

文章编号: 0253-9985(2009)01-0090-07

柴达木盆地北缘天然气成因类型及气源判识

宋成鹏^{1,2}, 张晓宝³, 汪立群⁴, 徐子远⁴, 马立协⁴

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100029;

3. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 甘肃兰州 730000;

4. 中国石油天然气股份有限公司青海油田公司石油勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736200)

摘要: 测试并分析了柴达木盆地北缘9个油气田(圈闭构造)第三系和白垩系35个天然气样品的组分和碳同位素组成, 建立了柴北缘天然气成因类型的判识指标, 划分其热演化阶段, 并进行了气源判识。研究结果表明: 1) 柴北缘天然气可划分为煤型气、油型气和混合气3种成因类型。伊克雅乌汝、南八仙、冷湖五号、鄂博梁以及马北的部分样品具有煤型气特征; 冷湖三号、冷湖四号及冷湖五号和马北个别样品具有油型气特征; 葫芦山和马北部分样品属于混合气。2) 伊克雅乌汝、南八仙、冷湖五号和鄂博梁等煤型气样品大多数处于高成熟演化阶段; 冷湖三号和冷湖四号部分油型气样品的成熟度较煤型气的偏低, 大多数处于成熟演化阶段; 葫芦山的天然气为接近过成熟阶段的高熟气; 马北天然气样品的成熟度变化范围较大。3) 冷湖三号、冷湖四号、冷湖五号、鄂博梁、葫芦山的天然气主要来自于昆特依凹陷, 其中冷湖三号的天然气应源于昆特依凹陷偏腐泥型母质, 而冷湖四号、冷湖五号、鄂博梁、葫芦山的天然气应源于昆特依凹陷偏腐殖型母质; 南八仙的天然气主要来自于下侏罗统(J₁)伊北凹陷偏腐殖型母质; 马北的天然气来源比较复杂, 可能来自于伊北、赛什腾、尕斯库勒等多个生烃凹陷。

关键词: 天然气; 碳同位素; 成因类型; 气源判识; 柴达木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

A study on genetic types and source discrimination of natural gas in the north margin of the Qaidam Basin

Song Chengpeng^{1,2}, Zhang Xiaobao³, Wang Liqun⁴, Xu Ziyuan⁴, Ma Lixie⁴

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of

Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou,

Gansu 730000, China; 4. Petroleum Exploration and Development Research Institute,

PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu 730000, China)

Abstract: Based on the analyses of chemical components and carbon isotopic composition of 35 natural gas samples from the Tertiary and Cretaceous reservoirs in 9 fields or trap structures in the northern edge of Qaidam Basin, we defined indexes for identifying genetic types of gas, determined the thermal evolutionary stages, and identified the sources of natural gases. The result shows that the natural gases in the north margin of Qaidam Basin can be divided into three genetic types: coal-type, oil-type, and hybrid-type. Some of the gas samples from Yikeyawuru, Nanbaxian, Lenghu-5, Eboliang and Mabei are of coal-type gas; several gas samples from Mabei and Lenghu-3, Lenghu-4 and Lenghu-5 are of oil-type, and some gas samples from Hulushan and Mabei are of hybrid-type. Samples of coal-type from Yikeyawuru, Nanbaxian, Lenghu-5, and Eboliang, are mostly at high maturation stage; those of oil-type from Lenghu-3 and Lenghu-4 are mostly at maturation stage, those from Hulushan are at over-mature stage, while samples from Mabei have highly-varying maturities. Gases in Lenghu-3, -4, and -5, Eboliang, and Hulushan, were mainly sourced from the Kunteyi depression, among which gas in Leng-

收稿日期: 2008-02-21。

第一作者简介: 宋成鹏(1980—), 博士研究生, 石油地质。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472071); 国家重点基础研究发展(973)计划项目(2006CB202305)。

hur-3 was generated by sapropel organic matter and those from Lenghu-4 and -5, Eboliang, and Hulushan, were sourced from humic organic material. Gases in Nanbaxian were derived from humic organic material in the Yibei depression; and those in Mabei was originated from such depressions like Yibei, Saishiteng, Yuqia, and Gaxi.

