

南海北部边缘盆地 N_2 分布富集特征 及成因类型判识

何家雄¹, 祝有海², 马文宏³, 龚晓峰¹

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3. 中海石油有限公司湛江分公司勘探开发部, 广东 湛江 524057)

摘要:南海北部新生代准被动大陆边缘盆地地质背景特殊、地球动力学条件复杂, 油气地质现象丰富多彩, 不同成因类型油气分布均具有一定的规律性。该区油气勘探中不仅发现了大量的烃类气, 而且还发现了较丰富的 CO_2 和 N_2 等非烃气。 N_2 等非烃气主要富集于西北边缘莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层及某些局部区域部分层段, 其分布富集特征与该区非生物壳源型 CO_2 基本类似, 具有平面上分区分块、剖面上分层分带的局部性富集特点。根据 N_2 地质地球化学特征, 借鉴国内外较通用的判识划分方法及指标, 可将该区 N_2 确定为大气成因、壳源型有机成因和壳源型有机—无机混合成因等 3 种主要成因类型。

关键词:莺歌海盆地; N_2 富集特点; N_2 成因类型; 氮及氦同位素; 综合判识与确定

中图分类号: TE132.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2011)03-0440-10

引用格式:何家雄, 祝有海, 马文宏, 等. 南海北部边缘盆地 N_2 分布富集特征及成因类型判识[J].

天然气地球科学, 2011, 22(3): 440-449.

0 引言

20 世纪 90 年代以来, 南海北部边缘盆地天然气勘探取得了重大进展, 在勘探中不仅发现了大量烃类气藏, 同时亦发现了储量规模及资源量大的 CO_2 气藏及高含 CO_2 气藏, 同时还发现了一些含氮、富氮的 N_2 气层。这些 CO_2 和 N_2 等非烃气均主要富集于西北部边缘莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层。由于 CO_2 和 N_2 等非烃气分布的普遍性和特殊性, 以及对海洋油气勘探部署决策与勘探战略的重大影响和制约, 故国家及中海油(中国海洋石油总公司)均先后立项系统地开展了 CO_2 等非烃气成因及其地质地球化学特征与运聚成藏规律的研究^[1-11], 如国家九·五科技攻关课题“莺—琼盆地非烃气成因及分布规律研究”和国家“863”高新技术课题“南海非烃气判识与预测技术”以及

中海油科技攻关项目“莺歌海盆地 CO_2 分布及预测方法研究”等。

总之, 通过多年的油气勘探与非烃气地质研究, 对南海北部边缘盆地 CO_2 等非烃气成因及地质地球化学特征与运聚成藏规律等已取得了很多重要的认识与研究成果^[12-16], 但必须强调指出的是, 虽然该区烃类气和 CO_2 研究较多且相对比较深入, 但对于 N_2 等非烃气研究则比较薄弱, 加之氮同位素分析技术和研究方法亦不太成熟和规范, 故国内外 N_2 研究程度甚低, 很多研究尚处在探索阶段, 尤其是 N_2 成因类型判识与研究等, 均非常薄弱且无统一的判识划分标准和方法。基于以上勘探及研究现状, 本文拟选择 N_2 与 CO_2 富集的莺歌海盆地中央泥底辟构造带作为研究重点和靶区, 系统开展 N_2 分布富集特征研究, 并根据 N_2 地质地球化学特征对其成因类型进行初步的判识划分与确定。

收稿日期: 2010-09-06; 修回日期: 2011-05-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41040043); 重点基础研究发展计划项目(编号: 2009CB219501)联合资助.

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

1 N_2 分布富集特征

天然气中存在着多种非烃成分,主要有 CO_2 、 CO 、 N_2 、 H_2S 、 H_2 、 Hg 和稀有气体氦、氩、氖、氪、氙等,其中 CO_2 和 N_2 是最常见的非烃气,其在天然气藏中的含量可达 10%~99% 以上。由于非烃气的存在具有多重性和复杂性,即:① 以勘探开发烃类气为目的之商业开发开采中,非烃气的存在无疑大大降低天然气的工业价值,并给开发工程带来诸多不利因素和影响;② 一旦某种非烃气成分富集到一定的程度,亦可成为珍贵的非烃气资源,而被广泛地应用于工业、农业、气象、环保、医疗及饮食等领域;③ 某些非烃气体蕴含着多种地球深部构造活动及演化的珍贵信息,通过该信息可以了解和揭示地球形成演化过程及地壳构造运动的某些重要地质特点和规律。因此,深入研究非烃气成因及运聚分布规律与控制因素,无论是对于将来非烃气资源勘探与综合开发利用,还是地质综合研究等均具有重要的经济生产意义和深远的科学意义。

1.1 区域及平面分布特征

20 世纪 90 年代以来,中海油在南海北部边缘盆地的油气勘探中,陆续钻遇了大量的非烃气,这些非烃气除了 CO_2 外,其中含量最高的就是 N_2 ,且主要富集于莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层及部分局部区域,其与该区 CO_2 分布富集规律一样,均具有分区分块和分层分带的局部性富集特点,而且高含量富 N_2 天然气常常与烃类气伴生而与高含量非生物成因 CO_2 成消长关系^[9]。以下拟重点对莺歌海盆地天然气中 N_2 分布富集特征进行综合剖析与探讨,同时为了进行地质地球化学分析对比亦涉及到邻区琼东南盆地部分区域。

