

文章编号: 0253-9985(2011)01-0142-08

应用测井技术识别碎屑岩与碳酸盐岩地质事件及其差异

李浩¹, 游瑜春¹, 郑亚斌¹, 张渝丽¹, 魏修平^{1,2}, 王丹丹¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083 2. 中国石油大学, 北京 102249)

摘要: 应用测井技术识别地质事件时, 对具有隐蔽测井信息结构变化的识别涉及较少, 限制了认知地质事件的精度和可靠性。而根据测井记录的地质响应及其相关测井信息组合特征, 研究重要地质事件的多样性与测井曲线之间的成因关系, 以及测井曲线纵、横向变化与地质演变的成因关系, 可以探索性地解决上述问题。运用该方法可识别出碎屑岩和碳酸盐岩地质事件并推断其成因机理。通过对地质事件表现形式多样性的分析, 提出了碎屑岩地质事件的识别和论证方法; 通过同成因地质界面的识别与追踪, 提出了碳酸盐岩“同期异相”地层对比问题的识别方法和依据。地层的岩性成因机制不同, 碎屑岩和碳酸盐岩地层的地质事件研究方法也有所不同, 二者的识别差别在于地质界面的追踪依据不同、地质界面的测井响应特征不同以及测井信息与地质界面识别的对应关系不同。应用该方法, 成功解决了大港油田、普光气田以及澳大利亚等国内外油气探区地质研究中地质界面识别的关键问题。

关键词: 地质界面; 地质事件; 碎屑岩; 碳酸盐岩; 测井技术

中图分类号: TE121.3 **文献标识码:** A

Logging identification methods of clastic and carbonate rocks and their differences

Li Hao¹, You Yuchun¹, Zheng Yabin¹, Zhang Yuli¹, Wei Xiuping^{1,2} and Wang Dandan¹(1. *Petroleum Exploration and Production Research Institute SINOPEC, Beijing 100083 China;*2. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China*)

Abstract Log technique have been employed in the recognition of many meaningful geological events. However, the subtle changes of logs are seldom recognized and used, thus limiting the accuracy and reliability of interpretation. The issue could be tackled by establishing genetic relationships between the variety of important geological events and logs, and that between geological evolution and the vertical and horizontal changes of the logs based on a comprehensive study on geological responses and the combined features of associated logs. The method is used to identify geological events of clastic and carbonate rocks as well as their formation mechanism. Based on an analysis of the variety of geological events, an approach for identifying geological events of clastic rocks is proposed. Through identification and tracing of isogenesis geologic boundaries, an approach for identifying contemporaneous carbonate rocks of different facies. Approaches for identifying geological events of these two kinds of rocks are different as they vary in lithology and genesis. Their major differences include tracing basis and log responses of geologic boundary, and corresponding relationships between log data and geologic boundaries. Application of the above-mentioned methods in Dagang Oilfield, Puguang Gasfield and many other fields in Australia has successfully solved the problem of identifying geologic boundaries.

Key words geologic boundary, geological event, clastic rock, carbonate rock, logging technique

测井地质学是以地质学和岩石物理学的基本理论为指导, 综合运用各种测井信息, 来解决地层

学、构造地质学、沉积学、石油地质学以及油田地质学中各种地质问题的一门科学^[1-3], 它的核心问题

收稿日期: 2011-01-20

第一作者简介: 李浩(1969-), 男, 博士、高级工程师, 测井地质学。

基金项目: 石油化工联合基金(40739904); 国家重大专项课题(2008ZX05005-002)资助。

是寻找测井信息与地质背景之间准确的翻译方法。

20 世纪九十年代中期至今, 成像、核磁及元素测井技术相继出现, 拓宽了人们应用测井地质学研究的能力和领域, 但测井技术的日益专业化, 也加大了地质家从事测井地质研究的难度, 测井地质学的进一步发展面临新考验。

利用测井技术研究地质事件面临两个挑战, 一是怎样找到测井信息中隐含的地质事件识别标志; 二是怎样协助地质家最大限度地恢复地质演化过程, 为油气勘探开发决策提供重要依据。

历年来, 地质事件的测井识别方法多集中于研究测井信息的已知“明显”突变特征^[14-11], 该研究侧重于寻找已知的测井信息结构或差异变化, 如地层倾角、沉积旋回等地层结构的测井信息突变等。对于具有隐蔽性的测井信息结构变化的识别研究则较少涉及, 因而大量测井信息的地质内涵还并不为人所知。迄今为止, 人们远未找全利用测井资料恢复地质背景原貌的方法及依据, 对于地质事件与测井信息的“隐蔽”变化, 有必要开展不懈的探索。如碳酸盐岩的“同期异相”地层对比及环境变化引起岩石内物质成分变化等问题, 都可以从地质事件与测井信息“隐蔽”变化的关系研究中寻求答案。

基于测井记录在横向上与地质事件具有成因关系并可追踪, 在纵向上有可能找到与地质事件相吻合的物质变化记录, 文章将根据地质事件的成因及演化特征, 推演地层演化的测井密码构成; 因形成机制存在差异, 碎屑岩和碳酸盐岩地层的地质事件研究差别明显, 将采用与油气田开发单元相关的重要地质界面为切入点, 探讨测井信息与两种地质事件的记录差别及分析方法差异^[12-15]。

