

文章编号: 1001-6112(2011)04-0392-10

南海珠江口盆地珠三坳陷油气输导系统研究

聂逢君¹, 姜美珠¹, 李思田²

(1. 东华理工大学 核资源与环境国家重点实验室培育基地, 南昌 330013; 2. 中国地质大学, 武汉 430074)

摘要:通过地震剖面资料解释、伽马测井和声波测井曲线分析,在综合了前人研究成果的基础上,提出了珠江口盆地珠三坳陷的油气输导系统由深大断裂输导体、不整合面输导体和高孔渗海相砂岩输导体联合组成。近 EW 为主的 II 构造带和珠三南断裂带长期活动为浅部 WC9-1, WC9-2 和 WC19-1 油气田与深部烃源岩之间提供了垂向运移通道,包裹体测温结果也显示从深部到浅部温度逐渐降低的垂向运移特征。珠海组和珠江组底部均对应着区域性的不整合,且不整合面之上沉积了海进体系域砂岩,砂岩的孔渗性好,且侧向连续性也好,它们在时空上形成了油气运移的“黄金通道”。地震资料解释在 T₄ 和 T₅ 构造面上显示出 2 条明显的 NW-SE 向构造脊,构造脊之下的断裂—不整合—砂岩的精妙组合构成了文昌 B 凹陷中 WC13-1 和 WC13-2 油田的油气运移输导网络。

关键词:断裂;不整合;砂岩;输导系统;珠三坳陷;珠江口盆地

中图分类号: TE122.1+2

文献标识码: A

Petroleum migration system in Zhu III Depression, Pearl River Mouth Basin, South China Sea

Nie Fengjun¹, Jiang Meizhu¹, Li Sitian²

(1. State Key Laboratory of Nuclear Resource and Environment, East China Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: Analyses of seismic profile, gamma ray and acoustic loggings have indicated that petroleum migration system in the Zhu III Depression of the Pearl River Mouth Basin is composed of deep fault, unconformity and marine sandstone with high porosity and permeability. The EW oriented structural belt II and the southern fault remain active for long time, providing pathways for vertical migration in the WC9-1, WC9-2 and WC19-1 oil-and-gas fields. Tests of inclusion show that temperature decreases from the lower to the upper formation, which may prove vertical migration. Regional unconformities have been found at the bottom of Zhuhai and Zhujiang Formations. Sandstones of TST deposit on the unconformities. Due to favorable porosity and permeability as well as lateral connectivity, the sandstones provide excellent pathways for petroleum migration. According to seismic data, there are 2 obvious NW-SE oriented structural ridges on the T₄ and T₅ structural planes. Fault, unconformity and sandstone under the ridges form highly effective migration system for the WC13-1 and WC13-2 oilfields in the Wenchang B Sag.

Key words: fault; unconformity; sandstone; migration system; Zhu III Depression; Pearl River Mouth Basin

油气输导系统的研究自 20 世纪末以来一直为石油运移研究中的热门^[1-12]。解习农等^[1]研究莺歌海热流体运移时指出,垂向断裂和裂隙系统构成了烃类气体垂向输导的主要通道。付广等^[2]分析了油气运移输导系统由 3 种要素构成,砂体、断层和不整合面。李绪宣等^[3]认为断裂系统既能充当流体垂向运移输导体,也能充当侧向运移输导体。克拉通盆地岩性气藏和前陆盆地斜坡带气藏输导

系统以砂体为主,油气运移方向为侧向和垂向^[4]。梁书义等^[7]强调了输导系统的成因,同时指出在勘探实践中,输导系统是多种类型的组合。陈瑞银等^[12]根据成岩作用时间序列及其面孔率统计,进行数值模拟,恢复储层在油气充注期的孔隙度分布,建立砂岩层油气输导格架。

付广等^[2,13-15]对油气输导系统进行了分类和研究,划分出 3 大类和 8 小类,即储层岩石输导体

收稿日期: 2010-09-03; 修订日期: 2011-06-16。

作者简介: 聂逢君(1962—),男,博士,教授,从事沉积地质学研究。E-mail: niefj@263.net。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40972067)资助。

(①碎屑岩、②碳酸盐岩、③可渗透的其它岩石)、活动断裂输导体(④张性断裂、⑤压性断裂、⑥裂隙/裂缝)以及不整合输导体(⑦角度不整合、⑧平行不整合)。

珠三拗陷是珠江口盆地中重要的含油气拗陷,从油气生成到运移都有学者做过相应的基础工作^[16-20]。如江文龙等^[16]从成岩作用角度探讨了油气的运聚,徐新德等^[17]利用有机地球化学在烃源岩和油气藏中的变化来确定油气运移的期次与方向,进而对未知区进行预测。

本文作者曾对该拗陷中的层序地层、沉积学、油气运移和油气成藏方面做过相应的研究工作^[21-23],发现生烃凹陷(文昌 A,B 凹陷)的正上方和远离凹陷的隆起带中均有油气的分布,这表明油气运移的通道不止一种,可能是多种,或多种联合。本文从

砂岩输导体、断裂输导体和不整合输导体等方面来探讨形成研究区 WC9-1, WC9-2, WC19-1, WC13-1, WC13-2 油气田的输导系统网络及其输导作用。

1 区域地质背景

珠三拗陷位于珠江口盆地西部,面积约 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,由 9 个次级构造单元组成,即文昌 A,B,C 凹陷,琼海凸起、琼海凹陷,阳江 A,B 凹陷,阳江低凸起和阳江地垒。到目前为止,已发现 4 个油田(其中包括 WC13-1 和 WC13-2 等),一个凝析气田,一个气田及若干个含油气构造,是珠江口盆地中重要的含油气单元(图 1)。