前已论及,南海北部边缘盆地富 N_2 天然气($N_2 > 15\%$),目前仅在莺歌海盆地油气勘探中发现,且主要富集于莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层气藏及部分局部区域个别层段。这些含氮天然气中, N_2 含量最高可达 56.81%,最低仅为 0.41%。其中, N_2 含量大于 15% 以上的富 N_2 天然气(N_2 含量一般在 15.55%~56.81% 之间)约占莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层气藏天然气的 42.39%;含 N_2 天然气(N_2 含量为 10%~15%)约占浅层天然气的 11.96%;低含 N_2 天然气(N_2 含量在 0.41%~10.02% 之间)约占浅层天然气的 45.60% (图 1)。由此可见该区中央泥底辟构造带浅层气藏天然气中 N_2 含量变化较大,且以低含 N_2 、含 N_2 天然气为主,

两者约占浅层气藏天然气的 57.61% 以上,而富氮天然气(N_2 含量大于 15% 以上)则占这种浅层气藏天然气的 42.39%,即接近一半,表明该区富氮天然气亦是较为丰富的。

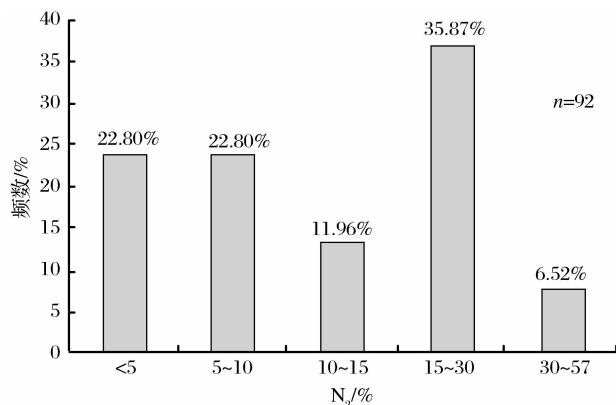


图 1 莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层气藏及其他局部区域 N_2 含量分布频率

迄今为止,虽然在莺歌海盆地油气勘探中所发现的天然气普遍含有 CO_2 和 N_2 等非烃气体,但 N_2 含量大于 15% 以上的富氮天然气,则主要富集于莺歌海盆地中央泥底辟构造带西北部东方区(图 2a)和东南部乐东区浅层部分区块及某些局部区域的探井中(图 2b),这些局部区域的探井中 N_2 含量最高达 56.81%,一般多在 10% 以上,且部分区块探井的部分层段 N_2 非常富集, N_2 含量均超过 20% 以上。典型的实例如中央泥底辟构造带西北部东方区的东方 1-1 (DF1-1)气田西块上新统莺歌海组二段及东南部乐东区的乐东 22-1(LD22-1)气田北块上新统莺歌海组及第四系产层中, N_2 含量均大于 15% 以上,而在中央泥底辟构造带以外处在盆地西北部的 LG20-1 地区和东南部的乐东 30-1 地区,所钻井虽未进行测试,但从气测显示及电测解释结果分析,均未发现存在高 N_2 和高 CO_2 等非烃气分布的迹象。同时,处在莺歌海盆地边缘斜坡区的莺东斜坡带 LT1-1 井区以及与其相邻的琼东南盆地崖 13-1 井、崖 21-1 井、崖 14-1 井以及莺 9 井等地区钻井所获天然气亦为低 CO_2 、低 N_2 的富烃天然气,非烃的总量小于 15%,多数在 5%~10% 之间, N_2 含量则多低于 5% 以下。

1.2 纵向分布富集特点

莺歌海盆地中央泥底辟构造带含 N_2 、富(高) N_2 天然气($N_2 > 10\%$),纵向上主要集中富集于上新统莺歌海组一段(N_{y1})及第四系(Q), N_2 峰值含量分布深度段为 400~1 600 m (图 3),比该区富 CO_2 峰值含量分布深度段(1 200~2 340 m)浅,且分布层位亦比其新(CO_2 峰值段主要富集于上新统

属低 N_2 富烃气产层,无有高含量 N_2 分布。亦即该区 N_2 纵向分布总体上具有上高下低且随深度增加 N_2 含量逐渐降低的特点。在中央泥底辟构造带东南部乐东区,其含 N_2 、富 N_2 天然气分布富集特征与东方区基本类似,且与该区烃类气伴生而主要分布富集于上新统一第四系的浅层及超浅层,其分布产出深度甚浅、层位新,最浅分布深度仅为 392 m,地层层位属第四系乐东组。该区含 N_2 、富 N_2 天然气纵向分带富集特征自上而下亦可划分为超浅层富 N_2 、富烃气聚集带和浅层低 N_2 含烃气富集带(图 4b)。富 N_2 天然气($N_2 > 15\%$)主要富集于第四系超浅层的 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 、 T_{15} 、 T_{16} 、 T_{17} 等储集层段,其 N_2 含量最高达 56.8%,一般多在 16.6%~36.3% 之间, T_{17} 储集层段以下则以低 N_2 富烃类气为主,绝大部分储集层段中 N_2 含量均小于 10% 以下。纵向上该区亦具上高下低且随深度增加 N_2 含量降低之特点,但局部区块及储集层段尚存在较高含量的 N_2 。另外, N_2 纵向分布个别气藏尚具有整带富集的特点,典型实例是乐东 22-1 浅层气藏北块的 N_2 分布,该气藏从 T_{20} — T_{11} 储集层段自下而上整个浅层含气带均富含 N_2 ,且与烃类气伴生,其 N_2 含量多大于 15% 以上,最高达 23.71%,仅个别井段 N_2 含量较低。

