

海拉尔—塔木察格盆地中部断陷带 岩浆活动与 CO₂ 成藏的关系

张铜磊¹, 陈践发¹, 朱德丰², 赵兴齐¹, 张晨¹

(1. 中国石油大学地球科学学院油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要:海拉尔—塔木察格盆地的岩浆活动主要分为海西期和燕山期。盆地内岩浆岩年龄分布在 84~129Ma 之间, 岩浆岩主要为安山岩、玄武岩和凝灰岩; 在盆地中部断陷带油气勘探中发现了 CO₂ 气藏, 其 CO₂ 稳定碳同位素、伴生稀有气体氦和氩同位素组成特征, 指示中部断陷带天然气藏中的 CO₂ 主要为壳幔混合成因, CO₂ 气藏主要分布在乌北苏仁诺尔断裂构造带、乌南洼槽和巴彦塔拉断裂构造带, 但是其分布范围与燕山期岩浆岩体不太吻合, 笔者认为有火山岩浆活动带分布的地区不一定都会有 CO₂ 气藏。苏 2 井 CO₂ 气藏的成藏特征, 反映了断裂活动对 CO₂ 生成和聚集的控制作用, 指出由切割南屯组及其以下地层的深大断裂沟通的南屯组和铜钵庙组是寻找具有经济价值 CO₂ 气藏的有利层段。

关键词:CO₂ 气藏; 岩浆活动; 断层; 海拉尔—塔木察格盆地; 中部断陷带

中图分类号:TE122

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2011)04-0664-06

引用格式:张铜磊, 陈践发, 朱德丰, 等. 海拉尔—塔木察格盆地中部断陷带岩浆活动与 CO₂ 成藏的关系[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 664-669.

0 引言

近几年来, 在海拉尔—塔木察格(海—塔)盆地的油气勘探中, 发现了许多 CO₂ 含量很高的天然气藏^[1-6]。深入研究该区 CO₂ 的成藏和分布规律, 对降低以寻找烃类气体为主的天然气藏勘探风险或者寻找具有经济价值的纯 CO₂ 气藏都具有重要的实践意义。通过对 CO₂ 稳定碳同位素以及伴生的稀有气体氦和氩同位素分析研究表明, 海—塔盆地中部断陷带 CO₂ 稳定碳同位素值较高, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值为 $-13.1\text{‰} \sim -8.2\text{‰}$, 为无机成因 CO₂; 伴生稀有气体氦同位素³He/⁴He 值为 $(1.68 \sim 1.76) \times 10^{-6}$, R/Ra 值为 1.20~1.26; 伴生稀有气体氩同位素⁴⁰Ar/³⁶Ar 值为 916~996, 也显示出幔源或壳幔混合 CO₂ 的特征。综合判定, 海—塔盆地中部断陷带 CO₂ 为壳幔混合成因。本文将根据岩浆活动特征、断裂分布特征, 对海—塔盆地中部断陷带 CO₂ 气藏

的分布规律与成藏特征做进一步分析。

1 区域地质背景

海—塔盆地位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟西南部, 西起呼伦湖西岸及巴彦呼舒一线, 东至伊敏河; 北自陈巴尔虎旗, 南至贝尔湖并向南延伸于蒙古境内。海—塔盆地呈现的盆岭格局, 以巴彦山隆起为中心, 西侧的乌尔逊凹陷、贝尔凹陷、查干诺尔凹陷为“西断东超”的箕状断陷, 东侧的呼和湖凹陷、旧桥凹陷主体为“东断西超”的结构。海—塔盆地经历了断陷(铜钵庙期—伊敏期)和拗陷(青元岗期—现今)两大阶段, 由 2 期强烈沉降、2 期反转、2 期扩张交替组成。

海—塔盆地以内陆湖相碎屑岩为主, 盆地的沉积基底为古生界和前古生界, 主要沉积地层为侏罗系的兴安岭群和白垩系, 其次为第三系及第四系。其中白垩系为目前勘探主要的目的层, 中上侏罗统

的布达特群在乌尔逊凹陷不发育,而下白垩统铜钵庙组只在贝尔凹陷内局部发育。盆地内主要生油层是下白垩统的南屯组和大磨拐河组,为一套浅—深湖相沉积。盆地内储集层比较发育,获工业油气流或较好油气显示的储层,垂向上可分为 5 套:基

