

丽水—椒江凹陷明月峰组多因素 综合取证沉积体系分析

王存武¹, 梁建设¹, 田 兵², 朱学中¹

(1 中海油研究总院, 北京 100028;

2 中国科学院油气资源研究重点实验室, 甘肃省油气资源研究重点实验室, 兰州 730000)

摘 要:通过对丽水—椒江凹陷古近系明月峰组的多种单因素沉积学分析要素——岩心相、测井相、地震属性和地震相、古生物相、有机地化与岩石地化(颜色)、古地貌与构造等的详细研究,系统阐明了各沉积学分析要素的展布规律及空间配置关系。多种单因素沉积学分析要素综合取证,相互补充,相互佐证,有效地对研究区的沉积体系类型、空间配置关系进行了客观分析与评价。研究认为,丽水—椒江凹陷古近系明月峰组发育三角洲体系、扇三角洲体系、重力流体系及海洋体系等 4 种主要的沉积体系。在较强断裂活动发育的东缘陡坡区域以扇三角洲发育为主;而在西缘缓坡区域主要发育三角洲及受次级断层控制的滑塌重力流。研究证明“多因素综合取证分析”方法在沉积体系研究中十分奏效。

关键词:丽水—椒江凹陷;明月峰组;多因素;沉积体系

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.04005

作为中国近海面积最大的含油气盆地,东海陆架盆地是我国海上油气勘探的主攻区之一^[1,2]。丽水—椒江凹陷位于东海陆架盆地西南部(图 1a),是以中生代残留盆地为基础的典型新生代箕状断陷盆地。受控于 NE 分段断裂,盆地具有“东西分带、南北分块”的特征,总体呈 NE—SW 向展布(图 1b)。随着勘探的不断深入,盆地勘探资料已较为丰富,前人在沉积环境与沉积体系方面也做了大量的工作,认为古新世盆地发育海陆过渡相沉积^[3-8]。

近年来,越来越多的交叉学科因素融入到传统沉积学研究中,以往应用岩心、测井或地震信息单因素解释沉积环境存在多解性和地质误差,地震属性和地震相分析的迅速发展以及地震地貌学

的提出也使得沉积体系的研究更加精细^[9-11],很多沉积学家也提出古地貌、岩性变化、地化特征在沉积体系分析中非常重要^[12,13]。研究实践表明,如上各类地质信息在沉积体系分析研究中的指示意义都非常重要。沉积体系分析趋向于联合运用各类地质信息,多因素综合取证以达到最优的、最贴近实际地质历史演化过程的结论。笔者通过对丽水—椒江凹陷古近系明月峰组的多种单因素沉积学分析要素的精细取证,并系统分析多种单因素的空间分布规律及配置关系,进而对研究区的沉积体系类型、空间配置关系进行客观分析与评价,所得结论避免了某单因素分析造成的误差和多解性,在勘探实践中更具有可信度和指导性。

1 多因素综合取证沉积体系

本次研究重点是对丽水—椒江凹陷古新统明月峰组岩心相、测井相、地震属性和地震相、古生物相、有机地化与岩石地化(颜色)、古地貌与构造

收稿日期:2016-12-30

基金项目:国家油气专项(2009GYXQ05-03);中海油科技攻关项目(YXKY-2015-ZY-08)