1 应用测井技术识别地质事件的依据

结合测井响应原理探讨地质事件的形成背景, 可得到两个基本认识。一是重要地质事件虽形式多样, 但测井信息都有忠实记录^[16-19], 如不整合事件在构造、沉积及成岩等多方面的特征响应, 使地层的宏观与微观地质方面出现差别, 这种差别构成不整合面上下地层的测井信息密码结构, 为不整合面识别提供推理依据; 二是测井曲线记录的纵向变化与地质演化具有成因吻合性, 其横向变化与地质

事件具有成因可追踪性。也就是说, 测井信息忠实记录了各种地质界面上下地层的差异组合关系, 如“沉积相差异组合”、“岩性差异组合”、“残存旋回(剥蚀)与完整旋回组合”及“物性差异组合”等等, 这些差异组合是地质演化特征的反映, 也是利用测井信息研究地质事件的切入点。另外, 这些差异性组合的横向上变化特点, 就是时空上测井信息对地质事件变化的一种成因记录, 形成测井信息研究地质问题的另一切入点。

碎屑岩和碳酸盐岩, 二者形成机制既有共性也有差异性, 其差异性致使二者测井信息的响应特征明显不同。首先是成岩方式不同造成测井信息响应特征的差异; 其次是岩石骨架不同造成测井信息响应特征的差异; 第三是岩性及其组合的堆积方式不完全相同造成测井信息响应特征的差异; 第四是沉积环境导致岩性的横向展布规律不同造成测井信息响应特征的差异; 第五是储层孔隙特征和纵横向分布规律不同造成测井信息响应特征的差异等等。以上原因造成与两大类岩性组合在相关地质事件的测井识别和研究方法不同。

2 应用测井信息识别碎屑岩地层的地质事件

应用测井技术识别碎屑岩地层的地质界面常可通过 5 方面信息变化加以识别^[20]。一是沉积事件的转变。由于沉积环境变化, 地质界面的上覆和下伏地层岩性发生突然改变, 表现为沉积韵律不同甚至反向、测井相及测井岩性组合特征突变等。二是地层压实和成岩作用的差异性变化, 如长期的沉积间断使不整合面上覆地层和下伏地层之间出现地层压实和成岩作用差异, 这种差异反映声波时差测井曲线上, 可见较纯泥岩的声波时差值连线在不整合面处明显断开。三是孔隙度突变特征, 有些不整合面经风化剥蚀, 其表面的残积物常表现出孔隙度增大(声波时差增高), 尤其是泥岩孔隙度增大现象更明显。四是剥蚀现象, 剥蚀常导致不整合面下伏地层出现残余沉积旋回(如不完整的半旋回), 它与上覆地层的完整沉积旋回构成了一组可识别的不整合组合关系。五是地质—测井的突变关系, 某些地质界面上会出现物质组成突变、沉积韵律突变和地层水矿化度突变等特征, 这些突变特征在测井资料常有记录。

图 1 为澳大利亚 Bonaparte 盆地某井测井曲线, 根据测井曲线变化, 测井解释人员通常只要正确地解释 2 586 m 深度附近岩石性质的变化即可。但从地质事件的角度, 就可见到在 2 586 m 深度附近沉积相和物质突变现象: 依据自然伽马和声波时差曲线可推测, 在 2 586 m 以下为反旋回的三角洲沉积, 砂岩和泥岩中几乎不含钙质, 且声波时差曲线变化稳定; 2 586 m 以上为正旋回的深水海底扇沉积, 在砂岩和泥岩地层中夹有较多的钙质薄层, 与之相对, 声波时差曲线上见多个薄层尖峰, 表明沉积相发生突变。结合区域地质分析, 该测井信息上表现为信号的强烈波动, 特别是声波时差和微球电阻率波动的十分明显, 表明海底扇分选差, 说明沉积速率很快, 来不及分选就堆积下来, 属于事件性沉积, 物源供给是瞬时的。

图 2 为大港油田南大港构造带上某井中生界与古近系不整合面的识别分析图。该不整合发育时间长, 声波时差测井曲线有明显记录: 其中不整合面处的泥岩声波时差异常增高以及较纯泥岩的

声波时差值连线在不整合面处明显断开, 均指示不整合事件的存在。

3 运用测井信息识别碳酸盐岩地层的地质事件

碳酸盐岩的地层对比及地质界面研究面临两个难点。一是碳酸盐岩既具有与碎屑岩相近的沉积方式, 也具有与生物、化学关系密切的成因特点, 横向上沉积物质变化复杂, 除了石膏岩等少数岩性外, 碳酸盐岩地层普遍缺乏可用于横向追踪的标志层; 二是碳酸盐岩地层面临“同期异相”的地层对比难题^[21-22], 这一问题至今缺乏合理解决方案, 由于横向上碳酸盐岩生物、化学环境的不断变化, 同一时期的地层沉积相变化复杂, 地层对比难以把握, 因此其地质界面的识别与横向追踪必须另寻依据, 对同成因地质界面的研究与横向追踪无疑是其中最重要的分析线索。现以普光气田两个地质界面的研究实例加以分析。

