

DOI:10.3724/SP.J.1140.2011.02095

南海北部边缘盆地非烃气分布及形成的地质条件与控制因素

何家雄¹, 马文宏², 陈胜红³, 龚晓峰¹

(1 中国科学院 边缘海地质重点实验室, 广州 510640; 2 中海石油有限公司 湛江分公司, 湛江 524057;

3 中海石油有限公司 深圳分公司研究院, 广州 510240)

摘要:南海北部边缘盆地迄今勘探发现的非烃气主要为不同成因类型的 CO_2 和 N_2 , 这些非烃气的形成主要取决于具体的地质条件与成藏控制因素。壳源型及壳幔混合型 CO_2 和壳源型有机成因及壳源型有机—无机混合成因 N_2 主要富集于西北边缘走滑伸展型的莺歌海盆地中央泥底辟带浅层, 受控于海相含钙砂泥岩与泥底辟热流体上侵活动的物理化学综合作用; 而火山幔源型 CO_2 则主要展布于东北边缘断陷裂谷型的琼东南盆地东部及珠江口盆地凹陷与凸起边缘的深大断裂带附近, 其火山幔源岩浆脱排气活动与深大断裂导气输送作用的配置, 控制了这种类型 CO_2 的运聚乃至富集成藏过程。

关键词:盆地结构类型; 非烃气分布; 形成地质条件; 主要控制因素; 南海北部

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2011)02-0095-10

1 区域地质背景及油气地质概况

南海北部边缘盆地处于减薄的陆壳及洋陆过渡型地壳靠近洋壳一侧特殊的区域构造位置, 其区域地质背景复杂, 油气地质现象丰富多彩。由于不同类型及性质的盆地处于不同的区域构造位置, 盆地结构类型及发育演化特征差异颇大, 其油气运聚成藏条件与油气及二氧化碳等非烃气分布富集规律差异非常明显^[1-3]; 处在西北部走滑伸展边缘的莺歌海盆地属非常年轻的走滑伸展型盆地(图 1), 其虽然处于减薄型陆壳的区域构造位置, 但由于岩石圈地壳非常薄, 沉积基底以下的地壳厚度仅 5 km, 比邻区处在洋陆过渡型地壳位置的琼东南盆地地壳厚度(8 km)和珠江口盆地的地壳厚度(7 km)薄。因此, 其上覆沉积盆地的沉积充填规模及发育演化特点与大地热流及地温场特征等, 均与其他区域存在明显的差异。莺歌海盆地新近系及第四系海相坳陷沉积的沉降及沉积速率非常高(0.5~1.4 mm/a), 沉积充填规模逾万米, 这在南海北部边缘盆地乃至整个

南海地区亦是罕见的; 该区平均大地热流高达 84.1 mW/m² 以上以及 5.7 °C/100 m 的最高地温梯度, 亦是南海北部边缘盆地中最高的, 这就决定了该区盆地形成及发育演化与油气及二氧化碳等非烃气运聚成藏条件和分布富集规律等, 均明显不同于相邻的断陷裂谷盆地而具有其特殊性。

处于南海北部边缘北部裂陷带的北部湾盆地、琼东南盆地及珠江口盆地则属典型拉张裂陷型(断陷裂谷型)盆地(图 1 中北部裂陷带陆架浅水盆地和南部裂陷带陆坡深水盆地), 具有与中国东部中新代陆相断陷盆地相似的典型断拗双层盆地结构特征, 普遍充填了古近系陆相断陷沉积和新近系海相坳陷沉积, 且断陷裂谷期的陆相充填沉积规模及厚度, 一般大于海相坳陷沉积, 故其油气生、运聚成藏乃至分布富集规律, 均与古近系陆相断陷沉积发育展布规模及运聚输导系统的沟通和新近系海相坳陷沉积的储层分布及圈闭等成藏地质条件密切相关^[4-7]。因此, 断陷裂谷期形成的古近系中深湖相及河湖沼泽相、滨海沼泽相煤系烃源岩, 如北部湾盆地始新统流沙港组中深湖相烃源岩、琼东南盆地渐新统崖城组及陵水组滨海沼泽相煤系烃源岩、珠江口盆地始新统文昌组中深湖相烃源岩和下渐新统恩平组河沼相煤系烃源岩和部分中深湖相烃源岩等, 与新近纪海相坳陷期发育的浅水三角洲砂岩、河口沙坝及各种深水低位扇体等储集层以及新构造运动晚期形成的各种类型的局部构造和非构造圈闭等, 共

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB41170501, 2009CB219501)

