

文章编号: 1000-0550(2012)02-0385-07

川西坳陷中段上三叠统须家河组二段原油裂解成因 天然气发现及成藏模式初探^①

刘四兵^{1,2} 沈忠民¹ 吕正祥² 罗小平¹ 冷济高²

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都理工大学 成都 610059;

2. 中国石油化工股份有限公司西南油气分公司博士后科研工作站 成都 610081)

摘要 川西坳陷中段具备多套烃源层、多个烃源区、多期油气生成、多期油气成藏同时又经历了多个构造期调整和破坏,纵向上发育的多套生储盖组合孕育了多层含气层系。天然气碳同位素分析表明,该区上三叠统须家河组产出的部分天然气乙烷碳同位素具有明显偏负的特征,相关图版的判别显示,这部分天然气具有原油裂解气的性质。同时在研究区上三叠统须家河组储层中发现了大量的储层沥青充填物,通过岩芯观察、显微照片、元素、热解等分析,发现该储层沥青充填物具有多种类型、多种分布形态、边界较为清楚等特征,且这些沥青充填物的反射率较高,尤其是须家河二段的储层沥青,这一特征与焦沥青的基本特征类似,表现为油藏裂解后残余物的特征,原油裂解气和焦沥青的发现证实了川西坳陷中段须家河组古油藏的存在。在此基础上,通过综合分析生油及裂解条件等,对研究区须家河组古油藏裂解气成藏模式进行了初步探讨,将这一过程分为印支晚期古油藏形成、燕山中期古油藏裂解、燕山晚期—喜山期气藏调整三个连续的阶段,这对深化认识川西坳陷中段天然气的成因和分布具有一定的意义。

关键词 储层沥青 古油藏 成藏模式 上三叠统 川西坳陷中段

第一作者简介 刘四兵 男 1981年出生 博士后 石油地质学 E-mail: 976481789@qq.com

中图分类号 TE122 **文献标识码** A

0 引言

古油藏裂解天然气是目前很多天然气藏的重要气源。因此,很早以来,国内外对古油藏进行了大量的研究。在多源、多期成藏盆地中,如塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地和四川盆地以及我国的南方和华北广大古生界碳酸盐岩分布地区,原油裂解气的勘探研究具有重要的现实意义^[1~7]。对于古油藏来

说,原油裂解气是形成天然气藏的特殊气源,前人对古油藏的研究一般针对碳酸盐岩,而鲜有提及陆相盆地古油藏的意义。

川西坳陷中段位于四川盆地西部,是四川盆地西部晚三叠世以来陆相盆地的深拗陷部分(图1),具备多套烃源层、多个烃源区、多期油气生成、多期油气成藏同时又经历了多个构造期调整和破坏,纵向上发育的多套生储盖组合孕育了多层含气层系^[8~11](图1)。

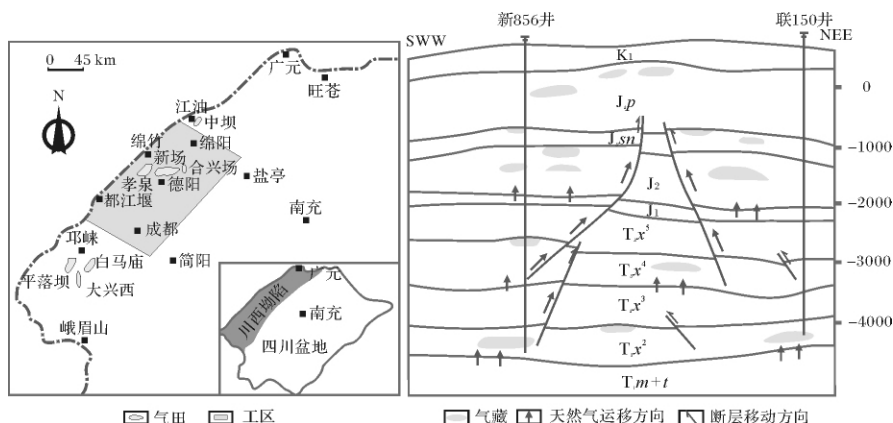


图1 研究区位置和新场气田剖面示意图(据文献^[12]和中石化西南分公司,修改)

Fig. 1 Location of the study area and gas reservoir sections of Xinchang gas fields

^①国家自然科学基金项目(批准号: 41172119)和“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室开放基金项目(PLC201101)共同资助。
收稿日期: 2011-05-23; 收修修改稿日期: 2011-07-11

本次研究通过天然气碳同位素、岩芯、显微镜观察、元素、热解以及抽提物碳同位素等分析,对川西坳陷中段上三叠统须二段、须四段天然气地化特征、储层沥青充填物的地化特征进行了研究。并在综合分析生油及裂解成气条件等的基础上,结合研究区实际地质条件,初步探讨了研究区须家河组古油藏裂解成藏模式,对深化认识川西坳陷中段天然气的成因和分布具有一定的意义。

