

莺歌海盆地天然气差异输导特征及成藏意义

金 博¹, 张金川¹, 刘 震², 李绪深³

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 石油大学地球科学学院, 北京 102249;

3. 中海石油有限公司湛江公司, 广东 湛江 524057)

摘要:莺歌海盆地为典型的伸展—转换型盆地,其独特的地质条件决定了天然气具有差异输导特征,这种差异输导体现在盆地尺度、区带尺度和输导体尺度上,中央底辟构造带为泥—流体底辟树型输导系统,深部天然气沿底辟断裂垂向远距离运移到底辟顶部及其周缘的浅层及中深层砂体中成藏。输导体主要以垂向断裂和裂隙为主,莺东斜坡带则为复合输导系统,输导体为砂体、不整合和断裂组成;莺东斜坡输导特征分段性明显,从北段、中段到南段输导性能逐渐增强,具有明显差异输导特征。伸展—转换型盆地的这种差异输导特征对天然气运聚成藏及天然气富集具有明显的控制作用,泥—流体底辟树型输导系统决定了中央凹陷带天然气具有环底辟优势聚集分布的特征,复合输导系统影响莺东斜坡带天然气运聚则具有多样性,天然气各段差异聚集特征明显。

关键词:伸展—转换型盆地;天然气;莺歌海盆地;差异输导特征;成藏意义

中图分类号:TE122.1⁺13

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2011)04-0642-07

引用格式:金博,张金川,刘震,等. 莺歌海盆地天然气差异输导特征及成藏意义[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 642-648.

0 引言

莺歌海盆地是在印支板块和华南板块的古缝合带上发育起来,受岩石圈拉伸和红河断裂走滑双重机制控制,先断后坳的伸展—转换型新生代含油气盆地^[1]。具有下断上坳的双重结构:古近系为断陷,新近系为坳陷。盆地始新世—早渐新世的左旋斜向拉分初始沉降、晚渐新世—中新世的热沉降和左旋应力场叠加和上新世—更新世热沉降和右旋应力场叠加,独特的构造演化和高速率的快速沉积及沉降,造成盆地中央构造不发育;莺歌海盆地从西向东划分为莺西斜坡带、中央凹陷带和莺东斜坡带3个一级构造单元(图1)。中央凹陷带作为盆地的主体,可分为凹陷西北翘起端的临高隆起构造带和凹陷主体的中央泥—流体底辟构造带,中央泥—流体底辟构造带有呈雁行排列SN向展布的5排泥—流体底辟构造,莺东斜坡带包括一号断裂的上升盘和下降盘的斜坡部分,基本格架为一继承性发育,南部和北

部宽缓,中部较窄,坡度较平缓的单斜。本文研究范围主要为中央泥—流体底辟构造带和莺东斜坡带。我国学者对莺歌海盆地的天然气成藏做过大量研究工作,解习农等^[2]对莺歌海盆地底辟带热流体输导系统和成因机制进行了研究,认为其以垂向断裂和裂隙系统为主;殷秀兰等^[3]研究了莺歌海盆地超压流体活动与断裂系统的相互关系,揭示断裂对超压流体的输导及超压流体对断裂开启的相互作用;郝芳等^[4-5]对莺歌海盆地地层压力结构、底辟分布与发育机理及超压流动效应综合分析,提出了晚期汇聚型超压流体流动模式;朱光辉等^[6]系统地分析了莺歌海盆地天然气成藏动力学机制及主控因素,阐释了盆地内异常超压的发育背景及成因,指出异常压力是天然气运移的主要驱动力,而流体压裂则产生了天然气垂向运移输导网络。黄保家等^[7]研究了莺东斜坡带的优势输导方向;何家雄等^[8-10]分析了莺东斜坡带隐蔽油气藏的成藏主控因素;李纯泉

收稿日期:2011-03-17;修回日期:2011-05-08.

基金项目:国家自然科学基金“页岩气聚集机理与成藏条件”(编号:40672087)资助。

作者简介:金博(1974-),男,陕西武功人,博士后,主要从事油气成藏机理研究. E-mail:jinbo2001@126.com.

等^[11-14]分析了泥底辟活动与天然气成藏的关系。上述研究或着眼于中央泥一流体底辟构造带与莺东斜坡带的油气成藏研究,或为不同地区天然气运聚成藏的对比分析,缺乏整体对盆地不同构造带油气运聚成藏的差异性对比分析,本文尝试从伸展—转换盆地构造不发育的自身地质条件出发,对比分析中央底辟构造带和莺东斜坡带的差异输导特征及成藏意义,探索莺歌海盆地的不同构造带以及同一构造带不同构造位置的天然气成藏及形成与分布的差异性。

