

成像测井在台缘斜坡礁滩微相研究中的应用

——以土库曼斯坦阿姆河右岸中部卡洛夫阶—牛津阶为例

田雨^{1,2}, 张兴阳², 朱国维¹, 张宏伟²,
吴蕾³, 张良杰², 郭同翠², 尉晓玮², 杨钰⁴

(1 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院; 2 中国石油勘探开发研究院)
(3 中国石油(土库曼斯坦)阿姆河天然气公司; 4 中国石油渤海钻探工程公司第一录井分公司)

摘要 以成像测井资料为基础,开展了土库曼斯坦阿姆河右岸中部的中上侏罗统卡洛夫阶—牛津阶台缘斜坡礁滩沉积微相研究。首先利用岩心、薄片等资料对成像测井进行标定,在成像测井上识别出障积礁、粘结丘、高能生物碎屑滩、低能生物碎屑滩、低能砂屑滩、礁(滩)间和斜坡泥等7种沉积微相。然后通过对不同类型沉积微相的成像测井响应特征进行研究,建立了研究区碳酸盐岩成像测井相模式,主要包括亮斑相、暗斑相、低阻交错层状相、低阻变形层状相、互层相、块状相等6类,并以此为依据进行了连续的单井成像测井相划分与沉积微相解释。最后对沉积微相与储层物性关系进行了研究,认为研究区卡洛夫阶—牛津阶储层主要为裂缝-孔隙型礁滩储层,有利于储层发育的沉积微相主要为高能生物碎屑滩、低能砂屑滩、障积礁、低能生物碎屑滩和粘结丘,礁(滩)间和斜坡泥微相的岩性相对较致密,储层一般不发育。

关键词 土库曼斯坦; 阿姆河右岸; 沉积微相; 测井相; 成像测井

中图分类号: TE122.2 **文献标识码**: A

1 引言

随着测井技术的不断发展,测井资料(尤其是目前较为普遍的常规测井和成像测井资料)已被广泛应用于识别岩性与沉积相(岩相)研究,在油气勘探与开发中发挥着越来越重要的作用。由于不同类型岩石及其组合的常规测井响应特征(如测井参数值、曲线形态、曲线幅度等)存在明显的差异,因此常规测井资料能够对碎屑岩、蒸发岩、火成岩及变质岩等岩石类型及沉积相(岩相)进行有效的识别^[1-7]。但是常规测井资料在碳酸盐岩的岩性与沉积相研究中使用较少,其原因在于通过常规测井参数值的差异虽然能够有效地区分白云岩与石灰岩这两类岩性^[8],但是对于石灰岩,特别是各种类型的礁滩相石灰岩,由于它们的常规测井响应特征差异较小,造成识别效果相对较差。而成像测井由于具有纵向分辨率高、井眼覆盖范围大等特点,所以,通过利用井筒成像能够清晰、直观地反映出细微的沉积构造、岩石

类型、颗粒类型以及储集空间等特征差异。成像测井资料在碎屑岩^[9-12]、碳酸盐岩^[13-19]、蒸发岩^[20-21]及火山岩^[22-23]等不同岩石类型识别及沉积相(岩相)研究中已经取得了较好的效果。

勘探实践表明,土库曼斯坦阿姆河右岸中部地区卡洛夫阶—牛津阶为台缘斜坡相沉积^①,斜坡内部发育的礁滩体为区内最重要的勘探目标。当前沉积相带的平面展布特征已大致清楚,但沉积微相的纵向展布规律还不十分明确,迫切需要对全井段碳酸盐岩沉积微相进行深入研究,以寻找优质礁滩储层。本文在系统调研前人研究^[24-27]的基础上,结合阿姆河右岸台缘斜坡礁滩沉积微相特点,以区内15口钻井(井位分布见图1)的成像测井、岩心以及200余片薄片资料为基础,开展了成像测井沉积微相识别研究。通过综合利用岩心和薄片等资料对成像测井进行标定,对不同类型沉积微相的成像测井响应特征进行分析,建立了阿姆河右岸中部地区卡洛夫阶—牛津阶碳酸盐岩成像测井相模式,并将其运用到单