作者简介: 何家雄(1956—), 男, 研究员, 博士, 长期从事油气勘探与油气地质综合研究, E-mail: hejx@gig.ac.cn

收稿日期: 2010-09-10; 改回日期: 2010-10-21. 周立君编辑

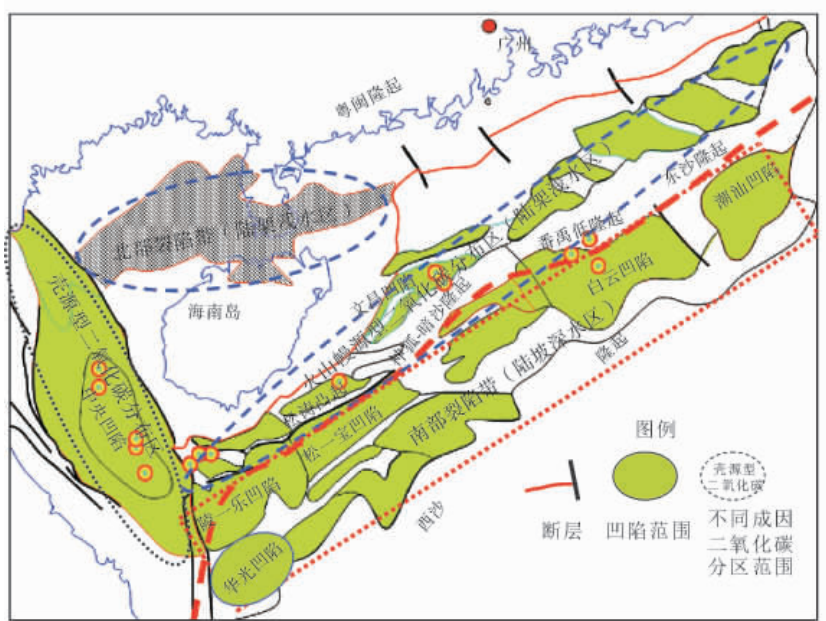


图 2 南海北部大陆边缘盆地非生物壳源型与火山幔源型二氧化碳分布规律

Fig. 2 Distribution of non-biological crust type and mantle volcanic type CO_2 in North Marginal Basins of South China Sea

非烃气分布及产出,如石油伴生气和以二氧化碳气藏及高含二氧化碳油气藏形式分布产出的非烃气,这些二氧化碳气藏及高含二氧化碳油气藏中二氧化碳均属火山幔源型成因,且主要分布富集于能与深大断裂运聚系统沟通的隆起带及低凸起上或凹陷边缘深大断裂附近。由图 2 可以看出,珠江口盆地及琼东南盆地东部主要分布富集火山幔源型二氧化碳气藏及高含二氧化碳油气藏。其典型的实例如珠江口盆地东部的惠州 18-1 和惠州 22-1 火山幔源型二氧化碳气藏,即分别分布于与深大断裂运聚系统沟通的惠陆低凸起和东沙隆起北侧深大断裂附近;而该盆地中南部的番禺 28-2 火山幔源型二氧化碳气藏则处于番禺低隆起南侧深大断裂带附近。再如琼东南盆地东部的宝岛 15-3 和宝岛 19-2 火山幔源型二氧化碳气藏及高含二氧化碳油气藏,亦主要富集于琼东南盆地东部与 II 深大断裂带连通的松涛低凸起及周缘区。很显然,这种火山幔源型二氧化碳运聚分布特征乃至富集成藏,均与该区火山幔源岩浆脱排气活动之气源供给系统和异常发育的深大断裂体系之导气输送作用等主控因素的相互配置存在极为密切的成因联系和时空分布上的耦合关系。

3 非烃气形成的地质条件与控制因素

南海北部边缘盆地处于欧亚、印度—澳大利亚

及太平洋三大板块相互作用的特殊构造位置,其区域地质背景及地球动力学条件复杂,油气地质现象丰富多彩,不同大陆边缘区域地质背景及构造演化格局等差异明显,油气成藏地质条件差别颇大,进而控制了油气及二氧化碳等非烃气分布富集规律与展布特点。因此,南海北部边缘新生代盆地性质及结构类型、地幔岩石圈伸展减薄变化特点及沉积基底以下的地壳厚度、前古近系基底深度及莫霍面埋深、上覆沉积充填盖层规模、深大断裂及火山活动是控制沉积盆地形成与发育展布和演化特征的主要地质条件^[20-21],同时,亦是控制油气及二氧化碳等非烃气形成与分布的重要条件与地质基础。由于不同盆地所处大地构造位置及地球动力学条件、区域地质背景的差异,盆地性质及深部结构类型、发育演化特点及沉积充填特征和展布规模等均明显不同,故导致不同类型盆地及区带二氧化碳等非烃气运聚富集规律及成藏控制因素差异颇大。以下将针对该区不同地质属性的盆地类型及其油气地质特点,选择西北边缘走滑伸展型的莺歌海盆地和东北部边缘断陷裂谷型的珠江口盆地为其典型代表,重点阐述和剖析其控制二氧化碳等非烃气形成与分布的基本地质条件、油气地质特点与主要控制因素。

3.1 莺歌海盆地 CO_2 等非烃气形成的地质条件与控制因素

西北部走滑伸展边缘的莺歌海盆地,自 20 世纪

50 年代末开展油气苗调查及浅井钻探和浅海地震勘探以来,迄今已在盆地中部的泥底辟带浅层和盆地东北部边缘莺东斜坡带某些局部地区获得了天然气勘探的突破,先后发现了东方 1-1、乐东 15-1 及乐东 22-1 等 3 个浅层气田,以及东方 29-1、乐东 8-1、乐东 14-1、乐东 20-1、乐东 21-1、乐东 28-1、海口 29-1 和岭头 1-1 等 8 个含气构造(圈闭),探明天然气地质储量 $1\,600\times 10^8\text{ m}^3$,控制+预测天然气地质储量超过 $3\,000\times 10^8\text{ m}^3$ 以上,预测天然气资源量超过万亿立方米。须强调指出的是,这些气田及含气构造中,二氧化碳气藏及高含二氧化碳气藏占有相当大的比例,二氧化碳地质储量亦达到了 $3\,000\times 10^8\text{ m}^3$,其资源量则远远超过了万亿立方米以上。因此,莺歌海盆地泥底辟带不仅烃类气资源丰富,而且二氧化碳等非烃气则具有更大的资源规模及潜力^[22-23]。目前对于该区烃类气形成条件及分布富集规律的研究相对较多,但对于二氧化碳等非烃气形成条件、成藏机理及主控因素的研究,尚不甚全面系统,亦不够深入,以下拟重点剖析该区二氧化碳等非烃气形成的基本地质条件及主要油气地质特点,探讨其分布规律及主要控制因素。

