

文章编号:1672-6561(2012)03-0001-06

钼催化作用下的煤成烷烃气碳同位素演化

秦 勇¹, 吴艳艳², 刘金钟³, 申 建¹

(1. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116; 2. 中国石油化工股份有限公司 华东分公司 石油勘探开发研究院, 江苏 南京 210011; 3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要:为了阐释钼催化作用下的煤成气碳同位素演化特征和机理,采用在原煤中添加单质钼的方式,开展催化生气模拟试验,测定模拟系列气样的单体烷烃气碳同位素组成,并对其演化规律和模式进行探讨。结果表明:无论加钼与否,模拟气甲烷碳同位素组成($\delta(^{13}\text{C}_1)$)均以镜质组反射率1.1%为界分为演化趋势截然相反的2个阶段,乙烷碳同位素组成($\delta(^{13}\text{C}_2)$)不存在明显的演化阶段性,但加钼煤样 $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 由在较低成熟度阶段重于原煤样变为在较高成熟度阶段轻于原煤样;加钼条件下,模拟烷烃气呈现出正碳同位素系列, $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 为 $(-25 \sim -45) \times 10^{-3}$, $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 重于 -29×10^{-3} ,表明钼催化成因气属于有机热成因气范畴。对比模拟烷烃气碳同位素组成与镜质组反射率之间的关系,发现模拟烷烃气碳同位素组成演化规律与前人模式有所不同。加钼煤样的不同单体烷烃气碳同位素组成随有机质成熟度变化速率的不同而不同,指示生气作用在钼催化作用下得到增强,这一效应在裂解气生成过程中更为显著;加钼煤样 $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 在较高成熟度条件下轻于原煤样 $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 的原因可能在于钼催化效应促进了煤中壳质组裂解生气。

关键词:煤;钼;催化;烷烃气;碳同位素;演化;模拟

中图分类号:P618.11 **文献标志码:**A

Evolution of Carbon Isotope in Coal-derived Alkane Gas Under Catalysis of Molybdenum

QIN Yong¹, WU Yan-yan², LIU Jin-zhong³, SHEN Jian¹

(1. Key Laboratory of Coalbed Methane Resource and Reservoir Formation Process, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China; 2. Petroleum Exploration and Development Institute, East China Company, Sinopec, Nanjing 210011, Jiangsu, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract: In order to understand the mechanism of coal-derived alkane gas under the catalysis of molybdenum(Mo), gas generation simulations from the raw coal sample and Mo-added coal sample were carried out, and the simulated carbon isotopic compositions of monomeric alkane gas were measured, and the evolution pattern of carbon isotope was discussed. The results showed that carbon isotopic composition of methane ($\delta(^{13}\text{C}_1)$) of simulated gas was evolved in two stages whether or not Mo was added, 1.1% of vitrinite reflectance was the demarcation point; there was no obvious evolutionary stage for carbon isotopic composition of ethane ($\delta(^{13}\text{C}_2)$), but for the Mo-added coal sample, there was a significant change for the $\delta(^{13}\text{C}_2)$, $\delta(^{13}\text{C}_2)$ was heavier than that of raw coal sample in lower maturity stage at first, and then lighter in higher maturity stage; for the Mo-added coal sample, there was a positive carbon isotope series for simulated alkane gas,

收稿日期:2012-06-25

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40730422);国家科技重大专项项目(2011ZX05034)

作者简介:秦 勇(1957-),男,重庆市人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:yongqin@cumt.edu.cn.

$\delta(^{13}\text{C}_1)$ was $(-25-45) \times 10^{-3}$, $\delta(^{13}\text{C}_2)$ was heavier than -29×10^{-3} , so the Mo-catalytic gas was thermogenic gas from the organic matters in coal. The relationship between carbon isotopic composition and vitrinite reflectance of simulated alkane gas showed that the evolution was different with others' results. Carbon isotopic compositions of different monomeric alkane gases was different for the Mo-added coal sample with the rate of maturity of organic matter, so gas generation was strengthened under the Mo catalyst and the catalysis was more significant during the pyrolysis gas generation. The reason that $\delta(^{13}\text{C}_2)$ was lighter than that of raw coal sample in higher maturity stage for the Mo-added coal sample, could be that Mo catalytic effect improved the generation of pyrolysis gas generation from exinite group in coal.