收稿日期: 2015-03-13; 改回日期: 2015-12-08

本文受国家重大科技专项“中亚地区含气盆地成藏规律与勘探技术”(编号 2011ZX05029-003)与中国石油集团公司科学研究与技术开发项目“阿姆河右岸盐下天然气分布规律与区带评价”(编号 2013D-0904)联合资助

田雨: 1985年生,2010年毕业于长江大学,获硕士学位,现为中国矿业大学(北京)在读博士研究生,主要从事沉积、层序及储层相关研究工作。通讯地址: 100083 北京市海淀区学院路20号; E-mail: jilintianyu06@163.com

① 张兴阳,等. 土库曼斯坦巴格德雷合同区卡洛夫—牛津阶沉积相研究[R]. 北京中油锐思技术开发有限责任公司, 2013.

井连续的成像测井相划分与对应的沉积微相解释当中,弥补了取心数量有限及常规测井资料对礁滩相石灰岩的岩性变化不敏感等沉积微相研究中的不足,以期研究区下一步的天然气管道开发提供地质依据,同时为类似沉积背景下的碳酸盐岩沉积微相划分提供参考。

2 地质概况

阿姆河右岸区块目前已发现了多个气田,其中部分气田已进入全面开发阶段。该区块自西北向东南可进一步划分为查尔朱隆起、坚基兹库尔隆起、卡拉别克坳陷、桑迪克雷隆起、别什肯特坳陷和基萨尔山前冲断带等6个构造单元(图1),本文研究区位于阿姆河右岸区块的中部。

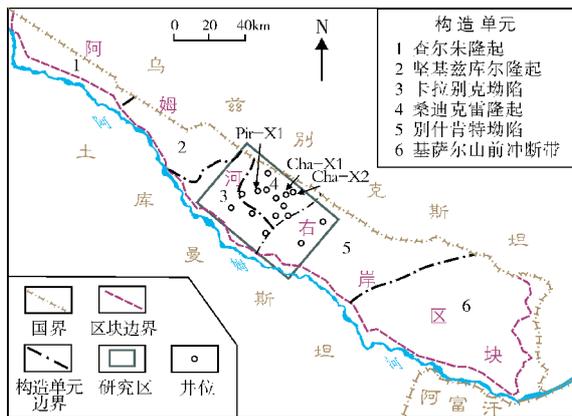


图1 阿姆河右岸构造单元划分及研究区位置图

研究区的地层自下而上可分为基底、过渡层和沉积盖层三个层系^[28-29],其中基底由古生界火山岩和变质岩组成;基底之上为二叠系—三叠系陆源碎屑岩为主的过渡层;沉积盖层为中新界侏罗系、白垩系、古近系、新近系及第四系碎屑岩、碳酸盐岩和蒸发岩等。阿姆河右岸侏罗系有着良好的生储盖组合,中下侏罗统海陆交互相含煤碎屑岩厚度巨大,是本区主要的烃源岩层^[30];中上侏罗统卡洛夫阶—牛

津阶礁滩相碳酸盐岩物性条件好,是主力产层;上侏罗统钦莫利阶大套的膏盐岩层直接覆盖在卡洛夫阶—牛津阶之上,厚度可达1 400 m,为阿姆河右岸最主要的区域性盖层。

3 成像测井相标定

研究区卡洛夫期—牛津期为碳酸盐台缘斜坡沉积环境,可进一步划分为生物礁(丘)、颗粒滩、礁(滩)间、斜坡泥等亚相,以及障积礁、粘结丘(包括叠层石和凝块石)、高能生物碎屑滩、低能生物碎屑滩、低能砂屑滩、礁(滩)间、斜坡泥等微相(表1)。本文首先利用岩心和薄片等资料识别出的沉积微相相对成像测井进行标定(图2),从而将不同类型的沉积微相转化为在成像测井上能够识别的测井相,并且对不同类型沉积微相的成像测井相特征进行总结。

