

百色盆地第三系浅层气成因类型与形成机制

Genetic Type and Formation Mechanism of Shallow Gas in Baise Basin

罗毅 朱扬明* 薛秀丽 李英涛** 姜春燕**
Luo Yi Zhu Yangming Xue Xiuli Li Yingtao Jang Chunyan

(中石化南方分公司研究院 昆明 650200)

(Research Institute of (Oil) Southern China Exploration and
Development Company, Sinopec, Kunming, Yunnan, 650200, China)

摘要 在分析百色盆地第三系浅层气地球化学特征的基础上,利用天然气的化学组成和稳定碳同位素比值关系对该盆地浅层气的成因类型进行鉴别,同时根据浅层气的赋存状态与空间展布规律,从浅层气的化学组成和碳同位素组成变化特征入手,结合其它地质、地化资料,探讨盆地浅层气的形成机制。认为百色盆地浅层气以烃类气体为主,其中甲烷占优势;甲烷碳同位素组成偏轻,具有生物成因气的碳同位素组成特征。随气藏埋深增加,浅层气中甲烷含量降低, C_2 重烃增多;甲烷碳同位素组成变重;天然气密度升高。盆地浅层气可划分为三种成因类型:生物气、生物气-低熟混合气、油层菌解气。提出盆地具有沉积、成岩过程中的早期成气作用、抬升之后的后期成气作用和晚期复合成藏三种形成机制。

关键词 浅层气 地球化学特征 成因类型 形成机制

中图法分类号 P618.13

Abstract Based on studying the geochemical behavior of Tertiary shallow gas in Baise residual Basin, the authors identified the genetic type of shallow gas in this basin and divided it into three genetic type: bacterial gas, mixed genic gas and pyrolyzed gas. Meanwhile, according to the existence form and spatial distribution rule, the chemical constituent and carbon isotope change character of shallow gas, combined with the other geology and geochemical datum, we discussed the formation mechanism of shallow gas in Baise Basin, and expounded three formation mechanisms: primeval generation of gas, latter generation of gas and last-complex formation of gas accumulation.

Key words shallow gas, geochemical behavior, genetic type, formation mechanism

百色盆地为中生界基底之上的第三系残留型盆地,以墙红断裂为界分为东、西2个坳陷(图1)。盆地地层层序自下而上为中生界中三叠统基底;新生界下第三系古新统六组、始新统洞均组、那读组和百岗组、渐新统伏平组和建都岭组;上第三系上新统长蛇岭组,其中那读组和百岗组泥岩为盆地主要烃源岩。根据盆地第三系地层热演化史特征和构造、沉积发育史特征,盆地的构造演化经历了断陷期、坳陷期和抬升剥蚀期3个演化阶段,第三纪末以来盆地经历了整体抬升,剥蚀厚度最大超过1400m,地表出露烃源岩的镜质体反射率大于0.4%。盆地经过多年的勘探,先后发现了江泽、雷公、上法、花茶、仑圩、香炉、新洲那

百凸起等多个浅层气富集区,浅层气赋存的状态有气层气、气顶气及油层溶解气,其主要储集层位为始新统百岗组和渐新统伏平组,其次为始新统那读组,平面上围绕生烃中心呈环带状分布,估算气资源量为 $118.90 \times 10^8 m^3$ (朱扬明等,百色盆地浅层气成因类型与成藏条件研究,2002)。百色盆地浅层气藏一般在1000m以上,多数在700m以上,最浅的仅几十米。本文在分析浅层气地球化学特征的基础上,利用天然气的化学组成和稳定碳同位素比值关系确定这些浅层气成因类型,并从天然气的化学组成和碳同位素组成随气藏储层时代和深度的变化特征入手,结合其它地质地化资料,分析其形成机制,落实盆地浅层气资源潜力,为浅层气的进一步勘探奠定理论基础。

2003-06-06收稿,2003-09-21修回。

* 浙江大学地球科学系 杭州 310027(Department of Geology, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China)

