

松潘—阿坝地区高演化沥青的成因分析

金聚畅, 秦建中, 张志荣, 范明, 张渠

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 经对松潘—阿坝地区窑沟志留系和当多沟泥盆系发现的沥青进行成因分析, 确认窑沟志留系和当多沟泥盆系所采沥青样品为高演化固体沥青, 源自于下古生界的志留系或寒武系的泥质烃源岩, 热演化程度很高, 为遭早海西构造运动后使古油藏破坏后的残留部分。本区沥青的成因比较复杂, 为冷变质与脱沥青双重作用交替进行的结果, 在后期进一步的埋深演化过程中有可能成为再生烃源岩。

关键词: 高演化; 沥青; 成因; 松潘—阿坝地区

中图分类号: TE135

文献标识码: A

松潘—阿坝地区构造位置属松潘—若尔盖地块, 平面上夹持于龙门山、三江和秦岭 3 个构造带之间, 呈三角形展布, 早古生代为盆地相—陆棚相沉积, 晚古生代发展为碳酸盐台地沉积, 其上被大片海相三叠系所覆盖。本区发育有寒武系、志留系 2 套优质烃源层, 岩石类型以泥质岩为主, 有机质丰度较高, 是区内的主要生气层^[1]。

蔡立国等(1993)在松潘一带曾发现沥青显示, 表明该区有过油气生成过程^[2]。在松潘—阿坝地区发现的志留系的裂隙型“煤矿”, 应为沥青。本次研究对松潘—阿坝地区窑沟志留系和当多沟泥盆系发现的沥青进行了系统的地化分析, 通过扫描电镜、碳同位素、色谱、色质等分析资料的对比研究, 对该区的高演化固体沥青的成因进行了探索。

1 构造特征与沉积演化

在元古代, 前震旦系的火山岩、碎屑岩及碳酸盐岩等“碧口群”岩系经晋宁运动产生褶皱、变质、结晶, 奠定了本区的基底。经早震旦世的地势夷平, 秦祁裂陷槽演化为秦祁洋盆。在早古生代该区随着秦祁洋盆的形成和扩张, 地壳稳定下降, 在扬子板块北部边缘形成一个被动大陆边缘盆地, 直到志留纪末发生扬子板块与华北板块的碰撞而形成秦祁加里东造山带^[3-8]。本区寒武系由厚 1 000 m 的深灰、灰

黑色厚层状含碳硅质岩、黑色碳质硅质板岩组成, 是在还原条件下的陆棚—盆地相沉积环境中形成的。奥陶纪—志留纪基本保持了寒武纪的沉积面貌, 沉积了巨厚(沉积厚度约 4 500 m)的含碳硅质岩、碳质板岩、板岩夹灰岩的大套黑色岩系, 向上碎屑物逐渐增多。

随着加里东造山带的形成, 本区结束了被动大陆边缘盆地的演化。早、中泥盆世因造山带侧向挤压产生冲断推覆而形成一个与造山带平行的前陆盆地, 晚泥盆世发育为前陆磨拉石盆地。石炭—二叠纪时, 随着构造活动渐趋平静, 这一地区发育成一个稳定沉降的克拉通盆地。整个上古生界由碎屑岩和碳酸盐岩构成, 碎屑岩仅发育于下泥盆统, 其上多为碳酸盐岩夹少量碎屑岩, 总体上以碳酸盐开阔台地环境为主。泥盆纪沉积厚度约为 3 500 m, 石炭纪的沉积厚度约 2 800 m, 二叠纪的沉积厚度约为 1 000 m。

早二叠世末至晚二叠世早期, 扬子板块的裂陷活动日益强烈, 形成了早、中三叠世裂陷槽, 特提斯洋发育至本区而使其沉积环境演变为浅海陆棚沉积环境, 晚三叠世又演变为被动陆缘盆地, 形成滨岸、陆棚斜坡—浅海陆棚沉积环境。随着印支运动的开始, 特提斯洋的萎缩以及甘孜—理塘洋壳的俯冲消亡, 海水退出本区, 结束了海相沉积。三叠系在本区分布最广, 可分为 3 个地层分区: a) 岷山—天水地层