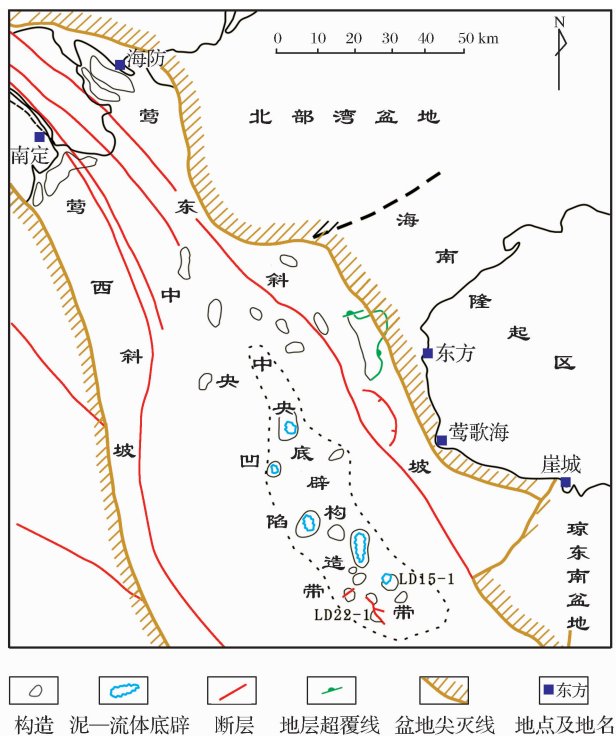


图1 莺歌海盆地位置及构造区划

(据南海西部研究院,1998)

1 输导体系的差异性

不同的输导体系对油气运聚的控制作用具有明显的差异性,输导体系的类型和分布特征决定了油气藏的类型和空间组合;不同类型输导体系的输导机理和运聚效率也不同^[15]。输导体系的差异性决定了油气运聚效率及部位的差异。输导体系的差异性分析尺度分为盆地级别、区带级别和输导体级别,盆地级别差异输导表现为盆地范围内各构造带输导体系横向分带性和纵向组合性;区带级别差异输导表现为因同一构造带不同构造部位输导体系构成要素及其组合不同而产生的输导特征及性能的差异性;输导体级别的差异输导则为砂体、断层和不整合

等单一输导体之间输导性能的差异性和同一类型不同成因的输导体之间输导性能的差异性。

2 莺歌海盆地差异输导特征

莺歌海盆地输导系统结构多样化,不同区带输导系统具有明显的差异性。中央凹陷带是以底辟作用产生的垂向断裂及裂隙为主组成的泥一流体底辟树型输导系统;莺东斜坡带则为砂体、断层及不整合组成的复合输导系统,并且斜坡带南段、中段、北段各段输导系统特征及输导性能亦各有差异。由于沉积、构造等地质特征造成莺东斜坡带分段性明显,导致斜坡带各段输导体构成、输导体组合、输导样式及特征的差异性,形成斜坡带各段具有明显差异的油气输导体系,从而控制和影响了油气聚集部位和类型,差异输导特征最终决定了油气运聚的差异性和油气藏平面分布的差异性。

2.1 中央凹陷带底辟树型输导系统

莺歌海盆地中央凹陷带为超压环境,底辟活动的多期性,造成底辟区断裂和裂隙不断开启,输导天然气从深部垂向运移,同时充注底辟两侧及周缘的砂体。在剖面上构成了树型样式(图2)。因此,称之为底辟树型输导系统。底辟树型输导系统是莺歌海盆地中央凹陷带构造及岩性天然气成藏的主要输导通道和样式。底辟树型输导系统主要由垂向上的泥一流体底辟的断裂及裂隙带和侧向上底辟两侧及周缘展布的各层砂体构成^[16]。

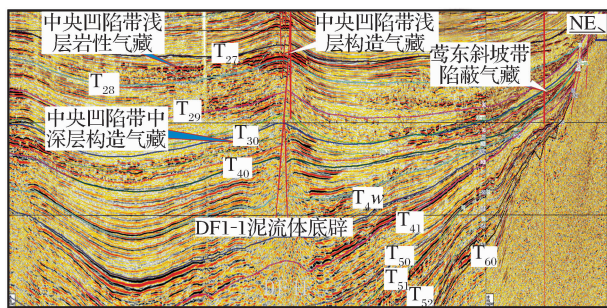


图2 莺歌海盆地差异输导特征(据南海西部研究院,1998)

莺歌海盆地中央凹陷带浅层气藏都位于底辟顶部断裂的两侧砂体中,反映出底辟树型输导系统沟通深部烃源,深部天然气沿底辟断裂垂向远距离运移在浅层底辟顶部及两侧的砂体中成藏。浅层天然气藏,具有明显的多源、多阶和混源的复合特征,既有深部甲烷气,又有浅层的生物气。