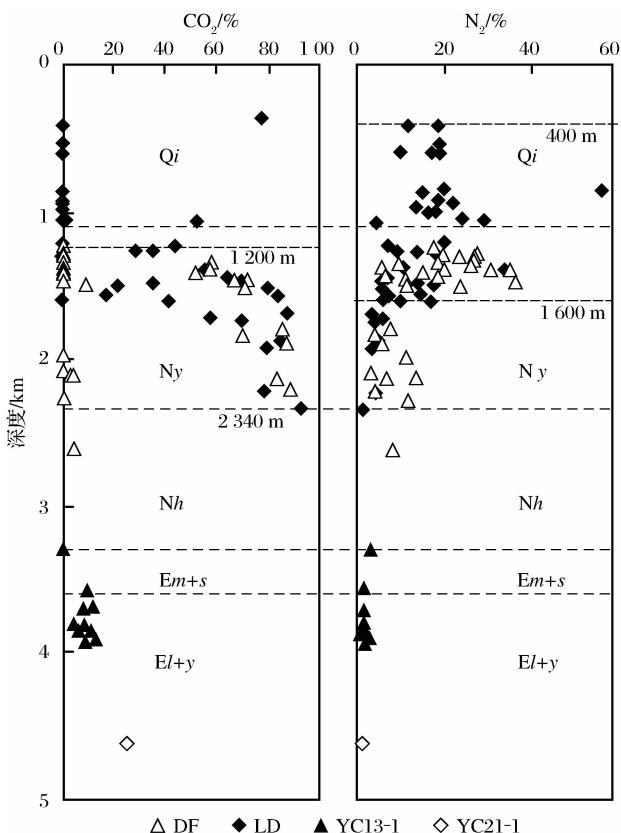


图 3 莺—琼盆地天然气藏非烃气纵向分布富集特征

总之,莺歌海盆地中央泥底辟构造带 N_2 纵向上主要富集于 400~1 600 m 深度段的第四系中下部及上新统莺歌海组一段地层的储集层段中,而深度大于 1 600 m 以下的上中新统黄流组(Nh)、中一下中新统梅山—三亚组(N_{m+s})及下第三系陵水—崖城组($El+y$), N_2 含量较低,一般低于 10%,大多数低于 5% 以下。同时, N_2 纵向分布尚具明显的分带分层与分块的局部性富集特点,即 N_2 分布具有上高下低随深度增加而递减的规律,且局部富集于浅层上组合(东方区)及超浅层(乐东区)与烃类气伴生的富集带中。

1.3 N_2 与其他气体分布关系及局部性富集特点

1.3.1 N_2 与 CO_2 及烃类气分布的相互关系

莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层天然气藏中富氮天然气分区分块与分层分带的局部性富集特征,与该区非生物壳源型 CO_2 分布富集规律基本类似,且富氮天然气往往与富烃天然气伴生而与高含量非生物壳源型 CO_2 分布呈相互消长的关系。由图 5 可以看出,莺歌海盆地中央泥底辟构造带天然气藏中 N_2 与非生物壳源型 CO_2 分布的相互消长关系非常明显。一般 N_2 富集,氮含量高的气藏储层段,非生物壳源型 CO_2 含量则非常低,而非生物壳源型 CO_2 富集的气藏储层段则 N_2 含量甚微。典型的实例如图中所示的东方 1-1S、N 诸井和乐东 22-1-7 井,这些探井储层中 N_2 非常富集, N_2 含量最大分别高达 71.77% 和 39.66%,一般均大于 10% 以上,而非生物壳源型 CO_2 含量甚微,分别只有 2.13% 和 1.72%,且一般均小于 3%。

莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层富氮天然气常常与烃类气伴生,在中央泥底辟构造带西北部的东方 1-1 气藏西块的 2 井、4 井、8 井、9 井等井和东南部乐东 22-1 气藏的北块区烃类气富集,其烃类气含量在天然气组成中均一般大于 70% 以上,而 N_2 含量亦在 15% 以上。很显然,该区 N_2 与烃类气有明显的伴生关系,以及与 CO_2 相互消长的特点,充分表明该区 N_2 与烃类气来源具有密切的成因联系与耦合分布关系。

1.3.2 含气水层储层段中 N_2 等非烃气较富集

含气水层或低渗透储集层段产出的天然气中 N_2 及 CO_2 等非烃气含量相对较高。莺歌海盆地中央泥底辟构造带东南部的乐东 15-1-1 井 2 335~2 340 m 井段的高压含气水层储层段和该盆地东北边缘莺东斜坡带的 LT35-1-1 井 1 631~1 639.8 m 井段含气水层储层段测试所获得的天然气中,非烃气

中非烃气含量亦较高,其中,崖 21-1 低凸起构造带上崖 21-1-3 井含气水层储层段测试所获天然气组成中,非烃气亦较富集,其 CO_2 含量较高,可达 24.1%。可见该区非烃气 CO_2 和 N_2 的分布富集可能与其赋存状态及地质环境,尤其是含水储集层中水对其溶解性密切相关。

