

松辽盆地北部昌德东 CO₂ 气藏的自生自储 成藏模式*

“Self-generation and self-accumulation” gas accumulation model for the East Changde CO₂ gas pool in northern Songliao basin

李振生¹, 刘德良¹, 谈迎², 吴小奇¹, 杨晓勇¹

(1 中国科学技术大学地球与空间科学学院, 安徽 合肥 230026; 2 江苏地质调查研究院, 江苏 南京 210018)

LI ZhenSheng¹, LIU DeLiang¹, TAN Ying², WU XiaoQi¹ and YANG XiaoYong¹

(1 School of Earth and Space Science, China University of Science and Technology, Hefei 230026, Anhui, China; 2 Jiangsu Academy of Geological Survey, Nanjing 210018, Jiangsu, China)

摘 要 松辽盆地北部昌德东 CO₂ 气藏的“自生自储”成藏模式指成藏气体主要是无机成因的幔源火山岩吸附气, 后期的构造运动使裂缝连通、天然气汇聚成藏。证据有: 火山岩含有 W_B 为 0.429%~1.387% 的吸附 CO₂, 具有孔隙和缝洞相互组合的双孔介质, 说明火山岩既可作为 CO₂ 气的源岩, 亦可作为储层; 昌德东 CO₂ 气藏中存在近距离不均一的 CO₂ 含量空间分布、下贫上富的储层 CO₂ 含量和上高下低的 CH₄-CO₂ 平衡温度等特征。中国东部幔源—岩浆成因的 CO₂ 气藏地区均发育幔源火山岩, 说明该成藏模式具有现实的可能性和普遍性。

关键词 火山岩; 二氧化碳; 成藏模式; 昌德东气藏

昌德东高纯 CO₂ 气藏位于松辽盆地北部徐家围子断陷带, 其芳深 9 井 CO₂ 含量为 93.083%。目前一致认为松辽盆地北部 CO₂ 和 He 气以幔源成因为主 (Xu et al., 1995; 霍秋立等, 1998; 杨玉峰等, 2000; 庞庆山等, 2002); 依据 CO₂³He 比值判断, 更可能是上地幔脱气造成的, 而且应该生成于远离岛弧火山活动区的构造活动区域中 (谈迎等, 2005)。关于 CO₂ 气如何运移和富集成藏, 早期的观点是 CO₂ 气是从地幔、岩浆或热液中析出, 沿断层、裂隙及孔隙等输导通道向上运移到火山岩及砂砾岩储集层中聚集成藏 (霍秋立等, 1998; 庞庆山等, 2002; 杨玉峰等, 2000); 近年来逐渐重视火山岩中残留气体成藏的可能性 (付晓飞等, 2005; 付晓飞等, 2005; 王佰长等, 2005)。

在解剖昌德东气藏的基础上, 笔者认为其气源是无机成因的幔源火山岩吸附气, 并非直接来自于幔源; 成藏模式为“自身自储”。所谓自生是指来自储层火山岩自身相关的 CO₂ 气, 包括火山岩母源残留的和吸附的 CO₂ 气; 所谓自储是指火山岩各种尺度脆性破裂域吸纳储集火山岩排出的 CO₂ 气。有关的证据论述如下。

1 火山岩作为源岩和储层的可能性分析

松辽盆地北部火山岩脱气实验证实 (刘德良等, 2005、2006): 加热火山岩到 250℃ 时, 脱出挥发分总量为 0.030~0.079 ml·g⁻¹; 挥发分以 CO₂ 为主, CO₂ 脱出量 w(CO₂) 为 0.429%~1.387%; 基性岩的 CO₂ 脱出量和脱出率高于中、酸性岩的 (图 1a, 图 1b); CO₂ 脱出量与岩石碱含量和总碳含量正相关 (图 1c, 图 1d)。

*本文得到国家自然科学基金项目 (40472074) 的资助

第一作者简介 李振生, 男, 1976 年生, 在站博士后, 主要从事构造地球化学和油气地质学研究

火山岩中含有大量吸附的 CO_2 气 ($w(\text{CO}_2)$ 平均约 1%), 尤其是基性、富碱的火山岩, 表明在广大火山岩分布地区存在有巨大的 CO_2 气源, 具有成藏的可能性。据昌德东气藏火山岩储层的 K-Ar 同位素年龄, 王佰长等 (2005) 推断营城组中 64.5 Ma 和 66.8 Ma 的火山岩与相应的两期火山活动是该气藏形成的直接原因。这两期火山活动发生在白垩纪末期到第三纪早期, 其之前的火山岩和暗色泥岩可以提供充足的 CO_2 母源, 而此时登娄库组及其下部的各储集层都已形成。