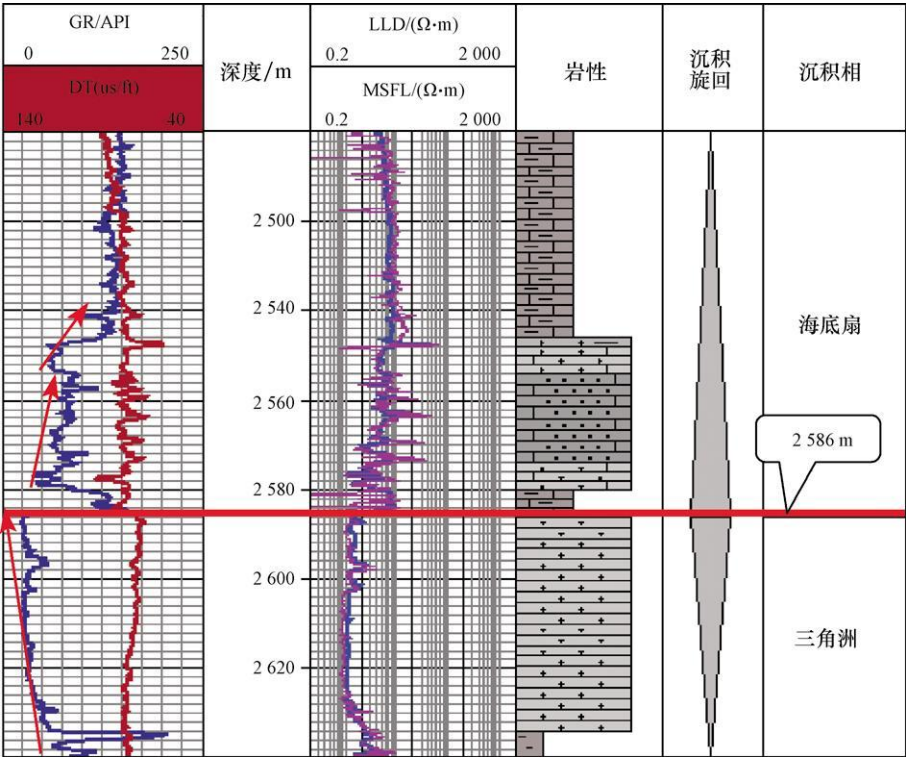


图 1 澳大利亚 Bonaparte 盆地某井地质界面上、下物质组成的突变

Fig. 1 Composition mutation above and below a geologic boundary in a well in the Bonaparte Basin, Australia
GR. 自然伽马; DT. 声波时差; LLD. 深侧向电阻率; MSFL. 微球型聚焦电阻率

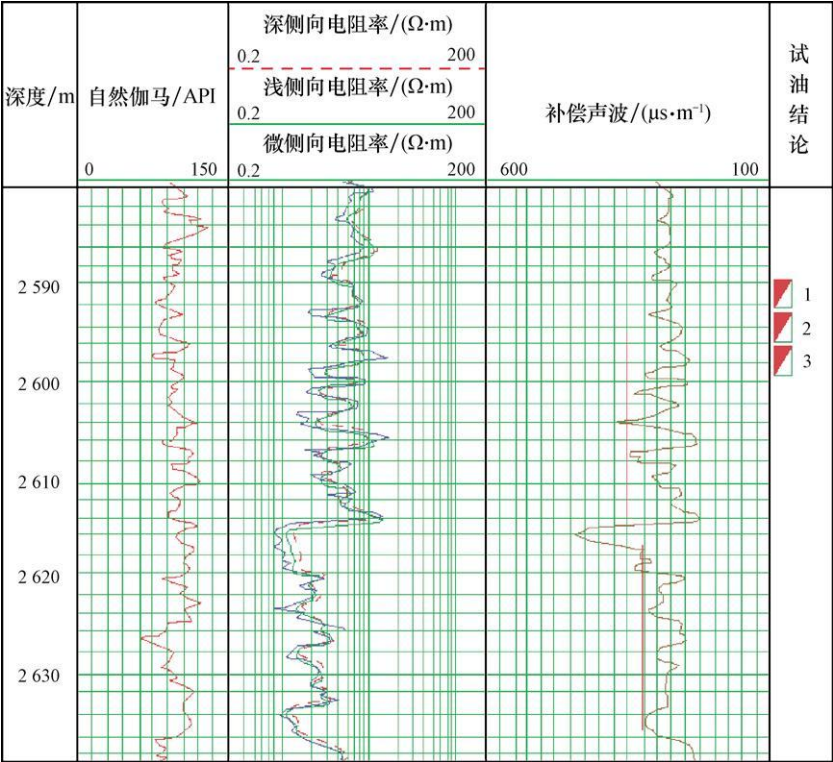


图 2 大港油田南大港构造带某井不整合面上、下的差异压实

Fig. 2 Differential compaction above and below an unconformity in a well in the Nandagang structural belt of Dagang oilfield

