

[文章编号] 1672-9727(2009)04-0345-10

四川盆地震旦系一下古生界天然气 成藏过程和特征

刘树根¹ 马永生² 蔡勋育² 徐国盛¹ 王国芝¹

雍自权¹ 孙 玮¹ 袁海锋¹ 盘昌林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南方勘探开发分公司, 成都 610041)

[摘要] 四川盆地震旦系- 下古生界具有三套泥质油系烃源岩, 具有很好的生油潜力和生烃强度。受加里东隆升作用的影响, 烃源岩有二次生、排烃的特征, 三叠纪是主要圈闭形成期和二次生油的主峰期, 大量的石油运聚至乐山- 龙女寺古隆起范围内形成震旦系- 下古生界古油藏。随着古油藏埋深的增加, 温度和压力的增高, 石油裂解成天然气, 古油藏自身形成气源, 在原地系统形成古气藏。这一过程持续到喜马拉雅期, 之后受喜马拉雅运动的影响, 强烈隆升和剥蚀, 圈闭重新调整, 气藏重新分配, 最终形成现今气藏。因此, 四川盆地震旦系- 下古生界天然气的成藏过程是一个古油藏 \rightarrow 古气藏 \rightarrow 现今气藏的过程, 具有生排差异、多期运聚、早聚晚藏的特征。

[关键词] 震旦系; 下古生界; 天然气成藏; 四川盆地

[分类号] TE122. 31 **[文献标识码]** A

四川盆地是中国重要的叠合盆地, 也是中国主要的天然气产区之一^[1]。中国天然气储量、产量的快速增长将主要依靠对中国西部叠合盆地的研究和勘探^[2]。叠合盆地之所以能够称为/叠合 θ , 很重要的一条理由就是在中、新生界陆相沉积层序之下, 还发育有海相沉积层序^[3]。震旦系- 下古生界位于四川盆地的最底层, 探讨其天然气的成藏特征和过程最能揭示四川盆地的叠合性质及其油气多期演化和多期成藏的特征。乐山- 龙女寺古隆起是震旦系- 下古生界油气富集的有利地带, 古隆起核部地区是石油的最有利的富集地区。因此, 探讨四川盆地震旦系- 下古生界天然气的成藏过程和特征, 必然涉及乐山- 龙女寺加里东古隆起的形成和演化。

1 有机质成熟生烃和排烃过程产生的 油气早期成藏特征

1.1 烃源岩特征

四川盆地(含盆地周边)震旦系- 下古生界自下而上, 主要烃源层系有陡山沱组(Z₂d)泥质岩油系烃源层, 筇竹寺组(C₁q)泥质岩油系烃源层, 龙马溪组(S₁l)泥质岩油系烃源层。三套烃源岩目前都已达高成熟- 过成熟阶段。烃潜量以下寒武统烃源岩最高, 烃潜量强度最强。从区域上看, 川西南和川南地区烃源岩最优且具有继承性^[3-10]。

1.2 烃源岩有机质成烃过程和特征

1.2.1 成烃高峰期参差不齐, 供烃时间长

筇竹寺组泥质岩是震旦系气藏的主力烃源

[收稿日期] 20080227

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划/9730项目(2005CB422106)

[作者简介] 刘树根(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事石油地质学的教学与科研, E2mail: lsg@cudt.edu.cn.

岩^[11,12]。由于乐山- 龙女寺加里东古隆起轴部继承性发育, 延缓了古生界特别是寒武系烃源岩的生烃时间^[13], 盆地不同部位埋深差异较大, 寒武系烃源岩进入成烃高峰期的时间不一。从整个四川盆地看, 二叠纪至侏罗纪都是成烃的高峰期, 并且二次生油持续的时间各个地区并不一致, 持续时间较长(图 1), 这为充足的油气源供给提供了条件。

加里东古隆起南部坳陷区(自深 1 井以南)烃源岩在加里东期进入低成熟期, 主要生成液态烃, R_o 值 $< 0.5\%$ 。由于加里东运动使盆地抬升, 一直到二叠纪末海西期, 南部凹陷及古隆起斜坡区又进入成油期(R_o 值 $> 0.65\%$), 并逐渐进入成油高峰期, 但古隆起带及其以北的广大地区才进入低成熟期(R_o 值 $< 0.6\%$)。印支期, 烃源岩有机质成熟度极大地提高, 古隆起南北两侧斜坡区已进入高成熟期(R_o 值为 $1.0\% \sim 2.2\%$), 主要生成轻质油和天然气。南部凹陷区已进入过成熟期(R_o 值 $> 2.2\%$), 主要生成干酪根热裂解气。燕山期, 古隆起顶部处于高成熟阶段, R_o 值为 $1.5\% \sim 2.2\%$, 大量形成液态烃热裂解气。古隆起上斜坡区进入过成熟期, 主要生成干酪根热裂解气。古隆起南北两侧凹陷区及下斜坡区 R_o 值普遍大于 3.2% , 已不具备大规模的生烃能力。喜马拉雅期, 古隆起带进入过成熟期, R_o 值普遍大于 2.2% , 主要形成干酪根热裂解气。

因此, 寒武系烃源岩大规模生烃始于加里东期, 直至喜马拉雅运动剧烈抬升之前(古近纪末),

在长达 416 Ma 的地质历史时期中, 一直保持了较大的烃源生烃速度 ($0.036 @ 10^8 \sim 0.077 @ 10^8 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$)^[12]。

1.2.2 供烃地域具迁移性

最早的供烃中心应在川东南地带, 那里奥陶系- 志留系保存较为完整, 下寒武统在志留系沉积后埋深超过 3 km, 已达到生烃门限; 但这一地区距加里东古隆起较远, 距丁山构造较近, 丁山 1 井中最早一期充注的油气与此有关。由于加里东古隆起主要烃源岩成烃高峰期在时空上的差异性, 因而形成的供烃地域具有迁移性特征。加里东- 印支期供烃地域主要位于威远背斜以南的地区; 燕山期供烃地域迁至加里东古隆起北坡的仁寿、简阳一带, 并逐渐向古隆起带移动; 在燕山晚期(白垩纪)以后, 供烃地域已移至加里东隆起轴部^[12]。总体上看, 南部烃源岩区供烃高峰在印支期, 北部烃源岩区供烃高峰在燕山早期, 古隆起轴部供烃高峰持续时间较长(图 2)。