作者简介:王存武(1980—),男,博士,工程师,主要从事海洋石油地质及非常规油气研究工作。E-mail:wangcw@cnooc.com.cn

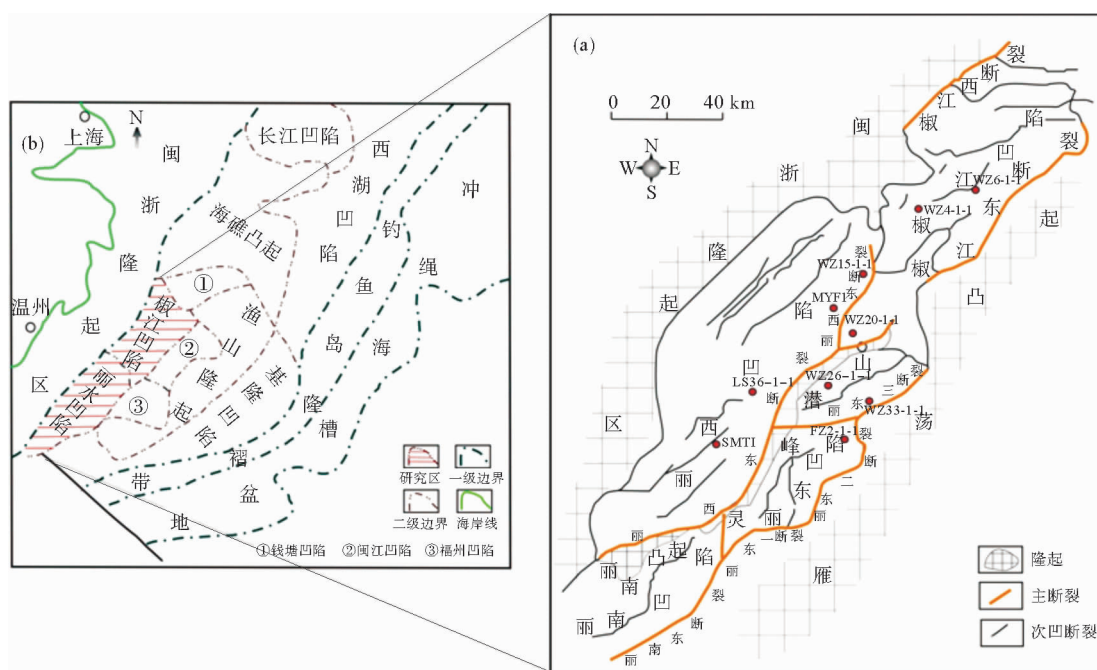


图 1 丽水—椒江凹陷区域构造位置及构造划分

Fig. 1 The location of Lishui-Jiaojiang Sag and its tectonic division

等单因素开展细致分析取证,并综合研究各种要素的展布规律及空间配置关系。

1.1 岩心相

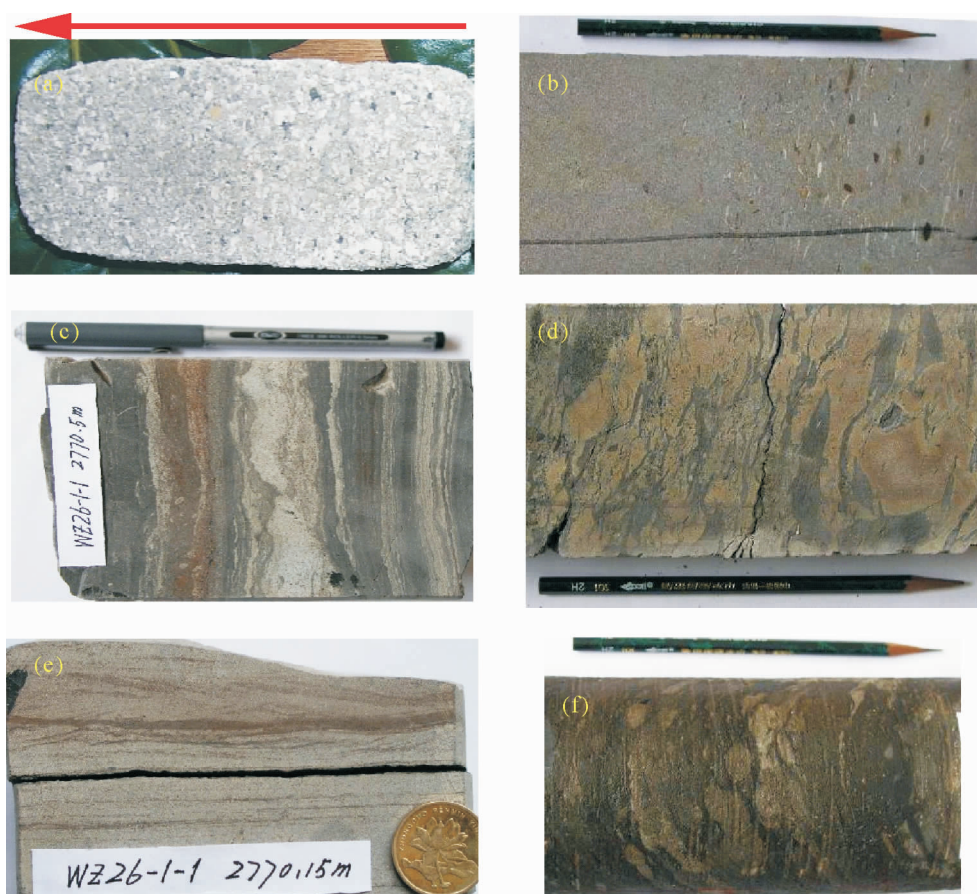
岩心相是判别沉积体系类型最直观、最具说服力的证据。沉积物的岩性、构造、结构及其组合发育特征等均决定于沉积期独特的沉积环境。明月峰组沉积期以发育碎屑岩、泥质岩等岩石类型为主。碎屑岩类中各粒级砂岩均有发育,其中以细粒级的粉砂岩至泥岩发育最广。参照碎屑岩粒级及厚度与沉积水动力呈正比的理论,依据砂岩粒度特征、岩性组合特征及沉积厚度演化划分沉积相类型。碳酸盐岩主要为泥晶(微晶)生物碎屑灰岩,少量为亮晶生物碎屑灰岩和含生物碎屑砂质粉晶灰岩。

