

文章编号:1000-0550(2017)01-0139-12

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.01.014

滨里海盆地东缘石炭系 KT-II 层碳酸盐岩微相特征与沉积环境研究

——以扎纳若尔地区为例

伊硕^{1,2}, 黄文辉^{1,2}, 金振奎³, 高白水³

1. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学(北京)海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 北京 100083

3. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

摘要 为解决滨里海盆地东缘扎纳若尔地区石炭系 KT-II 层碳酸盐岩储层非均质性问题, 对其沉积微相内部沉积模式进行更详细的剖析和精细刻画。研究结果表明: ①研究区石炭系 KT-II 层碳酸盐岩的岩性以亮晶颗粒石灰岩为主, 灰泥颗粒石灰岩及灰泥石灰岩次之。②根据沉积特征及沉积环境差异, 碳酸盐岩沉积可划分为潮坪、浅滩和滩间洼地。以水深、水动力条件及盐度特征为基础, 将碳酸盐岩浅滩划分为破浪滩和升浪滩两种微相, 并根据其组成不同进一步细分为簏类滩、有孔虫滩、藻粒滩和鲕粒滩亚微相。③按照 Wilson 理想化碳酸盐岩综合相模式, 研究区归属于开阔台地相内部沉积, 并与 Irwin 陆表海能量模型进行对应分析: 潮坪相对应于靠近海岸的 Z 带; 滩相沉积对应于稍近海岸的 Y 带, 洼地对应于远离海岸的 X 带。

关键词 滨里海盆地; 扎纳若尔; 石炭系; KT-II 层; 沉积微相

第一作者简介 伊硕, 女, 1989 年出生, 博士, 沉积学理论与应用, E-mail: yishuo2010@163.com

通讯作者简介 黄文辉, 男, 教授, E-mail: huangwh@cugb.edu.cn

中图分类号 P618.13 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

Brown^[1]首次使用了“沉积微相”这个名词来描述薄片下的岩石组合, 随后 Cuvillier^[2]重新引用这个名词来表征薄片研究中的岩石学和古生物学标准, 并被 Fairbridge^[3]提出的微岩相和微生物相的区别所证实。Flügel^[4]将沉积微相定义为可在薄片、揭片和磨光片中区分出所有古生物学和沉积学特征的综合。而如今, 沉积微相已经成为一个用来描述岩石沉积学特征和古生物学特征的综合性术语^[5]。

在碳酸盐岩沉积微相研究中, 薄片和野外露头相结合的方法论来自于 Dunham^[6]基于结构和构造的石灰岩分类方法的使用。Armstrong^[7]总结了阿拉斯加石炭系碳酸盐岩沉积模式, 将碳酸盐岩沉积盆地划分成可与欧文能量相带类比的 9 个相带组合。Wilson^[8]提出了理想化的碳酸盐岩综合相模式, 归纳为 24 个标准微相。Read^[9]对于不同外形、沉积相和演化特征的碳酸盐岩台地相类型进行了详细的划分, 分别以斜坡相、镶边碳酸盐岩大陆架、孤立台地、沉没台

地、断裂边缘台地进行了分类阐述。Schlager^[10]根据沉积环境、生物群落和沉积物以及常见岩相的不同总结出镶边碳酸盐岩台地的相模式。此外, 我国学者们在结合沉积体层次性的前提下, 将沉积相分为亚相、微相, 甚至划分出微微相(或者亚微相)^[11-14], 随着近年来研究方法的不断推陈出新, 沉积微相的研究取得了一定程度的进步。

关于滨里海盆地东缘沉积相的研究, 前人提出了许多观点: 各位学者^[15-16]就扎纳若尔沉积以石炭系碳酸盐岩为主已达成一致看法。雍天寿^[17]在对扎纳若尔地区石炭系地层合理划分的基础上, 首次对含油气层进行了详细的沉积相研究, 认为沉积相带以浅海开阔台地相和局限台地相为主。方甲中^[18]利用测井相与取芯井的对比分析, 识别具有潮上带、潮间带和潮下带的沉积序列特征的滩、潮汐通道、滩间洼地和潟湖 4 种沉积微相。苗钱友等^[12]应用层序地层学理论对其进行了沉积古地理研究, 认为浅海高能环境沉积整体上为开阔台地相粒屑滩沉积。

然而前人多以整个滨里海盆地东缘为研究对

收稿日期: 2016-02-14; 收修改稿日期: 2016-03-25

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05042-001, 2011ZX05042-002) [Foundation: National Science and Technology Major Project, No.2011ZX05042-001, 2011ZX05042-002]

象^[16-17],同时研究几个油田,研究尺度较大,虽然对该区海相碳酸盐岩沉积相类型及分布进行了概括^[18-20],但尚未对各沉积微相进行详细划分,对其岩性、电性、地震属性等特征也未进行精细刻画,且各沉积微相的平面展布和纵向演化规律也尚不清楚。除此,前人对本区的研究基本停留在沉积相及沉积微相的层次^[21-22],由于研究区研究层位的储层非均质性十分显著,沉积微相层次的研究已经不能满足生产需要了,因此需要对沉积微相内部再次进行详细研究。因此本文作者将重点剖析沉积微相内部的沉积,应用取芯井、钻测井、地震等方面的综合研究,在岩芯深度归位的基础上,应用测井曲线半定量岩性划分,综合碳酸盐岩分类方法,结合水动力环境及成岩史分析,明确扎纳若尔地区石炭系KT-II层的沉积微相及亚微相类型及沉积模式,并探讨其沉积环境,为其他碳酸盐岩台地相沉积模式的建立提供参考,为指导油田进一步开发提供理论依据。

1 地质背景

扎纳若尔地区位于滨里海盆地东部次盆扎尔卡梅斯隆起带上(图1a),其内部构造形态为一个具有

南北两个高点的背斜,中间鞍部相连(图1b),背斜长轴方向约为北偏东 25° ,具有一定的继承性。扎纳若尔背斜是扎尔卡梅斯隆起带背斜群中的一部分,同受乌拉尔地槽区发展与沿海的控制^[21-23]。本次主要研究层位是石炭系第二碳酸盐岩层(即KT-II层),包括莫斯科下亚阶、巴什基尔阶和谢尔普霍夫阶的碳酸盐岩层^[17],研究层位进一步划分为 Γ 、 Π 两个小层(图2)。

2 方法

扎纳若尔油田石炭系KT-II层的沉积微相分析是基于岩石学分析和地震测井资料的综合研究的。应用碳酸盐岩颗粒类型和结构变化特征及沉积构造特征来刻画每个沉积微相。本研究收集了300余个包含沉积构造、化石含量、结构和岩相变化的岩石薄片和50余个岩芯样品,并对20余个薄片进行扫描电镜和阴极发光显微镜下的观察。

沉积微相的命名是根据威尔逊对沉积环境解释的24个标准微相模式,同时应用偏光显微镜定性化研究该区的沉积微相及亚微相,通过岩石组分之间的关系、变化、演进及沉积环境、沉积作用的不同,来描