1.2.3 三叠纪末是圈闭早期成藏的主要时期

下寒武统在志留系沉积后埋深超过 3 km, 已达到生烃门限, 开始向外供烃; 志留纪- 三叠纪末, 下寒武统向外供烃量逐渐增加, 并在三叠纪末达到最大。在此之后, 供烃量是一个逐渐减少并成为无效源岩的过程^[12,14]。三叠纪末正处于烃源岩二次生油的高峰期, 加里东古隆起核部中段及其南北斜坡区是最为有利的油气聚集区, 是圈闭早期成藏的主要时期。

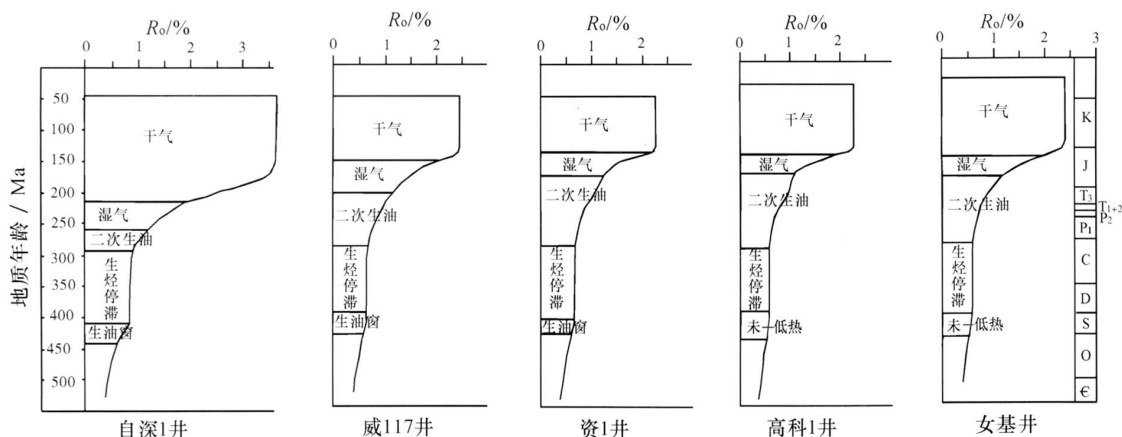


图 1 自深 1 井- 威 117 井- 资 1 井- 高科 1 井- 女基井寒武系烃源岩成熟特征

Fig 1 The maturity characteristic of Cambrian source rocks in Well Zishen 1- Well Wei 117- Well Zi 1- Well Gaoke 1- Well N ji

(据四川石油管理局, 2002)