** 中石化胜利油田股份有限公司,山东东营,257051(Shengli Oilfield Co., Ltd, Sinopec, Dongying, Shandong, 257051, China)

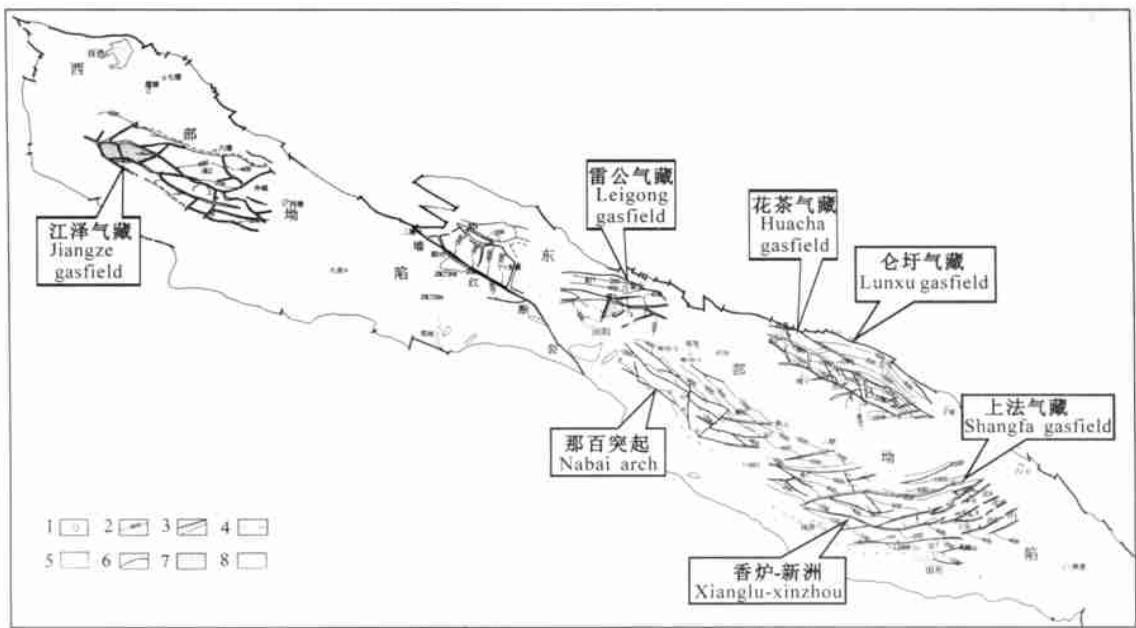


图1 百色盆地第三系浅层气分布

Fig. 1 Distributing of Triassic shallow gas in Baise Basin

1. 气井; 2. 等值线; 3. 断层; 4. 百岗组; 5. 地震测线; 6. 盆地边界; 7.I 类含气区块; 8.II 类含气区块

1. Well name; 2. Isoline; 3. Faultage; 4. Denudation line of Baigang formation; 5. Seismic line; 6. Boundary of basin; 7.I type enriched-zone; 8.II type enriched-zone

1 浅层气地球化学特征

1.1 浅层气组成特征

百色盆地天然气组成以烃类气体为主,含量一般在90%以上(表1)其C₁~C₃烷烃气含量有较大的变化范围,甲烷含量低者仅为50%~70%,高者可达100%;典型气层均以富含甲烷为特征,含量高于99%的占50%以上。C₂重烃含量也有较大的变化范围,少者近于0,高者可达40%以上。一般来说,中三叠统和始新统那读组气层样品甲烷含量相对较低,重烃含量高;而始新统百岗组、渐新统伏平组气层则具有甲烷含量高、重烃含量低的组成特征。

非烃气体在百色盆地浅层气藏中所占比例不高。氮气的含量一般在10%以下,大多在5%之下,含量总体上随深度的增加呈增高的趋势,说明其来源于有机质的生物化学作用或热演化^[1]。二氧化碳的含量更低,均在3%以下,含量随深度增加呈先增高后减少,在1000m以上,随深度增加而变高,而在1000m以下随深度增加而变少。CO₂含量这种变化趋势可能与生物气的形成机制有关。

1.2 浅层气稳定同位素特征

1.2.1 碳同位素组成特征

百色盆地浅层气的碳同位素值有较大的变化范围。 $\delta^{13}C$ 值均较轻,一般为-55‰~-70‰(表2),具有生物成因气的碳同位素组成特征;乙烷和丙烷的 $\delta^{13}C$ 值分别分布为-33.30‰~61.10‰和-25.10‰