障积礁 岩石类型主要为障积礁灰岩,由造礁生物阻挡灰泥及碳酸盐颗粒等堆积而成。研究区造礁生物主要为苔藓虫和海绵等。水体能量相对较强。生物格架孔和体腔孔组成主要的储集空间。静态成像测井图上显示为暗黄色的中低阻反射特征。动态成像测井图上表现为亮斑状反射特征。亮色斑块块体较大,主要为造礁生物骨架碎块。暗色斑点主要为骨架间孔隙(图2a)。

粘结丘 在研究区低能环境中普遍发育,由蓝、绿藻等粘结生物碎屑、砂屑、灰泥等形成。根据藻类粘结作用的组构特征,分为叠层石和凝块石两种。储集空间主要为窗格孔。其中,叠层石具有明显的隐藻纹层构造,静态成像测井图上显示为暗色的低阻反射特征。动态成像测井图上表现为明暗相间的层状反射特征。富藻的有机纹层为暗色,贫藻的石灰岩层为亮色(图2b)。而凝块石没有明显的隐藻纹层构造,静态成像测井图上显示为黄色的中阻反射特征。动态成像测井图上表现为斑块状反射特征,富藻岩块为暗色,贫藻的石灰岩为亮色(图2c)。

表1 阿姆河右岸中部地区沉积微相类型

沉积相	台 缘 斜 坡						
亚 相	生物礁(丘)		颗 粒 滩			礁(滩)间	斜坡泥
微 相	障积礁	粘结丘	高能生物碎屑滩	低能生物碎屑滩	低能砂屑滩	礁(滩)间	斜坡泥
岩石类型	障积礁灰岩	叠层石、凝块石	亮晶生物碎屑灰岩	泥晶生物碎屑灰岩	泥晶砂屑灰岩	泥晶灰岩 含生物碎屑泥晶灰岩	泥质灰岩

高能生物碎屑滩 是研究区较少见的沉积微相。岩石类型主要为亮晶生物碎屑灰岩,局部含砂屑。颗粒之间为亮晶方解石胶结。生物类型主要为有孔虫、棘皮类、双壳类、腕足、介形虫等。主要发育于水体能量较强的高能沉积环境。残余原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔及铸模孔等组成主要的储集空间。静态成像测井图上显示为亮黄色的中高阻反射特征。动态成像测井图上显示为块状背景下的斑点状反射特征。暗色斑点非常发育,大多为溶蚀孔洞,显示出良好的物性特征。亮色斑块主要为生物碎屑、砂屑颗粒等(图2d)。

低能生物碎屑滩 是研究区颗粒滩的主要微相类型,岩石类型主要为泥晶生物碎屑灰岩。生物主要为有孔虫、腕足、介形虫、棘皮类、放射虫等,颗粒之间为泥晶方解石胶结,反映了水体能量相对较低的沉积环境。储集空间主要为粒间溶孔、粒内溶孔及铸模孔等。根据成像测井响应特征分为层状和斑状两种。其中,层状低能生物碎屑滩在静态成像测井图上显示为以黄色为主的中阻反射特征。动态成像测井图上可见明显的泥质条带,由于受到沉积压实及后期成岩作用等影响,多数泥质条带被破坏,因此动态成像测井图上暗色的低阻条纹呈断续状反射特征,亮色条带为较纯净的石灰岩(图2e)。斑状低能生物碎屑滩在静态成像测井图上整体为黄色的中阻反射,局部含泥质较重则呈暗色的低阻反射特征。动态成像测井图上则显示为明暗相间的斑点状反射特征(图2f)。与高能生物碎屑滩相比,斑点相对较小,暗色斑点以泥粒为主,含少量的溶蚀孔洞,亮色斑点主要为较纯净的石灰岩。

低能砂屑滩 岩石类型主要为泥晶砂屑灰岩,砂屑颗粒大小一般介于0.05~2mm之间,多呈次圆—圆状,颗粒之间为泥晶方解石胶结。发育粒内溶孔、粒间溶孔及铸模孔等。静态成像测井图上显示为亮黄色的中高阻反射特征。动态成像测井图上显示为块状背景下的亮斑状反射特征,亮斑块体较大,为砂屑颗粒。暗色斑点主要为泥粒及少量的粒间孔隙(图2g)。

