

# 断裂及岩浆活动对幔源 CO<sub>2</sub> 气成藏的作用

## ——以济阳拗陷为例

林松辉<sup>1,2,3</sup>

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640

2. 胜利油田有限公司物探研究院, 山东东营 257022

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘要:** 尽管 CO<sub>2</sub> 气在地壳浅层运聚成藏与常规的烃气相似, 都要求有丰富的源、储层、圈闭、输导系统和盖层, 但在成因或来源上与烃气有天壤之别。通过对与 CO<sub>2</sub> 气田(藏)有关的深大断裂、火成岩进行综合研究认为, 岩浆是 CO<sub>2</sub> 运移的载体, 火成岩的发育则是断裂时空同步活动的重要标志, 幔源 CO<sub>2</sub> 气的成藏要素最为重要的是“运”, 即要有直接或间接与地幔相连的深大断裂, 而且, 作为一条断裂通道的活动要时空同步。故而 CO<sub>2</sub> 气田(藏)的形成, 同断裂活动和岩浆活动有着密切的关系。断裂对 CO<sub>2</sub> 气田(藏)形成的控制作用表现为: (1) 深大断裂控制 CO<sub>2</sub> 成藏带; (2) 边界断裂及其派生的不同方向、不同级别的断裂控制了盆地内 CO<sub>2</sub> 气田(藏)的形成与分布。

**关键词:** 幔源 CO<sub>2</sub> 气; 岩浆活动; 断裂活动; 深大断裂; 济阳拗陷。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2005)04-0473-07

收稿日期: 2005-03-14

## Fault and Magmatic Activity as Control of Mantle Source CO<sub>2</sub> Gas Accumulation: A Case Study of Jiyang Depression

LIN Song-hui<sup>1,2,3</sup>

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Academy of Geophysical Exploration of Shengli Oilfield Ltd. Corp., Dongying 257022, China

3. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract:** In the shallow level of the earth's crust, migration and accumulation of CO<sub>2</sub> are similar to those of conventional hydrocarbon, and both demand rich sources, reservoirs, traps, migration system and caprocks. However, CO<sub>2</sub> is greatly different from hydrocarbon in origin and source. By research for deep faults and igneous rocks related to CO<sub>2</sub> gas fields, the author considers that magma is the carrier for CO<sub>2</sub> gas migration, while the development of igneous rocks is an important sign of the synchronous fault spatio-temporal activity. The 'migration' is one of the most important elements for mantle source CO<sub>2</sub> gas accumulation, which means that there are deep faults connected to the mantle, directly or indirectly, and fault activity must be consistent with CO<sub>2</sub> gas migration in space and time. Thus formation of CO<sub>2</sub> gas fields is closely related to fault and magmatic activity. Control of the fault in the formation of CO<sub>2</sub> gas fields is as follows: (1) deep faults control CO<sub>2</sub> gas accumulation belts; (2) the boundary faults and their derivative faults at different directions and different scales control the formation and distribution of CO<sub>2</sub> gas fields in the basin.