~50.10‰; C₄烷烃的 $\delta^{13}C$ 值为-27.70‰~-33.60‰,变化幅度相对较小。

除江4井等少数样品外,所分析的浅层气均呈正碳同位素系列分布,即可 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$,表明为有机成因气。

与其化学组成的变化规律相类似,百色盆地浅层气中的 $\delta^{13}C$ 值随气藏的深度增加呈规律性变化(图2)在550m以上气藏中,甲烷 $\delta^{13}C$ 值变化不大,波动在-70‰左右;在550m以下, $\delta^{13}C$ 随深度增加而增高,在1000m上下的气藏中为-60‰左右,在1500m上下的气藏中为-55‰左右,可能是混合或运移作用所致^[2]。须指出的是西部拗陷的江4井和东部拗陷的元5井天然气甲烷碳同位素值没有处于其它井天然气 $\delta^{13}C$ 随深度的变化线上,它们的 $\delta^{13}C$ 值与埋深相近的其它气藏相比,显得偏高,分布为-51.30‰~-56.20‰,表明其成因或气源岩热演化程度不同。C₂~C₄烷烃气的 $\delta^{13}C$ 值也有随深度增加而变高的趋势,可能与源岩成熟度及运移作用有关;而C₄的 $\delta^{13}C$ 值随深度变化不大。

1.2.2 氢同位素组成特征

百色盆地中,除仑圩的仑2-3井的甲烷 δD 为-143.10‰偏重显得异常外,其它各井的 δD 均较轻,分布为-213.70‰~-246.00‰(表2),具有生物成因甲烷气的氢同位素组成特征。我国其它盆地常规天然气的 δD 主要分布为-180‰~-210‰^[1]。

表1 百色盆地天然气的组成参数

Table 1 The composition of gas in Baise Basin

气区 Gas accumulation	井号 Well name	深度 Depth (m)	层位 Stratum	天然气组成 Gas composition (%)									烷烃气组成 Alkyl-hydrocarbon composition				
				甲烷 C ₁ H ₄	乙烷 C ₂ H ₆	丙烷 C ₃ H ₈	异丁烷 iC ₄ H ₁₀	正丁烷 nC ₄ H ₁₀	异戊烷 iC ₅ H ₁₂	正戊烷 nC ₅ H ₁₂	氮气 N ₂	二氧化碳 CO ₂	C ₁ (%)	C ₂	C ₁ / (C ₂ + C ₃)	C ₂ /C ₃	
百5块 Bai 51	百51 Bai 51	1510	E2n	84.78	11.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42	87.79	12.21	7.19		
百5块 Bai 5	百5 Bai 5	1672-1831	E2b	90.40	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.69	0.30	97.20	2.80	34.77	
花茶 Huacha	花8 Hua 8	464	E3f	99.06	0.30	0.03						0.60	0.01	99.67	0.33	300.18	10.00
	百27 Bai 27	555	E2b	96.09	0.07	0.48	0.24	0.46	0.26	0.18	1.79		98.27	1.73	174.71		
	仑4 Lun 4	629	T2	82.42	3.81	1.42	0.45	0.40	0.15	0.16	7.59	1.73	92.82	7.18	15.77	2.68	
那坤 Nakun	坤10-2 Kun 10-2	845	E2n2	95.05	1.13	1.17	0.31	0.46	0.20	0.12	1.25	0.16	96.56	3.44	41.33	0.97	
雷公 Leigong	雷2 Lei 2	537	E2b3	97.84	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.02		99.92	0.08	2446.00	3.00	
	雷3-9x Lei 3-9x	459	E2b3	98.14	0.01						1.85		99.99	0.01	9814.00		
仑16块 Lun 16	仑21 Lun 21	900	E2n	84.19	4.54	1.87	0.39	0.23	0.00	0.00	7.88		92.29	7.71	13.13	2.43	
仑圩 Lunxu	仑2-16 Lun 2-16	331	E2b	97.57	0.22	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	1.88		99.68	0.32	348.46	3.67	
	仑2-3 Lun 2-3	817	E2n	78.89	10.51	4.71	1.05	1.13	0.17	0.09	0.05	2.87	81.71	18.29	5.18	2.23	
上法 Shangfa	百4-9 Bai 4-9	257	E3f	98.99							1.01		100.00	0.00			
	法19 Fa 19	622	E2b2	99.41	0.14	0.02	0.01				0.42		99.83	0.17	621.31	7.00	
	百4-7 Bai 4-7	874	E2b3	98.45	0.26	0.05	0.02		0.01		1.13	0.06	99.66	0.34	317.58	5.20	
	法1 Fa 1	1384-1680	T2	69.04	6.31	7.82	2.08	2.89	0.00	0.00	10.00		78.33	21.67	4.89	0.81	
塘寨 Tangzhai	百25 Bai 25	263-419	E2b1	97.69	0.33	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	1.80	0.11	99.58	0.42	264.03	8.25	
维宁 Weining	百66 Bai 66		E2n	49.09	13.82	14.59	1.57	7.99	0.97	0.63	9.45		55.37	44.63	1.73	0.95	
香炉 Xianglu	香1 Xiang 1	273	E2b	93.47	0.02						6.92	0.22	99.98	0.02	5192.78		
元5块 Yuan 5	元5 Yuan 5	655	E2n	97.65	1.16	0.48	0.09	0.00	0.00	0.00	0.61		98.26	1.74	59.54	2.42	
江泽 Jiangze	江1 Jiang 1		E2n	98.08	0.13	0.14	0.02	0.02	0.00	0.00	1.58		99.68	0.32	363.26	0.93	
	江4 Jiang 4	708	E2n	99.62	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16		99.79	0.21	474.38	4.25	

