

[引著格式] 曹卜丹, 周进高, 李昌, 等. 电成像测井在四川盆地 LWM 组碳酸盐岩滩体识别中的应用 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (1+2): 21~26.

电成像测井在四川盆地 LWM 组碳酸盐岩滩体识别中的应用

曹卜丹 (中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院, 北京 102249)

周进高, 李昌, 张建勇 (中石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023)

王徐辉 (中石化河南石油工程有限公司测井公司, 河南 南阳 473000)

房超 (中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249)

胡高贤 (中国石油集团测井有限公司油气评价中心, 陕西 西安 710077)

[摘要] 四川盆地寒武系龙王庙(LWM)组颗粒滩是优质储层发育的有利区, 测井识别颗粒滩对于预测优质储层具有重要的指导意义。滩体不同部位的储集性质不同, 其测井特征也不相同, 基于电成像测井高分辨率和常规测井信息多样的特点, 建立了一种常规测井曲线与电成像测井的综合识别图版, 对滩体不同部位进行识别, 即通过电成像及岩心对比, 建立典型的滩体综合识别图版。应用结果表明, 该图版法可以很好地指导研究区 LWM 组储层岩性、沉积微相及孔洞识别, 有效克服了多解性问题, 在实际勘探开发生产中起到重要的指导作用。

[关键词] 电成像测井; 四川盆地; 龙王庙(LWM)组; 颗粒滩; 沉积微相; 孔隙类型

[中图分类号] P631.84 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752(2015)01+02-0021-06

目前四川盆地龙王庙(LWM)组勘探取得重大突破, 储层发育受颗粒滩亚相控制^[1]。颗粒滩不同部位的沉积微相不同, 岩性组合差异大, 导致测井识别难度大。据岩心资料统计, 颗粒滩不同部位发育的优质储层类型有所不同, 滩主体多发育Ⅰ类储层和Ⅱ类储层, 而滩翼主要发育Ⅲ类储层。滩体的识别可对储层品质评价提供信息, 故通过测井识别滩体不同部位沉积微相具有重要意义。电成像测井可清晰反映地层岩性和物性变化, 比常规测井方法更精确、直观^[2~6]。其高分辨率的特点(纵向分辨率均为0.2in)足以辨别细砾岩的粒度和形状, 井眼覆盖率高(6in井眼中覆盖率可达85%), 动态图像解释可以近似岩心描述^[7~9]。而对于碳酸盐岩储层, 强烈的成岩作用使测量的岩性信息受到一定的干扰, 导致成像测井识别沉积微相具有一定的多解性^[7]。笔者针对川中地区 LWM 组, 基于电成像测井高分辨率和常规测井信息多样的特点, 综合岩心、薄片资料, 建立了一种常规测井曲线与电成像测井的综合识别图版, 对滩体不同部位的岩性、微相和孔隙类型进行识别, 有效克服了多解性问题, 在实际勘探开发生产中起到了重要的指导作用。

1 岩性及物性特征

研究区 LWM 组储层受颗粒滩亚相控制明显^[1]。岩心及薄片数据表明, 颗粒滩发育的主要岩性为颗粒白云岩、晶粒白云岩和斑状白云岩。颗粒白云岩发育残余粒间孔及粒间溶孔, 平均孔隙度 3.50%, 平均渗透率 0.10mD; 晶粒白云岩发育晶间孔和不规则的溶蚀孔洞, 平均孔隙度 5.50%, 平均渗透率 2.0mD; 斑状白云岩储集空间为晶间孔和溶蚀孔洞。岩石因孔隙发育而构成重要的储集岩, 而上述孔隙又共同构成了 LWM 组储集空间的主体。泥晶白云岩中发育裂缝, 起到沟通孔隙的作用, 形成良好的储

