解释经验和 地质理论知识的基础上,总结不同岩性对应的井壁图像特征^[5,7]。碳酸盐岩颗粒的粗细或胶结程度的高 低影响地层电阻率的高低,从而可以识别不同的碳酸盐岩岩性^[5,8]。通过井壁成像测井图像纹理与碳酸 盐岩结构的关系可以识别不同的碳酸盐岩岩性^[9~12]。井壁成像测井通过特殊碳酸盐岩沉积环境地质现 象(颗粒、层理形态、结核、解理和化石)的识别,可以判断相类型^[13],综合岩石物理和成像测井解

[收稿日期] 2015-02-28

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (41472115)。

[[]作者简介] 年涛(1987-),男,博士生,主要从事成像测井沉积储层解释方向的研究,niantaoo@163.com。

释成果,可以研究碳酸盐岩沉积相类型和发育演化^[14]。上述研究不同程度地推进了井壁电成像测井碳 酸盐岩岩性解释的应用,但是仍然有几个因素制约了该方法岩性解释的精确度:①井壁电成像测井的分 辨率的制约,井壁电成像测井仪器的纵向和周向分辨率都是 0.2in^[5,15],而碳酸盐岩结构组分的粒径多 小于该数值,因此井壁图像和岩心上的结构特征不具有一一相关性;②井壁电成像是地层岩石矿物、储 集空间类型、流体等的综合响应,因此图像结构可能是上述某个因素的主要表现,或是多个因素的综合 表现;③岩心深度归位的误差,由于钻井或(和)岩石自身的属性导致岩心破碎,取心收获率低,在岩 心深度归位时,在没有特征地质现象(单条裂缝、特征的沉积层理等)的情况下,岩心可以来自取心井 段的任意位置,而不准确的岩心深度归位直接影响了岩心刻度测井的准确性^[16]。因此,厘定不同碳酸 盐岩岩性对应的井壁电成像测井图像特征存在难度,且统计性的解释结论不具有较强的说服力;只有基 于长井段的连续取心对同一深度段的井壁成像标定刻度、解释归类,才能厘定不同碳酸盐岩岩性对应的 井壁电成像测井图像特征模式。

1 图科1井概况

图科1井位于新疆巴楚 县境内, 314 国道 1182km 处 向南转约7.5km,南距图木 舒克市约30km。构造位置属 于塔里木盆地巴楚凸起勒亚 依里背斜西翼(图1)。钻遇 目的层奥陶系良里塔格组 (O₃1)、吐木休克组(O₃t)、 一间房组(O₂y)和鹰山组 (O₁₋₂y)。作为中国石油天然 气有限公司首次建立的缝洞 型碳酸盐岩储层地面露头标 准取心井和测井刻度井,该 井的设计目的为:①系统取 心与配套的测井采集,建立 测井岩石物理评价模型与刻 度模型: ②解决缝洞性碳酸 盐岩储层因取心不足、标定



图1 图科1井地理位置图

检验不够准确的难题;③为不同的测井采集系列仪器提供标准刻度井,以消除系统误差;④为地质人员 提供露头、井下岩心、测井响应"三位一体"的碳酸盐岩缝洞储层认识的"铁柱子"。

笔者在图科1井岩心与成像测井等比例标定归位的基础上,基于112.32m长的岩心和100张铸体 薄片,对图科1井电成像测井进行了精细的图像特征解释,厘定了泥晶灰岩、隐藻泥晶灰岩、砂屑灰 岩、生物格架岩、生屑灰岩和生屑泥晶灰岩等的成像测井图像特征模式。

2 测井仪器及数据处理

2.1 测井仪器和测井项目

作为塔里木盆地的第1口基准露头科研井,该井数据采集由塔里木油田分公司、川庆钻探工程有限 公司、中油测井有限责任公司(CPL)、斯伦贝谢(Schlumberger)和新疆石油管理局测井公司共同完 成,提供了长井段的连续取心和配套的4套测井数据。测井数据采集系统涵盖了目前国外内主要的地球 物理测井采集仪器系列,测量项目涉及常规和新测井技术(见表1)。

测井公司	仪器型号	测量井段/m	测井项目
Schlumberger	MAXIS-500	24.17~207	并径、井斜-方位、自然伽马、补偿中子、岩性密度、阵列侧向 电阻率、地层微电阻率成像、偶极子声波、核磁共振
CPL	ECLIPS-5700	24.17~207	井径、井斜-方位、自然伽马、补偿中子、岩性密度、自然伽马 能谱、数字声波、自然电位、双侧向电阻率、偶极子声波
	EILOG	24.17~207	井径、井斜-方位、自然伽马、补偿中子、岩性密度、自然伽马 能谱、电成像、数字声波、双侧向电阻率
新疆石油管理局测井公司	EXCELL-2000	24.17~207	自然伽马、地层微电阻率成像、核磁共振