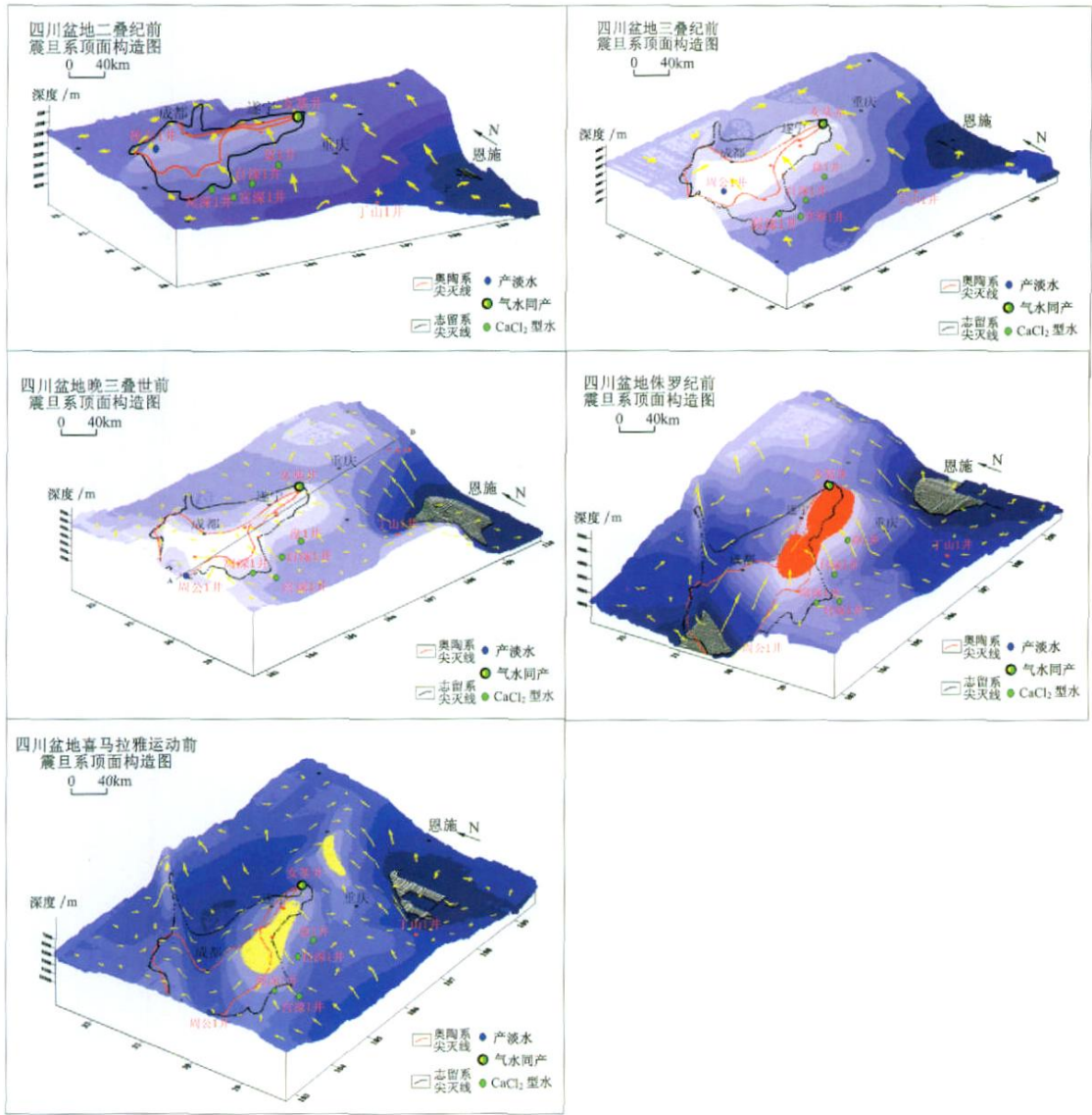


图 2 四川盆地震旦系- 下古生界供烃地域的迁移性特征

Fig.2 The hydrocarbon supplying region migration characteristics of Sinian to Low Paleozoic in Sichuan Basin

1.3 乐山- 龙女寺古隆起对油气运移聚集的控制作用

震旦系- 下古生界经历了深埋和高温演化, 致使早期液态烃裂解为天然气和沥青。因此, 现今沥青的分布特征就可揭示早期液态烃的聚集部位和分布特征。

1.3.1 沥青类型及分布特征

四川盆地震旦系- 下古生界中沥青丰富, 类型多样, 形态及光性特征可分为 5 类^[15-17]: 类型 N 呈条带状或透镜状, 沿层理面分布, 表面均一, 不显光学结构, 具强烈各向异性, 有时其中可见黄铁矿颗粒。这类沥青目前仅见于黑色泥岩或粉砂质泥岩中, 从成因上分析, 属原生沥青, 形成于烃

源岩成熟作用阶段。类型 O 呈他形, 粒状或不规则状, 颗粒直径小, 一般 1~ 5 Lm, 散布在矿物颗粒之间, 不具光学结构, 观察不到各向异性, 主要见于黑色粉砂质泥岩中, 从成因上分析, 相当于自生自储的沥青。类型 P 呈他形, 充填于晶洞、晶间隙或显微孔隙中, 具中- 粗粒镶嵌结构或片状结构, 各向异性强烈, 主要见于碳酸盐岩地层中, 是一种储层沥青。类型 Q 是一种典型晶间沥青, 沥青非常细小, 分散在晶间。在高倍镜下观察, 可见沥青沿晶体颗粒分布, 呈他形。这种沥青也不具明显的光学各向异性。分布特征为整体构成块状或层状, 形成黑色纹层。这类沥青见于细晶- 微晶碳酸盐岩或含有一定泥质的碳酸盐岩中。类型

$\hat{0}$ 也是一种细分散沥青, 分布于颗粒较粗的碳酸盐岩矿物的晶间, 具有明显的光学各向异性, 仅出现在某些显微分层中。

在乐山- 龙女寺古隆起, 震旦系- 下古生界中均见沥青, 其中在奥陶系南津关组风化壳顶及灯影组顶部储层沥青发育。其类型、丰度与岩性有关, 在 Z- C 碳酸盐岩中, 沥青类型主要是 $\hat{0}$ 型、 $\hat{0}$ 型及 V 型; 在 Z- C 泥岩及泥灰岩中, 发现的沥青主要是类型 $\hat{0}$ 与 \hat{N} , 沥青的质量分数为 10%~ 40%。在川东地区, 志留系- 寒武系沥青不发育, 以类型 \hat{N} 为主。在寒武系泥岩及粉砂质泥岩中, 见有少量沥青, 属类型 \hat{N} 和类型 $\hat{0}$ 。位于

西南坳陷北部的盘 1 井, 在 C- S 地层中仅有少量沥青, 主要是类型 \hat{N} ; 在灯四段中见有沥青, 在灯三段、灯二段见沥青较少, 主要类型是 $\hat{0}$ 与 $\hat{0}$ (表 1)。

1.3.2 沥青含量的分布特征

从坳陷带 y 斜坡带 y 古隆起, 灯影组沥青的含量逐渐升高^[15,16]。坳陷带的窝深 1 井沥青平均含量为 0.41%。位于斜坡带的自深 1 井沥青平均含量为 1.13%, 威 117 井为 0.93%。在古隆起核部沥青平均含量以女基井最高, 为 8.12%; 安平 1 井为 2.40%, 高科 1 井为 5.41%, 资 2 井为 5.29% (图 3)。在隆起带, 震旦系灯影组普遍

表 1 乐山- 龙女寺古隆起沥青全岩光片鉴定结果(据汪泽成等, 2002)^[15]

Table 1 The identified bitumen results of polished thin sections of whole rocks in the Leshan-Longn si paleo-uplift

