

(12) 422-426

## 幔源二氧化碳和甲烷成藏的现实性与可能性

赫英 王定一 朱兴国

(西北大学地质学系, 710069, 西安; 第一作者 53 岁, 男, 教授)

P 618.130.1

**摘要** 根据作者的研究成果并结合国内外有关资料,综合评述了幔源二氧化碳和甲烷成藏的现实性与可能性。研究表明,幔源二氧化碳成藏是现实的,可以实现有经济意义的开发;且幔源甲烷亦具有成藏的可能性和巨大的经济开发潜力,今后应加强这方面的研究工作。

**关键词** 幔源二氧化碳; 幔源甲烷; 幔源气藏

**分类号** N031

甲烷

一般认为天然气是有机成因的。的确,大部分天然气是有机成因的,但是否全部天然气都是有机成因的,是否所有的天然气都成藏于沉积盆地,国外很早就有人提出过怀疑,并发展为天然气非生物成因假说或理论<sup>[1~5]</sup>。特别是近些年俄罗斯、德国和瑞典深钻所发现的油气显示,以及洋脊涌出的热液中大量甲烷的发现,加强了人们对这方面的理论研究和实践探索。

在70年代,我国徐永昌、王先彬等首先提出部分稀有气体及其气藏无机成因的可能性<sup>[6,7]</sup>;80年代以来,在我国东部陆续发现了一些二氧化碳气藏,推动众多学者研究并逐渐得出共识,即这类非烃气藏的形成也许不是和生物—沉积作用有关而主要是与深部过程特别是幔源—岩浆的去气作用有关<sup>[8~23]</sup>;同时杜乐天(1990)等对石油与天然气的生物成因传统观念挑战,提出地球5个气圈的新概念,并建议在渤海湾地区打深钻以开发其深部他认为可能存在的巨量天然气资源<sup>[24,25]</sup>。

要研究与开发地球深部的天然气资源,笔者认为有以下几个基本问题需要解决。即:①地球深部是否孕育有大量的天然气资源;②地球深部的不同圈层是否孕育有不同类型的天然气资源;③这些天然气在空间分布上有怎样的规律性;④这些天然气聚集成藏的可能性,即到哪里去找这些深部来源的不同类型天然气藏?

关于第一个问题,答案应该是肯定的。60年代以来,国内外一直不间断地对火山及其中气体进行监测和研究,证实其中含有大量的水蒸气、二氧化碳、二氧化硫及一些烃类气体、氢气、稀有气体等,但不同地区、不同深度及火山活动的不同时期其含量变化较大;高温火山熔浆及热泉中氢气含量很高,随温度降低氢气含量剧减而二氧化碳含量迅增;沿一些深大断裂带及地震期前后可有烃类气体和二氧化碳及稀有气体放出已是众所周知的事实,而强震区涌出的甲烷和氢气大量增加。德国、俄罗斯及瑞典等国家的深钻均在深处发现了烃类气体,且随深度增加含量有增高的趋势<sup>[26~33]</sup>。作为认识地球去气作用的窗口,近些年对火山岩及其中地幔岩包体及流体包裹体的研究揭示其中的流体相主要为水、二氧化碳、烃类气体、氮气、氢气、硫化氢及一些稀有气体等。Giardini等报道在金刚石中发现高分子重烃;O'Reilly(1987)等在二辉橄橄榄岩捕虏体中发现丙烷、丁烷、戊烷和乙烷等烃类;Sugisaki等的研究表明,地幔岩及其包体中含有重烃类物质而壳源岩浆岩中却很少;杜乐天等亦报道了在中国东部新生代玄武岩的地幔包体中测有甲烷、乙烷、乙炔、乙烯、丙烷、丙烯等大量烃类和一氧化碳等可燃性气体。这些研究提供了地球深部存在大量天然气资源的重要证据<sup>[34~36]</sup>。