岩风化壳、布达特群、铜钵庙组、南二段和大二段^[7-8]。海—塔盆地的中部断陷带(乌尔逊凹陷、贝尔凹陷、塔南凹陷、南贝尔凹陷)是全盆地的主力凹陷(图 1),展现了良好的勘探前景,同时也是历年探井及勘探力度重点倾斜的凹陷,且潜力巨大,勘

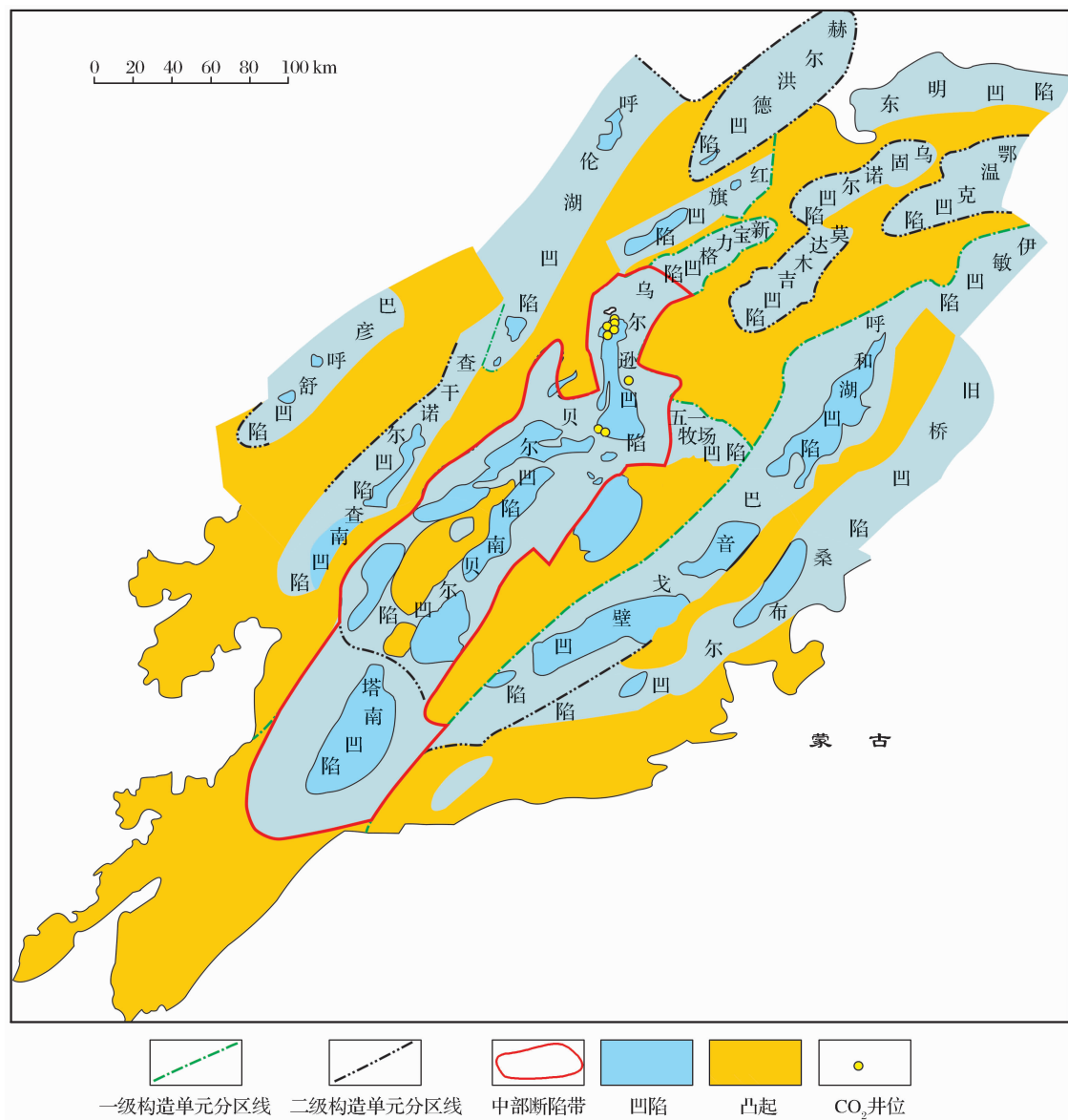


图 1 海—塔盆地构造单元划分

探程度高。

