

文章编号:1672-9854(2010)-03-0032-08

珠江口盆地东沙隆起珠江组层序界面的识别及划分

黄诚^{1,2}, 傅恒^{1,2}, 汪瑞良³, 周小康³, 陶碧娥¹

(1 成都理工大学能源学院; 2 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室)

(3 中海油深圳分公司研究院)



黄诚

摘要 在掌握珠江口盆地东沙隆起年代地层、生物地层和岩石地层信息的基础上,通过对测井/录井、地震、古生物、岩心及成岩等相关资料的研究,将珠江组划分出四个三级层序和五个层序界面,归纳出四类界面标志,即沉积标志、成岩标志、测井标志和地震标志。各种界面标志的识别方法都有其特点和局限,实际应用时应综合利用,相互印证,以使层序界面划分更具有可靠性和精确性。

关键词 珠江口盆地; 珠江组; 层序划分; 层序界面; 碳酸盐岩

中图分类号: TE111.3 **文献标识码**: A

黄诚 1985年生,2008年毕业于长江大学,现为成都理工大学硕士研究生。主要从事层序地层学及地震地层学研究。通讯地址: 610059 四川省成都市成华区二仙桥东三路2号

已有很多学者就珠江口盆地东沙隆起中新统珠江组的层序划分提出了自己的看法,如杨少坤等^[1],根据地震、测井、古生物资料及薄片综合分析,对珠江口盆地 36 Ma 以来的海相地层划分了 4 个二级层序和 23 个三级层序;王春修^[2]对珠江口盆地 5 口井的海相中新统层序地层的分析,发现了 10 个层序界面及 9 个最大海侵面;秦国权^[3]从具有孔虫化石定量分析资料的钻井中选取 26 口井绘制成 5 幅层序地层剖面图,获得了渐新世—第四纪的完整层序地层剖面,从剖面上可分辨出 5 个二级层序和 20 个三级层序。

本文主要通过岩石学特征、测井/录井、地震及古生物等方面资料,结合前人的成果,对东沙隆起珠江组地层的层序识别和划分进行了适当的探讨,以期能为东沙隆起珠江组层序地层研究提供一个有别于前人的认识。

1 沉积演化概况

东沙隆起位于珠江口盆地中央隆起带的东部,为北东走向,东西长约 370 km,南北宽 65~130 km,

面积 30 412 km²(图1)。东沙隆起在构造上是一个由北东向南西倾没的大型鼻状隆起,大面积缺失下第三系沉积。

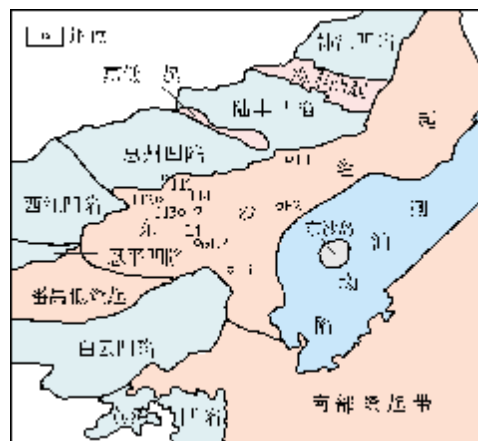


图1 南海北部东沙隆起区域构造位置图

晚渐新世,由于南海运动的影响,东沙隆起缓慢下沉,海水由西南入侵,隆起带受海侵影响,沉积了广布的珠海组滨岸砂岩。在随后的珠江组沉积时期,

收稿日期:2009-12-09;改回日期:2010-06-21

本文为国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发——海洋深水油气勘探关键技术”(编号 2008ZX05025)的部分成果

随着海侵的加剧,在隆起带滨岸沉积上发育碳酸盐岩台地,其后进一步的海侵导致广海陆棚沉积环境的出现,并伴有海相三角洲体系发育^①。

早中新世珠江组主要由滨岸砂岩、浅海碳酸盐岩和海相泥岩组成,随着海侵的不断加剧,珠江组由下向上依次发育有滨岸相、碳酸盐台地相、浅海陆棚相,部分地区受珠江三角洲沉积体系影响,亦发育有海相三角洲相。

2 层序地层划分

依据珠江口盆地东沙隆起的年代地层、生物地层和岩石地层信息^[3-5],并通过测井/录井、地震地层及成岩作用分析等研究手段,现将研究区珠江组地层划分为4个三级层序(SQ)、5个层序界面(SB)(图2)。