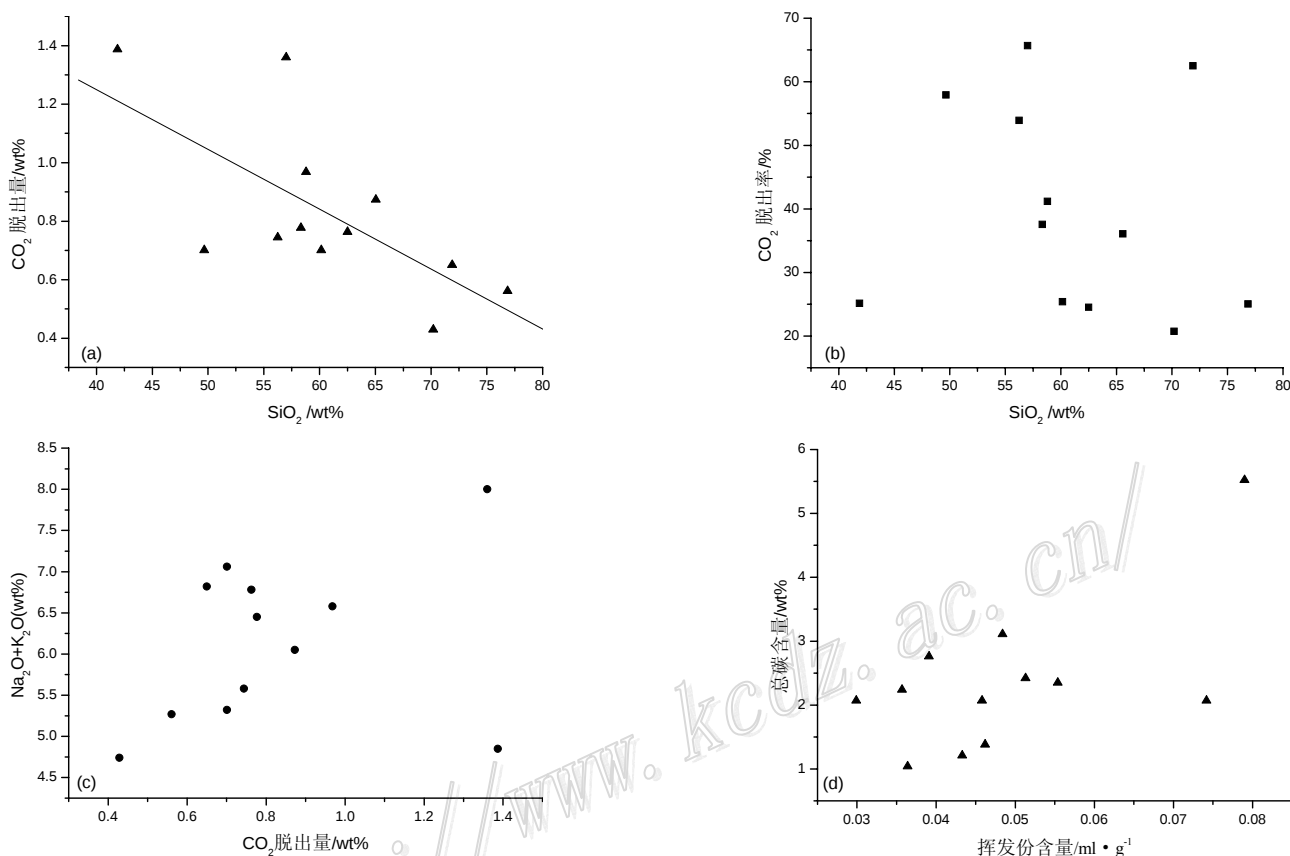


图 1 火山岩吸附气与岩性之间的关系图

我国东部中生代火山岩已成为深层油气勘探的重要储层, 并具有良好的勘探前景 (赵海玲等, 2004)。松辽盆地北部深层已发现多个火山岩气藏 (付广等, 2003), 例如汪家屯烃类气藏的天然气主要产于下白垩统营城组层状中酸性火山喷发岩中; 昌德东 CO_2 气藏的天然气主要产于下白垩统营城组的凝灰岩和酸性溢流相流纹岩中。松辽盆地徐家围子断陷火山岩储层具有孔隙和缝相互组合的双孔介质, 火山岩储层的储集空间类型受岩相控制, 不同岩相带发育的火山岩储层其孔-缝及其组合关系差异很大 (王璞珺等, 2003), 爆发相和溢流相火山岩储集性能较好, 孔隙度一般为 6.3~10.8%, 渗透率为 $(0.55 \sim 122.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (刘万洙等, 2003)。构造作用致使火山岩产生大量构造裂缝, 提高火山岩储集性能。松辽盆地的主要的构造裂隙是一组共轭的、高角度的、走向 NNE 和 NNW 向的、剪性或压剪性的断层缝 (王璞珺等, 2003)。

2 CO_2 含量差异性分析

昌德东气藏中 CO_2 富集度的空间分布是不均一的, 从芳深 9 井至芳深 7 井、芳深 6 井, CO_2 含量在很近的距离内从 90% 降到 15% (表 1), 并且同在徐家围子断陷中的昌五、汪家屯构造中 CO_2 含量只有 0.15~12.2%。针对这种现象, 目前认为是因为芳深 7 井、芳深 6 井的 CO_2 主要是从芳深 9 井运移而来的, 其亲水性及重力分异作用使 CO_2 含量随运移距离的增加而减少, 还有认为与较多有机气混入有关 (霍秋立

等, 1998)。这些判断都基于储层孔隙度相对均一, 但是火山岩中的 CO₂ 气是储于火山岩脆性破裂域中, 而破(断)裂在火山岩中并不是均匀分布的。因此, 宜从断裂构造体系结构加以分析。

大庆油田对芳深 9 井下白垩统营城组二段的 135 号层单独试气, 结果为: 日产气量 50 938 m³, 日产水量 3.0 m³, 其中 CO₂ 气含量为 93.083%, CH₄ 气为 6.153%, 相对密度 1.4655; 但是, 与下部的 136、137、139、140 号层的合试结果, 仅获得日产气量 47162 m³, CO₂ 含量为 88.3%, CH₄ 含量为 9.5%, C₂H₆ 含量为 0.3%, 相对密度 1.42。合试时 CO₂ 含量低可以说明 135 层以下的各层位 CO₂ 含量小于 135 号层, 即储层含气量下贫上富。由于 CO₂ 的密度相对较大, 不可能是密度分异造成的, 因此认为火山岩 CO₂ 自生自储。