分区的主要岩性以灰岩、岩屑砂岩、粉砂岩夹砂质灰、硅质岩组成, 地层总厚西部达万余米, 向东厚度较小; b) 西倾山—白龙江地层分区以灰岩、含生物灰岩、白云质灰岩、板岩和碎屑岩为主, 地层最厚可达万余米; c) 松潘—若尔盖地层分区由灰岩、白云质灰岩、板岩的互层和韵律层为主, 地层厚度 6 000 m 左右。

2 沥青的确定

2.1 松潘窑沟志留系沥青

本次研究在窑沟志留系硅质岩段顶部 23 层(厚 175 m) 裂隙中见到“煤”线, 呈不规则状, 演化程度很高, 已达无烟煤阶段。该层岩性为灰黑色石英粉砂质板岩, 中间夹中—细粒岩屑长石砂岩、粉砂岩和“煤”层, 板岩粘土矿物占 25%~30%, 石英占 60%~63%。

窑沟志留系“煤”的有机地化特征见表 1。样品中的干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素值达 -35.25‰ , 饱和烃同位素值为 -26.27‰ , 饱和烃同位素比干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素重, 与塔里木地区志留系沥青砂岩的碳同位素情况相似; 扫描电镜鉴定为棱角状、片角状固体沥青(图 1); 饱和烃色谱 Pr/Ph 值为 0.56、芳烃色谱甲基菲指数等于 0.99(表 2); 甾烷、萜烷分布与塔里木地区志留系沥青砂岩也有较多的相似性; 由此可以确定窑沟志留系硅质岩段顶部 23 层所采之“煤”应为固体沥青。

2.2 当多沟泥盆系沥青

在当多沟的下泥盆统尕拉组第 219 层灰岩中发现固体沥青 3 条, 在第 232 层灰岩中发现固体沥青



图 1 松潘窑沟沥青扫描电镜图

Fig. 1 SEM diagram of bitumen from Yaogou area

6~7 条, 基本都是沿缝合线的缝面和岩石中的小裂缝出现, 野外判断为固体沥青。

当多沟泥盆系固体沥青和同层灰岩的饱和烃色谱图见图 2, 从图中可看出两者的明显差异, 说明泥盆系固体沥青可能是早期油藏抬升到地表遭受氧化和生物降解后形成的固体沥青。

3 沥青与烃源岩的对比

松潘—阿坝地区志留系和泥盆系所发现的固体沥青可能主要来自于下古生界的志留系或寒武系。

3.1 窑沟志留系沥青与志留系烃源岩具有可比性

3.1.1 碳同位素特征

窑沟剖面志留系硅质岩段(23 层) 泥岩中所采沥青的干酪根碳同位素比较轻, 为 -35.25‰ , 窑沟志留系硅质岩段(16 层) 的泥岩和窑沟志留系上页岩段(26 层) 的碳质泥岩的干酪根碳同位素分别为

表 1 窑沟志留系沥青的岩石和有机地化特征表

Table 1 Organic geochemical characteristics of the Silurian bitumen in Yaogou area

层位	深度/m	扫描电镜	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	饱和烃 $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	有机碳/ %	“A”/ 10^{-6}	饱和烃/ %	芳烃/ %	非烃/ %	沥青质/ %	饱和烃/ 芳烃	$R_b/$ %
S	2 283.94	棱角状、片角状沥青为主	-35.25	-26.27	34.17	22.9	57.24	26.7	15.09	0.97	2.14	4.57

表 2 窑沟剖面沥青与烃源岩部分地化参数对比表

Table 2 Some geochemical parameters of the bitumen and source rocks in Yaogou section