来自相对深部的近新系梅山组及三亚组的天然气通过泥一流体底辟活动产生的断裂和裂隙幕式地向上运移至浅部地层。莺歌海盆地中深层气藏位于

底辟两侧及周缘的圈闭中,DF1-1 泥一流体底辟新近系黄流组—梅山组气藏具典型的底辟树型输导系统中深层剖面样式,气层发育于底辟两侧及周缘的砂体中(图 3)。中深层天然气藏也具有明显的多源多阶混源复合特征,深部高熟烃源岩晚期形成的高熟甲烷作为主气源,邻近的烃源岩早期生成的低熟重烃气为次要气源。来自相对深部的梅山组及三亚组天然气通过深部底辟及热流体的上侵活动产生的断层和垂向裂隙多阶多幕地向上运移^[17-19]。底辟树型输导系统及其运移模式是莺歌海盆地中央凹陷带泥一流体底辟控制的构造气藏和岩性天然气成藏的主要输导通道和成藏方式。底辟树型输导系统及其运移模式是莺歌海盆地中央凹陷带泥一流体底辟控制的构造气藏和岩性气藏成藏的主要输导通道和成藏方式。

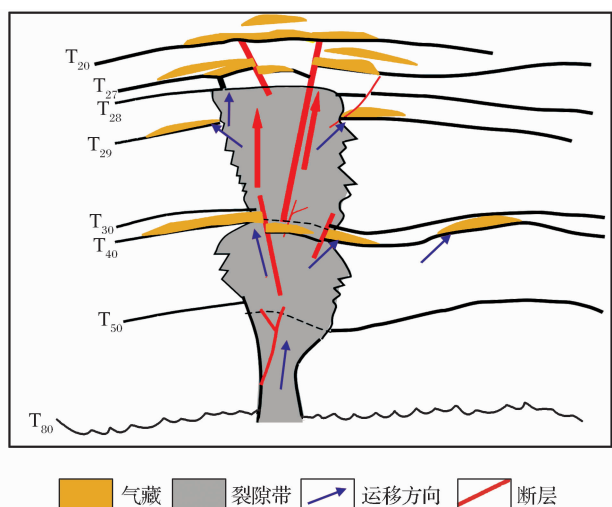


图 3 中央凹陷带树型输导系统特征

2.2 莺东斜坡带复合输导系统

莺东斜坡带为常压环境^[20],新近系输导系统为砂体、断层和不整合组成的复合输导系统,斜坡带北段、中段、南段输导系统分布特征各有差异^[21]。

莺东斜坡带新近系天然气成藏期为莺歌海期—第四纪,一号断层北段古近纪后期基本不活动,断裂活动时间主要在 T_{50} 以前,一号断裂多断至三亚组底部 T_{60} ,断裂带是由一系列平行或近平行的北西向断裂系组成,一号断层明显控制着古近系的沉积,并为地堑—地垒式,新近系断层不发育。因此,对于新近系含油气系统来说,莺东斜坡带北段新近系断层不发育(图 4),一号断层不起输导油气的作用,由于处于剪切挤压环境,成藏期断层可能为封闭性断层,为非输导断层。对新近系来说,断层不起输导作用。

中段断阶带一号断层上盘发育一系列断裂,最东侧的为莺东断层,平面上呈 NE 向的弧形展布,

LT9-1-1 井区北侧走向为 NW 向,南侧则转为近 SN 向,至莺 1 井附近消失。一号断层上升盘的一系列正断层与莺东断层组成了断面倾向呈 WS 向的阶梯式结构,如本段 LT1-1 井区一号断层上升盘一系列正断层自身组成典型的阶梯式结构,在莺二段 (S_{27} — S_{30}) 断层上盘、下盘为三角洲前缘相带砂体互相对接,导致断层侧向不具有封堵性,三亚组 (S_{50} — S_{60}) 断层上盘、下盘为滨海相对接,侧向可具有封堵性;LT9-1 井区一号断层上升盘一系列正断层与莺东断层也组成了断面倾向 WS 的阶梯式结构,黄流组 (S_{30} — S_{40}) 一号断层上盘、下盘扇三角洲相砂体对接,导致断层侧向封闭性差,莺东断层莺二段中部地层 (S_{28} — S_{29}) 上盘、下盘也是三角洲砂体互相对接,故其断层侧向具有开启性(图 5,图 6)。莺东斜坡带中段一号断层活动期主要在三亚期末,靠近北段部分(3441 测线—3447 测线)则一直活动至第四纪,一号断层被 NW 向断层切割,断层组成阶梯式结构,应为较好的输导通道。