1 储层沥青地化特征及来源

1.1 储层沥青地化特征

(1) 沥青产状

川西坳陷中段上三叠统须二段沥青充填物主要沿着沉积层理界面呈薄层分布,或分布在水平、斜交缝、溶蚀缝洞中,性脆、颗粒表面有光泽、呈贝壳状的断口。如川罗562井须二段5107.00 m宽度为1~2 cm的垂直缝中,方解石脉在裂缝中层状生长,网格中黑色沥青充填物充填,初步分析认为应该为运移通道的残留沥青(图2a)。

须四段沥青充填物与须二段沥青充填物的产状有一定的差别,主要分布在砂岩层理界面或者分布砂

岩基质中,较少有溶蚀孔洞与溶蚀缝分布(图2b),亦呈现出与植物碎屑或炭屑明显不同的分布特征。

从显微照片来看(图2),须二段沥青充填物呈不规则页片状分布在矿物基质中,颜色主要呈灰白色,表面有颜色较深的团块状的沥青充填物包裹矿物颗粒,部分有次生黄铁矿颗粒生长在沥青充填物表面。须四段沥青充填物与须二段沥青充填物的产状有一定差别,叶片状沥青充填物表面基本没有黄铁矿颗粒分布。从川泉171井须四段3702.57 m裂缝及孔洞充填沥青显微照片可看出(图2c),沥青充填在呈树枝状分布的裂缝中,显示为运移通道残留沥青的特征。在部分井的泥岩裂缝中还可可见沥青两期充填的特征。

(2) 地球化学特征

从本次研究所作的元素、热解等分析结果来看(表1)。川西坳陷中段储层沥青主要有以下特征:①通过C、H、O有机元素分析发现沥青充填物中具有较低的H/C、O/C原子比,须四段沥青充填物的H/C比略高于须二段,表明须四段储层沥青比须二段沥青充填物的生气能力稍高;②热解研究表明:须二段储层沥青充填物热解 S_1 为0.28~1.21 mg/g, S_2 为5.85

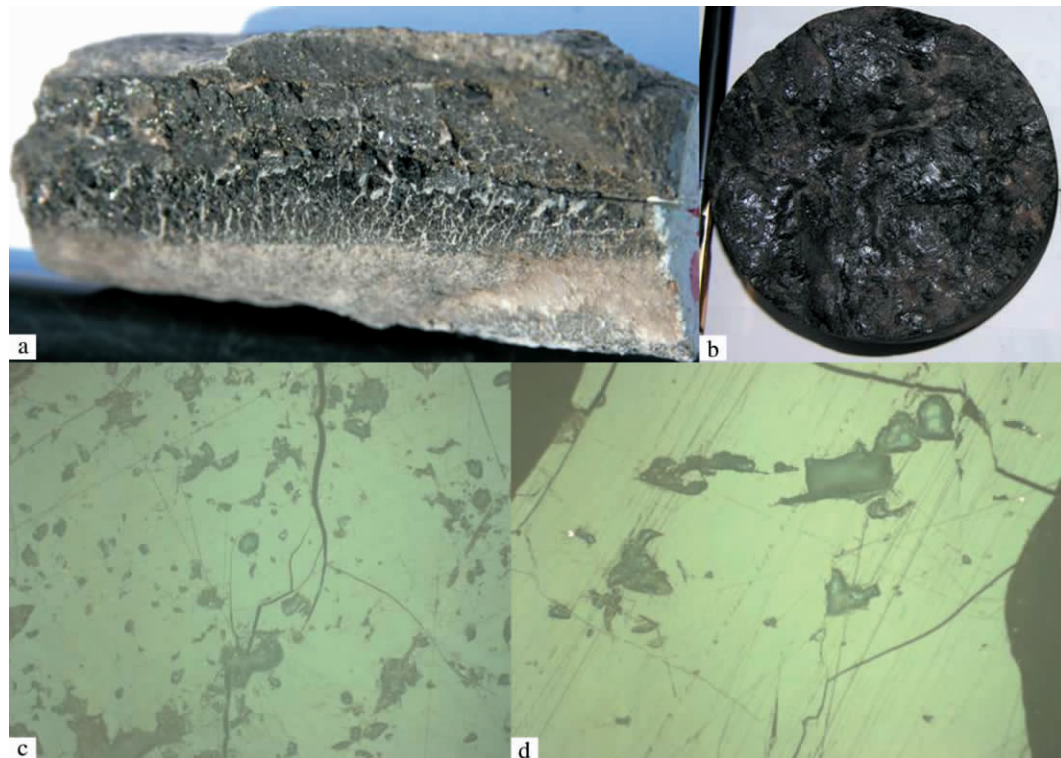


图2 川西坳陷中段须二和须四段储层沥青分布特征

(a) 石英砂岩中的垂直裂缝充填沥青,方解石脉在沥青中呈网格状生长;(b) 沥青呈块状;(c) 裂缝及孔洞充填沥青;(d) 裂缝及孔洞充填沥青

Fig. 2 The distribution of asphalt in the second and fourth member of Xujiahe Formation in West Sichuan depression