层位	样号	岩性	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	饱和烃/芳烃	Pr/Ph	Pr/C ₁₇	Ph/C ₁₈	甲基菲指数
S ₂ bl ³	R. O- 02- Z2- 21	沥青	-35.25	2.14	0.56	0.51	0.68	0.99
S ₂ bl ³	D- 02- Z2- 5	泥岩	-33.44	2.20	0.76	0.78	0.78	0.39
S ₂ bl ³	R. O- 02- Z2- 23	碳质泥岩	-34.78	2.80	0.59	0.65	0.92	0.57
D ₃ d	D- 02- Z2- 10	泥岩	-23.50	0.80	0.91	0.76	0.71	0.55
C ₁ x ^b	O- 02- Z1- 13	泥灰岩	-24.16	1.01	0.67	0.89	0.97	0.42
P	O- 02- Z1- 12	泥灰岩	-17.37	5.8	0.74	0.89	0.88	0.22

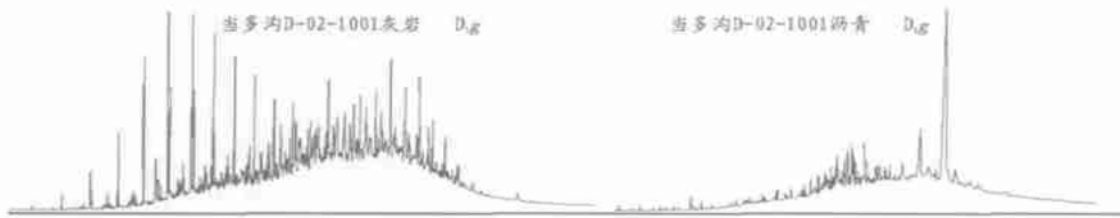


图2 泥盆系固体沥青和灰岩的饱和烃色谱图

Fig. 2 GC diagram of saturated hydrocarbon of the solid bitumen and the Devonian limestone

- 33.44 ‰和- 34.78 ‰(表2), 彼此间很接近, 沥青的干酪根碳同位素比志留系烃源岩干酪根碳同位素略轻, 表明志留系的烃源岩、沥青同源, 沥青来自于志留系。

而沥青与窑沟剖面泥盆、石炭和二叠系的烃源岩无可比性, 后者的干酪根碳同位素较重, 分别为 - 23.50 ‰ - 24.16 ‰ - 22.37 ‰和- 17.37 ‰, 差异很大。

3.1.2 饱和烃色谱对比

从饱和烃色谱图谱对比图(图3)可以看到, 窑沟 S₂bl³沥青与窑沟 S₂bl³碳质泥岩具有可比性, 两者的 Pr/Ph 分别为 0.56 和 0.59, 非常接近(表2); 窑沟 S₂bl³泥岩相对较差, 这可能是因为地表样品经过长期风化、水洗和高等植物来源有机质等因素的影响所致。

3.2 选部泥盆系沥青与烃源岩的对比

3.2.1 碳同位素特征

选部剖面各层系烃源岩的数据见表3。寒武系泥岩干酪根和饱和烃碳同位素 - 27.68 ‰和 - 28.87 ‰, 比较接近; 奥陶系泥岩的干酪根和饱和

烃碳同位素分别为 - 21.89 ‰和- 27.96 ‰, 差异较大; 志留系泥岩的干酪根和饱和烃碳同位素分别为 - 26.28 ‰~ - 30.21 ‰和- 28.16 ‰~ - 29.32 ‰比较接近; 灰岩的干酪根和饱和烃碳同位素分别为 - 20.39 ‰和- 28.37 ‰, 差异较大; 泥盆系泥岩的干酪根和饱和烃碳同位素分别为 - 24.84 ‰和 - 27.83 ‰, 差异较大; 泥盆系固体沥青的饱和烃碳同位素为 - 28.97 ‰和- 29.15 ‰。正常情况下沥青的干酪根同位素值略重于饱和烃碳同位素值, 泥盆系固体沥青与志留系和寒武系的泥质烃源岩具有很好的对比性, 固体沥青可能为下古生界志留系或寒武系泥质岩的运移沥青。