3.1 普光气田飞仙关组底界面的识别

地质研究表明, 普光气田飞仙关组底界面是一个重要地质界面, 其演化具有特殊性, 下伏长兴组台地生物礁沉积地层顶部曾短暂暴露, 普光气田在飞仙关组一段早期钻井已揭示的地层岩性均与较深水沉积有关, 说明当时为快速海侵, 地层全部被淹没。这一特殊演化过程表明, 该界面上下地层岩性构成的组合, 具有不同沉积环境的解释关系, 即下伏地层整体具有较浅水沉积环境的岩性特征, 界面之上的飞仙关组一段底部地层则整体具有较深水沉积环境的岩性特征。

受“同期异相”因素的影响, 该界面上下见到多种岩性组合类型(图 3)。其中长兴组顶部生物礁发育处, 界面上下可见白云岩与泥灰岩组合, 白云岩的测井特征为低自然伽马值、低电阻率值, 泥灰岩的测井特征为高自然伽马值、低电阻率值; 在礁间处, 可见云质灰岩与泥灰岩组合, 云质灰岩的测井特征为低自然伽马值、高电阻率值, 泥灰岩的测井特征为高自然伽马值、低电阻率值; 在台地斜坡及台地内部, 可见含泥灰岩与

泥灰岩组合, 含泥灰岩的测井特征为低自然伽马值、高电阻率值, 泥灰岩的测井特征为高自然伽马值、低电阻率值。由此可见, 以飞仙关组底为界, 下伏地层整体具有海退时相对浅水沉积的岩性特征, 上覆地层整体具有海侵时沉积水体变深的岩性特征。

根据飞仙关组底界面物性变化关系(图 4)可知, 由于长兴组与飞仙关组沉积环境的变化, 孔渗结构的组合关系差别很大。其中, 具有暴露标志的地层(见蓝色实线之下的孔隙度-渗透率关系), 因风化、淋滤作用, 其孔渗结构具有正相关的关系; 而不具暴露标志的地层, 则孔隙度-渗透率关系相对复杂, 如飞仙关组一段、二段内部潜流层与浅滩之间的界面(蓝色实线和粉红色断线之间的孔隙度-渗透率关系), 该界面因高孔隙、低密度, 常被错误的识别为飞仙关组底界面, 但该界面之下的孔隙度-渗透率关系明显不匹配, 虽然其孔隙度比长兴组顶部不整合面的孔隙度还高, 但孔隙之间连通性差、缺乏改造, 因此渗透率不高, 这与孔渗关系匹配较好的长兴组生物礁储层具有明显差别。