表1 川西坳陷中段储层沥青基本地化特征

Table 1 The basic geological and geochemical feature of the reservoir asphalt fillings in the middle part of the West Sichuan Depression

地层	井深/m	样品描述	含量/%			$S_1/(mg/g)$	$S_2/(mg/g)$	$R_b/\%$	$R_o/\%$
			C	H	O				
T_3x^2	4940.57	裂缝与孔洞中沥青	31.5	1.9	2.9	0.28	5.57	2.49	2.06
T_3x^2	4576.07	石英砂岩裂缝中沥青	86.6	4.2	3.1	0.29	13.08	2.3	1.93
T_3x^2	4580.23	细砂岩溶孔中沥青	81.8	3.9	3.2	8.66	100.5	2.21	1.87
T_3x^2	4923.12	石英砂岩裂隙中沥青	81	3.9	2.7	4.43	71.32	2.14	1.82
T_3x^4	3405.14	石英砂岩层理间黑色沥青	68.5	4	3.6	0.38	12.07	1.21	1.18
T_3x^4	3880.65	石英砂岩缝洞中沥青	84.8	4.5	3.3	0.28	13.05	1.53	1.40
T_3x^4	3702.57	岩屑石英砂岩中沥青	88.9	4.6	4.4	5.35	87.7	1.35	1.27
T_3x^2	4466.15	石英砂岩层理间中沥青	76.1	3.8	4.5	1.21	31.16	1.87	1.63
T_3x^4	2094.41	泥岩层理间中沥青层	67.7	4.5	8.9	5.57	119.11	0.75	0.86
T_3x^2	3289.39	泥岩裂缝中块状沥青	19.5	1.9	6.1	3.08	102.01	0.96	1.01

~32.37 mg/g, $S_1 + S_2$ 为 5.85 ~ 32.37 mg/g, 沥青充填物热解生气潜力较低。须四段沥青充填物 S_1 为 4.43 ~ 8.66 mg/g, S_2 为 71.32 ~ 119.11 mg/g, $S_1 + S_2$ 为 75.75 ~ 124.68 mg/g, 还有较大的生气潜力。③ 须二段储层沥青埋深一般大于 4 500 m, 沥青质反射率 R_b 一般大于 2%, 换算成镜质体反射率一般大于 1.8%, 表明须二段沥青热演化程度相当高, 热演化已经达到过成熟阶段。须四段储层埋深小于 4 000 m, 沥青质反射率一般小于 1.5%, 换算成镜质体反射率一般小于 1.2%, 其热演化程度较高, 达到湿气—干气阶段。

总的来说, 川西坳陷中段上三叠统须家河组储层沥青分布广泛, 具有多种类型, 多种分布形态, 其边界较为清楚, 同时, 须二段储层沥青反射率高, 显示其经历了较高的古地温, 这一特征与焦化沥青的基本特征类似^[3-6, 13-15]。因此, 川西坳陷中段须家河组尤其是须二段储层中的沥青充填物应是油藏深埋时, 在高温、高压的作用下油裂解成气后的焦沥青。

1.2 储层沥青来源

本次研究分别采集了川西坳陷中段须二段和须

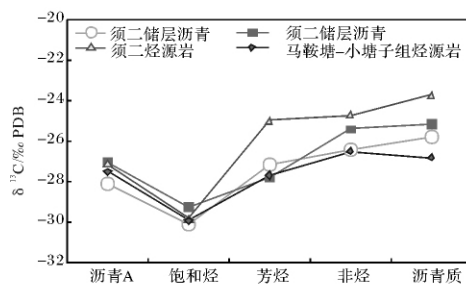


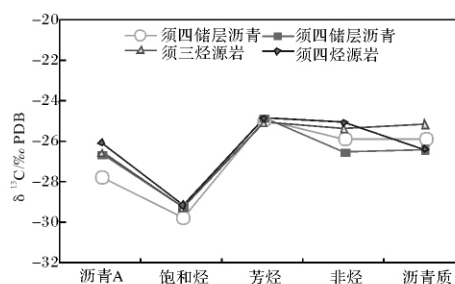
图3 川西坳陷中段须家河组烃源岩—储层沥青有机组分碳同位素对比

Fig. 3 Source rock correlations of reservoir bitumen in Xujiahe Formation in the middle part of the West Sichuan Depression

