

珠江口盆地珠一坳陷北部洼陷带油气成藏主控因素

刘志峰,吴克强,柯岭,王升兰,于开平,朱文奇

(中海油研究总院,北京 100028)

摘要:珠一坳陷北部洼陷带已钻井失利原因分析表明,因“烃源”和“运移”问题而失利的井所占比例最大,这两个关键因素即为该区的油气成藏主控因素。从烃源条件来看,根据地震相和地球化学分析,北部洼陷带的8个洼陷中,有5个洼陷发育文昌组半深湖-深湖相优质烃源岩,是今后进行油气勘探较为有利的富生烃洼陷。从运移条件来看,平面上根据油气富集构造带类型分析,北部洼陷带内的5个富生烃洼陷均属于“缓坡富集型”,各洼陷的缓坡带是有利勘探区带;而纵向上根据通源断裂及恩平组泥岩封盖条件分析,北部洼陷带内的5个富生烃洼陷中,有3个属于“浅层富集型”,有2个属于“深层富集型”,其有利勘探层系应分别在浅层和深层。

关键词:烃源岩;运移;北部洼陷带;珠一坳陷;珠江口盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Main factors controlling hydrocarbon accumulation in northern subsag belt of the Zhu-1 Depression, Pearl River Mouth Basin

Liu Zhifeng, Wu Keqiang, Ke Ling, Wang Shenglan, Yu Kaiping, Zhu Wenqi

(CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: The dry wells in northern sub-sag belt of the Zhu-1 Depression, indicates that the “source” and “migration” account for a large proportion of well failure and are the two key controlling factors of hydrocarbon accumulation. For the source presence, based on seismic facies and geochemical analysis, five of the eight subsags, developing deep or semi-deep lacustrine source rocks, are identified to be favorable for hydrocarbon generation. For the migration, according to structural belt analysis on the plane view, five subsags in northern subsag belt feature gentle slope belt favorable for hydrocarbon enrichment. In vertical perspective, according to analysis of faults and Enping Formation mudstone sealing conditions of the five subsags, three of them belong to the shallow strata sealing type and the other two belong to the deep strata sealing type, favorable for shallow and deep accumulations respectively.

Key words: source rock, migration, hydrocarbon accumulation, northern subsag belt, Zhu-1 Depression, Pearl River Mouth Basin

珠一坳陷北部洼陷带是指珠江口盆地珠一坳陷内靠近北侧的一排古近系洼陷^[1]。近几年来,地质家通过对珠一坳陷北部洼陷带开展基本石油地质条件研究^[1-5],认为北部洼陷带有多个洼陷发育文昌组半深湖-深湖相烃源岩或恩平组湖沼相烃源岩,且烃源岩已成熟,生成了大量油气,具有较好的勘探潜力,其原油潜在资源量超过 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$,并认为北部洼陷带将会成为珠江口盆地未来重要的勘探新区和储量接替区。既然具有勘探潜力,那么多年来钻探失利的原因

是什么?下一步勘探方向又在哪里?本文通过油气成藏主控因素分析,有助于明晰该区油气勘探所应关注的重点和关键问题,并指出有利勘探方向,为勘探部署提供参考依据。

1 区域地质概况

珠一坳陷位于珠江口盆地北部坳陷东段,是在中、古生代岩浆岩和沉积岩基底之上发育起来的新生代坳

陷,呈近 NE 走向,面积约 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。珠一坳陷自西向东包含 5 个凹陷,分别为恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷、陆丰凹陷和韩江凹陷。坳陷内地层自下而上发育有始新统文昌组,渐新统恩平组、珠海组,中新统珠江组、韩江组、粤海组,上新统万山组,上覆第四系。

珠一坳陷新生代构造演化可划分为断陷期和拗陷期两大阶段。断陷期自始新世至早渐新世,以陆相沉积为主,发育了文昌组半深湖-深湖相优质烃源岩和恩平组浅湖相、沼泽相次要烃源岩。拗陷期自晚渐新世至第四纪,以海陆过渡相和海相沉积为主,形成了以三角洲相砂岩和开阔海相泥岩相匹配的“黄金储盖组合”。总体而言,珠一坳陷的主力成藏组合具有“陆生海储”的特点。

根据结构和构造特征,每个凹陷可进一步划分为多个“洼陷”,每个洼陷都是一个小型半地堑或地堑。洼陷是珠一坳陷最基本的构造单元^[1]。珠一坳陷北部洼陷带自西向东包括西江凹陷内的西江主洼,惠州凹陷内的西江 23 洼、惠州 13 洼、惠州 8 洼、惠州 10 洼,陆丰凹陷内的惠州 5 洼、陆丰 1 洼、海丰 33 洼共计 8 个洼陷(图 1),总面积约 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。这 8 个洼陷均受珠一坳陷北部边界断裂控制,均为“北断南超”的半地堑。

珠一坳陷北部洼陷带的定义之所以打破了“凹

陷”的界线,原因有两方面:一是北侧这一排洼陷与南侧的另一排洼陷遥相呼应,具有对称关系;二是北侧这一排洼陷勘探程度低,油气发现少,历经三十余年勘探仅发现 1 个油田(西江 23-1 油田,1986 年发现),探明 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 油当量,与南侧的恩平 17 洼、番禺 4 洼、惠州 26 洼、陆丰 13N 洼等洼陷已发现的 40 余个油气田及探明 $8.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 油当量形成极其鲜明的对比^[6-28]。

2 油气成藏主控因素

油气藏的形成与分布受“生、储、盖、运、圈、保”6 项地质要素的制约,缺一不可,并且这些地质要素都具有“一票否决权”的功能^[29]。同时,油气成藏是多种因素综合作用的结果,其中必有几种因素起主导作用。就某一特定地区而言,往往某几项地质条件稳定存在,如珠一坳陷新近系发育的“黄金储盖组合”在区域上分布稳定,因此一般油气勘探实践中默认其储、盖条件不会存在较大问题,勘探家们会更加关注那些具有较强不确定性、关乎勘探成败的要素,这些要素就成了控制油气藏形成的“主控因素”^[30]。油气成藏主控因素本身虽为客观因素,但受人为认识和勘探程度的制约,在不同的勘探阶段又会有所不同。在新区早期勘探阶