Key words: coal; molybdenum; catalysis; alkane gas; carbon isotope; evolution; simulation

0 引言

钼作为一种过渡金属元素,在煤层中广泛存在^[1]。钼在化工过程中被广泛用作工业催化剂,含钼催化剂是目前化工界的研究热点之一^[2]。尽管煤层气以生物化学和热成因为主,但试验发现煤中钼与有机质相互作用能够促进烃类生成^[3],煤中无机质的催化效应也逐渐被学术界所认识^[4]。同时,前人在有机成因、无机成因、有机-无机混合成因、不同类型有机成因天然气的鉴别方面做过大量卓有成效的研究工作^[5-12]。然而,目前对钼作用下的煤层气碳同位素演化特征和机理却一无所知。基于此,

笔者选取典型煤样,开展原煤及加单质钼条件下的生气模拟试验,测定模拟系列气样的单体烃气碳同位素组成,并对其演化规律和模式进行探讨。

1 样品与试验

煤样采自贵州省西部水城矿区大河边煤矿上二叠统龙潭组 11 号煤层。煤中显微组分以镜质组和壳质组为主,为腐殖型有机质;镜质组最大反射率为 0.67%,煤级为气煤;特低硫,灰分产率较低,矿物中只含有少量高岭石和方解石,钼元素含量(质量分数,后文同)极低(表 1)。煤样的这些基本特征,有利于模拟试验过程中突出加钼后的催化生气效应。

表 1 模拟试验煤样物质组成

Tab. 1 Matter Composition of Coal Sample for Simulation Experiment

$R_{\text{omax}}/\%$	工业分析参数/%			显微组分/%			硫含量/%			过渡金属元素含量/ 10^{-6}									
	M_{ad}	A_{d}	V_{daf}	V	I	E	S_{td}	S_{od}	S_{pd}	V	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Mo
0.67	2.24	14.18	38.82	59.7	10.9	12.7	0.59	0.44	0.14	24.32	705.30	18.84	497.80	2.88	4.42	18.89	0.87	101.70	0.33

注: R_{omax} 为镜质组最大反射率; M_{ad} 为空气干燥基水分含量; A_{d} 为干燥基灰分产率; V_{daf} 为干燥无灰基挥发分产率;V为镜质组显微组分;I为惰质组显微组分;E为壳质组显微组分; S_{td} 为干燥基全硫含量; S_{od} 为干燥基有机硫含量; S_{pd} 为干燥基硫化物硫含量。

采用“原煤样品+单质钼”的形式,将模拟样品配比分成 2 个系列:第 1 系列为原煤,简称“原煤样”;第 2 系列由原煤与钼组成,简称“加钼煤样”。其中,原煤与添加催化剂(单质钼)的质量比为 5:1。单质钼采用化学分析钼粉,纯度为 99.99%,粒径为 74 μm 。

模拟试验以及产物测试均在中国科学院广州地球化学研究所完成。采用黄金管限定体系装置^[12],将炉内温度从室温在 10 h 内缓慢升至 150 $^{\circ}\text{C}$,然后以 2 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速率升温至 336 $^{\circ}\text{C}$ 取出第 1 个高压釜,之后每隔 24 $^{\circ}\text{C}$ 取出 1 个高压釜,至 600 $^{\circ}\text{C}$ 取出最后 1 个高压釜,共计获得 24 个模拟气样。气体碳同位素测定采用 VG Isochrom II 型同位素质谱仪,每个气样测试 2 次,取其平均值作为最终测试结果。基于生气模拟结果,采用 EASY% R_o 方法^[13-14]以及

美国劳伦斯国家实验室开发的 Kinetics 软件,反演不同模拟温度下煤的热成熟度,所得结果用镜质组反射率(EASY R)表征,相关结果见表 2。其中, R_o 为镜质组油侵反射率。

2 结果与讨论

2.1 模拟烷烃气碳同位素演化规律

根据 EASY% R_o 法反演结果,利用切线方程,揭示出煤样有机质热成熟过程经历了 3 个演化阶段(图 1)。第 1 阶段(I)模拟温度低于 381 $^{\circ}\text{C}$,镜质组反射率小于 1.0%,有机质成熟度随模拟温度增高而缓慢增长。第 2 阶段(II)模拟温度为 381 $^{\circ}\text{C} \sim 568$ $^{\circ}\text{C}$,对应的镜质组反射率为 1.0%~4.1%,有机质成熟度随温度增高的增长速率相对较快,煤大分子