四段的储层沥青样品进行抽提物的碳同位素分析, 同时采集了马鞍塘一小塘子组、须二、须三和须四段烃源岩样品进行了抽提物的碳同位素分析。从烃源岩及储层沥青有机组分的碳同位素对比来看(图3), 研究区须二段储层沥青抽提物碳同位素系列与马鞍塘一小塘子组烃源岩具有良好的匹配关系, 而与须二段烃源岩的碳同位素分布系列差异较大, 显示须二段储层沥青主要来源于马鞍塘一小塘子组烃源岩; 须四段储层沥青抽提物的碳同位素系列则与须四中亚段和须三段烃源岩抽提物碳同位素系列均有较好的匹配关系, 显示须四段储层沥青来源于须三段和须四中亚段烃源岩的共同贡献(图3)。

2 天然气来源与成因

前人研究表明, 川西坳陷上三叠统须家河组天然气虽然以成熟煤型气为主, 但在部分气藏中有成熟及高成熟的油型—煤型的混合气^[16, 17]。实际上, 从川西坳陷中段天然气 $C_2 \sim C_1$ 碳同位素交汇图来看(图4), 研究区须二段部分天然气主要表现出如下两个与其他层段不同的特征: (1) 甲烷碳同位素相对偏



重,基本在 -32% 以上;(2)乙烷碳同位素同位素相对偏轻,部分样品甚至在 -28% 以下,在一定程度上表现出油型气的特征。

研究认为,甲烷碳同位素主要受成熟度影响,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值随成熟度的增高而增大^[18],同时,由于天然气 $^{13}\text{CH}_4$ 和 $^{12}\text{CH}_4$ 扩散系数的差别,因此扩散运移对于甲烷的碳同位素也有一定的影响^[19]。而乙烷的碳同位素主要受母质类型的影响,一般来说,Ⅰ型和Ⅱ型干酪根所生天然气相对于Ⅱ₂型和Ⅲ型干酪根所生天然气在相同成熟度情况下烷烃碳同位素偏轻。

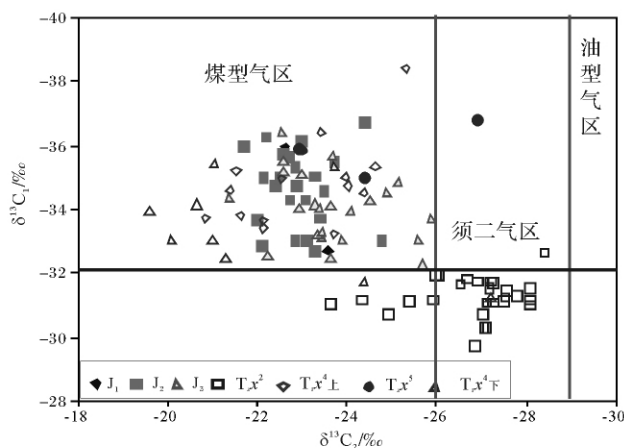


图4 川西坳陷中段天然气 $\text{C}_2 \sim \text{C}_1$ 碳同位素交汇图

Fig. 4 C_2 vs C_1 isotope in natural gas in the middle part of the West Sichuan Depression

须家河组天然气主要表现为自生自储的性质,运移距离较小^[20],天然气运移不会对须家河组气藏中天然气甲烷碳同位素产生实质性的影响,因此须二段天然气相对于其他层段天然气甲烷同位素偏重应主要是经历了更高的成熟度演化的结果;而须二段天然气尽管经历了更高的成熟度,但其乙烷碳同位素仍明显偏低,说明研究区须二段部分天然气可能来源于母质类型更优的烃源岩或是由古油藏裂解而成。

而根据Alain等^[21]有关干酪根裂解气和原油裂解气判别图版可以看到,川西坳陷中段须家河组部分天然气的 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_3$ 变化很小,显示出古油藏二次裂解气的特征(图5),说明古油藏裂解气为川西坳陷中段上三叠统须家河组提供了大量的气源。

3 生油物质基础及油裂解成气条件分析

3.1 生油物质基础

根据前文的分析我们基本可以确认在川西坳陷中段须二储层中的储层沥青应主要为原油裂解而成

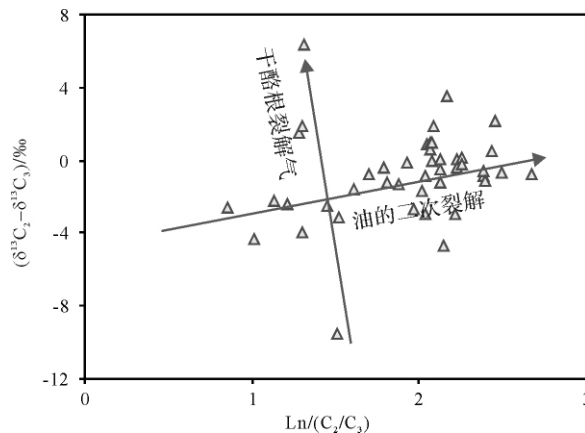


图5 川西坳陷中段干酪根裂解气和原油裂解气成因判别图

Fig. 5 Genetic discrimination between the cracked gases of kerogen and those of crude oil in the middle part of the West Sichuan Depression