[收稿日期] 2014-09-07

[基金项目] 国家科技重大专项(2011ZX05004-002); 中国石油勘探与生产分公司勘探前期研究项目(2012ZD01-02-03)。

[作者简介] 曹卜丹(1989-), 女, 硕士生, 现从事测井资料解释、地质评价及核测井工作, bodan8916@126.com。

渗系统^[1,10~18]。因此,识别颗粒滩亚相对更好地预测LWM组储层具有重要意义。

2 滩体沉积特征分析

颗粒滩是优质储层发育的有利区^[1],但滩体不同部位的储集性质不同,故其不同部位的测井识别对于预测储层非常重要。

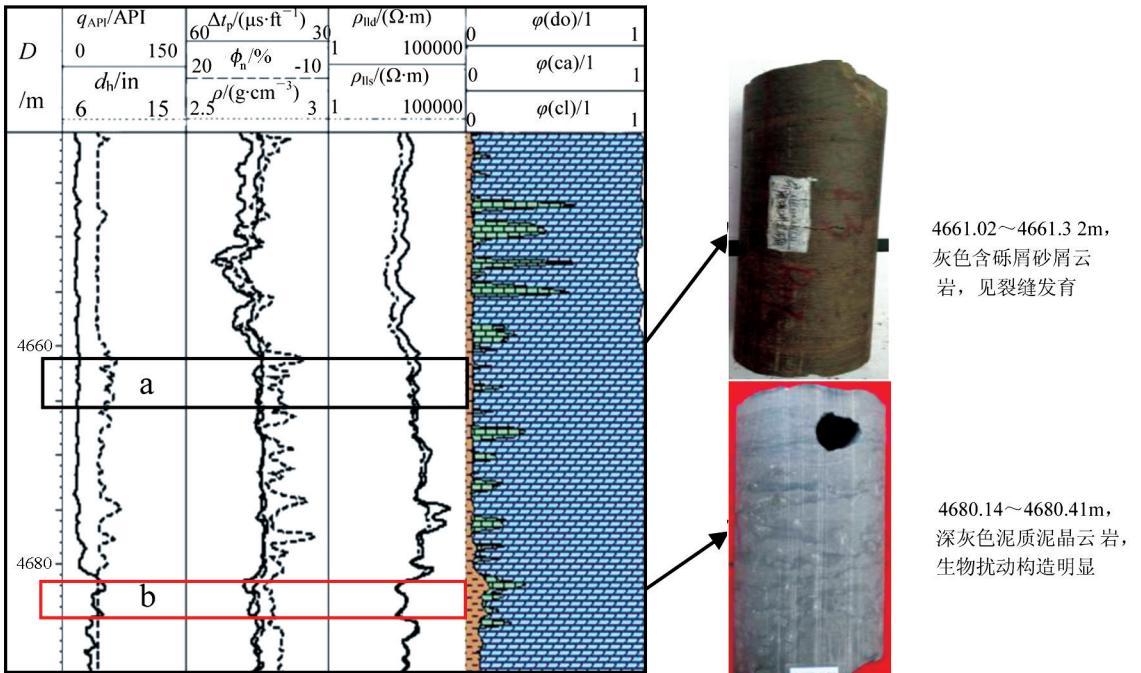
岩心和薄片资料表明,研究区LWM组的沉积相类型主要为颗粒滩和滩间海亚相。根据滩体不同位置发育岩性、构造差异,将颗粒滩亚相进一步划分为滩主体、滩翼和滩间潟湖3个微相(见表1)。

表1 该研究区碳酸盐岩沉积微相类型^[1]

相	亚相	微相	沉积微相特征
内缓坡	颗粒滩	滩主体	缓坡内古地貌高部位,受波浪影响较大,沉积水体能量较高,岩石类型以浅灰色的砂屑白云岩、砾屑白云岩、鲕粒白云岩以及生物碎屑白云岩等颗粒岩为主
		滩翼	分布于滩主体的四周,滩体迎风一侧为前翼,背风一侧为后翼,左右为侧翼。不同滩翼部位的岩性有所不同,总体上由薄层颗粒白云岩与泥晶白云岩互层组成。可见递变层理和交错层理
		滩间潟湖	位于颗粒滩亚相之间,水体较滩间海浅,发育泥-粉晶斑状白云岩,内碎屑含量较少,生物钻孔及生物扰动构造发育
滩间海	滩间海		以细粒沉积物为主,主要由生物扰动泥晶白云岩、含不规则泥质纹层的泥晶白云岩和扁条状泥晶白云岩组成

