doi:10.11764/j.issn.1672-1926.2017.06.005

天然气地球化学

稀有气体同位素在四川盆地元坝气藏气源对比中的应用

仵宗涛[1],刘兴旺[2],李孝甫[2],王晓锋[2],郑建京[2]
(1.中国矿业大学(北京)地质科学与测绘学院,北京 100083;
2.甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室,甘肃 兰州 730000)

摘要:天然气稀有气体同位素研究作为一个有别于烃类地球化学的新体系,在进入油气地质、地球化学研究领域仅 20 余年的时间里已取得了长足进展。元坝气田是继发现国内最大的海相气田——普光气田之后,在四川盆地内发现的又一个大型海相气田。元坝气田天然气烃源问题一直存在争议,主要原因是天然气地球化学数据揭示为源岩高—过演化阶段产物,而元坝气田能够供气的主要烃源层系均为高—过演化阶段,形成了对烃源认识的差异。研究共分析元坝气田天然气样品 19 个,组分分析结果表明干燥系数分布于 0.98～1 之间,甲烷和乙烷碳同位素组成分别为 −35.6‰～−28.3‰、−34.6‰～−21.62‰;稀有气体同位素组成 $^{3}He/^{4}He$ 值为(2.50～0.70)×10^{-8},$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值为 340.7～861.92,主频分布在 340.7～500 之间。天然气为高成熟—过成熟阶段的产物。研究认为,在元坝气田天然气有机地球化学数据展示多解而无法确定烃源层系的前提下,元坝气田天然气氩同位素特征所表征的源岩定年与发育的烃源岩不符,但又能揭示一些有意义的信息。元坝气藏烃源可能是震旦系或下寒武统筇竹寺组,燕山期早期热演化形成古油藏后,在地质历史变迁中遭到改造或破坏,于燕山中期又经历古油藏持续埋深,经历化学改造和流体调整,原油(或分散有机质)裂解生成天然气,再经过喜马拉雅期的调整改造在构造—岩性复合圈闭富集形成现今的天然气藏。原油裂解天然气中氩同位素特征表征的是古油藏裂解天然气的氩同位素特征和上三叠统须家河组高—过成熟的腐殖型烃源岩形成的天然气氩同位素特征的混源。

关键词:天然气;稀有气体;氩同位素;元坝气藏;气源对比
中图分类号:TE122.1^{+}13 **文献标志码**:A **文章编号**:1672-1926(2017)07-1072-06
引用格式:Wu Zongtao,Liu Xingwang,Li Xiaofu,*et al*.The application of noble gas isotope in gas-source correlation of Yuanba reservoir,Sichuan Basin[J].Natural Gas Geoscience,2017,28(7):1072-1077.[仵宗涛,刘兴旺,李孝甫,等.稀有气体同位素在四川盆地元坝气藏气源对比中的应用[J].天然气地球科学,2017,28(7):1072-1077.]

0 引言

天然气稀有气体同位素研究作为一个有别于烃类地球化学的新体系,在进入油气地质、地球化学研究领域仅 20 余年的时间里已取得了长足进展。由于稀有气体化学性质上的惰性,使得它们成为地学研究中的一种非常有效的示踪手段,特别是轻稀有气体 He、Ar 等[1-3]。

近 30 年来,随着质谱技术的发展,稀有气体元素及其同位素组成研究得到了快速的发展,并获得大量的地球化学数据,取得了重要的研究成果。天然气中 Ar 同位素的检测与研究也获得较快的发展,其中最主要的是 ^{40}Ar 的年代积累效应,并依据 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 同位素值去估算天然气源岩的年代

收稿日期:2016-04-19;**修回日期**:2017-05-25.
基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41402131)资助.
作者简介:仵宗涛(1975-),男,山东菏泽人,高级工程师,博士,主要从事油气田勘探开发研究.**E-mail**:wuzongtao@outlook.com.

