

文章编号: 0253-9985(2005)04-0402-09

中国中西部前陆盆地成藏过程

赵孟军, 宋岩, 秦胜飞, 柳少波, 洪峰, 傅国友

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 根据盆地充填和构造变形特征, 可将中国中西部前陆盆地划分为早衰型、改造型和叠加型。早衰型、改造型和叠加型前陆盆地的结构特征决定了前陆盆地烃源岩、储盖组合等成藏条件的差异性, 而晚期前陆发育对西部改造型和叠加型前陆盆地烃源岩的演化具有明显的控制作用。正是由于中国中西部不同类型前陆盆地成藏地质条件的差异, 决定了其具有不同的成藏过程。燕山晚期是早衰型前陆盆地(如川西前陆盆地)最主要的成藏期, 喜山晚期主要表现为天然气藏的调整、定型; 喜山晚期是改造型前陆盆地(如柴北缘前陆冲断带)最主要的油气成藏期; 而叠加型前陆盆地(如淮南前陆盆地)具有多期成藏的特征, 但喜山晚期的油气成藏最为重要。

关键词: 成藏条件; 成藏期次; 前陆盆地; 中国中西部

中图分类号: TE112.3 **文献标识码:** A

Reservoiring process in foreland basins in west-central China

Zhao Mengjun, Song Yan, Qin Shengfei, Liu Shaobo, Hong Feng, Fu Guoyou

(Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing)

Abstract Foreland basins in west-central China can be divided into early-failed, reconstructed and superimposed types. Their architectural features have determined the differences of reservoiring conditions, such as source rocks and reservoir-seal combination, in foreland basins. Late development of foreland has obviously controlled the evolution of source rocks in the reconstructed and superimposed foreland basins in west-central China. The differences of reservoiring geological conditions of different foreland basin types in west-central China have determined that they would have different reservoiring processes. Late Yanshanian is the major reservoiring stage of early-failed foreland basins, such as the foreland basin in western Sichuan, while late Himalayan appears as the adjusting and finalizing stages of gas reservoirs. Late Himalayan is the major reservoiring stage of reconstructed foreland basins, such as the foreland thrust belt on the northern edge of Qaidam basin. Superimposed foreland basins, such as the southern Junggar foreland basin, have the characteristics of multistage reservoiring with late Himalayan being the most important reservoiring stage.

Key words reservoiring condition; reservoiring stage; foreland basin; west-central China

中国中西部新生代前陆盆地都处于特提斯构造域北缘盆地群东端, 其形成主要受特提斯构造演化控制。中生代以来, 中国中西部地区分别在中生代早期、新生代晚期发育两期前陆盆地, 又被分为 3 类、4 种相应的前陆盆地(前陆逆冲带)^[1]。而根据盆地变形、构造演化和沉积充填特征将中国前陆盆地的地质特征分为 3 类: 1) 早衰

型前陆盆地, 主要发育在川陕地区, 印支期前陆盆地保存较完整、再生前陆不发育, 且在早期前陆层序的基础上发育拗陷湖盆沉积; 2) 改造型前陆盆地, 主要发育在甘青地区, 早期(印支期)前陆盆地完全被剥蚀掉, 而且晚期前陆盆地被走滑-逆冲构造改造得很破碎, 现今看到的主要是喜山期前陆盆地或冲断-走滑带; 3) 叠加型前陆盆地, 主要发

基金项目: 国家“十·五”重点科技攻关项目(2001BA605A-06, 2004BA616-04); 中国石油天然气集团公司青年创新基金项目

第一作者简介: 赵孟军, 男, 40 岁, 高级工程师(博士), 油气成藏地质

收稿日期: 2005-07-10

育在新疆地区, 印支期前陆盆地和喜山期前陆盆地相叠加, 且再生前陆逆冲作用对早期前陆盆地具有明显的改造作用, 晚期前陆盆地结构完整^[2]。

我国中西部前陆盆地具有很好的油气成藏地质条件, 如拉张构造背景下沉积有效的烃源岩层系、挤压背景下发育前陆逆冲带、喜山期形成成排成带的大型圈闭等^[1~10], 是我国油气勘探的重要领域。在我国中西部前陆盆地成藏期次、过程的研究中, 必须结合不同类型前陆盆地的成藏条件、发育史开展前陆盆地的成藏地球化学研究。据此我们的研究思路是首先解剖典型天然气藏的成藏过程, 在此基础上总结前陆盆地的成藏期次、过

程, 最终达到认识我国中西部前陆盆地成藏特征的目的。本文以川西前陆盆地(早衰型)、柴北缘冲断带(改造型)和淮南缘前陆盆地(叠加型)为实例探讨了 3 类前陆盆地成藏的地质条件和成藏期次上的差异, 这对深入认识我国中西部前陆盆地的油气富集规律具有十分重要的意义。

1 成藏地质条件

3 类盆地之间的发育部位、盆地基础、充填层序、构造叠加、盆山耦合形式、构造应力条件等均不相同, 即 3 类前陆盆地具有不同的结构特征(表 1), 从而决定了其成藏地质条件上的差异。

表 1 中西部 3 类前陆盆地结构特征的差异性^[2]

Table 1 Differences of architectural features of the 3 foreland basin types in west-central China			
特 征	早衰型前陆盆地	改造型前陆盆地	叠加型前陆盆地
分布范围	川陕区: 鄂尔多斯西缘、川西、川北、楚雄	甘青区: 柴北缘、柴南缘、酒泉、潮水等	新疆区: 淮南、吐哈、库车、塔南等
层序组合	古生界 + 中生界	中生界 + 新生界	古生界 + 中生界 + 新生界
前前陆层序	P ₂ —T ₂ 陆缘裂谷盆地	J ₁₋₂ 断陷盆地	C—P ₁ 陆缘裂谷 / J ₁₋₂ —E 断(坳)陷
前陆构造	T ₃ 前陆盆地 / N—Q 前陆逆冲带	N—Q 前陆走滑逆冲带	P ₂ —T 前陆盆地 / N—Q 再生前陆盆地
盆山耦合形式	挤压推覆—抬升剥蚀	走滑逆冲—沉降隆升	逆冲推覆—前陆沉降
构造应力条件	SSW—NNE 斜向挤压, 逆冲带后缘走滑构造、前锋推覆构造	WS—NE 斜向挤压, 逆冲带内部走滑构造为主	S—N 正向挤压, 推覆构造为主, 逆冲带内部伴有走滑构造