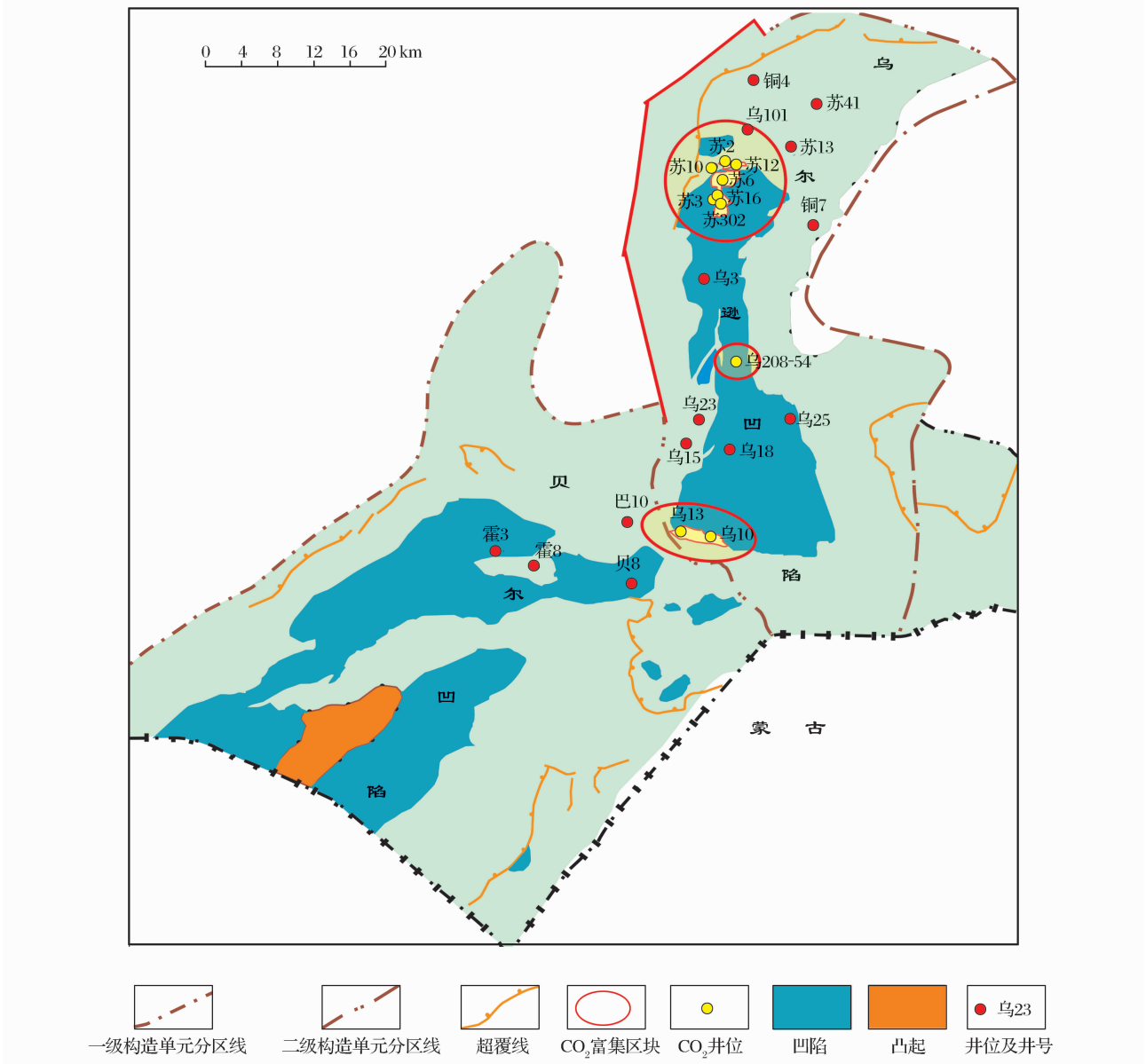
2 CO₂ 分布特征及成因分析

2.1 CO₂ 分布特征

海—塔盆地自 1986 年发现非烃气藏以后,1993 年在乌尔逊断陷苏仁诺尔区苏 6-3 号断块部署钻探苏 2 井,在南一段解释差气层 63 m/5 层,气水同层 65.2 m/层。1997 年对该井—1 434.0~—1 449.0 m 井段测试获 22 191 m³/d 工业气流,经分析 CO₂ 占