表 2 煤样产气率及模拟烷烃气碳同位素组成

Tab. 2 Generating Rate and Carbon Isotopic Composition of Alkane Gas from Coal Sample

序号	温度/℃	镜质组反 射率/%	烷烃气产率/(mL·g ⁻¹)		原煤样碳同位素组成/10 ⁻³			加钼煤样碳同位素组成/10 ⁻³		
			原煤	加钼煤样	δ(¹³ C ₁)	δ(¹³ C ₂)	δ(¹³ C ₃)	δ(¹³ C ₁)	δ(¹³ C ₂)	δ(¹³ C ₃)
1	336.10	0.73	0.65	0.54	-37.26	-29.34	-26.64	-34.30	-28.35	—
2	360.40	0.86	3.85	2.78	-38.40	-29.31	-25.42	-38.49	-27.79	-24.66
3	385.00	1.10	11.40	7.23	-39.69	-28.50	-25.27	-40.01	-27.86	-24.03
4	408.30	1.36	23.06	15.13	-39.61	-27.55	-24.68	-37.31	-25.05	-22.93
5	433.30	1.72	38.95	28.89	-35.64	-24.67	-22.48	-34.45	-23.52	-21.25
6	456.70	2.09	55.97	44.79	-33.90	-22.24	-17.42	-34.20	-23.84	—
7	481.10	2.52	73.47	64.72	-35.19	-18.27	-10.33	-29.73	-19.51	—
8	504.70	2.99	85.67	83.00	-31.55	-11.01	—	-28.21	-12.39	—
9	529.60	3.46	96.95	100.31	-30.37	—	—	-28.59	-7.45	—
10	553.70	3.89	108.65	113.02	-29.90	—	—	-26.43	—	—
11	577.40	4.21	107.29	90.49	-26.39	—	—	-25.62	—	—
12	601.00	4.45	77.37	127.09	-29.76	—	—	-24.54	—	—

注:δ(¹³C₁)、δ(¹³C₂)、δ(¹³C₃)分别为甲烷、乙烷、丙烷的碳同位素组成;“—”表示未测。

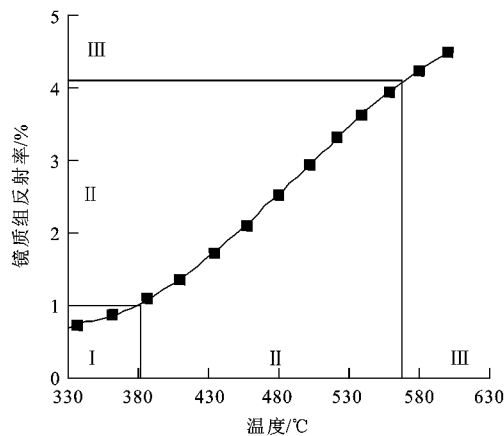


图 1 热模拟温度与煤中镜质组反射率关系
Fig. 1 Relationship Between Thermal Simulation Temperature and Vitrinite Reflectance in Coal

子结构在此期间发生了快速缩聚。此后,进入煤大分子结构缩聚程度的演化进程再度变缓的第 3 阶段(Ⅲ)。随着有机质成熟度的增高,烷烃气碳同位素组成总体上趋于变重,但不同气体的演化趋势有所差异。δ(¹³C₁)的演化与有机质成熟演化阶段性一致,在第 1 阶段和第 3 阶段随镜质组反射率的增高而明显变轻,在第 2 阶段显著变重,加钼煤样的 δ(¹³C₁)始终重于原煤样[图 2(a)]。δ(¹³C₂)在模拟过程中没有体现出明显的演化阶段性,但其最显著的特点是以镜质组反射率 1.9%为界,加钼煤样与原煤样之间δ(¹³C₂)的关系发生了反转,钼催化作用下的δ(¹³C₂)由在较低成熟度阶段重于原煤样变为在较高成熟度阶段轻于原煤样[图 2(b)]。在较高成熟阶段,丙烷产率极低,无法对

δ(¹³C₃)进行测试,但从较低成熟度测试结果来看,其演化趋势与乙烷类似[图 2(c)]。其中,烷烃气碳同位素组成是相对于国际标准 PDB 计算得来。

尽管不同烷烃气碳同位素组成的演化趋势有所差异,但同一煤样系列中单体烷烃气之间的关系还是一致的。无论是原煤样还是加钼煤样,在相同成熟度条件下,均表现出 δ(¹³C₁)<δ(¹³C₂)<δ(¹³C₃)的正同位素系列;无论成熟度高低,δ(¹³C₁)为(-25~-45)×10⁻³(表 2)。这两方面特点均符合有机热成因天然气的典型判别特征^[6-11]。也就是说,钼的催化作用是通过热动力促进煤中有机质生气,钼催化成因气仍然属于有机热成因气范畴。

