

中国中西部大型盆地差异演化与碎屑岩油气响应

方成名^{1,2}, 黄泽光²

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074;

2. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要:以碎屑岩油气成藏体系为核心, 将中西部大型盆地(四川、鄂尔多斯、准噶尔和塔里木)置于统一时空体系, 分析晚古生代以来原型及其更迭对成藏体系形成、分布的控制与油气响应, 明确勘探方向。研究认为, 构造体制转换期的原型沉降结构差异约束了主力烃源岩及源内、内源近源成藏体系的形成与分布, 原型更迭产生的构造形变决定了内源远源、外源与混源成藏体系的时空展布。不同成藏体系的油气行为受中、新生代陆内体制原型的叠加改造控制, 表现为: ①转换期前渊叠加产生的差异性构造沉降控制了内源近源成藏体系大面积岩性油气藏的形成和近隆起/斜坡相对富集; ②燕山晚期以来的掀斜隆升改造致使早期近源油气藏发生调整与贫化; ③燕山期以来的断裂改造控制了近源成藏体系油气局部富集高产与内源远源、外源成藏体系油气藏的形成。中部盆地碎屑岩油气勘探主攻方向为燕山期隆起斜坡区内源近源、源内成藏体系, 西部盆地优先选择活动隆起压扭性断裂发育区的内源远源、外源成藏体系。

关键词:成藏体系; 盆地原型; 油气响应; 碎屑岩层系; 中国中西部

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

Differential characteristics of large-scale basin evolution and hydrocarbon response of clastic strata in central-western China

Fang Chengming^{1,2}, Huang Zeguang²

(1. School of Earth Resource, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: Taking the petroleum accumulation system of clastic strata as the core, and the large-scale basins in the central-western China (Sichuan, Ordos, Junggar and Tarim) as a unified space-time system, we discussed the formation and distribution of accumulation systems and their petroleum response under the control of the superposition of basins since the Late Paleozoic. The formation and distribution of main hydrocarbon source rock strata, self-sourced and self-and-near-sourced petroleum accumulation systems were constrained by the differential structure of prototype compaction during a tectonic transition period. The self-and-far-sourced, externally sourced and hybrid-sourced petroleum accumulation systems were controlled by the tectonic deformation caused by basin superposition. The superposition of intercontinental systems in the Mesozoic to Cenozoic controlled petroleum behavior in different accumulation systems. First, differential tectonic subsidence which generated by foredeep overlap during a tectonic transition period controlled the formation of large lithologic hydrocarbon reservoirs and relative enrichment near tectonic uplift/slope zones in self-and-near-sourced petroleum accumulation systems. Second, the late Yanshanian uplift tilting made the early near-sourcing hydrocarbon reservoirs adjust or dilute. Finally, fault activities ever since the Yanshanian controlled the partial enrichment and high-yielding of hydrocarbon in self-sourced petroleum accumulation systems, and the formation of self-and-far-sourced and externally sourced petroleum accumulation systems. The self-and-near-sourced and self-sourced petroleum accumulations in the Yanshanian uplift or slope are the main hydrocarbon exploration targets in clastic strata in the central basin. In the western basin, we should focus on the externally-sourced and self-and-far-sourced petroleum accumulation systems on the compression-wrench fault belts of active uplifts.

Key words: petroleum accumulation system; basin prototype; petroleum response; clastic strata; central-western China

收稿日期: 2016-06-17; 修订日期: 2016-09-20。

作者简介: 方成名(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事含油气盆地分析研究。E-mail: fangcm.syky@sinopec.com。

基金项目: 国家“十二五”重大科技专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05002-006)和中国石化科技项目(P15098)资助。

中西部大型盆地碎屑岩层系(四川盆地 T₃-N、鄂尔多斯 C-K、准噶尔 C-N、塔里木 D-N)具有良好的油气资源基础^[1-3],是我国油气勘探开发重要领域和资源储备重要组成部分。近十年以来,油公司在中西部碎屑岩领域的油气勘探取得了多项重大成果,发现了春光、红河、姬源、川东北等多个大中型油气田。

国内学者对中西部各主要盆地碎屑岩油气成藏特点和富集规律进行了富有成效的研究,取得了大量研究成果,提出了诸如“岩性—地层油气藏与大面积成藏”^[4-5]、“大面积连续型油气聚集”^[6-7]、“叠覆型致密砂岩油气藏”^[8-10]等油气地质分析理论及有利区评价方法。然而,随着勘探的不断深入和拓展,勘探对象变得更加多元和复杂,油气富集影响因素增多,碎屑岩领域油气富集有利区统一评价与优选面临新的理论和技术瓶颈,急需从中西部大型盆地碎屑岩领域整体的高度分析并提出具有普遍适用性的油气地质理论与评价方法体系。郑和荣等^[11-12]通过对 4 大盆地碎屑岩油气成藏总体规律与评价方法的持续攻关研究,取得了理论新认识,并提出了基于油气成藏体系的评价新思路、新方法:以碎屑岩层系油气藏的烃类来源及路径为核心,“源—储”时空配置为依据,提出了内源(指烃类来源于碎屑岩层系,依“源—储”配置样式细分为源内、近源、远源)、外源(指烃类来源于下伏海

相层系)、混源(指烃类为内外混合来源)等 3 大类 5 亚类的成藏体系划分方案与分类评价方法。

盆地是地史阶段不同原型的并列叠加组合^[13-15],也是碎屑岩油气成藏体系物质基础发育和油气生成、运移、聚集与散失的场所。本文以碎屑岩油气成藏体系分类评价为核心,将中西部 4 大盆地置于统一的时空体系,分析盆地原型及其更迭对油气成藏体系的形成、分布及其油气响应,进一步揭示碎屑岩油气成藏与富集的普遍性规律,明确勘探有利方向。