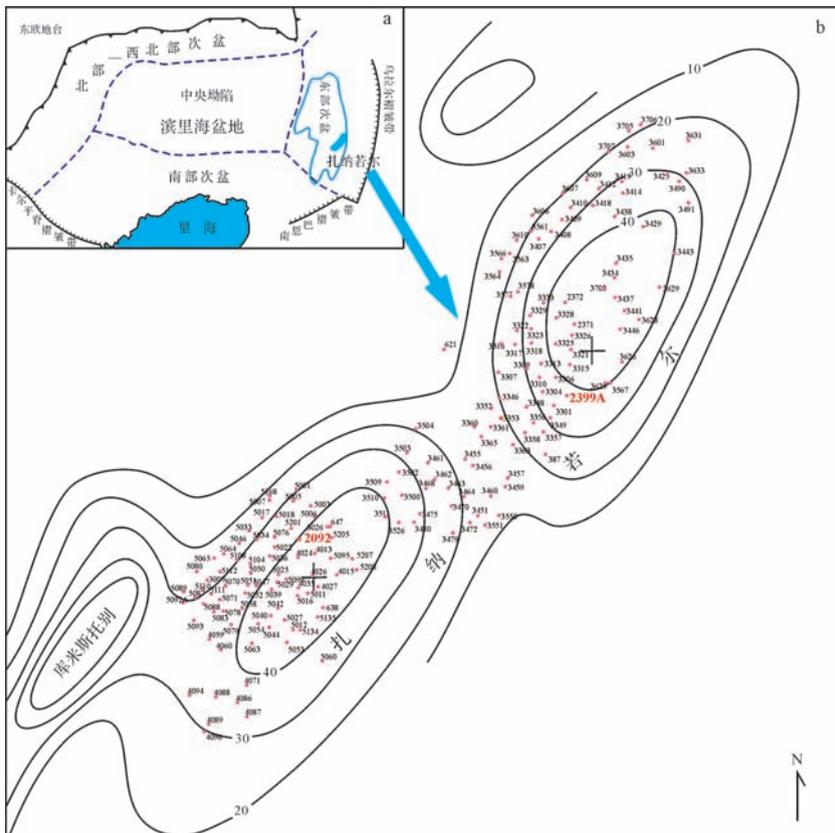


图1 扎纳若尔油田位置及其构造背景^[24]

Fig.1 The location and tectonic setting of Zanazor oilfield ^[24]

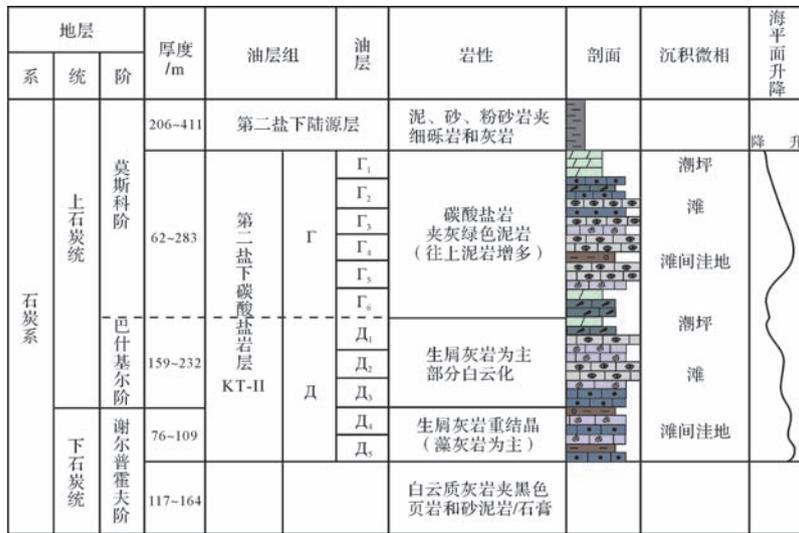


图 2 扎纳若尔油田石炭系 KT-II 层综合柱状图

Fig.2 The comprehensive column of KT-II layer of Carboniferous in Zanzator oilfield

述刻画每个亚微相沉积单元的特征。同时应用扫描电镜、阴极发光及电子探针等手段,加以测井资料进行辅证。

3 岩石特征

通过对研究区 300 余个岩芯数据及测井相关资料进行综合分析,以及岩石薄片系统鉴定和所有铸体薄片资料的具体研究,总结得出本研究区 KT-II 层的岩石类型主要是石灰岩,还有少量白云岩和泥岩。在金振奎提出的石灰岩分类方案^[25]的基础上,本区 KT-II 层发育的石灰岩类型可划分为灰泥石灰岩、灰泥颗粒石灰岩和亮晶颗粒石灰岩,其中亮晶颗粒石灰岩占主导地位。常见的颗粒类型包括鲕、有孔虫、鲕粒、内碎屑和藻粒等(表 1)。

表 1 岩石类型分类表

Table 1 The classification of rock types

岩石类型	成因	丰度
石灰岩 亮晶颗粒石灰岩	亮晶鲕灰岩	持续动荡, 丰富, 约 91%
	亮晶有孔虫灰岩	高能浅滩
	亮晶鲕粒灰岩	
	亮晶内碎屑灰岩	
	亮晶藻粒灰岩	
灰泥颗粒石灰岩	灰泥生屑灰岩	间歇高能 少见, 约 6%
灰泥石灰岩	蓝绿藻灰泥灰岩	低能, 潮坪 少见, 约 3%
白云岩	回流渗透	少见

3.1 亮晶鲕灰岩

亮晶颗粒灰岩是岩石中颗粒含量大于 50% 的亮

晶方解石胶结的石灰岩。亮晶鲕灰岩属于亮晶颗粒灰岩的一种,颗粒的主要种类为鲕类,亦含有少量有孔虫、腹足动物碎片、藻团块等,总体上鲕类含量占 50% 以上(图 3a)。鲕壳体呈颗粒支撑,壳体直径在 200~1 000 μm 之间,分选较好,颗粒之间呈点接触或者线接触,方解石亮晶胶结。粒间孔、体腔孔发育(图 3b),粒间孔分布不均,局部密集呈蛛网状,孔径 0.3~0.5 mm,体腔孔直径 0.1~0.2 mm,面孔率一般大于 10%,物性好,是研究区优质储层的最主要岩石类型。在测井曲线上,亮晶鲕灰岩主要表现为低电阻、高 DT、高 CNC、低 GR,一般声波测井曲线(DT)值大于 195 μs/m,中子测井曲线(CNC)值一般大于 10%,自然伽马曲线(GR)值一般低于 13 API。此类灰岩主要形成于水体较浅(在正常浪基面之上)、持续动荡的浅海较高能的浅滩环境。

3.2 亮晶有孔虫石灰岩

亮晶有孔虫灰岩亦属于亮晶颗粒灰岩的一种,有孔虫占颗粒成分的大多数(50% 以上),有孔虫大小不一(图 3c),直径在 60~150 μm 之间,以 100 μm 左右的居多,种类较多,胶结较好,局部有溶蚀(图 3d),孔渗性中等,面孔率介于 5%~10% 之间,是研究区中等储层的主要岩石类型。在测井曲线上,亮晶有孔虫灰岩一般表现为低电阻、中等 DT、中等 CNC、低 GR,一般声波时差曲线(DT)值在 170~190 μs/m 之间,中子测井曲线(CNC)值一般介于 5%~10%,自然伽马曲线(GR)一般低于 10 API。亮晶有孔虫灰岩形成于水体较浅、持续动荡的浅海环境。

3.3 亮晶鲕粒灰岩

鲕粒灰岩是一种以鲕粒为主要颗粒组分的颗粒石灰岩。鲕粒类型主要有放射鲕、表鲕和正常鲕(图3e), 鲕粒多以生物碎屑为核心, 粒径0.3~0.8 mm, 分选中等—好。亮晶鲕粒灰岩的鲕粒间以粒状亮晶方解石世代胶结为主(图3f), 可识别出三代胶结, 第一世代为纤维状环边胶结, 第二世代为粒状方解石胶结, 第三世代为可见解理的嵌晶方解石。局部见少量晶内孔隙, 少量鲕间见线状、折线状孔隙, 未充填孔隙