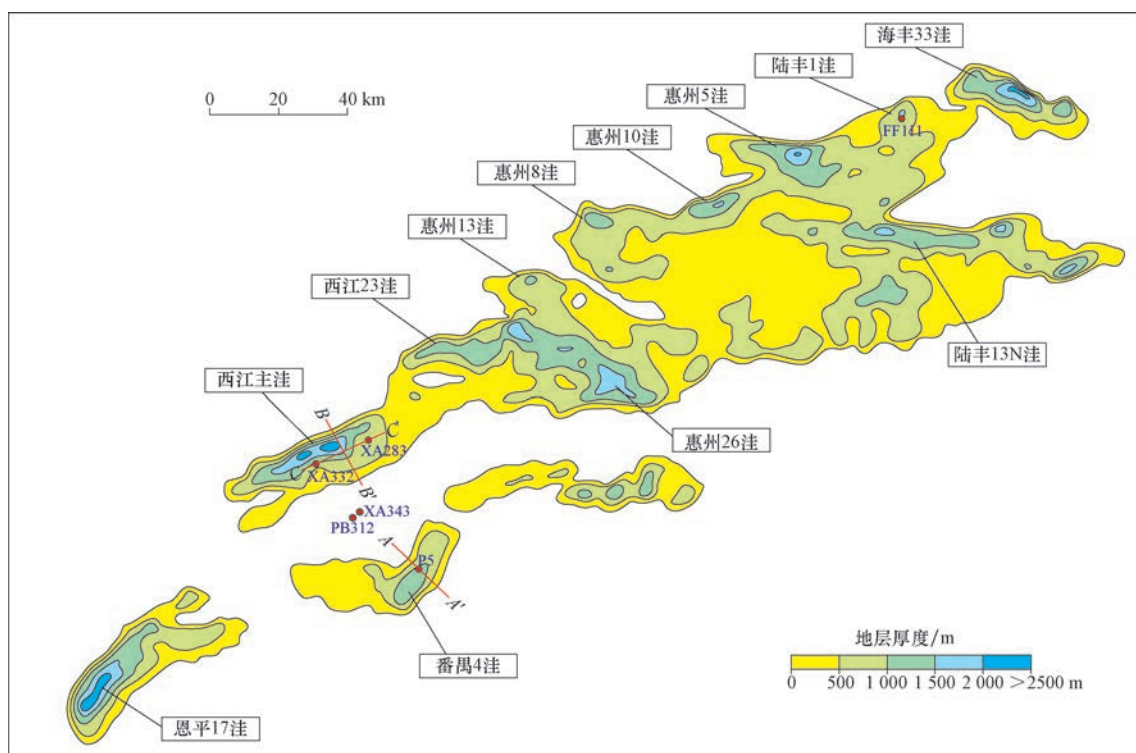


图1 珠一坳陷文昌组等厚图(不含韩江凹陷)

Fig. 1 Isopach map of the Wenchang Formation, Zhu-1 Depression (exclusive of the Hanjiang sag)

段,主力烃源岩难以落实,油气勘探以寻找烃源岩为核心,地质家们往往认为“烃源”是其成藏主控因素。而对于高勘探程度地区,烃源岩早已明确,储层、运移等其它因素成为勘探实践中更为关注的对象,并事关勘探成效,因此“储”、“运”等又成为油气成藏主控因素。正确分析和认识一个地区现阶段的油气成藏主控因素,对其勘探部署和增储上产具有重要意义^[31]。

对于钻井数量较多的地区,分析已钻井(失利井)失利原因,探寻导致多数探井失利的因素,是分析油气成藏主控因素的重要途径之一。珠一坳陷北部洼陷带的钻探工作始于1977年,经历三十余年的钻探,目前共钻了32口井,其中有6口井为成功井,其余26口井为失利井(低产油气流井1口,油气层井4口,油气显示井11口,干井10口)。经圈闭重新落实、钻井复查、烃源岩、沉积及构造等一系列研究后认为,这26口井中,有6口井是因为烃源问题而失利,占23%;有13口井是因为运移问题而失利,占50%;有4口井是因为圈闭问题而失利,占15%;另有3口井是因为封盖和保存条件差而失利,占12%。

失利井中,因烃源而失利的井以陆丰1注的FF111井较为典型(图1)。该井于1985年钻探,钻探目标为陆丰1注内某背斜构造,主要目的层为珠江组。该井全井未见油气显示。后期研究表明,该井失利的主要原因在于陆丰1注烃源岩不发育。FF111井所揭示的文昌组以砂岩和火山岩为主,暗色泥岩含量低,不具有生烃潜力。因运移而失利的井以西江主注的XA283井较为典型(图1)。该井于2004年钻探,钻探目标为西江主注中部深洼带的某背斜构造,主要目的层为珠江组。该井最终仅在珠海组和恩平组顶部见到油气显示,但测井解释全部为水层,没有油气层。而西江主注在其它部位早已发现商业性油气流,因而烃源风险较小。该井仅揭示了恩平组上部的183 m地层,其泥岩含量为60%。西江主注中部钻探的另一口井(XA332井)揭示了恩平组上部和中部(未穿)共736.5 m地层,其泥岩含量高达82%(图2)。西江主注恩平组中-上部厚层泥岩能够起到良好的封盖作用,将油气封盖在恩平组泥岩段之下,导致油气不具备从深层向浅层大量运移的条件,因此该井主要因为运移问题而失利。然而,浅层钻探的失利,也意味着油气很可能在恩平组泥岩段之下的更深地层中聚集成藏。