97.5%,由此发现了 CO₂ 工业气藏^[2]。

海—塔盆地中部断陷带具有 3 个高 CO₂ 富集区块(带)(图 2):①苏仁诺尔断裂构造带,此处已发现苏 2 井、苏 3 井、苏 6 井等 7 口 CO₂ 气井,CO₂ 平均含量均大于 90%;②乌南洼槽地区,乌 208-54 井为此区典型的 CO₂ 代表井,CO₂ 平均含量均大于 90%;③巴彦塔拉断裂构造带,乌 10 井和乌 13 井为已发现的 CO₂ 井,乌 10 井 CO₂ 平均含量大于 80%,乌 13 井 CO₂ 平均含量约为 76%。



2.2 CO₂ 成因

海一塔盆地中部断陷带 CO₂ 稳定碳同位素组成较重, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值为 $-13.1\text{‰} \sim -8.2\text{‰}$ 。CO₂ 含量非常高, 分布在 76%~97% 之间。研究区 CO₂ 的稳定碳同位素值及其含量均体现了无机成因 CO₂ 的特征(表 1)。

从苏 12 井、苏 16 井 2 个 CO₂ 含量很高的天然气样的氦、氩同位素分析结果来看, 苏 12 井、苏 16 井天然气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值分别为 1.76×10^{-6} 和 1.68×10^{-6} , 相应的 R/R_a 值为 1.26 和 1.2, 二者均大于 1, 高于大气来源氦的表征值, 但又介于幔源氦与壳源氦的界限之间, 反映地壳与地幔混源氦的同位素组成特征(表 2)。通过碳同位素组成、CO₂ 含量和伴生稀有气体氦、氩同位素等地球化学参数的分析, 并

结合海一塔盆地地质背景, 可以判定研究区 CO₂ 为无机成因。

表 1 海一塔盆地 CO₂ 气藏中 CO₂ 及烃类气碳同位素组成特征

| 井位 | CO ₂ /% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ /‰ | $\delta^{13}\text{C}_1$ /‰ | $\delta^{13}\text{C}_2$ /‰ | $\delta^{13}\text{C}_3$ /‰ |
|----------|-----------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 苏 2 | 97.6 | -11.4 | -47.7 | -41.2 | -31.6 |
| | 96.2 | -8.2 | — | — | — |
| 苏 6 | 98.8 | -10.2 | -47.9 | — | — |
| 苏 8 | 92.25 | -13.1 | — | — | — |
| 乌 10 | 94.51 | -11.4 | -49.3 | -37.6 | — |
| 乌 13 | 76.08 | -8.8 | -46.4 | -39.8 | — |
| 乌 208-54 | 92.66 | -12.2 | -45.3 | -30.0 | -29.7 |
| | 91.32 | -12.7 | -48.2 | -35.9 | -32.1 |

表 2 海—塔盆地 CO₂ 气藏中氦、氩同位素组成特征

| 样品名 | 井深/m | 层位 | 采样容器 | 分析数据 | | | |
|------|-----------------|----------------|------|------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | | | $R=^3\text{He}/^4\text{He}$ | R/R_{a} | $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ | $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ |
| 苏 12 | 1 508.6~1 491.8 | N ₁ | 钢瓶 | $(1.76\pm0.05)\times10^{-6}$ | 1.26 | 0.190 7(9) | 966(6) |
| 苏 16 | 1 771.4~1 655.8 | N ₂ | 钢瓶 | $(1.68\pm0.05)\times10^{-6}$ | 1.2 | 0.190 0(9) | 916(5) |
| 苏 6 | 2 010.0~2 024.0 | N ₁ | 钢瓶 | 2.08×10^{-6} | 1.49 | $0.183\,7\times10^{-6}$ | 289.6(5) |