的焦沥青。实际上叶军等的研究表明,川西坳陷马鞍塘至小塘子组有机质丰度较高,残余有机碳一般大于1%,最高达6.67%,有机质类型虽然Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型均存在,但是以腐泥Ⅰ型和混合Ⅱ型为主^[22]。烃源岩干酪根显微组分分析结果表明,马鞍塘、小塘子组源岩有机显微组分中含大量的类脂组分,含量达50%~80%。类脂组是有机质显微组成中生成石油潜量最高的成分^[23],说明研究区有生油的物质基础。

马鞍塘组—小塘子组有机质类型以Ⅰ、Ⅱ型干酪根为主,显微组分含大量类脂组的事实充分说明,与以Ⅲ型成气干酪根为主的须二段—须四段以及须五段—侏罗系成矿系统相比,马鞍塘组—小塘子组有机质在高成熟以前,主要是生成液态石油,因此马鞍塘—小塘子组—须二段烃源岩在演化过程中应该有一定的原油生成,即须二段储层最早储集有原油,在部分地区可能形成油藏。

3.2 川西坳陷须二、须四段原油裂解条件

在地层条件下原油发生裂解必然受到诸如温度、压力等各种因素的制约。不同地区由于地质条件的不同,原油在储层中保存的温度也有很大的差异,如西加拿大盆地为 $90 \sim 120^\circ\text{C}$,阿尔及尼亚萨哈拉盆地南部为 130°C 左右;阿拉巴马州西南部为 $130 \sim 140^\circ\text{C}$,马哈坎三角洲在 140°C 左右,尼日尔三角洲在 150°C 左右,加利福尼亚大峡谷在 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 之间,意大利一油田为 150°C ,北海盆地为 $165 \sim 175^\circ\text{C}$,美国威利斯顿盆地为 182°C 等。Waples还以原油发生裂解的平均活化能分布主峰 59 kcal/mol 作为研究对

象,建立了不同地层温度条件下原油发生裂解的比率,当地温小于 160°C 时,原油裂解量极小,当温度达到 200°C 时,原油则几乎全部裂解^[7]。

综合分析各种因素认为,须家河组古油藏原油大体在 160°C 左右开始裂解,在 200°C 达到完全裂解。有机质在古地温达到 130°C 左右时进入生油高峰期。根据川西坳陷金深1井的埋藏史演化曲线,马鞍塘一小塘子组在2750 m左右,215 Ma时(印支晚期)已进入了生油高峰期,须二段底部在163 Ma(相当于 J_2 s沉积末期)地层温度达到 160°C ,在100 Ma(相当燕山晚期)地层温度达到 180°C 。金深1井须二段古油藏在 $160^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$ 的温度下持续时间在65 Ma左右,古油藏大量裂解生气,使须二段早期注入的油转化成天然气。可以推测在构造低部位,须二段埋藏更深、经历更高的地温,油藏裂解作用更大。

须四段储层最高温度为 160°C ,古油藏始终处在原油裂解初始温度,还没达到大量裂解温度,因此形成的沥青层还具有较大的生气潜力,故须四段古油藏基本对须四段天然气的后期补充作用相对较小。

4 原油裂解气成藏过程

通过上述分析认为,川西坳陷上三叠统源岩热演化在生油窗阶段形成了一定规模的原油,由于排烃动力不足或排烃通道不畅,富存在泥岩或就近运移至相邻的砂层中,也有少部分运移至侏罗系。富集于上三叠统尤其是须二段中的原油随着埋深增加,进一步裂解形成天然气,其中不能裂解成天然气的部分,碳化形成目前所见到的焦沥青。

结合研究区古构造演化及古地温等的研究成果,本次研究初步提出了川西坳陷中段古油藏裂解成藏模式(图6)。

4.1 印支晚期古油藏形成

川西坳陷马鞍塘组烃源岩在印支晚期达到生油高峰期,在这一时期,该层段烃源岩中的I型、II₁型干酪根大量生成原油,并在深大断裂的输导作用下运移至须二、须四储层中成藏(图6)。印支晚期及前期形成的古构造和斜坡带是有利的聚油部位。

4.2 燕山中期古油藏裂解

至燕山中期(J_3 末),马鞍塘组—须二段成藏系统的石油全面进入热解成气高峰期,此时储层已进入致密化阶段,由于天然气分直径小,受毛管压力作用相对石油要弱,故仍能向正向高部位富集,燕山期形成的低幅度隆起带和局部高部位成为这一时期天然气