不同级次的海平面升降周期形成不同级次的层序^[9],三级层序主要受控于全球海平面升降变化,持续时间为0.5~5 Ma,一般为1~3 Ma。

研究区构造活动相对稳定、海平面迅速下降且速率大于碳酸盐台地沉降速率,属于I型层序界面。由于台地内部少见斜坡带,故台地内部仅划分了海侵体系域和高位体系域。

3 层序界面的识别

3.1 沉积标志

沉积环境的识别标志主要包括岩性突变面、沉积粒序及砂泥百分含量的变化两个方面。

3.1.1 岩性突变面

层序间由高位体系域向海侵体系域的演变,反映了水体由高水位时期的缓慢上升至下降(暴露)到海侵时期的快速上升。沉积环境的变化导致岩性特征发生突变,即层序界面表现为岩性的突变面。

在珠江组沉积时期,随着海侵的不断加剧,东沙隆起带依次经历了滨岸沉积、浅海碳酸盐沉积和浅海陆棚沉积,故珠江组内部的岩性突变主要表现为碎屑岩与碳酸盐岩之间的转变。部分地区由于发育海相三角洲沉积,在碎屑岩内部亦可存在较明显的砂、泥突变,反映了三角洲砂体随海平面升降而发生变迁。

由于沉积物在岩性上存在明显的差异,故可借助录井、岩心和薄片等手段,寻找岩性转换面,从而识别出层序界面(图3)。岩性的突变仅反映较大的沉积环境变化,对同一岩性内部的界面识别则受到较大限制。

3.1.2 沉积粒序及砂泥百分含量的变化

笔者依据高位体系域和海侵体系域在陆棚相、滨岸相和三角洲相中沉积粒序、砂泥百分含量的变化规律,识别出层序间体系域的转换面,以辅佐划分层序界面。

海侵体系域以初次海泛面为底界,向上水体变深,泥质含量逐渐增多,沉积物向上表现为变细粒序;而在台地区,初次海泛面与层序界面一致。

高位体系域可划分为早、晚两个阶段。早期的可容空间增长相对较快,物源影响较弱,沉积作用缓慢,沉积粒序表现为均质性,以泥质沉积为主;晚期海平面开始下降,物源影响加强,沉积物砂质含量增加,表现为向上变粗的粒序。

依据上述沉积规律,可识别出体系域转换面,从而达到识别层序界面的目的。例如H1井(图4),2347~2405 m的地层段为海侵时期沉积的大套泥岩夹少量薄层粉砂岩;2405~2502 m的地层段岩性由下向上依次为泥岩、泥质粉砂岩互层,粉砂岩夹薄层泥岩,反映了向上变粗的反粒序;且同上覆层段相比,砂/泥值明显较高,可确定为高位时期的沉积产物。由此可知2405 m左右是一个明显的体系域转换面,即层序界面。

该地区录井资料齐全,能够满足全井段的研究,在碎屑岩层段的界面识别上能够起到较可靠的识别作用。但录井资料涉及各种复杂的地质信息,在实际运用时会带有部分的主观因素,其客观性会受到限制,为精确识别层序界面带来一定难度。

3.2 成岩标志

层序地层学和成岩地层学有着密切的联系,在海平面升降波动下,沉积体系域不断地进行着演变,沉积物的成岩环境也随之发生改变。当海平面开始相对上升时,沉积物处于海底成岩环境,随着海侵的逐步加剧,沉积物不断垂向叠置并最终进入埋藏成岩环境。高水位沉积早期,沉积物仍维持垂向叠置沉

① 卢广智,陆肖容.珠江口盆地东沙隆起构造、沉积演化及油气藏形成条件.南海东部石油公司,1990.