1 成盆演化差异控制油气成藏体系

盆地原型的并列反映了同期盆地内空间结构的变化,这种变化反映沉积环境、物质的横向变化关系,以及碎屑岩成藏体系要素的形成和分布。原型的叠加演化及其地区差异则决定不同油气成藏体系的分布。

1.1 成盆演化的差异性特征

晚古生代以来,中西部地区大型盆地的发展可分为陆缘向陆内转换的过渡构造体制与中、新生代板内构造体制 2 个演化阶段^[14-15]。此合彼张以及陆块增生等构造活动的不同步性,决定了中西部地区构造—成盆具有“同序异时”的演化序列以及多样式的同序转化形式(图 1)^[11,16]。在晚古生代“北聚南离”与中、新生代“三面会聚”的运动体制转换

地质年代			成盆序列				运动体制	沉积体系类型
			四川盆地	鄂尔多斯盆地	准噶尔盆地	塔里木盆地		
新生代	第四纪	Q	陆内陷	前陆陷	前陆陷	前陆陷	陆内体制	陆相沉积体系
	新近纪	N						
	古近纪	E						
中生代	白垩纪	K ₂	前陆陷	前陆陷	前陆陷	前陆陷	陆内体制	陆相沉积体系
		K ₁						
	侏罗纪	J ₃	前陆陷	前陆陷	前陆陷	前陆陷		
		J ₂						
		J ₁						
	三叠纪	T ₃	前陆陷	前陆陷	前陆陷	前陆陷		
		T ₂						
		T ₁						
晚古生代	二叠纪	P ₃	克拉通内陷	克拉通内陷	前陆陷	前陆陷	陆缘陆内过渡体制	海相过渡沉积体系
		P ₂						
		P ₁						
	石炭纪	C ₂	克拉通内陷	克拉通内陷	裂谷(塌陷)	裂谷陷		
		C ₁						
泥盆纪	D	裂谷	克拉通内陷	会聚陆缘陷	克拉通内陷			

图 1 中国中西部 4 大盆地“同序异时”的成盆演化序列

Fig.1 Similar evolution processes of four large-sized basins in the central-western China

过程控制下,由于大型盆地基底物质组成、古陆块形态与规模等条件差异,决定了原型在同一构造环境下产生的沉降、沉积和构造等风格特征的不同。

晚古生代,四川盆地、塔里木盆地均位于“南离”的古特提斯构造域^[16-17],原型沉降受控于地幔热流上涌引发的陆壳引张减薄和地幔蠕动热收缩产生的补偿沉降复合^[14]。因此,四川盆地与塔里木盆地在晚古生代原型盆地沉降机制与构造型式上存在可对比性,但其沉降的强度和持续的时限不同,由此产生各自的原型并列特征及其控制下的沉积型式差异。塔里木陆块相比上扬子陆块规模大,塔里木盆地为克拉通内拗陷与陆缘拗陷的并列,陆缘拗陷区发育深水海相沉积间夹基性火山岩,拗陷区以海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积组合。四川盆地具有明显的裂谷型与拗陷型并列的海相沉积组合,裂谷控制了深水陆棚相烃源岩层系发育和分布。而此时的鄂尔多斯盆地与准噶尔盆地处于“北聚”构造环境,主要形成会聚构造环境下的克拉通内拗陷、陆缘拗陷,为深部地幔物质下潜引起的热收缩沉降。组成盆地基底物质组成的巨大差异直接决定了2个盆地原型风格迥异。鄂尔多斯盆地结晶基底物质主要由太古宇与元古宇强磁性深变质火山岩组成^[18],物性相对均一且具有较强的刚性特征。在SN向构造挤压环境下,形成陆内不对称式碟形沉降结构,发育稳定平覆式海陆过渡相沉积体系。准噶尔盆地基底具有褶皱基底与结晶基底的“双层基底”结构,但分割性强^[19],具有多微地块拼合及弱固结的特征^[20]。在近SN向会聚构造环境下,深部热物质易沿早期微地块拼合带快速喷溢,导致地壳发生裂陷式沉降,形成类似裂谷式的沉降结构^[14],最终形成上石炭统一下二叠统碎屑岩夹火山岩的沉积组合型式。

古生代末期至中、新生代,随着古亚洲洋、古特提斯洋的逐步闭合,组成中国内地大陆的古陆块完成最后拼贴,4大盆地所处的中西部地区相继进入了陆内体制的变格盆地阶段^[16,21]。中国大陆内部构造变格作用及不同类型陆内变格盆地的形成,是中国大陆当时所处的三面受挤的地球动力学背景下,特别是东西“两条锋线”的产物^[22]。西部地区的塔里木、准噶尔盆地主要受来自北侧西伯利亚板块向南楔入和南侧印支板块期次性地向北俯冲、碰撞所引起的远程构造效应控制。中部的四川盆地与鄂尔多斯盆地则处于来自东部拉张、挤压交替与西部挤压引起的古陆块向东逃逸挤压2种环境的复合地带。构造环境的不同直接导致了各自的陆

内盆地原型风格及其相应盆地结构演化的差异。

晚二叠世—中三叠世,随着古亚洲洋的最终闭合,西部准噶尔盆地及塔里木盆地北部地区率先进入陆内体制盆地发育阶段^[16],上叠前陆拗陷盆地,发育陆相碎屑岩沉积体系,多沉降中心并列及迁移演化控制了大面积分布的粗细碎屑岩交错叠置的沉积型式。