3.2.2 饱和烃色谱对比

泥盆系固体沥青和灰岩的饱和烃色谱图(图2)说明, 固体沥青与泥盆系灰岩无关, 灰岩饱和烃色谱与沥青饱和烃色谱中相似部分可能为沥青对烃源层污染干扰所致。

3.2.3 生物标志化合物类比

从泥盆系固体沥青与同层烃源岩的甾烷、萜烷分布图(图4)可以看出泥盆系固体沥青与灰岩烃源

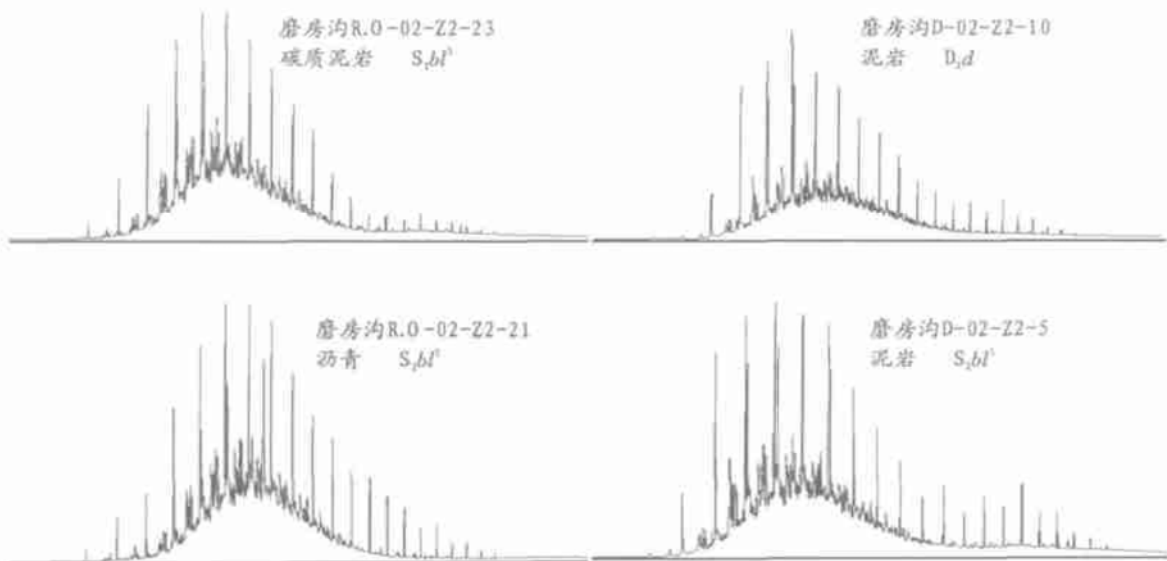


图3 窑沟剖面沥青及其烃源岩饱和烃色谱图

Fig. 3 GC diagram of saturated hydrocarbon of the bitumen and source rocks from Yaogou section

表3 迭部剖面泥盆系沥青与烃源岩部分地化参数对比表

Table 3 Some geochemical parameters of the bitumen and source rocks in the Diebu section

层位	样号	岩性	深度/m	干酪根 $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	饱和烃 $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	有机碳/%	饱和烃/芳烃
C _{3y}	T-02-2c-6-3	泥岩	8 991	-27.68	-28.87	4.88	0.64
O _{2s}	T-02-2e-9-1	泥岩	7 889	-21.89	-27.96	0.81	0.50
S _{1y}	T-02-2e-107-1	泥岩	7 378	-27.21	-28.16	0.86	0.53
S _{1t}	T-02-2f-20-1	碳质泥岩	6 239	-30.21	-29.32	8.24	2.53
S _{1l}	T-02-2f-59-1	灰岩	5 469	-20.39	-28.37	0.41	1.15
S _{1x}	T-02-2f-71-1	泥岩	5 377	-27.47	-28.30	11.80	0.57
S _{2m}	T-02-2g-9-1	泥岩	4 717	-26.28	-28.95	1.04	6.26
D _{1g}	D-02-1001	灰岩	2 671		-28.78		1.15
D _{1g}	D-02-1002	沥青	2 671		-28.97		3.92
D _{1g}	D-02-1003	灰岩	2 632		-28.43	0.13	3.62
D _{1g}	D-02-1004	沥青	2 632		-29.15		4.93
D _{2z}	T-02-3-14	碳质泥岩	1 339	-24.84	-27.83	1.52	3.04