关于第二个问题,综合目前国内外的研究资料已使我们能够得出基本的认识。笔者研究胜利油田火

山岩与二氧化碳气藏关系,发现二氧化碳气藏区和非二氧化碳气藏区有重要区别:前者中的火山岩主要为富碱、富轻稀土、富大离子亲石元素、富贵金属和挥发分而贫铬、镍、钛等相容元素的碱性橄榄玄武岩,而后者则为相对贫碱、贫轻稀土、贫大离子亲石元素、贫贵金属而富铬、镍、钛等相容元素的橄榄拉斑玄武岩;前者中的火山岩包裹体中二氧化碳碳同位素成分范围为 $-4.8\% \sim -5.5\%$ ,与地幔的碳同位素值一致,而后者中的火山岩包裹体中二氧化碳碳同位素成分范围为 $-10.2\% \sim -14.6\%$ ,明显较轻<sup>[20,21,23]</sup>;前者火山岩包裹体中的金属子晶为黄铁矿,而后者为锐钛矿。这些都反映出与二氧化碳气藏有关的火山岩源自更深、更为还原环境的富集地幔。那么,二氧化碳与甲烷及氢气等在垂向上的分布有怎样的区别呢? Lutz 等研究认为,上地幔气体下部以氢气为主,上部以氢气和甲烷为主;刘若新等研究认为,我国华北地区上地幔从上到下依次为尖晶石二辉橄榄岩(35~80 km)、尖晶石—石榴石二辉橄榄岩(80~85 km)和石榴石二辉橄榄岩(85 km 以下);赵海玲等则主张,莫霍面以下到软流圈顶部为尖晶石二辉橄榄岩,70~110 km 为尖晶石方辉橄榄岩,110 km 以下为石榴石橄榄岩;而刘国栋及林传勇等认为,中国东部的尖晶石二辉橄榄岩代表岩石圈地幔,石榴石二辉橄榄岩代表软流圈地幔,二者间的边界应在 60 km 左右。夏林圻等给出了各类二辉橄榄岩包体中流体包裹体的收缩气泡的分析数据。结果表明,石榴石二辉橄榄岩含氢气和甲烷最高,分别可达 12.1% 和 10.8%,并且检出了 3% 左右的乙烷;而尖晶石二辉橄榄岩含氢气和甲烷较低,一般只有 1%~2%。而 Lutz 的分析还表明,金伯利岩的含气量及氢气的含量大大高于石榴石橄榄岩和榴辉岩包体。路凤香等依据国内外对金伯利岩、金刚石及其中元素、化合物和流体包裹体的研究,将我国东部地幔流体自下而上分为以氢气和甲烷占绝对优势的缺氧超深流体、以二氧化碳和水为主的深部氧化流体及更加富水的碱性流体<sup>[37~41]</sup>。

幔源气在物理化学上有什么特点呢? Schneider 等指出,地幔中流体的种类受氧逸度的控制。当氧逸度较高,地幔流体种类主要为二氧化碳和水;当氧逸度较低,地幔流体种类主要为甲烷和水<sup>[42]</sup>。S. Jakobsson 等的实验表明,在  $5 \times 10^8 \sim 15 \times 10^8 \text{ Pa}$  高压和  $900 \sim 1200^\circ\text{C}$  高温及低氧逸度条件下,C-H-O 体系的最终产物以甲烷为主,其次是水、氢气、乙烷、一氧化碳和二氧化碳<sup>[43]</sup>。C. Ballhaus 认为,地球深部流体呈水、二氧化碳或甲烷,视其氧逸度而定,而压力会影响氧逸度。从尖晶石相到石榴石相会冲稀地幔金属铁浓度,使氧逸度随压力降低,因而金伯利岩的源区应在  $\text{CH}_4 \cdot \text{H}_2$  稳定场中<sup>[44]</sup>。王先彬等用分步加热法提取了中国东部一些幔源包体的气体成分,结果表明氢气在高温的释放量最大,1000℃ 左右出现放气高峰,二氧化碳在 600℃ 左右释放量最大,高于 800℃ 锐减<sup>[45]</sup>。据国外研究,南非 50%~75% 的含金刚石橄榄岩包体,65%~70% 的含金刚石榴辉岩包体,俄罗斯雅库特 38% 的含金刚石橄榄岩包体,65%~80% 的含金刚石包体,其氧逸度在 IW 附近。相应地,南非金刚石的包裹体最富甲烷和氢气,而雅库特稍低。其中南非八面体金刚石气相包裹体中的氢气含量可达 50% 以上<sup>[46~47]</sup>。曹荣龙指出,大规模的地球去气,包括烃类气体的去气发生在前寒武纪<sup>[48]</sup>。