颗粒滩是沉积水体较浅、能量较高,受潮汐和波浪作用影响,发育多种颗粒岩,如砂屑、砾屑和鲕粒等为主的沉积环境。滩间海位于缓坡内颗粒滩之间,水体深度较滩间潟湖深,较传统意义的潟湖浅,水体环境相对闭塞、安静。

综上所述,研究区LWM组颗粒滩不同位置的沉积微环境不同,沉积岩性组合具有差异。正是这些因素,决定了它们的测井响应特征的不同。图1中a、b处分别为MX1井滩翼和滩间海微相所对应井段。



注: D 为井深; q_{API} 为自然伽马; d_h 为井径; Δt_p 为纵波时差; ϕ_n 为中子孔隙度; ρ 为密度; ρ_{td} 为深侧向电阻率; ρ_{ts} 为浅侧向电阻率; $\phi(do)$ 为白云石体积分数; $\phi(ca)$ 为方解石体积分数; $\phi(cl)$ 为黏土体积分数。下同。

图1 LWM组MX1井测井响应特征

3 滩体测井响应定性分析综合图版

根据研究区 LWM 组电成像测井图像结构特征，把电成像图划分为 4 类：块状、斑状、层状和线状结构^[19~22]。

1) 块状结构 成像图颜色比较均匀，内部纹理或其他结构特征少。

2) 斑状结构 成像图颜色不均匀，为斑块状，背景颜色或深或浅，孤立斑块颜色与背景不同，可根据背景颜色细分。

3) 层状结构 成像图颜色不太均匀，内部纹理和层状构造交替变化，可依据纹理构造的连续性和厚度等因素进一步划分。

4) 线状结构 图形颜色或深或浅，不规则线多见，常见缝合线和高、低角度的裂缝。

通过研究区电成像特征与岩心描述对比标定后，参考四川盆地电成像测井相分类表^[7]

表2 四川盆地电成像测井相分类表^[7]

电成像测井类型		典型电测井图像模式	简要地质解释
大类	小类		
块状	高阻块状		致密层
	低阻块状		泥质层，泥质白云岩
斑状	高阻斑状		致密层，孤立孔
	低阻斑状		泥晶白云岩 溶孔发育
层状	高阻薄互层		沉积环境 从低能向高能
	高低阻薄互层		
	高阻厚层夹低阻薄层		
	高阻薄层夹低阻厚层		
线状	高阻线状		闭合裂缝
	低阻线状		开启裂缝
			缝合线构造

(表 2)，建立了研究区滩体电成像综合解释图版(图 2~5)。

针对滩体的测井响应差异，该次研究采取常规测井曲线与电成像测井相结合的识别方法，参考岩心和镜下薄片，根据岩心描述沉积微相与其对应关系，制作了 4 个典型的滩体沉积微相综合测井识别图版。

1) 滩主体微相 岩性主要为(斑状)砂屑(细粉晶)白云岩，常规测井曲线上的特征主要为低 q_{API} ，中 ρ 、 ϕ_n 、 Δt_p ，中电阻率，且 $\rho_{ld} > \rho_{ls}$ 。电成像图以棕橙色为主，低阻斑杂块状模式，斑杂带为溶蚀孔洞发育段，或见缝合线构造，在电成像动态图中能够很好地识别出其特征。孔隙类型主要为裂缝-孔洞型。滩主体微相在 MX2 井岩心和 MX3 井薄片上也有很好的显示(图 2)。

2) 滩翼微相 岩性主要是含砂屑(砾屑)(泥)粉晶白云岩，常规测井曲线特征为低 q_{API} ，高 ρ ，中 ϕ_n 、 Δt_p ，中电阻率，且 $\rho_{ld} > \rho_{ls}$ 。电成像图显示棕橙色为主，纹层状、块状互层模式，或见缝合线构造。孔隙类型主要为裂缝-孔隙型。滩翼微相在 MX1 井岩心和 MX3 井薄片上也有很好的呈现(图 3)。