作为辨识沉积体系非常重要的因素,沉积构造反映了沉积物的原始介质、沉积水流能力、沉积搬运过程及最终沉积形式。岩心观察表明,明月峰组沉积构造类型及数量发育均很可观,以发育平行层理、水平层理及各类交错层理为主,还可见块状层理及滑塌变形层理等沉积指示意义明显的典型构造(图 2)。

1.2 测井相

测井相亦是判识沉积环境的重要指标,其利用测井响应的定性方面的曲线特征以及定量方面的测井参数值来描述地层的沉积相。本文综合 GR 曲线(少数井参照 SP 曲线)及 RT 曲线的组合幅值及形貌特征来开展分析,在明月峰组区分出微齿化钟形、箱形或箱形—钟形组合,平直形或微齿化平直形组合,指形、齿形或指形—齿形(漏斗形)组合,漏斗形或漏斗形—箱形组合 4 种组合类型。

钟形指示下粗上细的正韵律,箱形则为物源丰富、水动力强、能量均匀的沉积特征,多期水下河道叠置则会使曲线呈微齿化钟形、箱形或箱形—钟形的相互叠加;平直形或微齿化平直形组合反映以泥质沉积为主,低幅微齿化说明沉积物分选性较差,渗透率较低;指形反映沉积物厚度薄、分布广,齿形反映砂泥岩岩性变化快,水流能量突变,指形、齿形或指形—齿形(漏斗形)组合反映三角洲扇体前缘环境,漏斗形或漏斗形—箱形组合反映出三角洲前缘环境前积式反粒序沉积特征,箱形说明物源丰富。



(a)扇三角洲平原分流河道,灰白色砂砾岩,块状层理, WZ6-1-1 井; (b)三角洲前缘河口坝,反韵律,底部生物碎屑、菱铁矿,发育板状交错层理, LS36-1-1 井; (c)浅海泥沉积,水平层理,含虫孔砂质充填,具水平生物扰动, WZ26-1-1 井; (d)滑塌重力流沉积,发育滑塌构造, LS36-1-2 井; (e)滨海沙滩,粉、细砂岩,波浪冲洗层理, WZ26-1-1 井; (f)浅海泥质沉积,水平层理,含虫孔砂质充填, WZ13-1-1 井

图 2 明月峰组典型沉积体系岩石学特征

Fig. 2 Petrography of typical sedimentary systems of the Mingyuefeng Formation

1.3 地震属性和地震相

地震相是指三维空间内由特定地震反射参数所界定的地震反射单元,可以指示特定的沉积类型或特殊地质体^[9]。在无钻井及露头的勘探地区,利用地震剖面上的反射特征来识别沉积相的方法已经被广泛使用并取得了良好的效果。丽水—椒江凹陷目前钻井 19 口,且井位相对集中,因此,在沉积体系分析中要充分利用地震资料。

地震相外部几何形态、内部反射结构和物理参数是地震相分析最重要的 3 类参数,每一参数下包含数个亚类,各地震相单元便由地震体中不同地震相参数的交叉组合构成。笔者根据实际资