类似情况还见于芳深 7 井, 火山岩储层 105 号层与上部 101、102 层合试 CO₂ 含量也低, 进一步表明自生自储的可能性。

表 1 昌德东气藏气体地球化学数据表

井号	井深/m	组分含量/%							$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$				$\Delta_{\text{CO}_2\text{-CH}_4}$ /‰	$t/^\circ\text{C}$
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	N ₂	He	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂		
芳深 9	3602.0-3620.0	9.61	0.14			89.73	0.49	0.012	-27.45	-32.11		-4.06	23.39	270~320
芳深 9	3602.0-3632.0	9.37	0.15			90.38	0.089		-27.25			-5.46	21.79	
芳深 7	3380.2-3482.0	57.68	0.2	0.43	0.01	39.95	1.07	0.006	-28.75	-31.32	-31.92			
芳深 6	2755.4-3409.1	81.79	1.19	0.22	0.02	15.32	1.36	0.007	-23.60	-29.32		-6.61	16.99	390~420

注: 组分含量和碳同位素数据来源于霍秋立等 (1998); $\Delta_{\text{CO}_2\text{-CH}_4} = \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 。

3 气藏中 CH₄-CO₂ 分馏系数差异性分析

根据 Bottinga (1969) 和 Craig (1953) 的图版 (福尔, 1983) 和芳深 9 井、芳深 6 井 CH₄-CO₂ 碳同位素分馏系数 (Δ), 估算了两口井天然气生成时的平衡温度 (t), 其结果列于表 1。芳深 6 井较芳深 9 井浅, 但古地温反而高出 100 多摄氏度, 这可能反映出在相同地质条件、不同地质温度下 CH₄、CO₂ 之间的平衡关系。如果 CO₂ 是幔源无机成因的, 应该是岩浆演化在不同阶段不同温度条件下脱出的气。具体地说, 芳深 6 井的 CO₂ 是岩浆在较早期或较深部位脱出的, 而芳深 9 井的较晚, 即反映出其母源脱气演化的阶段性。