Key words: natural gas; carbon isotope; genetic type; gas source discrimination; Qaidam Basin

天然气的成因类型与其母质干酪根的类型及热力学条件具有密切的关系。相同的干酪根母质在经过相似的地质热力作用过程后必然产生地球化学特征相似的油气,而不同类型的干酪根母质和不同的热力学条件下所产生的天然气,其组分构成必然有所差异。依此可分析天然气的来源及天然气的可能成藏特征,这对于不同地区天然气研究和勘探都有着现实意义^[1]。柴北缘侏罗系气源充足,储盖层和圈闭发育,天然气成藏条件十分优越。目前已找到了冷湖、南八仙、马海、马西1和马北8等气田和含气构造,但该区已探明的天然气储量与天然气资源量相差甚远。勘探和研究表明,该区具有有机质类型多样、气源岩分布广泛、油气成因复杂而勘探难度大等特点。随着该区勘探力度的加大,针对上述油气成藏地质特点与存在的问题,天然气成因类型的研究显得尤为重要。因此,笔者采集了柴北缘大量的天然气样品并对其组分与碳同位素进行了测试,研究了天然气各有关组分的碳同位素分布范围和相互关系,建立了该区天然气成因类型的判识指标和热演化模式,并对天然气的气源进行了判识,以期能为柴北缘天然气的进一步研究和勘探提供理论依据。

1 地质背景

柴达木盆地是一个油气资源丰富的内陆中、新生代盆地,共分为3个一级构造单元,即东部凹陷区、西部凹陷区和北部块断带。柴达木盆地北缘地区(简称柴北缘)面积约34 000 km²,北以赛什腾山为界,西起鄂博梁,东到北陵丘、南陵丘以北的地区,中、下侏罗统煤系烃源岩层分布广泛,目前已发现6个油气田和2个含油气构造。1957年至1959年该区发现了冷湖三号、四号、五号和鱼卡油田及马海气田,1995年发现了南八仙油气田,探明石油地质储量 775×10^4 t,天然气地质储量 124×10^8 m³。同时,1998年在冷湖四号上钻探的深86井于古近系获得了工业性油流,冷湖六号、七号及葫芦山-鄂博梁构造上也发现了良好的

油气显示。该区主要目的层为第三系,烃源岩层主要分布在中、下侏罗统地层中。下侏罗统煤系地层为柴达木盆地北缘主要烃源岩系,平面上呈带状沿NW-SE向展布,分布在冷湖-南八仙构造带及其以南地区,主要的生烃凹陷为昆特依凹陷和伊北凹陷。中侏罗统煤系地层为柴北缘地区次要烃源岩系,分布在冷湖构造带-马仙构造带以北地区,赛什腾凹陷为其重要的生烃凹陷(图1)。上述两套烃源岩都具有良好的生烃能力,石油地质资源量近 20×10^8 t^[2]。

2 样品与实验

测试和分析了柴达木盆地北缘9个油气田(构造)第三系和白垩系36个天然气样品的组分和碳同位素值(表1,表2,图1),其中鄂博梁1号和葫芦山构造各2个样品、冷湖构造9个样品、马北构造7个样品、南八仙构造10个样品以及伊克雅乌汝构造3个样品,样品的分布在区域上得到了较好的控制。样品采集方法为将压力控制阀进气端与气井排气口相连,出气端与钢瓶相连,天然气由气井排气口进入压力控制阀,再通过压力控制阀导入钢瓶中进行采集。天然气组分是(烃类气体及CO₂, H₂S, N₂, O₂, Ar, He, H₂)用装配有火焰离子和热导检测器的HP5890 II气相色谱仪测定。色谱条件为:内径3 mm,柱长2.4 mm的MS分子筛;内径3 mm,长为4 m的GDX-502色谱柱;柱温:30℃(3.7 min)升至160℃,升温速率:70℃/min;柱前压:200 kPa;载气:He和Ar;进样口温度:120℃;使用TCD和FID检测器温度为:180℃;进样量:1 mL。对于大多数组分,检测限平均为 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 。主要组分的精度在±5%以内。碳同位素分析在DeltaPlus XL同位素质谱仪上完成,该仪器由HP6890气相色谱、燃烧/转换炉、接口和DeltaPlusXP质谱计组成。色谱条件为:采用Al₂O₃色谱柱;进口分流比1:1;进样口温度50℃;流量10 mL/min,恒流;升温程序:30℃(5 min)升至200℃(3 min),升温速率为