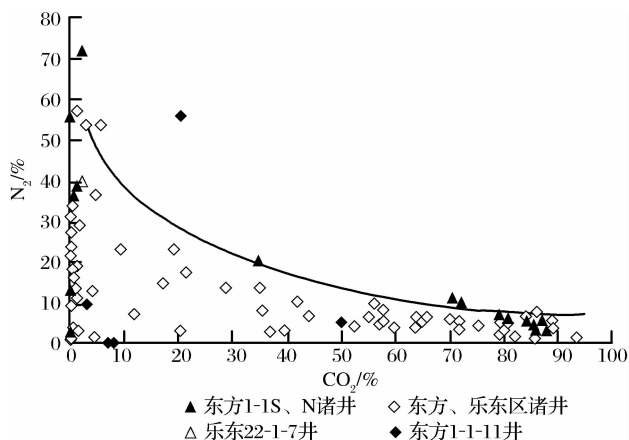


图 5 莺歌海盆地中央泥底辟构造带天然气藏中 N_2 与 CO_2 分布之消长关系

1.3.3 局部构造及区块 N_2 等非烃气体分布富集特点

前已论及,莺歌海盆地中央泥底辟构造带迄今天然气勘探所发现的气藏及含气构造中,天然气运聚分布特征尤其是非烃气分布富集特点,一般均具有分区分块和分带分层的局部性富集规律。这些气藏及含气构造中 CO_2 等非烃气分布富集特点,往往在同一气藏或含气局部构造圈闭的不同断块(或砂体)或同一断块的不同气组储层段中,非烃气 CO_2 和 N_2 分布富集特征及含量高低均明显不同,具有明显的分区分块及分层的局部性富集特征,其局部性分布富集规律一般具有如下特点:

(1) CO_2 多分布富集于相对高陡的正断层上升盘侧地层的含气储集层段,而 N_2 则主要分布富集于相对平缓的正断层下降盘一侧地层的含气储集层段,且往往与富烃类气伴生。

(2) 紧邻大断裂的小断块或断裂复杂、断块破碎的小断块圈闭, CO_2 较富集, CO_2 含量相对较高;而平缓的大断块圈闭, CO_2 含量相对较低,烃类气富集且 N_2 含量亦相对较高。

(3) 远离断层的砂体或储层厚度及物性向大断裂方向变差的砂体或断块圈闭, CO_2 含量相对较低,而烃类气丰富且 N_2 含量亦相对较高。

(4) 天然气充满程度高的断块或砂体圈闭,烃类气富集且 N_2 含量相对较高,而天然气充满程度相

对低的断块或砂体圈闭,则非烃气较富集, CO_2 含量较高。

总之,南海北部边缘盆地含 N_2 、富(高) N_2 非烃气主要分布富集于西北边缘的莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层。根据天然气中 N_2 含量高低,可进一步将其划分为低含 N_2 天然气($N_2 < 10\%$)、含 N_2 天然气($N_2 = 10\% \sim 15\%$)、富(高) N_2 天然气($N_2 > 15\%$)等 3 种类型。这些含 N_2 、富(高) N_2 非烃气的主要分布富集规律可总结为:①含 N_2 、富(高) N_2 非烃气分布富集,多具有平面上分区分块和纵向上分带分层等局部性富集特点,且多富集于中央泥底辟构造带浅层,其他区域分布少且较局限;②天然气中非生物 CO_2 与 N_2 分布具有明显的消长关系,富 N_2 天然气与烃类气及低含量有机 CO_2 伴生,而高含量非生物 CO_2 则与低含 N_2 、含 N_2 天然气伴生;③ N_2 纵向分布富集尚具有上高下低且随深度增加 N_2 含量逐渐降低之特点;④根据目前勘探程度及所获资料,莺歌海盆地富 N_2 与高含量非生物 CO_2 纵向总体分布,主要富集于中央泥底辟构造带上新统莺歌海组浅层及第四系超浅层。富 N_2 天然气主要富集于上新统莺歌海组一段—第四系超浅层 400 ~ 1 600 m 深度层段,而富 CO_2 天然气则主要富集于上新统莺歌海组浅层 1 040 ~ 2 340 m 层段,其下的深部地层尚无高含量 N_2 及 CO_2 等非烃气分布。

2 N_2 成因类型判识与确定

N_2 是天然气中常见的非烃组分之一,由于其物理化学性质比其他非烃成分更接近烃类气,故其成因及分布富集规律常常与烃类气体存在密切的联系,且其运聚成藏条件及富集规律亦与烃类气类似,均必须具备生、运、聚、圈、保等基本油气地质条件。因此,研究 N_2 成因及来源乃至分布富集规律,可以与烃类气成因及运聚成藏规律的研究有机的结合起来,并通过伴生烃类气及其他非烃气的成因分析,可以综合判识与确定 N_2 的成因及气源构成特点,亦可通过伴生 N_2 和 CO_2 等非烃气的成因特点来综合研究与剖析烃类气成因及运聚成藏特征与分布富集规律。

N_2 成因类型及气源构成特点较复杂,氮同位素($\delta^{15}N, \text{‰}$)组成及分布范围大且不同成因类型及来源的氮,其氮同位素值分布相互重叠较普遍(图 6),加之氮同位素分析及方法手段,亦不完全成熟和统一,故目前国内外对于 N_2 成因类型判识与划分的研究程度较低,迄今为止尚无统一和成熟的 N_2

成因判识与分类划分方法。根据南海北部边缘盆地 N₂ 及所伴生的氮氩稀有气体地质地球化学特征的实际资料,借鉴国内外^[17-19]较实用和比较通用的分类划分方法,笔者将南海北部边缘盆地迄今勘探发现 N₂ 的成因类型及来源大致划分为大气成因、火山幔源成因、壳源成因(有机/无机成因)及壳源有机—无机混合成因等四型五类;同时,依据天然气中 N₂ 含量高低,亦可将含氮天然气划分为富 N₂ 天然气(N₂>15%)、含 N₂ 天然气(N₂=10%~15%)及低含 N₂ 天然气(N₂<10%)等 3 种类型。由于南海北部边缘盆地迄今为止的油气勘探中仅莺歌海盆地所获富氮天然气地质地球化学分析资料较多,因此,以下将重点对该盆地 N₂ 地球化学特征及成因判识与气源构成特点等进行深入剖析与系统阐述。