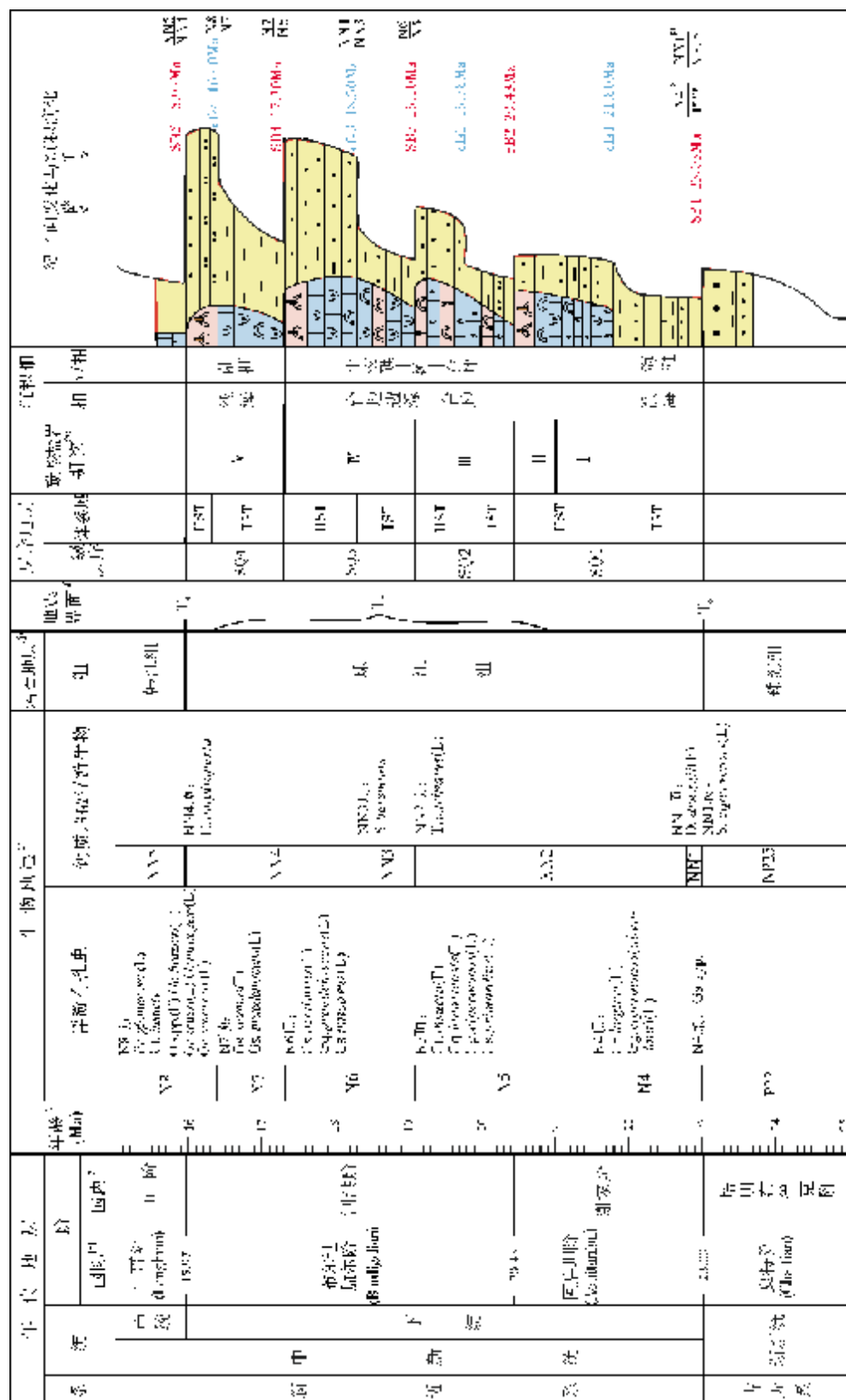


图2 研究区下中新统珠江组碳酸盐岩层序地层划分表(据文献[6-8],②-③)

② 张丽丽. 古生物年龄——深度拟合统计表. 中国海洋深圳分公司研究院, 2009.

③ 胡平忠, 谢衍兴, 等. 东沙碳酸盐台地第三纪生物礁(滩)型油藏勘探. 南海东部石油公司, 1990.