表1 图科1井测井数据采集系列

2.2 数据处理

不同的测井系列采集的数据格式不同,因此在具体加载之前需要对数据体进行格式解编和转化。针 对图科1井3套不同的电成像测井数据(FMI(斯伦贝谢电成像测井)、XRMI(哈里伯顿成像测井)和 MCI(CPL最新的电成像测井技术))采用斯伦贝谢的GeoframeG包模块对3组数据进行加载。各电 成像测井在仪器结构上存在差异,但其数据的处理原理基本相同^[17~20],都需要经过自动增益、电流校 正、失效电极检测及补偿、速度校正、电极方位定位、深度校正、均衡处理,到最终的图像生成和显 示。提供的图像包括静态图像和动态图像2种,前者基于长窗长处理,主要用于反映全井段地层电阻率 和岩性的识别;后者基于短窗长处理,用来解释井旁地层的微观结构和构造特征^[21]。该次研究采用 0.1524m 滑动窗长和直方图均衡方法对动态图像进行加强处理。

3 岩心归位

目前岩心归位技术包括稳定剩磁分析技术^[22]、岩心-测井标定技术^[16,23~25]、数学概率模型法^[26]。 该次研究的岩心深度和方位归位采用测井标定法,综合岩性、裂缝、层理、缝合线等在井壁成像和岩心 上的响应特征进行。该方法也存在缺点,即取心率低或归位标志不明显都可能导致深度归位出现偏差, 进而影响深度和方位归位。但是图科1井较高的取心率(平均取心收获率93.6%,)避免了上述问题的 出现;同时岩心不是全井段整体归位,而是分块归位,提高了深度归位的精度,有别于 Haggas 等^[27]将 岩心整体归位。

在具体深度归位时需要考虑几个原则:①以成像测井测量深度为归位深度;②以地层分层界面深度 点作为归位深度点;③以单筒取心进尺作为单筒岩心深度归位时的长度限定范围(如单筒取心进尺 2.5m,在岩心深度归位之后取心进尺也应为2.5m,即假定单筒岩心收获率为100%,存在2条标志性 的裂缝,分别位于该筒岩心的上部和下部,若以下部裂缝为标志将岩心下移一定深度,则以上部裂缝为 标志进行深度归位时,也只可能是下移相应的深度,不会出现岩心上移或不移动的情况),这一点在实 际归位时容易被忽视;④以典型的地质特征作为深度归位的参考标志。

方位归位是基于岩心外表面在线重建图像进行的,该图像是以任意角度双向旋转的动态图像,根据 旋转角度和旋转方向动态调整重建图像起始像素列的位置,因此需确定偏移量和旋转角度的转换关系。 假定初始图像起始像素列在岩心外表面图像的 A 点,通过输入旋转角度进行顺时针或逆时针旋转,建 立偏移量和旋转角度的转换关系。

4 地层分层

岩心及测井资料分析显示,该井不同地层单元地层分界面特征变化明显:O₃1 以灰色泥质灰岩为 主,62.4m 岩性突变为O₃t 的紫褐色泥质灰岩,成像测井特征模式由不规则组合带状模式变为规则组合 带状模式(图2(a));71.54m 为O₃t和O₂y分界面,O₂y生屑含量较O₃t明显增加,岩性突变为生屑 灰岩,成像测井特征模式由规则组合带状模式变为不规则组合带状模式(图2(b));O₂y底部发育隐 藻泥晶灰岩,从129.15m 开始岩性突变为砂屑灰岩,进入O₁₋₂y,成像测井特征模式由"塑性"图像特 征变为块状模式(图2(c))。





图 2 图科 1 井奥陶系地层分界面

5 岩心描述

图科1井岩性以泥晶灰岩、隐藻泥晶灰岩、砂屑灰岩、生屑灰岩、生物格架岩和生屑泥晶灰岩等为主。 O₁₋₂y发育泥晶灰岩、隐藻泥晶灰岩和砂屑灰岩。浅灰色泥晶灰岩发育平行层理,结构组分主要以 泥晶方解石为主。灰黑色隐藻泥晶灰岩见藻粘结现象(图3(a)),结构组分主要为隐藻泥晶方解石, 构造缝为方解石充填。砂屑灰岩颗粒直径在0.1~0.2mm(小于电成像测井的分辨率),颗粒分选磨圆 较好,但不具定向性排列,岩心横切面可见大小不一的砂屑颗粒。

