

文章编号: 0253-9985(2001)04-0319-03

沁水盆地晋城地区煤层气成因

胡国艺^{1,2}, 刘顺生¹, 李景明², 李 剑², 张建博², 李志生²

(1. 中国科学院长沙大地构造所, 湖南长沙 410000; 2. 石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

摘要: 沁水盆地晋城地区山西组和太原组煤岩中煤层气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 $-2.963\% \sim -3.539\%$, 明显低于模拟实验和经验公式计算的原生煤层气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值 (-2.701%), 由此判断其为次生煤层气。由于该区煤层气组分中, 甲烷含量占绝对优势 ($>98\%$), 不存在甲烷和 CO_2 碳同位素的交换, 而且其保存条件良好, 也不可能受到次生物作用的影响, 所以, 煤层的解吸-扩散-运移作用才是晋城地区次生煤层气形成的真正原因。

关键词: 煤层气; 成因; $\delta^{13}\text{C}_1$; 次生作用; 晋城地区

第一作者简介: 胡国艺, 男, 33岁, 工程师(博士生), 石油天然气地质

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

根据成因, 煤层气主要有原生和次生两种类型^[1]。原生煤层气是指由成煤作用(主要为热解和裂解)形成的后期未受其他地质因素重大干扰的煤层气。不同演化阶段的原生煤层气其重烃含量及甲烷碳同位素值不同, 无烟煤的原生煤层气重烃含量较低(常为 $2\% \sim 3\%$ 或更低), $\delta^{13}\text{C}_1$ 值较高。次生煤层气是指煤层气生成后, 因受其他地质因素(解吸-扩散、 CH_4 和 CO_2 碳同位素交换及生物作用等)的影响, 其组分和甲烷碳同位素值明显改变而形成的煤层气。通常情况下, 次生煤层气的甲烷碳同位素较轻。笔者通过模拟实验和经验公式分析发现, 晋城地区山西组和太原组的煤层气具有次生煤层气的特征。

1 实测值

煤层气组分和碳同位素组成与取样条件密切相关。如果取样条件有差别(井口采样和解吸气)即使是同一口井测得的煤层气组分和碳同位素值数据变化也较大(晋城地区所有煤层气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值在 $-0.91\% \sim -3.94\%$ 之间), 因此在应用煤层气组分和碳同位素数据时一定要谨慎。根据对试 A1 井 3[#] 煤层在试采阶段中取的 6 个气样(时间间隔为 4 个月) $\delta^{13}\text{C}_1$ 值变化跟踪分析, 发现 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值在 $-3.08\% \sim -3.19\%$ 之间变化, 平均为 -3.10% 。数据变化较小, 因此井口采集的煤层气样品分析数

据能够代表该井煤层气的真实数据, 本文所有气样均取自井口。

1.1 组分组成

晋城地区煤层气组分以甲烷为主, 一般大于 98% , 乙烷含量甚微, $\text{C}_2/\text{C}_1 < 0.001$, 除此之外, 还有部分 N_2 和 CO_2 , 其含量均低于 1% (表 1)。

表 1 晋城地区 3[#] 煤层气组分组成

Table 1 Composition of 3[#] coal bed gases in Jincheng area

井号	井深/m	$\text{C}_1/\%$	$\text{C}_2/\%$	$\text{CO}_2/\%$	$\text{N}_2/\%$	$(\text{CO}_2/\text{CH}_4)$
试 A1-1	525.6~532.0	98.75	微量	0.44	0.80	0.0045
试 A1-3	519.0~524.4	98.33	微量	0.90	0.76	0.0092
试 A1-3	519.0~524.4	98.52	微量	0.90	0.56	0.0091

1.2 $\delta^{13}\text{C}_1$ 组成

晋城地区气井中煤层气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值分布在 $-2.963\% \sim -3.539\%$ 之间, 试 A3 井最轻, 向西逐渐变重, 到最西边试 A5 井煤层气最重可达 -3.01% (表 2)。

表 2 晋城地区气井中煤层气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 分布

Table 2 Distribution of $\delta^{13}\text{C}_1$ in coal bed gas from gas wells in Jincheng area

井号	井深/m	层位	$\delta^{13}\text{C}_1/\%$
试 A1	521.0~527.4	3 [#]	-3.120
试 A2	517.5~518.5	3 [#]	-3.180
试 A2	609.95~611.15	15 [#]	-3.210
试 A3	513.5~515.5	3 [#]	-3.356
试 A3	557.04~557.94	10 [#]	-3.326
试 A3	603.42~604.80	15 [#]	-3.539
试 A5	841.90~844.35	3 [#]	-3.010
试 A5	942.55~945.20	15 [#]	-2.963
试 A6	1024.6~1025.7	3 [#]	-3.048

2 理论值

2.1 模拟实验

煤岩热模拟实验结果(图 1, 2)表明: 煤岩 R_o 值约为 1.4% 时, 甲烷碳同位素最轻(其前碳同位素很重可能与煤中残余烃的影响有关), 仅为 -3.198% , 而此阶段尚未达生气高峰期, 在此之后, 甲烷碳同位素逐渐增重, 在生气高峰期时($R_o=1.9\%$)为 -2.637% , 在 $R_o=2.1\%$ 时为 -2.172% 。根据煤岩阶段产气量与产物甲烷碳同位素比值进行