井号	地层	样品数 (个)	岩性	沥青观察结果	W _{TOC} /%
高科 1 井	C _{1q}	2	粉砂质泥岩	含有大量沥青, 一种呈条带状分布于沿层理的显微裂隙中(类型 \hat{N}), 另一种呈细分散状充填于粉砂颗粒间(类型 $\hat{0}$)	
	Z _{2dn} ⁴	4	含沥青云岩	含有大量储层沥青, 充填在晶间隙中, 具粗粒嵌镶结构(类型 $\hat{0}$)	
	Z _{2dn} ³	2	灰白云岩	大量细分散沥青, 充填在微孔隙中(类型 $\hat{0}$)	
	Z _{2dn} ²	3	黑色粉砂岩	两类沥青, 一类呈细分散状(类型 $\hat{0}$); 另一类呈片状, 各向异性弱(类型 $\hat{0}$)	
	Z _{2dn} ¹	2	粉砂质泥岩	在粉砂岩透镜体中含有较多细分散状沥青(类型 $\hat{0}$)	
资 1 井	Z _{2dn}	3	灰白云岩	有两种沥青, 类型 $\hat{0}$ 与 $\hat{0}$, 后者较多, 呈团块状分布, 未见其他形态有机质	0.23
	Z _{2dn}	4	花斑状白云岩	有两类沥青: $\hat{0}$ 型与 $\hat{0}$ 型, 后者多, 不规则条带状, 沿纹层分布, 未见其他形式有机质	1.90
资 4	C _{1q}	3	黑色灰岩	大量沥青, 主要是类型 $\hat{0}$, 细分散状, 未见其他形式有机质	2.00
威 106	C ₂₊₃	2	黑色泥灰岩	样品中含有大量有机质(20%~ 30%), 各种沥青和干酪根, 所有组分多色性弱, 由富有机质生油岩热变质作用形成	5.93
威 4	Z _{2dn} ⁴	3	灰色白云岩	发现一定数量沥青, 包括类型 $\hat{0}$ 与 $\hat{0}$, 未见其他形态有机质	
威 117	Z _{2dn} ⁴	3	斑状白云岩	含有大量沥青(类型 $\hat{0}$), 未见其他形式有机质	0.53
五科 1 井	S _{1l}	5	黑色泥岩	富有机质, 见少量 \hat{N} 型、 $\hat{0}$ 型沥青呈他形充填裂隙中	2.76
	C ₂₊₃	4	黑色灰岩	较富有机质, 但未见沥青	0.18
座 3 井	O ₂ ²	1	深灰色灰岩	未见沥青, 有机质含量较低	
	C	2	深灰白云岩	贫有机质, 未见沥青	0.45
利 1 井	C ₂	3	泥质白云岩	贫有机质, 未见沥青	0.40
池 7 井	S	2	黑色泥灰岩	较富有机质, 主要为无定形体(微粒体), 未见沥青	
	O ₂ ²	1	灰白云岩	较富有机质, 主要为无定形体(微粒体), 未见沥青	
	C	3	黑色泥灰岩	较富有机质, 无定形体(微粒体)为主, 未见沥青	
盘 1 井	Z _{2dn} ⁴	4	黑色泥灰岩	发现有大量沥青: 类型 $\hat{0}$ 与类型 $\hat{0}$	3.14
	Z _{2dn} ³	3	灰色白云岩	贫有机质, 未见沥青	
	Z _{2dn} ²	2	灰白云岩	贫有机质, 未见沥青	0.03

含沥青, 以震旦系顶沥青的含量最高(图 3)。

丁山 1 井、高科 1 井、安平 1 井及合 12 井的寒武系储层沥青分布从坳陷带 y 斜坡带 y 古隆起也呈逐渐增加的趋势。高科 1 井为 2.5%, 合 12

井为 2.0%~ 3.5%, 丁山 1 井为 1.0%, 安平 1 井为 3.12%。与震旦系一样, 寒武系沥青分布同样受到古隆起的控制(图 4)。奥陶系储层沥青分布(安平 1 井 4.04%, 合 12 井 3%, 丁山 1 井少见沥

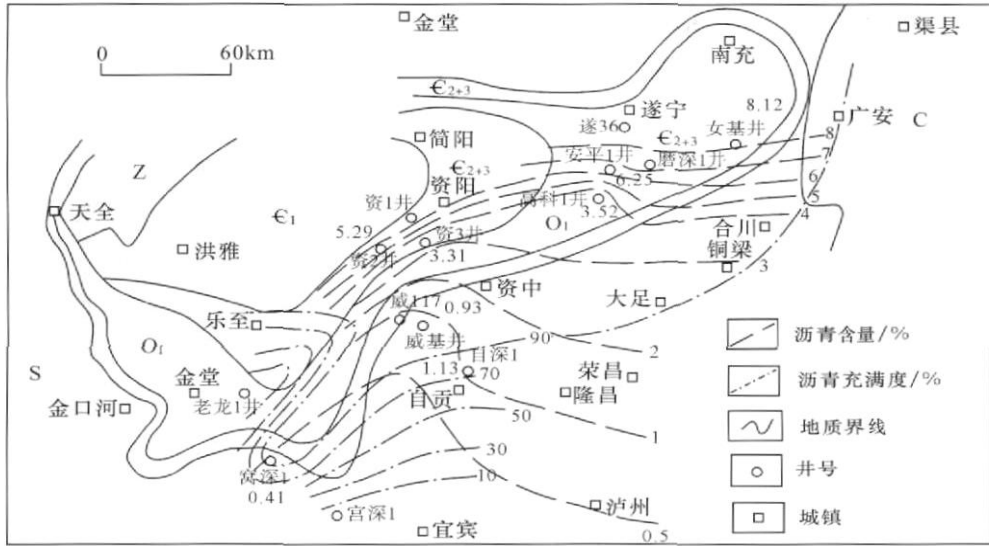


图 3 乐山- 龙女寺古隆起灯影组沥青平均含量分布等值线图

Fig. 3 The contour map of bitumen average percentage of Sinian rocks in the Leshan-Longnisi paleo-uplift (据汪泽成等(2002)补充修改)^[15]

