

川南地区嘉陵江组天然气气源研究^{*}

李 弢^{1,2} 赵路子² 陆正元¹ 李其荣² 杜本强²

(1.成都理工大学能源学院 2.中国石油西南油气田分公司蜀南气矿)

李弢等.川南地区嘉陵江组天然气气源研究.天然气工业,2005;25(12):9~11

摘 要 对川南地区下三叠统嘉陵江组烃源岩生烃条件、碳同位素特征、气源方向及运移通道作了分析研究,认为其自身生烃条件较差,气藏常规组分差异较大,高干燥系数与储量大小关系密切;烷烃类气体碳同位素特征分析证实该组气源与下伏上二叠统的烃源地层有关,混源特征明显;氩同位素特征表明该组气藏气源与二叠系具明显的亲缘关系;结合运移与聚集条件等分析确认该区嘉陵江组天然气主要来源于深层二叠系烃源层,储量大与混源密切相关;烃源岩内部断层是其主要运移通道。

主题词 四川盆地 南 早三叠世 烃源岩 碳同位素 断层 通道 气藏

对四川盆地下三叠统嘉陵江组烃源岩的研究始于20世纪八九十年代,这期间有代表性的认识有:下三叠统嘉陵江组气源具有自生自储特点(李一平等,1983);嘉陵江组气藏以自生自储为主(陈伦俊等,1993);嘉陵江组成烃条件较差(陈盛吉,1994)。进入21世纪,在盆地南部地区下三叠统嘉陵江组的二次勘探中,嘉陵江组逐渐成为主要目的层并取得好的勘探效果,对其的研究也不断深入,王世谦(2002)认为四川盆地嘉陵江组为非有效烃源岩;王兰生(1994、2003)认为四川盆地川西南地区嘉陵江组大部分为混源气。嘉陵江组自身生烃条件较差,也不可能形大的油气藏,这是比较一致的认识。本文目的在于理清嘉陵江组气藏气源特征,寻找除储层和圈闭外的成藏主控因素,为进一步提高勘探效益提供指导。

一、烃类组分及其碳同位素特征

1. 天然气藏气态烃组成特征

嘉陵江组气藏以产气态烃为主,泸州古隆起核部(如阳高寺构造)嘉一段气藏与古隆起外围的嘉一段、嘉三段气藏(长垣坝构造),其天然气组分含量明显有一定差异,但总体上天然气组分以饱和烃(甲烷、乙烷、丙烷、丁烷)为主,甲烷含量分布范围为71.01%~99.09%,乙烷、丙烷、丁烷的含量之和为19.06%~0.2%,气体组分含量均符合甲烷>乙烷>丙烷>丁

烷的特征,不含不饱和烃。在泸州古隆起核部范围内嘉陵江组天然气相对较湿,并产出凝析油、轻质原油,到泸州古隆起外围重烃成分明显减少。

王兰生等(1994)选用天然气干燥系数(以 $\log C_1/C_2^+$ 表示), $C_2/(C_2+C_3+C_4)$ 、 $C_3/(C_2+C_3+C_4)$ 等参数来刻画天然气常规分析烃类组分的特征。 $\log C_1/C_2^+$ 和 $C_2/(C_2+C_3+C_4)$ 随产层时代变老而增加,天然气中烃类组分的相对含量受成熟度的控制。该区嘉陵江组天然气组分跨越了3个不同的成熟阶段,其成熟阶段的大跨度代表该区嘉陵江组天然气并非由统一气源供气,而应属于不同成熟阶段的天然气。

嘉陵江组气藏高产、较大储量气井的天然气干燥系数较高,而微气井的天然气组分其干燥系数较低,特别在泸州古隆起核部及其上斜坡区块这一特征更为明显,表明局部嘉陵江组存在一定的生烃贡献,但规模有限。如YG1井嘉二¹层—嘉一段储量 $9.07 \times 10^8 \text{ m}^3$,干燥系数为1.80,其同一构造的YG53井嘉二¹层—嘉一段储量 $0.16 \times 10^8 \text{ m}^3$,干燥系数为1.14。

2. 烷烃的碳同位素组成具混源特征

四川盆地天然气烃类组分碳同位素的总体特征:甲烷碳同位素值均负于-28‰,乙烷碳同位素值均负于-22‰,丙烷碳同位素值均负于-24‰,可断定其气藏天然气烃类组分均为有机成因,没有无机

^{*} 本文受中国石油西南油气田分公司嘉陵江组天然气成藏条件攻关项目(20020302-08)资助。

作者简介:李弢,1965年生,高级工程师,博士研究生;1989年毕业于中国地质大学,长期从事天然气勘探开发研究。地址:(646001)四川省泸州市蜀南气矿。电话:(0830)3921590。E-mail:snli@163.com