礁(滩)间 位于礁滩之间相对低洼、沉积环境水体能量较低的地带。岩石类型主要为泥晶灰岩,局部含少量生物碎屑,岩性致密,孔隙度较低。静态成像测井图上显示为亮黄色的中高阻反射特征。动态成像测井图上为块状反射特征(图2h)。

斜坡泥 位于卡洛夫阶—牛津阶底部,为碳酸盐岩初始建造阶段的产物。岩石类型主要为泥质灰岩。沉积环境水体能量低,岩性致密,孔隙度极低。静态成像

测井图上表现为暗色低阻与亮黄色中高阻互层的反射特征。动态成像测井图上显示为明暗相间的互层状反射特征。暗色为泥质条带,亮色为较纯净的石灰岩。

4 成像测井相模式及应用

结合前人相模式研究结果^[13,15-16,18-19],通过对不同类型沉积微相成像测井相特征进行分析,建立了研究区中上侏罗统卡洛夫阶—牛津阶碳酸盐岩成像测井相模式,主要包括亮斑相、暗斑相、低阻变形层状相、低阻交错层状相、互层相、块状相等6大类(图3),并在该模式的指导下对单井进行了连续的成像测井相划分及对应的沉积微相解释。

成像测井相	亮斑相	亮斑相	暗斑相
成像动态图			
相模式			
沉积微相	障积礁	低能砂屑滩	粘结丘(凝块石)
成像测井相	暗斑相	暗斑相	低阻变形层状相
成像动态图			
相模式			
沉积微相	高能生物碎屑滩	低能生物碎屑滩	低能生物碎屑滩
成像测井相	低阻交错层状相	互层相	块状相
成像动态图			
相模式			
沉积微相	粘结丘(叠层石)	斜坡泥	礁(滩)间

图3 阿姆河右岸中部卡洛夫阶—牛津阶测井相模式及沉积微相解释

采用本方法,与岩心资料划分的沉积微相结果相对比,其吻合度可达85%,证实了本方法在碳酸盐岩沉积微相研究中的可行性,满足了无取心段碳酸盐岩沉积微相精细划分的需求。

以Cha-X1井卡洛夫阶下部地层为例,由下至上

成像测井相依次为互层相、低阻变形层状相、暗斑相、块状相、低阻交错层状相、亮斑相等,对应于斜坡泥、低能生物碎屑滩、滩间、粘结丘、障积礁等沉积微相,由下至上石灰岩粒度变粗,组成水体向上变浅的旋回(图4)。