综上所述,尽管这些研究尚有不一致之处,但稍加分析可得出如下认识:①地幔的确孕育有大量天然气资源;②地幔不同圈层特别是不同圈层的界面处可能孕育有不同类型的天然气;③地幔由浅至深有  $\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{H}_2$  的富集趋势。其中壳幔界面附近可能是二氧化碳的聚集带,岩石圈和软流圈界面附近可能是烃气的聚集带,而氢气则有更深的来源。

关于第三个问题,即这些深部来源的天然气在空间分布上有怎样的规律性? 笔者研究胜利油田二氧化碳气藏成因\*,发现二氧化碳气藏区和非二氧化碳气藏区火山岩中包裹体的二氧化碳含量和碳同位素有重要区别,并且与相应气井气有对应关系。即二氧化碳气藏区火山岩中包裹体的二氧化碳含量均大于 60%,其碳同位素约为 $-5\%$ ,与相应气井气及地幔岩的碳同位素值相近;而非二氧化碳气藏区火山岩中包裹体的二氧化碳含量均小于 60%,其碳同位素多为 $-10\%$ 以下,亦与相应气井气的碳同位素值相近<sup>[21~23]</sup>。从而初步证明了胜利油田二氧化碳气藏区与幔源岩浆间的成因联系。特别值得注意的是,胜利油田火山岩包裹体中的二氧化碳和甲烷的含量由盆地内向盆地外表现出有规律的变化<sup>[23]</sup>:盆地内火山岩(临盘,非二氧化碳气藏区)包裹体中二氧化碳含量一般低于 60%,甲烷 0%~

\* 赫英,朱兴国. 胜利油田火山岩中单个包裹体的碳同位素及其意义. 地质科学(待刊)

9.1%, 平均 4.7%; 盆地边部火山岩(阳信, 二氧化碳气藏区)包裹体中二氧化碳含量一般高于 60%, 甲烷 5.5%~11.7%, 平均 8.1%; 而盆地外火山岩(昌乐)包裹体中二氧化碳含量亦高于 60%, 甲烷含量明显增加至 17.2%。研究表明, 胜利油田火山岩可以分为石英拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩、碱性橄榄玄武岩和碧玄岩或碱性苦橄玄武岩 4 类。前者为中生代火山岩, 后三者为新生代火山岩。盆地内处于盆地演化早期的盆地内部洼陷地带, 主要出现的是橄榄拉斑玄武岩, 其标准矿物分子中既无石英亦无霞石; 盆地边部处于盆地演化中、晚期的相对隆起之区, 常有碱性橄榄玄武岩分布, 其标准矿物分子中有少量霞石, 伴有二氧化碳气藏发现; 至晚第三纪馆陶期后盆地内火山活动趋于静息, 火山活动移向盆地外露头区, 类型多为含地幔岩包体的强碱性玄武岩, 标准矿物分子中出现大量副长石。由橄榄拉斑玄武岩—碱性橄榄玄武岩—强碱性玄武岩轻稀土明显富集, 而相容元素, 如铬、镍的含量, 表现出由橄榄拉斑玄武岩至碱性橄榄玄武岩减少而至强碱性玄武岩却大量增加的现象。结合国内外研究资料<sup>[48~52]</sup>, 说明碱性橄榄玄武岩和强碱性玄武岩均源自富集地幔, 而碱性橄榄玄武岩相对橄榄拉斑玄武岩铬、镍的亏损现象, 可能与岩石圈地幔的影响有关。上述火山岩包裹体中的二氧化碳和甲烷的含量由盆地内向盆地外表现出的规律变化, 反映出盆地内部源区较浅的橄榄拉斑玄武岩经富碱、富轻稀土、富大离子亲石元素和二氧化碳而贫铬、镍等相容元素而源自岩石圈富集地幔的碱性橄榄玄武岩至最富碱、富轻稀土、富大离子亲石元素和烃类气体而源自更深的软流圈地幔的碱性苦橄玄武岩的变化。