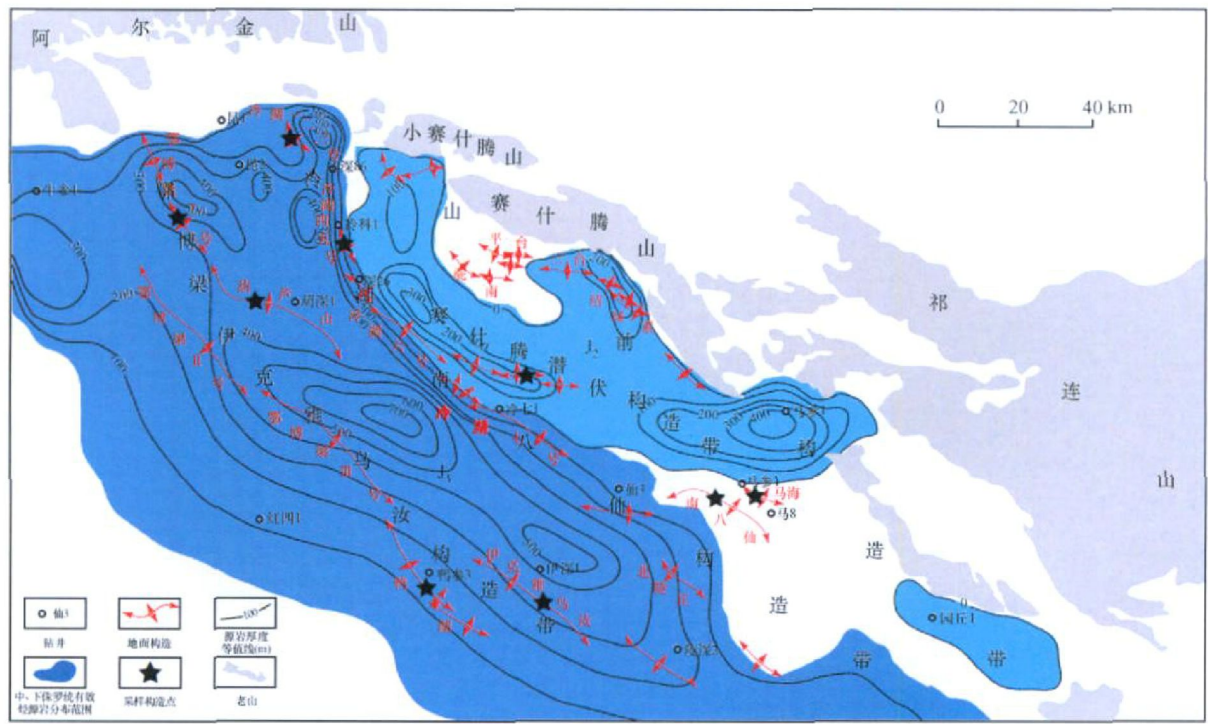


图 1 柴达木盆地北缘侏罗系有效烃源岩及采样构造点分布

Fig. 1 Distribution of effective source rocks and sampling sites in the north margin, Qaidam Basin

表 1 柴达木盆地北缘天然气组分分析结果统计

Table 1 Composition analysis data of gas from the north margin of Qaidam Basin

构造带	油气田(构造)	层位	C ₁ 含量, %	C ₂ ⁺ 含量, %	C ₁ / (C ₁ —C ₅)
鄂博梁 I 号- 葫芦山	鄂博梁 I 号	E ₃ ²	96. 86~ 97. 53(3)	1. 04~ 1. 22(3)	0. 99(3)
	葫芦山	E ₂ ²	92. 51(1)	0. 31(1)	0. 99(1)
冷湖	冷湖三号	N—J	41. 00(1)	26. 05(1)	0. 64(1)
	冷湖四号	N	78. 66(1)	16. 43(1)	0. 84(1)
	冷湖五号	N	84. 21~ 91. 78(4)	0. 89~ 10. 22(4)	0. 89~ 0. 99(4)
马海- 南八仙	马北	E ₃ ²	70. 96~ 86. 37(5)	10. 13~ 23. 15(5)	0. 75~ 0. 90(5)
	南八仙	N	84. 72~ 90. 72(2)	5. 11~ 11. 51(2)	0. 93~ 0. 95(2)
赛什腾	赛什腾(中 12)		87. 25(1)	7. 69(1)	0. 92(1)
鄂博梁 II 号- 鸭湖	鸭湖	N ₁	77. 49(1)		
伊克雅乌汝- 南陵丘	伊克雅乌汝	N ₂ ²	90. 44~ 98. 01(4)	0. 10~ 0. 06(3)	0. 99(4)

注: 括号中的数字为测试样品数。

15℃/min。碳同位素组成相对于 PDB 标准报道。估计碳同位素分析误差为 ±0.2‰。以上测试均是在中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心气体地球化学重点实验室完成。

3 天然气成因及气源判识

3.1 天然气烃类组成特征

天然气的组分可分为烃类与非烃类,不同气

体组分在天然气中所占的比例不尽相同,这不仅

是由于天然气成因不同所致,而且与天然气运移、成藏等因素有关。因此,研究天然气的组成特征,对于判识天然气成因以及成藏过程都具有重要的理论和实用价值。

柴北缘天然气中烃类气体以甲烷为主,重烃含量也较高,甲烷和重烃平均含量分别为 86.11%(24)和 7.23%(24),但两者的变化范围都较大,分别在 41.00%~98.01%和 0.06%~26.05%之间(表 1),反映了不同油气田和含气构造天然气样品成因类型的较大差异。