(表 1)。在上百个天然气样品$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值总结数据的基础上,得出了天然气中存在着 Ar 的年代积累效应[4,5],并导出了源岩 Ar 的年代学经验公式[5,6],利用其结果在天然气气源对比上取得了较为理想的效果。通过对我国天然气中氦、氩同位素组成及其分布实际资料的归纳、汇总,建立"横人字"型成因模式,可以明显地划分出 2 种成因类型[7]。

表 1　天然气中$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值与其源岩时代分布
(据文献[5],修改)

Tabel 1　The $^{40}Ar/^{36}Ar$ value of the natural gas and its age distribution of source rock
(modified from Ref.[5])

源岩	地质年龄	天然气中 Ar 同位素组成分析结果	
地质时代	/Ma	$^{40}Ar/^{36}Ar$	平均值
现代大气		295.5	295.5
第四纪(Q)	0～2(1)		
新近纪(N)	2～23(12.5)	302～426	374(9)
古近纪(E)	23～65(44)	310～600	428(53)
白垩纪(K)	65～140(102.5)	445～699	570(5)
侏罗纪(J)	140～208(174)	513～930	656(5)
三叠纪(T)	208～250(229)	503～997	734(35)
二叠纪(P)	250～290(270)	592～1 672	928(26)
石炭纪(C)	290～355(322.5)	809～1 870	1 189(11)
奥陶纪(O)	440～510(475)	987～2 141	1 511(5)
寒武纪(∈)	500～570(535)	2 334(1)	2 334(1)

不同类型源岩因其形成环境、沉积物质来源不同,沉积物中所含 K 的含量差异较大,但这一差异主要表现在烃源岩类型上,在叠合盆地发育的背景下,天然气烃源岩类型所含 K 的含量就会直接影响到天然气藏所含^{40}Ar 含量和$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值。当天然气来源于相同时代的源岩时,$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值和源岩中 K 含量呈正相关,即 K 含量越高,则$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值越大;当天然气来源于岩性相似的源岩,则其$^{40}Ar/^{36}Ar$值主要受年代累积效应的影响,天然气来源于相对古老的烃源岩,其$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值较大。

通过对烃源岩不同类型岩石中 K_2O 的含量进行了尽可能的收集和整理,研究发现就碎屑岩、煤岩和碳酸盐岩三大类烃源岩而言,其 K_2O 在岩石中赋存量差异很大[8]。这一差异主要表现在碎屑岩与煤岩和碳酸盐岩之间,其差异相差近 10 的量级。

1　元坝气田天然气地球化学特征

元坝气田位于四川省广元、南充和巴中市境内,是继普光气田之后,在四川盆地内发现的又一个大型气田。研究共对元坝气田天然气 19 个样品进行了组分、碳同位素组成和稀有气体地球化学分析(表 2,表 3)。

元坝气田天然气(除元页 HF-1 井外)地球化学特征表明(表 2,表 3):C_1/C_{1-5} 值大于 0.98,主频分布在 0.98～1 之间,个别样品甲烷含量虽然不高,但干燥系数仍大于 0.98,这些样品主要是因为非烃类气体组分含量相对较高,但仍属于干气范围;甲烷碳同位素值均高于－35.6‰,主频分布在－30‰左右,表征出高—过热演化的特征;乙烷碳同位素数据相对比较凌乱,如果按类型参数标准分析,既有高于－28‰煤型气特征,也有低于－28‰油型气特征(图 1);元坝气田天然气稀有气体特征:$^3He/^4He$ 值分布在$(3.9\sim2.5)\times10^{-8}$之间,明显小于塔里木盆地,属于典型的壳源(图 2);$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值分布,在不考虑 300 左右数值的基础上(这些样品可能是受到了空气污染),主要分布在 340.7～861.92 之间,主频分布在 340.7～500 之间(图 3);$Ln(C_1/C_2)$ 值和 $Ln(C_2/C_3)$值分别分布在 3.9～7.5 和 2.3～3.2 之间,$Ln(C_1/C_2)$主频主要分布在 4.5～5.3 之间,4 个＞7 的样品组分数据均未检测出 C_3(图 4),天然气甲烷碳同位素值高于－35.6‰,利用 $\delta^{13}C_1$(‰)＝$17LgR_O-42$ 关系式计算出的 R_O 值主要分布在＞3.5%以上(表 3),是烃源岩高演化阶段的产物。