料情况及所观察到的地震现象选用了频率、振幅、连续性及内部反射结构等 4 个地震参数进行地震相分析,识别出席状相、前积相、楔状相、杂乱相等 4 大类共 7 种地震相类型(图 3)。

席状相在凹陷内分布广泛,可分为低频中强振较连续亚平行席状相、中高频中弱振连续平行—亚平行席状相 2 种,主要识别于凹陷的中央洼槽带,反映在一个沉积区域内流体能量相对较低、相对稳定的沉积相组合,指示滨、浅海沉积。前积相在地震剖面上容易识别,环境意义明显。研究区主要识别出中强振较连续—连续前积相以及中强振较连续—断续帚状前积相 2 种,指示三角洲前缘、扇三角洲前缘等砂砾岩扇体的发育。

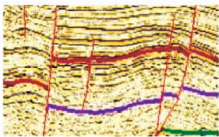
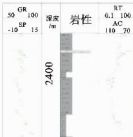
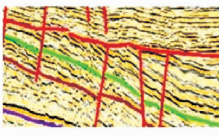
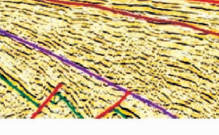
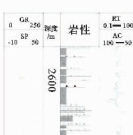
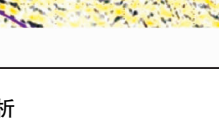
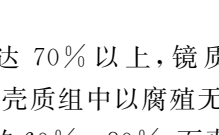
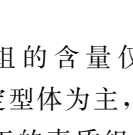
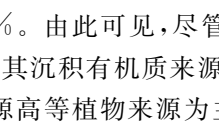
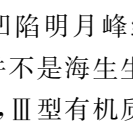
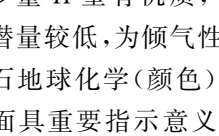
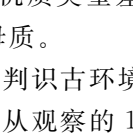
地震相类型		分布位置	对应沉积相	特征图示	典型钻井特征
席状地震相	中高频—中弱振连续 平行—亚平行席状相	凹陷中部洼陷带	滨海、浅海		
	低频中强振较连续 亚平行席状相	凹陷洼陷带、缓坡带	滨—浅海、 三角洲平原		
前积地震相	中强振较连续— 连续前积相	凹陷东西两侧	三角洲前缘、 扇三角洲前缘		
	中强振较连续— 断续帚状前积相	凹陷陡坡带	扇三角洲平原、 前缘		
楔状地震相	中弱振较连续— 断续发散楔状相	凹陷缓陡带、洼槽带	三角洲前缘、 前三角洲、滨浅海		
	中强振较连续— 连续充填楔状相	凹陷缓坡—洼槽过渡带	三角洲前缘、 前三角洲、滨浅海		
杂乱地震相	变振幅杂乱相	凹陷南北端断层下降盘 均有发育	(扇)三角洲平原、 滨浅海		

图 3 明月峰组地震相分析

Fig. 3 Seismic facies of the Mingyuefeng Formation

楔状地震相可分为中弱振较连续—断续发散楔状相和中强振较连续—连续充填楔状相 2 种,指示滨浅海、三角洲平原或前缘沉积环境。杂乱地震相主要是由于断裂作用及高能不稳定环境的沉积作用造成的,主要分布在各凹陷边界断层的下降盘,解释为扇三角洲平原。

1.4 古生物相

明月峰组富含钙质超微化石、有孔虫(包括底栖类和浮游类)、海相沟鞭藻和介形类。这些海相化石主要见于丽水凹陷。明月峰组沉积时期,古东海湾的范围北部伸达椒江凹陷东南部。在 WZ26-1-1 井深度 2 799 m 以下和 LS36-1-1 井相当的层位找到了 *Discoaster multiradiatus* 等盘星石藻类,从而证明当时海湾与外海直接连通。由此可见,明月峰组以海湾深水区沉积为主,其次为滨岸沉积,部分区域可能接近碳酸盐岩台地相。晚古新世末期,海区大部分沦为滨岸沼泽环境,这可以从本区 *D. multiradiatus* 末现面以上沉积了煤系地层得到证实。

1.5 有机地化与岩石地化(颜色)