3 火山活动与岩浆岩分布特征

中国东部晚中生代发生大规模的火山喷发和花岗岩岩浆侵位,岩浆活动受 NNE 向或 NE 向断裂控制,并在中国大陆东部形成 2 条规模巨大的构造岩浆岩带;一条为松辽盆地以西构造岩浆岩带,该带从大兴安岭向 SN 方向一直延伸到燕辽地区,活动高峰期为 J₃—K(145~110Ma)期,由陆相火山岩及非常少量的花岗岩组成。火山岩系厚度一般在 1 000~3 000 m 之间,以陆内裂陷型高钾碱性系列火山岩和钾玄岩系列火山岩为主,少量具有钙碱性系列特征。这个带的火山岩不具有从东到西的成分极性,部分同位素示踪分析表明岩浆源区没有洋壳组分参与,推测岩浆活动与太平洋板块的俯冲无直接关系,但受控于东亚环太平洋陆块相互作用总动力学背景下的陆内裂陷作用,该区的火山岩具有成带分布的特点,可能是一种总体被挤压背景下的陆内裂陷作用所控制的构造活动环境。另一条为松辽盆地以东构造岩浆岩带,分布比较零星,中性火山岩发育,由于该构造岩浆岩带对海—塔盆地无影响,此处不再赘述。

海—塔盆地的花岗岩主要分为海西期及燕山期。海西期花岗岩比燕山期发育,其分布特点表现为沿 NE 向基底深大断裂和近 EW 向的海拉尔河深大断裂呈带状展布,在海拉尔盆地西侧的边缘也有大面积的出露。在各断陷内除乌尔逊凹陷、巴彦呼舒凹陷和呼伦湖凹陷不发育外,其他各凹陷则广泛发育。而燕山期花岗岩在乌尔逊凹陷、呼伦湖凹陷、巴彦呼舒凹陷、赫尔洪德凹陷以及呼和湖凹陷较发育。海—塔盆地火山岩体与深大断裂有着密切的关系,海拉尔盆地苏仁诺尔地区苏 8 井在南屯组打到了一套粗面岩,具有中性岩的特征,属钾玄岩系列,它正好是在 CO₂ 气藏分布区,说明海拉尔盆地 CO₂ 气藏与该套火山岩有关,区域对比该套地层相当于东山组,时代为早白垩世晚期^①。从气藏的圈闭形成演化史、火山与岩浆活动、储层流体包裹体均一化温度与地层埋藏—热演化史,综合厘定 CO₂ 气藏与烃类在同一时间成藏,主成藏期在燕山期—伊敏组