2　元坝气田天然气成藏的地质条件与特征

元坝—通南巴地区介于华蓥山与龙泉山之间,为川中区的北部,元坝地区西靠龙门山北段前缘,北临米仓山隆起,东接大巴山弧形构造带上,受构造活动影响相对较弱,总体表现为构造平缓,构造形变弱、断裂不发育,既有大型的穹隆背斜,也有呈不同方向延伸的背斜构造带。

燕山构造运动期,是上扬子地区构造的主要形成期,晚燕山时期随着秦岭造山带向南的逆冲挤压,四川盆地表现为整体构造变形和抬升,结束了沉积历史而进入剥蚀和构造叠加变形的重要时期。喜马拉雅构造运动期,主要表现为四川盆地的萎缩及改造期,沉积盆地的进一步萎缩,局部构造的加强。

马永生[9]认为川东北深层碳酸盐岩层系天然气的富集经历了 3 个主要阶段:①古油藏开始形成阶段;②燕山中期古油藏持续埋深经历化学改造和流体调整阶段;③原油裂解生成天然气阶段。经过喜马拉雅期的调整改造在构造—岩性复合圈闭富集形

表 2 元坝气田天然气组分地球化学数据

Table 2 Geochemistry compositions of natural gas in Yuanba Gasfield

样品编号	层位	组分														
		He	N_2	O_2	H_2S	Ar	CO_2	C_1	C_2	C_3	iC_4	nC_4	neo-C_5	iC_5	nC_5	C_6
元页 HF-1	J_2q	0	1.99	0.29	0	0	0	73.16	12.86	6.99	1.21	1.87	0.01	0.60	0.49	0.54
元陆 5 井	J_1z	0	1.16	0.28	0	0.01	0.83	95.51	1.94	0.20	0.03	0.02	0	0.01	0	0.01
元陆 7 井	T_3x_3	0	3.46	0.89	0	0.04	1.06	93.93	0.55	0.05	0	0.01	0	0	0	0.01
元陆 301H	T_3x_4	0	0.41	0.07	0	0	0.83	97.22	1.31	0.12	0.01	0.01	0.01	0	0	0
元坝 103H	P_2ch	0	0.70	0.08	2.90	0.01	6.86	89.38	0.07	0	0	0	0	0	0	0
元坝 3 井	T_3x+J_1z	0	2.49	0.61	0	0.03	0.77	94.37	1.51	0.14	0.02	0.02	0	0	0.01	0.02
元坝 221	雷四段	0	1.14	0.21	0	0.01	0.15	97.36	1.00	0.10	0.01	0.01	0	0	0	0
元坝 221	长二段	0	15.72	0.22	0	0.01	22.66	61.34	0.04	0	0	0	0	0	0	0
元坝 222	长二段	0	0.89	0.17	0	0.01	0.07	98.37	0.47	0.02	0	0	0	0	0	0
元坝 223	雷四段	0.01	19.93	0.62	0	0.03	33.29	45.75	0.34	0.03	0	0	0	0	0	0
元坝 223	长二段	0.01	1.96	0.55	6.67	0.03	4.55	86.17	0.06	0	0	0	0	0	0	0
元坝 273	长二段	0.02	3.54	0.74	0.44	0.04	5.83	89.36	0.05	0	0	0	0	0	0	0
马 101	飞三段	0.02	1.06	0.22	0	0.01	0.36	97.44	0.81	0.07	0	0.01	0	0	0	0
河坝 2 井	须一段	0	4.91	0.16	0	0.01	0.22	94.19	0.48	0.02	0	0	0	0	0	0
元陆 9 井	须二上亚段	0	5.16	1.06	0	0.06	7.73	85.24	0.69	0.06	0.01	0.01	0	0	0	0
元陆 10 井	须四段	0.02	1.50	0.35	0	0.01	0.66	96.43	0.92	0.08	0.01	0.01	0	0	0	0
元陆 8 井	须二下亚段	0	62.88	0.07	0	0.01	15.28	21.52	0.21	0.02	0	0	0	0	0	0
元陆 10 井	须二段	0	2.99	0.12	0	0.01	0.05	95.61	1.09	0.10	0.01	0.01	0	0	0	0
元陆 10 井	须三段	0	3.08	0.12	0	0.01	0.08	96.37	0.31	0.03	0	0	0	0	0	0