(1)新近系巨厚海相含钙砂泥岩

处在南海西北部走滑伸展边缘大地构造位置的莺歌海盆地,在新近纪及第四纪海相拗陷沉积时期,其沉降沉积速率非常快(1.4 mm/a),沉积充填规模巨大,该时期沉积充填了厚度超过万米以上、展布规模超过两万平方千米且总体上偏细的新近系及第四系海相含钙砂泥岩。这种短时快速沉降沉积的充填背景,导致沉积物压实与流体排出极不均衡而出现

欠压实产生异常高温超压潜能,进而促使泥岩塑性流动和底辟刺穿而形成泥底辟及产生热流体上侵活动,形成了异常高的大地热流背景及地温场。由图 3 所示可以看出,莺歌海盆地平均大地热流值高达 84.1 mW/m^2 ,最大则高达 95 mW/m^2 以上,明显高于邻区处于北部拉张裂隙边缘的琼东南盆地和珠江口盆地,这在南海北部边缘诸盆地中亦是最高的^[24]。因此,这种规模巨大的新近系及第四系海相含钙砂泥岩与该区高大地热流场所提供热演化动力条件之有效配置,则奠定了该区热分解及热变质壳源型岩石化学成因二氧化碳形成的物质基础和基本的热力演化条件,进而导致了大量非生物壳源型二氧化碳等非烃气的形成,构成了该区颇具规模和潜力的二氧化碳等非烃气的气源。

(2)泥底辟热流体上侵活动

莺歌海盆地中新世晚期强烈的泥底辟热流体上侵活动,是形成该区烃类天然气及二氧化碳等非烃气乃至运聚成藏与分布富集的主导因素和主控条件。研究表明^[25-26],泥底辟热流体上侵活动不仅提供了促使年轻的中新统烃源岩快速成熟生烃和非生物壳源型二氧化碳等非烃气形成的热演化动力条件和成藏动力学条件,而且更重要的是形成了油气及二氧化碳等非烃气纵向运聚通道及其疏导系统,并携带大量烃类天然气及二氧化碳等非烃气向浅层运聚,在具备储层及圈闭保存条件的浅层和中深层有利聚集场所富集成藏。总之,该区非生物壳源型二氧化碳等非烃气气源构成及形成分布,主要是由于上侵活动的泥底辟热流体与海相含钙砂泥岩之物理化学综合作用之结果,而泥底辟热流体上侵活动则

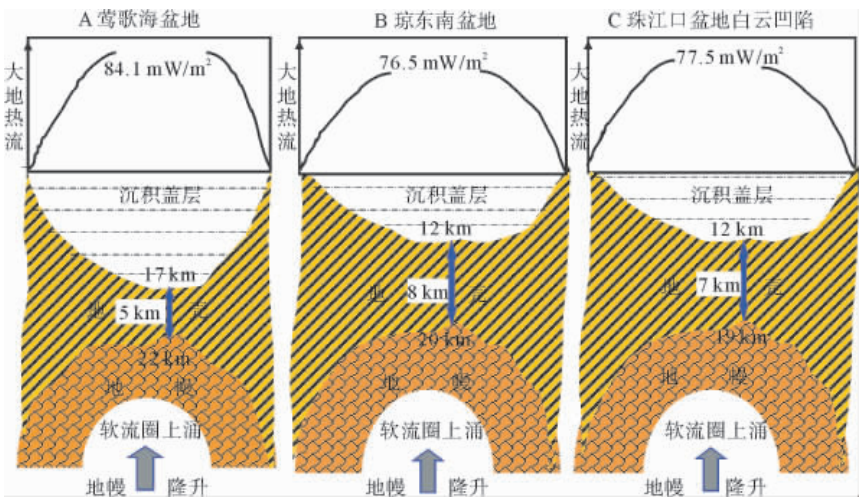


图 3 南海北部大陆边缘盆地深部圈层结构特征与大地热流分布特点

Fig. 3 Deep structure and heat flow distribution in North Marginal Basins of South China Sea

是壳源型二氧化碳等非烃气形成的主控因素和必要条件。

莺歌海盆地天然气勘探及地质研究表明,该区浅层天然气无论是富烃天然气还是富 CO_2 等非烃气,其生运聚成藏乃至分布富集,均与泥底辟发育演化及热流体上侵活动、底辟断裂发育展布、底辟伴生构造圈闭的形成等密切相关,而富 CO_2 等非烃气的分布富集,则与泥底辟及热流体的上侵活动更为密切,更具直接的成因联系^[24],亦即泥底辟热流体上侵活动是控制和制约该区 CO_2 分布富集的主导因素,而其热流体上侵活动和影响的范围,热流体侵入的区块及层段, CO_2 必然富集,反之亦然。莺歌海盆地泥底辟带及邻区不同构造及区块黏土矿物演化与 CO_2 分布富集特征表明(图 4),盆地不同区带及邻区,中新统一上新统砂泥岩中黏土矿物演化与 CO_2 分布富集特征差异明显,莺歌海泥底辟带上绝大部分局部构造及区块,无论是强能量底辟还是弱能量底辟所伴生的构造,不管其底辟上拱侵入程度如何或刺穿幅度大小,只要存在热流体上侵活动,其运聚通道畅通,则处在热流体上侵活动范围内的区块及层段, CO_2 必然富集成藏,且 CO_2 富集的层段及区块,砂泥岩中黏土矿物演化程度急剧增强增高,伊蒙混层比 $I/S(\%)$ 由其正常区的 $80\% \sim 50\%$ 剧降为 $20\% \sim 8\%$,成岩演化程度则达到了晚成岩阶段的 B 期,表明其强大的高温热流体上侵作用,不仅携带了深部部分烃类气与二氧化碳非烃气运聚到浅层,而