少。颗粒接触稍疏处有少量分布不均的微孔。面孔率很小, 是研究区差储层的主要岩石类型之一。在测井曲线上, 亮晶鲕粒灰岩表现为高电阻、低DT、低CNC、低GR, 一般声波时差曲线(DT)值小于182 $\mu\text{s}/\text{m}$, 中子测井曲线(CNC)值一般低于8%, 自然伽马曲线(GR)一般为7~15 API。鲕粒形成于持续高能、水流动荡的环境中, 当鲕粒质量超过波浪、水流搅动的能量时, 便不再被搅动, 并被亮晶方解石所胶结, 从而形成亮晶鲕粒灰岩。

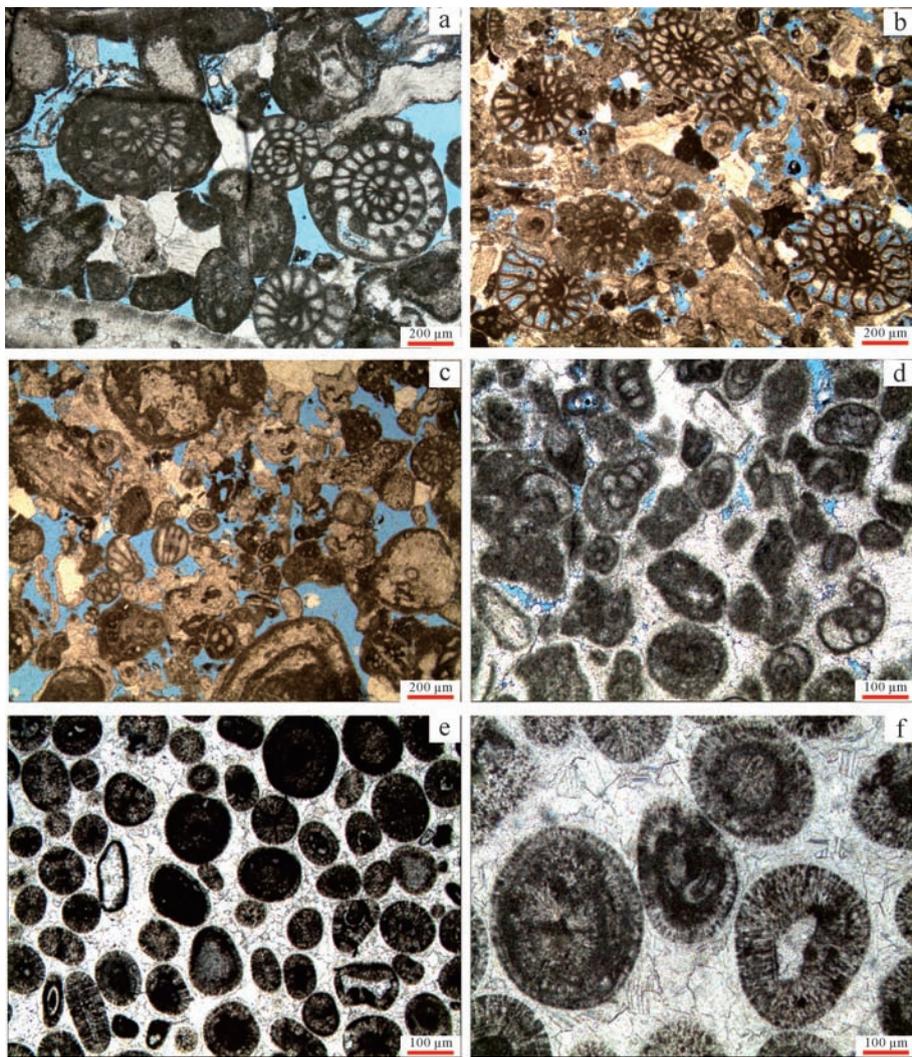


图3 扎纳若尔油田KT-II层岩石类型(1)

a.亮晶鲕灰岩, 2399A井, 3 658.10 m, Γ 层, 单偏光, 颗粒类型以鲕类为主(55%), 亦有藻类、有孔虫、腹足动物和棘皮动物。孔隙空间被方解石填充, 孔隙类型以粒间孔为主(25%), 孔隙被粒柱状亮晶方解石填充。在薄片的砂屑颗粒上观察到有尺寸为0.01 mm的细裂缝, 横切碎屑(约1%); b.亮晶鲕灰岩, 2399A井, 3 635.69 m, Γ 层, 单偏光, 颗粒类型以鲕类为主(70%), 粒间孔和鲕内部溶孔发育, 可见粒内溶蚀是由颗粒边缘向内进行的; c.亮晶有孔虫灰岩, 2092井, 3 628.66 m, Π 层, 单偏光, 颗粒以小孔虫为主, 分选中等—差, 粒间溶孔发育, 面孔率较高(约15%); d.亮晶有孔虫灰岩, 2399A井, 3 753.30 m, Π 层, 单偏光, 局部胶结作用强烈, 可见两期亮晶方解石的世代胶结, 面孔率较低(约5%); e.亮晶鲕粒灰岩, 3357井, 3 792.52 m, Π 层, 单偏光, 颗粒以鲕粒为主, 主要包括正常鲕、椭圆形鲕、放射鲕和表皮鲕, 胶结作用强烈; f.亮晶鲕粒灰岩, 2399A井, 3 753.78 m, Π 层, 单偏光, 鲕核心由内碎屑、生物碎屑等组成, 局部可见泥晶套, 总体胶结作用强烈, 可明显识别出胶结世代。

Fig.3 The rock types of KT-II layer of Carboniferous in Zanazor oilfield(1)