表 3 元坝气田天然气稳定同位素和稀有气体同位素地球化学数据

Table 3 Noble gas and stable isotope gas geochemistry composition in Yuanba Gasfield

样品编号	层位	R_O/%	$n(C_1/C_{1-5})$	$\delta^{13}C$/‰			He、Ar 同位素		
				CH_4	C_2H_6	C_3H_8	$^3He/^4He/(\times10^{-8})$	$^{40}Ar/^{36}Ar$	$^{38}Ar/^{36}Ar$
元页 HF-1	J_2q	0.92	0.75	−41.90	−32.18	−27.86	2.18	460.45	0.156 5
元陆 5 井	J_1z	2.94	0.98	−34.12	−22.40	−21.90	2.16	392.63	0.124 7
元陆 7 井	T_3x_3	5.8	0.99	−29.04	−25.89		2.50	562.52	0.181 8
元陆 301H	T_3x_4	4.95	0.99	−31.75	−22.90		1.84	469.67	0.183 3
元坝 103H	P_2ch	5.54	1.00	−29.35			0.97	353.59	0.191 9
元坝 3 井	T_3x+J_1z	3.65	0.98	−32.42	−21.62	−23.48	1.66	525.99	0.186 4
元坝 221	雷四段	3.3	0.99	−33.2	−28.5	−27.5	1.35	340.7	0.188 4
元坝 221	长二段	5.66	1.00	−29.2	−28.6	−26.9	0.18	304.93	0.187 0
元坝 222	长二段	4.5	1.00	−30.9	−29.7	−29	0.96	353.27	0.187 5
元坝 223	雷四段	2.38	0.99	−35.6	−36.7	−31	1.22	354.46	0.190 0
元坝 223	长二段	6.4	1.00	−28.3	−25.9		0.39	457.66	0.190 9
元坝 273	长二段	6.14	1.00	−28.6	−25.4		0.44	475.32	0.189 2
河坝 2 井	飞三段	6.22	0.99	−28.5	−28.8	−32.4	0.70	861.92	0.184 4
元陆 9 井	须二上亚段	5.1	0.99	−30	−33	−33.6	1.17	318.01	0.188 7
元陆 10 井	须四段	3.87	0.99	−32	−25.7	−27.3	1.36	411.37	0.191 2
元陆 8 井	须二下亚段	4.81	0.99	−30.4	−33.5	−33.5	1.04	294.52	0.184 1
元陆 10 井	须二段	4.15	0.99	−31.5	−32.3	−32.7	1.19	423.61	0.189 0
元陆 10 井	须三段	5.6	1.00	−29.3	−25	−23.6	0.88	318.45	0.183 1

成现今的天然气藏。

3　元坝气田天然气定源讨论

我国发育的大中型含油气盆地多属于叠合盆地,具有多期生排烃、多期成藏和多期调整改造的特征,油气保存条件多变,多旋回演化历程使油气的散失和保存过程变得复杂,也使得气源判识变得更为复杂。烃源岩成气、页岩气、分散有机质成气、原油裂解气等概念和认识的提出,使得天然气气源对比极其困难。