1.1 储盖组合

我国中西部前陆盆地在两期前陆及其间坳陷盆地区域构造背景下, 沉积演化基本上有前前陆盆地克拉通沉积、早期前陆盆地沉积、中生代坳陷盆地沉积和新生代陆内前陆沉积 4 个阶段。考虑到中生界煤系在成藏过程中的重要性, 可划分为 4 套储盖组合。不同类型的前陆盆地储盖组合具有一定的差异(图 1)。

早衰型前陆(川西)存在组合 iv(中、下三叠统)、组合 ③(上三叠统)和组合 ④(侏罗系)共 3 套储盖组合。其中储盖组合 ③和 ④是油气勘探的重点。

改造型前陆(柴北缘)存在组合 ⑤(中、下侏罗统)、组合 ⑥(下第三系)和组合 ⑦(上第三系)共 3 套储盖组合。其中储盖组合 ⑥是油气勘探的重点, 储盖组合 ⑦也有较大勘探潜力。

叠加型前陆(淮南缘)存在组合 iv(二叠系、三叠系)、组合 ③(侏罗系)、组合 ④(白垩系、下第三系)和组合 ⑦(上第三系) 4 套储盖组合。其中储盖组合 ④是大型、特大型油气藏勘探的重点。

1.2 烃源岩

1.2.1 早衰型(川西)

早衰型前陆盆地主要发育上三叠统(T₃)煤系烃源岩和前前陆期的下伏古生界被动大陆边缘海相烃源岩。其中上三叠统(T₃)煤系烃源岩是川西前陆盆地最主要的烃源岩(图 2)。

上三叠统须家河组须一、须三、须五段煤系烃源岩分布于整个川西前陆地区。泥质烃源岩厚度自东向西逐渐增厚, 川西坳陷中心厚度可达 1 400 m; 煤层在川西普遍发育, 累厚一般为 2~10 m, 但在坳陷部位最厚, 累计厚度达 25 m 以上。泥岩有机碳含量多集中在 0.5%~6.5%, 绝大部分样品大于 1.0%, 平均值为 2.43%。

1.2.2 改造型(柴北缘)