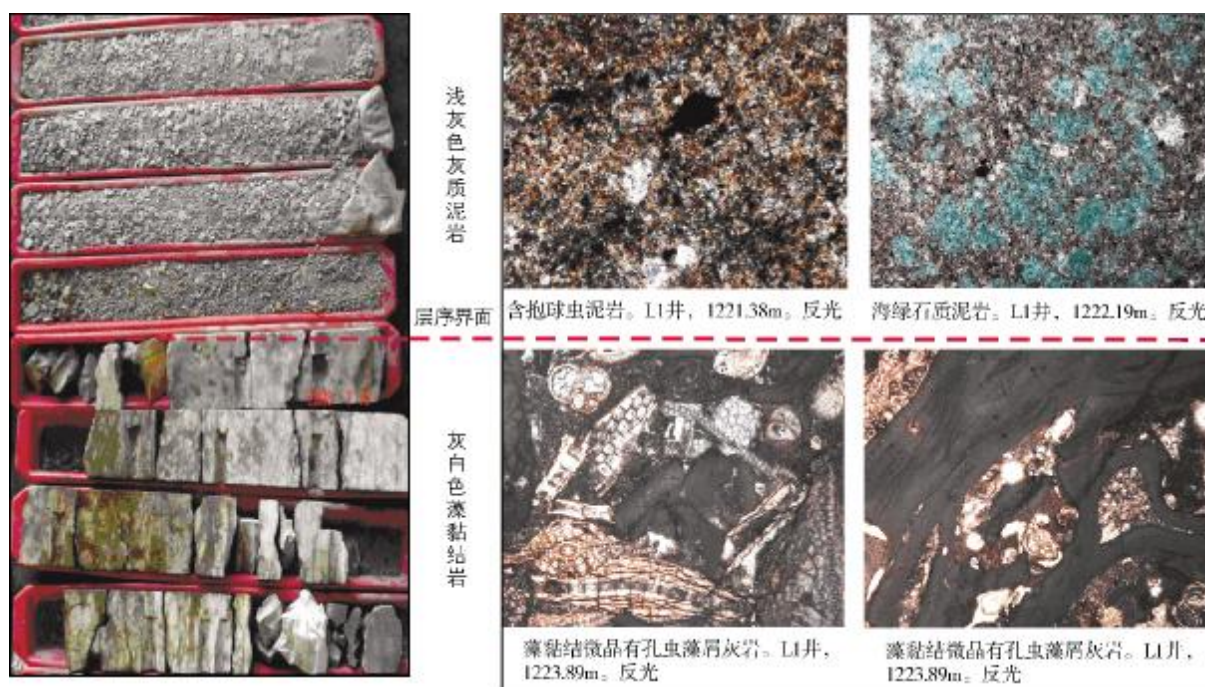


图3 东沙隆起 L1 井岩心观察和薄片鉴定对比

积,处于海底潜流成岩环境;进入高水位晚期,则随着海平面的快速下降,转变为进积叠置并逐渐进入混合水成岩环境和大气淡水成岩环境^[10-12]。

由于研究区中少见低位体系域,故对高位晚期的成岩作用进行研究,便能够有效识别出层序界面。通过大量的镜下观察,发现了以下具有典型大气淡水成岩环境特征的成岩标志。

3.2.1 同生暴露标志

在同生成岩期,未固结成岩的碳酸盐沉积物经受大气淡水的淋滤,导致了 CaCO_3 饱和度的降低,在随后固结成岩的过程中形成了低 Mg 、 Si 的淡水方解石或淡水白云石胶结物;部分已固结的碳酸盐矿物发生溶蚀作用,并在溶蚀的次生孔隙中形成二次胶结的等轴晶粒状淡水方解石(白云石)胶结物。典型的成岩标志包括溶蚀孔、铸模孔和淡水方解石(白云石)的期次胶结(图5)。

3.2.2 表生暴露标志

随着海平面大幅度下降,沉积物遭受暴露,进入(浅)埋藏成岩环境的沉积物接受大气淡水的改造,发育大规模的溶蚀孔洞体系和新一轮的淡水方解石充填、胶结和石膏充填。在暴露过程中,黏土和粉砂

随大气水渗流到地层内部的孔隙结构中,且持续暴露导致地层由还原环境转变为氧化环境。典型的暴露标志为渗流黏土、渗流粉砂、褐铁矿化(染)、石膏的溶缝充填、淡水方解石的溶缝和洞充填(图6)。

成岩标志能够非常客观地印证暴露事实,但受限于单井薄片采样段的深度和长度,只能对固定层段进行研究,无法在整个珠江组地层展开,而需注意的是受渗流带地层跨度的影响,暴露标志常出现在实际层序界面之下。

3.3 测井标志

由于测井资料信息量大、横向对比性和纵向连续性好、分辨率高和资料获取时间短等特点^[13],在层序地层分析中,测井曲线通常作为界面识别和划分的主要研究对象。通过对研究区 38 口井的测井资料分析,对层序界面的测井响应特征和不同体系域测井曲线的组合特征做出了适当的归纳。