1./ 沥青丰度指沥青的平均含量; 2./ 充满度指有沥青段的厚度与灯影组总厚度之比

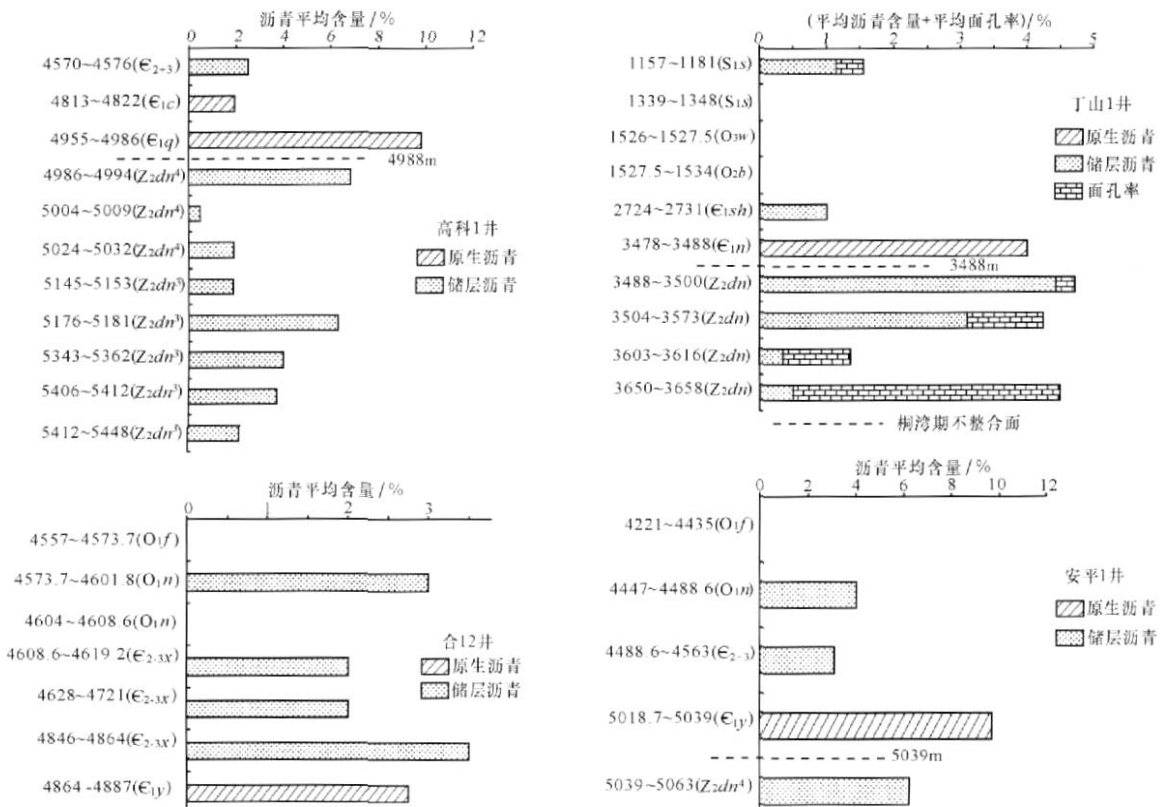


图 4 四川盆地典型井震旦系- 下古生界沥青特征和分布

Fig. 4 The characteristics and distribution of Sinian to Lower Paleozoic bitumen of the typical drilling wells in Sichuan Basin

青)也表明在古隆起与斜坡带沥青含量高于坳陷带(图 4)。

1.3.3 灯影组沥青含量与平均孔隙度的关系

薄片鉴定统计表明,震旦系顶部风化面下沥青含量低时,孔隙度大;相反沥青含量高,孔隙度较小。但沥青含量与平均孔隙度之和相近,为 4.52%~ 7.30%。沥青含量与孔隙度具有互补性,沥青后期充填孔隙导致孔隙度减少。这说明原油充注后,岩石的孔隙度变化不大(图 4)。

总之,四川盆地震旦系- 下古生界油气早期成藏过程中最显著的特征是,以液态烃为主,成烃高峰期参差不齐,供烃时间长,供烃中心具迁移性;乐山- 龙女寺古隆起对油气的运移、聚集和分布具有明显的控制作用;三叠纪末是油气早期成藏的主要时期。

2 原油热裂解产生天然气和沥青过程引起的天然气成藏特征

2.1 深埋藏和高温演化

四川盆地震旦系- 下古生界曾经历过深埋藏过程。据威远地区地表样品磷灰石裂变径迹分析可知,威远地区古近纪以来隆升达 4 km,以现今震旦系高点顶面埋深 2.8 km 计,灯四- 灯二段平均厚 560 m 算,威远地区高点埋深在隆升之前可达 6.8~ 7.36 km(图 5)。唐俊红(2004)^[18]在研究威远- 资阳震旦系有机包裹体时得到,威远- 资阳地区流体有三次充注,第 N 期温度 120~ 134 e,第 0 期温度 160~ 173 e,第 0 期温度 185~ 212 e。根据下式可获得不同期次矿物中各井油气运聚深度:

$$D = (t_n - t_0) / (G @ 100)$$

式中: D/ m 为油气运移深度; t_n/ e 为包裹体均一温度; t₀/ e 为地表平均温度,取 20 e 为地表温度; G 为地温梯度,平均地温梯度取 25 e / km^[19]。恢复的古埋藏深度见表 2。这与磷灰石裂变径迹分析得到的结论相符。

表 2 威远- 资阳地区震旦系油气运聚深度
Table 2 Petroleum migration and accumulation depths of Sinian carbonates in Weiyuan-Ziyang area

赋存矿物期次	深度/ km				
	威 99 井	威 112 井	威 117 井	资 1 井	资 5 井
第 N 期	4.4~ 5.2	4.0~ 5.6	4.0~ 5.2	4.0~ 5.2	3.6~ 4.0
第 0 期	5.6~ 6.4	5.0~ 6.4	5.6~ 6.8	5.6~ 6.8	6.4~ 6.8
第 0 期	6.8~ 7.2	6.8~ 7.6	6.0~ 8.0	6.0~ 7.6	

(包裹体数据引自唐俊红, 2004)^[18]

以位于大巴山前陆盆地的界牌 1 井 T₃x⁶ 样品为例, 现今埋深为 4 171 m, R_o 为 1.53%。由 R_o 求得的其经历的最高古地温为 164 e, 以 20 e / km 的平均地温梯度估算, 其最大埋深为 7.2 km(最大埋深时间为~ 100 Ma 前), 因此现今地表的剥蚀厚度约 3 km^[20]。据界牌 1 井磷灰石裂变径迹分析资料, 以 20 e / km 的平均地温估计, 则自~ 40 Ma 前以来, 约 2.4 km 厚的沉积盖层已被剥去^[20]。