成因烃类的混合^[1]。四川盆地南部嘉陵江组天然气甲烷碳同位素值分布在 $-29.30\text{‰} \sim -38.59\text{‰}$, 平均值 -32.56‰ ; 乙烷碳同位素值分布于 $-22.61\text{‰} \sim -35.73\text{‰}$ 之间, 平均值为 -31.64‰ ; 丙烷碳同位素值分布于 $-24.22\text{‰} \sim -31.08\text{‰}$ 之间; 乙烷与甲烷的碳同位素富集系数($\Delta C_2 - C_1$)变化在 $-5.17\text{‰} \sim 11.33\text{‰}$ 。

现代地球化学将天然气烃类组分的碳同位素特征作为判断天然气成气母质类型和成熟度的重要依据。甲烷碳同位素值除与母质相关外, 更能反映热演化成熟度; 乙烷碳同位素值则主要反映母源特性^[2], 立足于成烃母源性质和所处热演化阶段进行天然气成因分类, 建立了以甲烷、乙烷的碳同位素值及其差值为基础的油气区天然气成因分类图版。图版以不同母源天然气的 $\delta^3 C_2$ 与 R_o 回归方程为基础, 选 $\delta^3 C_2$ 为 -27‰ 与 -29‰ (过成熟期); -30‰ 与 -32‰ (成熟期)连线, 划分为油系气、煤系气及混合(源)气; 以 $\delta^3 C_1$ 与 R_o 的关系方程, 确定不同热演化阶段气: 未成熟气、成熟早期气、成熟晚期气、高成熟早期气、高成熟晚期气、过成熟早期气、过成熟晚期气^[3]。当 $\delta^3 C_2 - \delta^3 C_1$ 越偏正时与生化气混源的可能性越大, 越偏负时与深源气(高一过成熟气、煤系气、无机气)混源的可能性越大。

图1为四川盆地南部二叠系、三叠系部分气井天然气甲烷、乙烷同位素在成因分类图版上的分布, 可见大部分的嘉陵江组气藏天然气为过熟阶段, 与下二叠统气藏具有相同的成熟阶段, 但是乙烷同位素值比下二叠统偏重, 更靠近混合气区; 同时还可发现嘉陵江组气藏天然气与川东 P_2 生物礁气藏的同位素特征更为相似。因此, 天然气的碳同位素组成支持嘉陵江组气藏天然气与下伏上二叠统的煤系地

层有关。这与卧龙河嘉陵江组天然气主要来自上二叠统煤系烃源岩^[4]相一致。

通常认为典型煤成气的乙烷碳同位素组成为 -26‰ 以上, $-27\text{‰} \sim -29\text{‰}$ 为混源气。显然, 嘉陵江组气藏天然气以及上二叠统煤系天然气乙烷碳同位素组成轻于典型的煤成气。这主要由于上二叠统煤系地层是与海相碳酸盐岩共生, 成煤母质中有很多藻类和水生生物的成分, 同时上二叠统还发育碳酸盐岩油系烃源岩($P_2 ch$), 故形成的天然气既不同于典型腐植煤形成的天然气, 也不同于典型腐泥型有机质形成的天然气。因此上二叠统烃源岩生成的天然气, 实际上属于煤系烃源岩与油系烃源岩的混合气或混源气。

天然气碳同位素倒转也可能反映其成因上的混源性。一般地, 有机成因原生烷烃气碳同位素系列为正碳同位素系列, 即 $\delta^3 C_1 < \delta^3 C_2 < \delta^3 C_3 < \delta^3 C_4$; 而无机成因原生烷烃气的碳同位素系列为负碳同位素系列, 即 $\delta^3 C_1 > \delta^3 C_2 > \delta^3 C_3 > \delta^3 C_4$; 当烷烃气的碳同位素值不按正、负碳同位素系列规律, 排列出现混乱时, 称为碳同位素系列倒转。有机烷烃气碳同位素系列发生倒转的成因^[5]有: ①有机烷烃气和无机烷烃气的混合; ②煤成气和油型气的混合; ③“同型不同源”气或“同源不同期”气的混合; ④烷烃气中某一或某些组分被细菌氧化; ⑤地温增高。分析认为泸州古隆起的天然气碳同位素倒转应归于②、③两种可能。同样地, $\delta^3 C_1 > \delta^3 C_2$ 的气井均为储量较大的系统, 其差值越大, 天然气干燥系数越高。

3. 气源与二叠系具明显的亲缘关系

据李一平等(1983)^[4] Ar^{40}/Ar^{36} 丰度对比, 二叠系及下三叠统嘉陵江组数值基本近似, 平均值分别为925及875, 与下伏震旦系(平均7009)及上覆侏罗系(平均值566)均有显著差异。由此表明嘉陵江组气藏气源与二叠系具明显的亲缘关系。