研究区层序界面的测井响应特征主要分为两种类型:岩性转换面异常响应和非岩性转换面异常响应。

岩性转换面异常响应在研究区表现为碳酸盐岩和碎屑岩的突变面在电测曲线上的异常响应。在测

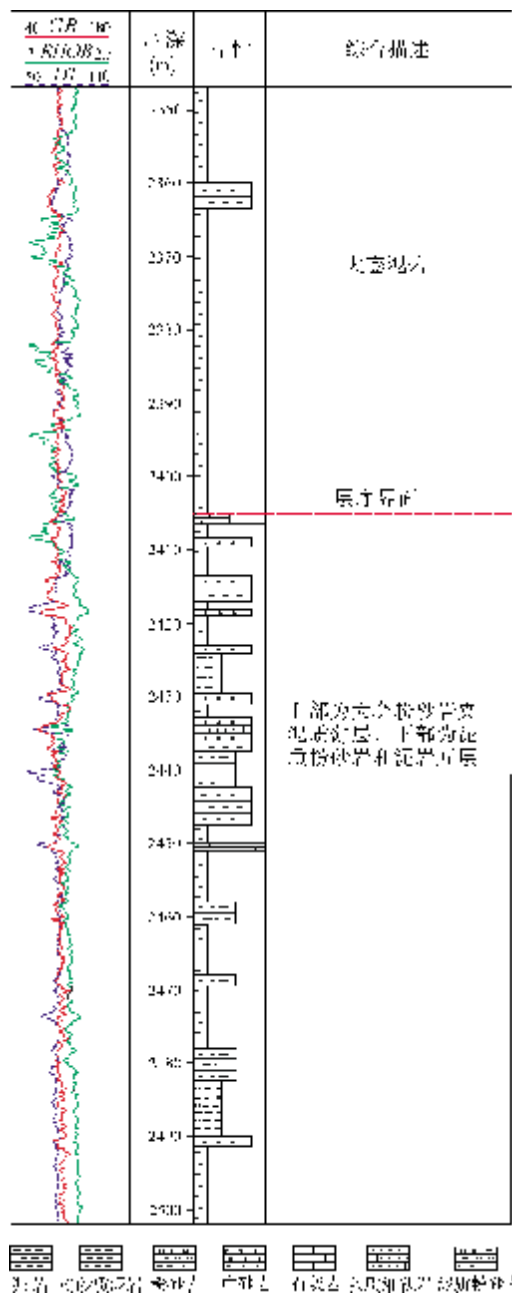


图4 东沙隆起 H1 井珠江组沉积柱状图

GR 自然伽马曲线; DT 声波时差曲线; RHOB 密度曲线

井响应上主要表现为 GR 曲线形态成台阶状突变接触,测井值迅速突变(图 7a)。

非岩性转换面异常响应是指单一岩性层段内部层序界面的异常测井响应。该类型界面的异常响应相对较弱,一般可通过对体系域的测井组合特征分析加以识别。不同的岩性特点,可运用不同的曲线类

型加以分析。研究区中碎屑岩表现为砂泥的韵律性叠加,故选择对泥质含量敏感的 GR 曲线进行分析;碳酸盐岩由于岩性致密,则选择对流体敏感性较强的双侧向曲线加以分析。

3.3.1 海侵体系域的测井曲线特征

海侵体系域底部以初始海进面为界,顶部以最大海泛面为界,体系域往上水体加深。GR 测井值呈现向上变大趋势,并表现为平直状、正向齿形或微齿化状,幅度普遍表现为中—低值,表明海侵期主要沉积了一套稳定的泥质沉积物,夹杂少量细-粉砂沉积(图 7b)。双侧向曲线表现为钟形、正向齿形或微齿化状,曲线值整体偏高,幅度普遍表现为中—低值,部分井包络线具后积式特征,表明该时期沉积的碳酸盐岩层遭受孔隙改造的影响逐渐降低,孔隙流体响应逐渐减弱(图 7c)。

3.3.2 高水位体系域的测井曲线特征

高水位体系域底部为最大海泛面,顶部为上覆层序底界面。早期高水位体系域通常由一个加积准层序组构成,GR 曲线呈现中—低幅箱形或桶形,是水动力稳定条件下的垂直加积式沉积。晚期高水位体系域由一个或几个进积准层序组构成,相应的测井曲线表现为一次或多次漏斗型或反齿型,具有中—高幅变化特征,包络线具后积式特征(图 7b)。双侧向曲线表现高幅指形或齿形,曲线形态变化剧烈而频繁,曲线值整体偏低,表明该时期沉积的碳酸盐岩孔隙改造作用很强,流体响应杂乱而强烈(图 7c)。

考虑到碳酸盐岩孔隙结构、裂缝、钻井液性质和流体性质等因素对流体响应的影响较为复杂,其对应的电阻率响应特征规律性较弱,故上述曲线特征在部分井中表现不明显,识别层序界面时仅可作参考。