因此,对北部洼陷带现阶段勘探而言,因烃源和运移而失利的井所占比例最大,是下一步勘探中所应关注的关键问题,即烃源和运移是北部洼陷带的油气成藏主控因素。

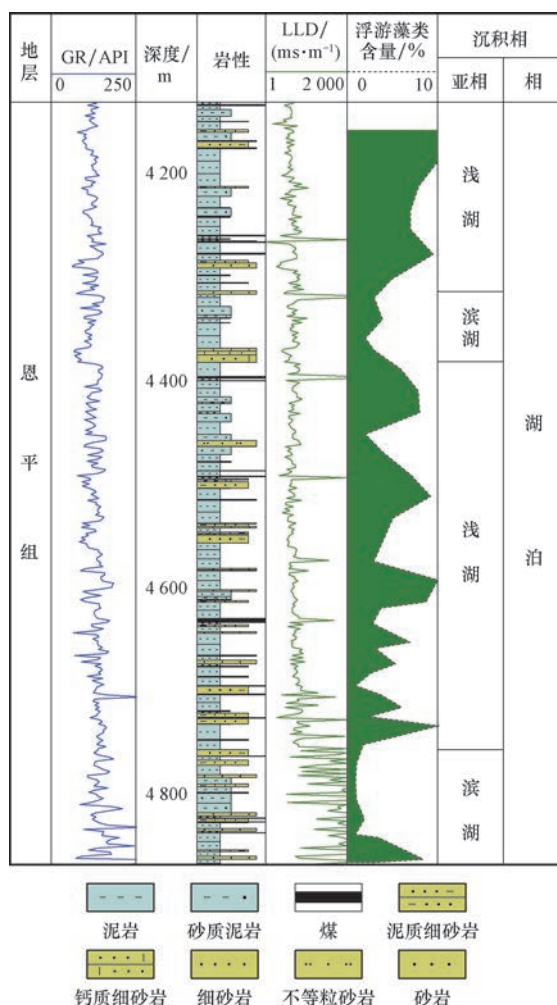


图2 珠一坳陷西江主注XA332井恩平组综合柱状图
(位置见图1)

Fig. 2 Stratigraphic column of Well XA332 in the Enping Formation of the Xijiang subsag, Zhu-1 Depression
(see Fig. 1 for the location)

3 北部洼陷带有利勘探方向

从油气成藏主控因素分析可得出两点启示:①部分探井因烃源问题而失利,则下一步应围绕满足烃源条件的富生烃洼陷勘探;②多数探井因油气运移问题而失利,则在满足烃源条件的前提下,重点寻找主要油气运移方向,优选有利方向上的构造进行钻探。

3.1 从烃源条件看北部洼陷带潜在富生烃洼陷分布

多年来油气勘探实践表明,文昌组半深湖-深湖相泥质烃源岩是珠一坳陷的主力烃源岩,而北部洼陷带钻井尚未直接揭示该套烃源岩,因此需要通过其他间接方法进行判识。通过区域地质背景、地震相类比和生标化合物综合分析,可判识该区文昌组是否发育

半深湖-深湖相烃源岩,并刻画出烃源岩的分布范围和规模,以此作为预测一个洼陷是否为富生烃洼陷的前提。

以西江主洼为例,该洼陷位于西江凹陷的北部,是一个北断南超的箕状断陷,洼陷西、北侧毗邻北部隆起带,南侧通过西江中部低凸起与具有“小而肥”美誉的番禺4洼相望。从区域地质背景上来看,西江主洼与番禺4洼均为新生代发育起来的洼陷,一个位于北部,一个位于南部,具有对称式半地堑的特征,两者应当具有相似的构造演化过程。而番禺4洼文昌组发育半深湖-深湖相烃源岩,这已被多年来勘探实践所证实(图3a,b),则西江主洼的文昌组也具备发育半深湖-深湖相烃源岩的区域沉积背景。

从地震相特征来看,珠一坳陷文昌组烃源岩在地

震剖面上表现为“低频-连续-强振幅平行席状”反射特征,这已成为珠江口盆地低勘探程度地区识别文昌组烃源岩的重要标志。西江主洼文昌组具有上、下分段的特征,下部为中频-中差连续-中弱振幅地震相,应为初始断陷期粗碎屑沉积物,上部为低频-连续-强振幅平行席状地震相,应为断陷鼎盛时期泥质沉积物。这一沉积演化序列符合珠一坳陷文昌组沉积演化特征,也是断陷湖盆发展的正常过程。因此,西江主洼文昌组上段的“低频-连续-强振幅平行席状”地震相应为半深湖-深湖相的地震响应(图3c)。

从油源分析来看,西江主洼南部缓坡带两口钻井(一口为油流井,一口为油层井)的原油样品中检测到较高含量的C30-4甲基萜烷(图4)。而这些原油中的奥利烷、双杜松烷含量则较低或未见到。这