总之, 四川盆地震旦系- 下古生界经过了深埋藏过程, 温度持续升高(超过 200 e), 充注其内的流体也经历了高温演化的过程。

2.2 油气转化

2.2.1 原油发生裂解的条件

原油的裂解主要发生在原油大量生成以后的

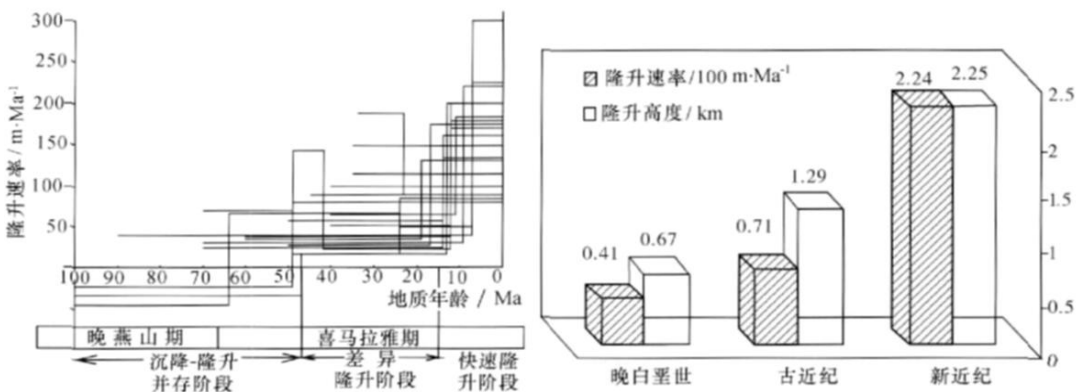


图 5 威远地区磷灰石裂变径迹模拟隆升速率图

Fig. 5 The uplift rate map from the simulation of apatite fission track analysis in the Weiyuan area

湿气- 干气阶段。对世界上已知油藏埋藏温度所作的统计显示, 大多数石油存在于 65.5~ 149 e 的温度范围。当储层温度超过 150 e 以后, 原油将发生热裂解形成天然气, 油藏中的气/油比明显上升^[21, 22]。

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。Waples, Kenneth 等(1995, 2000)认为, 当层地温度小于 160 e 时, 原油裂解量极小; 而当地层温度达到 200 e 时, 原油则几乎全部裂解^[23, 24]。

2.2.2 原油裂解气的判别

在多源、多期成藏盆地中, 原油裂解气的勘探研究具有重要的现实意义。对于古油藏来说, 原油裂解气是形成天然气藏的重要气源。

20 世纪 90 年代以来, 国内外学者应用天然气中 $C_1 \sim C_3$ 组成及 $D^3C_1 \sim D^3C_3$ 同位素资料来鉴别原油裂解气和干酪根热降解气, 所用的主要参数包括 $(D^3C_2 \sim D^3C_3)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 的关系图版、 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 关系图版等 (Behar, 1991)^[22]。目前较为通用的是 Prinzhofner 等 (1995) 利用 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 相关图版研究现天然气是属于干酪根初次裂解气还是原油的二次裂解气^[25]。

利用这一图版结合威远- 资阳地区震旦系气体成分和包裹体中气体成分^[26, 28], 编绘了图 6。威远- 资阳气体及包裹体气体数据均处于裂解气

的范围内, 由此可推断是由古油藏的原油裂解而成^[29]。

原油裂解, 一方面形成天然气, 另一方面产生沥青。因此, 沥青的形成时间即是原油裂解为天然气的形成时间。由于地层中沥青反射率所反映的是其形成后的受热历史, 因此, 反过来可依据沥青 R_o 推算其形成地质时期。汪泽成等 (2002)^[15] 和王健宝等 (2003)^[17] 对高科 1 井下古生界样品中沥青形成的地质时间进行了推算, 认为四川盆地震旦系- 下古生界的原油裂解气主要形成于早侏罗世至中侏罗世。

3 喜马拉雅期构造圈闭形成和隆升剥蚀过程产生的天然气成藏特征

3.1 喜马拉雅期隆升剥蚀特征

四川盆地喜马拉雅运动发生在新近纪, 形成了目前盆地内的主要圈闭构造并引起了大幅度隆升剥蚀作用^[20, 30]。喜马拉雅期的隆升作用致使四川盆地能量场发生重大调整, 引起盆地流体发生大规模流动, 并致使天然气的爆发式成藏和晚期成藏^[31, 32]。

通过对威远地区露头样品采集, 对 22 个样品进行了磷灰石径迹法分析 (图 5)。威远地区喜马拉雅期隆升主要分三个阶段, 第一阶段处于 100~ 46 Ma 前, 沉降与隆升并存, 显示这一时期运动的强度不大, 处于初始阶段; 第二个阶段处于 46~ 15 Ma 前, 这时已全面隆升, 但隆升的速率较小, 且各地区隆升差异较大; 第三阶段从约 15 Ma

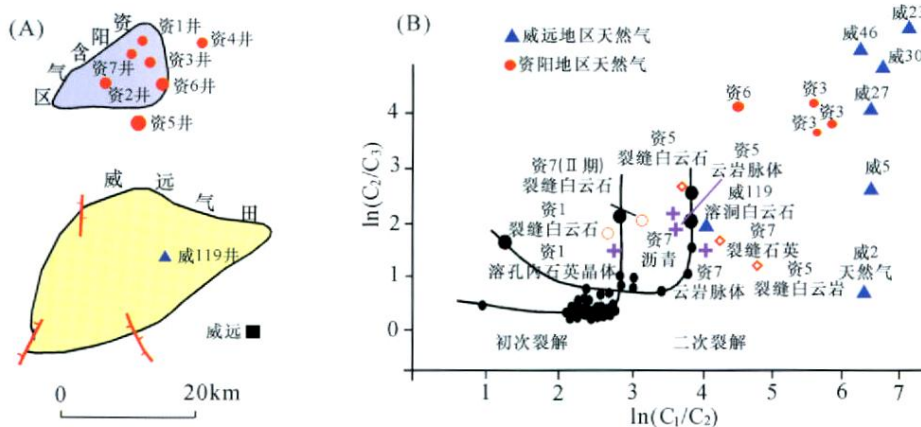


图 6 威远- 资阳地区震旦系天然气 $\ln(C_1/C_2)$ - $\ln(C_2/C_3)$ 图版

Fig. 6 Diagram showing the relationship between $\ln(C_1/C_2)$ and $\ln(C_2/C_3)$ of Sinian gas in Weiyuan-Ziyang area. Background from Prinzhofner (1995); Organic inclusion data from Tang Junhong et al. (2005); Organic inclusion data not noted are from Tang Junhong et al. (2003, 2004, 2005) in the 0th issue of the journal; + data from Yang Rongsheng (2003).