由于早期前陆盆地剥蚀殆尽, 因此改造型前陆主要发育前前陆期的断(坳)陷沉积的中、下侏罗统(J₁₋₂)湖沼相烃源岩。

下侏罗统暗色泥岩厚度大、分布面积广。如

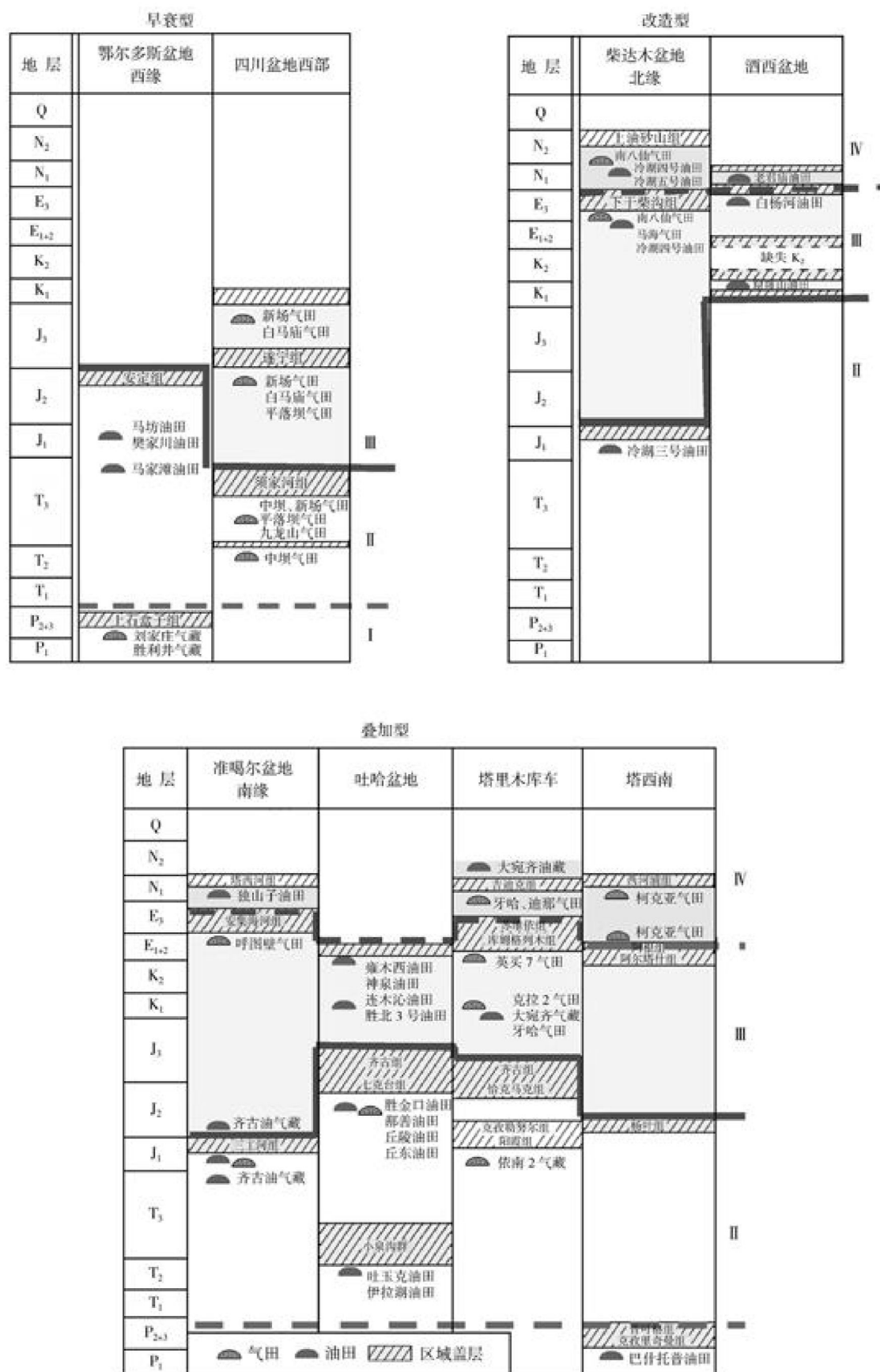


图 1 不同类型前陆盆地储盖组合分布特征

Fig. 1 Distribution of reservoir-seal combinations in different foreland basin types

昆特依断陷北部的鄂 iv 号次凹和冷西次凹发育了巨厚的暗色泥岩, 厚度达 600~1 200 m; 冷湖四、五号厚度也较大, 为 400~900 m; 冷湖六、七号为 100~300 m; 鄂博梁 iv 号和葫芦山地区为 100~200 m; 昆北斜坡为 100~200 m; 昆特依 iv 号附近为 200~400 m; 昆特依中部厚度多为 200 m; 而南部的伊北次凹厚度多为 400~800 m。中侏罗统烃源岩以鱼卡坳陷暗色泥岩厚度最大, 为 200~500 m, 是中侏罗统主要的生油中心; 赛什腾凹陷中部多为 100~200 m; 南部绿南断裂下盘为 200 m 左右。下侏罗统烃源岩有机碳平均为 1.97%, 中侏罗统有机碳平均为 1.84% (图 2)。

1.2.3 叠加型 (淮南缘)

叠加型前陆主要发育晚期前陆盆地期前的中、下侏罗统 (J_{1-2}) 煤系地层烃源岩和早期前陆盆地期的二叠系烃源岩, 次要烃源岩为晚期前陆盆地期前的白垩系和下第三系湖相烃源岩。

中、下侏罗统暗色泥岩主要分布在三工河组

和西山窑组, 厚度 100~500 m, 自西向东逐渐增厚; 有机碳平均值为 1.7%。上二叠统烃源岩是一套咸化半深水湖相沉积, 以灰黑色泥岩、页岩、油页岩为主, 纵向上主要分布在芦草沟组和红雁池组, 横向上主要分布在南缘东部的博格达山前地带, 厚度由东向西减薄, 昌吉附近暗色泥岩最大厚度为 700 m。芦草沟组是盆地有机质最丰富的地层, 有机碳平均值为 7.45%; 红雁池组有机碳平均值为 1.96% (图 2)。

1.3 主要烃源岩热演化特征

早衰型前陆 (川西) 主要烃源岩为二叠系烃源岩、印支晚期上三叠统烃源岩、燕山早期和燕山晚期烃源岩。早衰型前陆盆地由于再生前陆发育不明显, 第三系沉积厚度不大, 烃源岩受第三系沉积影响不大, 主要受侏罗系和白垩系沉积的影响, 生烃事件发生较早。三叠系须家河组烃源岩大部分是在侏罗纪开始成熟生烃, 在白垩纪晚期进入生气高峰期 (图 3)。

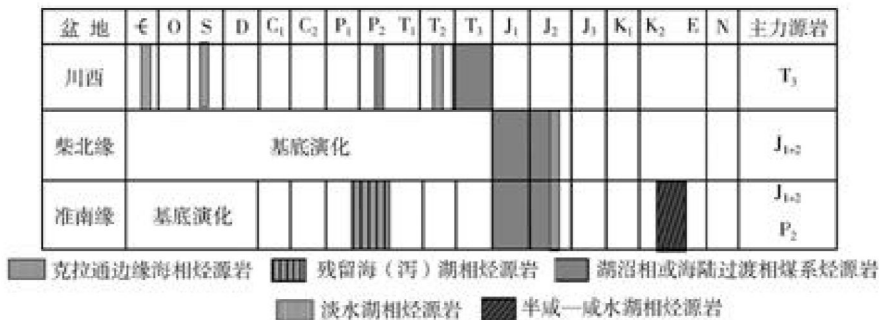


图 2 3 类前陆盆地主要烃源岩发育层系示意图

Fig. 2 Sketch map showing the major source rocks of the 3 foreland basin types

早衰型 (川西): 主要发育早期前陆烃源岩 (T_3) 和之前的被动陆缘烃源岩 (上、下古生界); 改造型 (柴北缘): 主要发育晚期前陆期前的断 (坳) 陷烃源岩 (J_{1+2}); 叠加型 (川西): 主要发育早期前陆烃源岩 (P_2) 和两期前陆之间的坳陷烃源岩 (J_{1+2})