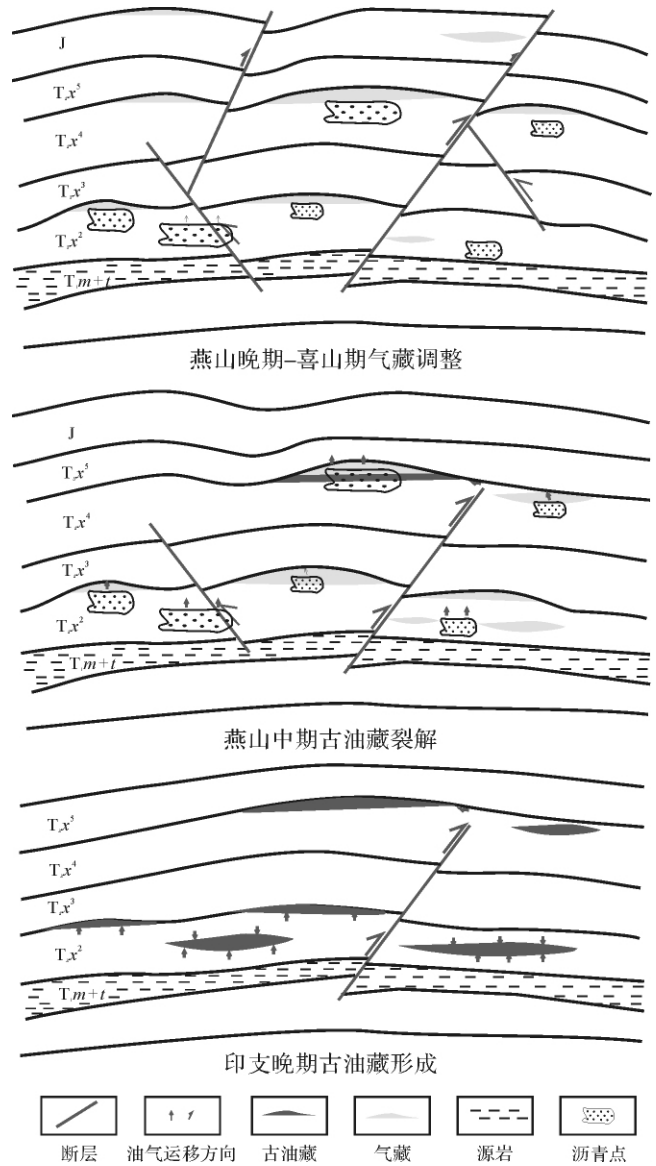


图6 川西坳陷中段古油藏裂解气成藏模式

Fig. 6 Hydrocarbon accumulation pattern of paleo-oil pools pyrolysis gas in the middle part of the West Sichuan Depression

运移的主要指向。由于高温热裂解作用,须二储层中的石油向天然气转化,气体体积膨胀和后期构造挤压作用,一方面使储层孔隙进一步缩小,储层向致密化转变,另一方面形成了须二储层的异常超高压。

4.3 燕山晚期—喜山期气藏调整

须三段是一套以含煤泥页岩为主的陆相成气烃源岩,也是须二储层的区域性岩性盖层。由于其生气作用,对须二气藏又是良好的烃浓度封盖层。至燕山晚幕,须二段成矿系统的储层已经完全致密化,该成矿系统的油气发生大规模运移富集已经不可能。但在燕山晚幕直至喜山期形成的断裂、裂缝系统在未造

成通天破坏之处,对改善须家河组储层渗流条件,使天然气重新活动和局部重组是有意义的。

根据川合100井热史反演结果,须二段古油藏在160℃~180℃的温度下持续时间在65 Ma左右,虽然在这一演化时间内,部分油已裂解成气,但须二段古油藏的形成,对于研究区马鞍塘一小塘子组一须二段成藏组合天然气的起到了较明显的延后效应。由于石油对于保存条件的要求不如天然气苛刻,早期油藏的形成有利于减少油气的散失,因此古油藏的形成能有效提高该成藏组合现今天然气的资源丰度,从而提高了研究区须二气藏的评价。

5 结论

(1) 川西坳陷中段须二段和须四段储层中广泛分布的沥青充填物以及部分天然气表现出的原油裂解气特征暗示了研究区古油藏的存在;

(2) 川西坳陷中段上三叠统须二段、须四段储层沥青充填物具有多种类型,多种分布形态和边界较为清楚的特点。同时,须二段储层沥青反射率高,其经历的古地温已远远在原油裂解所需的温度之上,应是油藏深埋时在高温、高压的作用下油裂解成气后的焦沥青;

(3) 源源对比显示,须二段中的储层沥青主要来源于其下伏的马鞍塘一小塘子组烃源岩,须四段储层沥青则来源于须三段和须四中亚段烃源岩的共同贡献;