晚三叠世—早白垩世,中西部地区均已进入陆内构造体制,此时的盆地发育主要来自南侧印支板块的俯冲碰撞控制^[14-15,17],并受古陆块几何形态和空间分布格局的影响,4大盆地的原型风格特征迥异。塔里木盆地为典型的压扭性盆地,沉降中心随山前带走滑方向侧向迁移,形成窄带式沉积相带。塔西南中生代压扭性前陆拗陷带受左行走滑影响,沉降中心由西向东侧向迁移,侏罗系含煤层系仅分布在山前地区。准噶尔盆地在空间上远离板块会聚边缘,受到的构造挤压作用力相对较弱,形成类似碟形的热收缩沉降结构,发育典型的粗碎屑与细碎屑交互的广覆式“二元体系域”特征^[23]。四川与鄂尔多斯盆地受向东逃逸的挤压影响,沿古缝合带发生岩石层增厚强烈挠曲沉降,发育压性前陆拗陷盆地。沉降、沉积中心沿山前冲断带横向迁移,发育了一套“缘厚覆薄”的广覆式粗细交错叠置沉积组合。同时,该期强烈的挤压冲断活动塑造了四川、鄂尔多斯盆地“盆缘复杂、盆内稳定”的地质结构基础,并延续至今。

晚白垩世以来,印支陆块与欧亚大陆发生强烈的陆—陆碰撞,西部与中部地区盆地进入了新一轮的差异演化阶段。由南往北的强烈构造挤压作用致塔里木、准噶尔盆地周缘山系再次复活,发生强烈的山系隆升与盆缘挠曲沉降,形成过补偿型沉积,同时也奠定了今盆地结构特征。而鄂尔多斯与四川盆地同时活动主要表现为局部的压扭和构造隆升。

1.2 烃源岩的形成环境及其时空分布

晚古生代以来,中西部大型盆地经历了海相—海陆过渡相—陆相转化的沉积序列,不同原型代表的成源环境控制了烃源岩的形成与分布。据统计,海陆混积、盐碱湖及深水湖泊是中西部4大盆地碎屑岩领域优质烃源岩形成的主要成源环境(表1)。

海陆混积是现代和地史时期的一种普遍沉积现象,缓倾沉积斜坡是此类沉积形成和发育的必要条件。过渡构造体制形成的克拉通内拗陷、陆缘拗陷坡折带是陆源碎屑岩与碳酸盐岩混积形成的主要盆地构造环境,频繁海侵/海退为陆源有机质的

表 1 中国中西部大型盆地主要成源环境及其烃源岩发育模式
Table 1 Source environment and development pattern of hydrocarbon source rocks in large-sized basins in the central-western China

成源环境	形成条件	分布特点	盆地类型及发育部位	典型实例
海陆混积	板间—板内过渡构造体制; 具备稳定的构造环境, 湖水/海水频繁交替进退, 陆源有机质与海洋低栖生物丰富, 生产力高; 周期性咸化环境易于形成有机质大量富集	海水、湖水交替进退形成暗色泥页岩、煤系烃源岩与砂岩、灰岩层状交互分布, 大面积交错式展布; 黏土质泥页岩、煤岩与砂岩、碳酸盐岩岩性组合	大型克拉通内拗陷、陆缘拗陷沉积斜坡坡折带	鄂尔多斯盆地石炭系—二叠系; 四川盆地小塘子组—须家河组三段; 塔西南石炭系; 准噶尔盆地下石炭统
盐碱湖	板间—板内过渡构造体制; 环境相对稳定, 生物种群单一, 浮游藻类生产力高, 形成富生物白云质泥页岩、泥质白云岩; 高碱缺氧环境, 水体分层, 有利于有机质保存	断续式海侵形成周期性蒸发沉积环境, 致使白云质泥页岩与膏盐岩在纵向上叠置分布; 含凝灰质白云岩、白云质泥岩及膏盐岩组合	强火山活动的裂陷(塌陷)沉降中心区	准噶尔盆地地下二叠统风城组
深水湖泊	板内构造体制, 构造环境变化快, 湖盆形态多样; 陆源有机质与水生混合输入, 生产力高; 湖底弱底流或静水环境, 有利于有机质保存	沉降中心迁移变化, 富有机质泥岩与砂岩交互分布, 大面积指状交错式展布; 黏土质泥页岩、煤岩与砂岩岩性组合	前陆拗陷前渊深洼区	四川盆地上三叠统须五段、下侏罗统; 鄂尔多斯盆地延长组长 7; 准噶尔盆地上二叠统、侏罗系

输入及保存创造了有利条件。该类烃源岩在 4 大盆地广泛分布, 岩性以暗色泥岩、煤岩为主, 单层厚度小, 与砂岩、灰岩呈大面积交错式展布, 有机质类型以 II₂、III 型为主。

钙碱性火山物质卷入及海水周期性侵入可促使湖水含碱度提高, 并促使浮游藻类富集与保存, 形成优质烃源岩。下二叠统风城组是准噶尔盆地的主力烃源岩, 岩性以含火山物质的白云质泥岩、泥质白云岩及膏盐岩为主, 具有有机质丰度高、类型好、分布较为稳定的特征^[24]。晚石炭世至早二叠世, 准噶尔地区强火山活动的塌陷裂谷及西缘残余洋盆海水周期性侵入, 为风城组优质烃源岩的形成和发育创造了有利条件。

前陆拗陷前渊深水湖泊环境是中西部地区中新生界主力烃源岩的主要形成环境。有机质为陆源与水生生物的混合来源, 深湖、半深湖的静水环境有利于有机质保存。烃源岩层的横向分布受前渊沉降中心迁移变化控制, 纵向上富有机质泥岩、煤岩与砂岩交错叠置分布; 有机质类型以 II₂、III 型为主。

1.3 “源—储”配置样式及其时空分布

“源—储”配置样式是油气成藏体系类型划分的主要依据, 其形成与分布受原型沉降结构约束的地质作用和原型体制转换导致的结构变异共同控制。

原型沉降结构约束可形成具有自身特性的油气地质要素及配置模式(表 2), 主要形成内源成藏

表 2 中国中西部大型盆地成藏体系类型及其“源—储”配置类型分布
Table 2 Types of petroleum accumulation systems and “source-reservoir” assemblages in large-sized basins in the central-western China