测井曲线的优势是信息的连续性好,分辨率高,可对整个层段展开研究,但其庞大的信息量涉及各种复杂的地质信息,在实际运用时涉及部分主观因素,其精确性会受到限制。

3.4 地震标志

通过单井层序划分在地震上的标定,对工区进行精细追踪解释,并对反射特征和反射终端等进行解读,可对层序界面进行有效识别(图 8)。

层序界面 SB1 该界面为珠江组和珠海组的分界面或珠江组直接上覆在火山岩或中生代基底界面

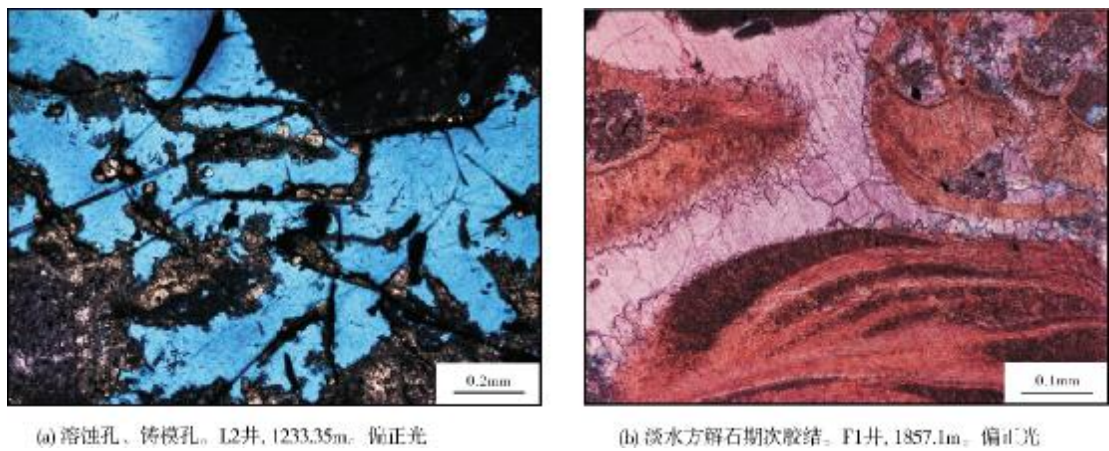


图5 东沙隆起区珠江组典型的镜下成岩标志物

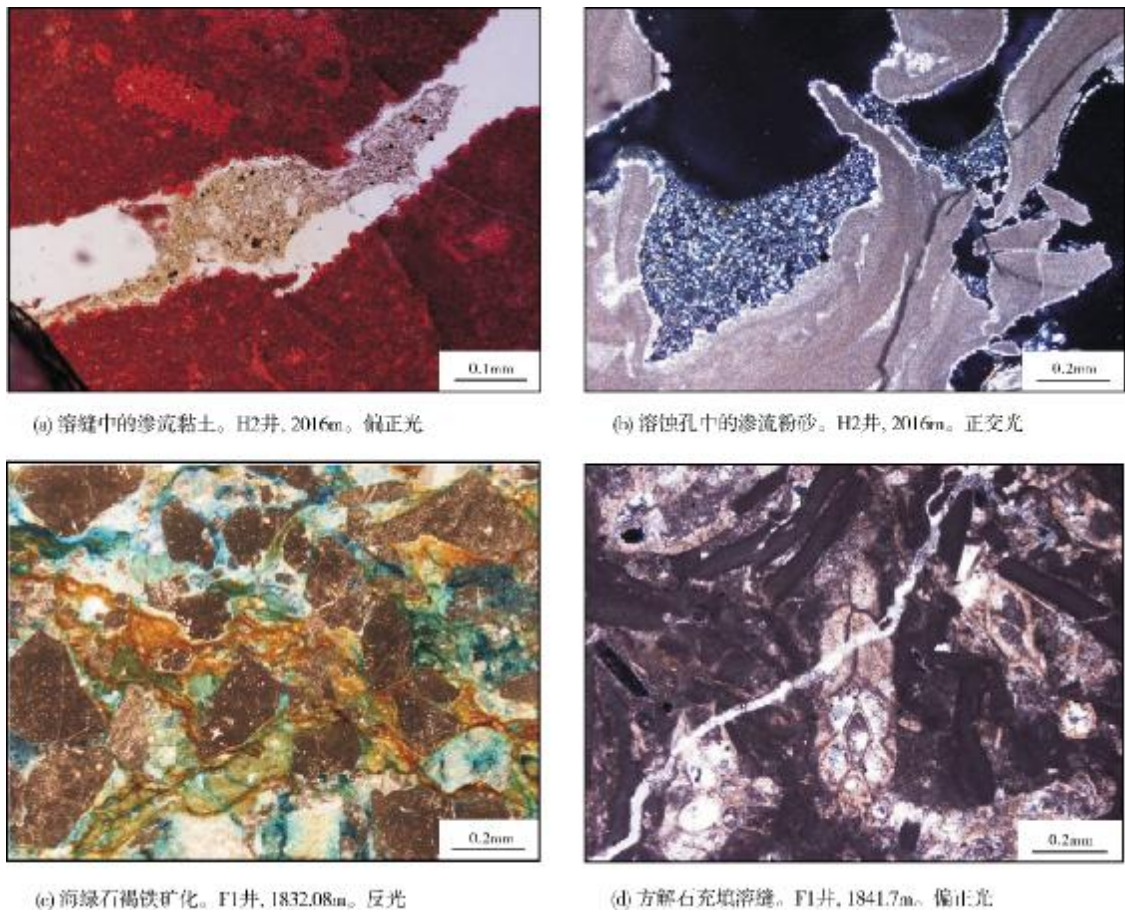


图6 东沙隆起区珠江组典型的镜下表生暴露标志物

之上，在地震上其界面反射以中—强振幅和中-高连续为主；其次为中—弱振幅和中—低连续，在研究区中东部缺失；

层序界面 SB2 该界面的地震反射以中—强振

幅和高连续为主，研究区中东部和中西部部分凸起部位缺失；

层序界面 SB3 该界面的地震反射以中—强振幅和中—高连续为主；

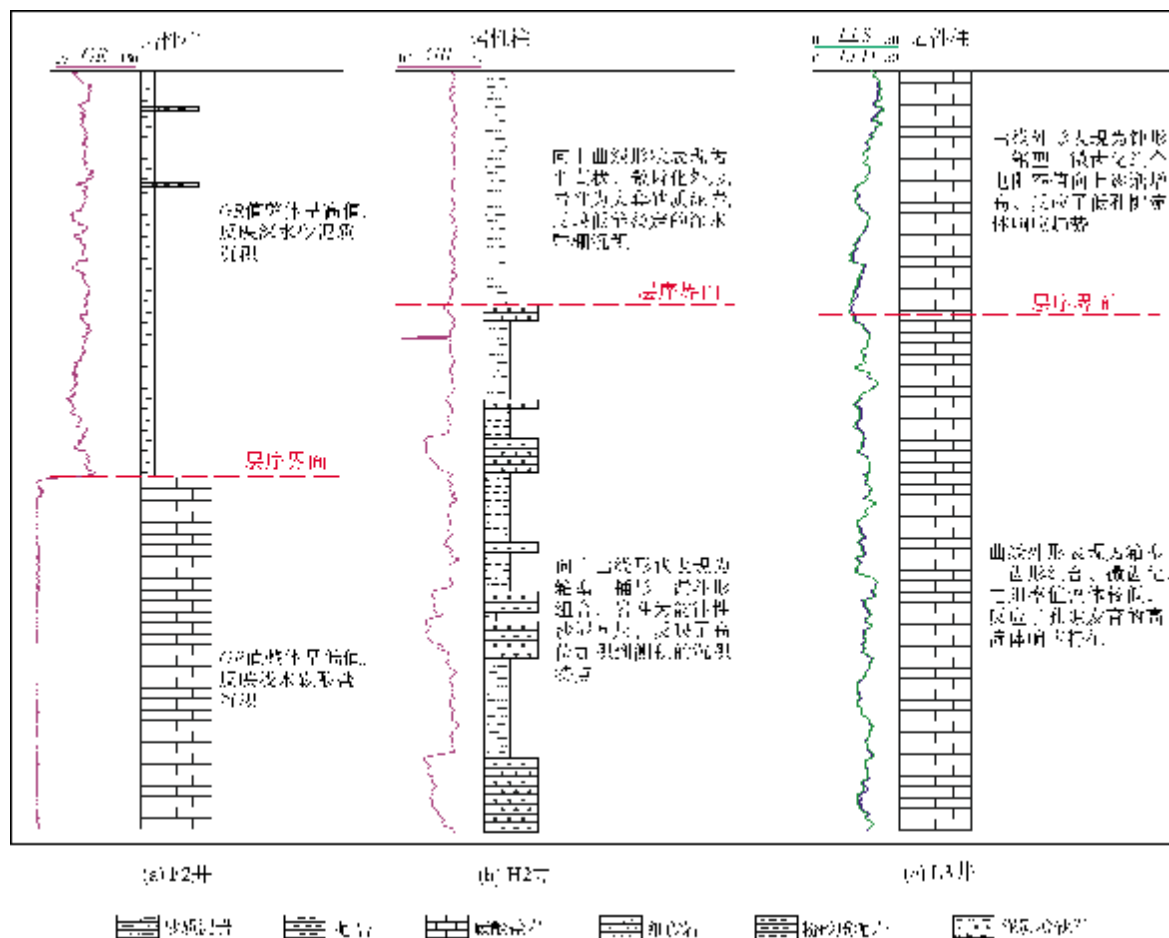


图7 东沙隆起珠江组测井曲线响应特征

GR 自然伽马; LLD 深双侧向电阻率; LLS 浅双侧向电阻率