和中国东部大多数新生代断陷盆地一样,珠三拗陷具典型的双层结构,即古近纪为断陷,新近纪

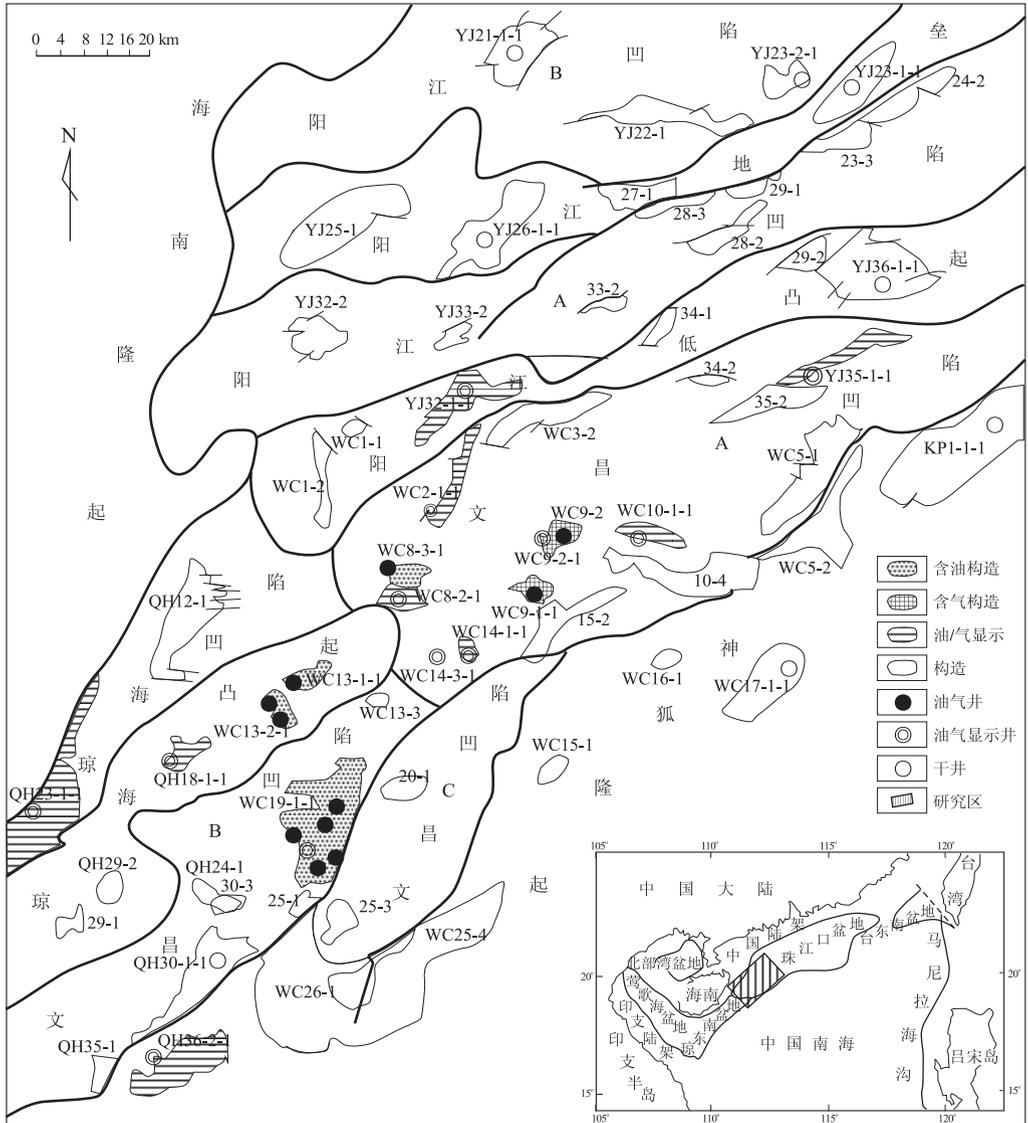


图 1 研究区位置及区内构造划分

Fig. 1 Location and tectonic division of Zhu III Depression, Pearl River Mouth Basin

为拗陷阶段^[24]。拗陷中地层的总厚度在生烃凹陷文昌 A 中逾万米,文昌 B 中也近 8 000 m^[21]。拗陷高峰期形成的一套含大量盘星藻和球藻的暗色湖相泥岩是文昌 A、B 凹陷重要的烃源岩^[25-26],恩平组是一套断—拗转换期的过渡相含煤地层,是文昌 A 凹陷中的主要气源岩^[27]。珠江组和珠海组形成于拗陷作用的早期,沉积环境是一套由潮汐改造的障壁岛、潟湖,向海湾、滨岸及开阔海过渡的中—细碎屑岩组合(图 2)。其中潮汐改造的砂岩具有良好的孔渗性,是含烃热流体重要运载体及油气储层^[21]。珠江组中的 T₅ 界面,地震反射连续,测井解释为一层 10~50 m 厚度不等的海相泥岩,是区域性的盖层^[22]。另外,随海平面的逐渐上升,T₅ 界面以上,也就是中新世晚期以后,研究区泥岩含量逐渐增加,形成了良好的区域性封盖(图 3)。

从所发现的 100 多个有利的圈闭来看,大部分与构造成因相关,如恩平组、珠海组及部分珠江组中的圈闭,而沉积披覆形成的圈闭主要发育在珠江组内(图 3)。II 号构造带中(文昌 A 凹陷内,大约在 WC9-1,WC9-2 至 WC10-1 构造一线附近)

圈闭的油气和靠近珠三拗陷南部边界断裂的圈闭中的油气主要通过断层输导,而琼海凸起上的油气则主要是通过高孔渗的海相砂体输导。

2 输导系统及特征

珠江口盆地珠三拗陷中油气的输导体归纳起来有深大断裂、不整合面、高孔渗性砂体。拗陷中的深大断裂输导体、多个不整合面输导体以及多层高孔渗海相砂岩输导体在时空上的精妙配置构成了该拗陷中的油气输导高效网络。

2.1 深大断裂输导体

断层,尤其是生长断层作为油气运移的通道已经被很多学者研究过^[28-30]。珠三拗陷中主要发育 3 组方向的断裂,即 NNE(15°~45°),NE-NEE(45°~80°)和 NWW-SEE(100°~115°)。

控制珠三拗陷的南部大断裂(珠三南断裂)由多条次级断裂组合而成,长达 300 km,破碎带宽为 5 km,白垩纪末至中新世晚期一直活动,珠海期活动速率最大,达 350 m/Ma,累加最大位移 7 000 m。该同生断裂不但控制了拗陷形态、沉积体系、沉积