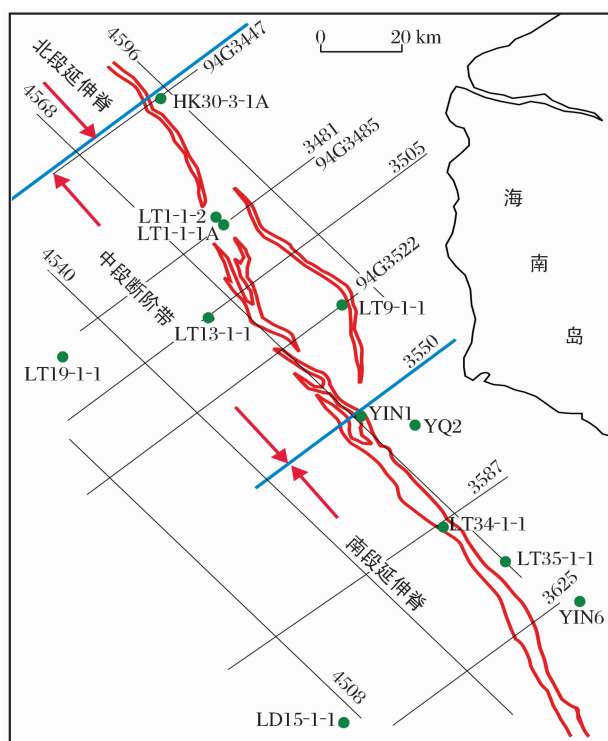


图 4 一号断层平面分布特征(据李绪宣等,1994,修改)

莺东斜坡带南段延伸脊从 3550 测线至 3625 测线,由一条陡倾的主断裂组成,断层下盘地层薄,上盘地层较完整,局部剖面可见与该断裂伴生的同向或反向次一级断层,反映本段一号断层有走滑分量,地震剖面上多显示为贯通单断式结构样式。其中 YIN1 井区 S_{275} 以下为三角洲和滨海相,上盘、下盘对接地

层多为三角洲前缘滨海相地层,岩性较粗,断层不具有封闭性;LT34-1 井区一号断层为贯通单断式结构, S29 以下以三角洲—滨海相沉积为主,上升盘和下降盘多为三角洲前缘相砂体相互对接,断层不具有封闭性(图 5,图 6)。因此,莺东斜坡带南段一号断层为贯

通单断式结构时,侧向上应为输导型断层。南段一号断层持续活动,莺东断裂带和一号断裂断层活动时间相对较长,一直到晚中新世黄流期末,甚至到第四纪都有活动,断层活动期与成藏期相吻合,应为输导型断层。油气苗的发育也充分证实了这一点。

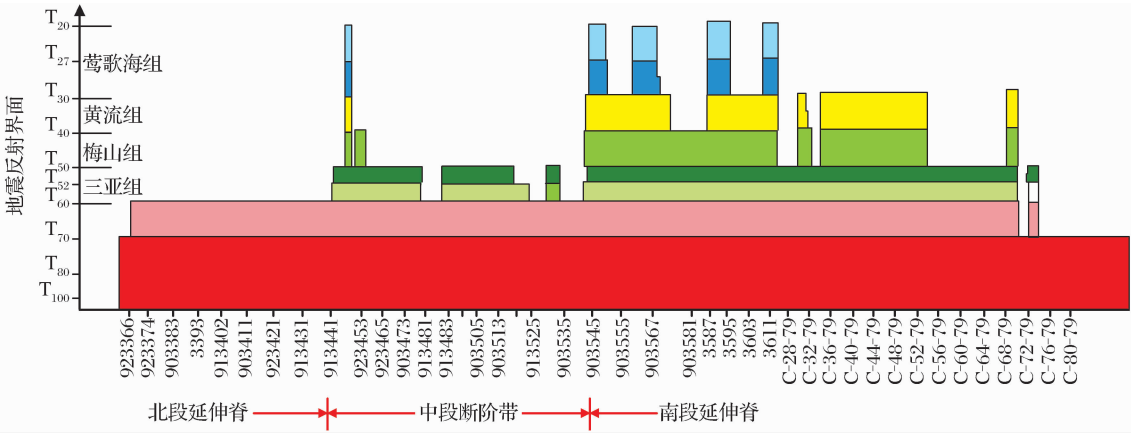


图 5 一号断层断层面位平面分布特征(据杨克绳等,1998,修改)