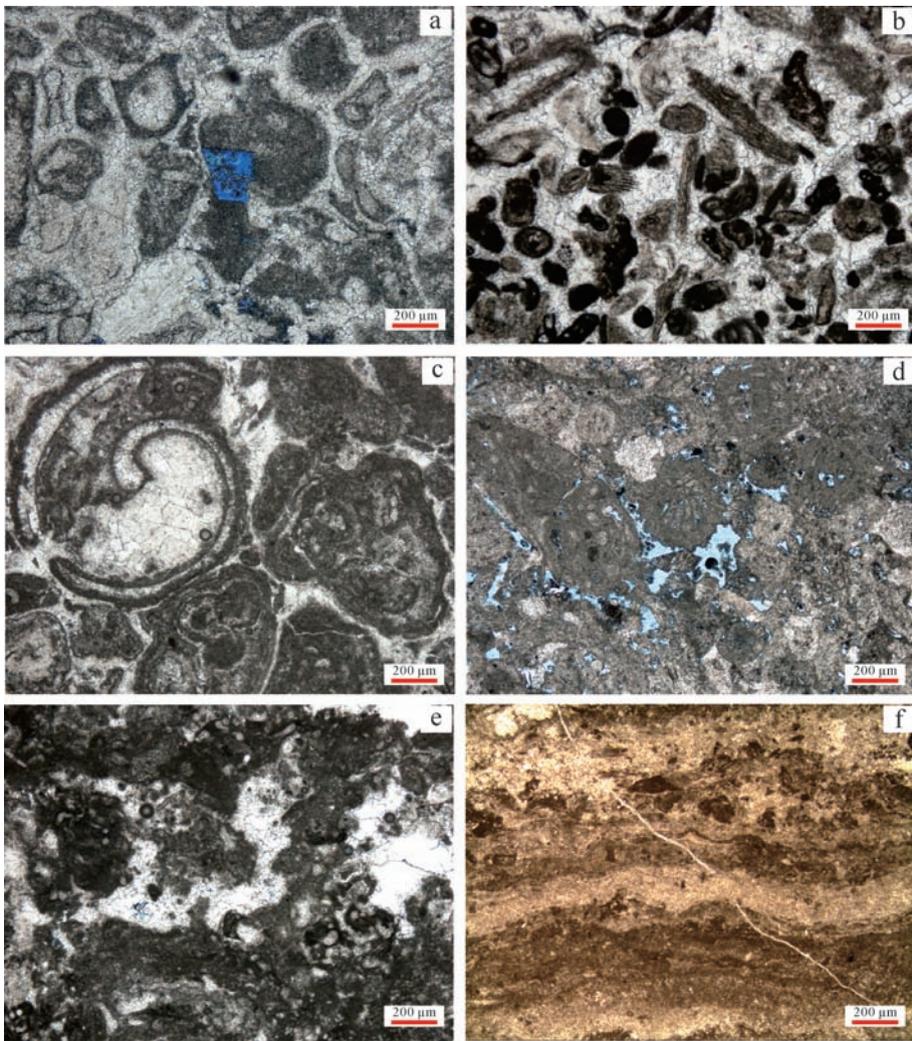


图4 扎纳若尔油田 KT-II 层岩石类型(2)

a.亮晶砂屑灰岩,2092井,3 637.05 m,Ⅱ层,单偏光,颗粒主要以砂级内碎屑为主,胶结作用较强,孔隙以白云石溶解铸模孔的形式存在,面孔率低;b.亮晶藻粒灰岩,2399A井,3 634.82 m,Ⅱ层,单偏光,颗粒类型主要是圆形和叶片状藻粒,长轴可达0.3~0.5 mm,胶结作用十分强烈;c.亮晶砂屑—藻鲕石灰岩,2092井,3 607.14 m,Ⅱ层,单偏光,以藻团块为核心包裹成的藻鲕为主要颗粒类型,个别可形成复鲕,后期裂缝切穿藻鲕颗粒,同时被后期胶结物充填;d.灰泥生屑灰岩,2399A井,3 659.45 m,Ⅱ层,单偏光,暗色泥晶胶结泥质含量较多的生物碎屑,粒内粒间孔较为发育,可能是后期孔隙水溶蚀的结果;e.团粒状—凝块状藻灰岩,2399A井,3 631.91 m,Ⅱ层,单偏光,有机成因,微晶团粒具有不规则的圆形和椭圆形形状,由微晶组成,具有斑状构造,尺寸为0.4~0.6 mm。凝块状具有不规则的形状,微晶组分,尺寸为0.5~0.6 mm,遍布整个薄片。粒间空间被方解石填充。不同保存程度的骨架颗粒主要是藻类碎片,红藻纲,胶结物为细粒方解石;f.叠层石,2399A井,3 654.69 m,亮色方解石和暗色藻纹层交替出现,是潮坪环境的典型相标志。

Fig.4 The rock types of KT-II layer of Carboniferous in Zanazor oilfield(2)

3.4 亮晶内碎屑灰岩

亮晶内碎屑灰岩是一种以内碎屑为主要组分的亮晶颗粒灰岩。按内碎屑大小可分为砾屑灰岩($d > 2$ mm),砂屑灰岩($0.05 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$),粉屑灰岩($0.005 \text{ mm} < d < 0.05 \text{ mm}$),泥屑灰岩($d < 0.005 \text{ mm}$)等。本区内碎屑灰岩以砂级内碎屑为主(图4a),多为灰泥石灰岩破碎形成,颗粒常杂乱堆积,磨圆度较

高,胶结程度强,被两期亮晶方解石完全填充,孔渗性差,部分含少量孔隙,以分布不均匀且稀疏的晶模孔为主,胶结物未见溶孔,是研究区差储层的主要岩石类型之一。在测井曲线上一般为表现为:低DT、高电阻率、低CNC、低GR,一般声波时差曲线(DT)值小于 $172 \mu\text{s/m}$,中子测井曲线(CNC)值一般低于5%,自然伽马曲线(GR)一般为7~15 API。亮晶内碎屑灰

岩一般形成于水体较浅、持续动荡的浅海环境。

3.5 亮晶藻粒灰岩

藻粒灰岩是指藻鲕、核形石或藻团块灰岩(图4b,c),是由蓝绿藻黏结灰泥而形成的,孔隙度很差。在测井曲线上,藻粒灰岩一般表现为中等GR、中等电阻、中等DT和中等CNC,一般声波时差曲线(DT)值一般170~182 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,中子测井曲线(CNC)值一般位于5%~10%之间,自然伽马曲线(GR)一般位于10~18 API之间,电阻率曲线值在1 000~1 500 $\Omega \cdot \text{m}$ 之间。一般形成于水体较浅、持续动荡的环境中。

3.6 灰泥生屑灰岩

灰泥生屑灰岩是指填隙物中灰泥含量大于亮晶胶结物,但颗粒含量大于50%,且颗粒主要为生物碎屑的灰岩。生物碎屑主要成分为有孔虫、腕足动物、海百合、苔藓动物、介形虫等碎片,孔隙多为体腔孔或粒内孔(图4d),分布不均,物性不好。在测井曲线上,杂屑灰岩表现为低电阻、高GR、低DT、低CNC,一般声波时差曲线(DT)值小于182 $\mu\text{s}/\text{m}$,中子测井曲线(CNC)值一般小于5%,自然伽马曲线(GR)一般大于13 API。是浅海低能环境沉积物的成岩产物。

3.7 蓝绿藻灰岩

蓝绿藻灰岩是一种由蓝绿藻黏结灰泥而形成的石灰岩(图4e),发育叠层石构造(图4f),其内常见窗格构造。在测井曲线上,蓝绿藻灰岩一般表现为高GR、高电阻、低DT、低CNC,一般声波时差曲线(DT)值小于170 $\mu\text{s}/\text{m}$,中子测井曲线(CNC)值一般低于3%,自然伽马曲线(GR)一般大于15 API。属于潮坪环境沉积。

4 沉积微相分类及沉积相模式

滨里海盆地内KT-II层属于碳酸盐台地相沉积,尤其以滩相沉积为主。而本次研究的地区位于碳酸盐岩开阔台地内部,开阔台地上地貌的高低控制着波浪和潮汐能量以及盐度和沉积物的分布。本文参考前人研究经验^[26-28],综合沉积背景、岩石学特征和电性特征以及地震资料等方面的研究成果,结合水深、水动力和盐度特征的差异,对本区KT-II层碳酸盐岩进行沉积微相相带的划分,在开阔台地内部识别出了潮坪、浅滩和滩间洼地三种亚相,并进一步按碳酸盐岩的成分特征和沉积时水动力条件进行碳酸盐岩微相划分:将浅滩分为破浪滩(筴类滩和有孔虫滩)和升浪滩(砂屑—鲕粒滩和藻粒滩)。

4.1 潮坪相

金振奎将潮坪定义为“位于平均低潮面和最大高潮面之间,且地形平缓宽阔,以潮汐作用为主的沉积环境”^[13]。潮坪是具有周期性潮汐作用的倾斜非常平缓的海岸带。本区主要由藻灰岩(图4e)和叠层石灰泥石灰岩(图4f)组成,部分层位有白云岩出现,发育细纹层构造,主要以叠层石构造和双纹球粒石灰岩及部分地区白云化作用为识别标志,暗色富藻层和浅色富屑层交替反映了潮水升降交替的潮汐作用,水动力条件弱,灰泥含量高,孔隙不发育,储集物性差。叠层石在海相沉积中出现的位置有两种可能:一种是靠岸沉积,向岸发育蒸发台地,向海发育泄湖沉积;一种是靠海沉积,与礁滩相共生。结合沉积背景及构造抬升、地层暴露剥蚀现象,同时 π 层顶部出现的白云质灰岩、白云岩及测井曲线上高电阻高密度特征及自然伽马的高尖高泥质含量现象,可推断出此处叠层石沉积缺少广海特征,为靠岸的潮坪潮上带沉积,潮下带及泄湖等沉积不发育。