3) 滩间潟湖微相 岩性以斑状、含粉屑泥晶白云岩及粉晶白云岩为主，常规测井特征为低 q_{API} 、 ρ ，中 Δt_p 、 ϕ_n ，高电阻率，且 $\rho_{ld} > \rho_{ls}$ 。电成像图以棕色为主，高阻块状特征，孔隙类型主要为裂缝-孔

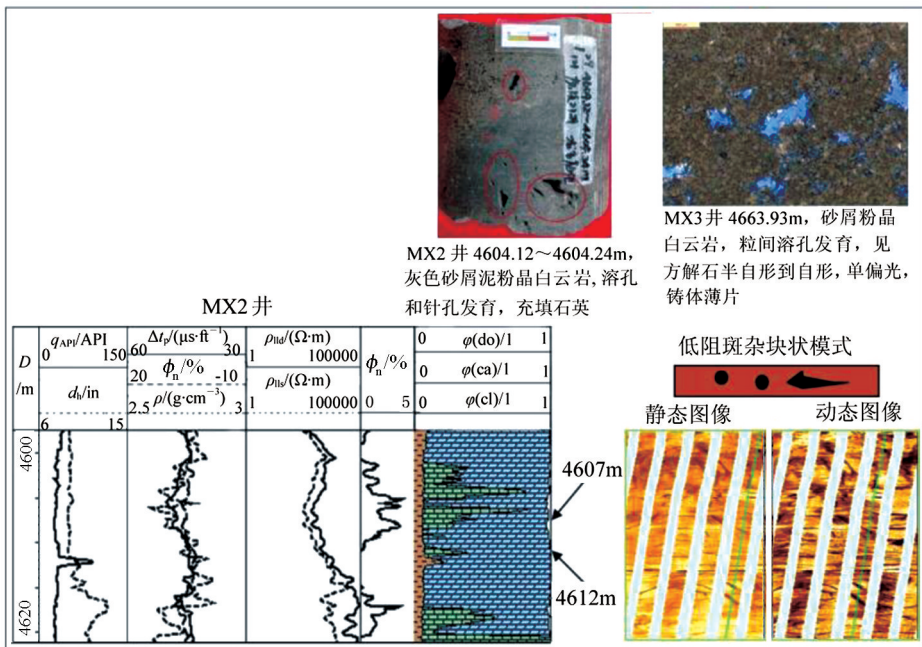


图 2 研究区 LWM 组滩主体微相电成像解释图版

隙型。在MX2井岩心及薄片上均可验证滩间潟湖微相的测井响应特征(图4)。

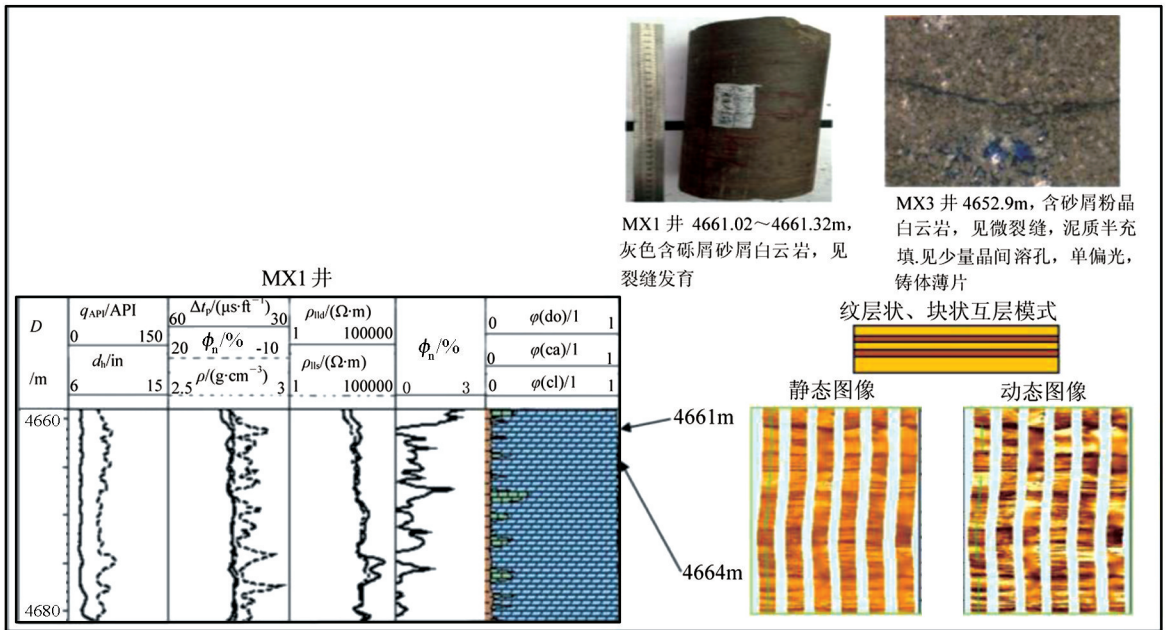