岩的甾烷系列完全不同,无对比性;萜烷分布也不相同,固体沥青的 γ -蜡烷含量明显高于灰岩烃源岩,泥盆系固体沥青与同层烃源岩的 γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷比值分别为 0.44 和 0.11, 0.37 和 0.16, 差别较大;固体沥青的 $\beta\alpha$ - C_{30} 莫烷也远高于灰岩的 $\beta\alpha$ - C_{30} 莫烷,说明泥盆系固体沥青与同层烃源岩无关。

4 沥青成因分析

通常情况下,储层沥青是石油发生运移与聚集的产物,更是原油发生后生变异的结果,其成因机制一般分为 3 大类^[9]。

a) 热演化成因沥青(焦沥青、碳沥青),是石油处于较高温地热系统中,轻组分链烷化最终生成甲烷,重组分经缩合作用形成以高碳化合物为特征的多环焦沥青残余物。

b) 冷变质成因氧化沥青(软沥青、地沥青、石沥青),是石油处于较低温度、较浅埋深的开启环境中通过挥发、氧化、细菌降解、水洗等冷变质作用,使石油中轻组分损失,胶质和沥青质组分增加而形成重质沥青。

c) 脱沥青成因的沥青质沥青,是石油中注入了气态烃或轻烃而导致沥青质在石油中溶解度降低而被分离沉淀,为物理分异产物。

根据松潘—阿坝地区沥青的地球化学特征并结合该地区的构造特征与沉积演化认为,本区沥青的成因比较复杂,并不能简单的归属于上述某种成因,松潘—阿坝地区高演化固体沥青应是脱沥青和冷变质双重因素造成的产物。

分析研究认为,松潘—阿坝地区下古生界的主力烃源岩在加里东—早海西期开始大量排烃,油气聚集而形成古油藏。泥盆纪末早海西期构造运动使隆起带上的地层遭受强烈的剥蚀,剥蚀厚度达 3 000 m 左右,使志留系古油藏遭到破坏,轻烃不断散失,非烃和

沥青质逐渐富集而形成重质沥青。随后沉积的石炭、二叠系使沥青又进入深埋,并遭受动力变质而成为高演化沥青。本地区二次生烃的原油轻烃和天然气对沥青充注而发生脱沥青作用,窑沟志留系高演化固体沥青极有可能就是上述作用的产物。迭部泥盆系沥青则可能是原油遭冷变质、深埋和动力变质、脱沥青作用,后来遭受严重氧化、生物降解的运移沥青。

5 结论

综合以上论述,通过对松潘—阿坝地区所采固体沥青野外资料和室内分析数据的分析整理,以及松潘—阿坝地区固体沥青与烃源岩及塔里木地区沥青砂岩的对比,得到以下认识:

a) 从干酪根碳同位素数据、扫描电镜鉴定、饱和烃色谱分析和甾、萜烷分布特征等资料分析,确认窑沟志留系和当多沟泥盆系所采沥青样品为高演化固体沥青。

b) 窑沟志留系沥青与志留系的泥岩烃源岩同源,可能为古油藏遭受早海西期构造运动破坏的残留部分。

c) 当多沟泥盆系所采沥青极有可能为源自下古生界志留系和寒武系泥岩烃源岩的运移沥青,由于遭受了强烈的氧化和生物降解作用,有待于进一步的研究。

d) 松潘—阿坝地区高演化固体沥青应是脱沥青和冷变质双重因素造成的产物。

参考文献:

- 张渠,秦建中,范明等.松潘—阿坝地区下古生界烃源岩评价[J].石油实验地质,2003,25(增刊):582~584
- 蔡立国,郑冰,刘建荣等.青藏高原东部石油地质基本特征[M].南京:南京大学出版社,1993
- 秦德余,吉让寿,高长林等.秦岭—大巴拉槽[J].石油实验地质,1987,9(2):104~113