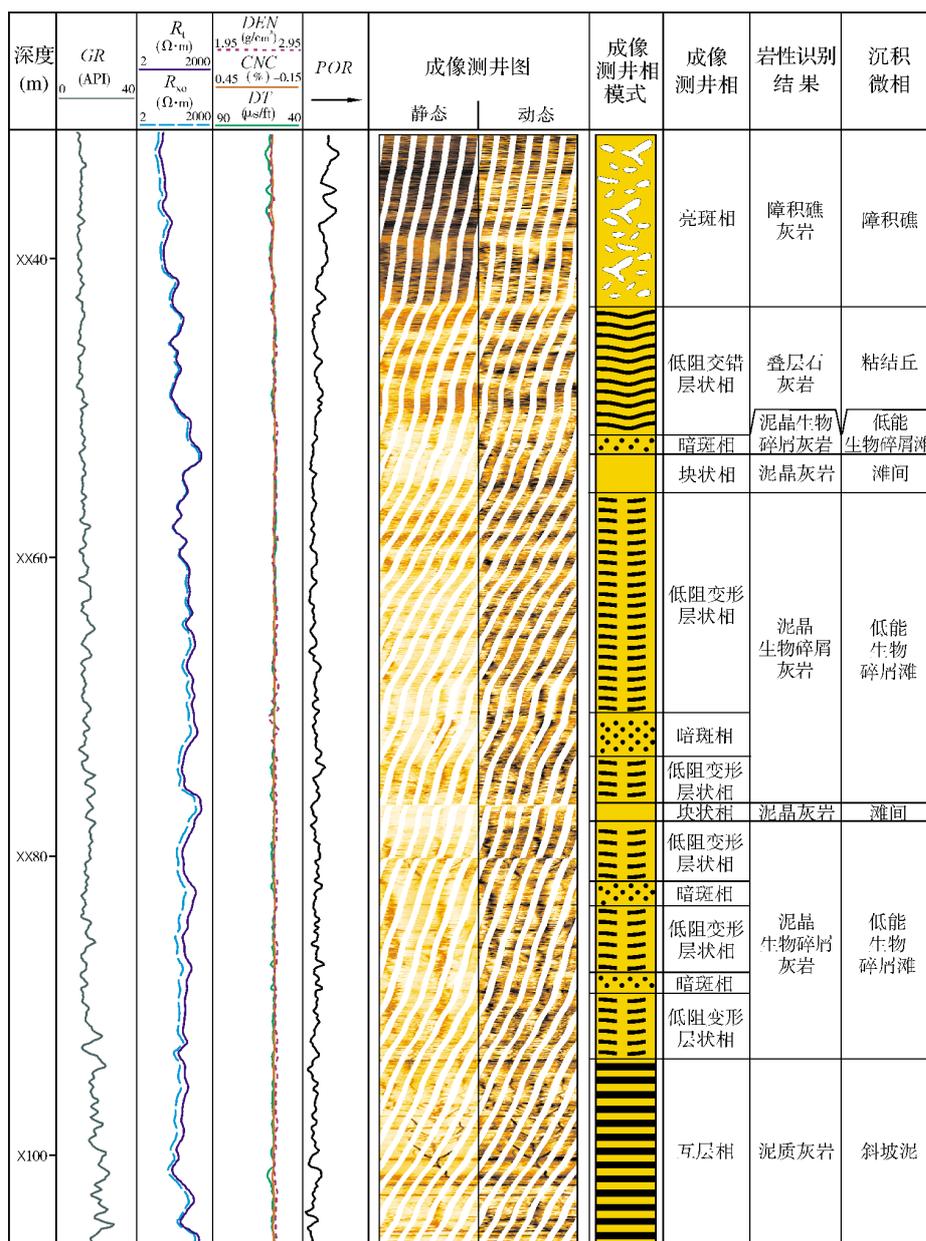


图4 阿姆河右岸中部卡洛夫阶—牛津阶单井测井相—沉积微相综合划分(Cha-X1井)

依据成像测井解释的沉积微相,并利用5口井124个样品的实验室分析数据,结合试油结果,对研究区各沉积微相的物性特征进行了研究,确定了研

究区储层孔隙度下限值为4%。由图5中可以看出,有利于储层发育的沉积微相主要为高能生物碎屑滩、低能砂屑滩、障积礁、低能生物碎屑滩、粘结丘等。其

中高能生物碎屑滩储层物性最好,孔隙度可达10%,但该微相在研究区发育程度较差。研究区常见的储层微相类型主要为障积礁、粘结丘、低能生物碎屑滩及低能砂屑滩等,物性条件相对较好,造礁生物格架孔、体腔孔、粒间溶孔和粒内溶孔等组成主要的储集空间。滩间和斜坡泥微相岩性较致密,孔隙度较低,一般不能作为储层。

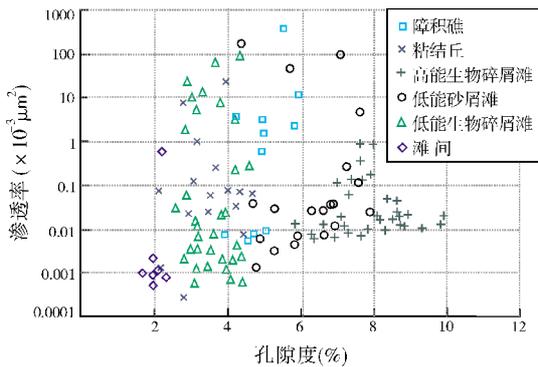


图5 阿姆河右岸中部卡洛夫阶—牛津阶不同类型沉积微相物性特征

5 结论

(1)通过利用岩心、薄片等资料对成像测井进行标定,对不同类型碳酸盐岩沉积微相的成像测井响应特征进行了研究,建立了阿姆河右岸中部地区卡洛夫阶—牛津阶碳酸盐岩成像测井相模式,包括亮斑相、暗斑相、低阻交错层状相、低阻变形层状相、互层相、块状相等6类。