图3 研究区LWM组滩翼微相电成像解释图版

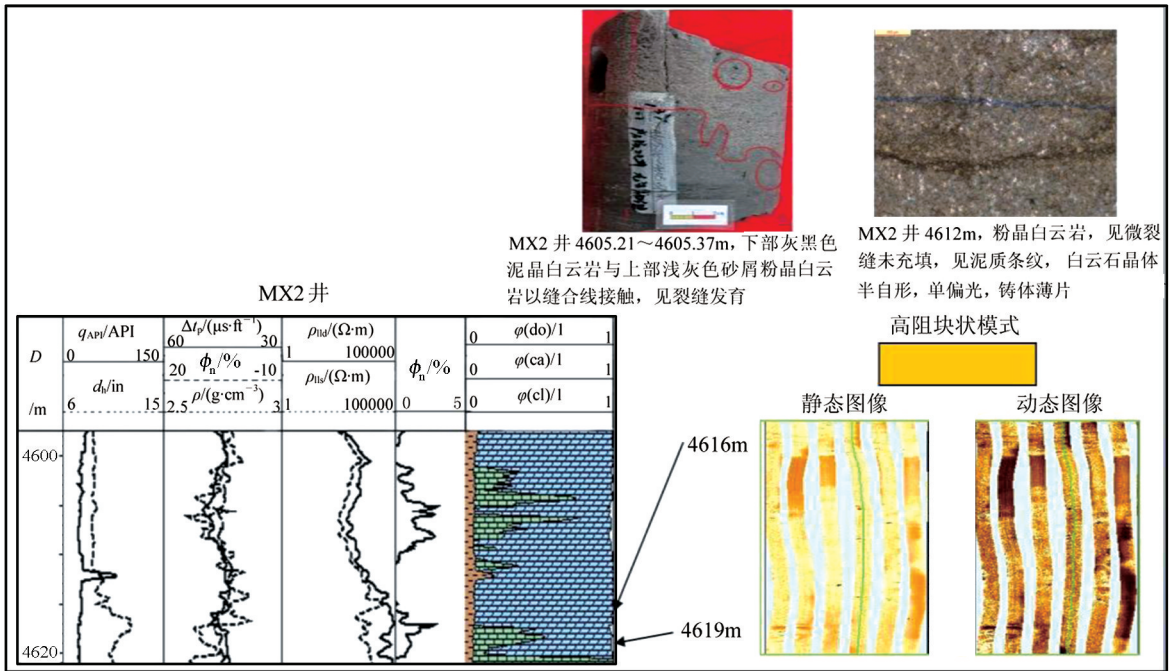


图4 研究区LWM组滩间潟湖微相电成像解释图版

4) 滩间海微相 岩性主要为泥(粉)晶白云岩。常规测井响应为中低 q_{API}, 中 ρ、Δt_p、φ_n, 中电阻率, 且 ρ_{ilid}、ρ_{ils} 重合, 为非储层特征。电成像图则以棕橙色为主, 极薄纹层密集加线模式, 见诱导缝。孔隙不是很发育。在MX1井薄片及MX2井岩心上均可验证滩间海微相的测井响应特征(图5)。