沉积末期^②。以上研究表明研究区 CO₂ 气藏主要形成于燕山期的火山活动时期,而海西期的岩浆活动与研究区 CO₂ 成藏无紧要关系。

从研究区 CO₂ 气藏分布特征看,其分布范围与燕山期的花岗岩侵入体并不是很吻合,只有少部分 CO₂ 气井落到花岗岩分布范围内(图 3)。通过对研

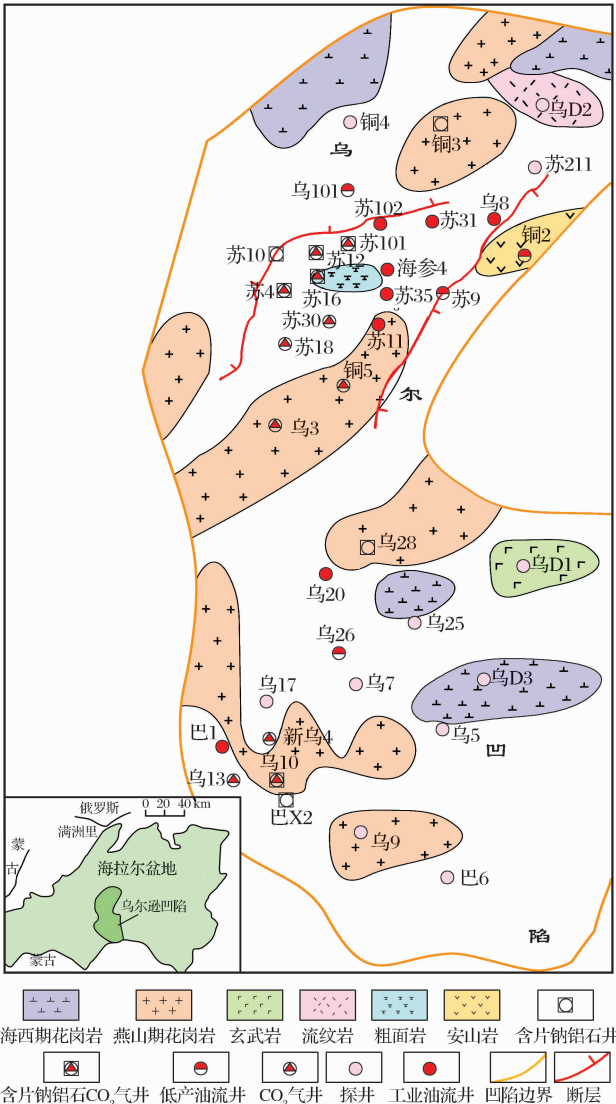


图 3 海—塔盆地 CO₂ 分布与火山、岩浆活动关系

① 吕锡敏,任战利,王红伟,等.海拉尔盆地构造特征与演化史研究.内部报告,2004.
② 陈践发,唐友军,张铜磊.海拉尔—塔木察格盆地中部断陷带 CO₂ 成因与成藏控制因素研究.内部报告,2009.

究区断裂体系的研究,笔者发现研究区的所有 CO_2 气藏均直接或间接与深大断裂沟通,这表明研究区 CO_2 气藏的形成与深大断裂密切相关。研究区的 CO_2 气藏分布特征证实了 CO_2 气藏的富集规律是目前 CO_2 气藏研究的难点所在,虽然本文研究已证实 CO_2 的聚集受深大断裂、火山岩浆活动带的分布等控制,但有火山岩浆活动带分布的地区不一定都会有 CO_2 气藏,储层分布、圈闭条件等也是制约 CO_2 气藏分布的重要因素^①。

4 断裂活动与 CO_2 聚集

位于苏仁诺尔断裂构造带的苏2井,其南屯组二段为高含 CO_2 的天然气藏, CO_2 含量高达 97%, 几乎不含烃类气体,为纯 CO_2 气藏。除了燕山期岩浆活动在该区较为活跃、易形成岩浆—幔源成因的 CO_2 外,断裂活动和分布特征还控制了 CO_2 的聚集和成藏。

苏仁诺尔断裂构造带由 10 个局部断块、断鼻或断背斜组成^②。苏2区块总体上为一个向北倾伏的断背构造,断裂发育,多条 NW 向、NNW 向和 NNE 向断层交叉切割,形成复杂的断块构造(图 4)。剖面上该区块的断裂系统控制着 CO_2 的运移和成藏,该断裂系统可能是沟通深部 CO_2 的重要通道,深部岩浆活动带来的 CO_2 可以通过这些断裂系统,运移至南屯组二段聚集成藏。同时上覆较厚的泥岩构成了优质的盖层,造成了该区 CO_2 的聚集。目前发现的高含 CO_2 的天然气藏绝大多数分布于南屯组地层中,如在苏仁诺尔构造带和乌南洼槽中发现的 CO_2 气藏中 CO_2 平均含量均大于 90%。而巴彦塔拉地区的 CO_2 气藏则以铜钵庙组和古生界为主要储集层位。

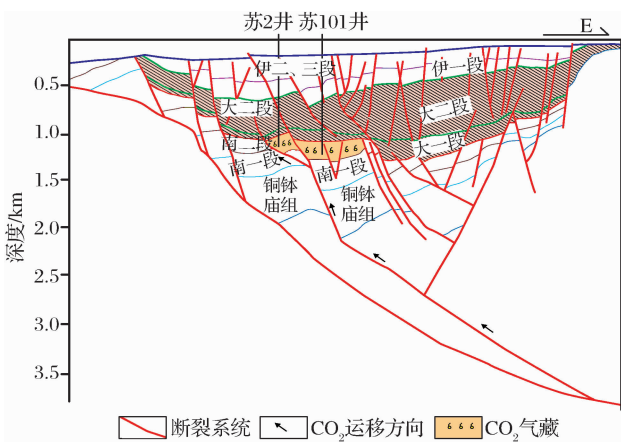


图 4 海—塔盆地中部断陷带苏2井
 CO_2 气藏分布与断裂系统关系

我国东部松辽盆地^[9]、渤海湾盆地^[10]、苏北盆地^[11]、三水盆地^[12]和南海北部大陆架边缘盆地^[13]