表 2 柴达木盆地北缘天然气碳同位素分布统计

Table 2 Carbon isotopic distribution of gas in the north margin of Qaidam Basin

油气田(构造)	深度/m	层位	$\delta^{13}\text{C}_1$, ‰	$\delta^{13}\text{C}_2$, ‰	$\delta^{13}\text{C}_3$, ‰	$\delta^{13}\text{iC}_4$, ‰	$\delta^{13}\text{nC}_4$, ‰
鄂博梁 I 号	1 805. 4~ 1 911. 0	E_3^2	- 31. 4~- 30. 2/ - 30. 8(2)	- 25. 1~- 25. 0/ - 25. 1(2)	- 23. 2~- 23. 1/ - 23. 2(2)		
葫芦山	943. 0~ 1 314. 0	N_2^2	- 20. 1~- 19. 7/ - 19. 9(2)	- 22. 7~- 22. 4/ - 22. 6(2)	- 26~- 24. 5/ - 25. 3(2)		
冷湖三号	628. 4	N_1-J_2	- 46. 3(1)	- 30. 2(1)	- 29. 1(1)	- 29. 6(1)	- 29. 0(1)
冷湖四号	700. 0	N_1-J_2	- 36. 7~- 32. 3/ - 35. 7(3)	- 28. 8~- 23. 3/ - 26. 5(3)	- 27. 4~- 22. 2/ - 24. 6(2)	- 28. 1~- 22. 1/ - 25. 9(2)	- 26. 6~- 21. 3/ - 24. 7(2)
冷湖五号	422. 2~ 553. 6	N_1	- 37. 0~- 28. 2/ - 31. 2(5)	- 30. 7~- 22. 7/ - 26. 4(5)	- 27. 4~- 21. 7/ - 24. 6(5)	- 27. 6~- 23. 8/ - 26. 0(5)	- 28. 0~- 23. 5/ - 25. 8(5)
马北	894. 0~ 1 152. 0	$\text{E}_3^1-\text{E}_3^3$	- 40. 9~- 34. 3/ - 37. 2(7)	- 27. 7~- 25. 0/ - 25. 6(7)	- 27. 6~- 16. 1/ - 22. 0(7)	- 28. 6~- 26. 2/ - 27. 6(7)	- 28. 3~- 19. 3/ - 24. 2(7)
南八仙	1 033. 0~ 3 116. 0	E_1-N_1^1	- 30. 0~- 27. 9/ - 28. 8(10)	- 25. 4~- 20. 1/ - 23. 7(10)	- 23. 9~- 21. 9/ - 22. 8(10)	- 24. 0~- 23. 2/ - 23. 1(10)	- 24. 6~- 21. 2/ - 23. 0(10)
伊克雅乌汝	2 273. 0~ 3 839. 0	N_2^2	- 22. 5~- 18. 3/ - 20. 5(3)	- 35. 2~- 12. 5/ - 21. 8(3)			

注: 表中数据为最小值~ 最大值/平均值(样品数)。

3. 1. 1 鄂博梁- 伊克雅乌汝构造带组分特征

鄂博梁 I 号、伊克雅乌汝和葫芦山的甲烷含量较高, 其中鄂博梁 I 号样品的甲烷含量均在 95% 以上, 表现出干气的特征, 而冷湖甲烷含量较低为 77. 49%, 表现出湿气的特征(表 1)。伊克雅乌汝、葫芦山和鄂博梁 I 号样品重烃含量分布在 0~ 5% 之间, 显示出重烃含量较低的干气特征; 鄂博梁 I 号、伊克雅乌汝和葫芦山的 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值较高, 均在 0. 95 以上, 也表现出干气的特征。因此, 鄂博梁- 伊克雅乌汝构造带天然气主要表现为干气的特征。

3. 1. 2 冷湖- 南八仙构造带组分特征

冷湖- 南八仙构造带天然气的甲烷含量较低, 其中冷湖、马北和南八仙构造样品的甲烷平均含量分别为 80. 52%(6), 80. 10%(5) 和 87. 72%(2)。冷湖- 南八仙构造带样品的重烃含量相应较高, 南八仙、冷湖和马北样品的重烃平均含量分别为 8. 31%(2), 9. 24%(6) 和 15. 08%(5), 上述样品都体现了重烃含量大于 5% 的湿气特征。冷湖- 南八仙构造带天然气的 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值也相应较低, 马北、冷湖和南八仙的 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值平均为 83. 90%(5), 88. 98%(6), 93. 85%(2), 也表现出偏湿气的特征。