原型及其叠加转换类型	主要类型			典型分布
	烃源	供烃	源储配置	
克拉通内拗陷	内源	近源	叠覆接触式	鄂尔多斯盆地伊陕斜坡 C-P、塔里木盆地西北缘 C
		远源	侧向分离式	鄂尔多斯盆地伊盟隆起区 C-P
		源内	源储一体式	鄂尔多斯盆地南部长 7、四川盆地西部拗陷 T ₃ x ⁵
前陆拗陷	内源	近源	叠覆接触式	四川盆地 T ₃ x ⁴⁻⁶ 、鄂尔多斯盆地南部长 6-8、塔里木盆地北部 P ₃ -T、准噶尔盆地 P
		远源	叠覆跨越式	四川盆地西部拗陷 J、鄂尔多斯盆地南部 J、准噶尔盆地中部 J-K
陆缘拗陷	内源	源内	源储一体式	四川盆地西部拗陷 T ₃ x ³
		近源	叠覆接触式	准噶尔盆地 C ₁ 、四川盆地西部拗陷 T ₃ x ¹⁻²
体制叠加转换	外源	远源	叠覆跨越式	塔里木盆地塔河上古生界
			侧向分离式	塔里木盆地塔中围斜 D、准噶尔盆地西北缘 C-N
	混源	远源	叠覆跨越式	四川盆地东北部 P-T
			侧向分离式	塔里木盆地西南部麦盖提斜坡 O-P

体系以及“源—储”一体式、叠覆接触式和侧向分离式3种“源—储”配置样式。原型更迭表现为地史演变过程中沉降结构的变化及其沉积实体对构造应力变化的反应,包括相应的形变、断层,及其在油气成藏要素中的协调配置,最终控制外源、混源成藏体系以及叠覆跨越式和侧向分离式“源—储”配置的形成和分布。

1.3.1 叠覆接触式

叠覆接触式是指主力烃源岩层系与储集层系在垂向上大面积接触的配置样式,在4大盆地中普遍分布。主要受控于克拉通坳陷各阶段沉积基底的幕式升降导致的可容空间周期性变化或压性盆地幕式冲断2种盆地构造背景。克拉通内坳陷沉降斜坡坡折带和前陆坳陷前渊沉降中心是叠覆接触式配置类型发育的有利地带,4大盆地均有分布。

1.3.2 叠覆跨越式

烃源岩层系与储集层系在垂向上被非烃源岩的泥质岩隔层分开,烃源岩与储集岩未直接接触,主要通过断裂输导体系在空间格架下建立“源”与“储”的系统关系。主要发育于可容空间逐步变小的克拉通内坳陷或前陆盆地晚期阶段,本身缺乏同期烃源岩,与下部烃源岩层系之间被隔层分开,烃源只能通过断裂、裂缝垂向输导。准噶尔盆地腹部地区二叠系主力烃源岩与侏罗系、白垩系储层之间被三叠系多套盖层分隔,通过燕山期压扭性高角度断裂体系共同组成源—储跨越分离配置样式。

1.3.3 侧向分离式

侧向分离式是指烃源与储集层在横向异地错位分离,两者主要通过不整合面、断裂、连通砂体构成的复合输导体系建立油气行为的系统关系。克拉通内坳陷或前陆坳陷冲断隆起区是此类源—储配置样式发育的有利构造背景。“源”可以是前陆坳陷或海相盆地期发育的烃源岩、早期油气藏,“储”可以是沉积上超碎屑岩孔隙、隆起基底裂缝或岩溶孔隙等。鄂尔多斯盆地伊盟隆起区上古生界、准噶尔盆地西北缘中新界、川东北米仓山前中生界、塔西南新生界等均发育此类源—储配置样式。

1.3.4 一体式

一体式是指烃源岩层系内部发育薄砂层或透镜状砂体储集层,储集层被烃源岩围限其中。其形成分布均与“源—储”叠覆接触式配置类型较为相似,如鄂尔多斯盆地上三叠统长7、川西坳陷上三叠统须三段与须五段。

2 构造改造及其油气响应

盆地的原型控制了油气物质基础的形

成和分布,原型的叠加改造则决定了成烃、成藏和油气富集位置^[15,25]。中西部大型盆地晚期构造改造主要表现为差异沉降、变形、晚期隆升等3种主要类型。海西晚期至燕山早期,为构造体制转换过渡期,主体表现为前渊叠加导致的差异性构造沉降;燕山晚期至喜马拉雅期,为陆内构造变形期,主体表现为差异构造隆升,伴随地层褶皱、断裂活动等构造变形活动。构造类型、强度及其地区差异对碎屑岩成藏体系产生聚集、调整与贫化等不同的油气响应行为。

2.1 转换期差异沉降控制近源体系油气成藏

构造沉降和快速沉积是地层能量不断积聚并引起温度场升高的过程,提供了烃源岩埋藏增熟的生烃动力学环境,源岩生烃增压^[26]。源岩生烃增压的同时,源储压差随之增大,提供了烃类由源岩向储集岩初次运移的动力,使得油气不断排进紧邻的连片砂体,形成大面积的岩性油气藏。同时,不均衡的构造沉降或差异压实作用可导致地层压力体系(超压)和流体势场的变化,连通砂体内部的油气在浮力驱动下,不断提升油气在储集体中富集程度,即在构造高部位形成相对富集区。

