科学通报
第41卷 第3期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1996年2月

鄂尔多斯盆地酸解烃碳同位素组成与气-源对比

张同伟 王先彬 陈践发 邵 波 李春园
(中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室，兰州 730000)
徐雁前
(中国石油天然气总公司长庆石油勘探局勘探开发研究院，庆阳 745101)

关键词 酸解烃 碳同位素 气-源对比

在有机质热演化成烃作用的同时，其成烃产物通过岩石吸附、成岩矿物的包裹等作用被记录在沉积岩石中，酸解烃指被成岩碳酸岩、铝硅酸盐等矿物包裹的 C_1—C_5 气态烃，在样品粉碎和真空条件下，游离烃已大部分被解析，兼之酸解烃较岩石吸附烃又高出3个量级．其化学组成和同位素组成的变化则应与相应层段生成的天然气地球化学特征相一致，因此可通过源岩酸解气和天然气同位素组成的对比，追索烃源岩，这种气-源对比较前人的工作更直接一些．本文通过鄂尔多斯盆地城川一井酸解烃组成的垂向变化及古生界烃源岩酸解气和天然气碳同位素对比研究，探讨了酸解烃的来源及利用烃源岩酸解气与天然气同位素组成，进行气-源直接对比的可能．

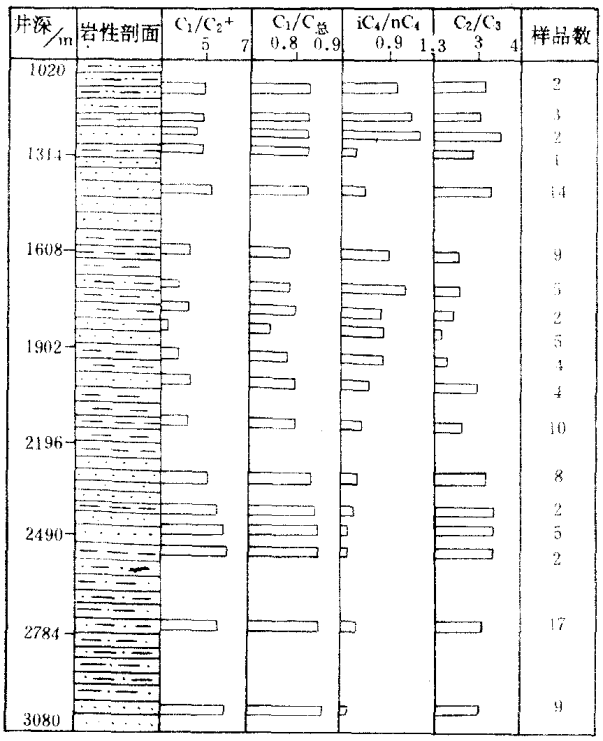


图1 酸解烃组分在垂向上的变化

1 垂向上酸解烃组成的变化及其成因

图1是鄂尔多斯盆地城川1井1 020～3 080 m层段酸解烃组分的变化．该段为一套砂泥岩交互层沉积序列，有机碳含量高，为0.47%～25.5%，430℃ $<T_{max}<$ 500℃，有机质处于成熟早期-凝析油的热演化阶段[1]．由图1可看出，随深度的增大，酸解烃 C_1/C_{2^+}，$C_1/C_{总}$ 及 C_2/C_3 比值先由大变小，又由小变大，而 iC_4/nC_4 比值基本上随深度增加，逐渐变小．

沉积地层中气态烃主要由两个过程产生，一是在缺氧条件下微生物对有机质的分解作用，第二种是热力作用下有机质的降解和裂解[2]．前者生成的天然气组分偏干，以甲烷为主，仅有极少量的重烃气．研

1995-06-12收稿，1995-09-11收修改稿

究表明，有机质经热力作用可生成气态烃和液态烃，不论是海相环境还是陆相环境生成的天然气，随着热演化程度的增加，天然气组分由干变湿，又由湿变干，在液态窗的范围内气体组成最湿[3]；随热成熟度的增大，我国四川盆地不同产层天然气 C_1/C_2+C_3 值显示出由大变小，又由小变大的变化特征[4]；由低成熟到成熟，天然气 C_2/C_3 值逐渐减小，到高成熟和过成熟阶段比值又开始增加，最后形成热解干气，天然气中 iC_4/nC_4 比值随着热成熟度的增大而减小[5~7]. 可见在 1 020 ~ 3 080 m 层段，酸解烃组分 C_1/C_{2^+}，$C_1/C_{总}$，C_2/C_3 及 iC_4/nC_4 比值随深度的变化特征，与沉积有机质在不同演化阶段，受热力作用改造生成天然气的组分变化特征相同，这表明酸解烃为相应层段有机质在热力作用下转化而成.