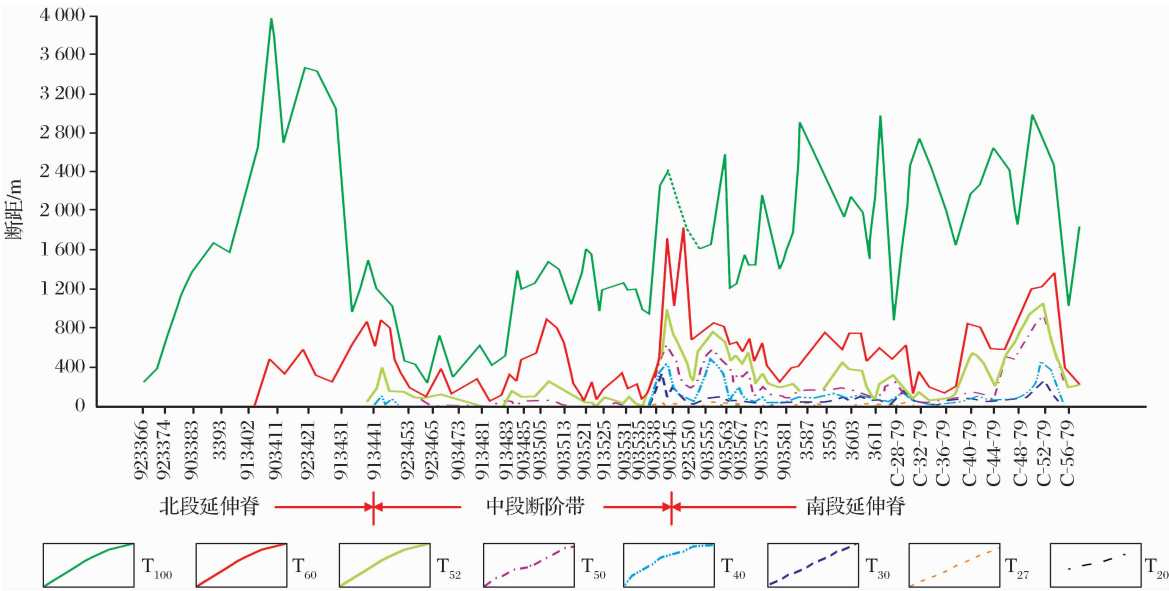


图 6 一号断层垂直断距横向分布特征(据杨克绳等,1998,修改)

从①断层应力环境、性质及组合样式;②断层活动时期与成藏期的关系;③砂体与断层对接程度;④骨架砂体发育程度;⑤不整合面上砂体发育程度;⑥不整合面接触的烃源岩类型等 6 个条件评价,确定莺东斜坡带北段为Ⅲ类输导系统,中段为Ⅱ类输导系统,南段为Ⅰ类输导系统。北段Ⅲ类输导系统主要以砂体侧向近距离输导为主,南段Ⅰ类输导系统以侧向远距离输导为主,而中段Ⅱ类输导系统输导距离则介于北段和南段之间。莺东斜坡带自身缺乏生烃能力,烃源主要来自中央凹陷带和一号断层下降盘较深部位的梅山组—三亚组成熟烃源岩。沟通

烃源的输导系统类型、分布特征和输导性能显得尤为重要,根据对莺东斜坡带北段、中段、南段的输导系统的识别和评价及已发现的 LT1-1 气藏,Ⅰ类输导系统和Ⅱ类输导系统沟通了中央凹陷的烃源,提供了成熟烃类向莺东斜坡带运移的有利通道和路径,一号断层下降盘北段 HK17-1-1 井披覆背斜、中段 LT13-1-1 井莺二段岩性圈闭、LT19-1-1 井莺歌海组岩性圈闭都是由于缺乏沟通烃源的输导通道而导致钻探失利;南段 LT33-1 井、LT34-1 井和 LT35-1 井圈闭钻探的失利则是由于封盖条件较差最终导致未能聚集天然气而成藏。莺东斜坡带多数已钻圈

闭的失利情况反映出中段、南段的输导系统是控制莺东斜坡带天然气成藏的重要因素。

3 差异输导对天然气成藏的控制和影响

沉积盆地的油气资源分布通常具有不均一性,油气并非均匀的分布于盆地内的各个构造带。同时油气的运聚也并不是从生源灶向各区带大面积的运移,而是在流体动力作用下,沿优势输导系统向着具备成藏条件的圈闭运聚。莺歌海盆地独特的差异输导地质条件决定了各区带天然气的形成和分布具有很大的分带性和差异性^[22];天然气主要集中分布在中央凹陷带底辟区,莺东斜坡带有少量天然气发现;中央凹陷带在超压作用主导下以垂向运聚为主,而莺东斜坡带则处在常压区,以侧向运聚为主。

3.1 中央凹陷带天然气环底辟优势聚集特征

莺歌海盆地中央凹陷带是烃类生成的主要区域,天然气成藏主要受底辟构造活动影响,目前发现的天然气藏(田)大多呈现出环底辟构造分布的特征。天然气藏主要分布在中央凹陷带底辟区,天然气具有明显的环底辟优势聚集特征(图7);莺东斜坡带则聚集了部分天然气。由于莺歌海盆地为典型的高温高压盆地,盆地内构造类型单一,新近系断裂不发育。中央凹陷带生储组合多为下生上储型,处