O₂y 以隐藻泥晶灰岩、砂屑灰岩、生物格架岩、生屑灰岩和生屑泥晶灰岩为主。隐藻泥晶灰岩发育 在 O₂y 底部。砂屑灰岩砂屑颗粒磨圆较好。岩心显示裂缝比较发育,密度约为 8 条/m。108.3~ 118.2m 岩性为生物格架岩(图 3 (b)),在厚约 10m 的地层中发育了大量的生物格架,岩心观察骨架 占岩心体积的 50%以上,且形态保存十分完整,主要为瓶框石、藻类等,部分生物体腔被亮晶方解石 充填。76.6~108.3m 发育生屑灰岩,结构组分主要为生屑颗粒。沿层界面、缝合线和生物潜穴发生白 云岩化作用(图 3 (c))。硅质团块呈不规则浅白色团块状分布(图 3 (d))。生屑泥晶灰岩对应深度 71.54~76.6m,岩心没有明显的结构构造特征,仅在局部见弱的白云岩化作用。

Q₃t 岩性主要为紫红色生屑泥晶灰岩(图 3 (e)),夹薄层泥晶生屑灰岩,生屑含量与 Q₂y 相比明显减少。 Q₃1 对应深度 60~62.4m,主要发育生屑泥晶灰岩,生屑含量进一步减少,泥质条带极其发育(图 3 (f))。



(d) 硅质团块

(e) 紫红色生屑泥晶灰岩

(f) 泥质条带

图 3 典型岩心照片

6 电成像测井岩性解释

制约井壁电成像测井岩性解释精度的因素有仪器的分辨率、地层综合条件的响应和岩心标定的准确 性。井壁电成像测井的仪器分辨率是固定的,该井长井段的取心极大程度地避免了岩心标定的误差。因 此地层综合条件的响应是影响图像岩性解释精度的唯一因素。

图科1井为碳酸盐岩露头取心井,取心过程井壁未发生垮塌,岩石的矿物成分主要为方解石,因此 不同岩石类型在井壁图像上表现出来的特征差异主要与岩石的结构组分有关,可以通过建立岩石结构组 分与井壁图像之间的响应关系,达到建立不同碳酸盐岩岩石类型与井壁图像之间的对应关系。研究显 示,沉积构造和储集空间等对于碳酸盐岩井壁电成像测井岩性解释影响不大。基于上述研究思路,以碳 酸盐岩结构组分为主控因素,分析不同岩性对应的图像特征及其成因机理。图像特征模式术语采用耿会 聚等^[7]提出的术语表述方式。

6.1 泥晶灰岩

泥晶灰岩主要发育 在该井 OL2 v 的中上部 和 O₂ v 的中部,属于滩 间海沉积类型。岩心发 育水平层理, 単层(
纹 层)厚度基本无变化。 顺纹层界面普遍发育微 弱的压溶现象。岩石结 构组分主要为泥晶方解 石。成像测井图像特征 表现为规则的明暗相间 带状模式,亮暗条带复 式叠置: 单条亮色或暗 色条带厚度基本不变; 单条亮色条带代表一个 纹层内部沉积, 为泥晶 方解石背景下的图像显 示,其相邻的暗色条带 为纹层(层)界面,代 表弱压溶背景下的泥质 顺层充填(见图4)。 图像表面"干净", 整 体为高阻特征。

6.2 隐藻泥晶灰岩

隐藻泥晶灰岩发 育在 O₁₋₂ y 中下部和 O₂ y 底部,属于灰泥







图 5 隐藻泥晶灰岩

丘丘翼或丘核沉积。岩石结构组分主要为泥晶方解石。隐藻泥晶灰岩对应 2 种典型的成像测井特征模式:①亮暗斑组合模式;②不规则组合带状模式。亮暗斑组合模式特征,镜下薄片可见细小的内碎屑和 生屑散布在岩石中,图像表面不均一,整体呈"粘结状"特征。带状模式下岩石结构组分相对单一,未 见或少见生屑颗粒,成像测井图像整体呈"丝带状"特征(图 5)。隐藻在岩心中不易观察,而该类岩 性在井壁电成像测井中具有相应的特征模式,显示了电成像测井在碳酸盐岩岩性识别中的一个优势。 6.3 砂屑灰岩