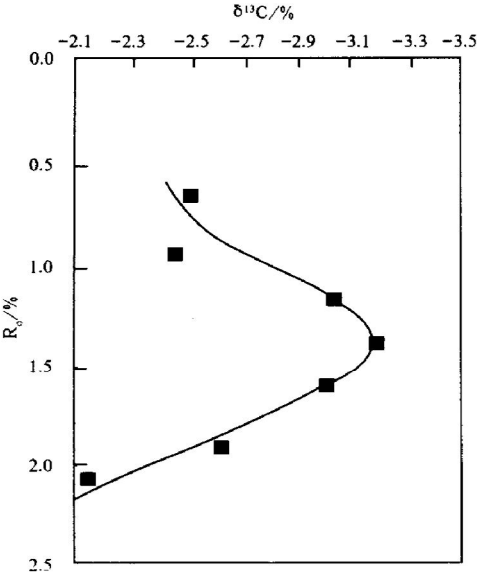


图 1 煤岩热模拟阶段产物 $\delta^{13}C_1$ 值变化

Fig. 1 Variation of $\delta^{13}C_1$ value during thermal simulation in coal-measure rocks

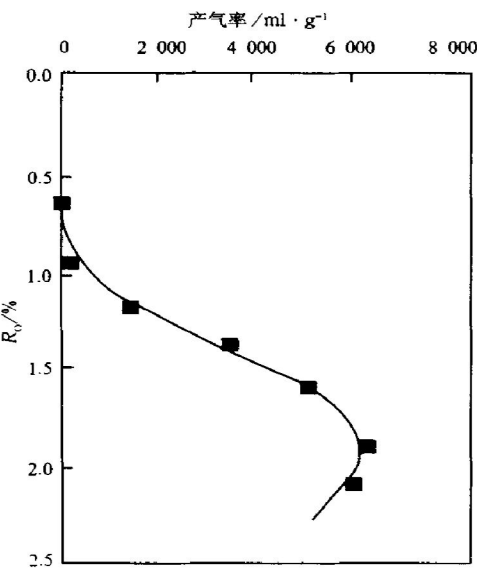


图 2 煤岩热模拟阶段产气率变化

Fig. 2 Variation of gas producing rate during thermal simulation in coal-measure rocks

加权平均, 求取煤岩在 $R_o=2.1\%$ 前生成的甲烷

$\delta^{13}C_1$ 值为 -2.701% , 与生气高峰期时的 -2.637% 比较接近, 因此生气高峰期时的碳同位素比值一般可以代表煤层气的原生气碳同位素值。晋城地区煤岩 R_o 值高达 $2.6\% \sim 3.7\%$, 按照煤岩热模拟产物甲烷碳同位素变化趋势, 晋城地区煤层气应该很重, 累计所生的甲烷 $\delta^{13}C_1$ 值理论上可能还要大于 -2.701% 。

2.2 经验公式

戴金星等^[1]根据大量的资料建立了煤成气(包括煤层气)甲烷 $\delta^{13}C_1$ 值与煤岩 R_o 之间的相关关系, 据此计算, 晋城地区煤层气 $\delta^{13}C_1$ 值应在 $-2.627\% \sim -2.843\%$ 之间, 碳同位素较重, 但实测的煤层气 $\delta^{13}C_1$ 值明显偏低, 一般在 $-2.963\% \sim -3.539\%$ 之间, 相差约 $0.187\% \sim 0.746\%$, 平面上由西到东差值增大(表 3)。

表 3 晋城地区气井煤层气甲烷碳同位素
实测值与理论值比较

Table 3 Comparison between measured and theoretical values of methane $\delta^{13}C_1$ from coal-bed gases in jincheng area						
井号	煤层号	埋深/m	R_o / %	理论值 / %	实测值 / %	$\Delta\delta^{13}C_1$ / %
试 A1	3 [#]	522.4~ 522.7	3.70	- 2.627	- 3.120	0.493
试 A1	15 [#]	607.2~ 608.0	3.70	- 2.627	-	-
试 A2	3 [#]	517.5~ 518.5	2.60	- 2.843	- 3.180	0.337
试 A2	15 [#]	609.9~ 611.1	2.75	- 2.809	- 3.210	0.401
试 A3	3 [#]	不详	2.79	- 2.799	- 3.356	0.556
试 A3	15 [#]	不详	2.82	- 2.793	- 3.539	0.746
试 A4	3 [#]	526.1~ 527.9	3.20	- 2.716	-	-
试 A4	15 [#]	615~ 620	3.24	- 2.708	-	-
试 A5	3 [#]	839.9~ 844.35	2.88	- 2.780	- 3.010	0.230
试 A5	15 [#]	942.55~ 947.7	2.90	- 2.776	- 2.963	0.187