表2 百色盆地浅层气同位素组成数据

Table 2 The composition of isotopes of gas in Baise Basin

气区 Gas accumulation	井号 Well name	层位 Stratum	δ ¹³ C ₁ (‰)	δ ¹³ C ₂ (‰)	δ ¹³ C ₃ (‰)	δ ¹³ C ₄ (‰)	δD (‰)
百5块 Bai 51	百51 Bai 51	E2n	-58.81	-38.48			-237.90
百5块 Bai 5	百5 Bai 5	E2b	-57.25				-234.70
花茶 Huacha	花8 Hua 8	E3f	-69.70	-64.50	-48.20		
	百27 Bai 27	E2b	-67.20	-57.20	-41.00	-32.80	
	仑22 Lun 22	E2b	-53.71				-246.00
	仑4 Lun 4	T2	-64.78				-245.80
雷公 Leigong	雷2 Lei 2	E2b3	-67.20	-50.50			
	雷3-9x Lei 3-9x	E2b3	-68.60	-50.90			
子寅 Ziyin	仑21 Lun 21	E2n	-59.16				-231.30
	仑16 Lun 16	E2n	-59.17				-222.50
仑圩 Lunxu	仑2-16 Lun 2-16	E2b	-68.60	-54.30			-213.70
	仑2-3 Lun 2-3	E2n	-59.99				-143.10
那坤 Nakun	坤10-2 Kun 10-2	E2n2	-61.10	-36.10	-33.40	-33.60	
上法 Shangfa	百4-9 Bai 4-9	E3f	-74.60				
	法19 Fa 19	E2b2	-68.30	-53.90	-35.50		
	百4-7 Bai 4-7	E2b3	-64.90	-45.20	-36.20	-34.30	
	法1 Fa 1	T2	-58.53				
塘寨 Tangzhai	百25 Bai 25	E2b1	-69.00	-61.10	-50.10		
	百31 Bai 31	E2b	-57.89				-242.90
元5块 Yuan 5	元5 Yuan 5	E2n	-54.03				-218.00
江泽 Jiangze	江4 Jiang 4	E2n2	-51.30	-33.30	-25.10	-27.70	