2.2 模拟烷烃气碳同位素演化方程

基于上述规律,采取拟合程度最优的原则,拟合模拟烷烃气碳同位素组成与镜质组反射率之间的关系(图 3)。

对于原煤样

$$\begin{aligned}\delta(^{13}\text{C}_1) &= -6.369\,9R_o - 32.727 \\ R_o &\leq 1.1\%, r = 0.993\,3 \\ \delta(^{13}\text{C}_1) &= 3.869\,7R_o - 43.618 \\ 1.1\% &< R_o < 4.2\%, r = 0.965\,6 \\ \delta(^{13}\text{C}_2) &= 2.989\,4R_o^2 - 3.156\,7R_o - 28.657 \\ R_o &\leq 2.5\%, r = 0.998\,4 \\ \delta(^{13}\text{C}_3) &= 5.696\,9R_o^2 - 9.868\,8R_o - 21.769 \\ R_o &\leq 3.5\%, r = 0.996\,4\end{aligned}$$

对于加钼煤样

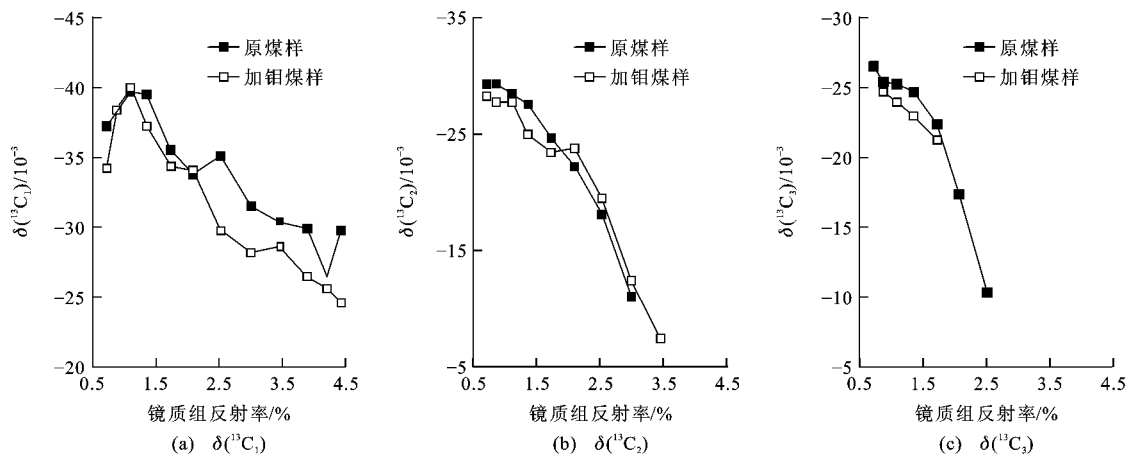


图 2 镜质组反射率与模拟烷烃气碳同位素组成之间的关系

Fig. 2 Relationships Between Vitrinite Reflectance and Carbon Isotopic Composition of Simulated Alkane Gas