作为有机地球化学的重要指标,干酪根类型对于分析判断沉积环境具有重要指示意义。明峰组干酪根显微组分没有发现腐泥组分,壳质组的

含量高达 70% 以上,镜质组的含量仅 15% ~ 30%;在壳质组中以腐殖无定型体为主,占有机显微组分的 60% ~ 80%,而真正的壳质组含量仅为 5% ~ 8%。由此可见,尽管凹陷明月峰组为海相环境,但其沉积有机质来源并不是海生生物,而仍是以陆源高等植物来源为主,Ⅲ型有机质占主导,仅发育少量 II 型有机质,有机质类型差,总体来看生烃潜力较低,为倾气性母质。

岩石地球化学(颜色)在判识古环境、古气候条件方面具重要指示意义。从观察的 10 口井的岩心资料可以看出,岩石颜色以灰、灰绿和浅灰色为主(图 2),指示为水流畅通、水体较浅环境下的三角洲平原或三角洲前缘沉积;部分深色沉积指示了氧化—还原交替环境下的海陆交互沉积物。

1.6 古构造及古地貌

明月峰组沉积时期,断层活动较为强烈,对该期沉积充填有重要的控制作用,受断层控制的盆地呈东断西超中央深凹洼槽的半地堑结构。以深凹区为中心向周围扩展,发育滨海—浅海相沉积。

明月峰组早期盆地断控作用相当明显,加上海侵的发生,水深的加剧,导致凹陷东缘陡坡带物源大部已沉入水下,扇体不发育,仅在凹陷中北部受较强烈断层控制发育扇三角洲沉积,西侧扇体

也限于凹陷边缘,前积延伸距离短,以闽浙隆起带物源为主,三角洲扇体多呈 SE 向南北分列成群展布。后期两侧物源构造隆升,古地貌的变化不仅影响了深水区的发育,还可以提供物源,导致凹陷西侧扇体范围扩大,向盆内推进且形成连片之势,在 LS36-1 井区受较强烈断层活动控制,在断层下降盘发育滑塌重力流沉积体,东侧受雁荡低凸起物源控制发育多个 SE 向展布的扇三角洲、三角洲扇体,向 NW 向前积。

2 沉积体系域重建

在单因素精细取证的基础上,多种单因素沉积学分析要素综合取证,相互补充,相互佐证,客观地分析评价了研究区的沉积体系类型及其空间配置关系。

2.1 沉积体系类型

丽水—椒江凹陷明月峰组发育扇三角洲、三角洲、滑塌重力流和海洋沉积体系等 4 种主要的沉积体系。

扇三角洲沉积体系主要见于近物源区,如灵峰潜山和雁荡凸起附近,扇三角洲平原由辫状分流河道和泛滥平原等微相组成。辫状分流河道近岸堆积,单层厚度较大,沉积岩性主要为灰白色粗砂岩、砂砾岩和细砂岩,发育大型交错层理,具底冲刷,呈中—高幅齿化箱型电测特征。扇三角洲前缘主要发育水下分流河道、河口坝和分流间湾等微相,水下分流河道主要由浅灰色粗砂岩及细砂岩组成,局部见泥砾及底冲刷,电测曲线多呈箱形。河口坝沉积岩性主要为灰色细砂岩,发育波状交错层理及平行层理等,总体呈下粗上细逆粒序,电测曲线亦呈向上变粗的漏斗型或指状前积。

凹陷西部缓坡带发育三角洲沉积体系。三角洲平原分流河道以浅灰色细砂岩、砂砾岩为主,夹灰色泥岩、薄层黑色煤层,砂体具向上变细的正粒序特征,为钟形—箱形、钟形或指形电测特征。平原亚相主要分布在明月峰上段。作为凹陷三角洲沉积的主体,前缘亚相由水下分流河道、水下分流间湾、河口坝等沉积微相组成,其中水下分流河道微相是陆上分流河道向海内的继续延伸。河口坝沉积微相主要由灰色、灰绿色粉细砂岩、泥质粉砂

岩及少量粉砂质泥岩构成反韵律,单一韵律厚约 3~6 m,生物碎屑、菱铁矿常见于韵律底部,板状交错层理发育,呈齿化漏斗状或指状测井响应特征。

明月峰组上段 LS36-1-1 井区发育滑塌重力流体系,岩性以灰白色块状含砾粗砂岩、中砂岩等为主,具滑塌变形构造、波状层理、交错层理、递变层理以及平行层理,可见碳化植物茎、炭屑以及双壳化石等夹于其中,且普遍夹有扁平状泥砾,局部可见含大量撕裂泥岩碎块的底冲刷构造,粗粒砂岩之间夹层发育多套深灰色水平层理、质纯的泥岩,局部夹有薄层的透镜状细砂岩。