**Key words:** mantle source CO<sub>2</sub> gas; magmatic activity; fault activity; deep fault; Jiyang depression.

济阳拗陷是一个油气资源非常富集的地区,也是二氧化碳气丰度较高的含油气盆地,在几十年的

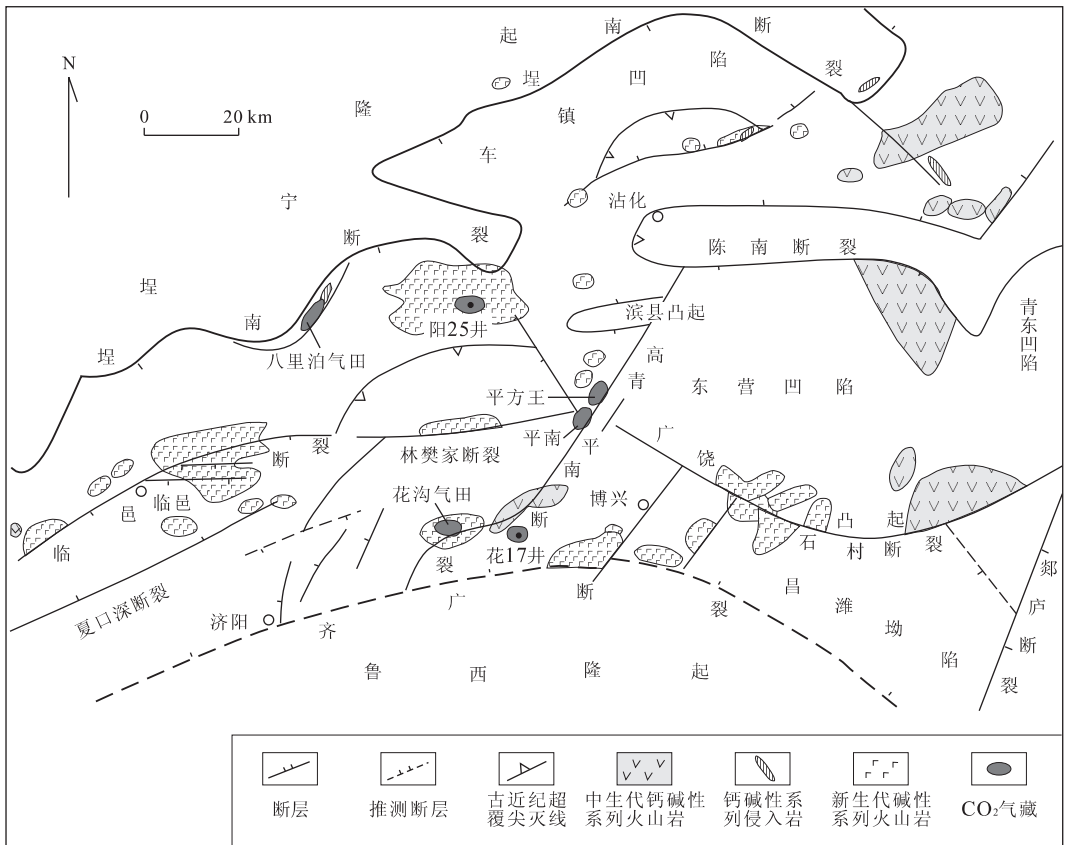


图 1 济阳拗陷二氧化碳气藏平面分布

Fig. 1 Distribution of CO<sub>2</sub> gas pools in Jiyang depression

勘探过程中已发现了几十个油气藏,同时也无意识地发现了一些无机成因特征明显的非烃气藏,如在花沟、花 17 井区、平方王、平南、八里泊、阳 25 井区等地区发现了规模不等的二氧化碳气田(藏)(图 1)。气藏主要成分为 CO<sub>2</sub>,含量都在 60% 以上(彭晓波等,2003),层位上分布在从古生界至新近系明化镇组。

尽管 CO<sub>2</sub> 气在地壳浅层运聚成藏与常规的烃气相似,都要求有丰富的源、储层、圈闭、输导系统和盖层,但在成因或来源上与烃气有天壤之别。20 世纪 90 年代以来国内外许多学者做了关于 CO<sub>2</sub> 气藏的研究(戴金星,1995;戴金星等,1997;Ballentine *et al.*, 2000; McPherson and Cole, 2000; Pinti and Marty, 2000; 汤达祯等,2002;王震亮等,2004),但主要集中于成因方面,而在 CO<sub>2</sub> 气藏形成条件、成藏模式、富集规律方面的综合研究较少。“八五”以来,由胜利石油管理局牵头,国家地震局、中国科学院地质和地球物理研究所、北京大学、南京大学和西北大学等单位联合对胜利油区非烃类气体(二氧化碳和氦气)产出的大地构造背景、区域地质特征、二

氧化碳的成因、成藏规律以及有利勘探方向与目标进行了预研究,初步认为胜利油气区 CO<sub>2</sub> 气藏主要为无机幔源成因;初步提出 CO<sub>2</sub> 气释放、运移模式(机理)与成藏规律,CO<sub>2</sub> 气田(藏)分布与第三纪碱性系列火山岩分布和氦(He)、氩(Ar)同位素比值异常区分布有相关性(曹忠祥等,2001;陈红汉,2001)。总的来说,对 CO<sub>2</sub> 气成藏规律的研究仍处于探索性阶段。本文深入研究了济阳拗陷断裂活动和岩浆活动对幔源 CO<sub>2</sub> 气成藏的影响作用,以及济阳拗陷深大断裂、火成岩分布与 CO<sub>2</sub> 气藏及分布的关系,可进一步深化对济阳拗陷 CO<sub>2</sub> 气成藏规律的认识,对其他地区 CO<sub>2</sub> 气藏(田)的勘探开发也将具有借鉴意义。