电成像模式从块状、厚层状逐渐向薄层状转变, 反映了沉积环境从高能向低能的变化, 滩主体微相水体能量高, 岩石颗粒粗, 电成像主要为斑块状模式, 发育较大的裂缝和孔洞; 滩翼微相、滩间潟湖微相水体能量依次减弱, 分别以纹层状、块状互层和高阻块状模式为主, 缝合线和裂缝较发育; 而滩间海微相水体能量低, 岩石颗粒细, 少有厚层特征, 多见泥(粉)晶白云岩薄互层, 在电成像测井上以极薄

纹层密集模式为主。

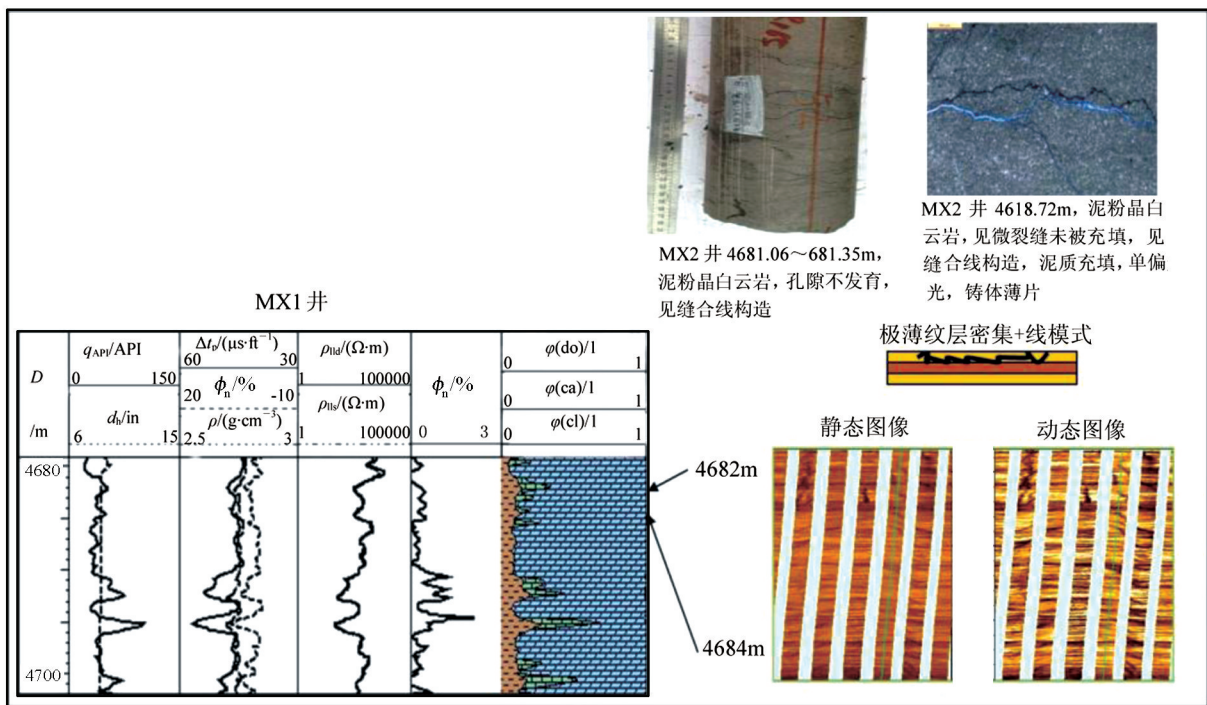


图 5 研究区 LWM 组滩间海微相电成像解释图版

4 实例应用

将上述各微相的电成像解释图版投入到实际生产应用中，取得良好的应用效果。图 6 为研究区 LWM 组取心井 MX5 井常规测井及电成像测井滩体识别结果与岩心对比图。