呈高值,均在10以上(图4),与柴达木盆地第四系典型生物气和苏北盆地第三系生物气相近^[1],表明百色盆地天然气来自有机质成岩早期的生物化学作用阶段

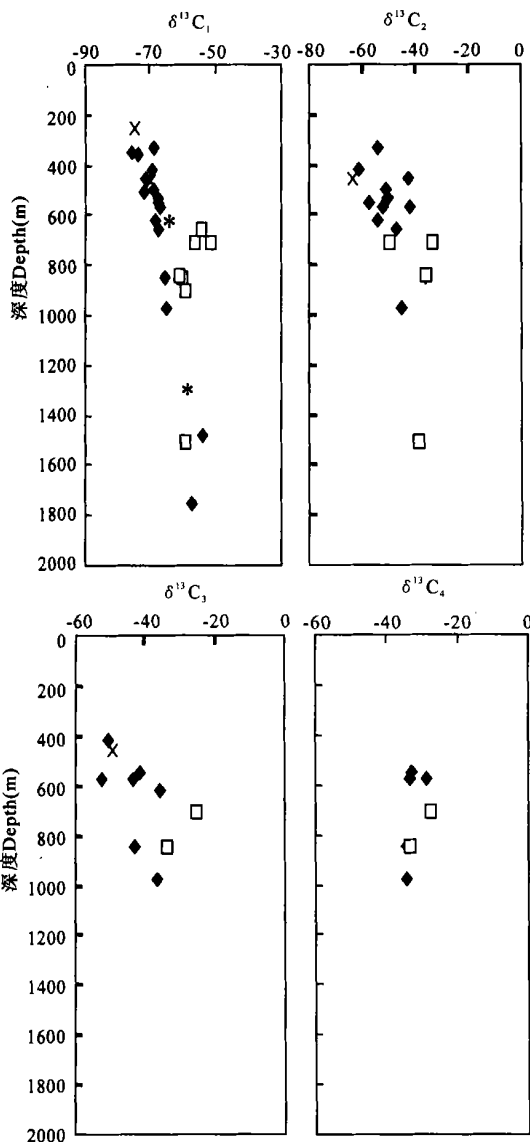


图2 C₁~C₄烷烃气碳同位素比值随气藏深度的变化
Fig. 2 The change of C₁~C₄ alkane gas carbon isotope ratio with the depth of gas reservoir

◆: E2b; □: E2n; ×: E3f; *: T2

1.3 浅层气成熟度判别

1.3.1 轻烃参数

在有机质热演化过程中,随着有机质成熟度增加,轻烃石蜡指数I (PID₁)、石蜡指数II (PID₂)呈规律变化,从未成熟到过成熟演化阶段, PID从0.75升高到6.0, PID₂从5%增加到30%^[3]。

百色盆地浅层气轻烃 PID₁和 PID₂较低,除花8井和法浅2井分别为2.77%、20.09%和4.0%、40.40%外,分别变化为0.59%~1.33%和11.04~18.91(图3),说明有机质的演化程度处于未熟-低熟阶段。

1.3.2 同位素参数

百色盆地浅层气的不同碳数烷烃气之间的碳同位素差值,如乙烷与甲烷的差值 $\Delta\delta^{13}C_{2-1}$ 和丙烷与乙烷的差值 $\Delta\delta^{13}C_{3-2}$ 值虽有较大的变化范围,但总体上

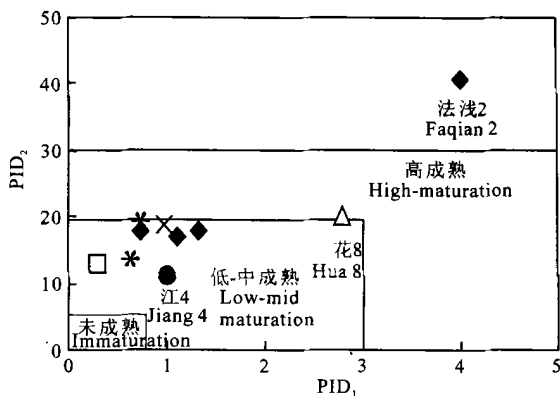


图3 浅层气轻烃石蜡指数I、II分布

Fig. 3 Distributing of paraffin I and II in light hydrocarbon of shallow gas

◆: 上法; □: 塘寨; △: 花茶; ×: 那坤; *: 雷公;
●: 江泽
◆: Shangfa; □: Tangzhai; △: Huacha; ×: Nakun; *: Leigong; ●: Jiangze