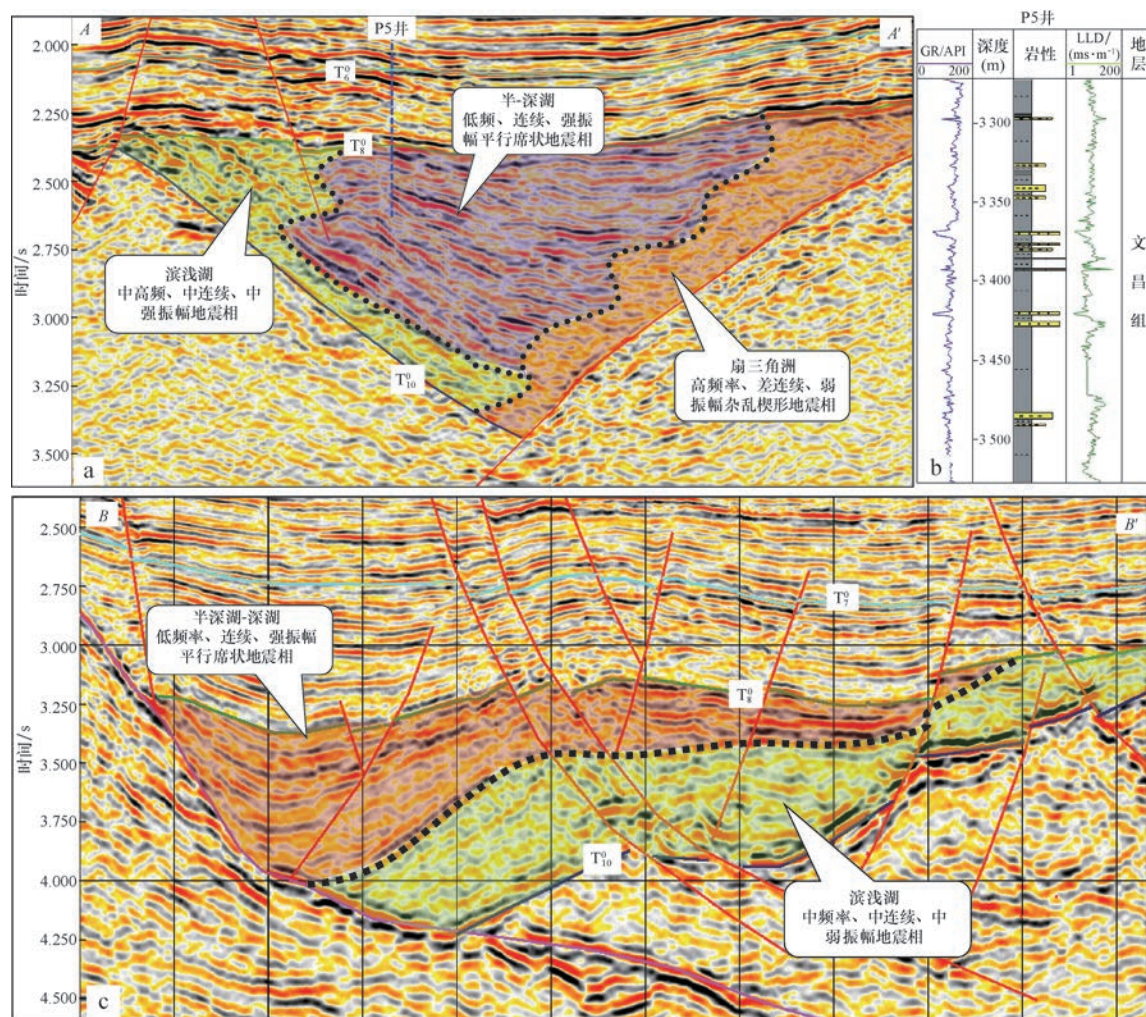


图3 珠一坳陷番禺4洼、西江主洼地震相-沉积相剖面(位置见图1)

Fig. 3 Seismic-sedimentary profile across the Fanyu 4 subsag and the Xijiang subsag, Zhu 1 Depression (see Fig. 1 for the location)

- a. 番禺4洼地震相-沉积相剖面,其文昌组(T_0^8 与 T_0^{10} 界面之间,下同)内部发育的“低频-连续-强振幅平行席状”地震相,为半深湖-深湖相烃源岩的反射特征;b. 番禺4洼P5井文昌组岩性综合柱状图,泥岩较发育,总体为半深湖-深湖相沉积物;c. 西江主洼地震相-沉积相剖面,文昌组上部“低频-连续-强振幅平行席状”地震相,为半深湖-深湖相烃源岩的反射特征

在珠江口盆地一般被认为是半深湖-深湖相所具有的生标化合物特征。再结合原油族群对比等其它地化分析结果,认为这两口井的原油主要来自西江主洼文昌组半深湖-深湖相烃源岩,从而间接证实西江主洼文昌组发育半深湖-深湖相烃源岩,且已经生成油气,说明该洼陷具备形成富生烃洼陷的基本烃源条件。

以相似方法对珠一坳陷北部洼陷带进行研究,在北部洼陷带的 8 个洼陷当中,共识别出 5 个洼陷发育文昌组半深湖-深湖相(图 5),分别为惠州 5 洼(183 km²)、西江主洼(168 km²)、海丰 33 洼(98 km²)、惠州 10 洼

(84 km²) 和西江 23 洼(83 km²)。因此,从烃源条件看,北部洼陷带共有 5 个文昌组潜在富生烃洼陷,是下一步勘探的主要对象。

3.2 从运移特征看北部洼陷带有利构造带和富集层位

油气运移方向和富集层位受主力烃源岩产状、通源断裂发育情况以及恩平组封盖条件等多因素影响。综合分析并优选有利的油气富集构造带和富集层位内的勘探目标进行钻探,能有效提高勘探成功率。

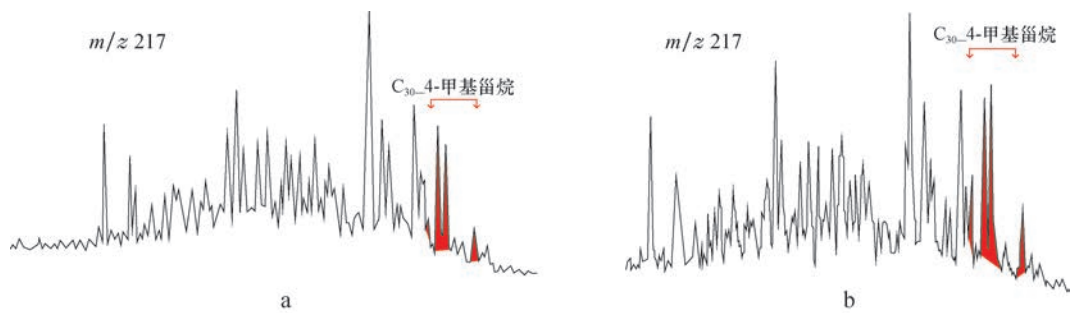


图 4 珠一坳陷西江主洼南部缓坡带钻井原油生标化合物特征
Fig. 4 Biological marker compound of gentle slope belt in the Xijiang subsag,Zhu-1 Depression
a. FB312 井,埋深 2 619 ~2 622 m,珠海组油砂;b. XA343 井,埋深 2 653 ~2 661 m,珠江组原油