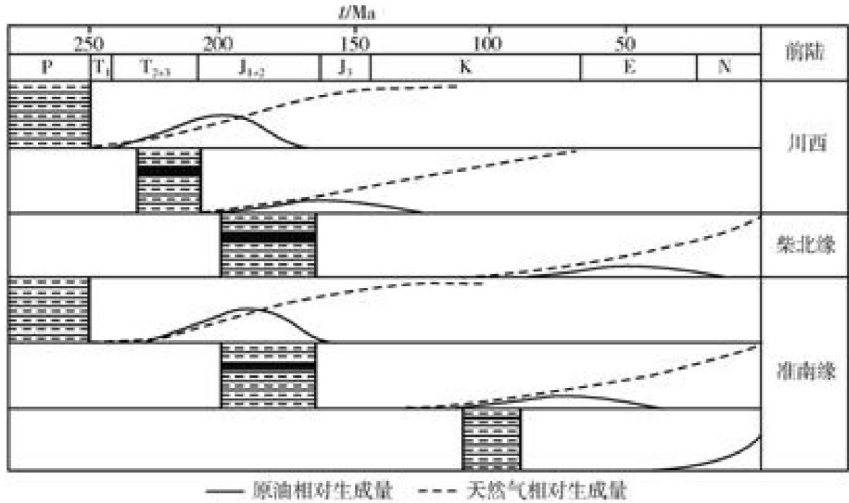


图 3 不同类型前陆盆地主要烃源岩热演化过程

Fig. 3 Thermal evolution of source rocks in different types of foreland basins

改造型前陆(柴北缘)主要生烃期为喜山期(主要是喜山晚期)。中生代末期,中、下侏罗统(J_2)煤系烃源岩尚未成熟,在第三纪晚期沉积的时候,侏罗系烃源岩处于低—成熟阶段;随着晚第三纪沉积地层的增加,在喜山晚期侏罗系烃源岩才进入了高、过成熟阶段(图 3)。

叠加型前陆(淮南)主要生烃期为印支晚期—燕山早期、燕山晚期和喜山晚期。早期前陆期发育的烃源岩(P, T)由于时代较早、烃源岩埋深较大,生烃演化作用发生较早,在凹陷部位演化程度已达很高。中、下侏罗统烃源岩一般在白垩纪末进入成熟阶段;在 N_2 末由于巨厚的第三系沉积,侏罗系大部分处于高、过成熟阶段,以生成大量的干气为主。同样,白垩系湖相烃源岩也是由于晚期前陆发育才达到成熟生油阶段(图 3)。

可见,晚期前陆盆地发育对改造型和叠加型前陆盆地主要烃源岩的成熟度影响较大,而对早衰型前陆盆地则没有影响。

2 成藏过程

2.1 早衰型前陆盆地

中西部早衰型前陆盆地主要为印支期前陆盆地,经历喜山期构造改造。这里以川西为例剖析早衰型前陆盆地的成藏过程。川西前陆盆地的成藏过程具有如下特征:源自上三叠统煤系烃源岩的天然气聚集主要在燕山期,形成原生气藏或下生上储型气藏;后经过喜山期的逆冲作用,对浅层储集层进行改造,产生的断裂沟通深部气藏与浅层圈闭,在对深层(主要在上三叠统)原生气藏进行改造的基础上形成浅层(侏罗系)次生气藏^[11~13]。

印支期的油气聚集主要发生在川西古隆起背景上发育的圈闭中,具有“早聚晚藏”的成藏特征^[14]。在南段主要发生在安县运动时(须三期末),这里的油气主要由凹陷深处运移而来,该期油气遭受破坏,从而使须家河组二段储层沥青具有明显的生物降解,如饱和烃色谱中正构烷烃的消失和 UCM 包络线的存在^[15](图 4)以及明显的 25-降藿烷的存在^[15](图 5);三叠纪末主要聚集了源自须家河组一、三段的凝析油气,该期的包裹体温度为 95°C 。在北段雷口坡组烃源岩及其早期烃源岩处于成熟阶段,生成的腐泥型原油聚集成藏,此时须家河组一段的包裹体温度为 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$,由于晚印支运动地层遭到剥蚀,从而使油藏遭到

严重的生物降解。

燕山早期,在川西的南段主要聚集了源自须家河组一、三段高、过成熟度的产物。该期包裹体温度为 $100\sim 130^{\circ}\text{C}$,该期产物在离逆冲带较远的松华—白马庙地区既有保存也有破坏,在逆冲带中的平落坝地区则破坏殆尽;此时在蓬莱镇组聚集了源自须家河组五段的低—成熟阶段的产物,由于此时蓬莱镇组直接盖层埋藏浅,发生生物降解,储层沥青中具有明显的生物降解现象。在北段须家河组一、三段烃源岩处于成熟阶段,此时须家河组一段的包裹体均一温度分布在 $100\sim 130^{\circ}\text{C}$,由于须家河组烃源岩以腐殖型烃源岩为主,生成的产物以凝析油气为主。

燕山晚期,在南段的蓬莱镇组聚集了源自须家河组五段的高成熟阶段湿气。在北段须家河组烃源岩主要处于高一过成熟阶段,以生成高成熟度的湿气为主,此时须家河组一段的包裹体主要分布在 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。

喜山期构造运动对早期形成的气藏具有调整、改造作用。龙门山造山带—川西前陆盆地系统的整体抬升和剥蚀作用决定了裂缝系统的发育和上三叠统气藏的调整及侏罗系气藏的形成^[16],主要表现在对浅层储集层进行改造,产生的断裂沟通深部气藏与浅层圈闭,使深层天然气运移至浅层,形成次生气藏。