且其更重要的是极大地促进了浅层局部气源岩超前成熟或高熟,并促使砂泥岩中碳酸盐物质发生岩石化学反应等一系列物理化学综合作用,进而形成大量非烃气和烃类气并与深部气源混合一起运聚于附近具构造圈闭条件的浅层储集层段而富集成藏^[25]。无热流体侵入活动的非泥底辟区带及邻区或相邻盆地,即莺歌海盆地东北部斜坡带岭头 1-1 区、盆地东南部的乐东 30-1 井区以及盆地西北部临高低隆起区和邻区琼东南盆地崖南凹陷崖 13-1 区等,由于无热流体上侵活动,黏土矿物演化处在正常演化阶段,黏土矿物伊蒙混层比 $I/S(\%)$ 在 3 000 m 以上,均为 $90\% \sim 50\%$,处于早成岩阶段 A 期或 B 期;储层岩石矿物组成无表征晚成岩阶段 B 期的含铁碳酸盐矿物;同时包裹体均一温度与现今储层温度相当或基本一致,无表征热流体强烈活动的异常高温包裹体;表征有机质成熟演化的镜质体反射率达到成熟门限($R_o=0.6\%$)的深度亦未提前,属正常热演化特征,且均在 3 000 m 左右方进入成熟门限。以上这些无热流体强烈活动的正常区带,均以富集烃类气为主,未见高 CO_2 等非烃气产出,典型的实例是琼东南盆地崖 13-1 井区,莺歌海盆地东北部斜坡带岭头 1-1 井区和临高井区等,由于无热流体上侵活动,其主要储集层段均富含 CH_4 为主的烃类气。上述事实及证据均雄辩地表明,泥底辟及热流体上侵活动是形成与控制二氧化碳等非烃气及烃类气运聚富集成藏的主导因素和主控条件。

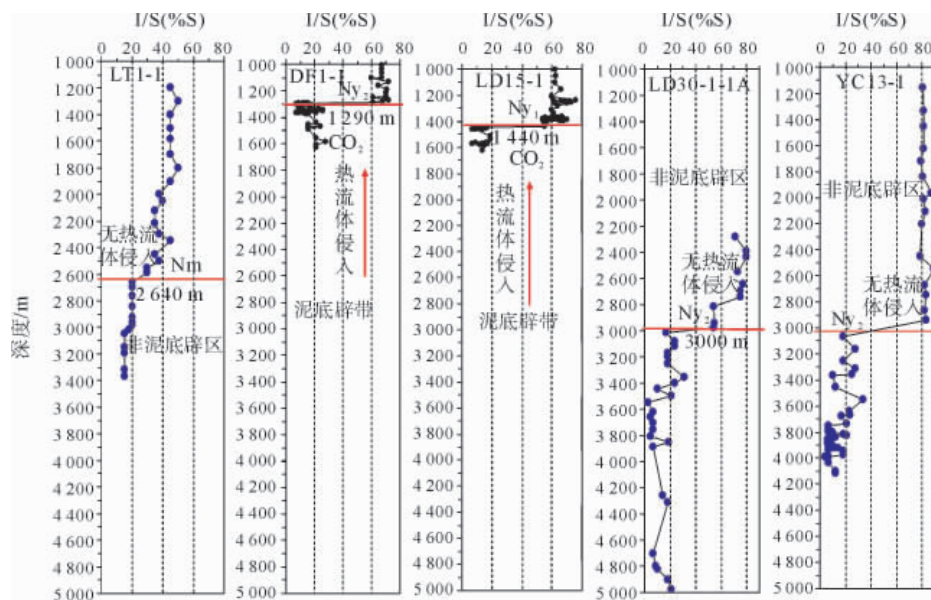


图 4 莺歌海盆地泥底辟带与邻区非泥底辟带黏土矿物伊蒙混层比异常演化特征剖面

Fig. 4 Profiles showing the abnormal evolution of illite/montmorillonite in the diapir zone of Yinggehai basin and adjacent areas

(3) 泥底辟通道及伴生断裂系统

莺歌海盆地不论强能量泥底辟还是弱能量泥底辟,不管其刺穿上覆地层与否,在其发育演化过程中所形成伴生构造多发育有断裂或大量裂隙,而当其与泥底辟通道有机配置(连通),则可为二氧化碳等非烃气及其他流体运聚成藏提供较理想的运移通道系统,很显然,该运聚系统是深部气源及其流体向浅层垂向运聚的“高速公路”,故起到了连接输送深部气源与运聚富集成藏的桥梁和纽带作用。因此,泥底辟通道及断裂、裂隙通道系统的相互配合及其展布构成的运聚网络,是控制和制约二氧化碳等非烃气和烃类气运聚及富集成藏的重要条件。莺歌海盆地泥底辟带上的东方 1-1、东方 29-1、乐东 8-1、乐东 15-1 及乐东 22-1 等浅层构造气藏(图 5)即是其典型实例。由于这些泥底辟伴生构造断裂或裂隙均较发育,故其破碎的小断块、处于断层或底辟通道附近的断块及局部构造的部分区块,由于其运聚通道畅通,二氧化碳等非烃气富集,而相对远离断层或底辟通道的大断块及局部构造,则富含 CH_4 为主的烃类气藏。总之,泥底辟通道及断裂、裂隙通道系统的发育及展布,控制了 CO_2 等非烃气运聚乃至富集成藏,进而决定了该区 CO_2 等非烃气多具有短距离就近富