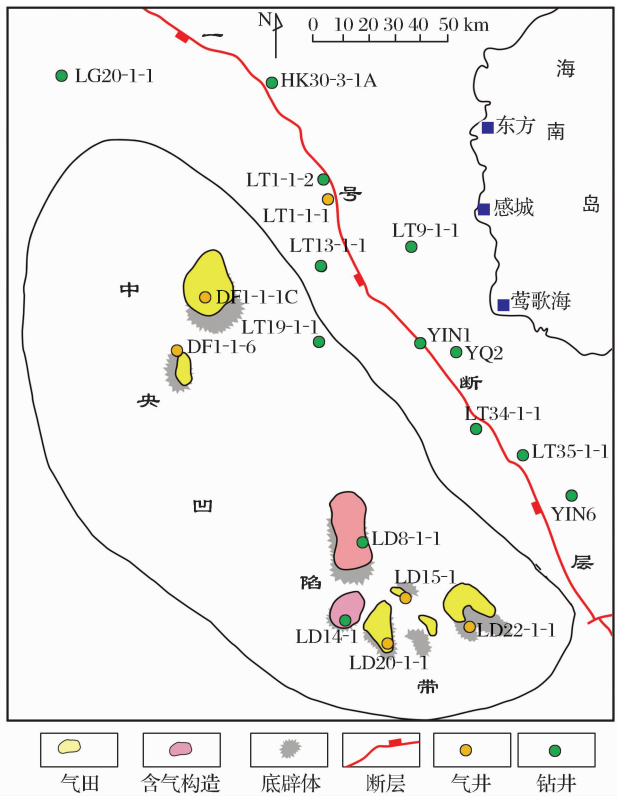


图7 莺歌海盆地天然气藏环底辟分布特征
(据南海西部研究院,1999,修改)

于生烃灶内;底辟构造的活动提供了深部烃源的垂向运移通道,并形成了捕获天然气的圈闭,超压则是流体垂向运移动力,这就导致天然气优先聚集在中央凹陷带底辟区及其周缘。反映出树型泥一流体底辟输导系统对天然气运聚成藏的控制作用。这一特征启示我们底辟树型输导系统及其运移模式是莺歌海盆地中央凹陷带泥一流体底辟控制的构造气藏和岩性气藏成藏的主要输导通道和成藏方式。因此,必须重视泥一流体底辟在天然气向浅层和中深层运移过程中的主导作用。

3.2 莺东斜坡带天然气差异聚集特征

莺东斜坡带远离生烃凹陷区,新近系自身不具备生烃条件和能力,烃源主要来自莺歌海盆地中央凹陷区的成熟烃源岩,另有部分低熟一成熟烃类来自一号断裂带下降盘的较深部位及斜坡带与盆地中央泥底辟带之间过渡地区的较深部位。莺东斜坡带不同区段一号断层样式各异,天然气运移格局和特征亦有着较大差异。斜坡带中南段为Ⅰ类、Ⅱ类输导系统,但南段圈闭条件较差,油气苗和气烟囱发育(图8),天然气只有在中段圈闭条件好的LT1-1岩性圈闭中聚集而成藏。

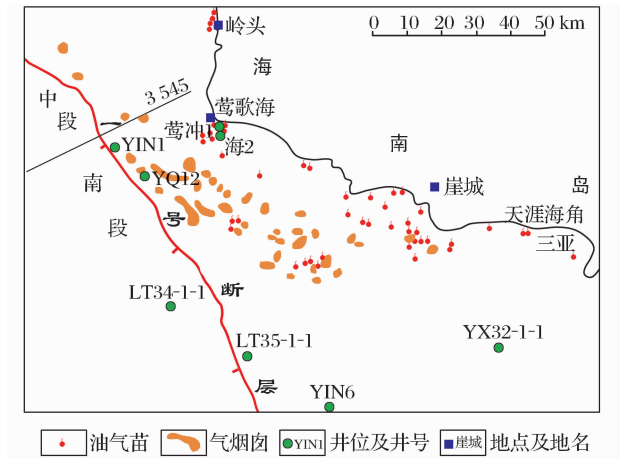


图8 莺东斜坡带油气苗和气烟囱分布特征
(据南海西部研究院,1999,修改)

常温常压区的流体动力环境决定了其垂向运移动力较弱,以侧向运聚为主。只有储层位于侧向优势输导通道上并且圈闭条件较好情况下才聚集天然气,莺东斜坡带天然气具有侧向远距离运移的特征,一号断层(走滑性质)对沉积、构造和天然气的输导具有重要的影响和控制作用。北段、中段、南段输导系统类型的差异性决定了北段以Ⅲ类一般输导系统侧向近距离输导为主,南段以Ⅰ类优质输导系统远距离侧向输导为主,而中段Ⅱ类输导系统其侧向输导能力和输导距离则介于北段和南段之间。这种差

异输导特征造成了斜坡带从北到南侧向输导能力依次增强。莺东斜坡带的差异输导特征对于其天然气成藏及勘探具有重要的控制作用和启示意义:北段以一号断层下降盘近源构造圈闭和岩性圈闭为有利的天然气聚集部位;中段则以上盘、下盘构造圈闭和岩性圈闭兼顾,而南段则以下降盘远离一号断层的构造和地层岩性圈闭为有利的勘探目标。

4 结论

(1) 莺歌海盆地伸展—转换型盆地独特的地质条件决定了古近系天然气具有明显的差异输导特征,中央凹陷带与莺东斜坡带输导体系在构成要素及其组合的差异及由此而产生的输导特征及性能差异明显。

(2) 中央凹陷带为泥—流体树型底辟输导系统,深部天然气沿底辟断裂垂向远距离运移到底辟顶部及其周缘的砂体中成藏。莺东斜坡带分段性明显,为砂体—不整合和断层组成的复合输导系统,其北段、中段、南段由于一号断裂的活动性差异其输导系统特征和输导性能具有明显差异性。