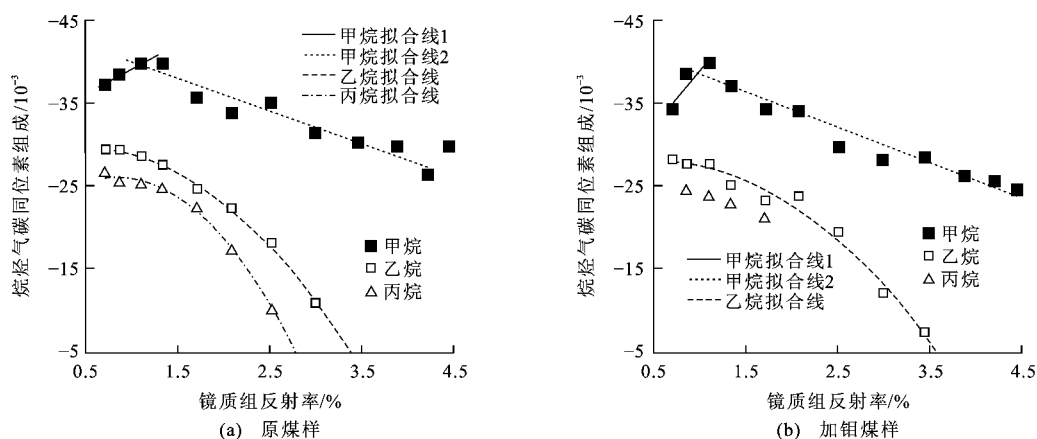


图 3 模拟单体烷烃气碳同位素组成与镜质组反射率之间的拟合关系

Fig. 3 Fitting Relationships Between Carbon Isotopic Composition of Monomeric Alkane Gas and Vitrinite Reflectance

$$\delta(^{13}C_1) = -14.226R_o - 24.824$$

$$R_o \leq 1.1\%, r = 0.9148$$

$$\delta(^{13}C_1) = 4.2382R_o - 42.685$$

$$1.1\% < R_o < 4.2\%, r = 0.9697$$

$$\delta(^{13}C_2) = 2.4795R_o^2 - 2.8226R_o - 27.192$$

$$R_o \leq 2.5\%, r = 0.9903$$

式中: r 为相关系数。

2 个煤样系列模拟烷烃气碳同位素演化模式存在某些共性(图 3)。首先, $\delta(^{13}C_1)$ 均存在 2 个阶段的演化, 阶段之间的分界点位于肥煤与焦煤的分界线附近; 在第 1 阶段(甲烷拟合线 1), $\delta(^{13}C_1)$ 随镜质组反射率的增高而变轻, 在第 2 阶段(甲烷拟合线 2)的演化趋势却相反。其次, 重烃气碳同位素组成与镜质组反射率之间的最佳拟合服从二项式关系, 但在所模拟成熟度范围内呈单调递增函数, 即碳同位素组成随镜质组反射率增高而变重。加钼煤样 $\delta(^{13}C_3)$ 的实测数据点尽管有限, 但对比原煤样模拟

烷烃气碳同位素组成的演化趋势, 仍能看出加钼煤样的 $\delta(^{13}C_3)$ 与 $\delta(^{13}C_2)$ 具有相似的演化模式。

加钼煤样与原煤样 $\delta(^{13}C_1)$ 的差值随镜质组反射率的增高而趋于增大, $\delta(^{13}C_2)$ 的差值却存在相反的演化趋势(图 4)。也就是说, 与原煤样相比, 加钼煤样烷烃气碳同位素演化的另一个特点是在演化速率上存在差异。具体而言, 加钼煤样 $\delta(^{13}C_1)$ 的演化速率总体上大于原煤样, 无论是第 1 阶段的变轻速率还是第 2 阶段的变重速率均是如此; 乙烷则相反, $\delta(^{13}C_2)$ 随镜质组反射率增高而变重的速率低于原煤样, $\delta(^{13}C_3)$ 也有此趋势。

2.3 相关问题探讨

煤样生气模拟试验结果体现出 3 个特点: ①加钼煤样烷烃气碳同位素组成随有机质成熟度变重或变轻的速率不同; ②与原煤样相比, 加钼煤样乙烷碳同位素组成在较高成熟度发生反转, 在相同成熟度条件下反而轻于原煤样甲烷; ③模拟烷烃气演化规

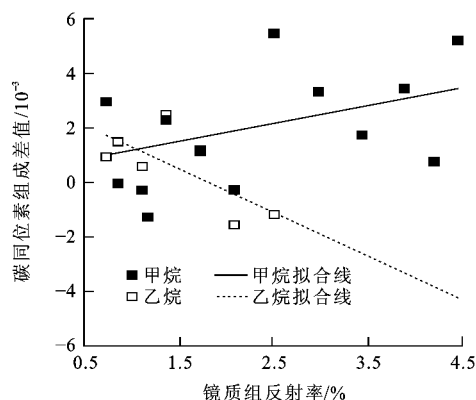


图4 2个煤样系列烷烃气碳同位素组成差值与煤中镜质组反射率的关系

Fig. 4 Relationship of the Difference Value of Carbon Isotopic Compositions Between Two Kinds of Samples to Vitrinite Reflectance in Coal