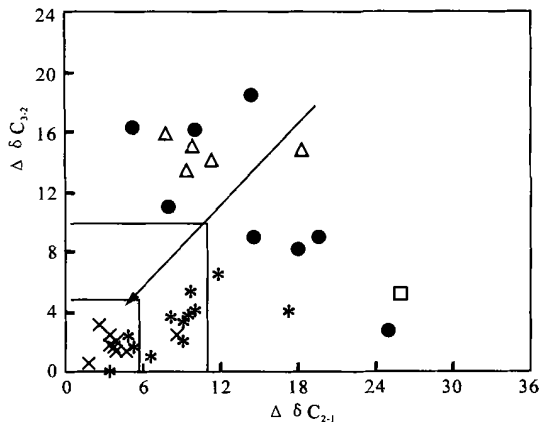


图4 百色与其它盆地天然气 $\Delta\delta^{13}C_{2-1}$ 和 $\Delta\delta^{13}C_{3-2}$ 分布

Fig. 4 Distributing of $\Delta\delta^{13}C_{2-1}$ and $\Delta\delta^{13}C_{3-2}$ of nature gas in Baize and other basins

●: 百色; □: 柴达木第四系; △: 苏北; ×: 柴达木侏罗系; *: 柴达木第三系; ↙: 成熟度增高

●: Bose basin; □: Chaidamu basin Quaternary; △: Subei basin; ×: Chaidamu basin Jurassic; *: Chaidamu basin Triassic; ↙: Expansile direction of maturity

2 百色盆地浅层气成因类型鉴别

甲烷 $\delta^{13}C$ 与 $C_1 / (C_2 + C_3)$ 天然气“Bernard”分类图(图5)^[4]显示,百色盆地所分析的浅层气中有半数以上样品数据点落在生物成因气区域内,其它样品均基本上位于混合区内,没有数据点处于热成因气区范围。这表明盆地浅层气主要为生物成因,但混有不

同比例的热成因气。

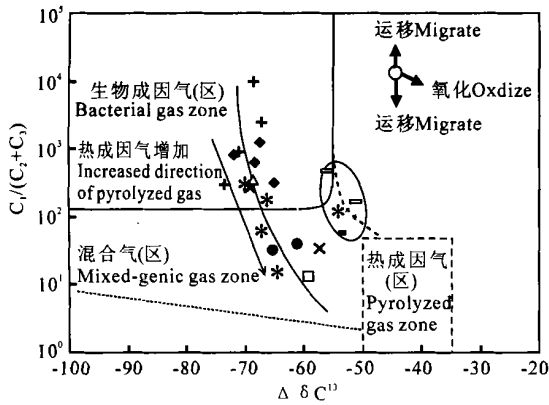


图5 百色盆地浅层气“Bernard”图

Fig. 5 The Bernard of shallow gas in Baise Basin

◆: 上法; □: 子演; △: 仑圩; ×: 塘寨; *: 花茶;

●: 那坤; +: 雷公; ■: 元5; □: 江泽

◆: Shangfa; □: Ziyin; △: Lunxu; ×: Tangzhai; *: Huacha; ●: Nakun; +: Leigong; ■: Yuan 5; □: Jiangze

盆地浅层气上述两参数呈区域性变化趋势。远离生烃凹陷的上法、雷公地区的浅层气中以甲烷为主, $C_1 / (C_2 + C_3)$ 比值在 200 以上; 甲烷 $\delta^{13}C$ 偏轻, 变化为 $-65\text{‰} \sim -75\text{‰}$, 应属较典型的生物气。那坤和百 5 百 51 及塘寨、花茶等地区邻近生烃凹陷的浅层气中重烃含量高, $C_1 / (C_2 + C_3)$ 值低于 100; 甲烷碳同位素较重, $\delta^{13}C$ 为 $-58\text{‰} \sim -66\text{‰}$, 表明有一定比例的热成因气混入。西部拗陷江泽地区及东部拗陷南斜坡的元 5 井和北斜坡仑 2 井的甲烷碳同位素比值与其它浅层气相比, 显得较重, 变化在 -55‰ 左右, 在图中属特殊点群, 但它们所含的重烃含量并不高, 表明不是由于混入热成因气所致, 可能是其成因或气源岩母质类型不同。盆地浅层气的化学组分和碳同位素比值的变化呈渐变趋势表明混合成因占主导地位。