集成藏的特点,且往往多在泥底辟及断层通道附近运聚成藏,而烃类气则运移距离相对较远,一般在距离气源运聚通道系统相对较远区块聚集成藏。

(4) 泥底辟伴生构造圈闭

中新世晚期以后的新构造运动,控制了莺歌海盆地最终的构造格局及一系列泥底辟伴生构造的形成,同时岩石圈地壳减薄与深大断裂走滑伸展活动及快速沉降沉积的区域地质背景的配置,则导致该区沉积充填巨厚、泥页岩普遍欠压实而产生大量的泥底辟。异常发育的泥底辟及伴生热流体的上侵活动,不仅促进和加快了年轻的海相烃源岩成熟生烃成气和海相含钙砂泥岩发生岩石化学作用形成大量 CO_2 等非烃气。同时,在泥底辟发育演化过程中,还形成了一系列泥底辟伴生构造圈闭,如泥底辟上拱背斜、半背斜以及被泥底辟刺穿而形成断背斜等,进而构成了该区烃类气和二氧化碳天然气运聚富集的重要圈闭。由于这些泥底辟伴生构造圈闭,均处在底辟通道、断裂及裂隙等所构成的有效运聚系统范围,具有近水楼台之优越的运聚成藏条件,故其是该区壳源型二氧化碳运聚及富集成藏的重要场所。目前莺歌海盆地勘探发现的浅层气藏(二氧化碳气藏及高含二氧化碳气藏和烃类气藏),多属泥底辟伴生

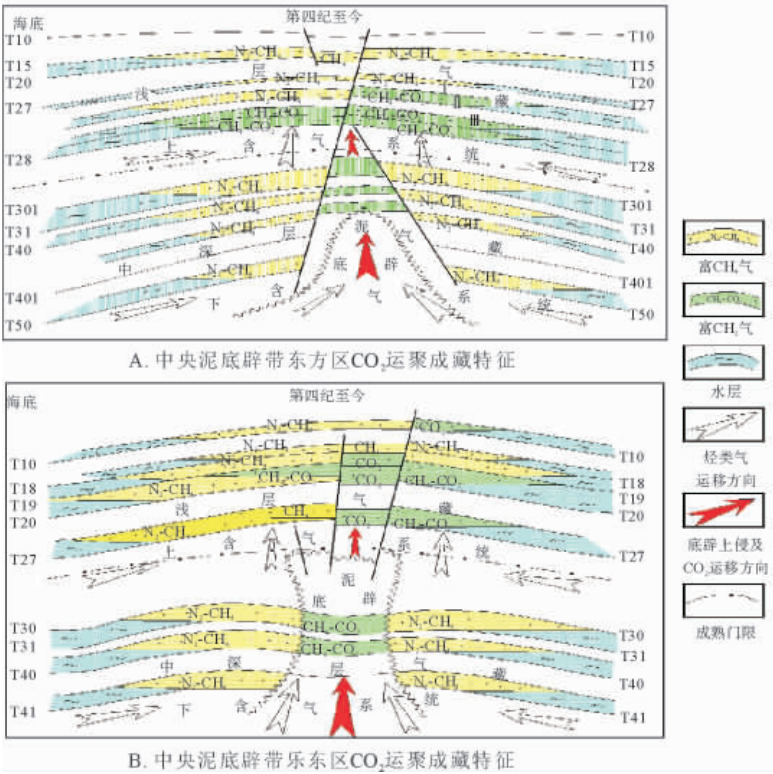


图 5 莺歌海盆地泥底辟气源系统天然气及 CO_2 运聚成藏机制

Fig. 5 The mechanism of migration and accumulation of natural gas and CO_2 related to the gas supply system of diapir in the Yingge Sea Basin

构造圈闭类型的气藏,即为其典型实例。

3.2 珠江口盆地 CO₂形成的地质条件与控制因素

处在南海东北部拉张裂陷边缘的珠江口盆地,具有准被动大陆边缘盆地的地质属性,其构造地质背景与地球动力学条件等均与处于西北部走滑伸展边缘的莺歌海盆地明显不同,故导致其油气及二氧化碳形成的基本地质条件亦存在颇大的差异。珠江口盆地中生代以来火山岩浆活动频繁,钻井资料和大量地震资料均证实该区发育有大量火成岩和存在火山岩浆活动的痕迹。根据李平鲁等研究^[27],依据形成时间及空间、岩石学、地球化学特征及同位素资料等,可以综合判识与确定珠江口盆地中生代以来,至少发育有 5 期火山岩浆活动:第 1 期活动相当于该区第一次构造运动即“晚白垩世—古新世的神狐运动”,主要在东沙隆起北部和海南隆起上形成了中酸性和基性火山熔岩,如安山岩、流纹质岩屑晶屑熔岩、凝灰岩等;第 2 期活动相当于“始新世的珠琼运动 I、II 幕”,在东沙隆起北部及惠州凹陷南部以及开平凹陷形成了中酸性、基性火山熔岩和火山碎屑岩,如玄武岩、安山质角砾岩、英安质岩屑、晶屑凝灰岩和钠质粗面岩等;第 3 期活动相当于“渐新世—中新世的南海运动”,在东沙隆起、西江凹陷、开平凹陷等处形成了大量的中酸性及基性火山熔岩和火山碎屑岩,火山岩类型主要为玄武岩、蚀变碱性粗玄岩、玻屑晶屑凝灰岩、熔结角砾岩、蚀变玄武岩、凝灰岩等;第 4 期活动相当于“上新世—第四纪的东沙运动”,在珠江口盆地西部、神狐暗沙隆起东部、恩平凹陷、番禺低隆起上形成了大量基性火山岩;第 5 期活动与近代构造运动非常接近,在珠江口盆地及琼东