通过对上述天然气样品甲烷、重烃含量及

$\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值的分析表明: 鄂博梁 I 号、伊克雅乌汝和葫芦山的天然气具有明显的干气特征; 冷湖- 南八仙构造带的天然气具有湿气的特征, 赛什腾潜伏中 12 井甲烷、重烃含量和 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值分别为 87. 25%, 7. 69% 和 91. 9%, 也具有湿气的特征; 其中马北的天然气样品甲烷、重烃含量及 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值变化较大, 表现出天然气成因复杂的特征。从平面上来看, 由冷湖三号、冷湖四号到冷湖五号天然气的甲烷含量和 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值表现出大体升高的趋势, 而由南八仙到马北天然气的甲烷含量和 $\text{C}_1/(\text{C}_1-\text{C}_5)$ 值则表现出大体降低的趋势, 体现了不同构造带天然气成因类型的不同。

3. 2 天然气碳同位素组成特征

天然气中烃类的碳同位素组成是划分天然气成因类型最重要的指标。天然气甲烷碳同位素的组成($\delta^{13}\text{C}_1$) 具有随热演化程度增强而变重的特征, 且分馏范围较宽, 是确定天然气成熟度的较佳指标^[2~ 8]。天然气重烃来源相对单一, 主要为干酪根或原油热解成因, 同时, 其碳同位素($\delta^{13}\text{C}_2$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3$) 分馏范围较窄, 与母质的碳同位素($\delta^{13}\text{C}_2$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3$) 组成最接近, 是推断气源岩类型的有效指标^[2~ 10]。其中 $\delta^{13}\text{C}_2$ 是区别油型气和煤型气的重要标准之一, 戴金星认为 $\delta^{13}\text{C}_2$ 大于- 25. 1 ‰ 是煤型气, $\delta^{13}\text{C}_2$ 小于- 28. 8 ‰ 是油型气^[4]。徐永昌等

认为 $\delta^{13}\text{C}_2$ 大于-28‰为煤型气, $\delta^{13}\text{C}_2$ 小于-30‰为油型气^[3]。本文在参考上述划分标准的基础上,结合柴北缘的地质情况综合分析认为: $\delta^{13}\text{C}_2$ 大于-27.5‰为煤型气, $\delta^{13}\text{C}_2$ 小于-27.5‰为油型气。因此,将柴达木盆地北缘天然气划分为煤型气、油型气和混合气3种成因类型。

3.2.1 煤型气

该成因类型的天然气主要分布在伊克雅乌汝、南八仙、冷湖五号、鄂博梁以及马北等地区,其碳同位素的主体分布范围区间为: $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰大于-40.0‰, $\delta^{13}\text{C}_2$ ‰大于-27.5‰, $\delta^{13}\text{C}_3$ ‰大于-26.5‰。其中马北和南八仙天然气样品的分布区间较大,在 $\delta^{13}\text{C}_2$ 与 $\delta^{13}\text{C}_3$ 关系图上甚至分布到了趋势线以外,体现了马北和南八仙天然气成因复杂的特征(表2;图2)。

3.2.2 油型气

该成因类型的天然气主要分布在冷湖三号、冷湖四号及冷湖五号。天然气碳同位素较轻, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值位于-44.1‰~-37.0‰范围, $\delta^{13}\text{C}_2$ 值介于-31.7‰~-28.8‰, $\delta^{13}\text{C}_3$ 值位于-29.1‰~-27.4‰,主体分布在 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰小于-40.0‰, $\delta^{13}\text{C}_2$ ‰小于-27.5‰, $\delta^{13}\text{C}_3$ ‰小于-26.5‰的区间范围。与煤型气相比较,该组天然气碳同位素偏轻,组分明显偏湿(表2;图2)。

3.2.3 混合气

该成因天然气在图2中位于趋势线的左上方或下方, $\delta^{13}\text{C}_3$ 值分布于-23.1‰~-16.1‰, $\delta^{13}\text{C}_2$ 分布于-27.7‰~-22.0‰,主要分布于葫芦山和马北的部分样品。其中葫芦山天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值较

重, $\delta^{13}\text{C}_3$ 较轻,可能混入了较高成熟度的煤型气;马北部分样品天然气 $\delta^{13}\text{C}_2$ 明显偏轻, $\delta^{13}\text{C}_3$ 较明显偏重,也属于混合气。

3.3 天然气热成因特征

天然气成熟度研究对天然气成因及气源对比的研究具有重要的作用。高先志等对柴达木盆地北缘有机包裹体的研究表明,该区主要有两期油气成藏,时间分别对应于 E_3^2 — N_1 末期以及 N_2^3 末期,其中 N_1 末期为主要的排油期, N_2^3 末期为主要的排气期,根据排气期(N_2^3 末期)柴达木盆地中下侏罗统烃源岩的成熟度分布特征(图3),笔者在前人已建立的天然气成熟度与碳同位素关系的基础上^[5,11,12],结合该区天然气形成的地质特征,建立了柴北缘地区不同类型天然气成熟度与甲、乙烷碳同位素的关系式:

$$\delta^{13}\text{C}_1 = 54.68 \lg R_o - 38.734 (R^2 = 0.96) \quad (1)$$

$$\delta^{13}\text{C}_2 = 21.67 \lg R_o - 27.380 (R^2 = 0.54) \quad (2)$$

依次计算了柴北缘36个样品的成熟度,并提出了柴北缘天然气热演化程度的碳同位素划分指标(表3)^[14]。在以上研究基础之上根据天然气碳同位素的差值 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$ 随成熟度的提高而减小,且与母质类型无关^[10,13] 的特点,通过 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$ 关系图对研究区天然气样品的成熟度进行了划分(图4),为该天然气热成因的研究提供了理论依据。