中西部大型盆地晚古生代以来的构造主沉降期发生在构造体制转换过渡期。沉降特征表现为幅度大(2 000 m左右),但地区差异极为显著,总体表现为盆缘前渊叠加区大于盆覆区(图2)。如此的沉降幅度足以促使各层次烃源岩进入埋藏增熟的生烃门限,而此时紧邻烃源岩的碎屑岩储集层未达到普遍致密化程度,拥有良好的孔隙度和渗透率,早期充注于紧临储集层中的烃类可在浮力驱动下沿构造上倾方向运移聚集。川西坳陷须二段储层致密化发生在晚白垩世中期,稍晚于紧临源岩晚侏罗世—早白垩世的主生烃期^[4,27],生成的油气经充注与短距离横向运移,形成须家河组大面积含气与新场—丰谷隆起带、中江斜坡带相对富集的特征(图3a,b)。鄂尔多斯西南缘延长组长7张家滩页岩上、下长6、长8段河道砂岩的油气富集,也得益于燕山期构造沉降带来的上千米地层垂向叠加伴生的源岩快速生烃,并在源储压差驱动下向两侧储集层聚集成藏^[28-29]。

2.2 晚期差异隆升控制近源油气藏调整演化

中西部大型盆地燕山晚期以来由于前陆坳陷的再次叠加,普遍遭受了以掀斜为主的差异隆升改造,掀斜隆起端地层遭受剥蚀,倾没端持续沉降。掀斜隆升对业已形成的油气藏的调整改造是一个复杂过程,不同的油气地质条件下可产生迥异的油气响应。

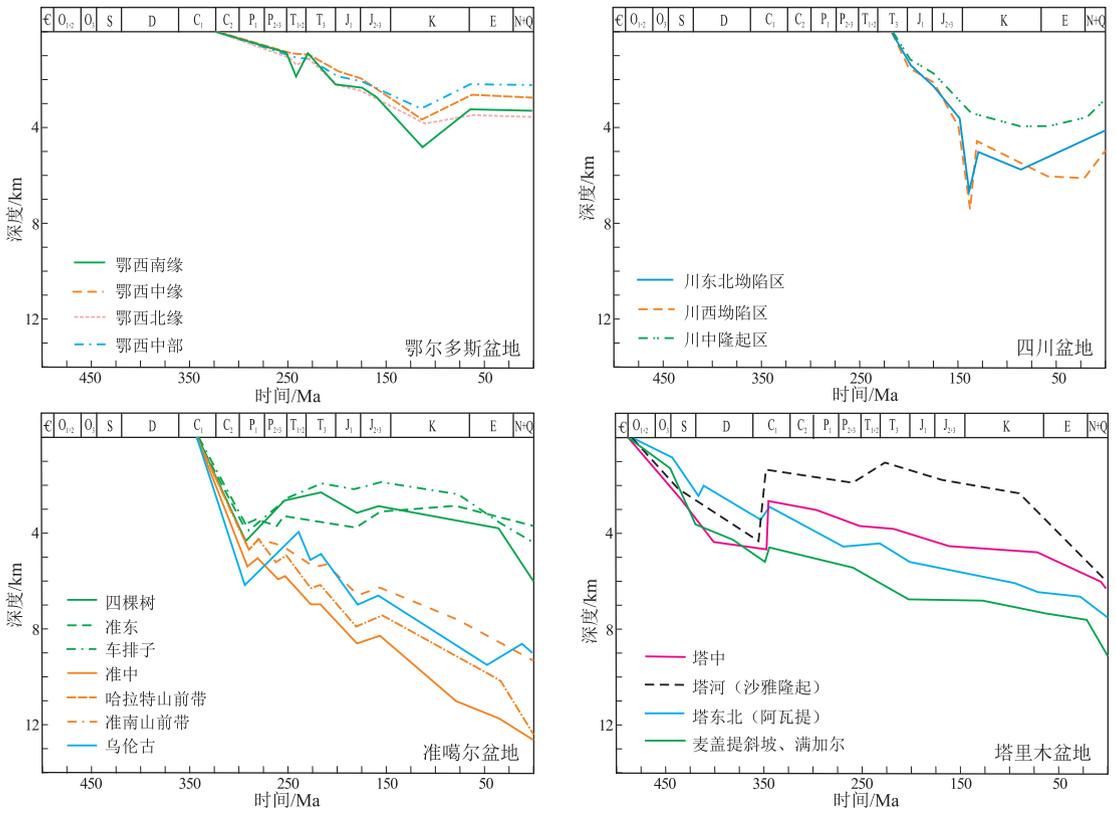


图 2 中国中西部大型盆地关键地层界面沉降类型分布

Fig.2 Sedimentation pattern of key interfaces in large-sized basins in the central-western China

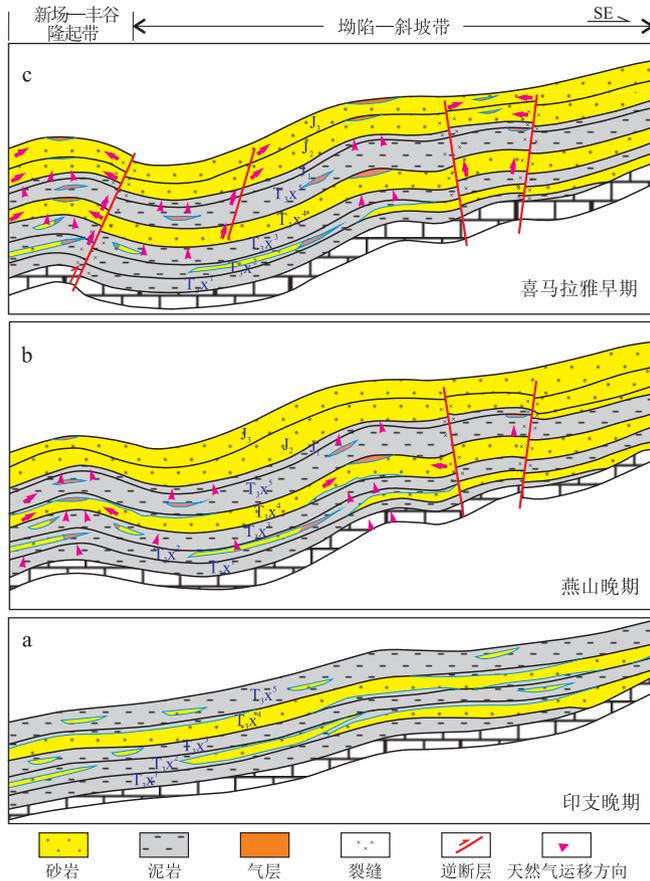


图 3 四川盆地川西坳陷碎屑岩层系油气成藏模式

Fig.3 Hydrocarbon accumulation mode of clastic strata in Western Sichuan Depression, Sichuan Basin