2　酸解烃碳同位素组成与气源对比

2.1　烃源岩酸解烃碳同位素组成

表 1 是位于鄂尔多斯盆地靖边、榆绥地区 8 口天然气井中天然气和烃源岩酸解气碳同位素组成的分析结果. 上古生界石炭系烃源岩酸解气 $\delta^{13}C_1$ 在 −33.8‰ ~ −38.5‰，平均为 −37.1‰，$\delta^{13}C_2$ 在 −22.1‰ ~ −23.5‰，平均 −22.8‰，下古生界奥陶系烃源岩酸解气 $\delta^{13}C_1$ 在 −33.8‰ ~ −38.8‰，平均 −38.0‰，$\delta^{13}C_2$ 在 −26.4‰ ~ −31.6‰，平均为 −28.9‰. 可见，两套烃源岩酸解气乙烷碳同位素明显地不同. 此外，同一口井中，一定成熟度的同一类型烃源岩在不同层段酸解气碳同位素组成差别很小，如陕 8 井奥陶系碳酸盐岩酸解气 $\delta^{13}C_1$，$\delta^{13}C_2$，$\delta^{13}C_3$ 和 $\delta^{13}C_4$ 值在 3 个层段间变化很小，在分析误差范围内，可认为是一致的. 这表明对于一套有机质类型、热演化程度相同的烃源岩，某一深度段酸解气碳同位素组成特征，可代表该段烃源岩酸解气的碳同位素组成.

表 1　鄂尔多斯盆地靖边、榆绥地区天然气和源岩酸解气碳同位素组成[a)]

井号	井深/m	层位	$\delta^{13}C_1$/‰	$\delta^{13}C_2$/‰	$\delta^{13}C_3$/‰	$\delta^{13}C_4$/‰	备注
陕参 1	3 334.83 ~ 3 334.98	C_{3x}	−33.8	−22.1	−21.5	−20.9	酸解气
		$O_{1m五}$	−35.6	−29.6			
	3 443 ~ 3 472	$O_{1m五}$	−33.9	−27.6	−26.0	−22.8	天然气
陕参 6		$O_{1m五}$	−34.7	−29.6			酸解气
	3 582 ~ 3 585	$O_{1m五}$	−33.9	−30.0	−24.4	−24.4	天然气
陕 17	3 122.3 ~ 3 132.4	$O_{1m五}$	−35.6	−26.4	−27.6		酸解气
	3 177 ~ 3 182	$O_{1m五}$	−33.2	−30.7	−26.9		天然气
镇川 1	2 195.7 ~ 2 195.9	C	−38.4	−23.5			酸解气
	2 041 ~ 2 061	C	−34.1	−23.4			天然气
榆 4	2 186 ~ 2 208	C_{3x}	−39.1	−22.8			酸解气
	2 210.5 ~ 2 210.6	C_{3x}	−33.9	−22.5	−21.9		天然气
陕 20	3 605 ~ 3 606	O_{1m}	−37.9	−28.4			酸解气
	3 522 ~ 3 524	O_{1m}	−34.6	−30.9	−27.6		天然气
陕 28	3 426 ~ 3 427	O_{1m}	−33.8	−31.6			酸解气
	3 366 ~ 3 371	O_{1m}	−34.1	−28.3			天然气
陕 8 井	3 228.3 ~ 3 228.4	O_{1m}	−36.1	−29.2	−28.9	−26.3	
	3 238.4 ~ 3 238.5	O_{1m}	−36.6	−29.4	−28.1	−25.4	酸解气
	3 681.6 ~ 3 681.7	O_{1m}	−36.2	−29.7		−24.0	