砂屑灰岩主要分布在 O₁₋₂y 的中上部,为台内滩沉积环境。未见典型沉积构造特征。结构组分以砂 屑颗粒为主,分选、磨圆较好。填隙物以亮晶方解石为主,也可见泥亮晶方解石、灰泥。成像测井图像 特征模式主要有 2 种:①不规则组合带状模式(图 6 (a)、(b));②块状模式(图 6 (c))。带状特征模 式,单条条带厚度横向变化,亮色条带边缘呈锯齿状变化,这种锯齿状变化是由于砂屑颗粒组分的存 在,使得层(纹层)界面存在凹凸起伏产生的;图像颜色亮度较高,表明对应的岩石电阻率高。块状模 式动态图像均一,内部鲜有层状特征,整体呈"块状"。值得注意的是,不同图像特征模式响应下的砂 屑灰岩,可以很好地指示沉积时的古水动力强弱,图 6 (a)、(b)、(c)代表的古水动力依次增强。薄 片资料显示,图 6 (a)填隙物主要为灰泥和亮晶方解石,图 6 (b)填隙物中亮晶方解石含量增加,灰 泥含量减少,图 6 (c)填隙物主要为亮晶方解石;相应的特征模式由不规则组合带状模式(更趋向泥 晶灰岩图像特征模式)向近似于亮暗斑模式(更趋向于生屑灰岩图像特征模式)、块状模式转变。块状 模式背景下发育的大量的构造裂缝与岩心存在很好的相关性。



图 6 砂屑灰岩图像特征模式

6.4 生屑灰岩

生屑灰岩发育在 O₂y 和 O₃t 下部,属于台内生屑滩沉积。岩石结构组分以生屑为主(棘屑、藻类 和少量三叶虫等),填隙物主要是灰泥,可见亮晶方解石。白云岩化和硅化作用在 O₂y 中上部比较发 育。白云岩化沿层界面、生物潜穴和缝合线分布。生屑灰岩的典型成像测井特征模式为亮暗斑组合模式 (图 7)。推测亮的斑块可能是生屑颗粒和硅质团块共同作用的结果,由于斑块不存在暗色边缘^[28],因此 更可能指示生屑灰岩的存在。蜂窝状的暗色斑点可能与白云岩化有关。

生物格架岩发育在 O₂v 中部,属于生物礁礁核沉积 环境。大量学者对该套地层 O₂y 露头区进行过研 究^[29~33]。造礁生物主要是瓶 框石和藻类等,骨架保存完 整。生物体腔被亮晶方解石 充填。成像测井典型特征模 式为不规则亮斑组合模式 (图 8)。亮色斑块边缘凹凸 接触, 单个斑块内部颜色不 均一,局部见暗色斑点。图 像整体呈"堆砌"状。分析 认为, 生物格架岩和生屑灰 岩的图像特征模式不同,其 主要原因是前者属于原地造 礁生物生长, 生物格架没有 经历后期搬运,骨架和填隙 物都较好地保存了原始的沉 积形态;而生屑灰岩中的生 屑颗粒更多地属于异地沉积, 长距离的搬运,改变了原始 的生物骨架形态,同时填隙 物成分也发生了相应的变化。

6.6 生屑泥晶灰岩

生 屑 泥 晶 灰 岩 发 育 在 O₃l 和 O₃t 上部, 沉积环境 为台内滩低能滩。结构组分



图 8 生物格架岩图像特征模式

主要为泥晶方解石,生屑颗粒散布其中。生屑主要为棘屑、介形虫和三叶虫等。从 O₂y 向 O₃t 生屑含 量逐渐减少。生屑泥晶灰岩成像测井特征模式为规则组合带状模式(图 9 (a))。O₃1 广泛发育顺层的泥 质条带,影响图像岩性特征的解释,图像呈不规则组合带状模式(图 9 (b)),条带之间凹凸接触,见 "火焰状"特征,与岩心具有很好的对应性。需要注意的是,图 9 (b)不属于该岩性下的典型特征模 式。该段生屑泥晶灰岩特征模式更倾向于泥晶灰岩的图像特征,但是通过图像微细结构的对比可以看 出,泥晶灰岩成像测井图像表面更加"干净"。