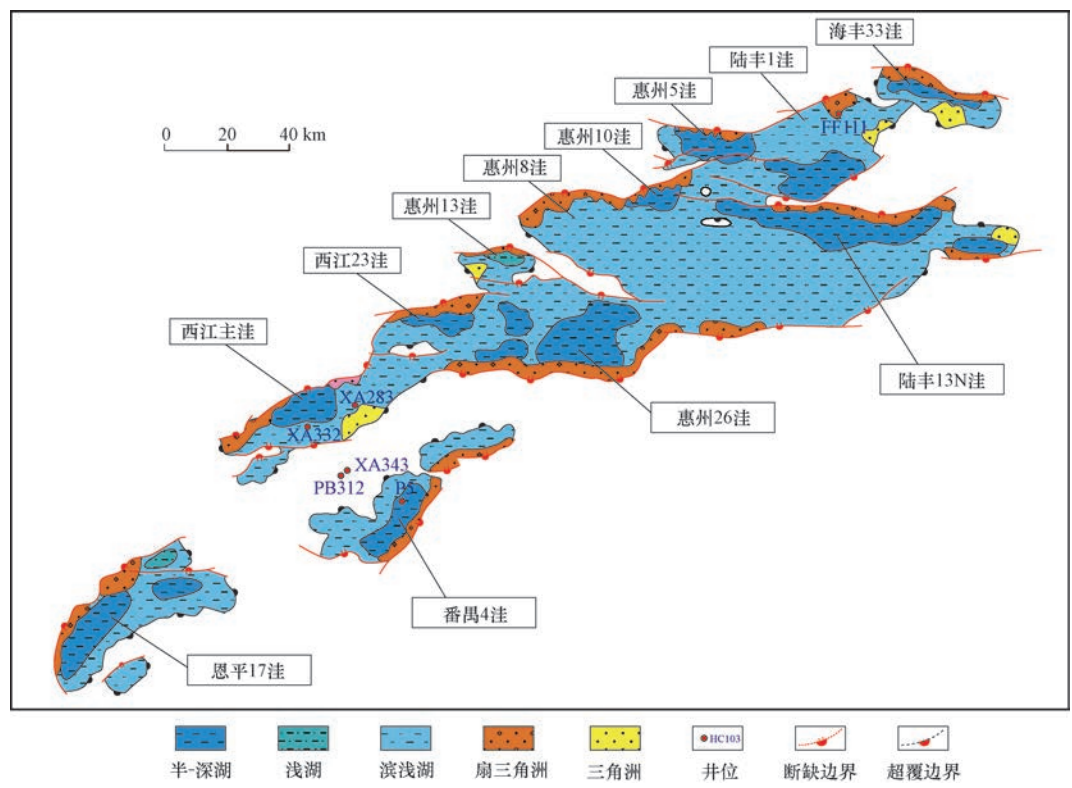


图 5 珠一坳陷文昌组沉积相(不含韩江凹陷)
Fig. 5 Sedimentary facies of the Wenchang Formation,Zhu - 1 Depression(exclusive of the Hanjaing Sag)

3.2.1 主力烃源岩产状控制平面上油气富集构造带

珠一坳陷内的洼陷以箕状断陷为主。该类洼陷一般根据其结构特征,可划分为陡坡带、缓坡带和洼陷带。勘探实践表明,有的洼陷陡坡带富集油气,有的洼陷缓坡带富集油气,也有的洼陷陡坡带和缓坡带均富集油气。而烃源岩产状是控制油气富集构造带的主要因素。根据油气富集构造带的不同,可将珠一坳陷的含油气洼陷分为“陡坡富集型”、“缓坡富集型”和“陡缓坡均衡富集型”3种类型(图6)。

1) “陡坡富集型”洼陷

其主力烃源岩——文昌组半深湖-深湖相泥质烃源岩主体向陡坡带翘倾,并且其发生翘倾的时间早于烃源岩大量生排烃期,即在烃源岩大量生排烃之前,产状已经基本定型。在此后的地质历史时期,烃源岩生成的油气更容易沿着翘倾方向向陡坡带运移,使得陡

坡带具有较大的汇油面积,容易汇集油气。这一类洼陷最典型的为珠一坳陷目前最富含油气的洼陷——惠州凹陷的惠州26洼。在惠州26洼及邻近隆起上,已发现惠州26-1、惠州32-3和流花4-1等一批油气田,而在缓坡带则少有油气发现。

2) “缓坡富集型”洼陷

其文昌组半深湖-深湖相烃源岩主体向缓坡带翘倾,缓坡带汇油面积大,容易汇集油气,比较典型的是陆丰凹陷的陆丰13N洼。在陆丰13N洼缓坡带,已发现陆丰13-1和陆丰13-2等油田,而在陡坡带则发现油气相对较少。

3) “陡缓坡均衡富集型”洼陷

其文昌组半深湖-深湖相烃源岩向陡坡带和缓坡带两侧翘倾,烃源岩生成的油气一部分向陡坡带运移,一部分向缓坡带运移,使得陡坡带和缓坡带均能富集油气,这一类洼陷最为典型的是恩平凹陷东部的番禺