南盆地南部深水区的的海底火山或火山口等复杂的崎岖海底地貌。总之,由于该区火山岩浆活动喷发时间较长、次数多、时间上跨度大,加之其他构造地质作用的影响,因此导致该区大地热流值偏高。据张健等^[28]和米立军等^[29]研究,南海北部边缘盆地平均大地热流值为 74.9 mW/m²,其中珠江口盆地西部大地热流值为 82.0 mW/m²;珠江口盆地东部陆架浅水区热流为 67.0 mW/m²;珠江口盆地东部陆坡深水区大地热流值为 77.5 mW/m²;而某些深大断裂发育及火山幔源岩浆活动频繁的局部地区的大地热流值则高达 92 mW/m²,表明该区属一个新生代时期的沉积热盆。很显然,在这种高大地热流的地质背景下,尤其是在火山岩浆活动频繁、断裂发育的区域构造地质动力学条件下,地壳深部幔源岩浆中富含超临界态高密度的二氧化碳,必然会沿地壳薄弱带(张性断裂带)上涌,且随着流体压力和温度的剧降而从幔源岩浆中大量脱排出来,在具备储集保存条件的有利圈闭场所运移聚集,形成火山幔源型二氧化碳气藏和高含或含火山幔源型二氧化碳的油气藏。

珠江口盆地火山幔源型二氧化碳形成的基本地质条件及其控制因素,主要取决于其气源供给(火山幔源岩浆脱排气活动)及运聚输导通道(深大断裂)与储盖组合及圈闭保存条件的有效配置^[14-16,19]。该区迄今勘探发现的惠州 18-1、惠州 22-1、文昌 15-1 及番禺 28-2 等二氧化碳气藏,以及陆丰 13-1、陆丰 13-2、文昌 14-3 及文昌 19-1 等高含二氧化碳和含二氧化碳的油气藏,其火山幔源型二氧化碳的气源供给,均与其地壳深部火山幔源岩浆脱排气活动的供

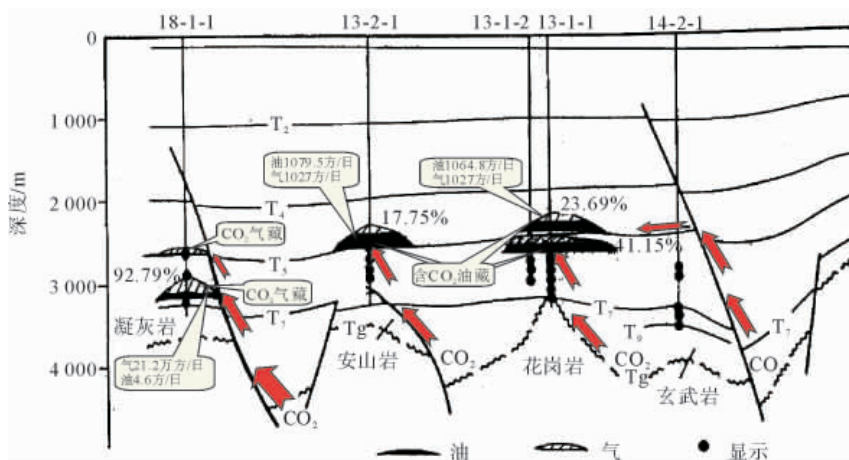


图 6 珠江口盆地惠州 18-1 井二氧化碳气藏及邻区含二氧化碳油气藏运聚特征(据向凤典,1994 修改)

Fig. 6 Origin of the Huizhou 18-1 CO₂ fields in Zhujiangkou basin and the CO₂-bearing oil/gas reservoir in adjacent areas

气、深大断裂的导气输送作用以及圈闭聚集条件的良好配置等密切相关(图6)。很显然,该区这种火山幔源型二氧化碳形成的地质条件及控制因素与莺歌海盆地泥底辟热流体控制形成的非生物壳源型二氧化碳存在本质的区别和巨大的差异。同时,亦表明不同区域地质背景及地球动力学条件下的沉积盆地,其油气地质特点及二氧化碳形成的基本地质条件均明显不同,二氧化碳等非烃气运聚及富集成藏的具体地质条件与主控因素则差异颇大。

4 结论

(1)南海北部边缘盆地非烃气丰富,其中 CO_2 气藏及高含 CO_2 油气藏,主要分布于西北部边缘走滑伸展型的莺歌海盆地和东北部边缘断陷裂谷型的琼东南盆地东部及珠江口盆地。这些不同区域、不同成因类型 CO_2 的形成主要取决于具体的地质条件与成藏控制因素;富氮天然气($\text{N}_2 > 15\%$)亦主要富集于莺歌海盆地中央泥底辟带浅层,其分布富集特征及控制因素与该区 CO_2 分布规律基本类似。

(2)储量规模及资源潜力大的非生物壳源型 CO_2 ,主要富集于莺歌海盆地中央泥底辟带浅层,其气源来自泥底辟热流体上侵活动与巨厚海相砂泥岩发生物理化学综合作用之结果;火山幔源型 CO_2 ,主要展布于琼东南盆地东部Ⅱ断裂带周缘区和珠江口盆地凹陷与凸起边缘的深大断裂带附近,且受控于火山幔源岩浆脱排气活动与深大断裂导气输送作用的相互配置。

参考文献(References)