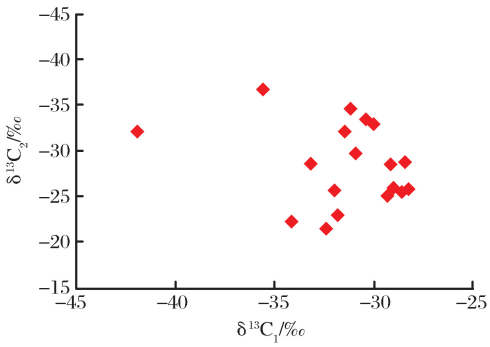


图 1　天然气甲烷与乙烷碳同位素关系

Fig.1　The correlation diagram of the carbon isotopes of Methane and ethane

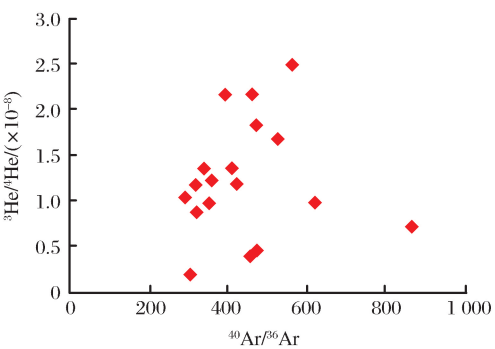


图 2　天然气 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 与 $^{3}He/^{4}He$ 关系

Fig.2　The correlation diagram of $^{40}Ar/^{36}Ar$ -$^{3}He/^{4}He$

四川盆地古生界优质烃源岩发育,主体以碎屑岩为主,主要发育在下古生界的震旦系灯影组和陡山沱组、下寒武统的筇竹寺组、志留系的龙马溪组和五峰组等层系。元坝地区西靠龙门山北段前缘,北临米仓山隆起,东接大巴山弧形构造带,区域主要发育有 3 套烃源岩,即震旦系陡山沱组和灯影组碎屑烃源岩、下寒武统的筇竹寺组碎屑烃源岩和中生界三叠系—侏罗系煤系烃源岩,可能还包括上二叠统吴家坪组碎屑烃源岩。研究所采集的天然气产层以三叠系为主,包括侏罗系和二叠系。

元坝气田天然气烃源问题一直是一个争议的问题,腾格尔等[10]研究认为,晚二叠世吴家坪期(龙潭期)川东北地区在巴中—达州一带形成了一个水体较深、相对闭塞的局限盆地,沉积了富含偏腐泥型—腐泥型有机质的页岩和泥灰岩组合,是川东北地区包括普光、河坝场、元坝等气田天然气的主要来源。王万春等[11]依据元坝气田天然气地球化学研究认为,天然气主要来源于元坝地区上三叠统须家河组高—过成熟的腐殖型烃源岩。

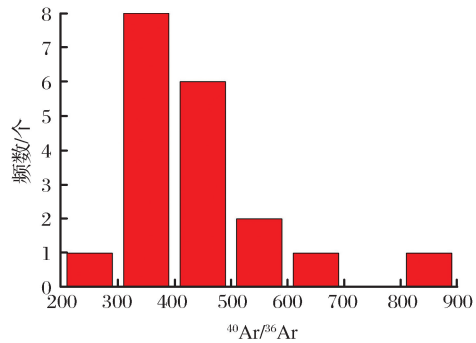


图 3　元坝气田天然气 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 值分布频率

Fig.3　The $^{40}Ar/^{36}Ar$ value frequency distribution of natural gas in Yuanba Gasfield

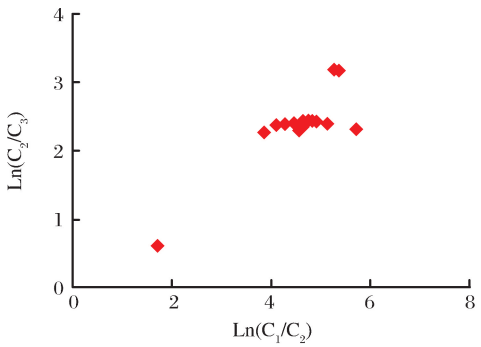


图 4　天然气 $Ln(C_1/C_2)$ 值和 $Ln(C_2/C_3)$ 值的关系

Fig.4　The correlation diagram of $Ln(C_1/C_2)$-$Ln(C_2/C_3)$

从元坝气田天然气地球化学分析结果可以看出,表征烃源岩热演化程度的地球化学参数干燥系数大于 0.98,甲烷碳同位素值高于−35.6‰,主频分布在−30‰左右,为烃源岩高—过演化阶段形成天然气特征;乙烷碳同位素值分布在−33.5‰～−21.62‰之间,跨度较大,部分样品高于−28‰,主要表征为煤型气特征,也有低于−28‰,表征为油型气特征的样品;仔细分析天然气同位素数据分布,可以发现部分乙烷碳同位素值低于−28‰的天然气样品,碳同位素系列发生部分倒转,说明天然气藏烃类气的来源可能为混源。