海洋沉积体系类型在区内广泛发育,可分为滨岸、浅海及碳酸盐岩台地 3 类沉积体系。滨岸沉积体系多为滨海相。一般根据水动力条件及滨岸砂体发育特征,可以将滨海相细分为风成砂丘、后滨、前滨、临滨 4 个亚相,临滨向海过渡为远滨浅海区(图 4)。浅海沉积体系可分为浅海泥和远端浊积岩 2 个亚相,主要为深水区的静水细粒沉积。作为浅海体系中主要沉积类型,浅海泥亚相主要由深灰色、灰黑色粉砂质泥岩和泥岩组成,发育块状、水平层理,亦可见波状层理发育,普遍发育虫孔砂质充填,大量浮游生物和黄铁矿微粒发育其间(图 4)。碳酸盐岩台地体系主要发育于区内 WZ33-1-1 井的 1 720~1 765 m、FZ2-1-1 井的 1 858~1 874 m、WZ20-1-1 井的 2 180~2 250 m 及 WZ15-1-1 井的 1 840~1 872 m。该沉积体系中泥质含量较低,仅在 WZ20-1-1 井碳酸盐岩夹有少量砂质沉积,总体电测曲线呈箱形的低伽玛、低声波时差和高电阻率特征。研究区东部的深水区中较浅水区和断阶处的洁净温暖海水环境为其主要沉积环境。

2.2 沉积体系展布及演化

在以上分析的基础上,重建了明月峰组的沉积体系展布面貌。明月峰组沉积期凹陷演化处于断陷后期阶段,断控沉积作用较为明显。明月峰组下段海侵作用显著,海岸线向凹陷东西两侧推进明显,凹陷中部灵峰潜山在此沉积期逐渐没入水下,洁净温暖且稳定的沉积环境使得碳酸盐岩台地沉积在凹陷东侧 FZ2-1-1、WZ33-1-1、WZ20-1-1、WZ15-1-1 等数个井区附近发育,受控于陡坡但供给量较小的东缘近源雁荡凸起,在 MYF1 井