最后一个也是关键的问题: 什么样的地质环境形成不同类型天然气的聚集? 到哪里去找这些不同类型的天然气? 德国、俄罗斯及瑞典都打过一些超深钻, 发现了一些油气显示, 但至今尚未找到一个有实际价值的烃类气藏。杜乐天主张在渤海湾设井, 因为那里的隆起最高。当然这不是没有可能, 但想穿透即使很薄的地壳也绝非易事, 况且上地幔多认为已完全去气。盆地内的断裂多为铲式断裂, 看似较大, 其实不深。较深的断裂大多在盆地边部, 特别是盆地外露头区。最深的断裂不是在热而薄的盆地内部, 而是在冷而薄的盆地外围。显然, 天然气的找寻不应再限于沉积盆地, 盆地外的剪切带<sup>[53]</sup>以及金刚石角砾岩筒、含地幔岩包体的火山口等按传统有机成气理论绝不会有烃气藏出现的地区, 却是本文认为可以考虑的重要找气靶区。含金刚石角砾岩筒、含地幔岩包体的火山口就是大自然打的超深钻, 人类为什么不利用呢? 把这些大自然已经封了的井再次打开, 不是找寻幔烃气藏的重要方向吗? 既然幔源二氧化碳及稀有气体气藏的研究与开发已由推想变为现实, 人类也有能力实现幔烃气的开发与利用。对于这样一个有重大理论和实际意义的科学问题, 有关方面应给予高度重视, 切实加强这方面的研究。

### 参 考 文 献

- 1 Ломоносов М В. Ослых Земли. Москва; Гостоптехиздат, 1763
- 2 Соколов В А. Геохимия природных газов. Москва; Изд Недр, 1971
- 3 Jeffery A W, Kaplan I R. Hydrocarbons and inorganic gases in the Gravberg-I well, Siljan Ring, Sweden. Chem. Geol., 1988, 71:237~255
- 4 Apps J A, van de Kamp P C. Energy gases of abiogenic origin in the Earth's crust. In: Howell D G. ed. The Future of Energy Gases. Washington; US Government Printing Office, 1993. 1~132
- 5 Gold T, Soter S. The deep-earth-gas hypothesis. Sci. Am., 1980, 242(6):130~137
- 6 王先彬. 地球深部来源的天然气. 科学通报, 1982, 27(17):1 067~1 071
- 7 徐永昌. 稀有气体及其同位素在石油地质学中的应用. 石油地质学论文集(3). 北京: 科学出版社, 1976. 299~308
- 8 戚厚发, 戴金星. 我国高含二氧化碳气藏的分布及其成因探讨. 石油勘探与开发, 1981(2):34~42
- 9 廖永胜. 应用碳同位素探讨油气成因. 石油学报, 1981(增刊):52~60
- 10 唐忠取. 天然二氧化碳气藏的地质特征及其应用. 天然气工业, 1983, 3(3):22~26
- 11 裘松余, 钟世友. 松辽盆地南部万金塔二氧化碳气田的地质特征及其成因. 石油与天然气地质, 1985, 6(4):434~439
- 12 曾观运. 广东省非烃气体的分布与现状. 石油与天然气地质, 1986, 7(4):494~411
- 13 关效如. 我国东部高纯二氧化碳成因. 石油实验地质, 1990, 12(3):248~257
- 14 宋岩. 松辽盆地万金塔气藏天然气成因. 天然气工业, 1991, 11(1):17~21
- 15 杜建国, 刘文会. 广东三水盆地非烃天然气同位素地球化学. 地球化学, 1993(1):24~28