- 4 高长林, 秦德余, 吉让寿等. 东秦岭俯冲消减古洋壳的地球化学鉴定[J]. 石油实验地质, 1990, 12(2): 135~ 146
- 5 吉让寿, 秦德余, 高长林. 吉东秦岭洋关闭和华北与扬子两地块拼合[J]. 石油实验地质, 1990, 12(4): 353~ 366
- 6 高长林, 吉让寿, 秦德余等. 陕南东秦岭泥盆纪前陆盆地的地球化学鉴定[J]. 石油实验地质, 1991, 13(4): 325~ 339
- 7 高长林, 刘光祥, 张玉箴等. 东秦岭—大巴山逆冲推覆构造与油气远景[J]. 石油实验地质, 25(增刊): 523~ 531
- 8 吉让寿, 高长林, 秦德余. 华北与扬子两板块的拼贴方式与扬子北缘古生代盆地应变特征[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 143~ 152
- 9 叶军, 王亮国, 岳东明等. 从新场沥青地化特征看川西天然气资源前景[J]. 天然气工业, 1999, 19(3): 18~ 22

GENETIC ANALYSIS OF THE HIGH MATURATED BITUMEN IN SONGPAN-ABA AREA

JIN Ju-chang, QIN Jian-zhong, ZHANG Zhi-rong, FAN Min, ZHANG Qu

(Wuxi Research Institute of Experimental Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Based on genetic analysis of the Silurian bitumen from Yaogou and Devonian bitumen from Dangduogou in Songpan-Aba area, it was indicated that these bitumen samples were high maturated solid bitumen which sourced from the Silurian or Cambrian mudstones. They were the relict of the old oil pools which were destructed during the Early Hercynian movement. Formation of the bitumen was very complex. It might be the result of co-activity of cooling metamorphism and debitumination. Hydrocarbon could be generated from the bitumen as they were deeply re-buried.

Key words: high maturity; bitumen; genetic analysis; Songpan-Aba area

(continued from page 369)

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON VARIATION OF GEOCHEMICAL COMPOSITIONS OF NATURAL GAS DURING DIFFUSION UNDER STRATIGRAPHIC CONDITION

MA Li-yuan¹, ZHANG Xiao-bao¹, LI Jian², YAN Qi-tuan², LI Xiu-fen¹, SONG Cheng-peng¹

(1. State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang, Hebei 065007, China)

Abstract: In order to study the geochemical characteristics of natural gas during diffusion, an experimental simulation under stratigraphic condition (70 °C, 8 MPa) has been performed on a solid sample. During the diffusion of natural gas, the relative percentage of methane in reservoir gas gradually decreases, but the relative percentages of ethane and propane increase correspondingly. The diffusive gas shows the same compositional varying tendency as the reservoir gas, but the relative percentage of methane in diffusive gas is higher than that in reservoir gas at the same time, and the relative percentages of ethane and propane in diffusive gas are lower than those in reservoir gas. These phenomena are all caused by stratigraphic chromatographic effect. The relative percentage of normal butane in reservoir gas is higher than that in diffusive gas at the same time, and the relative percentage of isobutane in reservoir gas is lower than that in diffusive gas. This is also the result of stratigraphic chromatographic effect. The $C_1/(C_2+C_3)$ and iC_4/nC_4 values may be used as the geochemical indexes of natural gas migration. There exist a logarithmic linear correlative relation between the relative percentage of compositions of reservoir gas and the diffusive gas percentage and a quadratic relation between the relative percentage of compositions of diffusive gas and the diffusive gas percentage. These relations may be helpful for calculating the amount of diffusive gas, evaluating the reservoir gas resource prospect, deeply understanding into the variation of compositions of natural gas during diffusion and predicting the total resources of natural gas derived from the same source rock but preserved in reservoirs with different ages.

Key words: stratigraphic condition; natural gas composition; diffusion; simulation