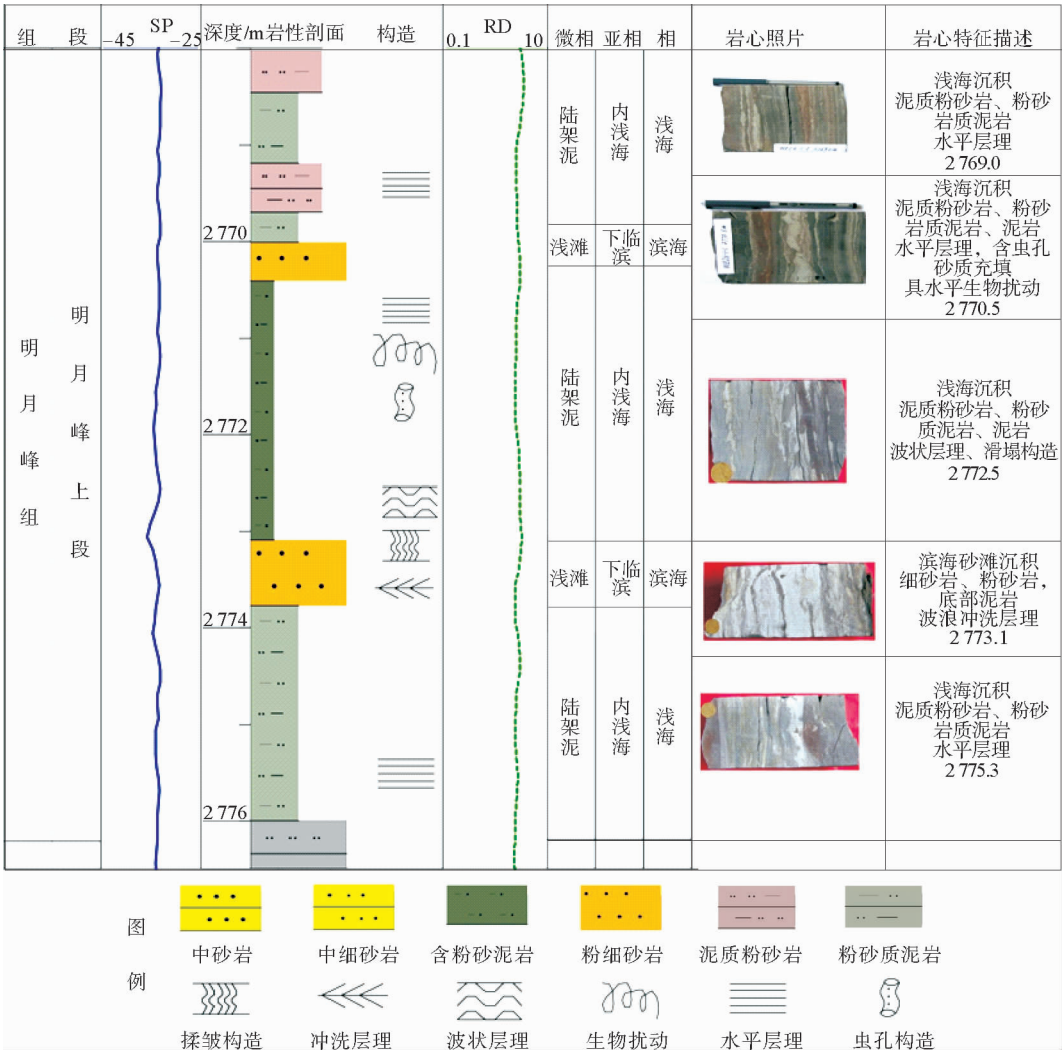


图 4 WZ26-1-1 井滨海—浅海岩电性特征

Fig. 4 Lithology and logging features of littoral-neritic facies in the Well WZ26-1-1

区以及椒江凹陷 WZ6-1-1 井区发育扇三角洲沉积体,而西部斜坡区由闽浙隆起提供物源供给,由南到北发育有 5 个规模较大的裙边状三角洲朵叶体区(图 5a)。

明月峰组上段,海侵进一步扩大,且在该期初期达到最大海泛,沉积特征总体继承性发育,以滨海—浅海相和三角洲相为主。该期凹陷东侧雁荡凸起及凹陷中部灵峰潜山都已没入水下,仅存西侧闽浙隆起作为研究区沉积物源补给区。而后闽浙隆起及雁荡凸起先后开始区域隆升,区域海退,两侧三角洲体系持续向凹陷中心推进,海域范围随之快速缩小,总体上该时期三角洲沉积的范围较大。从连井沉积对比看,西侧南部的 SMT-1 井

区三角洲沉积可延伸至主要为前缘河口坝沉积的 NP11-4-1 井区,该三角洲沉积北侧向凹陷内垮塌,在 LS36-1-1 井区形成滑塌型重力流沉积。东侧雁荡凸起重新恢复物源供给,在 WZ26-1-1 井区形成一个大型三角洲沉积,该沉积体向凹陷延伸达 MYF1 井区附近。同时受控于雁荡凸起近物源控制,在椒江凹陷 WZ6-1-1 井区、椒江凹陷东南侧及丽水凹陷东南侧发育 3 个扇三角洲沉积体(图 5b)。