律与前人模式有所不同。

一般而言,沉积有机质成熟度增高,甲烷碳同位素组成逐渐变重^[10];相同或相近成熟度源岩所成煤成气(腐殖型)甲烷及其同系物的碳同位素组成,比油型气(腐泥型)对应组分碳同位素组成要重^[6]。在成岩还原条件下,过渡金属元素对天然气生成的催化作用通过不同碳数闭环作用和C—C键断裂作用得以实现^[15]。加钼煤样 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 在相同镜质组反射率条件下重于原煤样 $\delta(^{13}\text{C}_1)$,且随成熟度增高两者差值有增大的趋势,指示煤中有机质生气作用在钼作用下得到增强,且钼催化效应在裂解气生成过程中的作用更为显著。加钼煤样重烃气碳同位素组成(如 $\delta(^{13}\text{C}_2)$)在镜质组反射率大于1.9%之后轻于相同成熟度原煤样的 $\delta(^{13}\text{C}_2)$,这一现象可能有2个原因:①钼催化作用下煤中有机质裂解生气速率增大导致固—气之间碳同位素分馏未达平衡;②钼催化效应促进含较长链烷基的煤中壳质组(相当于腐殖—腐泥过渡型有机质)裂解生成重烃气,导致 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 总体组成被含较多 ^{12}C 的壳质组重烃气所稀释而变轻。前一种原因仅由本文试验无法讨论;本文煤样中壳质组含量达12.7%(表1),故后一种原因似乎存在一定的可能性。

前人根据对实测地层资料的统计分析,得到的有机气 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 与镜质组反射率之间的关系均为半对数线性模式^[9]。本文模拟结果与此有所不同,如 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 呈线性演化且体现为趋势截然相反的2个演化阶段, $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 和 $\delta(^{13}\text{C}_3)$ 与镜质组反射率在模拟温度范围内呈二项式单调递增模式。前人模式是综合各种地质条件和过程的统计结果,本文试验影响因素相对单一,但造成上述差异的地质—地球化

学原因有待于进一步深入探讨。此外,前人认为有机成因煤型乙烷碳同位素组成重于 $(-28 \sim -29) \times 10^{-3}$ ^[9,16-19]。本文即使在钼作用下的模拟试验结果,也与此认识高度一致(表2),从一个侧面检验了本文模拟与测试结果的客观性。

3 结 语

(1)无论加钼与否,模拟气 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 以镜质组反射率1.1%为界分为演化趋势截然相反的2个阶段,加钼煤样的 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 始终重于原煤样的 $\delta(^{13}\text{C}_1)$; $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 不存在明显的演化阶段性,但钼作用下的 $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 由在较低成熟度阶段重于原煤样变为在较高成熟度阶段轻于原煤样;无论原煤样还是加钼煤样,相同成熟度条件下均呈现 $\delta(^{13}\text{C}_1) < \delta(^{13}\text{C}_2) < \delta(^{13}\text{C}_3)$ 的正同位素系列, $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 为 $(-25 \sim -45) \times 10^{-3}$, $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 重于 -29×10^{-3} ,指示钼催化成因气属于有机热成因气范畴。

(2)基于拟合程度最优的原则,求取了模拟烷烃气碳同位素组成与镜质组反射率之间关系。无论加钼与否, $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 均服从分段线性拟合模式,重烃气碳同位素组成服从二项式拟合模式,但在所模拟成熟度范围内呈单调递增函数。与原煤样相比,加钼煤样 $\delta(^{13}\text{C}_1)$ 的演化速率总体相对较大, $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 和 $\delta(^{13}\text{C}_3)$ 则与此相反。

(3)本文煤样生气模拟试验结果具有3个特点:①加钼煤样不同单体烷烃气碳同位素组成随有机质成熟度变重或变轻的速率不同,认为这一特征指示煤中有机质生气作用在钼作用下得到增强,且钼催化效应在裂解气生成过程中的作用更为显著;②加钼煤样 $\delta(^{13}\text{C}_2)$ 在较高成熟度条件下轻于原煤样的 $\delta(^{13}\text{C}_2)$,原因可能在于钼催化效应促进了煤中壳质组裂解生气;③本文模拟烷烃气演化规律与前人模式有所不同,造成这一差异的地质—地球化学原因有待进一步探讨。

参考文献:

References:

- [1] 唐修义,黄文辉. 中国煤中微量元素[M]. 北京:商务印书馆,2004.
TANG Xiu-yi, HUANG Wen-hui. Trace Element of Coals in China[M]. Beijing: The Commercial Press, 2004.
- [2] 苗永霞,杨新丽,刘建平. 钼在催化中的应用[J]. 化工进展,2011,30(11):2433-2437.
MIAO Yong-xia, YANG Xin-li, LIU Jian-ping. The Application of Mo in Catalysis [J]. Chemical Industry

- and Engineering Progress, 2011, 30(11): 2433-2437.
- [3] 卢红选, 孟自芳, 李 斌, 等. 微量元素对褐煤有机质热解成烃的影响[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 64-66.
LU Hong-xuan, MENG Zi-fang, LI Bin, et al. Effects of Trace Element on Pyrogenic Hydrocarbon Generation of Lignite [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(2): 64-66.
- [4] 吴艳艳, 秦 勇. 煤中矿物/金属元素在生气过程中的催化作用[J]. 地球科学进展, 2009, 24(8): 882-890.
WU Yan-yan, QIN Yong. Catalysis of Mineral/Metal Elements During Coal Bed Gas Generation [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(8): 882-890.
- [5] 戴金星. 各类烷烃气的鉴别[J]. 中国科学: B 辑, 1992, 35(2): 185-193.
DAI Jin-xing. Identification and Distinction of Various Alkane Gases [J]. Science in China: Series B, 1992, 35(2): 185-193.
- [6] 戴金星, 夏新宇, 秦胜飞, 等. 中国有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 1-6.
DAI Jin-xing, XIA Xin-yu, QIN Sheng-fei, et al. Causation of Partly Reversed Orders of $\delta^{13}\text{C}$ in Biogenic Alkane Gas in China [J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(1): 1-6.
- [7] DAI J X, YANG S F, CHEN H L, et al. Geochemistry and Occurrence of Inorganic Gas Accumulations in Chinese Sedimentary Basins [J]. Organic Geochemistry, 2005, 36(12): 1664-1688.
- [8] 戴金星, 邹才能, 张水昌, 等. 无机成因和有机成因烷烃气的鉴别[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(11): 1329-1341.
DAI Jin-xing, ZOU Cai-neng, ZHANG Shui-chang, et al. Identification of Inorganic and Organic Alkane Gases [J]. Science in China: Series D, 2008, 38(11): 1329-1341.
- [9] 戴金星. 天然气中烷烃气碳同位素研究的意义[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 1-6.
DAI Jin-xing. Significance of the Study on Carbon Isotopes of Alkane Gases [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 1-6.
- [10] 宋 岩, 徐永昌. 天然气成因类型及其鉴别[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 24-29.
SONG Yan, XU Yong-chang. Origin and Identification of Natural Gases [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 24-29.
- [11] 刘文汇, 徐永昌. 天然气成因类型及判别标志[J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 110-116.
LIU Wen-hui, XU Yong-chang. Genetic Indicators for Natural Gases [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(1): 110-116.
- [12] 吴艳艳, 秦 勇, 刘金钟, 等. 矿物/金属元素在煤成烃过程中的作用[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 141-152.
WU Yan-yan, QIN Yong, LIU Jin-zhong, et al. Catalysis Action of Mineral/Metal Elements During Coal-derived Hydrocarbons Process [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(1): 141-152.
- [13] SWEENEY J, BURNHAM A K. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(7): 1559-1570.
- [14] 秦 勇, 宋党育. 山西南部煤化作用及其古地热系统 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
QIN Yong, SONG Dang-yu. Coalification in Southern Shanxi and Its Ancient Geothermal System [M]. Beijing: Geology Publishing House, 1998.
- [15] MANGO F D. Transition Metal Catalysis in the Generation of Petroleum and Natural Gas [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56(1): 553-555.
- [16] 王世谦. 四川盆地侏罗系—震旦系天然气的地球化学特征[J]. 天然气工业, 1994, 14(6): 1-5.
WANG Shi-qian. Geochemical Characteristics of Jurassic-Sinian Gas in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 1994, 14(6): 1-5.
- [17] 戴金星, 倪云燕, 邹才能, 等. 四川盆地须家河组煤系烷烃气碳同位素特征及气源对比意义[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 519-529.
DAI Jin-xing, NI Yun-yan, ZOU Cai-neng, et al. Carbon Isotope Features of Alkane Gases in the Coal Measures of the Xujiahe Formation in the Sichuan Basin and Their Significance to Gas-source Correlation [J]. Oil and Gas Geology, 2009, 30(5): 519-529.
- [18] 胡国艺, 李 谨, 李志生, 等. 煤成气轻烃组分和碳同位素分布特征与天然气勘探[J]. 石油学报, 2010, 31(1): 42-48.
HU Guo-yi, LI Jin, LI Zhi-sheng, et al. Composition and Carbon Isotopic Distribution Characteristics of Light Hydrocarbon in Coal-derived Gas and Natural Gas Exploration [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(1): 42-48.
- [19] 王晓锋, 徐永昌, 沈 平, 等. 低熟气地球化学特征与判识指标[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 1-6.
WANG Xiao-feng, XU Yong-chang, SHEN Ping, et al. Geochemical Characteristics and Identification Indexes of Low-mature Gases [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 1-6.