## 1 断裂活动与 CO<sub>2</sub> 气成藏的关系

### 1.1 影响 CO<sub>2</sub> 气成藏的断裂特征

幔源 CO<sub>2</sub> 气运移的动力,主要是靠地球内部压力的释放,即断裂活动—能量释放—打破地应力平

衡—幔源流体包括 CO<sub>2</sub> 主要将沿着断裂带向低能方向运移。济阳拗陷断裂十分发育,据统计大大小小断裂共有 1 600 余条。济阳拗陷北与埕宁隆起相隔的埕南断层,南与鲁西隆起为界的齐广断层,都是成盆基底深断裂。埕南断层最大落差上万米,但断面上陡下缓,倾角 5°~10°,向南与齐广断层相交,在这 2 条大断层形成的近乎箕状的空间内,还有约 24 条基底或基底深断裂呈网状与之相交,形成了一个骨干断裂网络,而在惠民凹陷和东营凹陷的结合部位这个网络更为密集。

这些基底和基底深断裂可分为长期活动型和早期活动型 2 种主要类型:(1)长期活动型,从中生代到新近纪,以至到上新世(明化镇组沉积期),个别到第四纪仍在活动。断裂层位分布在太古界—明化镇组或馆陶组,以至平原组,并根据太古界断的深浅可分为 2 个亚类,①长期活动基底深大断裂,有阳信、齐广、白桥断层;②长期活动基底断裂,有高青—平南、石村—广饶、林樊家、曲堤、王判镇、仁凤、夏口断层。这 2 类断层,前者比后者断得更深一些,控制了拗陷(凹陷)的发育,或凹陷(拗陷)内的构造格局。其中,相当部分是“先逆后正”的大断层。长期活动的断层是晚成藏的必要条件。高青地区 3 条大断层,齐广、高青—平南和林樊家都是长期活动断层,且齐广断层通过益都断层还与郯庐断裂相连,这也是其他地区不可比拟的优势;(2)早期活动型,主要活动期是中生代到新生代早期,一般新生代活动强度减弱,大多在始新世中期(沙四段—沙三段沉积期),也有到中生代,少数到渐新世中期(沙一段沉积期)方停止活动。断裂层位:太古界—沙河街组,个别仅断至中生界。也分成了 2 个亚类,①早期活动基底深大断裂,有临商、郑店—青城断层;②早期活动基底断裂,有八里泊、商店、商店南、商店东、林樊家—青城断层。也是前者比后者断得更深,一般控制二级构造带的发育,影响着凹陷内的构造格局。

郯庐断裂是我国东部的一条北北东走向的超壳—岩石圈断裂,利用二辉石温度计计算橄榄岩包体形成深度,推测最大可达 50~80 km,同时,郯庐断裂地震活动频繁,仅安徽的安庆—山东的安丘 1970~1989 年大大小小地震发生过 90 次之多,因此,对于济阳拗陷的来说,幔源 CO<sub>2</sub> 气的运移途径,不排除通过郯庐断裂侧向运移的可能,更重要的是郯庐断裂活动的连动作用,引发了济阳拗陷的断裂活动和岩浆活动,导致了幔源 CO<sub>2</sub> 气的垂向运移。

## 1.2 断裂与 CO<sub>2</sub> 气成藏的关系

深大断裂是地幔物质向地表运移的主要通道,其对幔源 CO<sub>2</sub> 的释放起到非常重要的作用。国外学者对深大断裂对幔源 CO<sub>2</sub> 释放作用的研究主要集中在一些多地震和火山活动的国家,如环太平洋的美、日、前苏联、新西兰等。在全球范围,特别是在环太平洋及亚欧地震带内,幔源 CO<sub>2</sub> 释放点的分布与深大断裂带的分布基本一致。国内陶士振等(1999)对非生物成因气藏的构造成因类型进行了详细的研究,阐述了不同构造作用形成气藏的类别。朱岳年和吴新年(1994)研究了全球高含 CO<sub>2</sub> 天然气的分布特点后发现,CO<sub>2</sub> 气的聚集与深大断裂带的展布关系密切,其分布明显地受控于区域性大断裂,断裂的作用主要是控制 CO<sub>2</sub> 气藏成带出现和形成断层遮挡的 CO<sub>2</sub> 气藏。