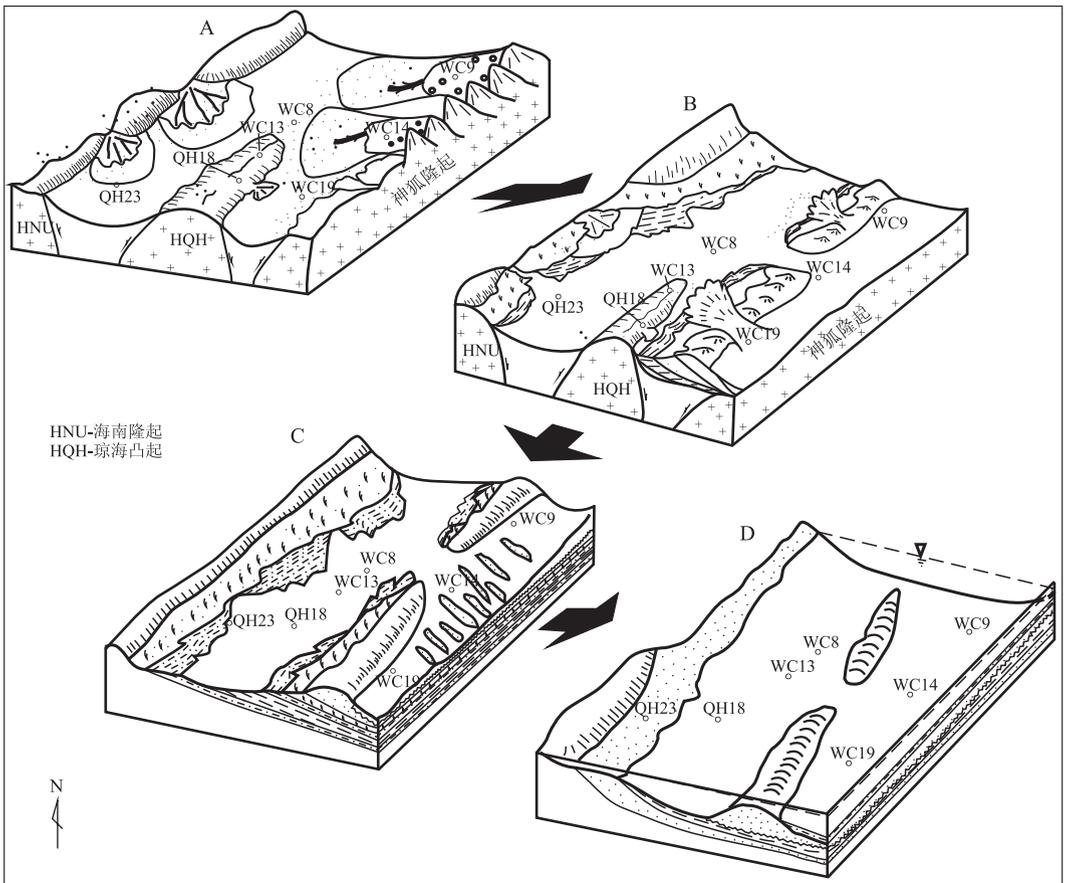


图 2 珠三拗陷珠海、珠江期沉积与古地理演化示意

A. 珠海组二段沉积期; B. 珠海组一段沉积期; C. 珠江组二段沉积期; D. 珠江组一段沉积期

Fig. 2 Deposition and paleogeographic evolution in Zhu III Depression during Zhuhai and Zhujiang periods

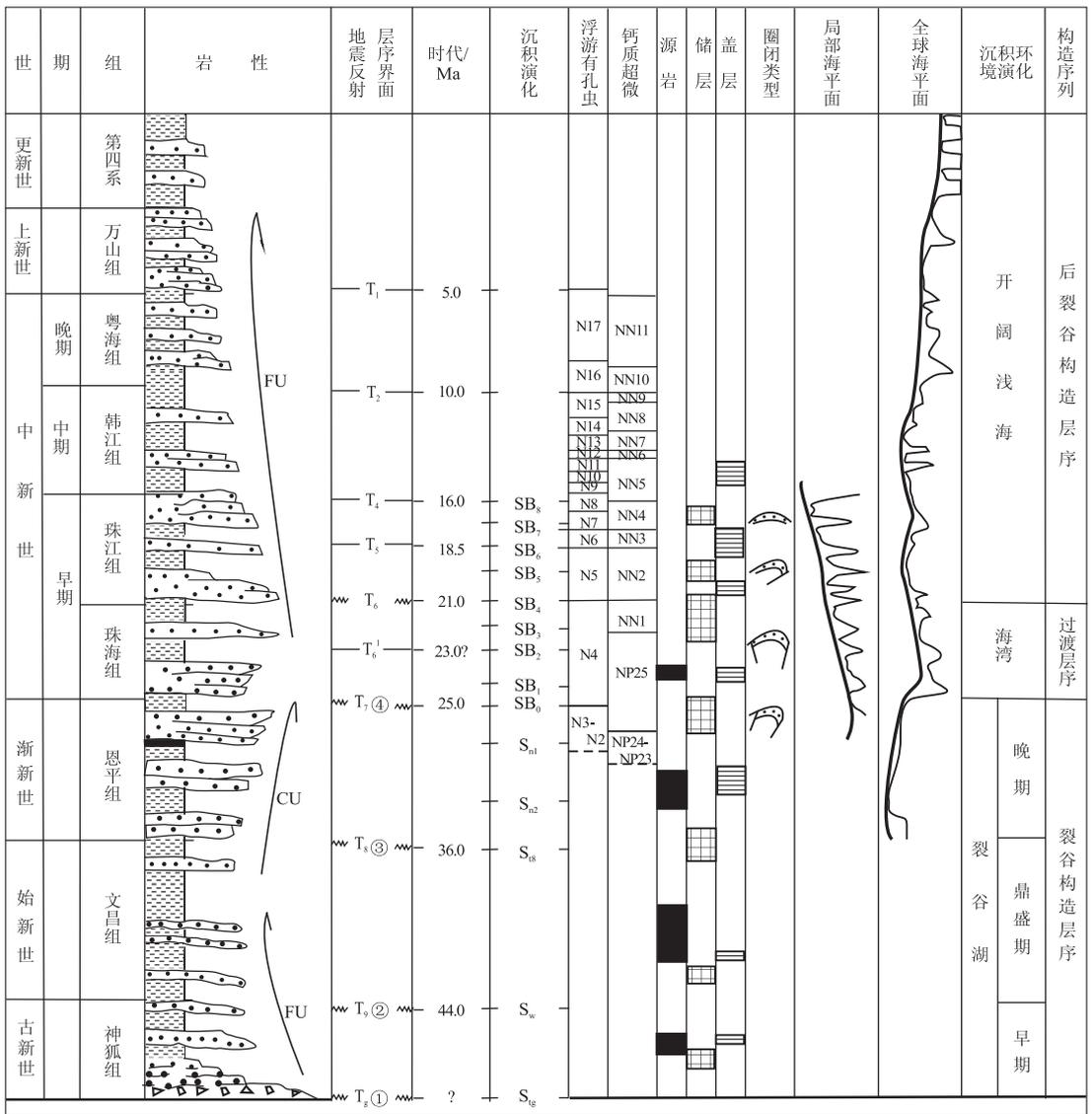


图 3 珠三拗陷构造层序、盆地充填及生储盖在垂向的组合关系

①. 神狐运动; ②. 琼海运动一幕; ③. 琼海运动二幕; ④. 南海运动; FU. 向上变细; CU. 向上变粗

Fig. 3 Tectonic sequences, basin filling and vertical relationship among hydrocarbon generating, reserving and sealing in Zhu III Depression, Pearl River Mouth Basin

中心的发育,而且还控制了沿珠三南断裂一系列圈闭中油气的运移。该断裂的发育演化分析与构造脊相结合是寻找油气藏的有效手段^[31](图 1)。

II号断裂带东起珠三南断裂,西至琼海凸起,由一系列的 NWW 和 EW 向次级断裂呈雁列组合而成;始新世时为张性,渐新世为 NNE 向张扭,中新世为 NE 向张扭,应力性质的转换形成一系列的“负花状”构造和“Y”字型构造^[23,32]。图 4 是 WC9-1 构造的三维地震反射,众多断裂始于文昌组、恩平组,穿过珠海组,到达珠江组。这些深切断裂直接沟通了烃源岩和圈闭中的储层。WC9-1-1 井两侧的深断层十分发育,多数都切穿下部的恩平组烃源岩,含烃热流体就是通过这些断层运移至珠江组及珠海