等均发现了高含 CO_2 的天然气藏,且大都为岩浆—幔源成因,这些 CO_2 气藏的聚集大都与断层或岩脉伴生,或者附近有岩浆侵入或火山活动^[14-15],表明岩浆活动和断裂分布特征是控制这些地区 CO_2 形成和聚集成藏的主要因素。

5 结论

(1)海—塔盆地中部断陷带天然气藏富含 CO_2 , CO_2 气藏主要分布在乌北苏仁诺尔断裂构造带,乌南洼槽断裂构造带和巴彦塔拉断裂构造带。

(2)海—塔盆地火山岩浆活动较为频繁,总体上分为海西期和燕山期 2 次大规模的火山活动。钻井揭露中生代地层花岗岩分布广泛,然而燕山期的花岗岩侵入体分布与 CO_2 气藏分布不太吻合,表明有火山岩浆活动带分布的地区不一定都会有 CO_2 气藏。

(3) CO_2 碳同位素组成和伴生稀有气体同位素组成表明研究区 CO_2 为壳幔混合成因。

(4)对苏仁诺尔断裂构造带苏2井 CO_2 气藏成藏解剖结果表明,断裂活动和分布特征是控制研究区 CO_2 气藏形成的重要因素。

(5)海—塔盆地中部断陷带的 CO_2 气藏主要以南屯组为储集层位,部分为铜钵庙组和古生界,指出由切割南屯组及其以下地层的深大断裂沟通的南屯组和铜钵庙组是寻找具有经济价值 CO_2 气藏的有力勘探层位。

参考文献(References):

- [1] Chen Junliang, Wu Heyong, Zhu Defeng, *et al.* Tectonic evolution of the Hailaer basin and its potentials of oil-gas exploration[J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(1): 147-159. [陈均亮, 吴何勇, 朱德丰, 等. 海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 147-159.]
- [2] Wang Pingzai, Li Mingsheng, Wang Jiang. Petroleum geology and exploration potential of Wuerxun helium-bearing CO_2 gas reservoir in Hailaer basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2003, 10(6): 9-12. [王平在, 李明生, 王江. 海拉尔盆地乌尔逊含氦二氧化碳气藏石油地质特征及勘探前景[J]. 特种油气藏, 2003, 10(6): 9-12.]
- [3] Ma Zhongzhen, Pang Xiongqi, Wei Jianshe, *et al.* Petroleum geology of Wuerxun sag in Hailaer basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(3): 296-299. [马中振, 庞雄奇, 魏建设, 等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷石油地质特征[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(3): 296-299.]

① 陈践发, 唐友军, 张铜磊. 海拉尔—塔木察格盆地中部断陷带 CO_2 气成因与成藏控制因素研究. 内部报告, 2009.

② 华北石油恒业技术服务中心. 乌尔逊—贝尔凹陷构造特征与油气富集规律. 内部报告, 2003.