所以, 可将百色盆地浅层气划分为生物气、生物气—低熟混合气、油层菌解气三种成因类型。

2.1 生物气

其特征是, 烷烃气中以甲烷为主, 含量一般在 99% 以上, C_2 重烃含量极低, 一般低于 1%; 甲烷碳同位素偏轻, $\delta^{13}C$ 基本上低于 -68‰ ; 天然气密度低, 变化在 0.55 上下。

这类天然气主要分布在东部拗陷离烃源岩凹陷中心较远的上法、雷公地区及花茶、塘寨等地区, 埋深浅于 550 m 的浅层气藏中。

2.2 生物气—低熟混合气

这类天然气由生物气与低熟热解气混合而成, 两者混合的比例随气藏的埋深而变化, 在 800 m 以上气藏主要以生物气为主, 按甲烷碳同位素质量平衡估

算, 热解气所占比例一般小于 15%, 随气藏埋深增加, 热解气所占比例可上升到 40% 以上。这类天然气的鉴别特征是: 烷烃气中甲烷含量下降, 变化 60% ~ 98%, C_2 重烃相应增加为 2% ~ 40%; 甲烷 $\delta^{13}C$ 变重, 变化为 $-56\text{‰} \sim -68\text{‰}$; 天然气密度变重。

这类气藏主要分布在东部拗陷邻近烃源岩凹陷中心的那坤和百 5 百 5 块及塘寨、花茶等地区, 埋深大于 550 m 的气藏中。

2.3 油层菌解气

西部拗陷江泽地区及东部拗陷南斜坡元 5 井浅层气地化特征与上述两类天然气有所不同, 其甲烷碳同位素偏重, $\delta^{13}C$ 在 -55‰ 左右; 而其 C_2 重烃含量并不高, 江泽地区的江 4 井低于 1%, 元 5 井低于 2%, 表明 $\delta^{13}C$ 偏重并非热解气混入比例较高所致。它们的乙烷碳同位素组成相对偏轻, 其轻烃组成及碳同位素系列的变化显示出生物降解迹象, 加之与生物降解油藏共生, 可认为这些浅层气为油层菌解气, 即由油层原油经微生物降解作用形成的生物气。

在东部拗陷南斜坡有较广泛的生物降解稠油藏分布, 因而可望在这一地区发现更多的这类浅层气。

3 浅层气的形成机制

3.1 早期成气作用

百色盆地内生物气广泛分布盆地烃源层在演化过程中具备生物气形成的地质地化条件。那读组及百岗组烃源层在早期沉积埋藏阶段, 曾生成大量生物气, 由于缺乏圈闭, 大部分聚集在邻近砂岩透镜体内和源岩孔隙中或溶于地层水中; 随地层进一步埋深, 有机质从未成熟阶段逐渐进入液态烃大量生成的成熟阶段。在这个过程中烃源岩进入低熟阶段前生物气生成强度逐渐降低, 替而代之的是低熟过渡带气及原油伴生气开始生成。在中新世之后, 由于盆地的整体抬升遭受剥蚀, 导致地层压力降低, 原储存在砂岩体和气源岩中的生物气及低熟热解气释放出来, 就近运移到后期构造活动形成的合适圈闭中成藏。

3.2 后期成气作用

建都岭组沉积期后, 约在 3000~2500 万年前, 盆地发生褶皱抬升遭受剥蚀, 平均剥蚀量达 770 m。由于有机质的热降解作用具有不可逆性, 百岗组及那读组烃源岩在盆地抬升之后由于地温的降低而停止了热成烃作用。另一方面, 由于上覆地层被剥蚀掉, 烃源层埋深减少, 而后期构造运动在产生的大量断裂又为地表水、微生物及其所需养料渗入烃源层提供了通道, 在这样的地质条件下, 百岗组及那读组烃源岩进入了后期生物气生成阶段。