研究结果表明:伊克雅乌汝、南八仙、冷湖五号和鄂博梁等煤型气样品大多数处于高成熟演化阶段,少数处于成熟演化阶段;冷湖三号和冷湖四号部分油型气样品的成熟度较煤型气的偏低,大多数处于成熟演化阶段;葫芦山的天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值

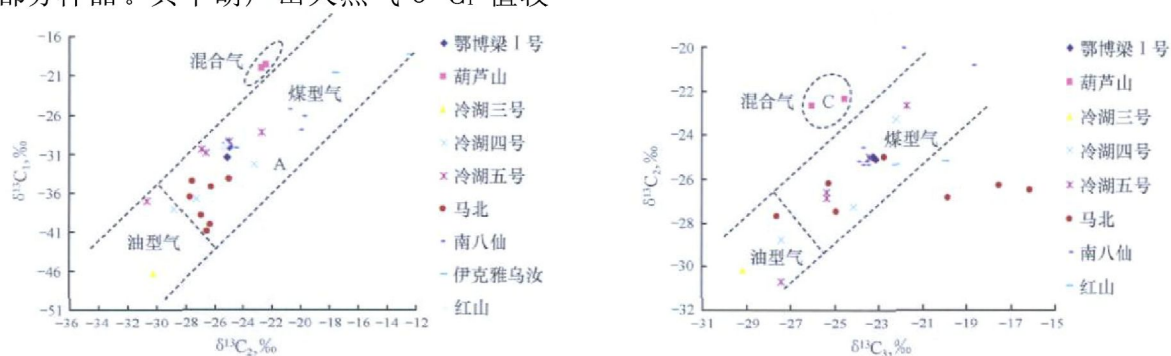


图2 柴达木盆地北缘天然气碳同位素关系

Fig. 2 Diagram showing carbon isotopic relationship of gas in the north margin of Qaidam Basin