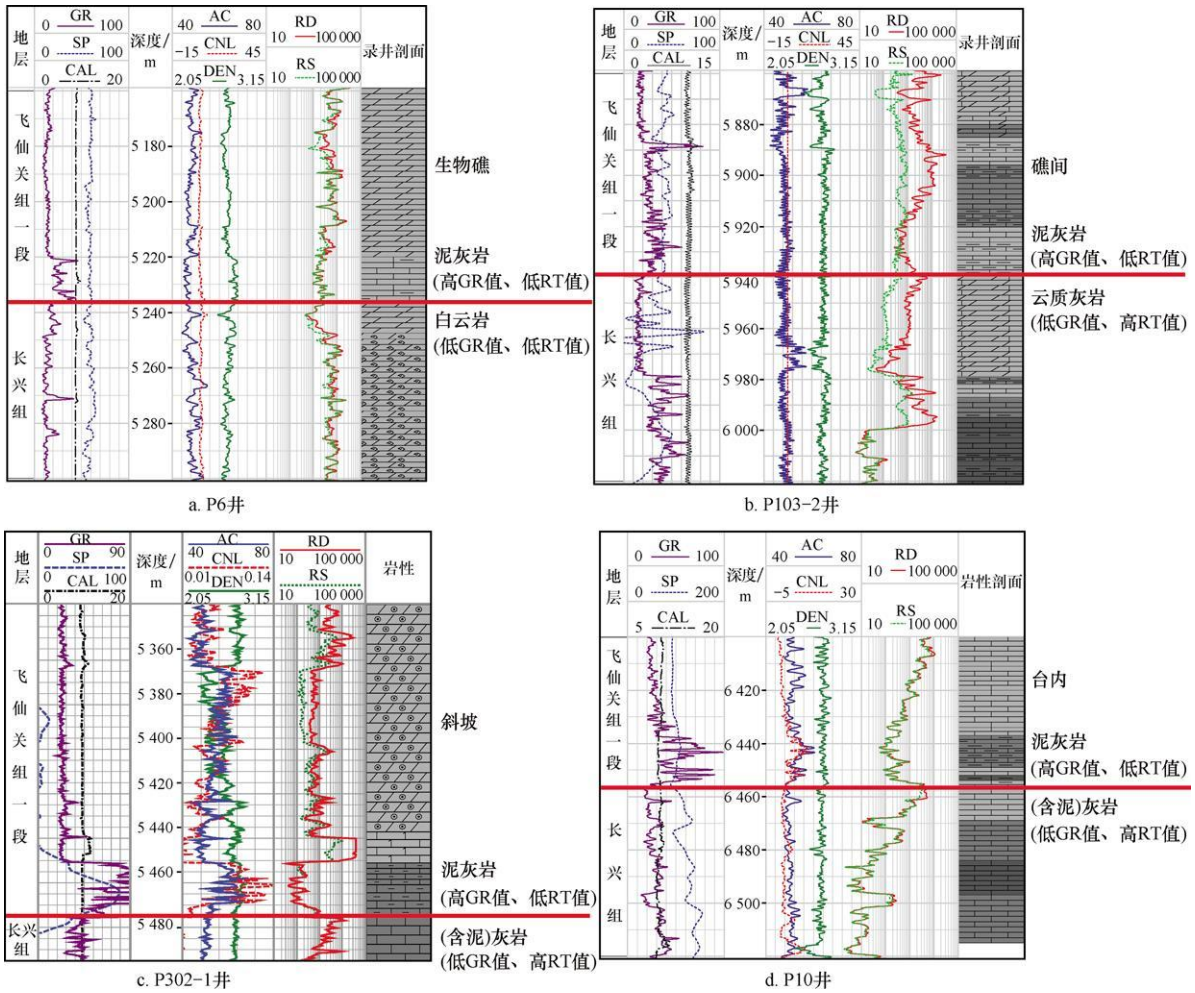


图 3 普光气田飞仙关组底界面岩性组合关系

Fig. 3 Lithologic combinations at the lower boundary of the Feixianguan Formation in Puguang gasfield

GR. 自然伽马 / API; SP. 自然电位 / mV; CAL. 井径 / cm; AC. 声波时差 / ($\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$); CNL. 补偿中子, %;
DEN. 补偿密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); RD. 深侧向电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$); RS. 浅侧电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$)

通过以上对同成因地层解释关系的追踪及不同成因界面孔渗关系的研究,所确定的普光气田飞仙关组与长兴组之间的地质界面,经地震解释检验,横向追踪良好,且能完全闭合,证明研究精度高。

3.2 普光气田飞仙关组三段底界面的识别

飞仙关组三段底界面与飞仙关组一、二段之间的界面同样具有特殊的演化关系,飞仙关组一、二段顶部在碳酸盐岩台地高部位表现为浅滩沉积,其岩性以具有暴露与淹没间互成因的白云岩为主,在台地斜坡处,岩性以含泥灰岩为主;飞仙关组三段底界面为快速海侵的沉积背景,工区内地层全部被淹没,岩性为致密纯灰岩或泥灰岩。

该界面上下地层岩性构成的组合,同样符合同成因沉积环境的解释关系,即下伏地层整体具有浅水沉积环境的岩性特征,界面之上的地层则整体具有深水沉积环境的岩性特征。

飞仙关组三段底界面的测井识别见图 5 追踪这个具有同沉积环境关系的地质界面,可以找到 3 个清晰的专属于上述演化关系的测井特征。第一为台地高部位的测井曲线数值发生变化。在此处,下伏白云岩因暴露常发育孔隙,其密度测井值一般低于灰岩、白云岩骨架值,电阻率为中、高值,而其上覆地层为快速海侵成因的纯灰岩,因此密度测井值为灰岩骨架值 (2.71 g/cm^3),高于下伏地层,电阻率也全部为高值,与纯灰岩的测井响应吻合;第二为台地高部位的测井曲线形