前至今,处于快速隆升阶段,隆升幅度大,抬升高,速度快。在喜马拉雅期,威远地区地表共隆升了近 3 km,隆升剥蚀作用明显。

3.2 天然气运移聚集特征

3.2.1 古圈闭较优越,现今圈闭条件较差,油气聚集时相对欠佳

这一类的圈闭在早期油气运移聚集过程中具有较好的聚集条件,形成古油气藏;但古油气藏在后期演化过程中因构造变动使圈闭所处构造背景发生变化,或者因圈闭自身条件变差,从而使圈闭在晚期油气运移聚集过程中不但聚集晚期油气能力变差,而且因自身封存条件的改变,使早期运移聚集的油气发生部分再次运移。因此,这一类圈闭在晚期油气运移聚集过程中主要使油气再次调整和再次运移,现今聚集程度低于早期油气聚集程度。如:资阳含气构造。

3.2.2 晚期形成的圈闭捕集油气量差异大

这一类圈闭主要形成于喜马拉雅期,既有分布在隆起带顶部,也有分布在斜坡带,圈闭规模大小悬殊。按照圈闭捕集天然气方式可以大体分成两类:

第一类具有多项捕集天然气能力的圈闭。这类圈闭要求有较强的形变程度,抬升幅度较大,所处构造部位较高,与古油气藏具有较密切的关系。圈闭既能捕集烃源岩晚期生成的天然气,也有条件捕集古油气藏中再次运移的天然气,同时还有部分水溶气。因此,这类圈闭捕集天然气相对较丰富。如:威远气田。

第二类圈闭属于圈闭规模较小,或圈闭所处构造部位较低,或者与古油气藏再次运移的天然气关系不明显。圈闭仅能捕集烃源岩晚期生成的天然气,部分圈闭可捕集少量水溶脱附气。总体来讲,这类圈闭聚集天然气不如前者那样丰富。

加里东古隆起在印支运动以后因川西前陆盆地持续沉降使其轴部不断南移,在喜马拉雅期最后形成威远背斜。在构造演化过程中,威远背斜和资阳地区,不同地史时期具有单斜和背斜互相转换的复杂过程。资阳古圈闭形成早,对油气运聚有利,但在喜马拉雅期圈闭消失转为单斜,油气发生二次迁移,不能形成大气田。威远背斜早期的单斜缺少运聚油气的有利条件,但在喜马拉雅期形成高幅度的大圈闭,可接纳大范围内的油气运聚,因而形成大气田(图 7)^[33]。

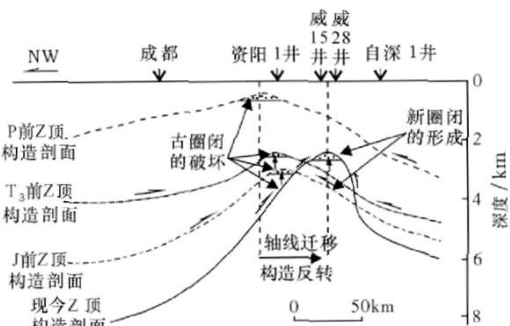


图 7 威远- 资阳构造高点迁移图

Fig. 7 The profile showing the structural migration of Sinian top in the Ziyang-Weiyuan area (据罗志立(1998)修改)

晚期成藏对应于晚侏罗世至现今,并主要发生在喜马拉雅期。晚期成藏过程中最明显的特征是,由于构造变动和隆升剥蚀,引起能量场的变化,导致天然气再次运移,以及水溶烃的部分脱出,使晚期成藏过程中烃源多样化;同时,也由于圈闭条件的多样性,使成藏过程更加复杂。

4 结论

四川盆地震旦系- 下古生界天然气的成藏过程及其特征有:

- a. 发生于三叠纪及以前的有机质成熟生烃和排烃过程,引起油气早期多期成藏,其主要特征是生排差异、多期运聚。
- b. 发生于中侏罗世及以前的原油热裂解产生天然气和沥青过程,导致天然气中期成藏,其主要特征是深埋高温、油气转化。
- c. 发生于喜马拉雅期构造圈闭的形成和隆升剥蚀过程,致使天然气晚期成藏,其主要特征是隆升剥蚀、晚期成藏。

[参 考 文 献]

- [1] 刘树根,徐国强,徐国强,等. 四川盆地天然气成藏动力学初探[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 323-330.
- [2] 李景明,魏国齐,李东旭. 中国西部叠合盆地天然气勘探前景[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 1-6.
- [3] 赵文智,张光亚,何海清,等. 中国海相石油地质与叠合含油气盆地[M]. 北京:石油工业出版社, 2002: 1-59.
- [4] 王兰生,李宗银,沈平,等. 四川盆地东部大中型气藏成烃条件分析[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 567

- 571.