- [1] 何家雄,施小斌,阎贫,等.南海北部边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J].新疆石油地质,2007,28(2):129-135.[HE Jiaxiong, SHI Xiaobin, YAN Pin, et al. The petroleum geology characteristic and exploration in north marginal basins of South China Sea [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(2): 129-135.]
- [2] 何家雄,陈胜红,刘海龄,等.南海北部边缘盆地区域地质与油气运聚成藏规律及特点[J].西南石油大学学报,2008,30(5):91-98.[HE Jiaxiong, CHEN Shenghong, LIU Hailing, et al. The regional geological and regular and characteristics of hydrocarbon migration and accumulation in north marginal basins of South China Sea [J]. Southwest Petroleum University, 2008, 30(5): 91-98.]
- [3] 何家雄,刘海龄,姚永坚,等.南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M].北京:石油工业出版社,2008.[HE Jiaxiong, LIU Hailing, YAO Yongjian, et al. The petroleum geology and resources prospects in north marginal basins of South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.]
- [4] 龚再升.中国近海大油气田[M].北京:石油工业出版社,1997.[GONG Zaisheng. The Oil and Gas Fields in China's Offshore [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.]
- [5] 龚再升,李思田.南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M].北京:科学出版社,1997.[GONG Zaisheng, LI Sitian. The Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation in North Marginal Basins of South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997.]
- [6] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J].石油与天然气地质,2004,25(2):133-138.[GONG Zaisheng. The new tectonic movement and oil and gas reservoirs in China's offshore oil and gas basin [J]. Oil and Gas Geology, 2004, 25(2): 133-138.]
- [7] 龚再升,李思田,等.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.[GONG Zaisheng, LI Sitian. The Dynamic of Oil and Gas Accumulation in North Marginal Basins of South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2004.]
- [8] 何家雄,钟启祥,陈伟煌,等.莺歌海盆地浅层天然气成因及气源探讨[J].天然气地球科学,1994,5(6):15-27.[HE Jiaxiong, ZHONG Qixiang, CHEN Weihuang, et al. The discussion of shallow origin and source of natural gas in Yingge Sea Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 1994, 5(6): 15-27.]
- [9] 何家雄,陈刚.莺歌海盆地 CO_2 成因及运聚特征的初步研究[J].石油勘探与开发,1995,22(6):8-15.[HE Jiaxiong, CHEN Gang. The preliminary study of CO_2 causes and characteristics of migration in the Yingge Sea Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(6): 8-15.]
- [10] 何家雄,陈伟煌,李明兴,等.莺—琼盆地天然气成因类型及气源剖析[J].中国海上油气,2000,14(6):398-405.[HE Jiaxiong, CHEN Weihuang, LI Mingxing, et al. The genetic type of natural gas and gas source analysis in Yinggehai and Qiongdongnan basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2000, 14(6): 398-405.]
- [11] 何家雄,李明兴.南海北部大陆架Y盆地天然气中 N_2 成因及气源剖析与探讨[J].天然气地球科学,2000,11(3):25-34.[HE Jiaxiong, LI Mingxing. The analysis and discussion of N_2 origin and gas source in the Y basin of South China Sea continental shelf [J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(3): 25-34.]
- [12] 何家雄,李明兴,陈胜红,等.莺歌海盆地泥底辟带中深层天然气勘探中的 CO_2 风险分析与预测[J].中国海上油气,2000,14(5):332-338.[HE Jiaxiong, LI Mingxing, CHEN Shenghong, et al. The risk analysis and prediction of CO_2 exploration in diapir of Yingge Sea Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2000, 14(5): 332-338.]
- [13] 何家雄,陈伟煌,李明兴,等.莺—琼盆地天然气中 CO_2 成因及气源综合判识[J].天然气工业,2001,21(3):15-21.[HE Jiaxiong, CHEN Weihuang, LI Mingxing, et al. The integrated consciousness of CO_2 origin gas source in Yinggehai and Qiongdongnan basin [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(3): 15-21.]