一种比较普遍的认识是郯庐断裂对 CO<sub>2</sub> 气藏的形成和分布起着绝对控制作用。这方面的研究资料很多,其主要理由是中国东南部地区 CO<sub>2</sub> 气藏分布区都形成于距郯庐断裂不远的盆地内。但仔细分析不同 CO<sub>2</sub> 气田与郯庐断裂的关系可以发现这种关系并不是绝对的,例如,从空间上讲,松辽盆地、济阳拗陷及黄骅拗陷内的 CO<sub>2</sub> 气田分布在郯庐断裂的西侧,而黄桥 CO<sub>2</sub> 气田则分布在郯庐断裂的东侧。另外有很多研究者对郯庐断裂在庐江是否向南延伸表示怀疑,因此,三水盆地内 CO<sub>2</sub> 气田的分布与郯庐断裂的关系同样值得怀疑。南海琼东南盆地内 CO<sub>2</sub> 气田的形成显然与郯庐断裂没有什么关系,因此,郯庐断裂与东部探区内 CO<sub>2</sub> 气田的分布关系可能是间接的。这种间接关系主要表现 2 个方面:一是郯庐断裂或类似的 NE 向深大断裂的存在和活动导致研究区次一级深大断裂的形成,如高青—平南断层、阳信断层及阳信—滨县断层等,而这些断层的形成与 CO<sub>2</sub> 气藏的分布直接相关;二是郯庐断裂的形成间接地导致中国东部中生代裂谷盆地的形成和演化,同时对盆地内中生代岩浆活动具有一定的控制作用。

以济阳拗陷为例,从空间上看,目前已发现的 CO<sub>2</sub> 气藏主要分布于八里泊、阳信、平方王、花沟及梁古 1 井等地。而根据地球物理和地质资料的分析,这些地区几乎都处于 NE 与 NW 向深大断裂构造的交叉部位,或者主要受 NE 向断裂构造的控制(图 2)。因此有理由认为 NE 向和 NW 向断裂构造,特别是 2 组断裂的交叉部位是控制 CO<sub>2</sub> 气藏形成

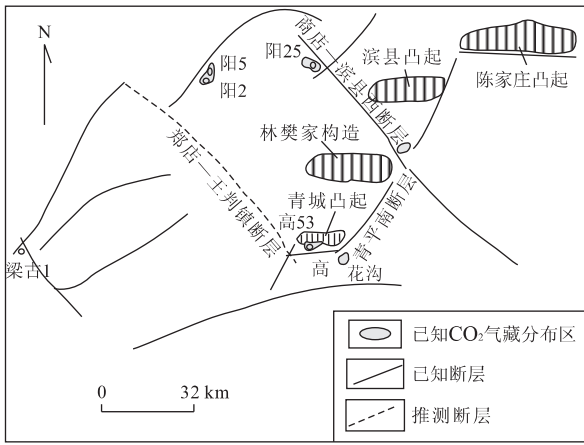


图 2 惠民地区深大断裂与 CO<sub>2</sub> 气藏分布的空间关系

Fig. 2 Spatial relationship between deep faults and distribution of CO<sub>2</sub> gas pools

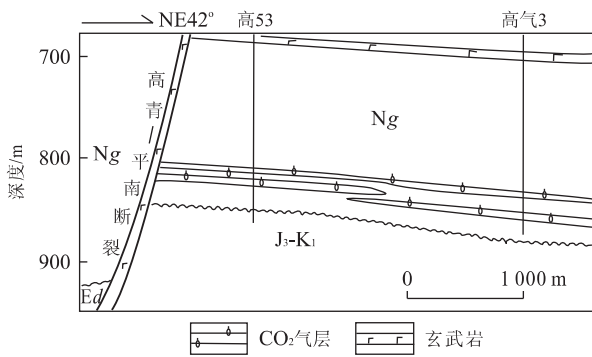


图 3 高青—平南断裂与 CO<sub>2</sub> 气藏的关系

Fig. 3 Relationship between Gaoqing-Pingnan fault and CO<sub>2</sub> gas pool

的最有利部位。

根据已知的与 CO<sub>2</sub> 气藏有关的深大断裂组合特征,深大断裂对 CO<sub>2</sub> 气藏的控制有 2 种情况,一种是深大断裂直接导气,CO<sub>2</sub> 气从深部上来直接沿深大断裂向上运移,然后把 CO<sub>2</sub> 气分配到有利的储集空间中。如青城和花沟地区高青—平南断层对 CO<sub>2</sub> 气藏的控制作用主要是属于这一情况(图 3)。另一种情况是 CO<sub>2</sub> 气沿深大断裂上升后,然后再通过与深大断裂配套的分支断层运移,并通过分支断层将气藏运移到储集层中。如阳信西部阳 2、阳 5 气藏区,CO<sub>2</sub> 气通过阳信断裂向上运移,然后通过阳信断层的分支断层,或配套断层向上运移,并在有利的储层中成藏。

戴金星等(1997)研究发现,CO<sub>2</sub> 的生成、运移、聚集和保存等整个成藏过程均受气源断裂体系的控制,按其在成藏过程中功能的不同,可分为成气断