- 16 赖万忠. 中国南海北部二氧化碳成因. 中国海上油气, 1994, 8(5), 319~327
- 17 戴春森, 戴金星, 杨池银等. 黄骅拗陷港西断裂带无机成因二氧化碳的构造地球化学特征. 科学通报, 1994, 39(7): 639~643
- 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. 北京: 科学出版社, 1995
- 19 孙明良, 陈践发, 廖永胜. 济阳拗陷天然气氮同位素特征及二氧化碳成因与第三纪岩浆活动的关系. 地球化学, 1996, 25(5), 475~479
- 20 赫英, 王定一, 祝总祺等. 胜利油田非烃气藏区火山岩中的含金性及其意义. 矿床地质, 1995, 14(3), 291~292
- 21 赫英. 比较矿床学导论. 西安: 西北工业大学出版社, 1996. 86~101
- 22 赫英, 王定一, 冯有良等. 胜利油田火山岩中的流体包裹体成分及其意义. 地球化学, 1996, 25(5), 468~473
- 23 赫英, 王定一, 刘洪营等. 胜利油气区二氧化碳气藏成因. 石油与天然气地质, 1997, 18(1), 82
- 24 张义纲. 天然气的生成聚集和保存. 南京: 河海大学出版社, 1991. 56~58
- 25 郭占谦, 王先彬. 松辽盆地非生物成因气的探讨. 中国科学(B辑), 1994, 24(3), 303~305
- 26 Gerlach T M. Exsolution of  $H_2O \cdot CO_2$  and S during eruptive episodes at Kilauea Volcano, Hawaii. J. Geophys. Res., 1986, 91, 12 177~12 185
- 27 Frost B R, Frost C D.  $CO_2$  melt and granulite metamorphism. Nature, 1987, 327, 503~506
- 28 Marty B, Giggenbach W F. Major and rare gases at white island volcano. New Zealand; origin and flux of volatiles. Geophys. Res. Lett., 1990, 17, 247~250
- 29 Gerlach T M. Present- $CO_2$  emissions from volcanos. EOS, 1991, 72, 249~255
- 30 Poorter R P E. Chemical and isotopic compositions of volcanic gases from the east Sunda and Banda arcs. Indonesia. Geochim. Cosmochim. Acta., 1991, 55, 3 795~3 807
- 31 Touret J.  $CO_2$  transfer between the upper mantle and the atmosphere; temporary in the lower continental crust. Terra. Nova., 1993, 4, 87~98
- 32 Brantley S L, Koepnick K W. Measured  $CO_2$  emissions from Oldoinyo Lengai and the skewed distribution of passive volcanic fluxes. Geology, 1995, 23, 933~936
- 33 王先彬, 陈践发, 徐胜等. 地震区温泉气体的地球化学特征. 中国科学 B 辑, 1992(8), 849~854
- 34 Giardini A, Melton C, Mitchell R. The nature of the upper 400 km of the Earth and its potential as the source for non-biogenic petroleum. J. Petrol. Geol., 1982, 5, 173~19037
- 35 Sugisaki R, Immure K. Mantle hydrocarbons, Abiotic or biotic? Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, 58(11), 2 527~2 542
- 36 杜乐天. 地幔岩中微粒合金和还原气体. 科学通报, 1995, 19, 1 787~1 791
- 37 刘若新. 中国上地幔特征及动力学论文集. 北京: 地震出版社, 1990. 1~13
- 38 林传勇, 史兰斌, 陈孝德等. 浙江新昌石榴石-辉橄岩包体的流变特征及其地质意义. 岩石学报, 1995, 11(1), 55~64
- 39 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 地幔橄辉岩捕虏体中的流体包裹体、岩浆包裹体和玻璃. 杜乐天主编. 地幔流体与软流层(体)地球化学. 北京: 地质出版社, 1996
- 40 路凤香. 深部地幔和深部流体. 地学前缘, 1996, 3(3~4), 181~186
- 41 郑建平, 路凤香. 金刚石中的流体包裹体研究. 科学通报, 1994, 39(3), 253~255
- 42 Schneider M E, Egger D H. Fluids in equilibrium with peridotite minerals; implications for mantle metasomatism. Geochim. Cosmochim. Acta., 1986, 50, 711~724
- 43 Jakobsson S, Oskarsson N. Experimental determination of fluid composition in the system C-H-O at high P and T and low  $fO_2$ . Geochim. Cosmochim. Acta., 1990, 54(2), 355~362
- 44 王先彬, 刘刚, 陈践发等. 地球内部流体研究的若干关键问题. 地学前缘, 1996, 3(3), 105~118
- 45 杜乐天, 刘若新, 邓晋福编. 地幔流体和软流层(体)地球化学. 北京: 地质出版社, 1996. 380~406
- 46 Fritsch E, Scarratt K. Gemmological properties of type I diamonds with an unusually high hydrogen content. J. Gemm., 1993, 23(8), 451~460
- 47 Navon O, Hutcheon I D, Rossman G R, et al. Mantle-derived fluids in diamond micro-inclusions. Nature, 1988, 335(6193), 784~789
- 48 曹荣龙, 朱寿华. 地幔流体与成矿作用. 地球科学进展, 1995, 10(4), 321~329