a) 碳同位素组成采用 PDB 标准

但酸解气 $\delta^{13}C_1$ 值均小于相应的与其同源天然气的 $\delta^{13}C_1$ 值，酸解气中甲烷相对富集轻碳同

位素组成(表1). 造成二者同位素组成差异可能有以下两种主要原因: (a)酸解气甲烷碳同位素可能代表烃源岩生成气态烃的"真实"同位素组成,而富集成藏的天然气是散失和供给达到平衡的产物,在富集成藏过程中,甲烷的散失使^{12}C优先丢失,结果使成藏气中甲烷相对富集^{13}C; (b) 酸解烃是指由碳酸盐、铝硅酸盐等成岩矿物所包裹的C_1-C_5的气态烃. 因而除包裹烃源岩成烃高峰期的气态烃外,还会混有成熟度相对较低时转化而成的少量气态烃,后者相对富集轻碳同位素组成,即^{12}C, 致使酸解气$\delta^{13}C_1$值相对成藏气偏小.

2.2 气-源对比

鄂尔多斯盆地上古生界和下古生界两套烃源岩处于高成熟→过成熟的成气阶段,由于它们在沉积环境和生烃母质上的差异,导致其产物同位素组成不同. 下古生界海相→泻湖相碳酸盐岩、以藻类为主要成烃母质,而上古生界石炭-二叠系为滨海沼泽相的煤系,以陆生植物为主要成烃母质,这两种成烃母质及其成烃产物在碳同位素组成上有显著差别,前者富集碳的轻同位素(^{12}C),后者富集碳的重同位素(^{13}C). 如在靖边、榆绥地区典型奥陶系来源的天然气,其$\delta^{13}C_1<-37‰$,$\delta^{13}C_2<-28.0‰$,典型的石炭-二叠系来源天然气$\delta^{13}C_1>-33‰$,$\delta^{13}C_2>-25.5‰$[8]. 两套烃源岩酸解气甲烷碳同位素组成没有明显的差别,但乙烷碳同位素组成则差别很显著,并与其同源的天然气中乙烷碳同位素组成可进行直接对比. 这就为依据天然气碳同位素组成的特征与可能源岩的酸解气碳同位素组成,进行气-源直接对比提供了可能. 以陕参1井为例,天然气中$\delta^{13}C_1$, $\delta^{13}C_2$, $\delta^{13}C_3$和$\delta^{13}C_4$值分别为$-33.9‰$, $-27.6‰$, $-26.0‰$和$-22.8‰$, 上古生界太原组烃源岩酸解烃甲烷、乙烷、丙烷和丁烷碳同位素值分别为$-33.8‰$, $-22.1‰$, $-21.5‰$和$-20.9‰$,乙烷以上重烃组分碳同位素与产层中天然气相差很显著,而下古生界奥陶系马家沟组烃源岩酸解气$\delta^{13}C_1$和$\delta^{13}C_2$值分别为$-35.6‰$和$-29.6‰$,乙烷碳同位素与天然气中乙烷同位素很接近,从而表明该井中天然气应主要源于奥陶系马家沟组.

3 结语

(1) 有机质由成熟早期→液态窗→成熟晚期演化过程中,岩石酸解气C_1/C_{2+}, $C_1/C_{总}$和C_2/C_3比值随埋深增大,先由大变小,又由小变大的变化特征,与随着熟化程度的增加,天然气组分的变化特征相同,表明酸解烃可代表相应层段有机质在热力作用下的气态烃产物.

(2) 不同类型烃源岩酸解气乙烷碳同位素差别显著,且与其同源的天然气中乙烷碳同位素组成可进行对比,利用这种特征可进行气-源直接对比.

参 考 文 献

1 张同伟, 王先彬, 陈践发. 油气微渗漏的色层分馏效应. 沉积学报, 1994, 12(4): 110~117

2 Hunt J M. Generation and migration of light hydrocarbons. Science, 1984, 226: 1265~1270

3 Stahl W. Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbon research and exploration. Chem Geology, 1977, 20: 121~149

4 宋 岩. 影响天然气组分变化的重要因素. 石油勘探与开发, 1991, (2): 42~49

5 Barker J F, Pollock S J. Geochemistry and origin of natural gases in southern Ontario. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1984, 32(3): 313~326

6 Heroux Y, Chagnon A, Bertrand R. Compilation and correlation of major thermal ma tnruation indicators. AAPG Bulletin, 1979, 63: 2128~2144

7 Erdman J G, Morris D A. Geochemical correlation of petroleum. AAPG Bulletin, 1974, 58: 2326~2337

8 陈安定. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系天然气的成因和运移. 石油学报, 1994, 15(2): 1~10