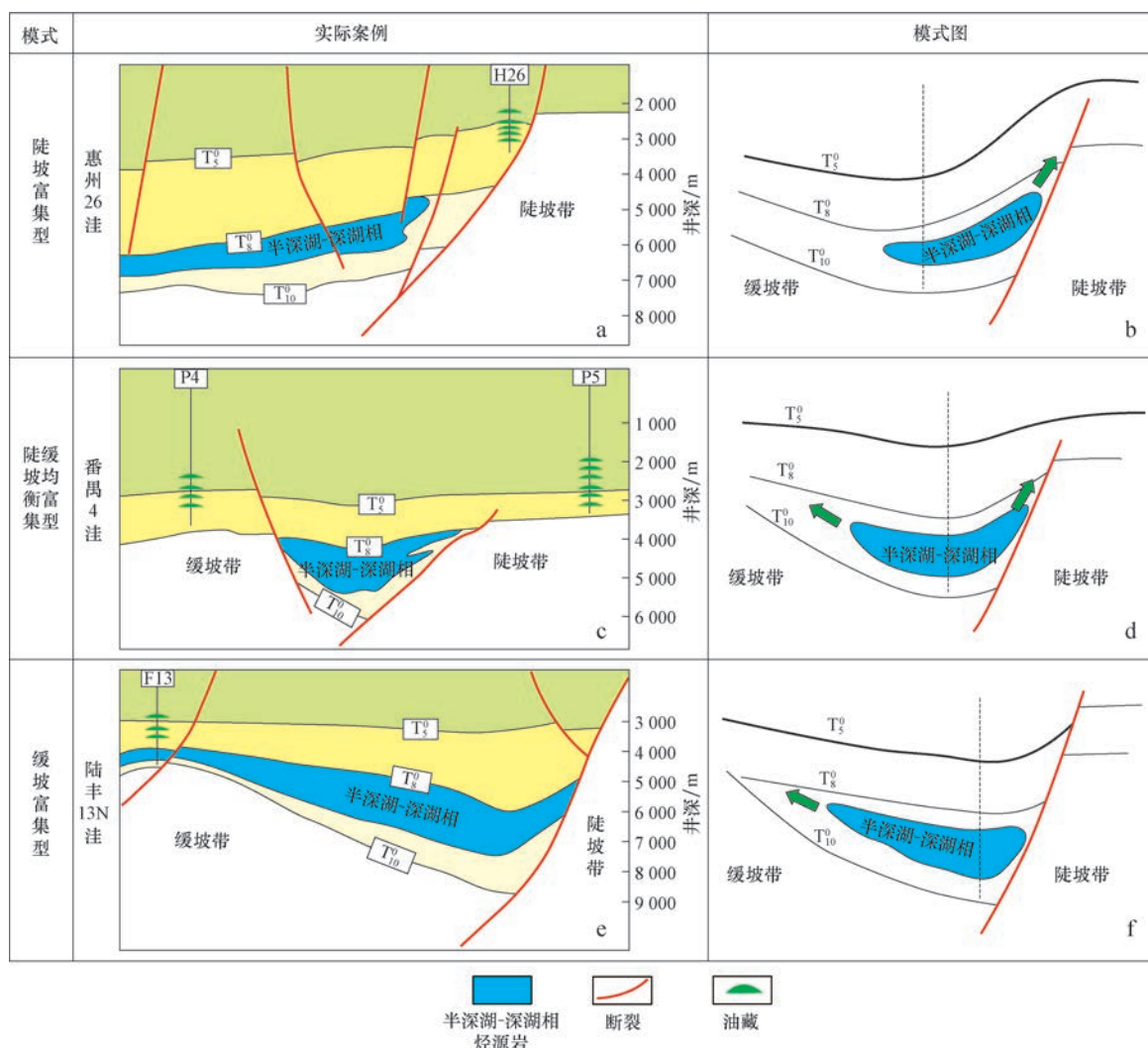


图6 珠一坳陷油气富集构造带类型

Fig. 6 Structural belt patterns of hydrocarbon accumulation zones in the Zhu-1 Depression

4 洼。在番禺 4 洼陡坡带已发现番禺 5-1 和番禺 10-2 等油田,在缓坡带已发现番禺 4-2、番禺 10-4 等油田。

北部洼陷带发育文昌组半深湖-深湖相烃源岩的 5 个潜在富生烃洼陷(惠州 5 洼、西江主洼、海丰 33 洼、惠州 10 洼和西江 23 洼),其主力烃源岩均向缓坡带翘倾。因此,从烃源岩产状控制油气富集构造带的角度分析,这些洼陷的缓坡带是其下一步有利勘探构造带。

3.2.2 通源断裂和恩平组封盖条件控制纵向上油气富集层位

珠一坳陷油气勘探实践表明,通源断裂在油气运移中起着关键作用。通源断裂断至的地层,油气就有可能聚集成藏,而通源断裂没有断至的地层,油气就不会运移上来,也就不会聚集成藏。根据通源断裂发育情况,可将珠一坳陷的洼陷划分为“浅层富集型”和“深层富集型”(本文“浅层”指珠江组及以上地层,“深层”指文昌组和恩平组)。

“浅层富集型”洼陷通源断裂较为发育,且断裂断至的层位较浅,可断至珠江组、韩江组乃至粤海组。这类洼陷由于油气在纵向上输导条件好,油气主要在浅层聚集成藏。例如番禺 4 洼和恩平 17 洼均属于“浅层富集型”。这两个洼陷的通源断裂均较为发育,目前所发现的油气也主要集中于浅层的珠江组和韩江组,甚至在更浅一些的粤海组也有油气发现。

“深层富集型”洼陷包括两种情况。第一种情况是洼陷总体上通源断裂不发育,或者除控洼大断裂能沟通油源外,其余地区通源断裂不发育,油气从深层向浅层运移难度大,因而主要在深层聚集成藏。例如,陆丰 13N 洼即属于“深层富集型”。该洼陷内的断裂主要发育在文昌组和恩平组,珠海组及以上地层中断裂较少,通源断裂更少。近年来在该洼陷内所发现的油气主要在文昌组和恩平组内。第二种情况是洼陷虽然发育通源断裂,但洼陷内恩平组泥岩较为发育,由于受到恩平组厚层泥岩的封盖作用,导致通源断裂不具备输导条件,油气仍主要在深层聚集成藏。例如,西江主洼即为“深层富集型”,原因在于西江主洼 XA332 井已经揭示其恩平组上段泥岩厚度大,封盖作用强,下部油气难以穿越该套地层向上运移,油气应主要富集在下部地层中(图 7)。基于这一认识,2015 年 8 月在西江主洼钻探 XA331 井,主要目的层为恩平组下部及文昌组上部。该井最终成功发现 48.1m 油层,且测试获得商业性油气流,勘探获得成功。

在北部洼陷带的 5 个文昌组富生烃洼陷中,惠州 5 洼、惠州 10 洼和西江 23 洼属于“浅层富集型”,而西江主洼和海丰 33 洼属于“深层富集型”。因此,综合烃源岩产状、通源断裂发育情况及恩平组封盖条件,指出了北部洼陷带内 5 个富生烃洼陷油气勘探的有利构造带和有利富集层位,为有利勘探目标优选指明了方向。