- 49 池际尚主编. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究. 北京: 中国地质大学出版社, 1980. 24~25
- 50 Zindler A, Jagoutz E. Mantle cryptology. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 1988, 52: 319~333
- 51 刘若新主编. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社, 1992. 88~365
- 52 樊祺诚, 刘若新, 杨瑞瑛. 地幔橄榄岩矿物中富稀土元素的 CO<sub>2</sub> 流体包裹体及其地球化学意义. *岩石学报*, 1993, 9(4): 411~417
- 53 刘德良, 苏永军. 宿松变质磷矿成矿时限的显微构造和地球化学分析. *科学通报*, 1995, 40(15): 1 406~1 408

责任编辑 张银玲

## Mantle-derived CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Gas Fields-Reality and Possibility

He Ying Wang Dingyi Zhu Xingguo

(Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an)

**Abstract** The reality and possibility of the mantle-derived CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> gas fields are discussed. Combining with relevant materials, the research indicates that the mantle-derived CO<sub>2</sub> gas fields are real and may realize the economic exploitation, and the mantle-derived CH<sub>4</sub> gas fields are probable and have great potentialities in economic exploitation.

**Key words** mantle-derived CO<sub>2</sub>; mantle-derived CH<sub>4</sub>; mantle-derived gas fields

### · 学术动态 ·

## 西部高校科研管理学术研讨会在我校举行

8月15日至20日,由陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、四川、重庆、贵州、云南等9个省(自治区、直辖市)教委科技处发起,陕西省高校科研管理研究会主办的中国西部高等学校科研管理学术研讨会在我校及延安大学举行。我校常务副校长、陕西省高校科研管理研究会理事长刘舜康研究员致会议开幕词。陕西省教委副主任胡致本出席会议并讲话。参加此次会议的有9个省、市、区教委科技处、高校科研管理研究会的负责人和代表以及37所高校的科研管理工作者和研究人员共90余人。

会议共收到8个省、市、区32个单位提交的学术论文69篇,并分别进行了大会发言和分组交流。

会议决定成立西部地区高校科研管理研究会协作组,以加强高校科研工作的信息交流与协作。

(马林安)

## 姚远新著《中国大学科技期刊史》出版

本刊姚远副编审历时近10年所著的《中国大学科技期刊史》近日由陕西师范大学出版社出版,是为陕西省教委专项科研基金和中国高校科技编辑学研究基金资助课题。西安市副市长(原西北大学校长)陈宗兴教授和中国高校自然科学学报研究会理事长陈浩元编审分别为之作序。全书50余万字,分为导论、区域、专论等3篇21章,是第一次涉及这个领域的一部专著。

该书运用区域文化研究和科技史研究方法,对清末至民国年间科研机构、学术社团和政府部门主办的2100余种科技期刊、高校主办的1400余种文理综合性学术期刊和哲学社会科学期刊,特别是500余种高校科技学术期刊进行历史性论述。全书将我国大学期刊文化按照不同的区域特征,划分为中心城市(京、沪、宁)、华北、东北、华东、中南、西南、西北、港澳台和海外留学生所在地等九大类型,并通过对本基本数据的统计分析、区域高等教育背景和文化背景分析,以及对代表性期刊的解剖,揭示各区大学期刊的基本面貌。该书可供高等教育工作者、科技史工作者、科技哲学工作者、文化研究工作者、期刊编辑出版工作者和相关的管理工作者参考阅读,尤其对于大学期刊工作者,不失为借鉴历史经验和溯源寻根的指南。

(徐象平)