(2)以成像测井相模式为指导,对单井进行连续的成像测井相划分及对应的沉积微相解释,解决了非取心段碳酸盐岩沉积微相研究问题,其结果较为准确,是碳酸盐岩沉积微相划分的一个行之有效的办法。

(3)研究区卡洛夫阶—牛津阶有利储层的主要微相类型是高能生物碎屑滩、障积礁、粘结丘、低能生物碎屑滩及低能砂屑滩。滩间和斜坡泥微相岩性致密,孔隙度较低,一般不能作为储层。

致谢:感谢成都理工大学郑荣才教授以及中国石油勘探开发研究院杨式升老师在薄片鉴定中所做的工作!

参考文献

[1] 郭振华,王璞珺,印长海,等. 松辽盆地北部火山岩岩相与测井关系研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(2):

207-214.
 [2] 付崇清. 辽河油田变质岩潜山测井综合评价[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(5):138-142.
 [3] 刘行军,柳晓燕,成军军,等. 苏里格中西部地区石盒子组盒8段测井相分析[J]. 测井技术,2008,32(6):538-541.
 [4] 冯琼,魏水建. 中上扬子区膏岩盖层的测井识别[J]. 石油实验地质,2011,33(1):100-104.
 [5] 李新虎,王婷茹,郭媛. HSS油田H1储层测井沉积微相研究[J]. 天然气地球科学,2011,22(2):254-259.
 [6] 李健. 南图尔盖盆地地下白垩统河流沉积微相测井识别与地震预测[J]. 测井技术,2013,37(2):209-213.
 [7] Abdel-Fattah M I. Petrophysical characteristics of the Messinian Abu Madi Formation in the Baltim east and north fields, offshore Nile Delta, Egypt[J]. Journal of Petroleum Geology,2014,37(2):183-195.
 [8] 周功才,曹延旭. 塔巴庙区块风化壳岩性及流体类型的测井识别[J]. 天然气工业,2010,30(3):40-43.
 [9] 何小胡,李俊良,李国军,等. 成像测井沉积学研究在南海西部油田的应用[J]. 测井技术,2011,35(4):363-370.
 [10] 崔宏俊,李克永,朱满宏. 成像测井在延长气田上古生界沉积特征分析中的应用[J]. 东华理工大学学报:自然科学版,2013,36(2):210-215.
 [11] 王改云,王嘹亮,刘金萍,等. 利用测井资料研究X区块下白垩统沉积相[J]. 测井技术,2013,37(5):557-561.
 [12] Xu Chunming, Cronin T P, Mcginness T E, et al. Middle Atokan sediment gravity flows in the Red Oak field, Arkoma Basin, Oklahoma: A sedimentary analysis using electrical borehole images and wireline logs[J]. AAPG Bulletin, 2009,93(1):1-29.
 [13] 李多丽,刘兴礼,钟广法,等. 塔中I号坡折带礁滩型储集层沉积微相成像测井解释[J]. 新疆石油地质,2009,30(2):197-200.
 [14] 谢冰,周肖,唐雪萍,等. 四川盆地龙岗地区礁滩型储层有效性评价[J]. 天然气工业,2011,31(7):28-31.
 [15] 吴煜宇,张为民,田昌炳,等. 成像测井资料在礁滩型碳酸盐岩储集层岩性和沉积相识别中的应用——以伊拉克鲁迈拉油田为例[J]. 地球物理学进展,2013,28(3):1497-1506.
 [16] 李宁,肖承文,伍丽红,等. 复杂碳酸盐岩储层测井评价:中国的创新与发展[J]. 测井技术,2014,38(1):1-10.
 [17] 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]. AAPG Bulletin, 2002,86(10):1709-1732.
 [18] Chai Hua, Li Ning, Xiao Chengwen, et al. Automatic discrimination of sedimentary facies and lithologies in reef-bank reservoirs using borehole image logs[J]. Applied Geophysics, 2009,6(1):17-29.
 [19] 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.
- [20] Evans D J, Kingdon A, Hough E, et al. First account of resistivity borehole micro-imaging(FMI) to assess the sedimentology and structure of the Preesall Halite, NW England; Implications for gas storage and wider applications in CCS caprock assessment[J]. Journal of the Geological Society, 2012, 169(5): 587-592.
- [21] Hruska M, Bachtel S, Archuleta B, et al. Evaporite-distribution typing from resistivity images and openhole logs in a Middle Eastern reservoir[J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2012, 15(6): 636-647.
- [22] 刘俊田, 张代生, 黄卫东, 等. 三塘湖盆地马朗凹陷火山岩岩性测井识别技术及应用[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 87-91.
- [23] Tominaga M. "Imaging" the cross section of oceanic lithosphere: The development and future of electrical microresistivity logging through scientific ocean drilling[J]. Tectonophysics, 2013, 608: 84-96.
- [24] 费怀义, 徐刚, 王强, 等. 阿姆河右岸区块气藏特征[J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 13-17.
- [25] 文华国, 宫博识, 郑荣才, 等. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩沉积—成岩系统[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(4): 991-1002.
- [26] 王强, 费怀义, 刘合年, 等. 阿姆河盆地恰什古伊地区卡洛夫—牛津阶储层特征[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(2): 41-48.
- [27] 郑荣才, 陈浩如, 王强, 等. 土库曼斯坦阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶储层特征及控制因素分析[J]. 岩石学报, 2014, 30(3): 779-788.
- [28] 徐文世, 刘秀联, 余志清, 等. 中亚阿姆河含油气盆地构造特征[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(5): 744-748.
- [29] 郭振华, 李光辉, 吴蕾, 等. 碳酸盐岩储层孔隙结构评价方法——以土库曼斯坦阿姆河右岸气田为例[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 459-465.
- [30] 方杰, 徐树宝, 吴蕾, 等. 阿姆河右岸地区侏罗系海相烃源岩生烃潜力[J]. 海相油气地质, 2014, 19(1): 8-18.