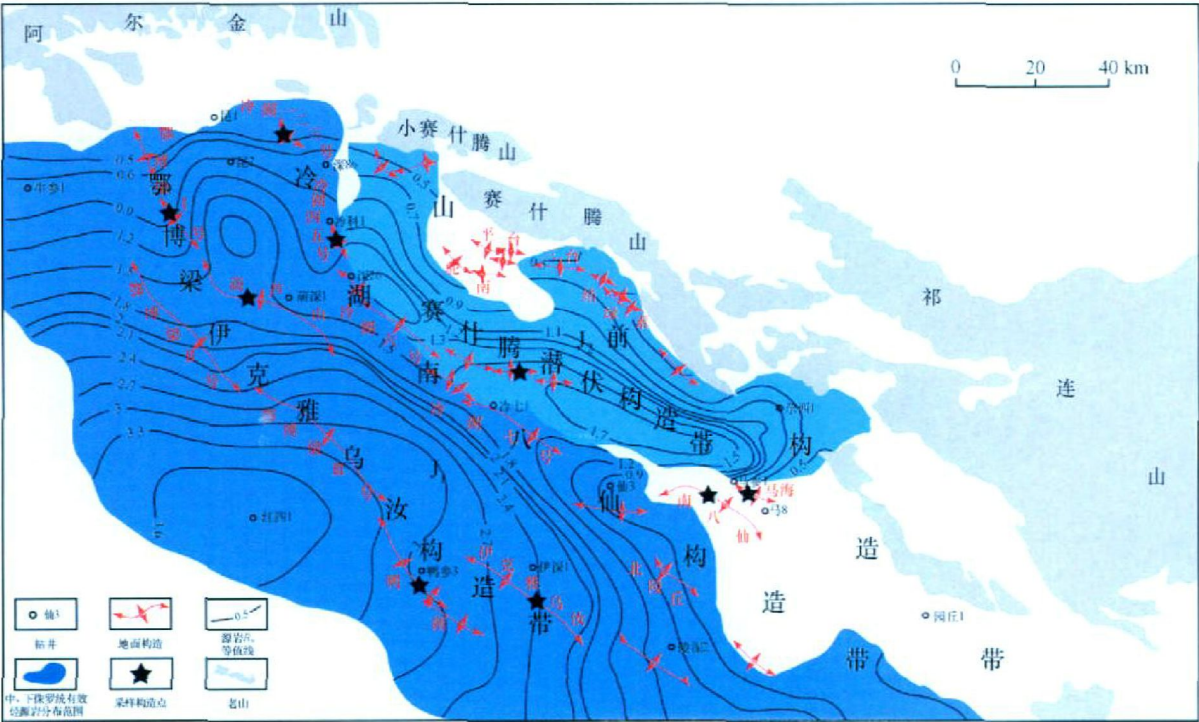


图 3 柴达木盆地北缘中、下侏罗统有效烃源岩 $N_2^3(3\text{ Ma})$ 末期 R_o 等值线分布(据王兆明 2006 改绘)

Fig. 3 The R_o contour map (3Ma) of effective source rocks in the Middle-Lower Jurassic, the north margin of Qaidam Basin

表 3 柴达木盆地北缘热成因气演化阶段划分的碳同位素指标

Table 3 Carbon isotopic index for defining evolutionary stages of thermogenic gas in the north margin of Qaidam Basin					
演化阶段	$R_o, \%$	$\delta^{13}C_1, \%$	$\delta^{13}C_2, \%$	$(\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1), \%$	$(\delta^{13}C_3 - \delta^{13}C_2), \%$
未成熟	0~ 0.6	< -46.3	< -30.9	> 15.4	> 6.3
成熟	0.6~ 1.3	$-46.3 \sim -32.6$	$-30.9 \sim -25.3$	$15.4 \sim 7.3$	$6.3 \sim 1.5$
高成熟	1.3~ 2.0	$-32.6 \sim -19.0$	$-25.3 \sim -19.7$	$7.3 \sim 0.7$	$1.5 \sim -5.0$

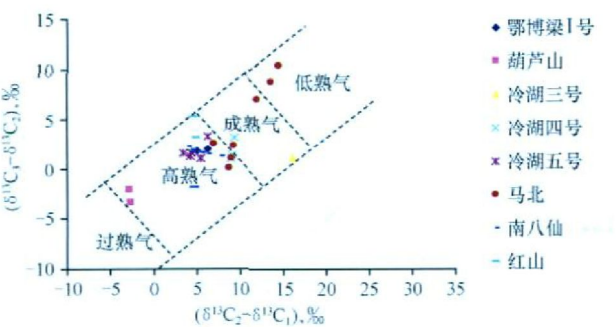


图 4 柴达木盆地北缘天然气碳同位素差值关系

Fig. 4 Diagram showing the $\delta^{13}C_2$ and $\delta^{13}C_3$ relationship of natural gas in the north margin of Qaidam Basin

较重, 平均值为 -19.9% , 为接近过熟阶段的高熟气; 马北天然气样品的成熟度变化范围较大, 体现了成因复杂的特征。

3.4 气源判识

天然气的成因与其源岩类型有着密切的关

系, 煤型气主要来源于腐殖型母质, 油型气主要来源于腐泥型母质^[8], $\delta^{13}C_2$ 是区别油型气和煤型气的重要指标之一, 笔者在 3.2 节中在前人已经提出的乙烷碳同位素划分天然气成因类型指标的基础上, 结合柴达木盆地北缘的地质情况经综合分析, 将 $\delta^{13}C_2$ $\%$ 值为 -27.5% 作为划分柴达木盆地北缘煤型气和油型气的界限值。依据该界限值, $\delta^{13}C_2$ $\%$ 大于 -27.5% 的区域分布了冷湖四号、五号、鄂博梁、葫芦山和南八仙及马北大部分地区的煤型气样品; $\delta^{13}C_2$ $\%$ 小于 -27.5% 的区域分布了冷湖三号和马北少数地区的油型气样品。葫芦山天然气碳同位素系列不具有 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4 < \delta^{13}C_5$ 的正常演化序列^[12], 发生部分倒转, 应为混合气。根据上述天然气的成因类型的划分以及依据天然气碳同位素与成熟度的关系式 (1) 和式 (2) 对天然气样品成熟度的划分, 并结合不同类型源岩及其成熟度在柴北缘地区的分布

(图1,图3),分析认为冷湖三、四、五号、鄂博梁的天然气主要来自于昆特依凹陷,其中冷湖三号的天然气应源于昆特依凹陷偏腐泥型母质,而冷湖四、五号、鄂博梁的天然气应源于昆特依凹陷偏腐殖型母质;葫芦山的天然气同位素序列倒转,但成熟度较高,为混入了较高成熟度煤型气的混合气;南八仙的天然气主要来自于伊北凹陷偏腐殖型母质;马北的天然气来源比较复杂,可能来自于伊北、赛什腾、鱼卡和尕西等多个生烃凹陷。上述气源对比结论与柴北缘油源对比结果基本一致^{[15],①}。