(3) 差异输导特征对天然气运聚成藏具有明显的控制作用,中央凹陷带天然气具有环底辟优势聚集分布的特征,莺东斜坡带天然气运聚则具有多样性,天然气在各段聚集差异性明显。

(4) 差异输导特征及其对天然气运聚成藏的控制作用,中深层环泥—流体底辟附近的岩性油气藏是中央凹陷带中深层天然气勘探的有利接替方向,中深层邻近深部烃源岩,天然气经垂向和侧向近距离运移就可成藏。莺东斜坡带则在北段、中段、南段油气成藏差异明显,北段以一号断层下降盘近源构造圈闭和岩性圈闭为有利的天然气聚集部位;中段则以上盘、下盘构造圈闭和岩性圈闭兼顾,而南段则以下降盘远离一号断层的构造和地层岩性圈闭为有利的勘探目标。

参考文献(References):

- [1] Gong Zaisheng, Li Sitian. The Oil and Gas Accumulation and the Margin Basin in South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997. [龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地与油气聚集 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.]
- [2] Xie Xinong, Li Sitian, Hu Xiangyun, *et al.* The conducting system on thermal fluid and forming mechanism in Yinggehai basin [J]. Science in China; Series D, 1999, 29(3): 147-255. [解习农, 李思田, 胡祥云, 等. 莺歌海盆地底辟带热流体输导系统及其成因机制 [J]. 中国科学: D 辑, 1999, 29(3): 147-255.]
- [3] Yin Xiulan, Li Sitian, Yang Jihai, *et al.* Fault system and its control over gas accumulation in DF1-1 diapir, Yinggehai basin [J]. Earth Science; Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(4): 391-394. [殷秀兰, 李思田, 杨计海, 等. 莺歌海盆地 DF1-1 底辟断裂系统及其对天然气成藏的控制 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 27(4): 391-394.]
- [4] Hao Fang, Dong Weiliang, Zou Huayao, *et al.* Over pressure fluid flow and rapid accumulation of natural gas in Yinggehai basin [J]. Acta Petroleum Sinica, 2003, 24(6): 7-12. [郝芳, 董伟良, 邹华耀, 等. 莺歌海盆地汇聚型超压流体流动及天然气晚期快速成藏 [J]. 石油学报, 2003, 24(6): 7-12.]
- [5] Hao Fang, Li Sitian, Gong Zaisheng, *et al.* The mechanism of diaper and fluid injection [J]. Science in China; Series D, 2001, 31(6): 471-476. [郝芳, 李思田, 龚再升, 等. 莺歌海盆地底辟发育机理与流体幕式充注 [J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31(6): 471-476.]
- [6] Zhu Guanghui. Gas accumulation mechanism and exploration potential in Yinggehai basin [J]. China Offshore Oil and Gas; Geology, 2004, 16(3): 145-151. [朱光辉. 莺歌海盆地天然气成藏动力学机制及勘探前景展望 [J]. 中国海上油气: 地质, 2004, 16(3): 145-151.]
- [7] Huang Baojia, Li Xushen, Xie Ruiyong. Carrier systems and dominant migration direction of natural gas in the Yinggehai basin [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(4): 4-6. [黄保家, 李绪深, 谢瑞永. 莺歌海盆地输导系统及天然气主运移方向 [J]. 天然气工业, 2007, 27(4): 4-6.]
- [8] He Jiaxiong, Xia Bin, Zhang Shulin, *et al.* Subtle reservoir types and main hydrocarbon accumulation factors in Yingdong slope of Yinggehai basin [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2005, 25(2): 101-107. [何家雄, 夏斌, 张树林, 等. 莺歌海盆地莺东斜坡带隐蔽油气藏类型及成藏主控因素 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2): 101-107.]
- [9] He Jiaxiong, Zan Lisheng, Chen Longcao, *et al.* Characteristics of mud-mound evolution and oil potential in Yinggehai basin [J]. Oil & Gas Geology, 1990, 11(4): 436-445. [何家雄, 曾立声, 陈龙操, 等. 莺歌海盆地泥丘发育特征与油气远景 [J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(4): 436-445.]
- [10] He Jiaxiong, Liu Quanwen, Liu Baoming, *et al.* Analysis of the characters of forming natural gas reservoirs basing on two deep drilling wells in the middle-deep beds in Yinggehai basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(3): 230-237. [何家雄, 刘全稳, 刘宝明, 等. 从两口深井看莺歌海盆地中深层天然气成藏特征 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(3): 230-237.]
- [11] Li Chunquan, Zhang Jian. The fluid diaper structure and significance of petroleum geology in Yinggehai basin [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2000, 23(3): 35-39. [李纯泉, 张健. 莺歌海盆地流体底辟构造及其成藏贡献 [J]. 天然气勘探与开发, 2000, 23(3): 35-39.]
- [12] Hu Wangshui, Xue Tianqing. Genetic shapes of diapiric structure [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1997, 19(4): 1-7. [胡望水, 薛天清. 底辟构造成因类型 [J]. 江汉石油学院学报, 1997, 19(4): 1-7.]
- [13] Zan Lisheng. Relation between the type of mud dome shape and reservoir formation of Yinggehai basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(5): 8-11. [曾立声. 莺歌