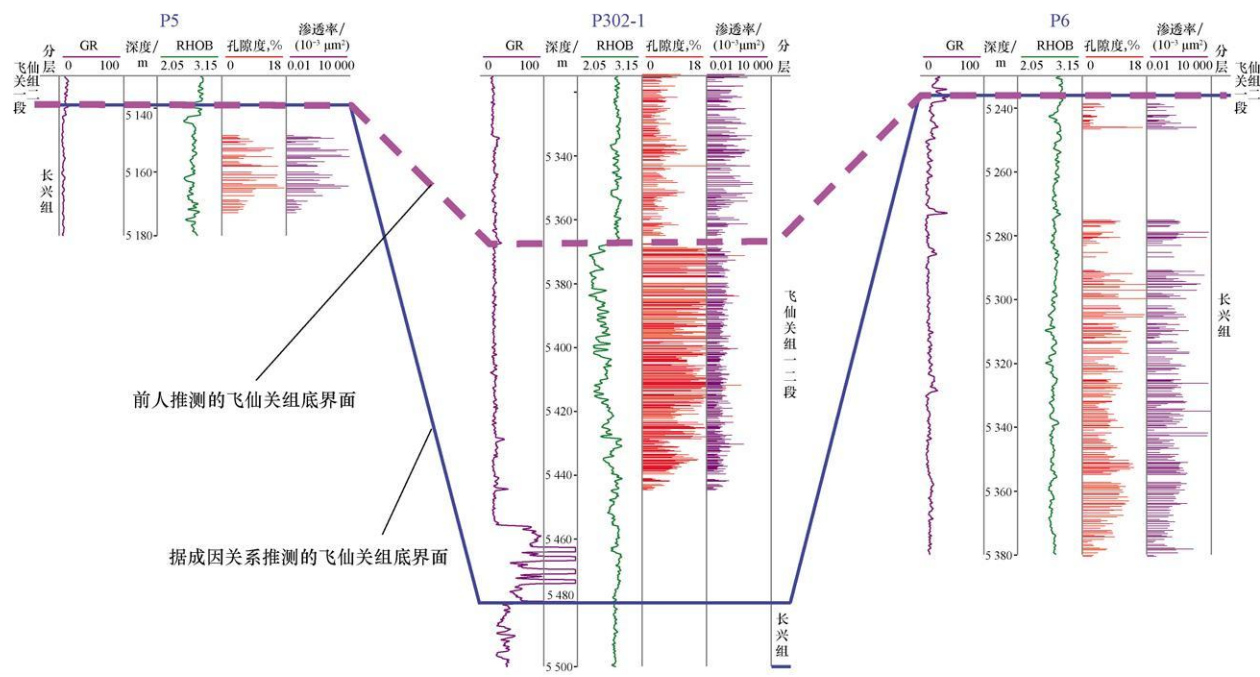


图 4 普光气田飞仙关组底界面物性变化关系

Fig 4 Correlation of physical property changes at the lower boundary of the Feixianguan Formation in Puguang gasfield

RHO. 补偿密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); GR. 自然伽马 / API

态的变化, 其中, 下伏浅滩沉积因地层暴露与淹没间互的成因特点, 补偿密度测井曲线可见明显齿化, 而上覆地层为较深水沉积环境的纯灰岩, 沉积环境的一致性, 使补偿密度测井曲线相对光滑、稳定; 第三为台地斜坡区的测井响应变化特征, 界面

的上覆地层具有自然伽马值增高的测井响应, 与含泥灰岩向泥灰岩转化相对应, 与前二者相结合, 同样指示相对深水沉积。根据上述飞仙关组三段底界面识别的 3 个测井特征, 其界面的横向追踪, 经地震解释检验, 同样效果好且能完全闭合。

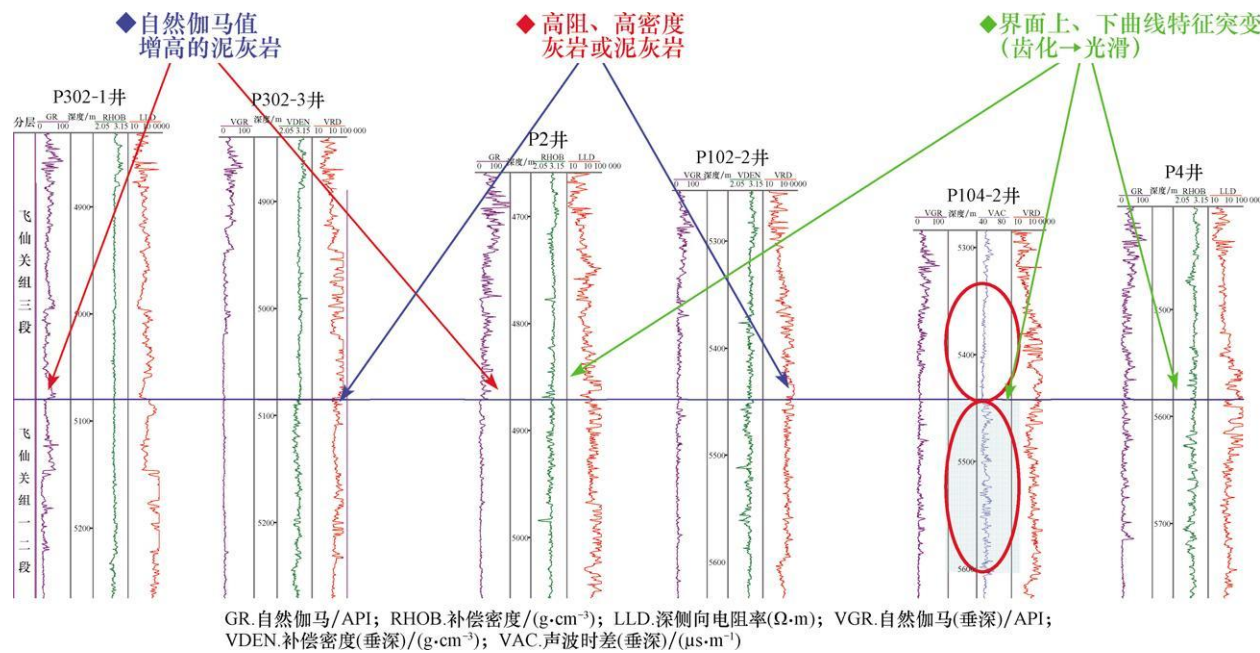


图 5 普光气田飞仙关组三段底部不整合面的测井识别

Fig. 5 Logging identification of the unconformity at the bottom of the Feixianguan Formation in Puguang gasfield

普光气田两个地质界面的识别研究表明,根据沉积环境变化关系的识别、同成因界面的追踪以及地质界面上下不同沉积环境地层物性变化的测井差异分析,完全可以做到对碳酸盐岩地质界面的准确识别,也初步解决了“同期异相”问题对碳酸盐岩地层对比的困扰,并能提高碳酸盐岩地层对比的精度。