(1) 油气藏的调整与再富集。储层非致密且大面积分布,并具备油气发生横向运移的有效通道条件,不均衡的构造抬升改变了储层(或输导层)的产状及其流体势场,打破了原来平衡的能量场,赋予了业已聚集成藏的油气运移动力,并在构造上倾向(隆起边缘带或上倾斜坡)的局部圈闭(如地层尖灭带)形成油气富集。塔西南塔中隆起南部后期均发生了整体性的南倾改造,早期侏罗系油气藏相应发生调整^[30]。

(2) 油气藏的整体贫化。形成此类油气成藏效应必须同时具备4个条件^[31]:快速隆升剥蚀、砂泥岩交互配置、具有较高的泥地比、改造期储层致密。泥地比高的致密碎屑岩层系强烈隆升与剥蚀后,由于泥岩的回弹效应比砂岩的回弹效应小,泥岩在回弹中为了保持孔隙中的流体压力平衡,而从砂岩中吸取地层水,直接导致气藏或地层产生负压现象。鄂尔多斯盆地伊陕斜坡带上古生界低压气田的形成与泥岩吸水效应有关,同时也是造成气田区气水关系复杂的主要因素之一^[32]。准噶尔盆地腹部侏罗系油藏的晚期调整过程便是典型实例,早期车—莫古隆起周缘聚集的古油藏在后期南倾构造改造中被重新调整,油藏被调整与再富集^[16]。

2.3 晚期断裂控制远源、外源体系油气成藏

改造期新生断裂的发育和先存断裂的活化可导致深部已聚集油气的突发性穿层运移并在浅部聚集,形成次生油气藏^[33]。中西部晚燕山期以来受不平衡构造挤压作用,断裂活动发育,沿断裂带形成内源远源、外源成藏体系油气富集带。

川西马井—什邡地区蓬莱镇组气藏成因与马井构造东南翼及其东部发育的北东向断层(马井断层)有关^[34-35],断层断开层位从深层须家河组至白垩系,构成马井、什邡地区良好的气源断层。深部的气源在高压的驱动下便可沿断层及其破碎带向上运移,在向上的过程中遇到侏罗系良好储层,天然气便进入其中,再通过沿层的侧向运移,最后富集成藏(图3)。鄂尔多斯盆地南部镇泾地区侏罗系延安组延10录井油气显示与断裂叠合关系反映两者吻合关系明显,表明油藏的形成与NW向新都断裂带的垂向输导通道有关。准噶尔盆地陆梁侏罗系—白垩系油气田与西缘车排子新生界春光、春风油田均为内源远源成藏,油气源分别来自于盆1井西凹陷和沙湾凹陷二叠系风城组,燕山期压扭性高陡断裂体系与不整合面砂体共同提供了油气远距离运移的通道^[36-38]。塔里木盆地是外源成藏体系发育的典型地区,除库车坳陷外,塔北、塔中等

盆内古隆起碎屑岩油气藏的分布均与通源断裂的分布相吻合^[39-41]。

此外,作为内源成藏体系的鄂尔多斯上古生界、延长组及四川盆地的须家河组砂岩储层均属于典型的致密碎屑岩储层,已发现的油气高产井均位于断裂带附近^[27,42-44]。断裂伴生构造裂缝是致密碎屑岩储层改善储集和渗流性能的关键因素^[45-46],对油气富集程度的控制作用明显,而断裂带本身不一定是油气富集高产带。盆地基底断裂系统与挤压滑脱断裂均可在沉积地层形成相应的微裂隙或剪切裂缝,改善致密储层的储集空间与渗流性能,提高油气的富集程度。

3 油气聚集及分布

四川、鄂尔多斯盆地晚古生代以来的原型演化经历了克拉通内拗陷/陆缘拗陷向前陆拗陷的叠加转换,海陆混积及湖泊沉积体系发育,转换期周缘山系交替挤压致使扇三角洲前缘河道砂体错落叠置与大面积连片分布,与烃源岩在纵向上形成“源—储”叠覆接触式配置连片分布。而同期产生的大幅构造沉降与埋藏促使大量生烃,形成临近主力烃源岩的砂体或烃源岩层系内部砂体获得油气充注,形成油气大面积成藏与隆起带、斜坡带更加富集的特征。因此,燕山期形成的隆起、斜坡带临近主力烃源岩的储集层系是碎屑岩油气勘探的有利区。如川西中江斜坡须家河组、川北坳陷中部褶皱隆起带须家河组—下侏罗统、伊陕斜坡带长6与长8。此外,通源断裂发育的远源/外源成藏体系储集层系构造—岩性复合圈闭也具备油气勘探的有利条件,如川西马井地区侏罗系浅层、鄂北泊尔江海子断裂以北的上古生界。