- 海盆地泥丘类型与油气藏形成的关系[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(5): 8-11.]
- [14] Huang Chunju, Chen Kaiyuan, Li Sitian. Periodicities of diapiric rise in the Yinggehai basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 44-46. [黄春菊, 陈开原, 李思田. 莺歌海盆地泥底辟活动期次分析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 44-46.]
- [15] Zhuo Qingong, Ning Fangxing, Rong Na. Shapes of passage systems and reservoir-controlling mechanisms in rift basin[J]. Geology Review, 2005, 51(4): 416-421. [卓勤功, 宁方兴, 荣娜. 断陷盆地输导体系类型及控藏机制[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 416-421.]
- [16] Jin Bo, Liu Zhen, Li Xushen. The tree shape conducting systems and the relevant tree shape migration model on mud-fluid diaper in Yinggehai basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(4): 810-825. [金博, 刘震, 李绪深. 莺歌海盆地泥—流体底辟树型输导系统及运移模式[J]. 地质科学, 2008, 43(4): 810-825.]
- [17] Zhang Shulin, Xia Bin, Tong Chuanxin. The mid-depth gas reservoir geological characters and hydrocarbon accumulation mode of DF1-1 structure in Yinggehai basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2004, 11(6): 15-18. [张树林, 夏斌, 童传新. DF1-1 构造中深层天然气藏地质特征及成藏模式[J]. 断块油气田, 2004, 11(6): 15-18.]
- [18] Zhang Shulin, Huang Yaoqin, Huang Xiongwei. Fluid diapir structure and its geneses[J]. Geological Science and Technology Information, 1999, 18(2): 19-22. [张树林, 黄耀琴, 黄雄伟. 流体底辟构造及其成因探讨[J]. 地质科技情报, 1999, 18(2): 19-22.]
- [19] Zhang Shulin, Tian Shicheng, Zhu Fangbing, *et al.* Genesis of diapir structures in Yinggehai basin and its significances to petroleum geology[J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1996, 10(1): 1-6. [张树林, 田世澄, 朱芳冰, 等. 莺歌海盆地底辟构造的成因及石油地质意义[J]. 中国海上油气: 地质, 1996, 10(1): 1-6.]
- [20] Jin Bo, Liu Zhen, Li Xushen, *et al.* Relationship between accumulation of natural gas and geotemperature-geopressure system in Yinggehai basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 49-55. [金博, 刘震, 李绪深, 等. 莺歌海盆地地温—地压系统特征及其对天然气成藏的意义[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 49-55.]
- [21] Jin Bo, Liu Zhen, Li Xushen. The study on transfers of natural gas of Yingdong slope[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(5): 498-502. [金博, 刘震, 李绪深. 莺东斜坡带上第三系天然气输导系统研究[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(5): 498-502.]
- [22] Jin Bo, Liu Zhen, Li Xushen. The dominant principle on natural gas accumulation of mud-fluid diapirs and significance on exploration in Yinggehai basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(2): 197-203. [金博, 刘震, 李绪深. 莺歌海盆地天然气底辟优势聚集规律及勘探意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(2): 197-203.]

Different Transformation Behaviors of Natural Gas and Significance for Gas Accumulation in Yinggehai Basin

JIN Bo¹, ZHANG Jin-chuang¹, LIU Zhen², LI Xu-shen³

(1. The Resource Institute, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation in Petroleum University, Ministry of Education, Beijing 102249, China; 3. CNOOC Ltd., Zhanjiang 524057, China)

Abstract: Yinggehai basin is a Cenozoic extended and transformational sedimentary basin. This unique geological condition causes the different behaviors of gas migration and accumulation. These different behaviors are displayed in the basinal scale, zone scale and transformation scale. The tree-shape transformation system in the central diapirs belt made the deep natural gas migrate along the mud-fluid diaper faults and accumulate the surrounding shallow and moderate deep sandstone reservoir at the top of diapirs or its surrounding. The transformation pathway is the vertical conductive fault and fissure. Yingdong slope as a complex transformation system is composed of sand body, unconformity and faults. The transformation system in the Yingdong slope is characterized as segmentation distribution associated with the gradual increase of conductive performance among northern, middle and southern sections in turns. These different transformation behaviors in the extended and transformational sedimentary basin obviously control the natural gas migration and accumulation. The tree-shape on mud-fluid transformation system is favorable of natural gas accumulation around the diapirs. The composite transformation system caused the natural gas migration and accumulation through the different pathways in the Yingdong slope, and the behaviors of natural gas migration and accumulation at each segment in the Yingdong slope were different.

Key words: Extended and transformational basin; Natural gas; Yinggehai basin; Transformation system; Migration and accumulation.