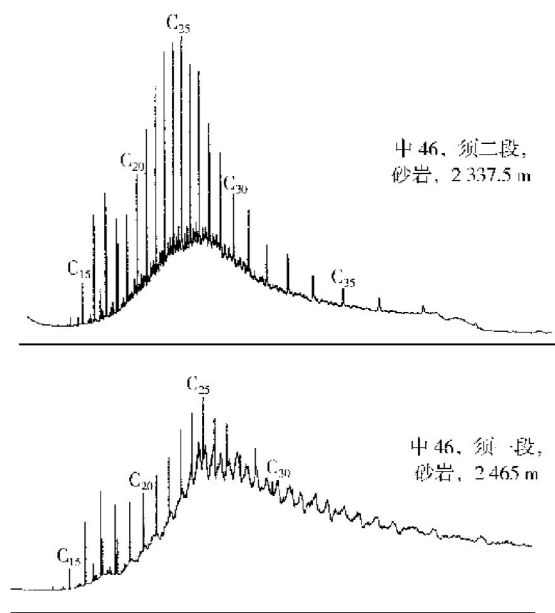


图 4 中坝气田中 46 井储层沥青色谱图

Fig. 4 Chromatogram of reservoir bitumen in Zhong 46 well in Zhongba gas field

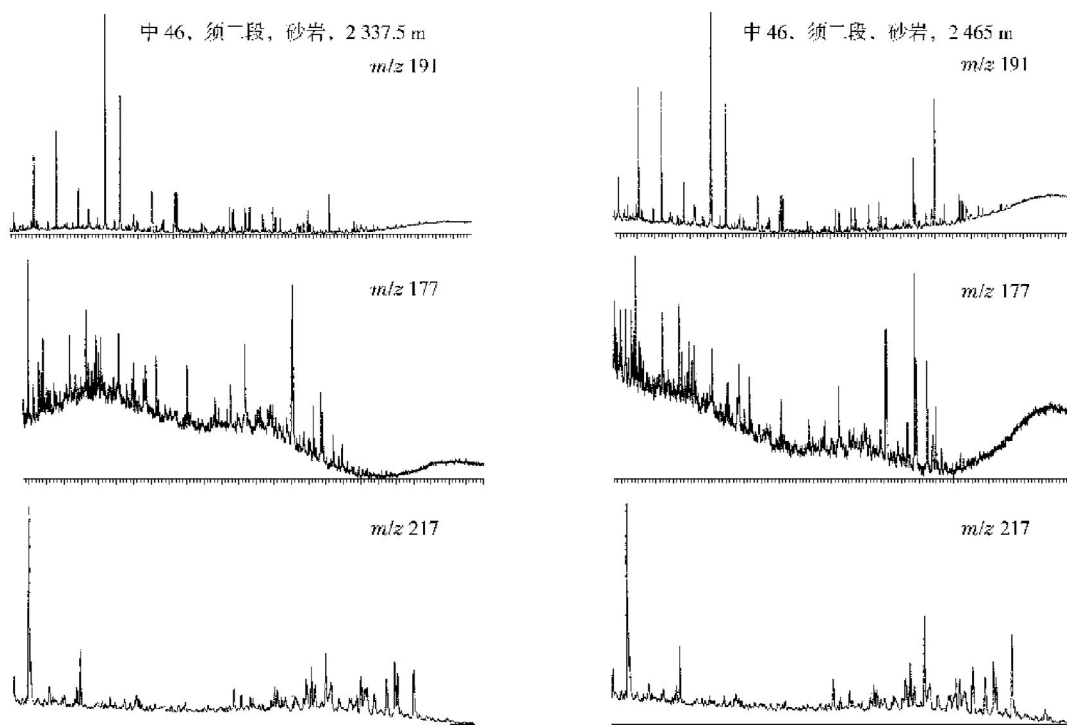


图 5 中坝气田中 46 井储层沥青质量色谱图

Fig. 5 Mass spectromograms of reservoir bitumen in Well 46 of Zhongba gas field

2.2 改造型前陆盆地 (冲断带)

由于改造型前陆盆地是在早期 (印支期) 前陆盆地几乎完全被剥蚀掉的基础上发育的晚期前陆盆地 (冲断带), 烃源岩成熟较晚, 这就决定了其晚期成藏的特征, 如柴北缘和酒泉。这里主要以柴北缘为例说明改造型前陆盆地的成藏过程。

柴北缘总体上表现为喜山期成藏的特征^[17]。中生代末期燕山运动在马海凸起的南八仙地区形成了侏罗系圈闭, 后接受剥蚀, 在高点出现侏罗系缺失, 但周围侏罗系已出现圈闭的构造形式; 中侏罗世末, 冷湖构造带抬升剥蚀, 此时未形成独立的构造圈闭, 烃源岩尚未成熟。

在第三纪晚期沉积的时候, 昆特依-伊北次凹陷的下侏罗统烃源岩处于低-成熟阶段, 此时在 $E_{1+2}-E_3$ 的圈闭进一步加强, 形成早期的油气聚集, 如冷湖三号、四号、五号油田和鱼卡油田, 并在南八仙有早期原油聚集。由于抬升作用或上覆盖层成岩作用较弱, 早期聚集的原油遭受不同程度的降解。如冷湖三号以喜山早期油气充注为主, 而主要以生物降解稠油的形式出现。

随着晚第三系沉积地层的增加, 侏罗系烃源岩进入了高、过成熟阶段, 大量断层发育, 使得侧向运移的油气沿断层垂向运移到有效的储层中, 并和早期聚集的油气发生混合作用, 多以凝析油

气性质存在; 喜山末期的强烈构造运动使得油气沿断层垂向运移到上第三系中, 形成次生油气藏。如在南八仙 E_3 凝析油气储层中由于主要由喜山晚期大量充注的油气组成, 基本上已经很难看出早期充注的原油降解的痕迹, 不存在饱和烃色谱的 UCM 包络线和明显的 25-降藿烷 (图 6 7)。

2.3 叠加型前陆盆地

叠加型前陆盆地主要为喜山期再生前陆盆地叠加在晚古生代-印支期前陆盆地之上, 因此多期成藏的特征十分明显。这里主要以淮南叠加型前陆盆地为例来说明。

准噶尔盆地南缘有多套烃源岩, 具有多期演化的成藏特征^[18], 但以晚期源自侏罗系煤系烃源岩的天然气成藏为主^[19]。因此淮南缘前陆盆地主要经历了如下的多期成藏, 即印支晚期-燕山早期源自二叠系烃源岩的成藏、燕山晚期-喜山早期源自中生界烃源岩的油气成藏和喜山晚期源自中生界烃源岩的天然气成藏。

三叠纪末, 二叠系烃源岩进入生油高峰阶段, 此时受海西期基岩断凸影响, 在第一排构造带上覆三叠系形成的低幅度构造圈闭, 从而形成源自二叠系的油气聚集。该期油气运移以长距离侧向运移为主, 此时形成的油藏以齐古油田的三叠系油藏为代表。从储层沥青的甾萜分布来看, 它们