7 结论

围绕图科1井开展了区域地质调查、选井位、露头钻井、全井段露头取心、不同系列的综合地球物 理测井作业以及后期的实验室分析测试,采集了大量详实可靠的地层信息。通过上述工作建立了露头、 井下岩心和测井响应"三位一体"的碳酸盐岩缝洞储层认识的"铁柱子"。利用岩心、薄片精细标定下 的井壁电成像测井图像分析了该井不同岩性成像测井图像特征及其差异的影响因素。

1) 仪器分辨率、地层综合条件的响应和岩心深度归位的误差是制约井壁电成像测井岩性解释精度
 的主要原因。图科1井成像测井岩性解释精度主要受控于地层综合条件的响应。



图 9 生屑泥晶灰岩

2)碳酸盐岩结构组分、岩性与井壁电成像测井之间具有很好的对应关系,是进行井壁电成像测井 碳酸盐岩岩性解释的根本。

3)不同的碳酸盐岩岩性具有自身的成像测井图像特征:泥晶灰岩为规则组合带状特征;隐藻泥晶灰岩主要表现为"粘结状"和"丝带状"特征;砂屑灰岩为"块状"特征和不规则组合带状特征;生物格架岩为杂乱的"堆砌状"特征;泥晶生屑灰岩为断续带状背景下的亮暗斑模式;生屑泥晶灰岩表现为规则组合带状模式,但是不同于泥晶灰岩的图像特征,其图像颜色不均一。

4) 生物格架岩和生屑灰岩同属生物钙质骨架堆积,但是由于前者属于原地生长,后者倾向于异地 沉积,因此二者的井壁电成像测井图像差异较大。

5)图科1井岩心描述表明,O₂y露头区O₁₋₂y岩性以泥晶灰岩、隐藻泥晶灰岩和砂屑灰岩为主; O₂y以隐藻泥晶灰岩、砂屑灰岩、生物格架岩、生屑灰岩和生屑泥晶灰岩为主;O₃t以生屑灰岩和生屑 泥晶灰岩为主;O₃1下段以生屑泥晶灰岩(瘤状灰岩)为主。

感谢塔里木油田勘探开发研究院郭秀丽和信毅高工对文章内容的指点;感谢西南石油大学王振宇老师提供的部分岩心照片;同时感谢项目组孙艳慧和王迪师弟对部分图件的清绘。

[参考文献]

- [1] Halbouty M T. Giant oil and gas fields of the decade 1990~1999 [M]. Tulsa: AAPG, 2003.
- [2] 谢锦龙,黄冲,王晓星.中国碳酸盐岩油气藏探明储量分布特征 [J].海相油气地质,2009,14 (2):24~30.
- [3] 张兵,郑荣才,刘合年,等.土库曼斯坦萨曼杰佩气田卡洛夫阶-牛津阶碳酸盐岩储层特征 [J].地质学报,2010,84 (1):117~ 126.
- [4] 顾家裕. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩岩溶储层特征及形成模式 [J]. 古地理学报, 1999, 1 (1): 54~60.
- [5] Ekstrom M P, Dahan C A, Chen M Y, et al. Formation imaging with microelectrical scanning arrays [J]. Log Anal, 1986, 28: 294~306.
- [6] Nurmi R, Charara M, Waterhouse M, et al. Heterogeneities in carbonate reservoirs: detection and analysis using borehole electrical imagery [A]. Hurst A. Geological applications of wireline logs [C]. London: Geological Society of London Special Publication, 1990.
- [7] 耿会聚,王贵文,李军,等.成像测井图像解释模式及典型解释图版研究 [J]. 江汉石油学院学报,2002,24 (1):26~29.