4 碎屑岩与碳酸盐岩地质界面测井响应的差异

比较碎屑岩和碳酸盐岩的形成机制可知,碳酸盐成分一经沉淀成为特定的结构组分后,它们在沉积环境中的沉积和分布主要受沉积环境的水动力条件控制,即主要是机械作用,在这一点上碳酸盐岩与碎屑岩具有相同或相似的成因;但是碳酸盐岩的生成机理同时具有化学作用、生物作用以及生物化学作用^[23],这些与碎屑岩的不同之处,又导致测井响应关系的不同,因此,二者地质界面的研究手段也存在明显差异。上述研究表明,利用测井技术识别这两种岩性界面的方法有多种,但目前可明确推断二者差异的主要方法有 3 个。一是地质界面的追踪依据不同,在沉积环境关系相同或明确的沉积微相区,碎屑岩地层地质界面常具有测井响应共性,可横向追踪或可借助标志层追踪;碳酸岩地层却更多面临“同期异相”的地层对比难题,尤其在碳酸岩台地区,地质界面难以借助标志层追踪。二是地质界面的测井响应特征不同,如碎屑岩的成岩作用随埋深呈现有序性变化,其不整合面上下常可识别出“差异压实”;碳酸岩地层的早期成岩作用,使其埋深与成岩作用之间的关系复杂,“差异压实”现象不明显,但一些重要地质界面之下次生孔隙发育的特殊性,常对界面的识别具有指示作用。三是岩性的成因不同,使测井信息与地质界面识别的对应关系不同,以自然伽马和补偿密度曲线为例,碎屑岩由于重力分异作用,使其岩性沉积和分布具有有序性,自然伽马曲线能反映出的这种有序性有沉积旋回、频率及沉积物质的变化(如石英砂岩为低伽马值特征,长石和岩屑砂岩为较高伽马值特征),而碳酸盐岩因沉积环境不同,其岩性具有块状沉积的特点,自然伽马难以反映这种块状体内部的沉积旋回、频率及沉积物质的变化;相对于补偿密度曲线,碎屑岩的密度骨架值变化范围小,如石英砂岩、长石和岩屑砂岩具有相

似的密度骨架值,补偿密度难以区分三者的纯岩性,但是不同的碳酸盐岩却拥有完全不同的密度骨架值,利用纯岩性的骨架变化,识别沉积界面,是碳酸盐岩地层对比不同于碎屑岩的一大特点。

5 结论

1) 应用测井技术识别碎屑岩地质事件可以通过多方面信息变化加以识别。重力分异和成岩作用等在时空上的有序性特征对测井响应影响显著,它们决定了碎屑岩地质事件在界面处的测井响应具有多样性,诸如沉积事件的转变,地层压实与成岩作用,风化剥蚀,沉积相和沉积水动力,成岩与地层压实,沉积物质和流体等突变关系的多样表现,均能在纵、横向上找到测井响应中可识别的对应关系和成因追踪关系。

2) 岩石成因决定了测井技术识别碳酸盐岩地质事件的方法特殊性。碳酸盐岩生成机理中,化学作用、生物作用以及生物化学作用对测井响应的显著影响,增加了碳酸盐岩地质事件研究的复杂性。研究证明,对同成因地质界面的识别与追踪,是解决碳酸盐岩“同期异相”地层对比问题的有效方法。

3) 碎屑岩与碳酸盐岩地质事件的测井识别存在三方面明显差别,即地质界面的追踪依据不同、地质界面的测井响应特征不同以及测井信息与地质界面识别的对应关系不同。这一认识为利用测井技术分别研究碎屑岩和碳酸盐岩地质事件提供了分析依据。

参 考 文 献

- [1] 司马立强. 测井地质应用技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002 5-10
Sima Liqiang. Logging geology application technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 5-10
- [2] 郭荣坤, 王贵文. 测井地质学 [M]. 北京: 石油大学, 1999 32-40
Guo Rongkun Wang Guiwen. Logging geology [M]. Beijing: University of petroleum, 1999 32-40
- [3] 王贵文, 郭荣坤. 测井地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002 11-14
Wang Guiwen, Guo Rongkun. Logging geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 11-14
- [4] 张志松. 我国陆相找油的两个难点 [J]. 石油科技论坛, 2001 (6): 35-40
Zhang Zhisong. Two difficulties of finding oil in continental of