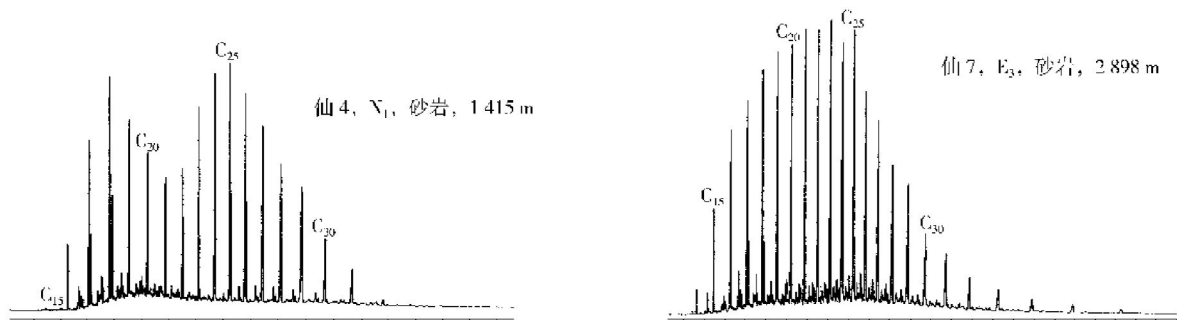


图 6 南八仙油气田储层沥青色谱图

Fig. 6 Chromatograms of reservoir bitumen in Nanbaxian oil gas field

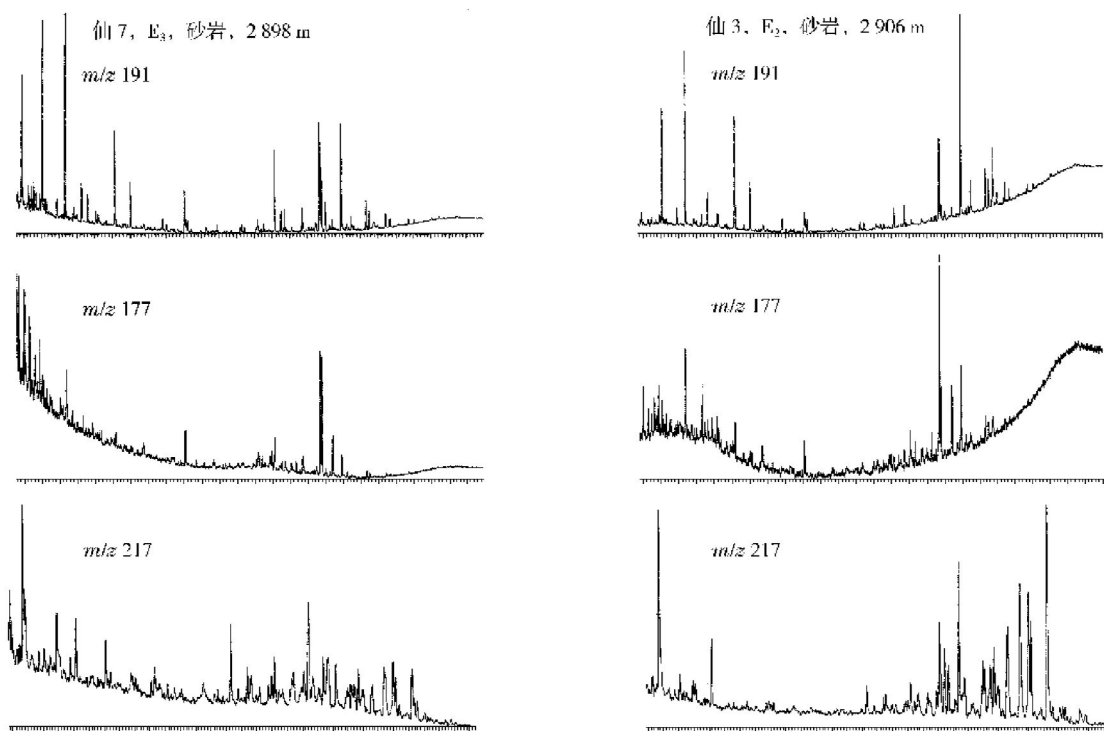


图 7 南八仙油气田储层沥青质量色谱图

Fig. 7 Mass chromatograms of reservoir bitumen in Nanbaxian oil gas field

主要源自二叠系源岩;同时三叠系和侏罗系储层沥青中都具有明显的生物降解特征,如在饱和烃色谱中正构烷烃的不完整、UCM 包络线的存在^[15](图 8)及明显的 25-降藿烷化合物的存在^[15](图 9),说明无论是印支期末聚集的二叠系原油还是燕山期末聚集的源自侏罗系的原油都曾发生过由于油藏抬升而形成的破坏。

白垩纪末,侏罗系烃源岩进入成熟阶段,生成的油气主要由凹陷中心向西南边缘隆起部位侧向运移。此时第一排构造带经过强烈的推覆已初见雏形,从而形成侏罗系油藏。在前陆拗陷中有构造背景的地方也有源自侏罗、二叠的混源油气的聚集。在二叠系古隆起背景的马桥凸起的侏罗系储层中,此时聚集了主要源自二叠系的油气,砂岩中的包裹体均一温度一般为 70~90℃,由于燕山运动

导致上侏罗统和部分中侏罗统的剥蚀,使浅层石油遭受生物降解。

晚第三系末,由于巨厚的第三系沉积,淮南前陆盆地的侏罗系大部分处于高、过成熟阶段,开始了大量生成煤成气的阶段。此时由于南北向的挤压应力,使淮南燕山期古构造及古断裂得以改造并最终定型,形成现今的三排构造带和马桥凸起及白家海凸起圈闭的定型。此时一方面聚集源自侏罗系的天然气,一方面由于断裂的作用使得下伏的侏罗系原生油藏破坏或向上调整,从而在喜山圈闭中成藏,如呼图壁气田。