国内外许多研究实例和室内模拟实验结果表明,甲烷菌通常的生存温度为 $0\sim 80^{\circ}\text{C}$,而最适宜其新陈代谢的温度为 $30\sim 55^{\circ}\text{C}$ ^[5]。据百色盆地古地温梯度 $3.37^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 计算,埋深 300m 的地层地温为 30°C 左右(地面平均温度 20°C);埋深 1000m 为 55°C ,埋深 1800m 为 80°C ,因而甲烷菌代谢作用最活跃的层段在 $300\sim 1000\text{m}$,下限深度 1800m 位于 $300\sim 1000\text{m}$ 层段的烃源层生成的生物甲烷气量最高。在这个层段之上由于温度较低,甲烷菌产气进程较缓慢;而在这个层段之下,由于温度偏高,甲烷菌数量较少,产气量下降。

盆地浅层气中 CO_2 含量随深度而变化,在 550m 以上气藏中 CO_2 很少,在 550m 以下随深度增加其含量逐渐增高,在 1000m 左右达到最大值,往下又逐渐降低。盆地浅层气主要来自邻近层段的气源岩,因而它们所含的 CO_2 含量反映气源岩中的 CO_2 含量。由于盆地的生物甲烷气由 CO_2 的还原途径而生成,所以 CO_2 含量的高低反映生物甲烷气产量的大小。

在成气有机母质上,这种后期抬升的气源岩与一般的生物气源岩有所不同。百岗组及那读组烃源岩在盆地整体抬升之前,其有机质演化程度曾达到低熟或成熟阶段,有机成烃母质发生了一定程度的热降解,生成了大量沥青类物质和分子量较低的各种有机酸及其它化合物。这些有机物可能有利于甲烷菌的代谢作用,促使生物甲烷气的形成。

3.3 晚期复合成藏

盆地浅层气藏的分布主要受盆地后期构造的控制,尤其是盆地东部坳陷北东向雁行式排列的断裂系统起主要的控制作用(蔡勋育等,百色盆地浅层气分布规律研究,2001。)这些含气构造形成于中新世之后,由于后期盆地整体抬升,早期形成并被保存在烃源层中及邻近砂岩体内的生物气由于地层压力的降低而被释放出来,运移至邻近的圈闭中聚集成藏。在成藏的过程中,上部地层中的未熟烃源岩释放出来的主要是以生物甲烷气为主的天然气,而下部低熟烃源层释出的天然气中除生物甲烷气外还有一定比例的低熟热解气,其比例随深度增加而升高。这种天然气

的成藏过程可能发生在盆地抬升、构造形成之后,现今该成藏机制已趋于结束。

另一方面,百岗组及那读组烃源层在盆地抬升、上覆地层被剥蚀之后,又重新进入了生物气生成阶段,生成的生物气就近运移到邻近的浅层构造中聚集成藏,并与先期成藏的天然气混合,这种机制现今还在持续进行。作为残留型盆地,百色盆地的浅层气藏之所以具有工业价值,可能在很大程度上取决于后期生物气的不断生成和注入。

4 结论

(1) 百色盆地浅层气以烃类气体为主,其中甲烷占优势;甲烷碳同位素组成偏轻,具有生物成因气的碳同位素组成特征。

(2) 随气藏埋深增加,浅层气中甲烷含量降低, C_2 重烃增多;甲烷碳同位素组成变重;天然气密度升高。

(3) 盆地浅层气可划分为三种成因类型:生物气、生物气-低熟混合气、油层菌解气。

(4) 盆地具有沉积、成岩过程中的早期成气作用与抬升之后的晚期成气作用两种形成机制,而成藏期主要在晚期。

参考文献

- 1 戴金星,裴锡古,戚厚发.中国天然气地质学(卷一).北京:石油工业出版社,1992.
- 2 Pallaser R J. Recognising biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}\text{C}$ compositions of gas components. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 1363~1373.
- 3 Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons. *Geochim Cosmochim Acta*, 1983, 42(2): 303~316.
- 4 Whiticar M J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. *Chemical Geology*, 1999, 161: 291~314.
- 5 戚厚发,关德师著.中国生物气成藏条件.北京:石油工业出版社,1997.

(责任编辑:邓大玉)