编辑: 黄革萍

Application of Imaging Logging in Studying Reef-Bank Microfacies Sediments in Platform Margin Slope: A Case of Callovian-Oxfordian Reservoirs in the Central Part of Right Bank of Amu Darya, Turkmenistan

Tian Yu, Zhang Xingyang, Zhu Guowei, Zhang Hongwei, Wu Lei,
Zhang Liangjie, Guo Tongcui, Yu Xiaowei, Yang Yu

Abstract: Based on the imaging logging data, the Middle-Lower Jurassic Callovian-Oxfordian reef-bank sedimentary microfacies in carbonate platform margin slope are studied in the central part of Right Bank of Amu Darya, Turkmenistan. First, the cores and thin sections are used to calibrate the imaging logging, and seven sedimentary microfacies identified are classified into baffle reef, bond mound, high energy bioclastic bank, low energy bioclastic bank, low energy psammitic bank, inter reef (bank) and slope mud. Then, through the analysis of the imaging logging response characteristics for different sedimentary microfacies, some imaging logging facies models are established, which include bright spot, dark spot, low resistivity interlaced layers, low resistivity deformative layers, interbedded and massive facies. According to these facies models, the continuous logging facies of every single well are divided and the corresponding sedimentary microfacies are interpreted. Finally, the relationship between sedimentary microfacies and reservoir physical properties are analyzed. It is shown that fractured-porous reef-bank reservoirs are common in this area, and the sedimentary microfacies favorable for reservoir development are high energy bioclastic bank, low energy psammitic bank, baffle reef, low energy bioclastic bank and bond mound while the inter-reef (bank), and slope mud microfacies are not favorable for reservoir development for dense lithology.

Key words: Logging facies; Sedimentary microfacies; Imaging logging; Right Bank of Amu Darya; Turkmenistan

Tian Yu: Doctor degree in progress at China University of Mining and Technology(Beijing). Add: 20 Xueyuan Rd., Beijing, 100083, China