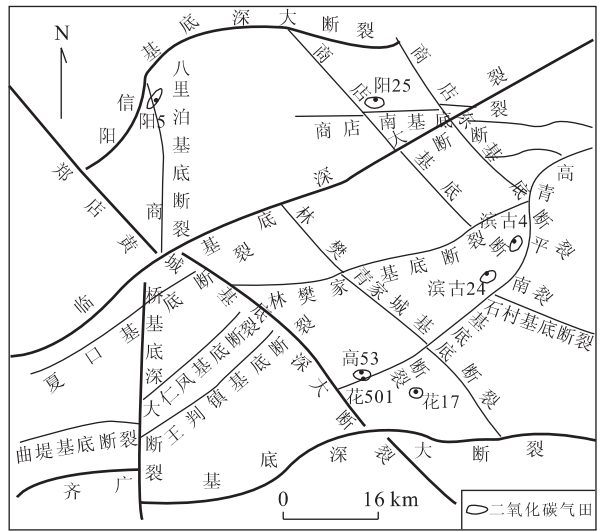


图 4 东营凹陷西部及阳信洼陷构造 Buffer 区与 CO<sub>2</sub> 气田分布

Fig. 4 Structure buffer region and distribution of CO<sub>2</sub> gas fields in the western Dongying sag and Yangxin depression

裂、输气断裂、储气断裂和封气断裂 4 种类型。地幔隆起区的上地幔断裂是幔源岩浆及各种挥发组分向地壳入侵的通道(成气断裂),无机成因 CO<sub>2</sub> 主要通过走滑断裂(输气断裂)运移。在与伸展断裂有关的鼻状构造、古风化壳、隐伏背斜等圈闭中聚集(储气断裂及其他储气构造)。在有利的盖层,例如压性的平滑断裂或有断层泥滞塞的断层及泥岩等(封气断裂及其他封气构造)条件下气藏保存下来。表 1 列出了济阳拗陷几个主要无机成因二氧化碳气藏形成的断裂控制体系。

对阳信洼陷和东营凹陷西部发现的 6 个 CO<sub>2</sub> 气田附近的基底构造利用 MapGIS 的空间分析模块做 Buffer 分析(图 4)。对不同的构造赋予不同的光栅半径,基底深大断裂赋 5,基底断裂赋 2。从断裂的 Buffer 图上可以看出,整个地区 NE 向的断裂、NW 的断裂和近 EW 的断裂相互交织,构成了一个相互连通的断裂网络体系,次级基底断裂全与基底深大断裂相通。这种连通的断裂网络体系为岩浆和 CO<sub>2</sub> 气的运移提供了良好的通道。

在阳信洼陷和东营凹陷西部发现的 6 个 CO<sub>2</sub> 气田,都与断裂有密切的关系。高青 CO<sub>2</sub> 气田和花沟花 501 井在高青—平南基底断裂与郑店青城基底深大断裂的交汇处;平方王、平南气田与高青—平南基底断裂相邻,并且与林樊家、商店、商店东基底

表1 济阳拗陷无机成因二氧化碳气藏的气源断裂体系结构类型

Table 1 Structural types of gas source fault system of inorganic CO<sub>2</sub> gas reservoirs in Jiyang depression

| 气藏   | 源断裂体系结构类型 |                  |                 |             |
|------|-----------|------------------|-----------------|-------------|
|      | 成气断裂      | 输气断裂             | 储气断裂            | 封气断裂        |
| 平方王  | 高青—平南断裂   | 高青—平南断裂          | 穹隆背斜            | 潜山披覆构造及倾滑断层 |
| 花17井 | 高青—平南断裂   | 齐广断裂             | 水下扇形砂体(受伸展地堑控制) | 断块构造        |
| 平南   | 高青—平南断裂   | 高青—平南断裂与NW向断裂交会带 | 次生孔隙、裂隙         | 倾滑断层侧封      |
| 高青   | 高青—平南断裂   | 断裂—岩脉通道          | 高青凸起中生界侵蚀面      | 断层内岩脉阻塞     |

断裂与高青—平南断裂交汇的地方很近;阳2、阳5气藏位于阳信基底深大断裂与八里泊基底断裂的交汇部位;阳25气藏在商店南与商店基底断裂交汇的地方;花17井气藏可能与齐广基底深大断裂有关(图4)。因此,幔源CO<sub>2</sub>运移到地表成藏的主要通道是断至上地幔的深大断裂,CO<sub>2</sub>伴随着岩浆、地震等活动运移到地表,在各种气源断裂体系的控制下,当遇到适当的圈闭时就聚集成藏。