二、烃源断层是运移通道

断层的发育为天然气运移开辟了有利通道, 更利于异源气藏的形成^[6]。二叠系与嘉陵江组之间隔着飞仙关组(厚度500 m左右)的渗透性特差的非生烃层, 二叠系的高熟—过熟天然气主要依靠断层进入嘉陵江组, 断层是其主要输导层(运移通道)。笔者将这类断层称之为嘉陵江组“烃源断层”, 其下断达二叠系或更深、上断达嘉陵江组。其作用主要是为二叠系或更深层烃源岩中的天然气向嘉陵江组储层运移提供了重要的通道, 但这里它并不包括通天

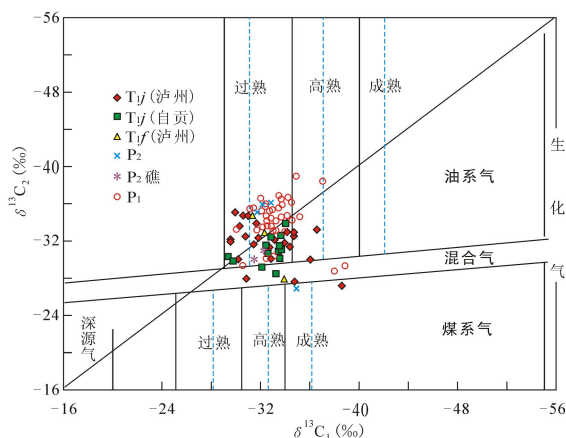


图1 川南地区二叠系、三叠系天然气同位素值分布图
(成熟阶段划分及图版据黄籍中, 1994年, 1996年)

大断层,因为通天大断层在天然气成藏期间及其以后的活动中破坏了嘉陵江组盖层的封堵性,为天然气的向上溢散提供了通道。据统计,四川盆地南部地区烃源断层的长度、断距以及断层长度与断距的乘积与其构造的探明储量呈现出良好的相关性,相关系数(R_2)达0.7068。据构造分析可知几乎在嘉陵江组中获得较大储量系统的构造或构造部位均不同程度发育一条或多条重要的烃源断层,这些烃源断层通常发育在构造翼部或顶部,并在向斜中有较长的延伸,在烃源层中具有较大的断距和延伸长度。如麻柳场构造、长垣坝构造带等;而目前在嘉陵江组未获气或获气较少的构造或构造部位,则烃源断层基本不发育或发育较差,如观音场构造、宋家场构造等。这已清楚地表明,除成藏条件的其它因素(如储层和圈闭)外,烃源断层发育与否是控制天然气富集成大储量系统的关键因素之一,烃源断层是重要的输导层。

三、结 论

(1)嘉陵江组气藏烷烃碳同位素组成表明大(较大)储量气藏天然气混源特征明显,以高一过熟二叠系煤系和油系烃源的混合气为主,干燥系数一般较高;而小储量气藏天然气较湿,干燥系数一般较低,与嘉陵江组局部生烃贡献有关。

(2) $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 丰度对比表明嘉陵江组气藏气源与二叠系具明显的亲缘关系。

(3)二叠系的高一过熟天然气主要依靠烃源断

层注入嘉陵江组,烃源断层是其主要运移通道,其规模在一定程度上代表了烃源注入能力,是该区大(较大)储量气藏成藏的关键因素之一。

成文过程中,得益于成都理工大学能源学院院长张哨楠教授,蜀南气矿副矿长宋华清高级工程师,中国石油西南油气田分公司研究院王兰生高级工程师地耐心指导和帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 王兰生等.四川盆地的有机地球化学特征及其成因.沉积学报,1997;15(2):51
- 2 黄籍中等.油气区天然气成因分类及其在四川盆地的应用.天然气地球科学,1991;(1):8
- 3 黄籍中等.四川盆地碳酸盐岩发育区主要烃源岩分布及有机质演化研究——烃源体系与大中型气田的形成及预测.天然气工业,1996;16(增刊):71
- 4 Wang ShunYu,Dai HongMing,Wang HaiQing *et al.* Natural gas geochemistry characters and orlgin of large gas field in maeine caebonates of the Sichuan Basin. Natural Gas Geoscience,2000;11(2):10—14
- 5 戴金星等.中国有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因.石油与天然气地质,2003;24(1):1~6
- 6 宋岩,戴金星等.我国大中型气田主要成藏模式及其分布规律.中国科学(D辑),1996;26(6):499~501

(收稿日期 2005-08-15 编辑 黄君权)