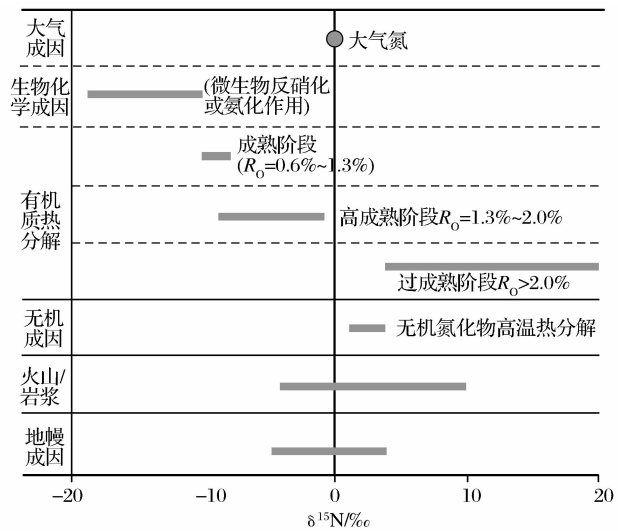


图 6 不同成因及来源的 N₂ 同位素组成 (δ¹⁵N) 特征与分布范围

南海西北边缘莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层气藏中发现的 N₂, 根据其地质地球化学特征及氮同位素组成与所伴生的 CO₂ 碳同位素和稀有气体同位素特点,采用国内外较实用和比较通用的分类划分方法,可将其综合判识为大气成因、壳源有机成因及壳源有机—无机混合成因等 3 种主要类型(表 1)。以下重点对这 3 种成因类型 N₂ 地球化学特征进行剖析。

(1)壳源型有机成因富(高)N₂ 天然气。该成因类型天然气中 N₂ 含量均大于 15%, 一般多在 15.55%~56.80% 之间。在莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层气藏天然气中这种富氮天然气约占 42.39%。根据 N₂ 及所伴生 CO₂ 及烃类气和氮氩稀有气体的地质地球化学特征,这种富氮天然气最

突出的产出特点是,多与低含量有机成因 CO₂ (δ¹³C_{CO₂} 值为-22‰~-10‰的 CO₂) 及低熟—成熟烃类气(δ¹³C_{CH₄} 值为-55‰~-34‰的烃类气)伴生,其重要的地球化学特征是,α 系数(α=100Ar/1.18N₂)多小于 1,氮同位素值多在-8‰~-1‰之间,最轻可达-15‰,其值占该区浅层气藏含氮天然气中 δ¹⁵N 值分布的 85.45% 以上,即占居该区含氮天然气 δ¹⁵N 值分布的绝对优势(图 7),同时,其伴生稀有气体氩同位素值偏低,⁴⁰Ar/³⁶Ar 值多在 295~354 之间,为第四系的表征值;N₂/Ar 值则变化较大,最低为 98.9,最高达 3 546.6(表 1)。伴生稀有气体氦同位素值(³He/⁴He)亦明显偏低,其³He/⁴He 值均大大低于标准空气氦值,在³He/⁴He—δ¹⁵N 关系图版上(图 8),均处于壳源型区域。由于该类富 N₂ 天然气与烃类气及低含量有机 CO₂ 伴生,且 α 系数均小于 1,故可判识与划分确定为壳源型有机成因 N₂ 类型。

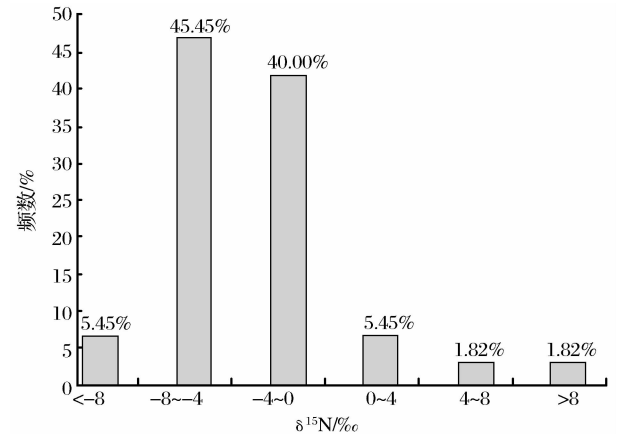


图 7 莺歌海盆地中央泥底辟构造带浅层气藏 N₂ 同位素分布特征

(2)大气成因低含 N₂、含 N₂ 天然气。莺歌海盆地浅层气藏天然气中 N₂ 含量变化较大,其中 N₂ 含量低于 15% 以下(0.41%~14.5%)的低含 N₂、含 N₂ 天然气约占浅层气藏天然气的 57.56% 以上。这种低氮天然气多属于大气成因或壳源型有机—无机混合成因,且多与高含量无机成因 CO₂ (δ¹³C_{CO₂} 值为-8‰~-0‰)伴生。其中,大气成因类型的低含 N₂、含 N₂ 天然气最明显、最突出的地球化学特征是:α 系数多大于 1 以上,且 N₂/Ar 值多在大气标准值范围之内,为 34.1~79.5;其⁴⁰Ar/³⁶Ar 值多为大气标准值,即 295.5 左右;δ¹⁵N 值则多在-1‰~3‰ 之间(表 1),在⁴⁰Ar/³⁶Ar—δ¹⁵N 关系特征(图 9)及 N₂/Ar—δ¹⁵N 关系图上(图 8),其分析样品的点群均分布于大气氮成因类型的区域范围之内。