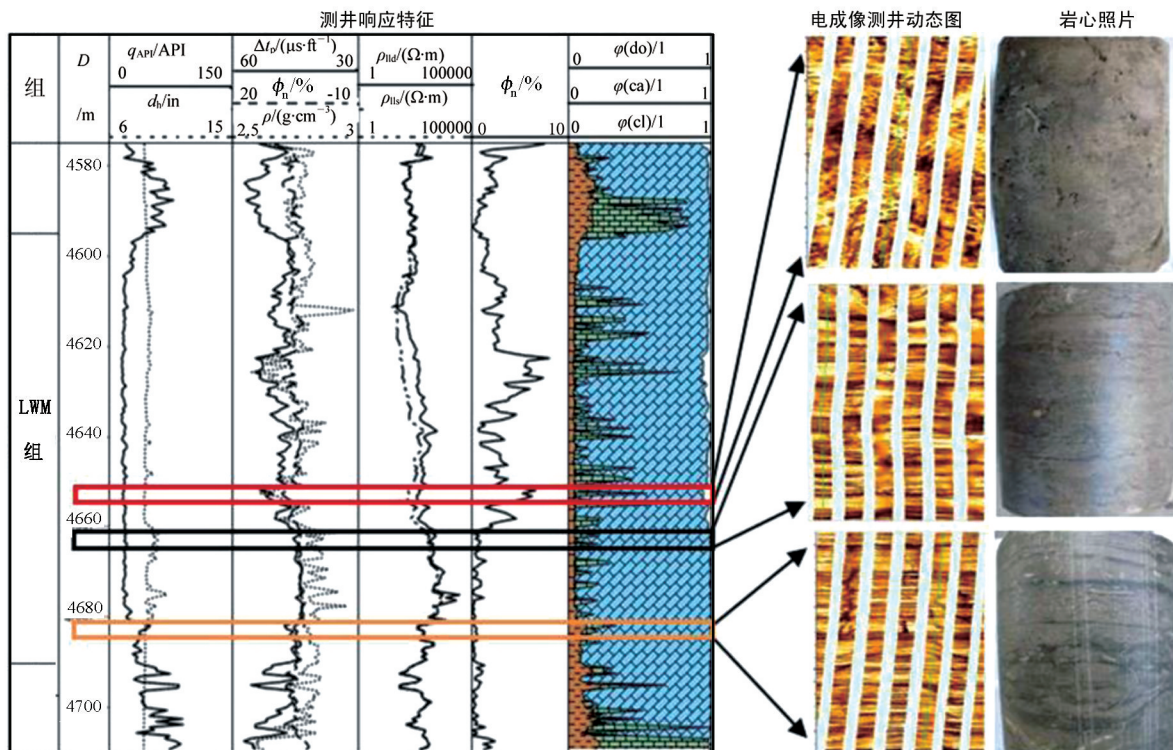


图 6 MX5 井滩体测井识别结果与岩心对比

通过 MX5 井常规测井、电成像测井识别结果及岩心资料分析认为: 4651~4653.8m 为滩主体微相发育带, 成像测井呈斑杂块状, 斑杂带为溶蚀孔洞发育段; 4660.8~4664.5m 发育滩翼微相, 成像测井表现为纹层状与块状互层; 4680~4685m 为滩间海微相发育区, 成像测井图像显示极薄纹层密集的特征。据该井岩心显示, 滩主体发育段孔隙度约为 7.08%, 滩翼发育段孔隙度约为 1.17%, 而滩间海段孔隙度仅为 0.46%, 可认为孔隙基本不发育。滩主体微相物性最好, 滩间海微相物性相对最差。