准噶尔与塔里木盆地晚古生代以来经历了裂谷、陆缘拗陷向压扭性前陆拗陷的叠加转换,海陆混积、盐碱湖与湖相沉积体系沿盆地边缘迁移分布,前缘河道砂体与烃源层形成“源—储”叠覆接触式和“源—储”侧向接触式2种配置类型。燕山晚期—喜马拉雅期强烈的压扭改造,形成多组压扭性活动断裂,沟通古生界烃源层系与中生界源外储集层系,构成区内以内源远源、外源为主的成藏体系类型。因此,通源断裂发育的晚期构造上斜坡带碎屑岩层系地层上倾向构造—岩性圈闭与地层尖灭带是油气勘探的有利方向。如塔西南麦盖提斜坡色列布亚大型断裂带上倾向的上古生界—新生界、塔河残余隆起亚南断裂带碎屑岩层系、准噶尔西北缘红车断裂西侧斜坡区不同层系等。

4 结论

(1)晚古生代以来,中西部地区大型盆地原型及其更迭差异性特征受“北聚南离”陆缘—陆内过渡构造体制向中、新生代“三面会聚”板内构造体制的转换控制,盆地所处的空间位置、基底陆块属性与构造体制转换时序共同决定其碎屑岩层系油气成藏体系类型及其分布。

(2)中西部大型盆地碎屑岩成藏体系对来自于晚期多类型的构造改造有着不同的油气成藏响应。构造体制转换期前渊叠加产生的差异性构造沉降控制了内源近源体系大面积岩性油气藏的形成和近隆起带、斜坡带相对富集的特征;燕山晚期以来强烈的掀斜隆升改造致使近源早期油气藏调整与贫化;燕山期以来的断裂改造控制了近源体系油气局部富集高产与内源远源、外源成藏体系油气藏的形成。

(3)“近源、源内稳定区富集,内源远源、外源活动带富集”是中西部大型盆地碎屑岩油气分布的基本特征,依此明确了油气勘探的主要方向。四川、鄂尔多斯盆地以不断逼近主力烃源岩内源近源(包括源内)油气成藏体系为优先勘探方向,同时兼顾内源远源成藏体系;准噶尔、塔里木盆地以内源远源、外源成藏体系为优先勘探方向,其次是内源近源成藏体系。

致谢:本文研究与成文过程中,得到了中国石化石油勘探开发研究院郑和荣教授、邱桂强教授、尹伟教授、胡宗全教授的悉心指导和帮助;陆永德高级工程师绘制了部分图件,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 郑和荣,尹伟,胡宗全,等.中国中西部碎屑岩领域油气富集主控因素与勘探方向[J].石油与天然气地质,2010,31(6):753-762.
- Zheng Herong, Yin Wei, Hu Zongquan, et al. Main controlling factors for hydrocarbon accumulation and potential exploration targets in clastic sequences in western-central China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 753-762.
- [2] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等.常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望;以中国致密油和致密气为例[J].石油学报,2012,33(2):173-187.
- Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: Taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173-187.
- [3] 贾承造,郑民,张永峰.中国非常规油气资源与勘探开发前景[J].石油勘探与开发,2012,39(2):129-136.

- Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 129-136.
- [4] 赵文智,汪泽成,王红军,等.中国中、低丰度大油气田基本特征及形成条件[J].石油勘探与开发,2008,35(6):641-650.
- Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Wang Hongjun, et al. Principal characteristics and forming conditions for medium-low abundance large scale oil/gas fields in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(6): 641-650.
- [5] 邹才能,袁选俊,陶士振,等.岩性地层油气藏[M].北京:石油工业出版社,2010:121-132.
- Zou Caineng, Yuan Xuanjun, Tao Shizhen, et al. Lithologic stratigraphic oil and gas reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 121-132.
- [6] 邹才能,陶士振,朱如凯,等.“连续型”气藏及其大气区形成机制与分布:以四川盆地须家河组煤系大气区为例[J].石油勘探与开发,2009,36(3):307-319.
- Zou Caineng, Tao Shizhen, Zhu Rukai, et al. Formation and distribution of “continuous” gas reservoirs and their giant gas province: A case from the Upper Triassic Xujiahe Formation giant gas province, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(3): 307-319.
- [7] 邹才能,陶士振,袁选俊,等.连续型油气藏形成条件与分布特征[J].石油学报,2009,30(3):324-331.
- Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. The formation conditions and distribution characteristics of continuous petroleum accumulations[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 324-331.
- [8] 杨克明,朱宏权.川西叠覆型致密砂岩气区地质特征[J].石油实验地质,2013,35(1):1-8.
- Yang Keming, Zhu Hongquan. Geological characteristics of superposed tight sandstone gas-bearing areas in western Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 1-8.
- [9] 杨克明,庞雄奇.致密砂岩气藏形成机制与预测方法[M].北京:科学出版社,2012:5-56.
- Yang Keming, Pang Xiongqi. Formation mechanism and prediction method of tight sandstone gas reservoir[M]. Beijing: Science Press, 2012: 5-56.
- [10] 庞雄奇,姜振学,黄捍东,等.叠复连续油气藏成因机制、发育模式及分布预测[J].石油学报,2014,35(5):795-828.
- Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, Huang Handong, et al. Formation mechanisms, distribution models, and prediction of superimposed, continuous hydrocarbon reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(5): 795-828.
- [11] 郑和荣.中国中西部四大盆地碎屑岩油气地质与勘探技术新进展[J].石油与天然气地质,2012,33(4):497-505.
- Zheng Herong. New advances in petroleum geology and exploration techniques of clastic reservoirs in the four large-sized basins in central-western China[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 497-505.
- [12] 胡宗全,尹伟,伍新和,等.中国中西部四大盆地碎屑岩油气成藏体系及其分布规律[J].石油与天然气地质,2012,33(4):561-570.