- China[J]. Oil Form, 2001 (6): 35-40.
- [5] 谢寅符,李洪奇,孙中春,等.井资料高分辨率层序地层学[J].地球科学—中国地质大学学报,2006 31(2): 237-244
Xie Yinfu Li Hongqi Sun Zhongchun et al Logging data high-resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2006 31(2): 237-244.
- [6] 李浩,刘双莲.浅论海外测井技术评价方法[J].地球物理学进展,2008 23(1): 206-209
Li Hao Liu Shuanglian. Shallow discussing evaluation method of overseas logging technology [J]. Progress In Geophysics, 2008 23(1): 206-209.
- [7] 符翔,高振中. FM 测井的地质应用 [J]. 测井技术, 1998 22(6): 435-438
Fu Xiang Gao Zhenzhong Geology applications of FM logging [J]. Logging Technology, 1998 22(6): 435-438.
- [8] 李庆谋,杨峰,郝天珩,等.测井地质学新进展 [J]. 地球物理学进展,1996 11(2): 66-80.
Li Qingmou, Yang Feng Hao Tianyao et al Logging geology new progress [J]. Progress In Geophysics, 1996 11(2): 66-80
- [9] 周红,杨永利,鲁国甫.储层沉积微相研究——以下二门油田核三段砂体为例 [J]. 地质科技情报,2002 21(2): 80-82
Zhou Hong Yang Yongli Lu Guofu Reservoir sedimentary microfacies research——By taking Hesan zong sand body of Xiaermen oil field as an example [J]. Geological Science and Technology Information, 2002 21(2): 80-82
- [10] 李军,张超漠.利用测井资料分析不同成因砂体 [J]. 测井技术,1998 22(1): 20-23.
Li Jun Zhang Chaomo Different genetic sand body analysis using well logging data [J]. Logging Technology, 1998, 22(1): 20-23
- [11] 许方伟,陆次平,王荷萍.用测井信息综合评价钻遇地层 [J]. 上海地质,2004 (2): 48-53
Xu Fangwei Lu Ciping Wang Heping Using logging data to evaluate the drilling strata compositely [J]. Shanghai Geology, 2004 (2): 48-53.
- [12] 王化爱.东营凹陷古近系岩性地层油气藏层序地层学特征 [J]. 石油与天然气地质,2010 31(2), 158-164.
Wang Huaai Sequence stratigraphic characteristics of the Paleocene lithologic and stratigraphic reservoirs in the Dongying Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(2), 158-164
- [13] 李军,宋新民,薛培华,等.扶余油田杨大城子组曲流河相油藏单砂体层次细分及成因 [J]. 石油与天然气地质,2010 31(1): 119-125
Li Jun, Song Xinmin, Xue Peihua Hierarchical subdivision and origin of single sandbody in the reservoirs of meandering river facies in the Yangdachengzi Formation of Fuyu oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(1): 119-125
- [14] 王起琮.旋回层序地层的控制因素 [J]. 石油与天然气地质,2009 30(5): 648-656
Wang Qiong Controlling factors of cyclic sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 648-656
- [15] 石世革.黄骅坳陷板桥凹陷古近系沙一段中部层序地层学研究及岩性油气藏勘探 [J]. 石油与天然气地质,2008, 29(3): 320-325
Shi Shige Study of sequence stratigraphy and exploration of lithologic reservoirs in the Paleogene Middle Sha-1 Member, the Banqiao Sag of the Huanghua Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(3): 320-325
- [16] 樊政军,柳建华,张卫峰.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井识别与评价 [J]. 石油与天然气地质,2008 29(1): 61-65
Fan Zhengjun Liu Jianhua Zhang Weifeng Log interpretation and evaluation of the Ordovician carbonate rock reservoirs in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2008 29(1): 61-65.
- [17] 李浩,刘双莲.测井信息的地质属性研究 [J]. 地球物理学进展,2009 24(3): 994-999.
Li Hao Liu Shuanglian Geological Characteristics Study on Logging Information [J]. Progress In Geophysics, 2009 24(3): 994-999
- [18] 操应长,姜在兴,夏斌,等.利用测井资料识别层序地层界面的几种方法 [J]. 石油大学学报(自然科学版),2003, 27(2): 23-26.
Cao Yingchang Jiang Zaixing Xia Bin et al Some methods for identifying sequence boundaries and condensation using well logging [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2003 27(2): 23-26
- [19] 李浩,刘双莲,郑宽兵,等.分析测井相预测歧50断块沙三段低电阻率油层 [J]. 石油勘探与开发,2004 31(5): 57-59
Li Hao Liu Shuanglian, Zheng Kuanbing et al Prediction of low-resistivity zones in Sha-3 Member of the Q50 fault block based on logging-facies analysis [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004 31(5): 57-59.
- [20] 李浩,王骏,殷进垠.测井资料识别不整合面的方法 [J]. 石油物探,2007 46(4): 421-424.
Li Hao Wang Jun, Yin Jinyin Methods of identifying sequence boundaries using logging data [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007 46(4): 421-424.
- [21] 马永生,储昭宏.普光气田台地建造过程及其礁滩储层高精度层序地层学研究 [J]. 石油与天然气地质,2008 29(5): 548-556
Ma Yongsheng Chu Zhaozhong Building-up process of carbonate platform and high-resolution sequence stratigraphy of reservoirs of reef and oolitic shoal facies in Puguang gasfield [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 548-556
- [22] 马永生.碳酸盐岩储层沉积学 [M]. 北京:地质出版社,1999: 16-22
Ma Yongsheng Carbonate reservoir sedimentology [M]. Beijing Geological Publishing House, 1999 16-22
- [23] 冯增昭.沉积岩石学 [M]. 北京:石油工业出版社,1993 56-58.
Feng Zengzhao Sedimentology [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1993: 56-58