综上所述,齐广断层是研究区的成气断层,输气断层如高青—平南断层、商店—平方王断层、王判镇断层、白桥断层可能对气藏的形成有较大的控制作用,而临邑—夏口断层和临商断层等输气断层则可能起着相对较小的作用。

## 2 岩浆活动与CO<sub>2</sub>气成藏的关系

### 2.1 影响CO<sub>2</sub>气成藏的岩浆活动特点

断裂活动和岩浆活动互为因果关系。大断裂的交汇处往往是岩浆活动通道。断裂的交汇部位成为应力的集中点,是地壳中最薄弱、开启性最强的部位,因此成为壳幔物质上涌的主要通道。戴金星等(1995)指出,“无机成因(CO<sub>2</sub>)气藏有利区带预测”要注意“NE—NNE向伸展断裂带,特别是存在北西—北西西向断裂的交汇部位”。虽不同地区地质条件存在着较大的差异,但都将遵循一定的模式,以岩浆活动通道为中心,形成各具特点的火成岩发育体系。

济阳拗陷中生代岩浆活动强烈,具有活动的多期性和一定的规律性,体现了裂谷盆地这一显著特点。可分中生代、古近纪和新近纪3个旋回期。大的变化趋势,从中生代至新近纪活动逐渐减弱,钻遇最大厚度从中生代和老第三纪的上千米到新第三纪20~30 m,岩石类型大致呈现从安山岩—安山质玄武岩—橄榄玄武岩—苦橄岩、从酸性—中基性—基性—超基性的变化规律。

但中生代旋回期岩浆活动时间主要是在晚侏罗世—早白垩世,这对于晚期形成的圈闭贡献不大,再则,济阳地区中生代也只是一些小的洼地和山间盆地,没有大的圈闭,难于形成大的CO<sub>2</sub>气藏,同时,由于燕山运动末的沉积间断及断裂活动,成藏后也难于保存,相反,古近纪和新近纪,尤其是新近纪各种圈闭类型的大规模发育和臻于完善,大多断层已停止活动,少数成盆或成凹断层活动也十分微弱,以及晚成藏物理作用和化学作用对CO<sub>2</sub>气的较小消耗,因而是较为有利的成藏期。

火成岩发育体系主要集中于惠民凹陷和东营凹陷的结合部位。西部在高青断层与郑店—青城断层交汇区域,形成了以上新世早期玄武岩为主体的火成岩发育体系;东部在平南断层与林樊家—青城断层交汇区域,形成了以中新世早期玄武岩为主体的火成岩发育体系。可以认为,古近系发育的部分或大部分侵入岩,应分别是这2个火成岩发育体系的组成部分,这是济阳拗陷火成岩发育一个显著的特点。在这个“结合部”,火成岩的发育差异也很大,这主要同断裂活动有着密切的关系。高青地区与阳信洼陷东部和商河—玉皇庙构造不同,新近纪,尤其是上新世玄武岩的发育,是其他任何一个地区不可比拟的。

### 2.2 岩浆活动与CO<sub>2</sub>气成藏的关系

岩浆活动是地球深部CO<sub>2</sub>气垂向运移的载体,也为地壳中碳酸盐矿物的分解生气提供了热源,在岩浆岩不同的岩相带中都可以有不同程度的储集空间发育,在某些情况下岩浆岩也可以作为气藏的盖层存在,因而岩浆活动在CO<sub>2</sub>气的迁移和圈闭过程中起着重要的作用。

对大量的不同成份的火山—岩浆活动及岩浆岩体中包裹体分析表明,无论是基性还是酸性岩浆中的挥发组分均以水和二氧化碳为主,因此,只要有岩浆活动,总会伴随二氧化碳气体的释放。但是不同的岩浆由于其形成于地壳的不同部位和不同的地球化

学过程,因此,岩浆中含二氧化碳气的程度是不同的,从研究区的情况看碱性的基性岩浆活动较有利于二氧化碳的迁移。

从目前找到的 CO<sub>2</sub> 气藏来看,既有与侵入岩有关的,也有与喷出岩有关的(图 1)。青城凸起西部至王判镇一带广泛发育新近纪的玄武岩,厚度几十米,向东减薄并尖灭;高青 CO<sub>2</sub> 气藏正是位于该玄武岩的分布范围内(图 3),而往东部,该套玄武岩之外则是烃类气藏。显然 CO<sub>2</sub> 气藏的形成与喷发岩有关,此外,阳 25 井 CO<sub>2</sub> 气藏也与喷出岩有关;而阳信的八里泊 CO<sub>2</sub> 气藏、花 17 井 CO<sub>2</sub> 气藏等均与古近纪的侵入岩有关。岩浆上升、侵入、结晶并与围岩相互作用可以形成不同的岩相带,如火山通道相、次火山岩相、浅成侵入相以及喷出相和溢流相等。从延伸的深度看,火山通道可以延伸至地下 15~30 km 以下的富 CO<sub>2</sub> 气的岩浆房,可以成为 CO<sub>2</sub> 气体释放的有利相带。