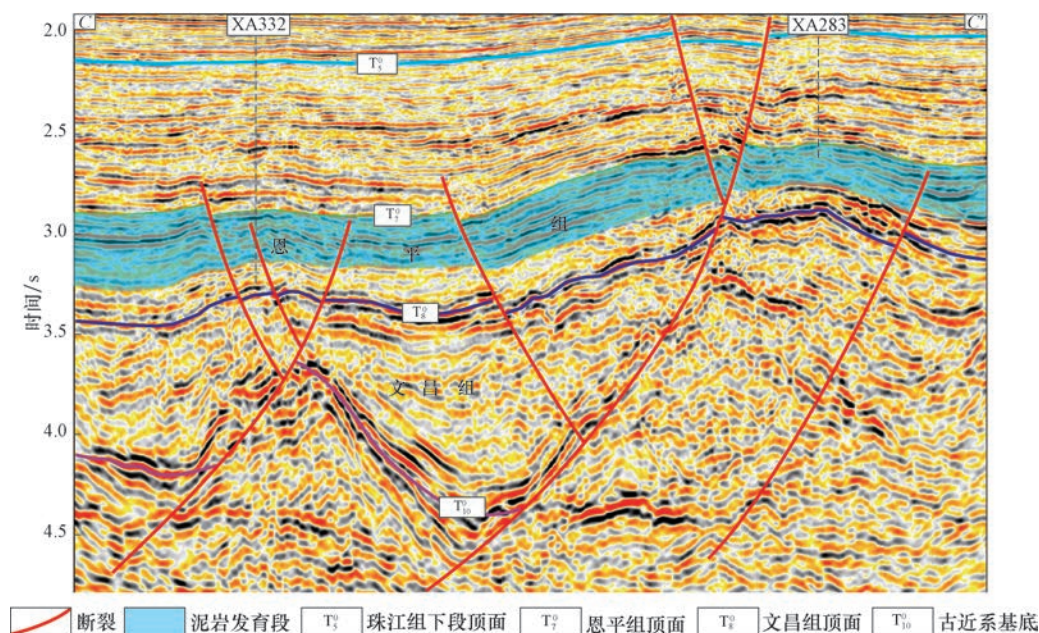


图 7 过珠一坳陷西江主洼地震剖面(位置见图 1)

Fig. 7 Seismic profile across the Xijiang subsag, Zhu-1 Depression(see Fig. 1 for the location)

4 结论

1) 珠一坳陷北部洼陷带已钻井失利原因分析表明,“烃源”和“运移”是该区油气成藏主控因素。

2) 从烃源条件来看,在北部洼陷带的8个洼陷中,有5个洼陷发育文昌组半深湖-深湖相优质烃源岩,是富生烃洼陷。

3) 从运移条件来看,在富集构造带类型上,北部洼陷带内的5个文昌组富生烃洼陷均属于“缓坡富集型”;在富集层系上,惠州5洼、惠州10洼和西江23洼属于“浅层富集型”,而西江主洼、海丰33洼属于“深层富集型”。

参考文献

- [1] 郭刚,邓运华,吴景富,等.珠一坳陷北部洼陷带古近系潜在富生烃洼陷评价[J].中国海上油气,2014,26(1):17-23.
Guo Gang,Deng Yunhua,Wu Jingfu,et al. Evaluation of latent Paleogene hydrocarbon-rich sags in the northern sag belt, Zhu 1 depression, Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(1): 17-23.
- [2] 陈长民,施和生,序仕策,等.珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M].北京:科学出版社,2003.
Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The reservoir formation conditions in eastern Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [3] 邹叶初,陈锡康,黄宗洪.从构造脊的研究探讨珠江口盆地(东)油气勘探方向[J].中国海上油气(地质),1991,5(2):1-7.
Zou Yechu, Chen Xikang, Huang Zonghong. The research about oil & gas exploration direction in eastern Pearl River Basin based on tectonic ridge study [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1991, 5(2): 1-7.
- [4] 朱伟林,米立军,高阳东,等.大油气田的发现推动中国海域油气勘探迈向新高峰——2012年中国海域勘探工作回顾[J].中国海上油气,2013,25(1):6-12.
Zhu Weilin, Mi Lijun, Gao Yangdong, et al. The discovery of giant and major fields has given impetus to reaching a new peak in hydrocarbon exploration offshore China; a review of 2012 offshore exploration in China [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(1): 6-12.
- [5] 王有功.断圈聚油机理及含油气性预测——以珠江口盆地东部番禺4洼和惠州凹陷为例[D].东北石油大学,2011.
Wang Yougong. Oil accumulation mechanism of fault traps and petro-liferous prediction—A case study on Panyu 4 sag and Huizhou sag in Pearl River Mouth Basin [D]. Northeast Petroleum University, 2011.
- [6] 刘从印,周平兵,曾驿,等.番禺4洼地区新近系油气成藏主控因素分析[J].中国海上油气,2009,21(2):91-94.
Liu Congyin, Zhou Pingbing, Zeng Yi, et al. An analysis of the main controls on Neogene hydrocarbon accumulation in Panyu 4 sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(2): 91-94.
- [7] 王瑞菊,郭建宇,李世臻.构造对层序地层控制作用分析——以珠一坳陷为例[J].内蒙古石油化工,2008,24:147-150.
Wang Ruiju, Guo Jianyu, Li Shizhen. Analysis of tectonic controls on sequence stratigraphy —A case study on Zhu 1 Depression [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008, 24: 147-150.
- [8] 何家雄,陈胜红,马文宏,等.南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律[J].中国地质,2012,39(1):106-117.
He Jiaxiong, Chen Shenghong, Ma Wenhong, et al. The evolution, migration and accumulation regularity of oil and gas in Pearl River Mouth Basin, northeastern South China Sea [J]. Geology In China, 2012, 39(1): 106-117.
- [9] 李松峰.少井条件下富生烃凹陷油气资源评价——以珠江口盆地惠州凹陷为例[D].中国地质大学,2013.
Li Songfeng. Petroleum resources evaluation of the hydrocarbon-rich generation depression with sparse wells—A case study from the Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin [D]. China University of Geosciences, 2013.
- [10] 崔莎莎,何家雄,陈胜红,等.珠江口盆地发育演化特征及其油气成藏地质条件[J].天然气地球科学,2009,20(3):384-391.
Cui Shasha, He Jiaxiong, Chen Shenghong, et al. Development characteristics of Pearl River Mouth Basin and its geological conditions for oil and gas accumulation [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 384-391.
- [11] 张洋,叶加仁,王子嵩,等.珠江口盆地番禺4洼超压发育特征及演化历史[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(4):171-177.
Zhang Yang, Ye Jiaren, Wang Zisong, et al. Characteristics and evolutionary history of overpressure in panyu 4 sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(4): 171-177.
- [12] 彭光荣,刘从印,吴建耀,等.珠江口盆地番禺4洼晚期断陷系统对油气成藏的控制作用[J].特种油气藏,2013,20(3):41-45.
Peng Guangrong, Liu Congyin, Wu Jianyao, et al. Control of hydrocarbon accumulation in the late fault depression system of Panyu 4 depression in Pearl River Mouth Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(3): 41-45.
- [13] 彭光荣,温华华,刘从印,等.珠江口盆地珠一坳陷浅层油气勘探实践及潜力探讨——以番禺4洼为例[J].海洋地质前沿,2013,29(3):22-28.
Peng Guangrong, Wen Huahua, Liu Congyin, et al. Practice of shallow oil and gas exploration in Zhu 1 depression of the Pearl River Mouth Basin: a case from Panyu 4 sag [J]. Marine Geology Letters, 2013, 29(3): 22-28.
- [14] 郭巧珍,陈峰,杨香华,等.珠江口盆地惠州凹陷恩平组浅水辫状河三角洲沉积[J].海洋地质与第四纪地质,2013,33(1):25-32.
Guo Qiaozhen, Chen Feng, Yang Xianghua, et al. Shallow braided deltaic system in Enping formation of Huizhou depression, Pearl River Mouth [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(1): 25-32.
- [15] 李松峰,徐思煌,施和生,等.珠江口盆地惠州凹陷古近系烃源岩特征及资源预测[J].地球科学——中国地质大学学报,2013,38(1):112-120.
Li Songfeng, Xu Sihuang, Shi Hesheng, et al. Characteristics of Paleogene Source Rocks and Prediction of Petroleum Resources in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2013, 38(1): 112-120.