4 结 论

火山岩中含有 $w(\text{CO}_2)$ 为 0.429%~1.387% 的吸附 CO₂, 可以作为 CO₂ 气源; 火山岩储层具有孔隙和缝隙相互组合的双孔介质, 其中爆发相和溢流相火山岩储集性能较好。因此火山岩既可作为 CO₂ 气的源岩, 亦可作为储层。在昌德东 CO₂ 气藏, CO₂ 含量空间分布近距离的不均一性、储层 CO₂ 含量的下贫上富、CH₄-CO₂ 平衡温度的上高下低, 这些特征说明昌德东气藏的成藏气体并非地幔气体沿大断裂上来直接充注运移成藏, 而是来自于火山岩的吸附气及残留气。中国东部幔源-岩浆成因的 CO₂ 气藏地区均发育幔源火山岩, 说明来自幔源—岩浆而被火山岩吸附的 CO₂ 气成藏具有现实的可能性和普遍性 (刘德良等, 2005)。

岩浆喷逸地表后部分气脱掉, 部分气被包裹和吸附于岩浆岩的孔洞和原生裂隙中。由于后期的构造运动使裂缝连通, 天然气汇聚成藏, 或沿断裂向上运移在其上方聚集成藏。

参 考 文 献

福 尔. 1983. 同位素地质学原理. 潘曙兰, 乔广生, 译. 北京: 科学出版社. 302~319.

- 付广, 吕延防, 孟庆芬. 2003. 松辽盆地北部深层火山岩气藏形成时期及成藏模式研究. 中国海上油气(地质), 17(4): 236~239.
- 付晓飞, 宋岩. 2005. 松辽盆地无机成因气及气源模式. 石油学报, 26(4): 23~28.
- 付晓飞, 云金表, 卢双舫, 付广. 2005. 松辽盆地无机成因气富集规律研究. 天然气工业, 25(10): 14~17.
- 霍秋立, 杨步增, 付丽. 1998. 松辽盆地北部昌德东气藏天然气成因. 石油勘探与开发, 25(4): 17~19.
- 刘德良, 李振生, 刘波, 谈迎, 杨强, 杨晓勇, 王佰长, 郑德山. 2005. 火山岩吸附 CO₂ 气的成藏潜力及实例分析. 地质通报, 24(10~11): 962~967.
- 刘德良, 李振生, 孙岩, 谈迎, 刘波, 吴小奇, 杨晓勇. 2006. 松辽盆地北部火山岩 CO₂ 脱气参数及其对 CO₂ 资源量估算的意义. 高校地质学报, 12(2): 223~227.
- 刘万洙, 王璞珺, 门广田, 边伟华, 尹秀珍, 许利群. 2003. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征. 石油与天然气地质, 24(1): 28~31.
- 庞庆山, 王蕾, 赵荣, 王凤刚. 2002. 松辽盆地北部昌德 CO₂ 气藏成因与形成机制. 大庆石油学院学报, 26(3): 89~91.
- 谈迎, 张长木, 刘德良. 2005. 松辽盆地北部昌德东气藏 CO₂ 成因的地球化学判据. 海洋石油, 25(3): 18~23.
- 王佰长, 谈迎, 刘德良. 2005. 松辽盆地北部深层二氧化碳的成藏疏导通道. 石油学报, 26(2): 42~46.
- 王璞珺, 陈树民, 刘万洙, 单玄龙, 程日辉, 张艳, 吴海波, 齐景顺. 2003. 松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系. 石油与天然气地质, 24(1): 18~23, 27.
- 杨玉峰, 张秋, 黄海平, 陈发景. 2000. 松辽盆地徐家围子断陷无机成因天然气及其成藏模式. 地学前缘, 7(4): 523~533.
- 赵海玲, 刘振文, 李剑, 狄永军, 罗霞, 刘清华, 赵国泉. 2004. 火成岩油气储层的岩石学特征及研究方向. 石油与天然气地质, 25(6): 609~613.
- Xu S, Nakai S, Wakita H and Wang X B. 1995. Mantle-derived noble-gases in natural gases from Songliao basin, China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 4675~4683.

<http://www.kcdz.ac.cn/>