3 结论

丽水—椒江凹陷古近系明月峰组发育扇三角

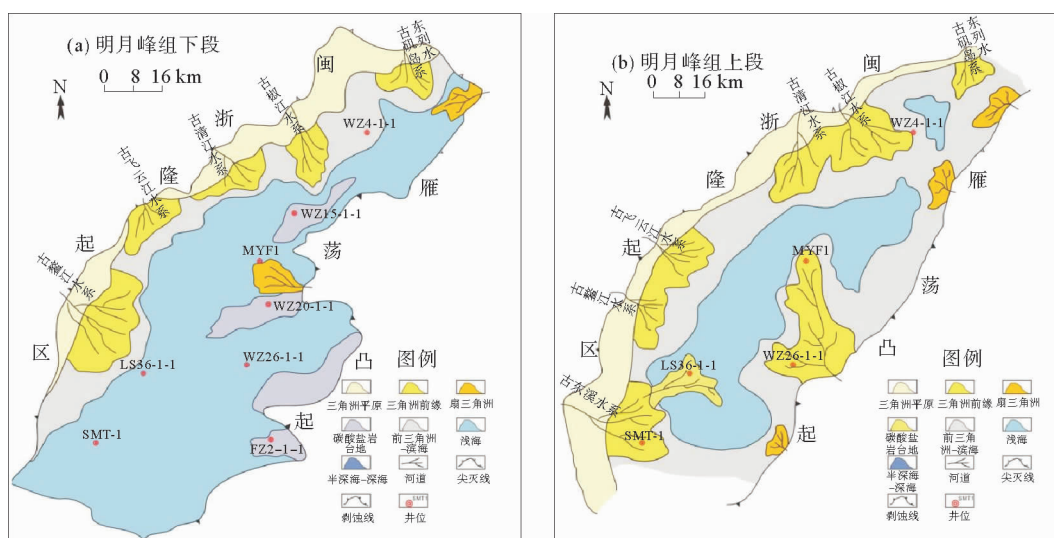


图 5 明月峰组沉积体系平面展布

Fig. 5 Distribution of sedimentary systems of the Mingyuefeng Formation in Lishui-Jiaojiang Sag

洲体系、三角洲体系、海洋体系及重力流体系等 4 种主要的沉积体系。在平面上,扇三角洲沉积体系主要分布在在断层活动性强的东侧陡坡地区,三角洲体系在西侧缓坡地区发育,滑塌重力流体系分布在受次级断层控制的 LS36-1 井区;在纵向上,沉积格局受凹陷周边古构造(断层)和古地貌控制,它们除限制盆地的范围、演化外,还为盆地沉积提供大量陆源物质。受此影响,研究区沉积范围经历了扩大—收缩的过程,明月峰组下段以发育滨浅海—碳酸盐岩台地—三角洲相组合为主,上段以发育(扇)三角洲—滑塌重力流—滨浅海组合为主,这些变化可由沉积物组合和沉积相分布变化得到反映。通过丽水—椒江凹陷明月峰组的多种单因素沉积要素开展细致的分析,加之相互印证、修订及补充,最终实现凹陷沉积特征的综合分析。研究实践表明,这种“多因素综合取证分析”方法在沉积体系研究中行之有效。

参考文献:

- [1] 陈志勇. 丽水、椒江凹陷油气潜力分析和勘探突破口的选择[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(6): 451-458.
- [2] 陈志勇, 吴培康, 吴志轩. 丽水凹陷石油地质特征及勘探前景[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(6): 384-391.
- [3] 郑求根, 周祖翼, 蔡立国, 等. 东海陆架盆地中新世代构造背

景及演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 197-201.

- [4] 姜涌泉. 浅析东海陆架盆地沉积作用的主要控制因素[J]. 南方油气地质, 1994, 1(1): 68-75.
- [5] 周士科, 徐长贵. 轴向重力流沉积: 一种重要的深水储层——以东海盆地丽水凹陷明月峰组为例[J]. 地质科技情报, 2006, 25(5): 57-62.
- [6] 刘景彦, 陈志勇, 林畅松, 等. 东海丽水西次凹古新统明月峰组层序—体系域分析及沉积体系展布[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 380-386.
- [7] 靳久强, 宋建国. 中国板块构造对含油气盆地演化和油气分布特征的控制[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 2-8.
- [8] 姜亮, 李保华, 钟石兰, 等. 东海陆架盆地台北坳陷月桂峰组生物地层及古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 37-42.
- [9] 黄锋, 李志荣, 廖玲, 等. 利用地震资料进行沉积相分析[J]. 物探化探计算技术, 2003, 25(3): 197-201.
- [10] 凌云研究组. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 642-653.
- [11] 朱仕军, 黄继祥. 微地震相分析在沉积相研究中的应用[J]. 西南石油学院学报, 1995, 17(4): 14-19.
- [12] 姜华, 王华, 肖军, 等. 应用古地貌分析方法进行有利区带预测——以琼东南盆地②号断裂带为例[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(4): 436-441.
- [13] 赖生华, 李晓宏. 断陷盆地沉积体系研究新思路: 从古地貌、岩性变化、水体深度到沉积体系[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 663-670.

(下转第 48 页)