- [4] Gao Yuqiao, Liu Li. Time recording of inorganic CO₂ and petroleum infilling in Wuerxun depression, Hailaer basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(4): 574-582. [高玉巧, 刘立. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷无机 CO₂ 与油气充注的时间记录[J]. *沉积学报*, 2007, 25(4): 574-582.]
- [5] Gao Yuqiao, Liu Li, Qu Xiyu. Petrologic characteristics of dawsonite-bearing sandstones in Wuerxun sag of Hailaer basin and Gudian CO₂ gasfield in Songliao basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(2): 111-123. [高玉巧, 刘立, 曲希玉. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷与松辽盆地孤店 CO₂ 气田含片钠铝石砂岩的岩石学特征[J]. *古地理学报*, 2008, 10(2): 111-123.]
- [6] Wang Jiang, Zhang Hong, Lin Dongcheng. Petroleum geology and exploration potential of Wuerxun helium-bearing CO₂ gas reservoir in Hailaer basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2002, 22(4): 109-111. [王江, 张宏, 林东成. 海拉尔盆地乌尔逊含氮 CO₂ 气藏勘探前景[J]. *天然气工业*, 2002, 22(4): 109-111.]
- [7] Xu Zhenzhong, Yao Jun, Wang Xibing, *et al.* Sedimentary microfacies and gas/oil distribution in I oil formation in Xinganling Group, Sudeerte oilfield [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(5): 680-684. [徐振中, 姚军, 王夕宾, 等. 海拉尔盆地苏德尔特油田兴安岭群 I 油层组沉积微相及其含油气性[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(5): 680-684.]
- [8] Liu Zhenhu. New recognition of coal geochemical characteristic; Geochemical characteristic of coal in Hailaer basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 1992, 3(2): 24-35. [刘振湖. 煤的地球化学特征新认识——海拉尔盆地煤地球化学特征剖析[J]. *天然气地球科学*, 1992, 3(2): 24-35.]
- [9] Fu Xiaofei, Song Yan. Inorganic gas and its resource in Songliao basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(4): 23-28. [付晓飞, 宋岩. 松辽盆地无机成因气及气源模式[J]. *石油学报*, 2005, 26(4): 23-28.]
- [10] Qiu Longwei, Wang Xingmou. A study on relationship between fault activity and CO₂ pools in the Jiyang depression [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(3): 430-440. [邱隆伟, 王兴谋. 济阳拗陷断裂活动和 CO₂ 气藏的关系研究[J]. *地质科学*, 2006, 41(3): 430-440.]
- [11] Wang Kaiyang. Huangqiao CO₂ gas field in Jiangsu province and the pooling model[J]. *Marine Geology Letters*, 2006, 22(4): 17-20. [王开杨. 江苏黄桥二氧化碳气田及其成藏模式[J]. *海洋地质动态*, 2006, 22(4): 17-20.]
- [12] Yang Changqing, Yao Junxiang. Modes of CO₂ gas reservoir formation in Sanshui basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24(2): 36-40. [杨长清, 姚俊祥. 三水盆地二氧化碳气成藏模式[J]. *天然气工业*, 2004, 24(2): 36-40.]
- [13] He Jiaxiong, Xia Bin, Yan Pin, *et al.* Migration and accumulation of abiogenic CO₂ from multiple sources in the Yinggehai-Qiongdongnan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(4): 10-15. [何家雄, 夏斌, 阎贫, 等. 莺—琼盆地多源非生物 CO₂ 运聚成藏特征[J]. *天然气工业*, 2007, 27(4): 10-15.]
- [14] Li Xianqi, Dai Jinxing. Geochemical characteristics and genetic analysis of CO₂ fields (pools) in east China[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1997, 19(3): 215-221. [李先奇, 戴金星. 中国东部二氧化碳气田(气藏)的地化特征及成因分析[J]. *石油实验地质*, 1997, 19(3): 215-221.]
- [15] Dai Jinxing, Qin Shengfei, Tao Shizhen, *et al.* Developing trends of natural gas industry and the significant progress on natural gas geological theories in China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(2): 127-142. [戴金星, 秦胜飞, 陶士振, 等. 中国天然气工业发展趋势和天然气地质理论重要进展[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(2): 127-142.]

Relationship Between Magma Activity and CO₂ Gas Accumulation in Central Fault Zone of Hailaer-Tmuchage Basin

ZHANG Tong-lei¹, CHEN Jian-fa¹, ZHU De-feng², ZHAO Xing-qi¹, ZHANG Chen¹

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, The State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Beijing 102249, China;

2. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company Limited, Daqing 163712, China)

Abstract: The large scale of magma activity in Hailaer-Tamuchge basin happened during the period of Hercynian and Yanshanian, which formed the igneous rocks including andesite, basalt and tuff with the age distribution of 84-129Ma. Natural gas pools with high content of CO₂ were discovered in central fault zone of Hailaer-Tmuchage basin. The carbon isotopic composition of CO₂, Helium and Argon isotopic composition of associated noble gas indicate that the CO₂ located in Surennouer rupture structural belt, Wunan subbasin and Bayantala rupture structural belt is crust-mantal source, whose distributional region is not same as the distribution of magma in Yanshanian. The authors consider that most of the CO₂ polls, but not all, are relevant to the volcanic magmatism belt. The reservoir forming characteristics of CO₂ in S₂ well indicate that the distribution and activity of fault systems are another important factors controlling the accumulation of CO₂. Meanwhile, this paper cautions that Nantun Formation and Tongbomiaof Formation which are connected by the discordogenic fault are the favorable direction for furthering exploration.

Key words: CO₂ pool; Magma activity; Faults; Hailaer-Tamuchge basin; Central fault zone.