表 1 莺歌海盆地中央泥底辟构造带及邻区气藏天然气中 N₂ 地球化学特征及成因类型判识与划分

代表井及产层	深度/m	层位	N ₂ /%	Ar/%	N ₂ /Ar	α	δ ¹⁵ N/‰	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	氮成因类型	分布区
DF1-1-Z1DST3	2 070~2 127	Ny ₁	12.86				295		大气成因	乐东区
LD28-1-1DST1	1 655~1 690		3.50	0.044	79.5	1.07	3	341		
LT1-1-1DST1	2 098~2 102		2.93	0.086	34.1	2.49	-1	396		
DF1-1-4DST3	1 277~1 293.0	Ny ₁	28.73	0.012	2 374.4	0.04	-3	305	壳源型 有机成因	乐东区
DF1-1-4DST2	1 320~1 340.0		27.23	0.126	217.0	0.39	-5	296		
DF1-1-4DST1	1 360~1 375.0		27.55	0.010	2 755.0	0.03	-9	354		
DF1-1-5DST2	1 386~1 410.0		31.21	0.009	3 546.6	0.02	-8	299		
DF1-1-8DST3	1 342~1 358		18.63	0.034	554.5	0.15	-1	327		
DF29-1-2DST6	1 470~1 505		23.70	0.091	260.4	0.325	-3	406	壳源型 有机—无机 混合成因	乐东区
LD22-1-1DST5	851~858	Q	19.60	0.030	653.3	0.13	-6	325		
LD22-1-1DST3	1 044~1 052		23.70	0.047	506.4	0.167	-7	342		
LD22-1-1DST2	1 352~1 358		33.50	0.049	683.7	0.124	-8	346		
LD22-1-4DST1	1 265~1 285		18.79	0.027	476.2	43.0	-6	303		
LD22-1-6DST1	1 582~1 600		16.28	0.277	588.2	382.166	-3	302	壳源型 有机—无机 混合成因	乐东区
DF1-1-7DST2	1 403~1 415	Ny ₁	4.72	0.023	205.2	0.413	-2	317		
DF29-1-1DST1	1 832~1 842		3.94	0.005	875.6	0.10	4	317		
DF29-1-2DST5	1 760~1 800		7.45	0.031	240.3	0.353	-4	326		
DF29-1-2DST4	1 890~1 893		5.15	0.011	468.2	0.181	-5	306		
LD20-1-2DST3	1 056~1 065	Q	4.09	0.017	246.4	0.344	-3	296	壳源型 有机—无机 混合成因	乐东区
LD20-1-2DST2	1 218~1 220.5		6.93	0.009	805.8	0.105	-8	295		
LD8-1-5DST2	1 115~1 125		1.66	0.002	769.2	0.281 36	-6	298		
LD8-1-5DST1	1 245~1 264	Ny ₁	3.92	1.058	3.7	351.471	-7	301	壳源型 有机—无机 混合成因	乐东区
LD8-1-2DST3	1 194~1 205	Q	3.48	0.015	232.6	4.423 7	-4	293		

* α=(100Ar/1.18N₂); N₂/Ar=35~83.5(大气);α=1 大气成因;α<1 有机成因;α>1 无机成因

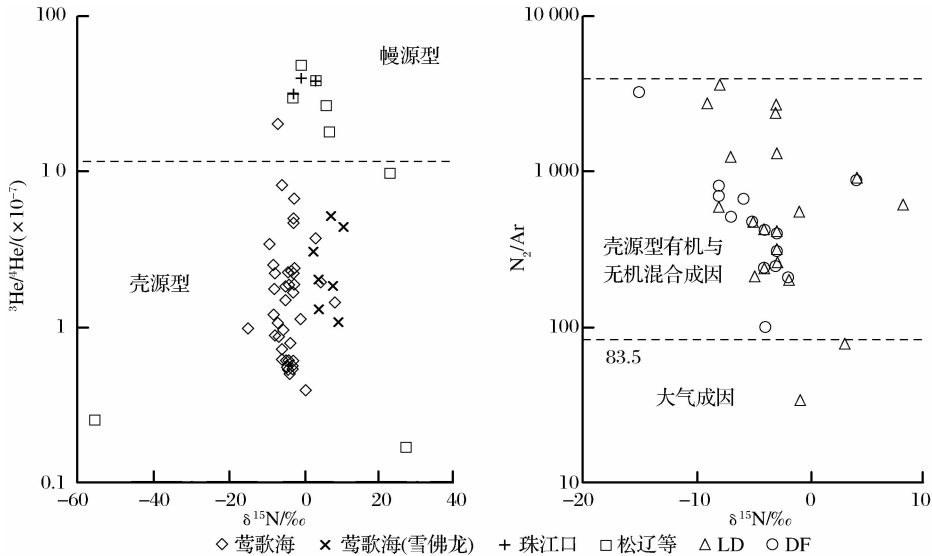


图 8 莺歌海盆地浅层气藏天然气中³He/⁴He—δ¹⁵N 及 N₂/Ar—δ¹⁵N 关系

(3)壳源型有机—无机混合成因低含 N₂、含 N₂ 天然气。壳源型有机—无机混合成因的低含 N₂、含 N₂ 天然气,其最主要、最明显的地质地球化学特点是 α 系数介于壳源型有机成因 N₂ 与大气成因 N₂ 之间,或比大气成因 N₂ 的 α 系数大,α 系数值多在 0.10~4.42 之间,个别样品 α 系数较大,且 N₂/Ar 值和 δ¹⁵N 值均比较稳定,除个别样品外,N₂/Ar 值多在 205~875.6 之间,δ¹⁵N 值分布在 -8‰~-2‰之间,⁴⁰Ar/³⁶Ar 值亦偏低,多在 293~326 之间(表 1)。在⁴⁰Ar/³⁶Ar—δ¹⁵N 特征图上(图 9)和