组砂岩中成藏的。

另外,据文昌 A、B 凹陷的录井资料显示,在 WC19-1-2 井中,油气层断断续续在垂向的分布从 3 160 m 深的文昌组直到珠海组上部,长达 1 576 m;在 II 号断裂带的 WC9-1-1 井中,油气层分布垂向上也长达 700 m。拗陷储层中与油气共生的盐水包体的温度在垂向上从下往上逐渐降低(表 1),反映了油气流体在向上运移过程中温度逐步降低。

对文昌 A、B 凹陷进行的超压模拟结果表明,2 个凹陷均有超压,凹陷中心部位的压力系数达 1.5,且压力沿断层处有明显的泄漏,即断层处流体排出,压力降低;地震波的反演也证实了凹陷中超压的存在^[23]。

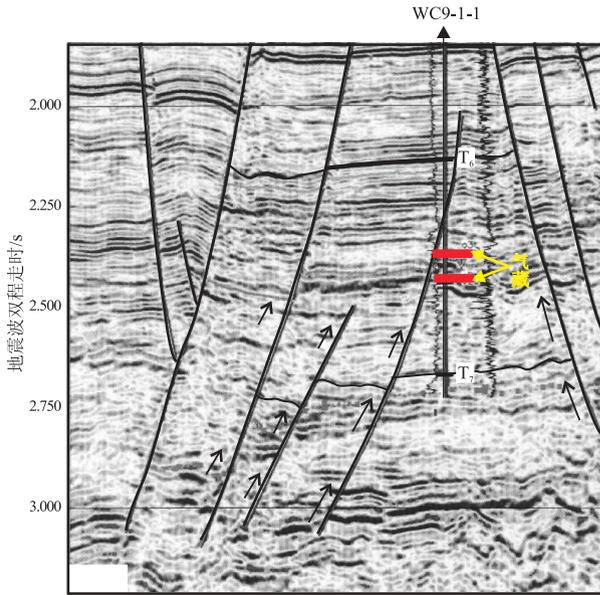


图 4 珠三拗陷 WC9-1 地区三维地震解释的断层系统

Fig. 4 Seismic profile showing fault system in WC9-1 area, Zhu III Depression

表 1 珠三拗陷钻井中包裹体温度随深度的变化

Table 1 Inclusion temperature changing with burial depth in wells, Zhu III Depression

井名	深度/m	温度/℃
	1 616	120~130
WC8-3-1	2 624.38~2 630	150~160
	2 723~2 734.3	150~170
WC9-2-1	3 201.5~3 206.7	130~140
	3 656.2~3 743	140~150
WC10-1-1	4 381~4 386.55	150~160
	3 606.5	130~140
	4 377	150~160
	4 384.1	150~170

2.2 不整合面输导体

珠江口盆地自形成以来,至少经历了 5 期构造运动,每期运动形成与其相对应的不整合面(图 3),这些不整合面在地震反射上有明显的可识别标志,如削截、上超等。图 5 是过文昌 B 凹陷的 1212 线反射剖面,从图中可知, T_7 , T_6 之下见明显的同向轴削截现象,各个界面之上是相互平行的同向轴,即岩层之间相互平行,层内均一性较好,油气流体等的侧向流动较为容易。与油气侧向运移有关的有 T_6 , T_7 和 T_8 不整合反射结构。

通常情况下,低位域发育较好的砂体,水进域和高位域也可能形成一些滨湖、滨海、河流相砂体,它们在不整合面上的叠加,能组成良好的油气运移通道。另外,隆起上的基底风化壳也有可能形成良好的输导体^[33]。图 6 选择了珠三拗陷中几口井的

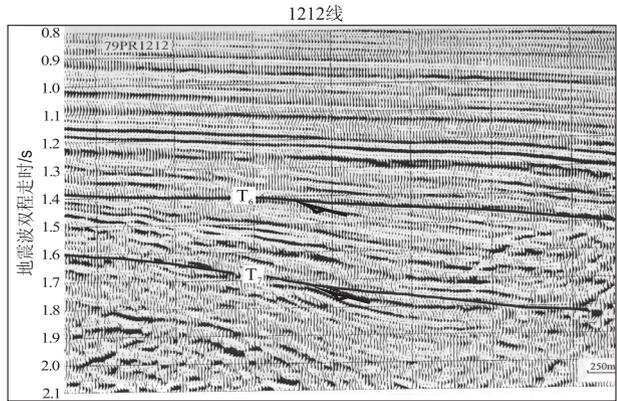


图 5 珠三拗陷不整合面 T_6 (SB_1) 和 T_7 (SB_0) 之下的同相轴削截现象

Fig. 5 Seismic profile showing truncation below T_6 (SB_1) and T_7 (SB_0) in Zhu III Depression

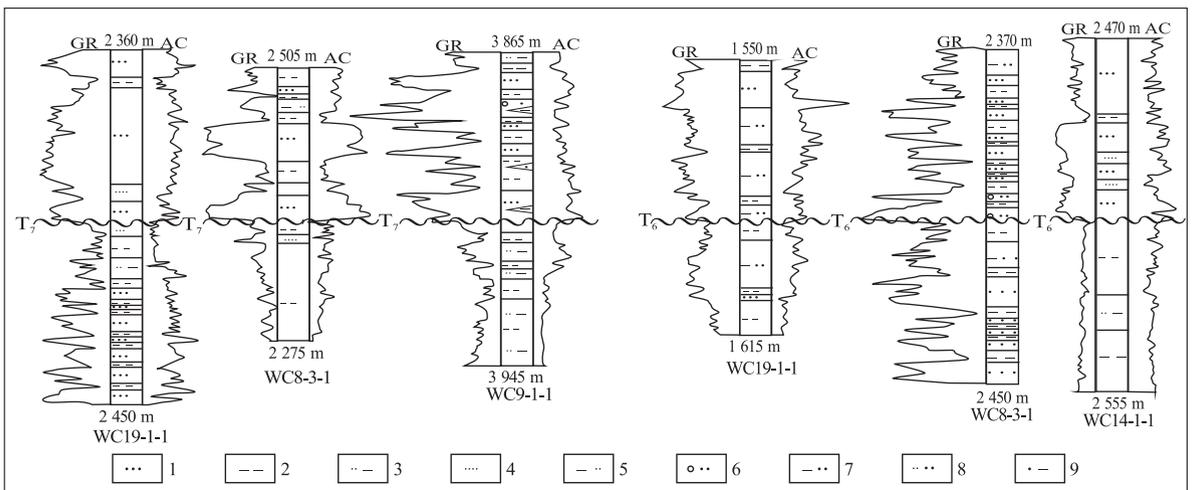


图 6 珠三拗陷 T_6 和 T_7 不整合面在测井曲线上的响应

1. 砂; 2. 泥岩; 3. 粉砂质泥岩; 4. 粉砂岩; 5. 泥质粉砂岩; 6. 含砾砂岩; 7. 泥质砂岩; 8. 粉砂质砂岩; 9. 砂质泥岩

Fig. 6 Responses of T_6 and T_7 unconformities on well-logging curves, Zhu III Depression