4.2 碳酸盐岩浅滩

4.2.1 升浪滩

海底处于正常浪基面以上,波浪因触及海底而使波能增加,波高增大,此带称为升浪带。升浪带的能量较高,沉积物经反复筛选、淘洗,分选良好;由于盐度正常,胶结程度较低,孔隙十分发育。根据颗粒类型,升浪滩又可以细分为筴类滩和有孔虫滩。

(1) 筴类滩

以亮晶筴灰岩为主(筴灰岩含量>60%),亮晶充填,胶结程度较差,筴灰岩和有孔虫筴灰岩的粒间孔和体腔孔十分发育,面孔率大于10%。筴类生物生存的水动力条件较强,早期胶结并不强烈,残存较多原生孔隙,且为后期地层水溶蚀提供通道,后期形成大量粒间溶孔及体腔孔,储层物性十分好。

(2) 有孔虫滩

有孔虫滩的水深略大于筴类滩,小于破浪浪底,也是水动力较强、生物丰富的区域,沉积速度较快,岩性主要为亮晶有孔虫灰岩、亮晶筴有孔虫灰岩、亮晶有孔虫筴灰岩等。该环境下,由于水深较大,底栖的有孔虫数量增加,体积一般较小,体腔孔多被胶结,发育粒间孔隙,故孔隙较筴类滩沉积物差。

4.2.2 破浪滩

随着波浪向岸传播,水深不断加深,波高随之逐渐增大,达到破浪浪基面时,波浪发生倒卷和破碎,此地带称为破浪带。在该环境下,由于水动力强且十分

动荡,沉积物分选磨圆较好,有利于鲕粒的形成;同时此处由于蒸发作用强,海水盐度高,胶结作用十分发育。根据颗粒类型,破浪滩又可以细分为砂屑—鲕粒滩和藻粒滩。

(1) 砂屑—鲕粒滩

以亮晶鲕粒灰岩和亮晶砂屑灰岩为主。由于水体浅,蒸发强烈,盐度高,故胶结早、胶结强烈,早期将空隙全部填满,对于压实作用有一定的抑制,且后期酸性地层水难以进入进行溶蚀,因此孔隙度较差。

(2) 藻粒滩

主要为亮晶藻包粒灰岩沉积,亮晶充填,胶结强,孔隙度比较差,储集性不好。

4.3 滩间洼地

滩间洼地是指位于破浪浪基面之下,位于滩体之间的较深水环境,属于低能环境。在该环境下,由于水动力较弱,泥质含量增加,生物多为较深水的底栖有孔虫和海百合等,孔隙不发育,是控制研究区差储层的主要相带。主要岩性为有孔虫灰泥石灰岩、灰泥棘皮石灰岩和灰泥杂屑灰岩等。

4.4 沉积相模式

4.4.1 理想沉积模式

综合以 2092 井(图 5a)为代表的四口取芯井的统计规律,总结出扎纳若尔地区石炭系 KT-II 层的理想沉积模式(图 5c)。在每个沉积旋回中,自下而上、由水深到水浅依次发育洼地、筴类滩、有孔虫滩、砂屑—鲕粒滩、藻粒滩和潮坪。

2092 井位于研究区的中南部(图 5b),由于顶部 Γ_1 小层遭受风化剥蚀而缺失,该井钻遇的石炭系 KT-II 层地层自上而下主要是从 Γ_2 小层至 Π_4 小层,可分为 2 个三级旋回,5 个次一级旋回。 Π_4 小层总体向上水动力先增强,沉积亮晶筴灰岩和亮晶筴有孔虫灰岩以及亮晶鲕粒灰岩,后又逐渐减弱,沉积潮坪上的藻灰岩。 Π_3 小层为一个次一级的海侵和海退旋回,主要发育升浪滩、破浪滩和少量潮坪及滩间洼地。 Π_2 小层明显为一个水退旋回。 Π_1 至 Γ_6 是一个快速海侵和海退的过程,岩性以亮晶鲕粒灰岩和亮晶筴有孔虫灰岩为主,少量藻灰岩。 Γ_5 早期至 Γ_2 为一个海侵和海退的完整旋回,从 Γ_5 至 Γ_4 早期为一个短暂的海侵旋回,从 Γ_4 晚期至 Γ_2 为一个缓慢的海退过程。从 Γ_5 至 Γ_3 为 3 个完整的水进和水退过程,该层主要发育升浪滩、破浪滩以及潮坪微相。

4.4.2 扎纳若尔地区沉积相模式

在岩石学特征及沉积微相划分的基础上,根据连

井剖面相(图 6)和平面相(图 7)分析,结合地震资料,建立了本区的沉积相模式(图 8)。扎纳若尔地区石炭系主要发育潮坪、破浪滩、升浪滩和滩间洼地四个微相,以破浪滩和升浪滩为主。潮坪主要分布于地势较高的部分,大多在扎纳若尔地区南部隆起部分出现(除 Γ_1 小层因后期抬升形成沉积间断,地层尖灭)。升浪滩又可分为筴类滩和有孔虫滩两个亚微相,破浪滩又以砂屑鲕粒滩为主,筴类滩和砂屑鲕粒滩广泛分布于整个地区,且砂屑鲕粒滩以南北两个隆起为中心展开,滩间洼地主要发育于各类滩之间的低洼部分及研究区边缘,厚度较薄,分布范围较小。

5 讨论

5.1 根据威尔逊模式的标准微相分类类型

按照威尔逊^[8]理想化碳酸盐岩综合相模式来看,根据沉积岩性、沉积构造和生物群落特征,将研究区定为开阔台地相内部沉积。岩性涵盖了各种碳酸盐岩(从颗粒灰岩到泥晶灰岩,从蓝绿藻黏结岩到白云石化石灰岩),颜色由深至浅,结构变化大(从亮晶胶结到泥晶胶结,从颗粒支撑到泥晶支撑),缺乏开阔海动物群,主要以有孔虫和藻类为主。由此可将研究区标定至威尔逊标准模式中的开阔台地相。

5.2 沉积环境分析

海平面与破浪浪基面之间波浪能量十分强,且有风浪影响,形成强动荡环境,相邻潮坪藻类沉积容易被海浪打碎卷入此区,伴随着动荡环境形成藻鲕沉积或者藻粒灰岩沉积。同时此带水深较浅,常常暴露,蒸发作用强烈,导致海水盐度高,因此沉积物胶结早,且胶结强烈。

破浪浪基面与正常浪基面之间随着水深增大,波高加大,波浪能量有所减弱,相对稳定的水动力条件适合生物生存,有孔虫、筴类发育。同时水深加大之后,蒸发作用相对减弱,海水盐度正常,胶结作用并不十分发育,为后期溶蚀打下基础。

5.3 Irwin 能量模型里对应的可能的环境

在 Irwin 的陆表海能量分布模式^[29]中,潮坪相对应于靠近海岸的 Z 带(低能带)^[3],波浪能量耗尽处沉积水动力弱,形成以蓝绿藻灰岩为主的泥晶碳酸盐沉积及白云化灰岩,更多的作为油气藏盖层出现。破浪滩、升浪滩对应于稍近海岸的 Y 带(高能带),波浪作用强烈的地带,沉积水动力强,沉积物经淘洗之后,分选比较好,沉积了大范围的较粗粒碳酸盐岩颗粒沉积,大多作为储集体出现。洼地对应于远离海岸的 X