- [14] 何家雄,刘全稳.南海北部大陆架边缘盆地CO₂成因及运聚规律分析与预测[J].天然气地球科学,2004,15(1):1-8. [HE Jiaxiong, LIU Quanwen. The analysis and forecast of CO₂ cause and regular of migration and accumulation in North Marginal Basins of South China Sea[J]. Natural Gas Geoscience, 2004,15(1):1-8.]
- [15] 何家雄,夏斌,刘宝明,等.中国东部及近海陆架盆地CO₂成因及运聚规律与控制因素研究[J].石油勘探与开发,2005,32(4):42-49. [HE Jiaxiong, XIA Bin, LIU Baoming, et al. The research of CO₂ cause and regular of migration and accumulation and controlling factors in eastern China andand causes of migration and offshore shelf basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005,32(4):42-49.]
- [16] 何家雄,姚永坚,刘海龄,等.南海北部边缘盆地天然气成因类型及气源构成特点[J].中国地质,2008,35(5):997-1006. [HE Jiaxiong, YAO Yongjian, LIU Hailing, et al. The natural gas genetic types and characteristics of gas source composition in north marginal basins of South China Sea [J]. China Geology, 2008,35(5):997-1006.]
- [17] 戴金星,戴春森,宋岩,等.中国东部无机成因CO₂气藏及其特征[J].中国海上油气(地质),1994,8(4):215-222. [DAI Jinxing, DAI Chunsen, SONG Yan, et al. The characteristics of CO₂ gas reservoir in eastern China [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1994,8(4):215-222.]
- [18] 戴金星,宋岩,戴春森,等.中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M].北京:科学出版社,1995. [DAI Jinxing, SONG Yan, DAI Chunsen, et al. The Formation Conditions of Abiogenic Gas in Eastern China [M]. Beijing: Science Press, 1995.]
- [19] 戴金星.中国东部和大陆架CO₂气田(藏)及其气的类型[J].大自然探索,1996,15(4):18-20. [DAI Jinxing. The CO₂ gas fields and types of gas in eastern China and the continental shelf [J]. Nature Exploration, 1996,15(4):18-20.]
- [20] 姚伯初,万玲,刘振湖,等.南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J].地球科学,2004,29(5):543-549. [YAO Bochu, WAN Ling, LIU Zhenhu, et al. The dynamics characteristic of tectonic evolution and petroleum resources in sedimentary basins of South China Sea in Cenozoic [J]. Earth Science, 2004,29(5):543-549.]
- [21] 姚伯初,万玲.中国南海海域岩石圈三维结构及演化[M].北京:地质出版社,2006. [YAO Bochu, WAN Ling. The three-dimensional structure and evolution of the lithosphere in the South China Sea [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.]
- [22] 何家雄,夏斌,孙东山,等.南海莺琼盆地CO₂资源潜力与综合利用开发措施[J].海洋石油,2006,26(4):18-22. [HE Jiaxiong, XIA Bin, SUN Dongshan, et al. The resource potential and the comprehensive utilization measures on CO₂ in Yinggehai and Qiongdongnan basin of South China Sea [J]. Offshore Oil, 2006,26(4):18-22.]
- [23] 何家雄,姚永坚,刘海龄,等.南海北部莺歌海盆地壳源型非生物CO₂运聚成藏特征与资源潜力[J].中国地质,2007,34(5):887-893. [HE Jiaxiong, YAO Yongjian, LIU Hailing, et al. The characteristics of migration and accumulation and resource potential of non-biological type of CO₂ in Yinggehai basin of northern South China Sea [J]. China Geology, 2007,34(5):887-893.]
- [24] 何家雄,陈伟煌,李明兴,等.莺歌海盆地热流体上侵活动与天然气运聚富集关系探讨[J].天然气地球科学,2000,11(6):29-43. [HE Jiaxiong, CHEN Weihuang, LI Mingxing, et al. The discuss between the intrusion activities of hot fluid and migration and accumulation of natural gas in Yingge Sea Basin, [J]. Natural Gas Geoscience, 2000,11(6):29-43.]
- [25] 何家雄,徐瑞松,刘全稳,等.莺歌海盆地泥底辟发育演化与天然气及CO₂运聚成藏规律研究[J].第四纪地质与海洋地质,2008,28(1):91-98. [HE Jiaxiong, XU Ruisong, LIU Quanwen, et al. The development and evolution of diapir and regular of natural gas and CO₂ transport and accumulation in Yingge Sea Basin [J]. Quaternary Geology and Marine Geology, 2008,28(1):91-98.]
- [26] 何家雄,夏斌,王志欣,等.南海北部边缘盆地西区油气运聚成藏规律与勘探领域及方向[J].石油学报,2006,27(4):18-22. [HE Jiaxiong, XIA Bin, WANG Zhixin, et al. The regular of northern oil and gas migration and accumulation and exploration direction in north marginal basins of South China [J]. Petroleum Technology, 2006,27(4):18-22.]
- [27] 李平鲁,梁慧娴.珠江口盆地新生代岩浆活动与盆地演化、油气聚集的关系[J].广东地质,1994,9(2):23-34. [LI Pinglu, LIANG Huixian. The relation of Cenozoic magmatism and basin evolution, hydrocarbon accumulation in Zhujiangkou basin[J]. Guangdong Geology, 1994,9(2):23-34.]
- [28] 张健,汪集炀.南海北部大陆边缘深部地热特征[J].科学通报,2000,45(10):1095-1100. [ZHANG Jian, WANG Jiyang. The Characteristics of deep geothermal in north marginal of South China [J]. Science Bulletin, 2000,45(10):1095-1100.]
- [29] 米立军,袁玉松,张功成,等.南海北部深水区地热特征及其成因[J].石油学报,2009,30(1):27-32. [MI Lijun, YUAN Yuesong, ZHANG Gongcheng, et al. The geothermal features and its causes in deep water of northern South China [J]. Petroleum Technology, 2009,30(1):27-32.]

NON-HYDROCARBON GAS DISTRIBUTION AND ITS GEOLOGICAL CONDITIONS AND CONTROLLING FACTORS IN THE MARGINAL BASIN OF NORTHERN SOUTH CHINA SEA

HE Jiaxiong¹, MA Wenhong², CHEN Shenghong³, GONG Xiaofeng¹

(1 Key Laboratory of Marginal Sea Geology, CAS, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

2 Zhanjiang Branch, CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057, China;

3 Shenzhen Branch, CNOOC, Shenzhen, Guangdong 510240, China)

Abstract: Non-hydrocarbon gases, such as CO₂ (carbon dioxide) and N₂ (nitrogen), have been discovered in the marginal basin of northern South China Sea. The formation and accumulation of these gases require some specific geological conditions and controlling factors. The CO₂ of Crustal type and crust-mantle mixed type and the N₂ of crustal organic type and crustal organic-inorganic hybrid type are mainly enriched in the shallow part of the central diapir area of the Yinggehai basin along the northwest strike-slip extensional edge of the northern South China Sea, under the joint control of marine calcareous shale and the physical and chemical activities caused by the heat flow derived from mud diapiric intrusion; and the mantle-type volcanic CO₂ is mainly distributed around the deep faults on the borders of the depressions in the eastern Qiongdongnan basin and along the salients in the Zhujiangkou basin. The degasification of the volcanic mantle provided the gas sources and the deep faults were the path for gas migration to traps.

Key words: northern South China Sea; basin structure types; non-hydrocarbon gas distribution; formation of geological conditions; main controlling factors.