测井曲线,图中伽马曲线和声波曲线显示了在 T_7 和 T_6 之上突然跃变,沉积物粒度变粗,为一套水进域中的向上变细的薄层砂体,厚度几米至十米左右,有些井中,砾岩或含砾的砂岩直接覆盖在不整合面之上,区域上比较连续。而不整合面之下,常为粒度较细沉积物,孔隙度和渗透性远较之上的粗粒沉积物差,作为流体运移的底托垫。不整合面的这种结构明显有利于含烃热体的侧向迁移,构成了输导网络的一部分。

2.3 高孔渗相砂岩输导体

无论是在凹陷的中部还是在边部或凸起上,珠

三坳陷的油气储层和侧向运移通道主要是珠海组和珠江组的海相砂体。Nie 等^[22]研究了珠三坳陷珠海组和珠江组层序地层,结果表明:2 组共划分出 8 个 3 级层序,每个组 4 个,且每个层序由一个海进域 (TST) 和一个高位域 (HST) 组成。由于琼海凸起上不发育珠海组地层,故本文着重探讨珠江组的情况。

由图 7 可知,各井油气层段的分布均受限于层序的海进域 (TST) 中,尤其是珠江组下段的 TST;珠海组的情况十分相似。从砂岩厚度统计直方图上(图 8)看,文昌 A 凹陷的砂体厚度大,各组段从 100~350 m 不等;文昌 B 凹陷厚度比 A 的小,在 50~150 m 之间;

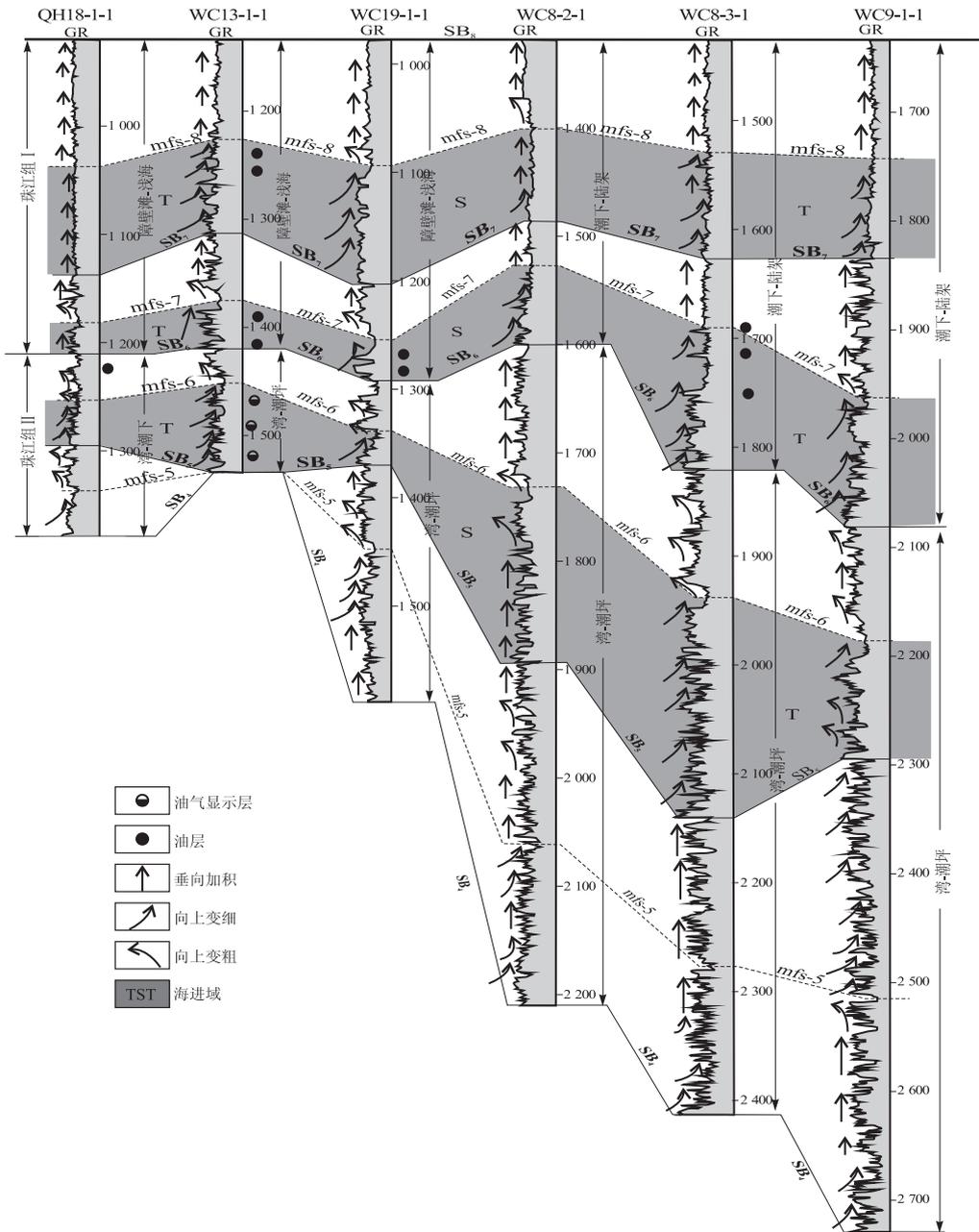


图 7 珠三坳陷珠江组连井层序地层格架及体系域划分

Fig. 7 Sequence stratigraphic framework and system tract of Zhujiang Formation, Zhu III Depression

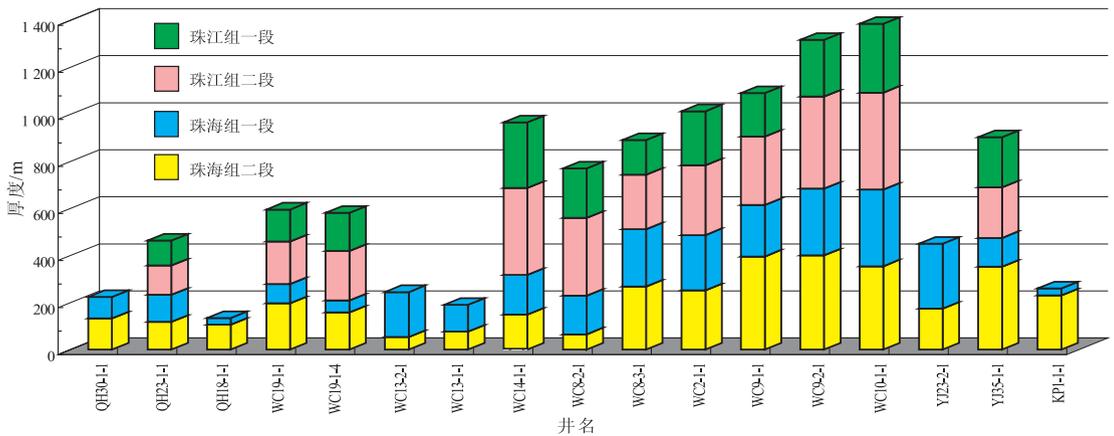


图 8 珠三坳陷珠海组一、二段和珠江组一、二段砂岩厚度统计

Fig. 8 Histograms showing sandstone thickness of 1st and 2nd members of Zhuhai Formation and 1st and 2nd members of Zhujiang Formation in Zhu III Depression