$N_2/Ar-\delta^{15}N$ 关系图上(图8)其分析样品点群均处在壳源有机—无机混合成因 N_2 区域范围之内。

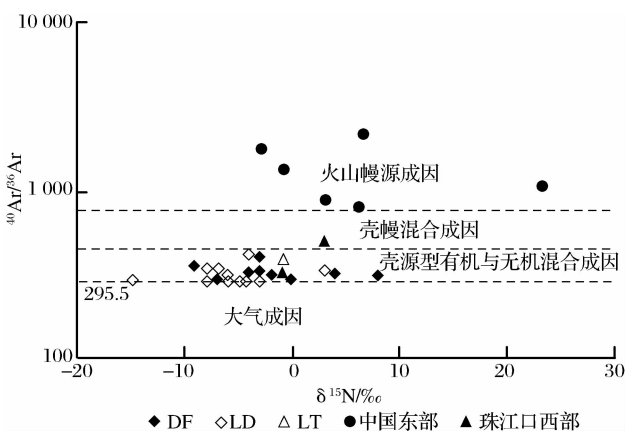


图9 莺歌海盆地天然气 $^{40}Ar/^{36}Ar-\delta^{15}N$ 特征及中国东部对比

综上所述,对该区 N_2 成因类型判识划分及其地球化学特征可总结为:对于壳源型有机成因富 N_2 天然气,以其 α 系数小于1, N_2 含量高($N_2 > 15\%$)且与有机成因 CO_2 及烃类气伴生、氮同位素 $\delta^{15}N$ 值均为负值且稳定分布、伴生稀有气体 $^3He/^4He$ 和 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 值偏低(属壳源型表征值)、 N_2/Ar 值变化大等多项判识指标和划分依据,对其成因进行综合判识划分与确定;对于大气成因 N_2 的判识与确定,则应以 α 系数等于1或大于1, N_2 含量变化大, $\delta^{15}N$ 值为0‰、 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 值为标准空气值(295.5)、 $^3He/^4He$ 值为 1.4×10^{-6} 以及 N_2/Ar 值为35~83.5(标准空气值)为鉴别及判识标志,进而进行综合判识与划分;而对于壳源型有机与无机混合成因的低含 N_2 、含 N_2 天然气,则以其 α 系数变化大(α 介于 <1 或 >1)且多与高含量无机成因 CO_2 伴生、氮同位素 $\delta^{15}N$ 值多为负值且稳定分布、稀有气体 $^3He/^4He$ 值及 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 值亦偏低并稳定分布(属壳源型表征值, $^3He/^4He$ 值极少量样品为壳幔过渡型), N_2/Ar 值变化小且基本处在205~700的稳定值域范围等判识划分依据,对其成因进行综合判识与确定。

3 结论

(1)南海西北部莺歌海盆地含 N_2 、富(高) N_2 非烃气成因主要属壳源有机成因和壳源有机—无机混合成因类型,少量为大气成因类型。壳源型有机成因 N_2 与低含量有机成因 CO_2 及烃类气同源。壳源型有机—无机混合成因 N_2 则与高含量非生物壳源型 CO_2 同源伴生。

(2)南海西北部莺歌海盆地浅层气藏 N_2 分布

富集特征与该区高含量非生物壳源型 CO_2 一样,多具平面上分区分块和纵向上分带分层等局部性富集特点,且多集中富集于中央泥底辟构造带浅层,其他区域分布少且较局限。

(3)南海西北部莺歌海盆地浅层气藏天然气组成中非生物壳源型 CO_2 与 N_2 互为消长关系,高含量无机 CO_2 与低含 N_2 、含 N_2 天然气伴生并同源,而低含量有机 CO_2 则与富 N_2 天然气及烃类气同源且伴生。 N_2 纵向上尚具上高下低且随深度增加 N_2 含量逐渐降低之特点。

参考文献:

- [1] Dai Jinxing, Dai Chunsen, Song Yan, *et al.* The characteristics of CO_2 gas reservoir of inorganic type in eastern China[J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1994, 8(4): 215-222. [戴金星, 戴春森, 宋岩, 等. 中国东部无机成因 CO_2 气藏及其特征[J]. 中国海上油气: 地质, 1994, 8(4): 215-222.]
- [2] Dai Jinxing, Song Yan, Dai Chunsen, *et al.* The Type of Abiogenic Gas and Formation Conditions in Eastern China[M]. Beijing: Science Press, 1995: 1-212. [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: 1-212.]
- [3] Dai Jinxing. The CO_2 gas reservoir and types of CO_2 gas in eastern China and the continental shelf[J]. Nature Exploration, 1996, 15(4): 18-20. [戴金星. 中国东部和大陆架 CO_2 气田(藏)及其气的类型[J]. 大自然探索, 1996, 15(4): 18-20.]
- [4] He Jiaxiong, Zhong Qixiang, Chen Weihuang, *et al.* The origin and source of shallow natural gas in Yingge sea basin[J]. Natural Gas Geoscience, 1994, 5(6): 15-27. [何家雄, 钟启祥, 陈伟煌, 等. 莺歌海盆地浅层天然气成因及烃源探讨[J]. 天然气地球科学, 1994, 5(6): 15-27.]
- [5] He Jiaxiong, Chen Gang. The preliminary study of CO_2 causes and characteristics of the migration in Yingge sea basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(6): 8-15. [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.]
- [6] He Jiaxiong, Chen Gang. The preliminary forecast of characteristics of CO_2 enrichment in Yingge sea basin[J]. Natural Gas Geoscience, 1997, 8(3): 9-17. [何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO_2 分布富集特征及初步预测[J]. 天然气地球科学, 1997, 8(3): 9-17.]
- [7] He Jiaxiong, Chen Gang. The research of CO_2 distribution and forecast methods in Yingge sea basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(2): 20-23. [何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO_2 分布及预测方法研究[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(2): 20-23.]
- [8] He Jiaxiong, Li Mingxing, Chen Shenghong, *et al.* The risk analysis and prediction of the deep CO_2 gas exploration in the diapir zone in Yingge sea basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2000, 14(5): 332-338. [何家雄, 李明兴, 陈胜红, 等. 莺歌海盆地泥底辟构造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.]
- [9] He Jiaxiong, Li Mingxing. The analysis and discussion of origin and source about N₂ in the Y basin of South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(3): 25-34. [何家雄, 李明兴. 南海北部大陆架 Y 盆地天然气中 N₂ 成因及气源剖析与探讨[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(3): 25-34.]
- [10] He Jiaxiong, Chen Weihuang, Li Mingxing, *et al.* The discuss of relationships of the intrusion activities of hot fluid migration and accumulation of natural gas enrichment in Yinggesea basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(6): 29-43. [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.]
- [11] He Jiaxiong, Li Mingxing, Chen Weihuang, *et al.* The integrated sub-knowledge of the type and source of CO₂ in Yinggesea basin and Qiongdongnan basin[J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(3): 15-21. [何家雄, 李明兴, 陈伟煌, 等. 莺—琼盆地天然气中 CO₂ 成因类型及气源综合判识[J]. 天然气工业, 2001, 21(3): 15-21.]
- [12] He Jiaxiong, Wang Zhenfeng, Liu Baoming, *et al.* The main controlling factors of CO₂ gas reservoir formation in north marginal basins of South China Sea[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(9): 19-22. [何家雄, 王振峰, 刘宝明, 等. 南海北部边缘盆地 CO₂ 成藏主控因素[J]. 天然气工业, 2004, 24(9): 19-22.]
- [13] He Jiaxiong, Liu Quanwen. The analysis and prediction of type and regular of the migration and accumulation of CO₂ in north marginal basins of South China Sea[[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 1-8. [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.]
- [14] He Jiaxiong, Xia Bin, Liu Baoming, *et al.* The research of type and regular of the migration and accumulation of CO₂ in eastern China and offshore basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 42-49. [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.]
- [15] He Jiaxiong, Xia Bin, Wang Zhixin, *et al.* The research of type and regular of the migration and accumulation of CO₂ in continental rift basin and offshore basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(3): 153-162. [何家雄, 夏斌, 王志欣, 等. 中国东部陆相断陷盆地及近海陆架盆地 CO₂ 成因判识与运聚规律研究[J]. 中国海上油气, 2005, 17(3): 153-162.]
- [16] He Jiaxiong, Zhu Youhai, Yao Yongjian, *et al.* The Geology and Resource Utilization to CO₂ in North Marginal Basins of South China Sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 1-193. [何家雄, 祝有海, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地 CO₂ 地质及资源化利用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 1-193.]
- [17] Polyak B G, Prosolov EM, Cermak V, *et al.* Isotopic composition of noble gases in geothermal fluids of the Krusne Hory Mts, Czechoslovakia, and the nature of the local geothermal anomaly[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1985, 49: 695-699.]
- [18] Du Jianguo, Liu Wenhui. The isotope geochemistry of non-hydrocarbon gas in Sanshui basin[J]. Geochemistry, 1993, 15(1): 24-28. [杜建国, 刘文汇. 广东三水盆地非烃天然气同位素地球化学[J]. 地球化学, 1993, 15(1): 24-28.]
- [19] Du Jianguo, Liu Wenhui, Shao Bo, *et al.* Geochemical characteristics of nitrogen in natural gases[J]. Sedimentary, 1996, (1): 143-148. [杜建国, 刘文汇, 邵波, 等. 天然气中氮的地球化学特征[J]. 沉积学报, 1996, (1): 143-148.]

Distribution and Enrichment of Nitrogen in the Margin Basin of Northern South China Sea and Its Genesis

HE Jia-xiong¹, ZHU You-hai², MA Wen-hong³, GONG Xiao-feng¹

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Zhanjiang Branch, CNOOC, Zhanjiang 524057, China)

Abstract: The Cenozoic margin basin of northern South China Sea has the special regional geological setting and the complex geodynamic setting, associated with abundant oil and gas. The different genetic types of oil and gas are regularly distributed. Both large content of hydrocarbon gases and a lot of non-hydrocarbon gases (i. e. CO₂, N₂, others) are discovered in the Marginal basin of northern South China Sea. N₂ molecular is mainly enriched in the shallow layer of central mud diapir belt and some parts of layers in the Yinggehai basin. The N₂ distribution, which is similar with the CO₂ non-biological crust type, is characterized as partition block in plane and layering and zoning in profile. According to geological and geochemical characteristics of N₂, we use the typical pattern to identity the N₂ source, including atmosphere, organic matter, and mixing of organic and inorganic sources.

Key words: Yinggehai basin; Nitrogen enrichment features; Nitrogen genetic type; Nitrogen and helium and argon isotope; Synthetical identification and determination.