《地球科学与环境学报》编委简介



秦 勇教授

男,汉族,1957年6月生,重庆市人,煤与煤层气地质学家。1974年3月至1975年10月作为

知识青年在河南省济源县下乡锻炼;1975年11月至1978年1月为河南省地质局第二地质队工人;1978年2月进入焦作矿业学院(现河南理工大学)煤田地质与勘探专业学习,1981年12月获学士学位;1982年1月至1983年7月在山西省大同矿务局从事地质工作,先后任技术员和助理工程师;1983年8月进入中国矿业大学北京研究生部矿产普查与勘探专业学习,1986年6月获硕士学位;1986年7月至今,在中国矿业大学从事教学、科研和管理工作,其中1992年12月获得矿产普查与勘探专业博士学位;现任中国矿业大学教

授、博士研究生导师、副校长。

秦勇教授长期从事煤田地质、煤层气地质、煤地球化学、油气地球化学等方向的科学研究和教学工作。他突破传统的煤成因及油气演化理论,在早期煤化作用以及晚更新世软褐煤形成机理、晚期煤化作用以及高煤级煤大分子结构演化、二次生烃规律及其反应动力学机制、碳酸盐岩有机岩石学及其成烃演化特性等方面形成了新的学术观点。他率先开展优质煤炭资源聚集规律与洁净性地质评价理论探讨,对煤中有害元素的洗选迁移行为、直接液化迁移行为及其环境效应进行研究,构建了煤中有害元素洁净潜势和优质煤炭资源评价体系,研究了大区域尺度上煤中镅的成矿潜力。他组织开展煤层气成藏理论的综合研究,较为系统地探索了中国煤层气的控气地质因素以及成藏动力学机理,取得了一系列原创性认识。他突破传统思路的局限性,创新煤层气有利区带优选的理论和思路,创建了相关的优选方法体系,并在中国煤层气有利区带优选和勘探实践中得到应用。目前,他正在从事煤层气储层工程及动态评价研究工作,目的是为中国煤层气规模性商业开发提供地质保障技术。

秦勇教授先后主持国家科技重大专项项目、国家973计划课题、国家863计划课题、国家自然科学基金重点项目等80余项;发表学术论文420余篇,SCI收录50余篇,EI收录130余篇;出版专著21部,编著教材3部;获国家科技进步二等奖2项,省部级科技奖励12项(含一等奖4项、二等奖3项),发明专利、软件著作权等国家知识产权成果5项。迄今为止,培养博士研究生39人,硕士研究生37人。其中,1人获全国百篇优秀博士学位论文奖,3人次获全国百篇优秀博士学位论文提名奖,2人获中国地质学会青年科技银锤奖,数人入选省部级科技创新人才培养计划。

秦勇教授享受国务院政府特殊津贴,获江苏省有突出贡献的中青年专家、全国煤炭工业专业技术拔尖人才等荣誉称号,曾入选教育部、原煤炭部、江苏省跨世纪优秀学术带头人以及江苏省“333”工程第二层次等培养计划。他先后兼任中国矿物岩石地球化学学会理事、中国地质学会理事、国家自然科学基金地学部专家评审组成员、国家煤炭工业技术委员会地质分会副主任、中国地质学会/中国煤炭学会煤田地质专业委员会副主任、中国煤炭学会煤层气专业委员会副主任、《International Journal of Coal Geology》编委、《高校地质学报》副主编及《地球科学与环境学报》等数家学术刊物编委,应邀担任第268次香山科学会议“煤层气资源及产业化”以及2008年、2009年、2011年亚洲太平洋煤层气会议等本领域国内外学术会议合作执行主席,被晋城煤业集团等大型国有企业聘为高级技术顾问。