实际应用结果表明, 岩心及薄片的滩体识别效果与电成像解释图版的分析结果符合度较高, 说明该图版能够有效应用于研究区的滩体识别。

5 结论

1) 电成像测井与常规测井曲线相结合建立滩体识别图版, 可以有效解决电成像测井的多解性和常规测井分辨率低的问题, 在研究区 LWM 组滩体识别中取得较好的应用效果, 对该区的勘探开发工作起到了重要的指导作用。

2) 图版法可有效识别研究区滩体不同部位的沉积微相类型。滩主体微相的水体能量较高, 孔洞较发育, 滩翼、滩间潟湖和滩间海微相的水体能量依次有所减弱, 相应的电成像模式从块状、厚层状逐渐向薄层状转变。

[参考文献]

- [1] 姚根顺, 周进高, 邹伟宏, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律 [J]. 海相油气地质, 2013, 18 (4): 1~8.
- [2] 谭延栋. 测井高技术的发展与进步 [J]. 天然气工业, 1988, 18 (1): 29~32.
- [3] 赵平, 张美玲, 刘甲辰, 等. 2004-2005 年国内外测井技术现状及发展趋势 [J]. 测井技术, 2006, 30 (5): 385~389.
- [4] 王亚青, 林承焰, 邢焕清. 电成像测井技术地质应用研究进展 [J]. 测井技术, 2008, 32 (2): 138~142.
- [5] 徐星, 赵万优. Star-II 成像测井在碳酸盐岩储层评价中的应用 [J]. 测井技术, 2001, 25 (5): 358~364.
- [6] 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.
- [7] 李昌, 潘立银, 厚刚福, 等. 川东北 LG 地区碳酸盐岩沉积微相测井识别 [J]. 国外测井技术, 2012, 5: 29~32.
- [8] 尤征, 杜旭东, 侯会军, 等. 成像测井解释模式探讨 [J]. 测井技术, 2000, 24 (5): 393~398.
- [9] 张向东. 利用 FMI 成像测井资料解释地层沉积特征的典型实例 [J]. 测井技术, 1996, 20 (3): 219~225.
- [10] 李天生. 四川盆地寒武系沉积成岩特征与油气储集性 [J]. 矿物岩石, 1992, 12 (3): 66~73.
- [11] 汪泽成, 赵文智, 张林, 等. 四川盆地构造层序与天然气勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [12] 徐世琦, 洪海涛, 师晓蓉. 乐山-龙女寺古隆起与下古生界含油气性的关系探讨 [J]. 天然气勘探与开发, 2002, 25 (3): 10~16.
- [13] 宋文海. 乐山-龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究 [J]. 天然气工业, 1996, 16 (增刊): 12~26.
- [14] 黄文明, 刘树根, 张长俊, 等. 四川盆地寒武系储层特征及优质储层形成机理 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30 (5): 566~575.
- [15] 黄文明, 刘树根, 王国芝, 等. 四川盆地古生界油气地质条件及气藏特征 [J]. 天然气地球科学, 2011, 22 (3): 466~475.
- [16] 刘树根, 马永生, 蔡勤育. 四川盆地震旦系-下古生界天然气成藏过程和特征 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2009, 36 (4): 345~352.
- [17] 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22 (4): 347~351.
- [18] 罗志立, 刘顺, 徐世琦, 等. 四川盆地震旦系含气层中有利勘探区块的选择 [J]. 石油学报, 1998, 19 (4): 1~7.
- [19] 吴继余, 刘开. 碳酸盐岩测井电相、岩相与沉积微相研究 [J]. 测井技术, 1993, 17 (3): 171~182.
- [20] 王贵文, 郭荣坤. 测井地质学 [M]. 北京: 石油大学出版社, 2000: 128~149.
- [21] 赵路子, 谢冰, 齐宝权, 等. 四川盆地乐山-龙女寺古隆起深层海相碳酸盐岩测井评价技术 [J]. 天然气工业, 2014, 34 (3): 86~92.
- [22] 孙鲁平, 首皓, 赵晓龙, 等. 基于微电阻率扫描成像测井的沉积微相识别 [J]. 测井技术, 2009, 33 (4): 379~383.