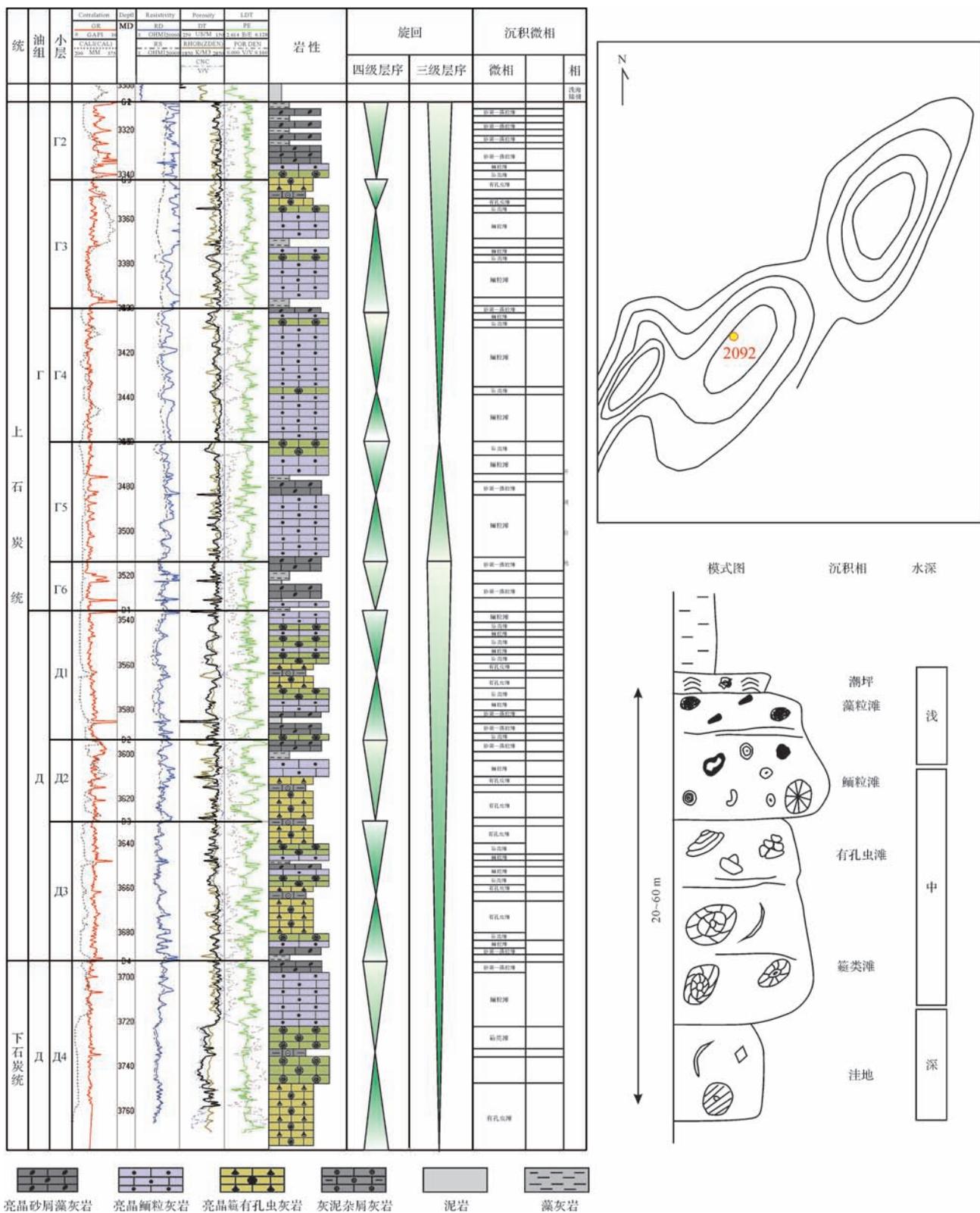


图5 扎纳若尔油田石炭系KT-II层理想沉积模式

Fig.5 The ideal sedimentary model of KT-II layer of Carboniferous in Zanzazor oilfield