(4) 川西坳陷裂解气成藏模式可描述为:印支晚期古油藏形成、燕山中期古油藏裂解、燕山晚期—喜山期气藏调整三个连续的阶段。

参考文献 (References)

- 1 韩世庆,王守德,胡惟元. 黔东麻江古油藏的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,1982(4): 315-326 [Han Shiqing, Wang Shoude, Hu Weiyuan. The discovery of a paleopool in Majiang and its geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 1982(4): 315-326]
- 2 王守德,郑冰,蔡立国. 中国南方古油藏与油气评价[J]. 海相油气地质,1997,(1): 44-50 [Wang Shoude, Zheng Bing, Cai Ligu. The destroyed oil pools in south China and hydrocarbon prospecting [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1997(1): 44-50]
- 3 Hwang R S, Teerman S, Carlson R. Geochemical comparison of reservoir solid bitumens with diverse origins [J]. Organic Geochemistry, 1998, (29): 505-518
- 4 赵孟军,张水昌,赵陵,等. 南盘江盆地古油藏沥青、天然气的地球化学特征及成因[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学,2007,37(2): 167-177 [Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, Zhao Ling, et al. Paleo-
- oil pool bitumen and the geochemical characteristics and causes of the natural gas in Nanpanjiang basin [J]. Science in China, Series D: Earth Science, 2007, 37(2): 167-177]
- 5 姜海定. 论浙江省碳沥青的成因[J]. 中国煤田地质,1996,8(4): 23-26 [Jiang Haiding. Concerning the cause of carbon bitumen in Zhejiang province [J]. Coal Geology of China, 1996, 8(4): 23-26]
- 6 高志农,胡华中. 高压对天然沥青结构组成演变的影响[J]. 沉积学报,2002,20(3): 499-503 [Gao Zhihong, Hu Huazhong. The influence of high pressure on the structural and compositional evolution of natural bitumen [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(3): 499-503]
- 7 谢增业,田世澄,魏国齐,等. 川东北飞仙关组储层沥青与古油藏研究[J]. 天然气地球科学,2005,16(3): 283-288 [Xie Zengye, Tian Shicheng, Wei Guoqi, et al. The study on bitumen and foregone pool of Feixianguan oolitic in northeast Sichuan basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 283-288]
- 8 李勇,曾允孚,伊海生. 龙门山前陆盆地沉积及构造演化[M]. 成都: 成都科学技术出版社,1995: 25-37 [Li Yong, Zeng Yunfu, Yi Haisheng. Deposition and Tectonic Evolution of the Longmen Shan Foreland Basin [M]. Chengdu: Chengdu Science and Technology Press, 1995: 25-37]
- 9 李书兵,何鲤,柳梅青. 四川盆地晚三叠世以来陆相盆地演化史[J]. 天然气工业,1999,19(增刊): 18-23 [Li Shubing, He Li, Liu Meiqing. Continental basin evolution of the upper Triassic in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(Suppl.): 18-23]
- 10 邓康龄,余福林. 川西坳陷的复合构造与油气关系[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2): 214-219 [Deng Kangling, Xu Fulin. Compound structures and hydrocarbons in western Sichuan depression [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 214-219]
- 11 罗啸泉,陈兰. 川西坳陷形成演化及其与油气的关系[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1): 16-19 [Luo Xiaoquan, Chen Lan. Forming evolution of western Sichuan depression and its relation with oil and gas [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 16-19]
- 12 秦胜飞,陶士振,涂涛,等. 川西坳陷天然气地球化学及成藏特征[J]. 石油勘探与开发,2007,34(1): 34-38 [Qin Shengfei, Tao Shizheng, Tu Tao, et al. Characteristics of natural gas geochemistry and accumulation in Western Sichuan Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(1): 34-38]
- 13 林峰,王廷栋,戴鸿鸣,等. 四川盆地碳酸盐岩储层中固体运移沥青的性质和成因[J]. 矿物岩石地球化学通报,1998,17(3): 174-178 [Li Feng, Wang Tingdong, Dai Hongming, et al. The properties and genesis of solid migrabitumen of carbonate reservoirs in Sichuan Basin [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1998, 17(3): 174-178]
- 14 Huc A Y, Nederlof P, Debarre R, et al. Pyrobitumen occurrences and formation in a Cambro-Ordovician sandstone reservoir, Fahud Salt Basin, North Oman [J]. Chemical Geology, 2000, (168): 99-112
- 15 Stasiuk L D. The origin of pyrobitumens in Upper Devonian Leduc Formation gas reservoirs, Alberta, Canada: an optical and EDS study oil to gas transformation [J]. Marine Petrology Geology, 1997, 14(7-