天然气组分计算的 $Ln(C_1/C_2)$ 值与 $Ln(C_2/C_3)$ 值一般将其用于判识天然气形成源于干酪根裂解气还是原油裂解气,原油裂解气 $Ln(C_2/C_3)$ 值变化较大,而 $Ln(C_1/C_2)$ 值变化较小[12],而元坝气田天然

气组份计算结果:Ln(C_1/C_2)主频主要分布在4.0～5.3之间,Ln(C_2/C_3)值分布在2.3～3.2之间(图4),两值变化均不是很大,元坝气田天然气是否可能为原油裂解气和干酪根裂解气的混源?

元坝气田天然气稀有气体氩同位素$^{40}Ar/^{36}Ar$值分布在340.7～861.92之间,主频分布在340.7～500之间。根据不同时代氦、氩同位素组成分布特征及氦、氩同位素年代积累特征,在通过氦同位素值可以确定元坝地区为稳定构造区带后,元坝气田天然气气源岩主体应该晚于侏罗系沉积之后的烃源岩,但是这一认识又与地质背景不符。

关于元坝气田天然气稀有气体Ar地质应用有两点思考:(1)天然气中的^{40}Ar主要来自岩石中放射性元素K的衰变,而^{36}Ar的唯一来源是源岩和储层中吸附的空气Ar。放射性成因的^{40}Ar主要受控于母体元素^{40}K的含量和衰变时间。根据放射衰变原理,随源岩时代变老,地质演化时间增长,源岩中放射性^{40}Ar增大,$^{40}Ar/^{36}Ar$值随之增大。如果天然气的形成属于一次生烃,既天然气直接由干酪根热裂解生成,而且天然气属于晚期生烃,那么天然气稀有气体$^{40}Ar/^{36}Ar$值与源岩元素^{40}K的含量和源岩的时代有关,我们完全可以利用公式计算源岩时代。但是在很多盆地,特别是四川盆地和塔里木盆地等叠合盆地,天然气的形成有可能属于二次生烃,既天然气属于早期形成原油的裂解,原油形成之后,脱离了源岩,进入储层,因此储层的^{40}K含量也成为了影响$^{40}Ar/^{36}Ar$值的一个重要因素。如果天然气属于早期生烃的话,也同样存在这个问题。(2)对于同一个盆地相同成因的天然气而言,$^{40}Ar/^{36}Ar$值应该基本一致,^{40}Ar浓度的差异应该与不同地区烃源岩的生烃强度存在一定的关系,浓度越高说明天然气的充注越少,生烃强度越低,^{40}Ar浓度越低说明天然气的充注越多,生烃强度越高。

元坝气田天然气主要赋存在中生界三叠系中,其次为二叠系和侏罗系,再考虑元坝地区烃源岩发育分布情况,中侏罗世以后没有烃源岩发育,甚至较差的烃源岩也没有发育,中生界烃源岩能否构成大型天然气田元坝气田的物质基础是很值得质疑的。

研究认为元坝气田天然气氩同位素特征所表征的源岩定年与发育的烃源岩不符。元坝地区储层沥青极为发育,主要赋存在寒武系灰岩和碎屑砂岩中,如果储层沥青是在早古生代地史时期形成的古油藏,那么其烃源只能是震旦系或下寒武统筇竹寺组,古油藏形成后,在地质历史变迁中遭到改造或破坏,于燕山中期又经历古油藏持续埋深,经历化学改造和流体调整,再经过喜马拉雅期的调整改造,原油裂解生成天然气与上三叠统须家河组高—过成熟的腐殖型烃源岩形成的天然气在构造—岩性复合圈闭中一同富集于现今的天然气藏。原油裂解气中氩同位素特征保持古油藏的氩同位素特征的同时,与上三叠统腐殖型烃源岩形成的天然气的氩同位素混源,构成了现今天然气藏的氩同位素特征,而天然气地球化学特征又表征为高—过演化特点。