层序界面 SB4 该界面的地震反射以中—强振幅和中—高连续为主;

层序界面 SB5 该界面为珠江组和韩江组的分界面,地震反射以中—强振幅和中—高连续为主。

各层序顶、底界面的地震反射能量强,连续性好,可为层序界面的识别和划分起到明显的指示作用。此外,研究区内的地震反射终端亦具有明显和密集的特点,在层序的顶、底界面均可见到丰富的上超、顶超和削截现象,故能对层序界面的识别提供最直接和最可靠的依据。

地震标志的优势在于它的直观性,通过对地震资料进行合理解读可对层序界面进行准确地识别。但对地震剖面的解读具有多解性,如何准确地解读则需要通过合成记录对单井划分和地震解释进行相互印证。

4 结 语

准确而可靠地识别海相碳酸盐岩层序界面的前提是综合利用地震、测(录)井、岩心、成岩等各方面的资料。本次研究区内的基础资料丰富,故层序划分过程中的难点是如何高效地利用它们。值得注意的是,各项资料既有其自身的优势,亦有其使用的局限性。以成岩标志为例,该识别标志能够较准确、客观地反映暴露界面,但受限于单井薄片采样段的深度和长度,只能对固定层段进行研究,无法在整个层段展开;测井曲线的优势是信息的连续性好,分辨率高,能对整个层段展开研究,但其庞大的信息量涉及各种复杂的地质信息,在实际运用时易包含主观因素,其精确性又受到限制。由此可见,在运用各类资料时应考虑各自的实际应用条件,综合利用、相互印证,