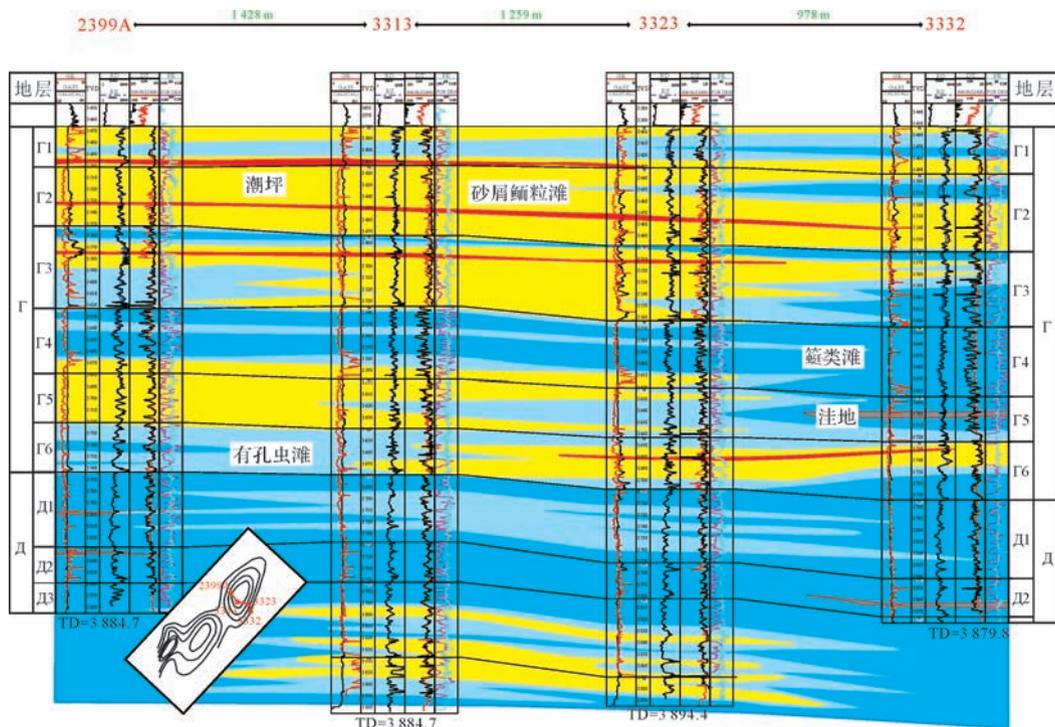


图 6 扎纳若尔油田沉积微相剖面图

Fig.6 Sedimentary microfacies profile of Zanazor oilfield

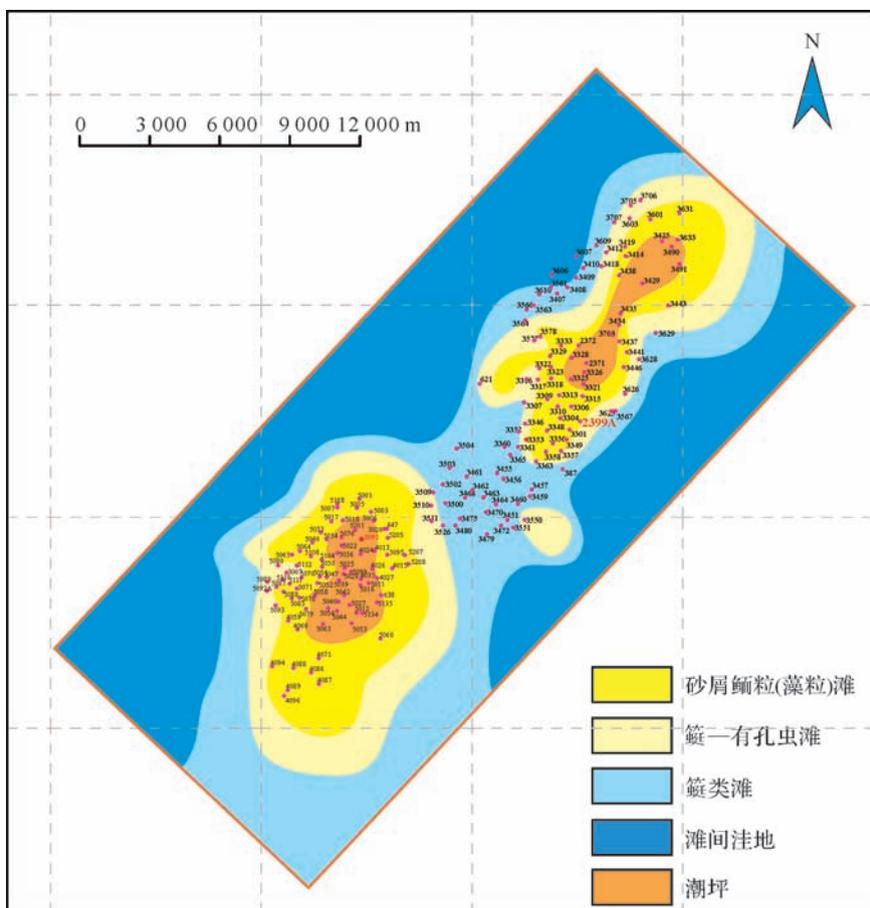


图 7 Γ_3 小层沉积微相图

Fig.7 Sedimentary microfacies of Γ_3 layer

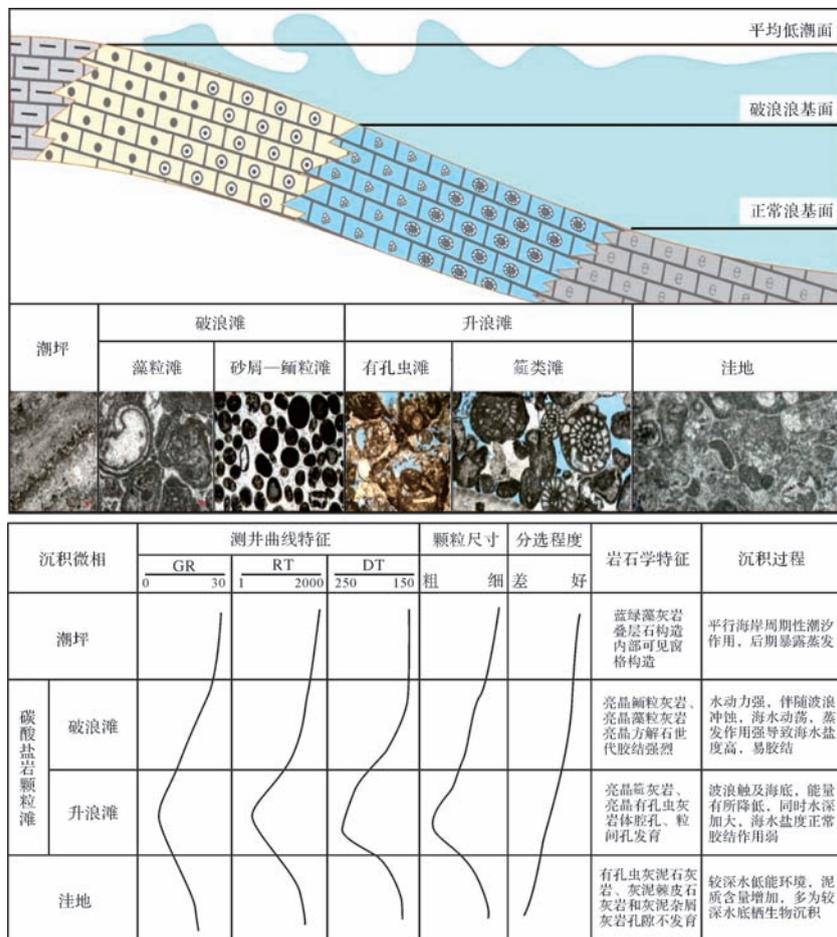


图 8 扎纳若尔油田石炭系 KT-II 层沉积微相特征及分布

Fig.8 The characteristics and distribution of microfacies of KT-II layer of Carboniferous in Zanazor oilfield

带(低能带),位于浪底之下,沉积水动力弱,以泥晶碳酸盐沉积物为主。

6 结论

(1) 扎纳若尔油田石炭系 KT-II 层岩性主要为灰泥石灰岩、灰泥颗粒石灰岩和亮晶颗粒石灰岩,其中亮晶颗粒石灰岩占主导地位。常见的颗粒类型包括筳、有孔虫、鲕粒、内碎屑和藻粒等,因此亮晶颗粒灰岩又细分为亮晶筳灰岩、亮晶有孔虫灰岩、亮晶鲕粒灰岩、亮晶砂屑灰岩、亮晶藻粒灰岩等。

(2) 扎纳若尔油田石炭系 KT-II 层整体上为一碳酸盐岩开阔台地的内部沉积,根据水深、水动力和盐度特征的差异进一步识别出了潮坪、浅滩和滩间洼地三种亚相。潮坪相对应于靠近海岸的 Z 带(低能带),破浪滩、升浪滩对应于稍近海岸的 Y 带(高能带),洼地对应于远离海岸的 X 带(低能带)。依据沉积时水动力条件不同将最发育的浅滩进一步划分为

升浪滩和破浪滩。海平面与破浪浪基面之间水动力强,形成鲕粒、藻粒沉积较多;破浪浪基面与正常浪基面之间水动力相对弱,更适宜筳及其他有孔虫类生物大量繁殖。最后按照碳酸盐岩的成分特征细分为筳类滩、有孔虫滩、砂屑—鲕粒滩、藻粒滩。

参考文献 (References)

- [1] Brown J.S. Suggested use of the word microfacies[J]. Economic Geology, 1943, 38:325.
- [2] Cuvillier J. La notion de "microfaciès" et ses applications[C]//VI-II Congreso Nazionale di Metano e Petroleo, sect. I. 1952: 1-7.
- [3] Fairbridge R. W. Stratigraphic correlation by microfacies[J]. American Journal of Science. 1954, 252(11): 683-694.
- [4] Flügel E. Microfacies Analysis of Limestones[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1982.
- [5] Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks—Analysis, Interpretation and Application[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2004.
- [6] Dunham R J. Classification of carbonate rocks according to depositional textures[J]. 1962:108-121.