从气藏保存的角度看,浅成侵入相及次火山岩相中的 CO<sub>2</sub> 释放一般是在距地表 3 km 以上的深度范围内进行的,由于围岩的封盖,对 CO<sub>2</sub> 气体的成藏是非常有利的;而溢流相以及爆发相中 CO<sub>2</sub> 的释气有非常大的部分是在地表释放的,因此对成藏不利。但实际上,气体的释放并不仅仅只在岩浆喷发过程中进行的,在岩浆喷发以后沿火山口仍然长时间有气体的逸出,另一方面封固在火山岩气孔中的气体会逐渐从岩浆中释放出来,高青气藏的形成就可能和后 2 种因素有关,其中沿火山口的释放可能是最主要的。

由于 CO<sub>2</sub> 气在物理性质方面的特性,在形成气藏之后,气体分布于侵入相火成岩的上部,如阳 5 气藏、花 17 气藏和平方王气藏等;而喷出相的火成岩气藏中气体则主要位于火成岩喷出相的下部,并沿火山口附近聚集,如花沟气田以及阳 25 气藏等(图 1)。

### 3 结论

(1) CO<sub>2</sub> 气源是形成 CO<sub>2</sub> 气田(藏)的物质基础。济阳拗陷 CO<sub>2</sub> 气藏聚集带的形成与特殊的深部构造背景和大地构造环境有关。(2) 幔隆形成的高热—热构造区、深部频繁的火山活动可提供丰富的 CO<sub>2</sub> 气源,具备 CO<sub>2</sub> 气田(藏)形成的基本地质条件;岩浆冷却期因结晶收缩和温压条件下降,也是 CO<sub>2</sub> 释放期和最为有利的成藏期。济阳拗陷以 NE

—NEE 向伸展断裂带,特别是与 NW—NWW 向断裂交汇部位为有利的 CO<sub>2</sub> 气藏富集部位。(3) 断裂对 CO<sub>2</sub> 气田(藏)的形成具有明显的控制作用:① 深大断裂控制 CO<sub>2</sub> 气成藏带;② 边界断裂及其派生的不同方向、不同级别的断裂控制了盆地内 CO<sub>2</sub> 气田(藏)的形成与分布。(4) CO<sub>2</sub> 气田(藏)的形成和分布与火山活动密切相关,这是因为火山活动除了直接提供大量 CO<sub>2</sub> 之外,还因热效应热解生成 CO<sub>2</sub>。但对于幔源岩浆侵入相而言,隐伏地下深处岩浆脱气通过深大断裂输导至浅层盆地圈闭也可形成大规模 CO<sub>2</sub> 气藏,不一定要求 CO<sub>2</sub> 气藏与火山岩直接相关。(5) CO<sub>2</sub> 气在地壳浅层具有与油气相似的运移和扩散方式,但比烃类更容易与“围岩”发生反应;在储集、圈闭因素方面还没有发现与烃气有什么区别。

### References

- Ballentine, C. J., Schoell, M., Coleman, D., et al., 2000. Magmatic CO<sub>2</sub> in natural gases in the Permian basin, West Texas; Identifying the regional source and filling history. Proceedings of Geofluids III. In: *Journal of Geochemical Exploration*, Pueyo, J. J., Cardellach, E., Bitzer, K., et al., eds., 69—70:59—63.
- Cao, Z. X., Che, Y., Li, J. L., et al., 2001. Accumulation analysis on a helium-enriched gas reservoir in Huagou area, the Jiyang depression. *Petroleum Geology & Experiment*, 23(4):395—399 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. H., 2001. Advances in research on C-He natural gas system of sedimentary basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 15(4):295—298 (in Chinese with English abstract).
- Dai, J. X., Song, Y., Dai, C. S., et al., 1997. Formational conditions of abiogenic origin gas and its pools in eastern China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Dai, J. X., 1995. Abiogenic gas in oil-gas bearing basins in China and its reservoirs. *Natural Gas Industry*, 15(3):22—27 (in Chinese with English abstract).
- McPherson, B. J. O. L., Cole, B. S., 2000. Multiphase CO<sub>2</sub> flow, transport and sequestration in the Powder River basin, Wyoming, USA. Proceedings of Geofluids III. In: *Journal of Geochemical Exploration*, Pueyo, J. J., Cardellach, E., Bitzer, K., et al., eds., 69—70:65—69.
- Peng, X. B., Chen, J. Y., Cao, Z. X., 2003. Origin study of the non-hydrocarbon gases of the Huagou gas field in the Shengli petroleum area. *Geological Science and Technology Information*, 22(1):79—82 (in Chinese

with English abstract).