- [5] 汪泽成, 赵文智, 彭红雨. 四川盆地复合含油气系统特征[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 26- 28.
- [6] 王顺玉, 戴鸿鸣, 王海清, 等. 四川盆地海相碳酸盐岩大型气田天然气地球化学特征与气源[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(2): 10- 17.
- [7] 戴金星, 夏新宇, 卫延召, 等. 四川盆地天然气的碳同位素特征[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 115- 121.
- [8] 朱光有, 张水昌, 梁英波, 等. 四川盆地天然气特征及气源[J]. 地质学前沿, 2006, 13(2): 234- 248.
- [9] 黄籍中, 陈盛吉. 四川盆地震旦系气藏形成的烃源地化条件分析: 以威远气田为例[J]. 天然气地球科学, 1993(4): 16- 20.
- [10] 黄籍中. 再论四川盆地天然气地球化学特征[J]. 地球化学, 1990(1): 32- 42.
- [11] 姚建军, 陈孟晋, 华爱刚, 等. 川中乐山- 龙女寺古隆起震旦系天然气成藏条件分析[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 7- 9.
- [12] 徐世琦, 张光荣, 李国辉, 等. 加里东古隆起震旦系的烃源条件[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(增刊): 131- 138.
- [13] 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347- 351.
- [14] 徐世琦, 洪海涛, 师晓蓉. 乐山- 龙女寺古隆起与下古生界含油气性的关系探讨[J]. 天然气勘探与开发, 2002, 25(3): 10- 15.
- [15] 汪泽成, 赵文智, 张林, 等. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 151- 152.
- [16] 张林, 魏国齐, 吴世祥, 等. 四川盆地震旦系- 下古生界沥青产烃潜力及分布特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 276- 280.
- [17] 王建宝, 肖贤明, 郭汝泰. 四川盆地早古生代地层中沥青的成因及其生气潜力研究[J]. 天然气工业, 2003, 23(5): 127- 129.
- [18] 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 等. 四川盆地威远气田碳酸盐岩中有机包裹体研究[J]. 地质论评, 2004, 50(2): 210- 214.
- [19] 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.
- [20] 刘树根, 李智武, 刘顺, 等. 大巴山前陆盆地冲断带的形成演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 165- 220.
- [21] MANGO F D. The stability of hydrocarbons under the time-temperature conditions of petroleum genesis [J]. Nature, 1991, 352(6331): 146- 148.
- [22] BEHAR F, KRESSMANN S, RUDKIEWICZ J L, et al. Experimental simulation in confined system and kinetic modeling of kerogen and oil cracking [J]. Organic Geochemistry, 1991, 19: 173- 189.
- [23] KENNETH J J, ALAN K B, ROBERT L B, et al. Temperature and pressure dependence of n₂ hexadecane cracking [J]. Organic Geochemistry, 1995, 23(10): 941- 953.
- [24] WAPLES D W. The kinetics of in₂reservoir oil destruction and gas formation: constraints from experimental and empirical data, and from thermodynamics [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(6): 553- 575.
- [25] PRINZHOFER C A, HUC A Y. Genetic and post-genetic molecular and isotopic fractionations in natural gases [J]. Chemical Geology, 1995: 281- 290.
- [26] 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 等. 四川盆地西南部流体包裹体特征及其在石油地质上的应用[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4): 60- 64.
- [27] 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 等. 四川盆地西南部储层有机包裹体组成和碳同位素特征及其对油气来源的指示[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 100- 106.
- [28] 杨荣生, 张铭杰, 张同伟, 等. 川西南碳酸盐岩储层流体包裹体气体地球化学研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 522- 527.
- [29] 孙玮, 刘树根, 马永生, 等. 四川盆地威远- 资阳地区震旦系油裂解气判定及成藏过程定量模拟[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1153- 1159.
- [30] LIU Shu₂gen, LUO Zh₂li, DAI Si₂lan, et al. The Uplift of the Longmenshan Thrust Belt and Subsidence of the West Sichuan Foreland Basin. ACTA Geologica Sinica, 1996, 9(1): 16- 26.
- [31] 刘树根, 李国蓉, 李巨初, 等. 川西前陆盆地流体的跨层流动和天然气爆发式成藏[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 690- 699.
- [32] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 试论中国西部陆内俯冲型前陆盆地的基本特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 37- 48.
- [33] 罗志立, 刘顺, 徐世琦, 等. 四川盆地震旦系含气层中有利勘探区块的选择[J]. 石油学报, 1998, 19(4): 1- 7.

Characteristic and accumulation process of the natural gas from Sinian to Lower Paleozoic in Sichuan Basin, China

LIU Shu²gen¹, MA Yong²sheng², CAI Xun²yu²,
XU Guo²sheng¹, WANG Guo²zhi¹, YONG Z²quan¹,
SUN Wei¹, YUAN Ha²ifeng¹, PAN Chang²lin²

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
2. Southern Exploration and Development Branch Co., SINOPEC, Chengdu 610041, China

Abstract: There are three sets of oil-type hydrocarbon source rocks from Sinian to Lower Paleozoic in Sichuan basin. These source rocks are good in the oil-generating potential and hydrocarbon-generating intensity and have secondly generating hydrocarbon capacity by the influence of the Caledonian uplifting movement. The Triassic is the period of forming the main traps and the peak of the secondary oil generation, and the huge amount of oil migrated and accumulated in the area of the Leshan-Longsi paleo-uplift and formed Sinian to Lower Paleozoic paleo-oil pools. With the increase of buried depth and the rise of temperature and pressure, the oil cracked to gas, and the paleo-oil pools became the source of gas and formed paleo-gas pools. The traps were modified and the gas pools were rearranged by strong uplifts and erosion during Himalayan movement. Finally the present gas pools formed. Hence, the accumulation process of natural gas from Sinian to Lower Paleozoic in Sichuan basin is a transforming process from paleo-oil pools to paleo-gas pools to present gas pools with the characteristics of difference in generation and expulsion, multi-stage migration and accumulation, early accumulation and late pool formation.

Key words: Sinian; Lower Paleozoic; natural gas accumulation; Sichuan Basin

敬告作者

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和《CNKI 中国期刊全文数据库》(<http://www.chinajournal.net.cn>; <http://www.cnki.net>)、中国科技信息研究所万方(数据)集团公司《科技期刊群》(<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/cdlgxyxb>; <http://www.wanfangdata.com.cn/periodical/cdlgxyxb>)、《中文科技期刊数据库》、《CEPS 中文电子期刊》。作者著作权使用费与稿酬由本刊一次性给付。如作者不同意将文章编入上述数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。