- 8): 915-929
- 16 王兰生, 苟学敏, 刘国瑜, 等. 四川盆地天然气的有机地球化学特征及其成因[J]. 沉积学报. 1997, 15(2): 49-53 [Wang Lansheng, Gou Xuemin, Liu Guoyu, *et al.*. The organic geochemistry and origin of natural gases in Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 49-53]
- 17 杜敏, 汪三谷, 万茂霞, 等. 四川盆地上三叠统须家河组天然气地球化学特征及成因类型判识[J]. 天然气勘探与开发, 2007, (6): 26-29 [Du Min, Wang Sangu, Wan Maoxia, *et al.* Geochemical characteristics and genetic types of natural gas in upper Triassic Xujiahe Formation, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2007, (6): 26-29]
- 18 戴金星. 各类天然气的成因鉴别[J]. 中国海上油气: 地质, 1992, 6(1): 11-19 [Dai Jinxing. Identification of various genetic natural gases [J]. China Offshore Oil & Gas: Geology, 1992, 6(1): 11-19]
- 19 李明诚. 石油与天然气运移研究综述[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(3): 3-9 [Li Mingcheng. An overview of hydrocarbon migration research [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(3): 3-9]
- 20 沈忠民, 潘中亮, 吕正祥, 等. 川西坳陷中段须家河组天然气地球化学特征与气源追踪[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2009, 36(3): 225-230 [Shen Zhongmin, Pan Zhongliang, Lü Zhengxiang, *et al.* The geochemical characteristics of natural gas and the gas-sources tracing of Xujiahe Formation in the middle member of West Sichuan Depression [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2009, 36(3): 225-230]
- 21 Alain A. Genetic and post-genetic molecular and isotopic fractionations in natural gases [J]. Chemical Geology, 1995, 126: 281
- 22 叶军. 川西坳陷马鞍塘组一须二段天然气成矿系统烃源岩评价[J]. 天然气工业, 2003, 23(1): 21-25 [Ye Jun. Assessment of hydrocarbon source rocks in Xu-2 member, Ma'antang Formation, gas system in west Sichuan Depression [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(1): 21-25]
- 23 蒂索 B P, 威尔特 D H. 石油形成和分布 [M]. 郝石生等译. 北京: 石油工业出版社, 1982 [Tissot B P, Willis D H. The Formation and Distribution of the Oil [M]. Translated by Hao Shisheng, *et al.* Beijing: Petroleum Industry Press, 1982]

Discovery and Forming Pattern of the Upper Triassic Xujiahe Formation Oil-cracking Gas Reservoirs in Western Sichuan Depression, China

LIU Si-bing^{1, 2} SHENG Zhong-ming¹ LÜ Zheng-xiang² LUO Xiao-ping¹ LENG Ji-gao²

(1. State Key Lab of Oil-gas Reservoirs Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. Postdoctoral Station of Southwest Petroleum Company, SINOPEC, Chengdu 610081)

Abstract: There are a number of sets of source rocks, a number of hydrocarbon source area, multi-stage hydrocarbon generation and multi-stage hydrocarbon accumulation in the middle part of the West Sichuan Depression and it also experienced a number of tectonic stages adjustment and havoc. On its vertical, multiple sets of source-reservoir-cap assemblages gave birth to multi-layer gas-bearing series. According to the results of gas carbon isotopic analyses, part of upper Triassic series Xujiahe Formation's gas ethane carbon isotopic have obvious negative skewness characteristics in this area. Relative photos' discrimination show that the gas has the feature of oil cracking gas. Meanwhile, a large amount of reservoir asphalt fillings have been discovered in upper Triassic series Xujiahe formation in this area. Through the analysis of core observation, micrograph, elements, pyrolysis and so on, we can see reservoir asphalt fillings have many characteristics such as multitude types, several shapes of distribution, a more clear boundary and so on. Reservoir asphalt fillings also have a characteristic that these reservoir asphalt fillings have a higher reflecting especially in the second member of Xujiahe Formation's reservoir bitumen. This characteristic shows residue's characteristic which is similar to the coal tar pitch's basic characteristic after oil reservoir cracking. The discovery of oil cracking gas and the coal tar pitch confirms the existence of paleo-oil pools of Xujiahe Formation in middle part of the West Sichuan Depression. On this basis, through the generalized analysis of genetic oil and cracking condition and so on, we carried out the preliminary discussion on the forming pattern of paleo-oil pools cracking gas of the Xujiahe Formation. We can divide this process into three consecutive phases: Late Indosinian paleo-oil pools's formation, Middle Yanshan paleo-oil pools's cracking and Late Yanshan-Himalayan period's gas reservoir adjustment. It is of certain significance to deepening recognition on the formation mechanism and distribution of gas of the middle part of the West Sichuan Depression.

Key words: reservoir asphalt; paleo-oil pools; forming pattern; Upper Triassic; West Sichuan Depression