Pinti, D. L., Marty, B., 2000. Noble gases in oil and gas fields; Origins and processes. In: Fluids and basin evolution, Kurt, K. C, ed., 163-196.

Tang, D. Z., Liu, H. X., Li, X. M., et al., 2002. Probe into deep-seated structural factors of abiogenic gas accumulation and storage in Jiyang depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(1): 30-34 (in Chinese with English abstract).

Tao, S. Z., Liu, D. L., Yang, X. Y., et al., 1999. Progress in the study of the types, distribution and reservoirs of CO<sub>2</sub> gas of inorganic origin. *Regional Geology of China*, 18(2): 218-222 (in Chinese with English abstract).

Wang, Z. L., Sun, M. L., Zhang, L. K., et al., 2004. Evolution of abnormal pressure and model of gas accumulation in Xujiache Formation, western Sichuan basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(4): 433-439 (in Chinese with English abstract).

Zhu, Y. N., Wu, X. N., 1994. Geological study of CO<sub>2</sub>. Lanzhou University Press, Lanzhou (in Chinese).

附中文参考文献

曹忠祥, 车燕, 李军亮, 等, 2001. 济阳拗陷花沟地区高含 He 气藏成藏分析. *石油实验地质*, 23(4): 395-399.

陈汉红, 2001. 沉积盆地 C-He 天然气系统研究进展. *中国海上油气(地质)*, 15(4): 295-298.

戴金星, 宋岩, 戴春森, 等, 1997. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件. 北京: 科学出版社.

戴金星, 1995. 中国含油气盆地的无机成因气及其气藏. *天然气工业*, 15(3): 22-27.

彭晓波, 陈建渝, 曹忠祥, 等, 2003. 胜利油区花沟气田非烃类气体成因研究. *地质科技情报*, 22(1): 79-82.

汤达祯, 刘鸿祥, 李小孟, 等, 2002. 济阳拗陷非生物成因气聚集的深层构造因素探讨. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(1): 30-34.

陶士振, 刘德良, 杨晓勇, 等, 1999. 无机成因二氧化碳气的类型分布和成藏控制条件. *中国区域地质*, 18(2): 218-222.

王震亮, 孙明亮, 张立宽, 等, 2004. 川西地区须家河组异常压力演化与天然气成藏模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(4): 433-439.

朱岳年, 吴新年, 1994. 二氧化碳地质研究. 兰州: 兰州大学出版社.

\*\*\*\*\*

(上接 458 页)

刘克奇, 金之钧, 2004. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(4): 489-494.

卢鸿, 王铁冠, 王春江, 等, 2001. 黄骅拗陷千米桥古潜山构造凝析油气藏的油源研究. *石油勘探与开发*, 28(4): 17-21.

吕修祥, 1992. 渤海湾盆地八面河地区潜山油气聚集. *石油学报*, 20(2): 23-29.

庞雄奇, 李素梅, 金之钧, 等, 2004. 渤海湾盆地八面河地区油气运聚与成藏特征分析. *中国科学(D 辑)*, 34(增刊 1): 152-161.

庞雄庞, 李素梅, 黎茂稳, 等, 2001. 八面河地区“未熟—低熟油”成因探讨. *沉积学报*, 19(4): 586-591.

谯汉生, 方朝亮, 牛嘉玉, 等, 2002. 渤海湾盆地深层石油地

质. 北京: 石油工业出版社, 34-89.

妥进才, 2002. 深层油气研究现状与进展. *地球科学进展*, 17(4): 565-571.

吴景富, 孙玉梅, 席小应, 等, 2003. 一种有效的油气成藏研究手段—有机包裹体生物标志物分析: 以渤海中部沙东南构造带为例. *岩石学报*, 19(2): 348-354.

曾宪章, 梁狄刚, 王忠然, 等, 1989. 中国陆相原油和生油岩中的生物标志物. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 206.

张林晔, 张春荣, 1999. 低熟油生成机理及成油体系——以济阳拗陷牛庄洼陷南部斜坡为例. 北京: 地质出版社, 5-123.

赵萌, 赵红, 王汇同, 等, 2003. 分子筛固相萃取联合正构烷烃法. *石油勘探与开发*, 30(5): 83-85.