琼海凸起上缺乏珠海组,珠江组上、下两段砂岩厚度在 30~150 m 之间。另外,珠海、珠江组的下段均比相应的上段的砂体厚。珠海组砂岩在 2 500~3 700 m 平均孔隙度为 10%~20%,2 500 m 以上大于 20%;珠江组下段的砂岩平均孔隙度为 26%~36%,渗透率为 $(320\sim 20\ 560)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,而上段的平均孔隙度虽达 24%~36%,但渗透率变化大,为 $(10\sim 10\ 240)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,上段的连通性差。因此,无论是珠江组,还是珠海组,它们各自的二段砂岩比一段砂体具更好的孔渗性,更利于流体在砂体内的侧向运移。

由图 2 可知,珠海二段期,珠三地区为半封闭的海湾,北部发育正常三角洲,南部较陡,发育局部的扇三角洲,沉积物偏粗;珠海一段沉积时南部隆起下沉,但出现了平行于岸线的砂坝。至珠江二段沉积,潮汐作用加强,形成一系列的垂直岸线(SE向)的潮汐砂体,这些砂体逐渐向北西方向叠置至琼海凸起。珠江一段沉积时整个地区没于水下,变成开阔海。因此,珠海二段的粗粒沉积体和珠江二段的潮汐砂体为流体的运移提供良好通道。

3 构造脊

构造脊——又称油气运移的“高速公路”,是含油气盆地中最有利的运移路线之一。珠江口盆地的东部珠一坳陷中存在两条构造脊,即惠流(长约 100 km)和惠陆(长约 60 km)构造脊,沿此构造脊已经发现大小油田 13 个^[33-34]。欧洲的巴黎盆地和北美的惠灵顿盆地也存在着低幅背斜构造脊,它们不仅控制了油气田的分布,还控制了油气运移的重要方向。

珠三的文昌 B 凹陷和琼海凸起之间于 T_4 和

T_5 两个地震反射面构造图也明显显示 2 个构造脊的存在。在 T_4 构造图上(图 9),从油田的构造高点至凹陷的低点相差 100 m 左右;在 T_5 上相差 140 m,图上明显可辨构造脊的形态。该构造脊宽约 3.5 km,长约 10 km。在 T_4 和 T_5 之间是含泥偏高的珠江组上段地层, T_5 是区域性的泥岩盖层,其单层泥岩厚度在 10~35 m 之间。 T_5 至 T_6 不整合面之间是砂岩厚度大、含砂率高、孔渗性均好的珠江组二段地层,该段中的砂岩沉积于潮汐水道,泥岩含量低,分选磨圆均好,而且砂体从凹陷向北西方向的琼海凸起上逐渐叠置超覆(图 2C),构成了油气运移“高速公路”的主体,是油气侧向运移的重要“快速”通道。

4 联合输导网络特征与作用

构成珠三坳陷油气输导网络系统的主要要素有高孔渗海相砂岩,沟通储层和源岩的深大断裂及区域性的不整合面。对于分布于 II 号断裂带及珠三南断裂带附近的油气田,主要是通过断层及沿断层发育的粗碎屑层输导。断裂输导作用在国际上引起了广泛的关注。为验证断裂对流体的输导作用,美国的 Pennzoil 公司在墨西哥湾的尤金岛上打了 Pathfinder 井,当流体的压力额外增加 500 psi 时,断层开启,流体向上突破;释放完压力后,断层又重新封闭,如此反复,流体就这样一幕幕地沿断层向上运移。也有学者对断裂的输导作用持反对意见^[35-37]。目前大多数人认为,当断裂强烈活动时是流体运移的通道,否则就不是。实验已经证明断裂的输导作用是肯定的,那些位于凹陷上方,距烃源岩又有一段距离的油气田肯定是通过断裂运移的。

在文昌 A 凹陷的 II 号断裂带中,烃源岩和储层

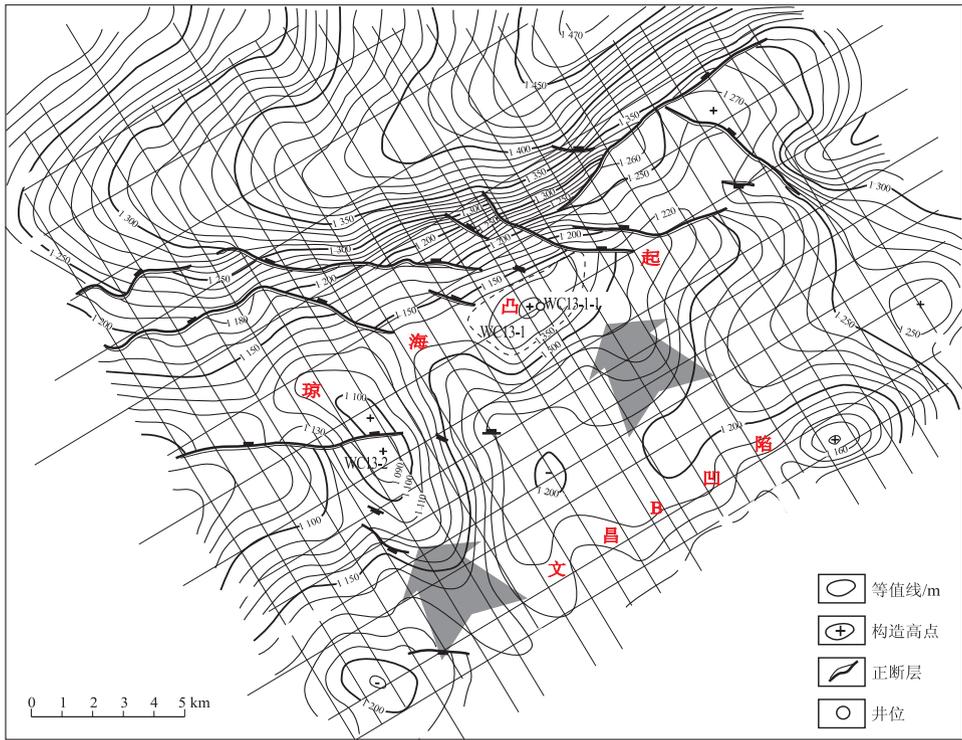


图 9 T_4 构造面图显示 WC13-1 和 13-2 油田与文昌 B 凹陷连接的构造脊
资料由中国海洋石油公司提供。

Fig. 9 Structural plane T_4 showing an obvious ridge between WC13-1, WC13-2 oilfields and Wenchang B Sag