无论是通过热模拟实验还是根据经验公式计算, 晋城地区原生煤层气 $\delta^{13}C_1$ 值下限都在 -2.710% 左右, 如果考虑到扩散等其他作用, 该区原生煤层气的真实值可能要大于 -2.710% , 因此从碳同位素这个角度来看, 晋城地区煤层气可能为次生煤层气。

3 形成原因

次生煤层气的形成主要有三方面原因。一是 CH_4 和 CO_2 碳同位素交换平衡效应^[3]。从煤岩热模拟 CO_2 碳同位素组成来看, 这种因素可以排除, 低熟煤岩在不同模拟温度下生成 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值变化在 $-1.520\% \sim -2.468\%$ 之间, 比同演化阶段的甲烷碳同位素要重得多。另外, 根据前人煤岩模拟实验

证明,在早期阶段煤层中 CO_2 和 CH_4 含量较高, CH_4 和 CO_2 碳同位素交换平衡可以使 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值变低,但在高成熟的晋城地区煤层中, CH_4 含量占绝对优势而 CO_2 含量很低,因此晋城地区 $\delta^{13}\text{C}_1$ 较低并非为这种交换作用所致。二是生物作用使煤层气变干。由于后期构造改造作用,深处的煤层抬升至浅处(煤层地温低于 75°C),并且煤层气保存条件较差,微生物大量生存繁殖,煤层与微生物之间发生生物化学作用,从而生成富含 ^{12}C 甲烷生物气并保存在煤层中,轻的次生生物气和煤层中热裂解形成的原生煤层气混合,也可以导致成熟度高的煤层中煤层气变轻。沁水盆地在燕山期经过强烈抬升作用,在盆地的东南部阳泉煤矿(煤层埋深 340 m) $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 -5.05% ,甲烷碳同位素较轻,这种煤层气可能是煤层气保存条件差,受到后期的微生物作用而形成的次生生物气。根据张建博等^[3]对沁水盆地煤层气保存条件研究,晋城地区煤层气在该区保存条件最好,其为微生物作用形成的可能性不大。三是煤层气的解吸→扩散→运移作用导致煤层气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 变干。在燕山期由于构造抬升和地层剥蚀而引起煤层埋深变浅和卸压导致煤层气发生解吸-扩散效应,由于 ^{12}C 甲烷的极性弱于 ^{13}C 甲烷,致使 ^{12}C 甲烷优先解吸,在扩散-运移过程中在煤层气富集区煤层气中 ^{12}C 甲烷相对富集而导致煤层

气变轻,从而造成原生带→过渡带→解析带的由深至浅垂向分带序列。这一点从 3[#] 煤层及其顶板黑色泥岩的物性微观参数也可得到佐证^[3], 3[#] 煤顶板黑色泥岩在 3~6 m 之间,孔隙度、渗透率都很低,裂隙不发育,孔隙度平均为 2.44%,渗透率平均为 $0.178 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力高,平均为 8.86 MPa,扩散系数小,平均为 $1.788 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$;而 3[#] 煤孔隙度一般为 5%~10%,渗透率平均为 $3.16 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性条件明显好于上覆泥岩,煤层气在煤层中扩散及运移的效率远远高于上覆泥岩。

4 结论

根据经验公式计算和煤岩热模拟实验等数据推测晋城地区原生煤层气甲烷 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值在 $-2.627\% \sim -2.843\%$ 之间,而实测值约高于此值 $0.180\% \sim 0.746\%$,反映出该区煤层气为次生煤层气成因。这种次生煤层气可能是通过解析-扩散-运移效应形成的。

参 考 文 献

- 1 戴金星,戚厚发,宋岩,等.我国煤层气组分、碳同位素类型及其成因和意义[J].中国科学(B辑),1986,16(12):1317~1326
- 2 Rigby D, Smith J W. An isotope study of gases and hydrocarbons in the Cooper Basin[J]. APEA, 1981, 21(1):222~228
- 3 张建博,王红岩.山西沁水盆地煤层气有利区预测[M].江苏:中国矿业大学出版社,1999.81~94

ORIGIN OF COAL-BED GASES IN JINCHENG AREA OF QINSHUI BASIN

Hu Guoyi^{1,2} Liu Shunsheng¹ Li Jingming² Li Jian² Zhang Jianbo² Li Zhisheng²

(1. Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan; 2. Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang, Hebei)

Abstract: The value of $\delta^{13}\text{C}_1$ of coal-bed gas in Shanxi and Taiyuan Formations in Qinshui Basin is between $-2.963\% \sim -3.539\%$, which is clearly lower than the $\delta^{13}\text{C}_1$ value (-2.701%) of simulation test and that calculated by empirical formula. The gas is thus considered to be secondary coal-bed gas. The contents of methane in coal-bed gas in the study area is more than 98%, and there is no exchange of methane and CO_2 isotope, the preservation condition is good. So it is suggested that desorption-diffusion-migration should be the real origin of the secondary coal-bed gas in the study area.

Key words: coal-bed gas; origin; $\delta^{13}\text{C}_1$; secondary action; Jingcheng area