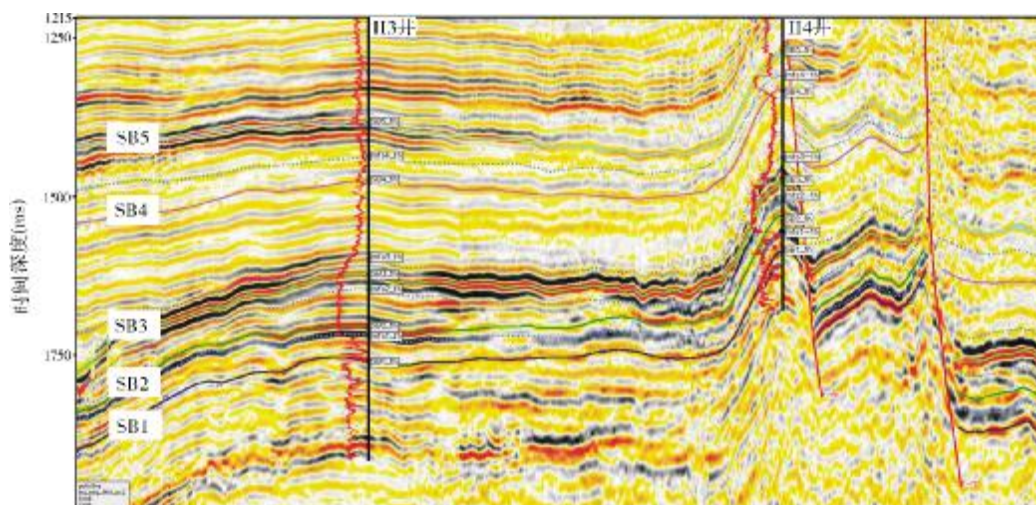


图8 东沙隆起珠江组层序地层划分(过 H3 井和 H4 井地震剖面)

充分发挥各自的优势,以使层序界面划分更具可靠性和精确性,为后续研究工作的开展提供扎实的依据。

参考文献

- [1] 杨少坤,许仕策.测井层序地层学在珠江口盆地的初步应用[J].中国海上油气(地质),1993,7(1):9-18.
- [2] 王春修.珠江口盆地海相中新统层序地层分析及其意义[J].中国海上油气(地质),1996,10(5):279-288.
- [3] 秦国权.珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化[J].中国海上油气(地质),2002,16(1):1-10.
- [4] 秦国权.微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,1996,16(4):1-18.
- [5] 黄惠生.珠江口盆地第三系生物地层框架[J].中国海上油气(地质),1999,13(6):406-414.
- [6] Gradstein F M,金玉玕,王向东,等.国际地层表[J].金玉玕,王向东,王玥,等,译.地层学杂志,2005,29(2):98.
- [7] 张一勇,李建国.第三纪年代地层研究和第三纪年代地层表[J].地层学杂志,2000,24(2):120-125.
- [8] 王伟铭,邓涛.新近系研究进展简介[J].地层学杂志,2005,29(2):104-107.
- [9] 朱筱敏.层序地层学[M].北京:中国石油大学出版社,2002.
- [10] 林小兵,王振宇,田景春,等.层序地层格架中碳酸盐岩准同生成岩作用分析——以轮南古隆起下中奥陶统碳酸盐岩为例[J].沉积与特提斯地质,2007,27(4):50-53.
- [11] 陈方鸿,谢庆宾,王贵文.碳酸盐岩成岩作用与层序地层学关系研究——以鄂尔多斯盆地寒武系为例[J].岩相古地理,1999,19(1):20-24.
- [12] 贾振远,蔡忠贤.成岩地层学与层序地层学[J].地球科学 中国地质大学学报,1997,22(15):538-543.
- [13] 田景春,张翔,聂永生,等.层序的测井、地震响应特征研究[J].物探化探计算技术,2005,27(4):321-326.

编辑:金顺爱

Identification and Division of Tertiary Zhujiang Sequence Boundaries in Dongsha Uplift, Pearl River Mouth Basin

Huang Cheng, Fu Heng, Wang Ruiliang, Zhou Xiaokang, Tao Bi'e

Abstract: On the basis of available information of chronostratigraphy, biostratigraphy, lithology and stratigraphy, linking with the data of logging, seismic, paleontology, cores and diagenesis, the Tertiary Zhujiang Formation in Dongsha uplift can be divided into four 3rd grade sequences and five sequence boundaries. Four types of interface marks are classified, i.e. depositional mark, diagenetic mark, logging mark and seismic mark. These interfaces marks are of their own predominance and limitation so that they need confirm from each other when they are used to obtain more reliable and accurate division of sequence boundaries.

Key words: Tertiary; Zhujiang formation; Sequence boundary; Sequence division; Carbonate rock

Huang Cheng: male, Master degree in progress in Chengdu University of Technology. Add: Chengdu University of technology, Chengdu, Sichuan, 610059 China