- [7] Armstrong A K. Carboniferous carbonate depositional models, preliminary lithofacies and paleotectonic maps, Arctic Alaska [J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(4): 621-645.
- [8] Wilson J L. Carbonate facies in Geologic history Springer-Verlag, New York, 1975: 471
- [9] Read J F. Carbonate platform facies models [J]. AAPG bulletin, 1985, 69(1): 1-21.
- [10] Schlager W. Sedimentology and Sequence Stratigraphy of Carbonate Rocks [M]. Schlager, 2002.
- [11] 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 4 版. 北京:石油工业出版社, 2008: 1-407. [Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology [M]. 4th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1-407.]
- [12] 杨熙, 赵永刚. 沉积微相及微相组合研究内容和方法 [J]. 科技创新导报, 2011(15): 6-7. [Yang Xi, Zhao Yonggang. Research contents and methods of sedimentary microfacies and microfacies combination [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011(15): 6-7.]
- [13] 金振奎, 石良, 高白水, 等. 碳酸盐岩沉积相及相模式 [J]. 沉积学报, 2013, 31(6): 965-979. [Jin Zhenkui, Shi Liang, Gao Baishui, et al. Carbonate facies and facies models [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(6): 965-979.]
- [14] 由雪莲. 沉积学发展的回顾 [C]//中国地质学会地质学史专业委员会第 20 届学术年会论文集. 北京:中国地质学会, 2009: 110-114. [You Xuelian. A review of the development of sedimentology [C]//China Geological Society of Professional Committee of Geological History of the 20th Annual Seminar. Beijing: Geological Society of China, 2009: 110-114.]
- [15] Иванов Ю А, Бланк С М, 何培寿. 沿里海盆地东部碳酸盐沉积的岩石学特征及其与油气含量的关系 [J]. 地质地球化学, 1988, 16(3): 32-38. [Иванов Ю А, Бланк С М, He Peishou. Petrology characteristics and its relationship with oil and gas content of the carbonate sedimentary along the east Caspian basin [J]. Geology-Geochemistry, 1988, 16(3): 32-38.]
- [16] 刘洛夫, 朱毅秀, 熊正祥, 等. 滨里海盆地的岩相古地理特征及其演化 [J]. 古地理学报, 2003, 5(3): 279-290. [Liu Luofu, Zhu Yixiu, Xiong Zhengxiang, et al. Characteristics and evolution of lithofacies palaeogeography in Pre-Caspian basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(3): 279-290.]
- [17] 雍天寿, 杨瑞麒, 关维东, 等. 扎纳若尔油田石炭系划分及沉积特征 [J]. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 92-95. [Yong Tianshou, Yang Ruiqi, Guan Weidong, et al. Formation division and sedimentary characteristics of Carboniferous in Zanazor oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(1): 92-95.]
- [18] 方甲中, 吴林刚, 高岗, 等. 滨里海盆地碳酸盐岩储集层沉积相与类型——以让纳若尔油田石炭系 KT-II 含油层系为例 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 498-508. [Fang Jiazhong, Wu Lingang, Gao Gang, et al. Sedimentary facies and types of carbonate rock reservoir in Caspian Seashore Basin: A case from Carboniferous KT-II Member in Zahnanor oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 498-508.]
- [19] 苗钱友, 王燕琨, 朱筱敏, 等. 滨里海盆地东缘石炭系层序地层研究 [J]. 新疆石油地质, 2013, 34(4): 483-487. [Miao Qianyou, Wang Yankun, Zhu Xiaomin, et al. Sequence stratigraphy of Carboniferous in eastern margin of Pre-Caspian basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(4): 483-487.]
- [20] 钱桂华. 哈萨克斯坦滨里海盆地油气地质特征及勘探方向 [J]. 中国石油勘探, 2005, 10(5): 60-66. [Qian Guihua. Oil-gas geological features and its exploration direction in Marginal Caspian Basin, Kazakhstan [J]. China Petroleum Exploration, 2005, 10(5): 60-66.]
- [21] 刘小琦. 滨里海盆地东缘让纳诺尔地区石炭系碳酸盐岩储集性及控制因素 [D]. 北京:中国地质大学(北京), 2007: 180. [Liu Xiaoqi. Study on the Carboniferous carbonate property and its controlling factors in eastern Rangnau of the Pre-caspian Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2007: 180.]
- [22] 刘东周. 滨里海叠合含油气盆地地质特征及东部盐下成藏规律研究 [D]. 北京:中国地质大学(北京), 2006: 129. [Liu Dongzhou. Petroleum geology of superimposed petroliferous Pre-Caspian basin and hydrocarbon accumulation mechanism in pre-salt petroleum system of the east Pre-Caspian basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006: 129.]
- [23] 金之钧, 王骏, 张生根, 等. 滨里海盆地盐下油气成藏主控因素及勘探方向 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(2): 111-115. [Jin Zhijun, Wang Jun, Zhang Shenggen, et al. Main factors controlling hydrocarbon reservoirs and exploration directions in the pre-salt sequence in Pre-caspian basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(2): 111-115.]
- [24] 梁爽, 王燕琨, 金树堂, 等. 滨里海盆地构造演化对油气的控制作用 [J]. 石油实验地质, 2013, 35(2): 174-195. [Liang Shuang, Wang Yankun, Jin Shutang, et al. Controlling of tectonic evolution on hydrocarbon occurrence in Pre-Caspian Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 174-195.]
- [25] 金振奎, 邵冠铭. 石灰岩分类新方案 [J]. 新疆石油地质, 2014, 35(2): 235-242. [Jin Zhenkui, Shao Guanming. New classification scheme of limestones [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(2): 235-242.]
- [26] 张敏, 尹成明, 寿建峰, 等. 柴达木盆地西部地区古近系及新近系碳酸盐岩沉积相 [J]. 古地理学报, 2004, 6(4): 391-400. [Zhang Min, Yin Chengming, Shou Jianfeng, et al. Sedimentary facies of carbonate rocks of the Paleogene and Neogene in western Qaidam Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(4): 391-400.]
- [27] 董运青. 碳酸盐岩微相研究现状与发展展望 [J]. 科技视界, 2012(22): 70-72. [Dong Yunqing. Research status and development prospects of carbonate microfacies [J]. Science & Technology Vision, 2012(22): 70-72.]
- [28] 王锋, 姜在兴, 周丽清, 等. 阿曼 Daleel 油田下白垩统 Shuaiba 组上段碳酸盐岩沉积相模式 [J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 192-200. [Wang Feng, Jiang Zaixing, Zhou Liqing, et al. Sedimentary facies model on carbonate rock in the Upper Shuaiba Member of Lower Cretaceous in Daleel Field, Oman [J]. Acta Sedimentologica

Sinica, 2007, 25(2): 192-200.]

AAPG Bulletin, 1965, 49: 445-459.

[29] Irwin, M.L. General theory of epeiric clear water sedimentation.

Characteristics of Carbonate Microfacies and Sedimentary Environment of the East Margin of Caspian Basin in the Carboniferous KT-II Layer: A case from Zanazor area

YI Shuo^{1,2}, HUANG WenHui^{1,2}, JIN ZhenKui³, GAO BaiShui³

1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. College of Earth Sciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: In order to solve the problem of reservoir heterogeneity in Carboniferous KT-II carbonates in Zanazor on the eastern margin of the Pre-Caspian basin, the internal sedimentary models of sedimentary microfacies are characterized more detailedly and meticulously. The results show that: ①The carbonate rocks of the Carboniferous KT-II in the study area are dominated by sparry grainstones, followed by packstones and mudstones. ②According to the different sedimentary characteristics and depositional environment, carbonate sediments can be divided into tidal flat, shoal and depression. Based on the characteristics of water depth, hydrodynamic condition and salinity, the carbonate shoal is divided into two kinds of microfacies: the break-wave shoal and up-wave shoal. According to their composition, the carbonate shoal is subdivided into four types: fusulinids shoal, foraminifera shoal, algal shoal and oolitic shoal. ③According to Wilson's idealized carbonate model, the study area belongs to the interior sedimentary area of the open platform, and corresponds to the Irwin's epicontinental sea energy model. The tidal flat corresponds to the Z-zone close to the coast; the shoal corresponds to the the Y-zone near the coast; and depression corresponds to the X-zone far from the coast.

Key words: Caspian basin; Zanazor; Carboniferous; KT- II layer; microfacies