3 结论

早衰型、改造型和叠加型前陆盆地的结构特征决定了前陆盆地烃源岩、储盖组合等成藏条件

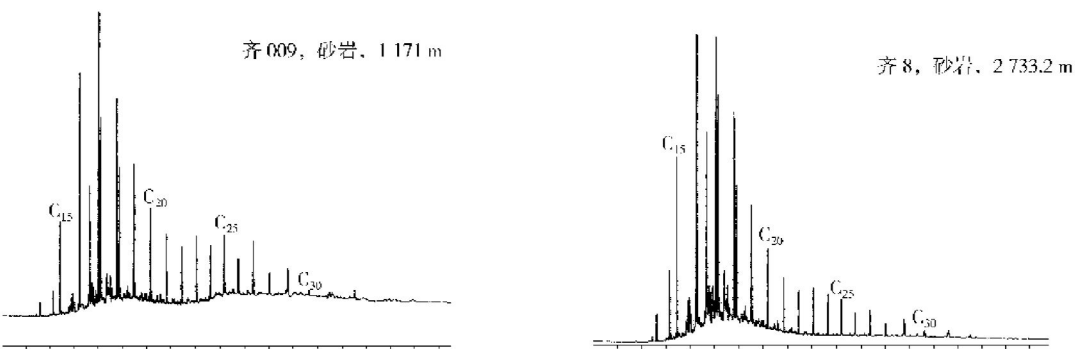


图 8 齐古油田储层沥青色谱图

Fig. 8 Chromatograms of reservoir bitumen in Qigu oilfield

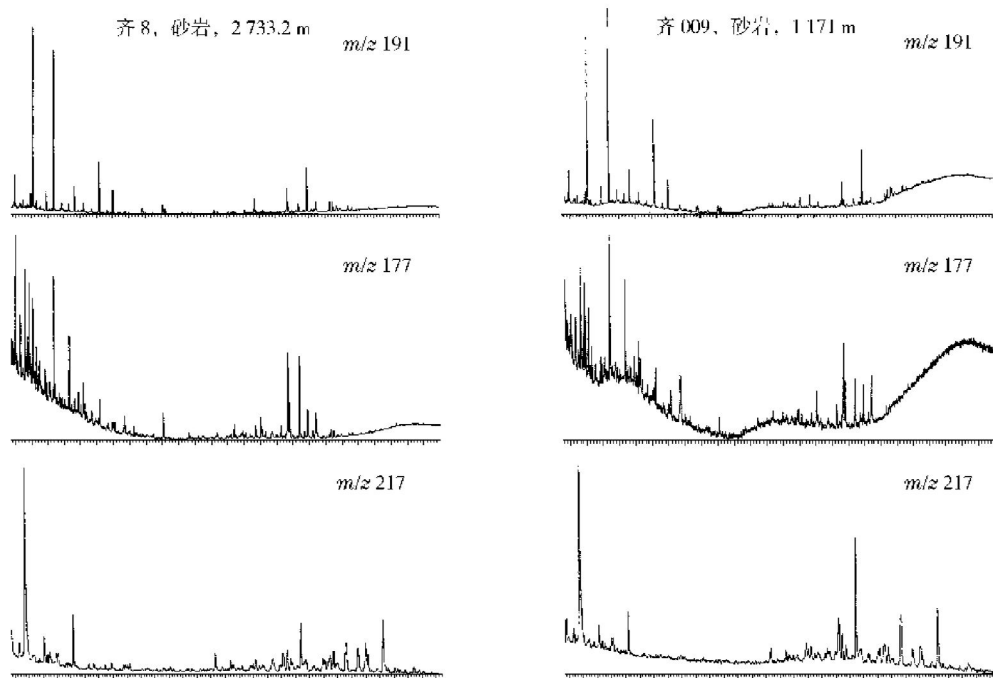


图 9 齐古油田储层沥青质量色谱图

Fig. 9 Mass chromatograms of reservoir bitumen in Qigu oilfield

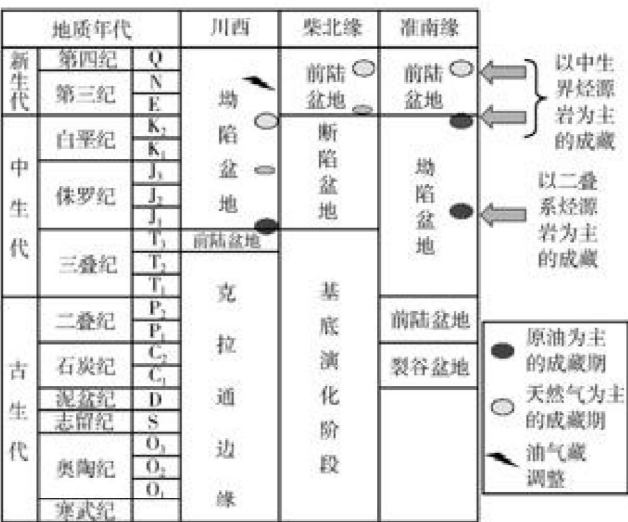


图 10 中西部前陆盆地成藏过程示意图

Fig. 10 Schematic map showing the reservoiring processes of foreland basins in western-central China

的差异性。中西部前陆盆地具有多期成藏的特征,主要表现为印支晚期—燕山早期、燕山晚期(—喜山早期)和喜山晚期,其中喜山晚期成藏明显受晚期前陆发育的控制(图 10)。勿容置疑晚期成藏在中西部前陆盆地中的重要性,但不同类型前陆盆地的主要成藏期仍有差异: 1)燕山晚期是中部早衰型前陆盆地最主要的成藏期,主要形成天然气藏,喜山晚期主要表现为气藏的调整、定型; 2)喜山晚期是西部改造型前陆最主要的成藏期; 3)对于西部两期叠合的前陆盆地,3期成藏都很重要,但是由于晚期前陆发育对早期成藏的破坏作用,因此喜山晚期的油气成藏最为重要。