- [16] 马宁,侯读杰,施和生,等. 珠江口盆地惠州凹陷烃源岩发育的主控因素分析[J]. 大庆石油学院学报,2012,36(3):18-24,33.
Ma Ning, Hou Dujie, Shi Hesheng, et al. Main controlling factors of source rock development in Huizhou sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2012, 36(3): 18-24, 33.
- [17] 高慧. 惠州凹陷油气成藏条件分析及有利构造带预测[D]. 中国地质大学(北京), 2007.
Gao Hui. Analysis of hydrocarbon accumulation conditions and prediction of favorable tectonic belt in Huizhou Sag [D]. China University of Geosciences (Beijing), 2007.
- [18] 陈淑慧, 张晓宇. 惠州凹陷西江-惠州转换带文昌组储层特征及控制因素研究[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(6): 8-13.
Chen Shuhui, Zhang Xiaoyu. Reservoir characteristics and controlling factors of Wenchang Formation in Xijiang-Huizhou transform zone, Huizhou Sag [J]. Northwest Oil & Gas Exploration, 2013, 25(6): 8-13.
- [19] 古莉, 胡光义, 罗文生, 等. 珠江口盆地流花油田新近系生物礁灰岩储层特征及成因分析[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 49-58.
Gu Li, Hu Guangyi, Luo Wensheng. Characteristics and genesis of reservoir spaces in Neocene reef reservoir of Liuhua Oilfield, Pearl River Mouth Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 49-58.
- [20] 代一丁. 珠江口盆地西江南洼古近系构造演化与沉积特征[J]. 中国海上油气, 2013, 25(3): 1-7.
Dai Yiding. Paleogene tectonic evolution and sedimentation in South Xijiang Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(3): 1-7.
- [21] 罗东红, 梁卫, 李熙盛, 等. 珠江口盆地陆丰13-1油田古近系恩平组突破及其重要意义[J]. 中国海上油气, 2011, 23(2): 71-75.
Luo Donghong, Liang Wei, Li Xisheng, et al. A breakthrough at Paleogene Enping Formation and its important significance in Lufeng 13-1 oilfield, Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(2): 71-75.
- [22] 邓运华, 张功成, 刘春成, 等. 中国近海两个油气带地质理论与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013.
Deng Yunhua, Zhang Gongcheng, Liu Chuncheng, et al. Geological theory and exploration practice of two oil and gas zones in China Offshore [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [23] 张功成, 梁建设, 徐建永, 等. 中国近海潜在富烃凹陷评价方法与烃源岩识别[J]. 中国海上油气, 2013, 25(1): 13-19.
Zhang Gongcheng, Liang Jianshe, Xu Jianyong, et al. An evaluation method of potential hydrocarbon-rich sags and their source rock identification offshore China [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(1): 13-19.
- [24] 苗顺德, 张功成, 梁建设, 等. 珠江口盆地北部坳陷带文昌组地震反射特征及沉积环境分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5): 845-850.
Miao Shunde, Zhang Gongcheng, Liang Jianshe, et al. Seismic reflection characteristics and sedimentary environment analysis of Wenchang Formation in northern depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 845-850.
- [25] 李友川, 陶维祥, 孙玉梅, 等. 珠江口盆地惠州凹陷及其邻区原油分类和分布特征[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 830-842.
Li Youchuan, Tao Weixiang, Sun Yumei, et al. Classification and distribution of oil in Huizhou Depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 830-842.
- [26] 易雪斐, 张昌民, 李少华, 等. 珠江口盆地21Ma和13.8 Ma陆架边缘三角洲对比[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 670-678.
Yi Xuefei, Zhang Changmin, Li Shaohua, et al. Comparison between shelf-margin delta of 21Ma and 13.8 Ma in Pearl River Mouth Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 670-678.
- [27] 张孟然, 姜正龙. 珠江口盆地白云凹陷沉降特征分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2016(1).
Zhang Mengran, Jiang Zhenglong. Analysis of subsidence characteristics of Baiyun Sag, pearl river mouth basin [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2016(1).
- [28] 赵靖舟, 王大兴, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地西北部奥陶系气源及其成藏规律[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(5): 711-720.
Zhao Jingzhou, Wang Daxing, Sun Liuyi, et al. Origin of the Ordovician gas and its accumulation patterns in Northwestern Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(5): 711-720.
- [29] 刘震, 赵阳, 金博, 等. 沉积盆地岩性地层圈闭成藏主控因素分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2006, 21(4): 1-5.
Liu Zhe, Zhao Yang, Jin Bo, et al. Analysis of the key control factors of the formation of lithological stratigraphic traps in sedimentary basins [J]. Journal of Xian Shiyou University, 2006, 21(4): 1-5.
- [30] 高鹏鹏. 延长油田延长组深层油气成藏主控因素及有利区预测[D]. 西北大学博士学位论文, 2013.
Gao Pengpeng. Main controlling factors of deep oil and gas accumulation and prediction of favorable area in Yanchang Formation of Yanchang oilfield [D]. Northwestern University, 2013.
- [31] 杨宝林, 叶加仁, 王子嵩, 等. 辽东湾断陷油气成藏模式及主控因素[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2014, 39(10): 1507-1520.
Yang Baolin, Ye Jiaren, Wang Zisong, et al. Hydrocarbon accumulation models and main controlling factors in Liaodong Bay Depression [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(10): 1507-1520.

(编辑 张玉银)