4 结论

1)柴北缘天然气中烃类气体以甲烷为主,甲烷和重烃分布范围分别为41.00%~98.01%和0.06%~26.05%,平均含量分别为86.11%(24)和7.23%(24)。天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 分布在-46.3‰~-18.3‰范围,平均为-30.9‰(35); $\delta^{13}\text{C}_2$ 分布在-35.2‰~-12.5‰范围,平均为-25.0‰(35); $\delta^{13}\text{C}_3$ 分布于-29.1‰~-16.1‰范围,平均为-23.3‰(32)。在平面上由北向南按构造带从冷湖三号、冷湖四号到冷湖五号,再从南八仙到马北天然气的组分含量、 $\text{C}_1/(\text{C}_1+\text{C}_5)$ 比值和碳同位素值有规律的升高或降低,体现了不同构造天然气成因的变化。

2)柴北缘天然气可划分为煤型气、油型气和混合气3种成因类型。伊克雅乌汝、南八仙、冷湖五号、鄂博梁以及马北的部分样品,具有碳同位素较重的煤型气特征;冷湖三号、冷湖四号及冷湖五号个别样品,具有天然气组分明显偏湿,碳同位素较轻的油型气特征;马北的天然气样品具有碳同位素值分布范围广,成因复杂的特征。葫芦山的样品属于侵入较高成熟度煤型气的混合气。

3)柴北缘伊克雅乌汝、南八仙、冷湖五号和鄂博梁等煤型气样品大多数处于高成熟演化阶段,少数处于成熟演化阶段;冷湖三号和冷湖四号部分油型气样品的成熟度较煤型气的偏低,大多数处于成熟演化阶段;葫芦山的天然气为接近过熟阶段的高熟气;马北天然气样品的成熟度变化范围较大,体现了成因复杂的特征。

4)气源判识结果表明冷湖三、四、五号、鄂博梁、葫芦山的天然气主要来自于昆特依凹陷,其中冷湖三号的天然气应源于昆特依凹陷偏腐泥型母质,而冷湖四、五号、鄂博梁、葫芦山的天然气应源于昆特依凹陷偏腐殖型母质;南八仙的天然气主要来自于伊北凹陷偏腐殖型母质;马北的天然气来源比较复杂,可能来自于伊北、赛什腾、鱼卡和尕西等多个生烃凹陷。

参考文献

- 1 赵东升,李文厚,吴清雅,等.柴达木盆地天然气的碳同位素地球化学特征及成因分析[J].沉积学报,2006,24(1):135~140
- 2 胡勇,刘平,曹海防.柴北缘侏罗系烃源岩地球化学特征及其综合评价[J].大地构造与成矿学,2004,28(4):464~469
- 3 徐永昌.天然气成因理论及应用[M].北京:科学出版社,1994.97~106
- 4 戴金星.天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J].天然气地球科学,1993,4(2-3):1~40
- 5 Stahl W J, Carey Jr B D. Source rock identification by isotope analyses of natural gases from fields in the Val Verde and Delaware basin, West Texas[J]. Chemical Geology, 1975, 16: 257~267
- 6 Whiticar M. A geochemical perspective of natural gas and atmospheric methane[J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1-3):531~547
- 7 Schoell M. Multiple origins of methane in the earth[J]. Chemical Geology, 1988, 71, 1~10
- 8 曾凡刚,吴朝东.吐哈盆地天然气成因类型探讨[J].石油与天然气地质,1998,19(2):162~164
- 9 包建平,朱翠山,张秋茶,等.塔里木盆地库车坳陷不同构造单元天然气地球化学特征[J].石油与天然气地质,2007,28(5):664~674
- 10 James A T. Correlation of natural gas by use of carbon isotopic distribution between hydrocarbon components[J]. AAPG Bulletin, 1983, 67: 1176~1191
- 11 戴金星,戚厚发.我国煤成烃气的 $\delta^{13}\text{C}_1-R_o$ 关系[J].中国科学(B辑),1989,19(9):690~692
- 12 沈平,徐永昌,王先彬,等.气源岩和天然气地球化学特征及成气机理研究[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1991.39~122
- 13 Jenden P D, Drazan D J, Kaplan I R. Mixing of thermogenic natural gases in northern Appalachian basin[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77: 980~998
- 14 林武,李政,李钜源,等.济阳坳陷孤北潜山带天然气成因类型及分布规律[J].石油与天然气地质,2007,28(3):419~426
- 15 彭立才,彭小群,汪立群.柴达木盆地北缘马北地区油源对比[J].新疆石油地质,2006,27(5):526~529

(编辑 高岩)

①张敏.柴达木盆地北缘油源及含油气系统分析.中国科学院研究生院博士学位论文,2004