4 结论

(1)元坝气田天然气有机地球化学特征表明天然气藏烃类气的来源可能为混源。

(2)元坝气田天然气稀有气体氩同位素特征表明元坝地区为稳定构造区带,但其所表征的源岩定年与发育的烃源岩不符,元坝气藏烃源可能是震旦系或下寒武统筇竹寺组,燕山期早期热演化形成古油藏后,在地质历史变迁中遭到改造或破坏,于燕山中期又经历古油藏持续埋深,经历化学改造和流体调整,原油(或分散有机质)裂解生成天然气,再经过喜马拉雅期的调整改造在构造—岩性复合圈闭富集形成现今的天然气藏。原油裂解天然气中氩同位素表征的是古油藏裂解天然气的氩同位素特征和上三叠统须家河组高—过成熟的腐殖型烃源岩形成的天然气氩同位素特征的混源。

参考文献(References)

[1] Xu Yongchang, Shen Ping, Tao Mingxin, *et al*. Distribution of natural gas helium isotope in petroliferous basins of China[J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 39(16): 1505-1508.[徐永昌, 沈平, 陶明信, 等. 中国含油气盆地天然气中氦同位素分布[J].科学通报, 1994, 39(16): 1505-1508.]

[2] Zhang Dianwei, Liu Wenhui, Zheng Jianjing, *et al*. Helium and argon isotopic compositions of natural gases in the Tazhong area, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 38-41.[张殿伟, 刘文汇, 郑建京, 等. 塔中地区天然气氦、氩同位素地球化学特征[J].石油勘探与开发, 2005, 32(6): 38-41.]

[3] Shen Ping, Xu Yongchang, Liu Wenhui, *et al*. The application model of rare gas geochemical in natural gas[J]. Sedimentologica Sinica, 1995, 13(2): 48-58.[沈平, 徐永昌, 刘文汇, 等. 天然气研究中的稀有气体地球化学应用模式[J].沉积学报, 1995, 13(2): 48-58.]

[4] Xu Yongchang, Shen Ping, Li Yucheng. The oldest gas pool of China: Weiyuan Sinian gas pool, Sichuan Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1989, 7(4): 3-13.[徐永昌, 沈平, 李玉成. 中国最古老的气藏——四川威远震旦纪气藏[J].沉积学

报,1989,7(4):3-14.]

[5] Liu Wenhui,Xu Yongchang.The composition characteristics of helium and argon isotope from natural gas[J].Chinese Science Bulletin,1993,38(9):818-821.[刘文汇,徐永昌.天然气中氦、氩同位素组成意义[J].科学通报,1993,38(9):818-821.]

[6] Liu Wenhui,Chen Mengjin,Guan Ping,*et al*.The Geochemistry Index System for Tracing and Practicing of Natural Gas Generation and Accumulation Ternary System[M].Beijing:Science Press,2009:89-102.[刘文汇,陈孟晋,关平,等.天然气成烃、成藏三元地球化学示踪体系及实践[M].北京:科学出版社,2009:89-102.]

[7] Xu Yongchang,Shen Ping,Liu Wenhui,*et al*.Noble Gas Geochemistry Study in Natural Gas[M].Beijing:Science Press,1998:146-152.[徐永昌,沈平,刘文汇,等,天然气中稀有气体地球化学[M].北京:科学出版社,1998:146-152.]

[8] Zheng Jianjing,Liu Wenhui,Sun Guoqiang,*et al*.The helium isotope characteristics in steady and stable tectonic basin and its' tectonics connotation[J].Progress in Natural Science,2005,15(8):951-957.[郑建京,刘文汇,孙国强,等.稳定、次稳定构造盆地天然气氦同位素特征及其构造学内涵[J].自然科学进展,2005,15(8):951-957.]