参 考 文 献

1 贾承造,魏国齐,李本亮,等. 中国中西部两期前陆盆地的形成及其控气作用[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 13~17

- Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang et al. Tectonic evolution of two epoch foreland basins and its control for natural gas accumulation in China's mid-western areas [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2003, 24(2): 13~17
- 2 李梅, 包建平, 汪海, 等. 库车前陆盆地烃源岩和烃类成熟度及其地质意义 [J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(4): 367~378
- Li Mei, Bao Jianping, Wang Hai et al. The analysis on the maturity parameters of source rock and hydrocarbons in Kuche foreland of Tarim basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(4): 367~378
- 3 靳久强. 中国中西部前陆盆地的油气勘探 [J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(5): 11~24
- Jin Jiuqiang. Petroleum exploration in foreland basins of western and central China [J]. *Petroleum Exploration & Development*, 1997, 24(5): 11~24
- 4 魏国齐, 贾承造, 施央申, 等. 塔里木新生代复合再生前陆盆地构造特征与油气 [J]. *地质学报*, 2000, 74(2): 123~133
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen et al. Cenozoic compound foreland basin tectonic characteristics and oil & gas in Tarim basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(2): 123~133
- 5 雷振宇, 何登发, 张朝军. 中国中西部类前陆盆地与典型前陆盆地类比及其油气勘探前景 [J]. *地球学报*, 2001, 22(2): 169~174
- Lei Zhenyu, He Dengfa, Zhang Chaojun. Oil and gas exploration prospects of analogous foreland basins in central and west China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(2): 169~174
- 6 张光亚, 薛良清. 中国中西部前陆盆地油气分布与勘探方向 [J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(1): 1~5
- Zhang Guangya, Xue Liangqing. Hydrocarbon occurrences and exploration suggestions in the foreland basins of central-western China [J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2002, 29(1): 1~5
- 7 马新华, 魏国齐, 钱凯, 等. 我国中西部前陆盆地天然气勘探的几点认识 [J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(2): 114~117
- Ma Xinhua, Wei Guoqi, Qian Kai et al. Recognition of natural gas exploration in foreland basins of central-west China. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(2): 114~117
- 8 曾宪斌, 张静华, 金惠, 等. 我国中西部前陆盆地天然气分布规律与有利勘探区带优选 [J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(1): 12~14
- Zeng Xianbin, Zhang Jinghua, Jin Hui et al. The distribution rule of natural gas and screening of profitable exploration areas in foreland basins of Central and West China [J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2001, 28(1): 12~14
- 9 宋岩, 夏新宇, 秦胜飞. 中西部前陆盆地天然气勘探前景 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2002, 21(1): 26~29
- Song Yan, Xia Xinyu, Qin Shengfei. Prospects of natural gas exploration in the foreland basins in the middle and western parts of China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21(1): 26~29
- 10 Song Yan, Jia Chengzao, Zhao Mengjun et al. Controlling factors for large gas field formation in thrust belt of Kuqa coal derived hydrocarbon foreland basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(S0): 55~61
- 11 兰大樵, 杨跃明. 川西坳陷白马庙气田蓬莱镇组气藏成藏研究 [J]. *天然气工业*, 2001, 21(4): 24~27
- Lan Dajiao, Yang Yueming. Study on gas pool formation of Penglaizhen Formation in Baimiao gas field of west Sichuan sag [J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(4): 24~27
- 12 刘成林, 李景明, 门相勇. 川西白马庙地区上侏罗统蓬莱镇组天然气成藏研究 [J]. *天然气工业*, 2002(2): 10~13
- Liu Chenglin, Li Jingming, Men Xiangyong. Research on natural gas reservoir formation in Penglaizhen Formation of Upper Jurassic at Baimiao region in west Sichuan basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2002(2): 10~13
- 13 蔡开平, 廖仕孟. 川西地区侏罗系气藏气源研究 [J]. *天然气工业*, 2000, 20(1): 36~41
- Cai Kaiping, Liao Shimeng. Study on the gas source in western Sichuan [J]. *Natural Gas Industry*, 2000, 20(1): 36~41
- 14 王金琪. 早聚晚藏——川西坳陷天然气基本特征 [J]. *天然气工业*, 2001, 21(1): 5~12
- Wang Jinqi. Early accumulation and late seal—the basic character of gas reservoirs in west Sichuan depression [J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(1): 5~12
- 15 Peters K E, Moldovan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993
- 16 刘树根, 徐国盛, 李巨初, 等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统的成山成盆成藏动力学 [J]. *成都理工大学学报 (自然科学版)*, 2003, 30(6): 559~566
- Liu Shugen, Xu Guosheng, Li Juchu et al. A study on the dynamics of mountain-building basin-formation and natural gas pool formation in the system of Longmen Mountains and western Sichuan foreland basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2003, 30(6): 559~566
- 17 王永卓, 孙德君, 徐景祯. 柴达木盆地北缘地区含油气系统划分与成藏历史分析 [J]. *石油学报*, 2003, 24(5): 21~25
- Wang Yongzhuo, Sun Dejun, Xu Jingzhen. Petroleum system division and reservoir forming history analysis on the northern edge of Qaidam basin [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2003, 24(5): 21~25
- 18 李耀华. 准噶尔盆地南缘天然气成藏模式及勘探方向 [J]. *天然气工业*, 2001, 21(4): 27~31
- Li Yaohua. Natural gas pool formation models and exploration direction in southern Jungar basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(4): 27~31
- 19 李延钧, 王廷栋, 张艳云, 等. 准噶尔盆地南缘天然气成因与成藏解剖 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(3): 529~534
- Li Yanjun, Wang Tingdong, Zhang Yanyun et al. Natural gas genesis and formation of gas pools in the southern margin of Junggar basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3): 529~534

(编辑 李 军)