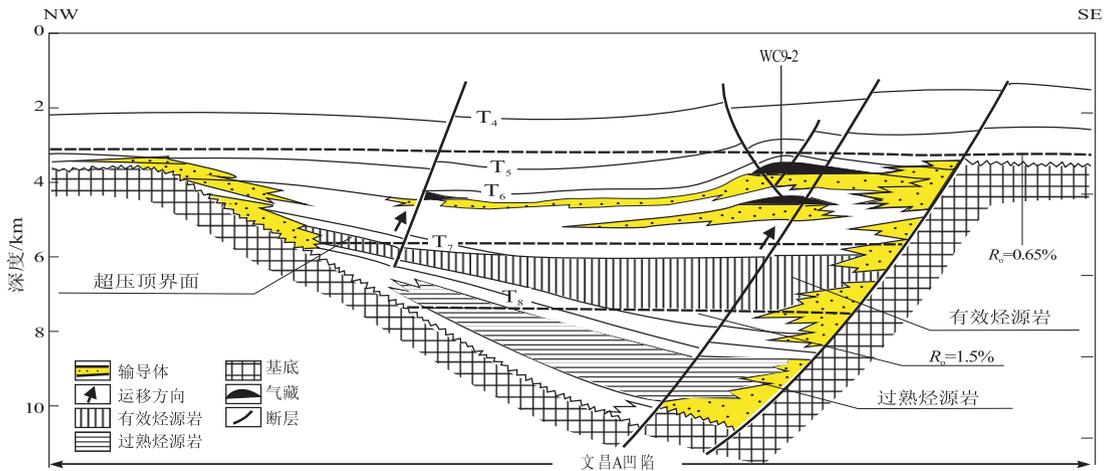


图 10 珠三拗陷文昌 A 凹陷中凝析气藏的成藏模式^[17]

Fig. 10 Accumulation pattern of condensed gas reservoir in Wenchang A Sag, Zhu III Depression

之间隔着多层泥岩, 只有断裂才能穿切渗透性差的泥岩, 运移含烃热流体穿过泥岩层到达储层。珠三南断裂的情况稍有不同, 它是长期活动的生长断层, 珠海组形成时期, 断裂带近拗陷一侧形成大量的粗碎屑堆积, 形成一套“超”厚的粗碎屑岩, 中间缺乏泥岩层阻隔, 因此, WC19-1 油田的烃类沿断层及断层靠拗陷一侧的粗碎屑层向上运移到达储层。图 10 反映了断裂与圈闭关系的模式。无论是文昌组或恩平组的烃类均可以通过拗陷中心的断

裂运移到达储层。

文昌 B 凹陷中生成的油气, 通过高孔渗海相砂岩、断裂及不整合面联合运移到琼海凸起的构造高点。图 11 是断层、不整合面及潮汐砂体在三度空间中的配制示意图, 概括了油气运移的多项要素组合。盆地基底不整合面 T_g 从 WC13-1 和 WC13-2 油田的底部一直延伸到拗陷底部。 T_7 和 T_6 区域性的不整合面于琼海凸起的不同部位分别与 T_g 相交。 T_g 、 T_7 和 T_6 之上均有一层粒度较

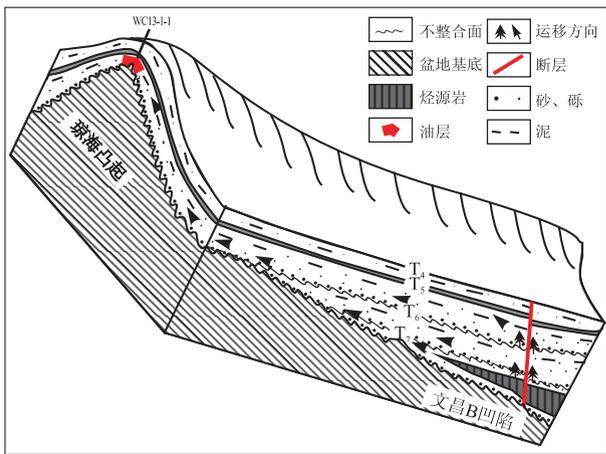


图 11 珠三拗陷琼海凸起上文昌 13-1 和 13-2 油田的油气运移模式

Fig. 11 Petroleum migration pattern in WC13-1 and WC13-2 oilfields, Qionghai Horst, Zhu III Depression

粗的沉积物,如含砾砂岩等。珠海、珠江组下段的 TST 中的砂体孔渗性佳,且砂体的厚度大;T₅ 又是区域性的泥岩盖层,直接覆盖着位于其下的珠江组二段潮汐砂体,它们构成了构造脊的主体。在凹陷的中心部位,发育大量的深断裂。由文昌组泥岩生成的烃类,一方面可以沿 T₆ 不整合面运移直达琼海凸起上的储层中;另一方面,油气先沿断裂向上运移至珠海、珠江组内的砂体中,再沿 T₇、T₆ 不整合面和珠海、珠江组下段的海相高孔渗砂体向北西方向的凸起上运移,最终到达 WC13-1 和 WC13-2 油田中。珠三拗陷中这种不整合、断裂和高孔渗砂体的联合运移就构成了珠三拗陷中输导系统高效网络——即多项要素的“黄金组合”。因此,综合判定这种组合关系,对今后勘探目标的优选有重要的实践意义。

5 结论

1) 珠江口盆地珠三拗陷中油气运移的输导体有 3 种:即拗陷中广泛发育的深大断裂输导体、由构造运动形成的多个不整合面输导体以及由海进作用形成的多套水进体系域高孔渗性砂岩输导体,三者与研究区中通过构造脊精妙地组合——“黄金通道”,形成了油气运移的“高速公路”输导网络。

2) 在文昌 A 拗陷 II 号构造带中的 WC9-1 和 WC9-2 气田以及靠近珠三南断裂带的文昌 B 拗陷中的 WC19-1 油田中,深大断裂沟通了深部的烃源岩和储层,把深部油气运移至储集层中。另外,珠三南断裂,这个长期活动的生长断层形成了一套从深部延伸至浅部的“超”厚层砂体,也可能是

WC19-1 油田的主要运移通道之一。

3) 珠江口盆地形成后经历了至少 5 期构造运动,形成了至少 5 个不整合面。在珠三的文昌 A 和 B 凹陷中,地震反射界面 T₇ 和 T₆ 代表 2 个区域性的不整合面,它们分别对应岩性较粗、孔渗性较好的珠海组二段底和珠江组二段底。琼海凸起上的 WC13-1 和 WC13-2 油田,深部油气首先通过断层输导体垂向运移至高孔渗的砂岩输导体和不整合输导体中,然后砂岩输导体和不整合输导体再侧向运移至构造高点的油田中。

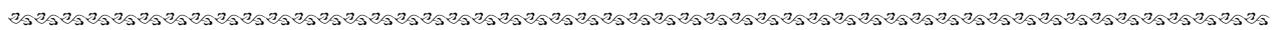
致谢:本研究得到了中国海洋石油总公司南海西部石油公司和勘探开发研究中心的大力支持,感谢他们提供了研究所需的资料。同时感谢解习农教授、王华教授、朱伟林研究员、吴克强研究员、周雯雯研究员、王春修研究员为研究提供了部分有用资料和建议。

参考文献:

- [1] 解习农,李思田,董伟良,等. 热流体活动示踪标志及其地质意义:以莺歌海盆地为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999,24(2):183-188.
- [2] 付广,付晓飞. 断裂输导系统及其组合对油气成藏的控制作用[J]. 世界地质,2001,20(4):344-349.
- [3] 李绪宣,朱光辉. 琼东南盆地断裂系统及其油气输导特征[J]. 中国海上油气,2005,17(1):1-7.
- [4] 朱筱敏,刘成林,曾庆猛,等. 我国典型天然气藏输导体系研究:以鄂尔多斯盆地苏里格气田为例[J]. 石油与天然气地质,2005,26(6):724-729.
- [5] 刘华,任景伦,蒋有录. 渤海湾盆地东营凹陷现河庄油田河 31 断块区输导体系特征与成藏规律[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):41-46.
- [6] 周心怀,牛成民,滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):469-475.
- [7] 梁书义,刘克奇,蔡忠贤. 油气成藏体系及油气输导子体系研究[J]. 石油实验地质,2005,27(4):327-332.
- [8] 康德江. 碎屑岩中油气初次运移输导体系分类及特征[J]. 石油实验地质,2009,31(5):455-461.
- [9] 卢学军,刘华,王建瑞,等. 渤海湾盆地霸县凹陷输导体系与新近系油气运聚特征[J]. 石油实验地质,2010,32(3):258-261.
- [10] 彭存仓,张博. 郟庐中段走滑断裂与新滩地区油气成藏关系[J]. 石油实验地质,2009,31(3):227-230.
- [11] 吴孔友,李林林,查明. 不整合纵向结构及其成藏作用物理模拟[J]. 石油实验地质,2009,31(5):537-541.
- [12] 陈瑞银,罗晓容,吴亚生. 利用成岩序列建立油气输导格架[J]. 石油学报,2007,28(6):43-47.
- [13] 张照录,王华,杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质,2000,21(2):133-135.
- [14] 佟卉. 油气输导通道的内部结构和输导机制特征[J]. 大庆石油学院学报,2008,32(2):23-26.

- [15] 张卫海,查明,曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质,2004,24(2):118-121.
- [16] 江文龙,周雯雯. 珠三拗陷成岩作用与油气聚集[J]. 沉积学报,1998,16(4):91-97.
- [17] 徐新德,黄保家,李里,等. 珠三拗陷琼海凸起油气运聚研究[J]. 石油勘探与开发,2000,27(4):41-44.
- [18] 姜华,王华,李俊良,等. 珠江口盆地珠三拗陷油气成藏模式与分布规律[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):275-281.
- [19] 徐思煌,朱义清. 烃源岩有机碳含量的测井响应特征与定量预测模型:以珠江口盆地文昌组烃源岩为例[J]. 石油实验地质,2010,32(3):290-295.
- [20] 于水明,施和生,梅廉夫,等. 过渡动力学背景下的张扭性断陷:以珠江口盆地惠州凹陷古近纪断陷为例[J]. 石油实验地质,2009,31(5):485-489.
- [21] Nie Fengjun, Li Sitian, Xie Xinong, et al. Lateral Migration Pathways of Petroleum in the Zhu III Subbasin, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2001,18(5):561-575.
- [22] Nie Fengjun, Li Sitian, Wang Hua, et al. Study on Sequence Stratigraphy of Zhujiang and Zhuhai Formations, Zhu III Subbasin, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. Journal of China University of Geosciences, 2001,12(1):11-21.
- [23] Nie Fengjun, Li Sitian, Wang Hua, et al. Vertical Migration of Petroleum via Faults in the Zhu III Subbasin, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. Journal of China University of Geosciences, 2001,12(2):117-126.
- [24] Ru K, Pigott J D. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea[J]. AAPG Bulletin, 1986,70(9):1136-1155.
- [25] 朱伟林,黎明碧,吴培康. 珠江口盆地珠三拗陷石油体系[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6):21-26.
- [26] Zhu Weilin, Li Mingbi, Wu Peikang. Petroleum systems of the Zhu III subbasin, Peral River Mouth basin, South China Sea[J]. AAPG Bulletin, 1999,83(6):990-1003.
- [27] 季洪泉,王新海. 珠江口盆地西部文昌 A 凹陷油气勘探潜力分析与预测[J]. 天然气地球科学,2004,15(3):338-342.
- [28] Jones P H, Wallace R H Jr. Wallace and Hydrogeological aspects of structural deformation in the northern Gulf of Mexico basin[J]. Journ Res USGS, 1974,2 (5):511-517.
- [29] Price L C. Utilization and documentation of vertical oil migration in deep basins [J]. Journ Petro Geol, 1980,2(2):352-387.
- [30] Galloway W E. Epigenic zonation and fluid flow history of uranium-bearing fluvial aquifer systems, South Texas uranium province [R]. Austin: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, report of investigations 119,1982:31.
- [31] 陈桂华. 珠江口盆地珠三拗陷南边界断裂发育方式分析及其意义[J]. 海洋石油,2002,113(2):33-38.
- [32] 姜华,王华,刘军,等. 珠江口盆地珠三拗陷神狐组—恩平组沉积时期南断裂活动性对沉积的控制作用[J]. 地质科技情报,2009,28(2):49-53.
- [33] 龚再升,李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [34] 王斌,祝春荣,丰勇. 珠江口盆地番禺低隆起油气输导体系及运移脊线[J]. 海洋石油,2006,26(1):1-6.
- [35] Perkins H. Fault closure type fields, SE Louisiana, Gulf Coast Assoc. Geol[J]. Socs Trans, 1961,11:177-184.
- [36] Smith D A. Theoretical considerations of sealing and non-sealing faults[J]. AAPG Bulletin, 1966,50(2):363-374.
- [37] Smith D A. Sealing and nonsealing faults in Louisiana Gulf Coast Salt basin[J]. AAPG Bulletin, 1980,64(2):145-172.

(编辑 黄娟)



(上接第 391 页)

- [8] 王震亮,孙明亮,耿鹏,等. 淮南地区异常地层压力发育特征及形成机理[J]. 石油勘探与开发,2003,30(1):32-34.
- [9] 罗晓容,肖立新,李学义,等. 准噶尔盆地南缘中段异常压力分布及影响因素[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2004,29(4):404-413.
- [10] 陈丽华,姜再兴. 储层实验测试技术[M]. 东营:石油大学出版社,1994:161-162.
- [11] Jansa L F, Noguera Urrea V H. Geology and diagenetic history of overpressured sandstone reservoirs, venture gas field, offshore Nova Scotia, Canada [J]. AAPG Bulletin, 1990,74(10):1640-1658.
- [12] 郭宏莉,王大锐. 塔里木油气区砂岩储集层碳酸盐胶结物的同位素组成与成因分析[J]. 石油勘探与开发,1999,26(3):31-35.
- [13] Irwin H, Curtis C, Coleman M L. Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates for med during burial of organic-rich sediments[J]. Nature,1977,269:209-213.
- [14] Hutcheon I, Abercrombie H J, Putnam P E, et al. Diagenesis and sedimentology of the Glearwater Formation at Tucker Lake[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1989,37(1):83-97.

(编辑 黄娟)