[9] Ma Yongsheng.Cases of Discovery and Exploration of Mar ine Fields in China (Part 6):Puguang Gasfield in Sichuan Basin[J].Marine Origin Petrolcum Geology,2006,11(2):35-40.[马永生.中国海相油气田勘探实例之6——四川盆地普光气田天然气的发现与勘探[J].海相油气地质,2006,11(2):35-40.]

[10] Tenger,Qin Jianzhong,Fu Xiaodong,*et al*.Hydrocarbon source rocks evaluation od Upper Permian Wujiaping Formation in northeastern Sichuan area[J].Journal of Palaeogeography,2010,12(3):334-345.[腾格尔,秦建中,付小东,等.川东北地区上二叠统吴家坪组烃源岩评价[J].古地理学报,2010,12(3):334-345.]

[11] Wang Wanchun,Zhang Xiaobao,Liu Ruobing,*et al*,Origin of natural gas in terrestrial in Yuanba ang Heba regions in northeastern Sichuan Basin,China[J].Acta Petrolei Sinica,2014,35(1):1-11.[王万春,张晓宝,刘若冰,等.川东北元坝与河坝地区陆相储层天然气成因[J].石油学报,2014,35(1):1-11.]

[12] Prinzhofer A,Neto E V D S,Battani A.Coupled use of carbon isotopes and noble gas isotopes in the Potiguar Basin (Brazil):Fluids migration and mantle influence[J].Marine and Petroleum Geology,2010,27(6):1273-1284.

The application of noble gas isotope in gas-source correlation of Yuanba reservoir,Sichuan Basin

Wu Zong-tao[1], Liu Xing-wang[2],Li Xiao-fu[2],Wang Xiao-feng[2],Zheng Jian-jing[2]

(1.*China University of Mining and Technology*,*Beijing* 100083,*China*;

2.*Key Laboratory of Petroleum Resources*,*Gansu Province/Key Laboratory of Petroleum Resources Research*,*Institute of Geology and Geophysics*,*Chinese Academy of Sciences*,*Lanzhou* 730000,*China*)

Abstract:The noble gas isotope of natural gas is a new system,which is different from the conventional hydrocarbon geochemistry,and has made great progress in petroleum geology and geochemistry in not more than 20 years.Yuanba Gasfield is a very large marine facies gasfield in the Sichuan Basin,resembling the Puguang Gasfield.The geochemical data revealed that the gas was generated by the high-over mature source rocks,however,the major source rocks in the Yuanba Gasfield are at high-over mature stage.There has been a controversy that which sets of source rocks provided natural gas to Yuanba Gasreservoir.The chemical analysis of 19 gas examples from the Yuanba Gasfield suggests that the dry coefficient is from 0.98 to 1,$\delta^{13}C_1$ is from $-35.6‰$ to $-28.3‰$,$\delta^{13}C_2$ is from $-34.6‰$ to $-21.62‰$,$^3He/^4He$ ratios is of $(2.5\text{-}0.7)\times10^{-8}$,and $^{40}Ar/^{36}Ar$ ratio is from 340.7 to 861.92 with the dominant frequency of 340.7-500.The maturity of natural gas is the same to the source rocks.Nevertheless,the Argon isotope age of natural gas is inconsistent with the eras of the source rocks.When the gas organic geochemical data of Yuanba Gasfield demonstrates multiple solutions and cannot determine hydrocarbon source rock,the Argon isotope characteristics may reveal some meaningful information.The source rock of Yuanba reservoir may be the Sinian or the Lower Cambrian Qiongzhusi Formation,which experienced thermal evolution and developed an ancient oil reservoir in the Early Yanshanian,then was transformed or destroyed in geological history.The ancient oil reservoir was buried and underwent the chemical and fluid modification in the Middle Yanshanian,where the crude oil (or dispersed organic matter) is cracked and generated natural gas.For the Himalayan tectonic movement,the natural gas was gathered in the structural-litho-traps.The Argon isotope characteristics of the Yuanba natural gas should be the mixture of the Argons,which came from the ancient oil cracking and the high-over maturity gas was generated in the Upper Triassic Xujiahe Formation.

Key words:Natural gas;Noble gases;Argon isotope;Yuanba reservoir;Gas-source correlation