• 24 •

- [8] Trevor W, Carlos P. FMS images from carbonates of the Bahama Bank Slope, ODP Leg 166: Lithological identification and cyclostratigraphy [A]. Mike L. Borehole Imaging: applications and case histories [C]. London: Geological Society of London Special Publication, 1999.
- [9] Roestenburg J W. Carbonate characterisation and classification from in-situ wellbore images [A]. Proceedings of the indonesian petroleum association. 23rd Annual Convention [C]. Jakarta, 1994-10-04~06.
- [10] Akbar M, Petricola M, Watfa M, et al. Classic interpretation problems: evaluating carbonates [Z]. Schlumberger Oilfield Review 7, 1995.
- [11] Basu T, Dennis R, Basu D, et al. Automated facies estimation from integration of core, petrophysical logs, and borehole images
 [A]. American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting [C]. Houston, 2002-3-10~13.
- [12] Russell S D, Akbar M, Vissapragada B, et al. Rock types and permeability prediction from dipmeter and image logs: Shuaiba reservoir (Aptian), Abu Dhabi [J]. American Association of Petroleum Geologists, 2002, 86: 1709~1732.
- [13] Wang D L, Koningh H, Coy G. Facies identification and prediction based on rock textures from microresistivity images in highly heterogeneous carbonates; a case study from Oman [A]. SPWLA 49th Annual Logging Symposium [C]. Edinburgh, 2008-05-25~28.
- [14] Wilson M E J, Lewis D, Yogi O' K, et al. Development of a Papua New Guinean onshore carbonate reservoir: A comparative borehole image (FMI) and petrographic evaluation [J]. Marine and Petroleum Geology, 2013, 44: 164~195.
- [15] Safinya K A, Le Lan P, Villegas M, et al. Improved formation imaging with extended microelectrical arrays [A]. The Society of Petroleum Engineers, 66th Annual Technical Conference and Exhibition [C]. Dallas, 1991-10-06~09.
- [16] Fontana E, Iturrino G J, Tartarotti P. Depth-shifting and orientation of core data using a core-log integration approach: a case study from ODP-IODP Hole 1256D [J]. Tectonophysics, 2010, 494: 85~100.
- [17] 姚家骅. MAXIS系统: 描述储层特征的成像技术 [J]. 地球物理测井, 1991, 15 (3): 209~214.
- [18] 张宸,陈光辉,刘江龙,等.5700 测井系统 3514XA 遥测仪 [J].仪器设备,2004,18 (4):39~41.
- [19] 汤天知. EILog 测井系统技术现状与发展思路 [J]. 测井技术, 2007, 31 (2): 99~102.
- [20] 常文会, 江明. EECELL2000 [测井系统 [J]. 石油仪器, 2008, 22 (3): 21~24.
- [21] 贾文玉,田素月,孙耀庭.成像测井技术与应用 [M].北京:石油工业出版社,2000.
- [22] Allerton S A, McNeill A W, Stokking L B, et al. Structures and magnetic fabrics from the lower sheeted dike complex of Hole 504 B reoriented using stable magnetic remanence [A]. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, vol. 137 [C]. US: Ocean Drilling Program, 1995; 245~252.
- [23] MacLeod C J, Parson L M, Sager W W. Reorientation of cores using the Formation MicroScanner and Borehole Televiewer: application to structural and paleomagnetic studies with the Ocean Drilling Program [A]. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, vol. 135 [C]. US: Ocean Drilling Program, 1994: 301~312.
- [24] Mathis B, Haller D, Ganem H, et al. Orientation and calibration of core and borehole image data [A]. Society of Professional Well Log Analysts 36th Annual Logging Symposium [C]. Paris, 1995-06-26~29.
- [25] Paulsen T S, Wilson T J, Moos D, et al. Orientation of CRP-2A core, Victoria Land Basin, Antarctica [J]. Terra Antart, 2000, 7 (3): 271~278.
- [26] Agrinier P, Agrinier B. A propos de la connaissance de la profondeur a laquelle vos echantillons sont collectes dans les forages [J]. Cr Acad Sci II, 1994, 318 (12): 1615~1622.
- [27] Haggas S L, Brewer T S, Harvey P K, et al. Relocating and orientating cores by the integration of electrical and optical images: a case study from ocean drilling program hole 735B [J]. J Geol Soc Lond, 2001, 158 (4): 615~623.
- [28] 蔡希源.现代测井技术应用典型实例 [M].北京:中国石化出版社,2009.
- [29] 顾家裕,张兴阳,罗平,等.塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征 [J].石油与天然气地质,2005,26 (3):277~ 283.
- [30] 李越,王建坡,沈安江,等.新疆巴楚中奥陶统上部一间房组瓶筐石礁丘的演化意义 [J].古生物学报,2007,46 (3):347~ 354.
- [31] 沈安江,郑剑锋,顾乔元.塔里木盆地巴楚地区中奥陶统一间房组露头礁滩复合体储层地质建模及其对塔中地区油气勘探的启示 [J].地质通报,2008,27 (1):137~148.
- [32] 焦养泉,荣辉,王瑞,等. 塔里木盆地西部一间房露头区奥陶系台缘储层沉积体系分析 [J]. 岩石学报,2011,27 (1):285~296.
- [33] Jiao Y Q, Wu L Q, Rong H, et al. Paleoecology of the Ordovician reef-shoal depositional system in the Yijianfang outcrop of the Bachu Area, west Tarim Basin [J]. Journal of Earth Science, 2012, 23 (4): 408~420.