- Hu Zongquan, Yin Wei, Wu Xinhe, et al. Petroleum accumulation systems of clastic strata and their distribution in the four large-sized basins in central-western China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 561-570.
- [13] 朱夏. 论中国含油气盆地构造[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986: 1-34.
- Zhu Xia. Structure of petroleum basins in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1986: 1-34.
- [14] 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京: 南京大学出版社, 1997: 1-80.
- Zhang Yuchang. Prototype analysis of petroliferous basins in China[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1997: 1-80.
- [15] 徐旭辉, 高长林, 江兴歌, 等. 中国含油气盆地动态分析概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 1-29.
- Xu Xuhui, Gao Changlin, Jiang Xingge, et al. An introduction to dynamic analysis for Chinese petroleum basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 1-29.
- [16] 方成名, 黄泽光, 段铁军, 等. 中国中西部盆地差异构造演化与碎屑岩层系油气聚集分布[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 571-577.
- Fang Chengming, Huang Zeguang, Duan Tiejun, et al. Differential tectonic evolution and hydrocarbon distribution in clastic strata of petroliferous basins in central-western China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 571-577.
- [17] 黄泽光, 高长林, 范小林. 中国中西部晚古生代—中三叠世沉积盆地原型[J]. *石油实验地质*, 2012, 34(1): 1-7.
- Huang Zeguang, Gao Changlin, Fan Xiaolin. Prototypes of sedimentary basins in central and western China from Late Paleozoic to Middle Triassic[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(1): 1-7.
- [18] 李明, 闫磊, 韩绍阳. 鄂尔多斯盆地基底构造特征[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 43(S3): 38-43.
- Li Ming, Yan Lei, Han Shaoyang. The basement tectonic characteristics in Ordos Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 43(S3): 38-43.
- [19] 曲国胜, 马宗晋, 邵学钟, 等. 准噶尔盆地基底构造与地壳分层结构[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(6): 669-674.
- Qu Guosheng, Ma Zongjin, Shao Xuezhong, et al. Basements and crust structures in Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(6): 669-674.
- [20] 唐勇, 王刚, 郑孟林, 等. 新疆北部石炭纪盆地构造演化与油气成藏[J]. *地质前缘*, 2015, 22(3): 241-253.
- Tang Yong, Wang Gang, Zheng Menglin, et al. Carboniferous basin evolution and its hydrocarbon accumulation in the north of Xinjiang[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 241-253.
- [21] 高长林, 叶德燎, 黄泽光, 等. 中国晚古生代两大古海洋及其对盆地的控制[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(2): 104-110.
- Gao Changlin, Ye Deliao, Huang Zeguan, et al. Two paleo-oceans in the Late Paleozoic and their control to basins in China[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(2): 104-110.
- [22] 孙肇才, 邱蕴玉, 郭正吾. 板内形变与晚期次生成藏: 扬子区海相油气总体形成规律的探讨[J]. *石油实验地质*, 1991, 13(2): 107-142.
- Sun Zhaocai, Qiu Yunyu, Guo Zhengwu. On the relationship of the intraplate deformation and the secondary formation of oil/gas pools: The general regularities of the oil/gas formation in marine environment of the Yangtze area[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 1991, 13(2): 107-142.
- [23] 陈平, 陆永潮, 杜学斌, 等. 准噶尔盆地腹部压性背景下“二元体系域”层序构型特征及其形成机理[J]. *地质科学*, 2010, 45(4): 1078-1087.
- Chen Ping, Lu Yongchao, Du Xuebin, et al. Dual characteristic of sequence structures and forming mechanism in compressional abdominal area of Junggar Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2010, 45(4): 1078-1087.
- [24] 曹剑, 雷德文, 李玉文, 等. 古老碱湖优质烃源岩: 准噶尔盆地二叠统凤城组[J]. *石油学报*, 2015, 36(7): 781-790.
- Cao Jian, Lei Dewen, Li Yuwen, et al. Ancient high-quality alkaline lacustrine source rocks discovered in the Lower Permian Fengcheng Formation, Junggar Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(7): 781-790.
- [25] 方成名, 黄泽光, 徐旭辉, 等. 盆地原型序列研究的思路与方法: 以东秦岭—大别及其两侧盆地为例[J]. *地质前缘*, 2015, 22(3): 137-145.
- Fang Chengming, Huang Zeguang, Xu Xuhui, et al. Research ideas and methods for basin prototype sequence: A case study on basins of both sides of the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 137-145.
- [26] 郝芳, 邹华耀, 龚再升, 等. 新(晚期)构造运动的物质、能量效应与油气成藏[J]. *地质学报*, 2006, 80(3): 424-431.
- Hao Fang, Zou Huayao, Gong Zaisheng, et al. The material and energy effects of neotectonics/late-stage tectonics and petroleum accumulation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(3): 424-431.
- [27] 郭迎春, 庞雄奇, 陈冬霞, 等. 川西拗陷中段须二段致密砂岩储层致密化与相对优质储层发育机制[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(S2): 21-32.
- Guo Yingchun, Pang Xiongqi, Chen Dongxia, et al. Densification of tight gas sandstones and formation mechanism of relatively high-quality reservoir in the second member of the Xujiahe Formation, Western Sichuan Depression[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(S2): 21-32.
- [28] 尹伟, 郑和荣, 胡宗全, 等. 鄂南地区中生界油气成藏体系划分与富集区预测[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 591-598.
- Yin Wei, Zheng Herong, Hu Zongquan, et al. Mesozoic petroleum accumulation systems and play fairways in southern Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 591-598.
- [29] 肖承钰, 尹伟, 张颖, 等. 鄂尔多斯镇泾地区延长组成藏体系与油气富集模式[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(3): 347-353.
- Xiao Chengyu, Yin Wei, Zhang Ying, et al. Petroleum accumulation systems and oil enrichment patterns of Yanchang Formation in Zhenjing area, southern Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(3): 347-353.
- [30] 张水昌, 张斌, 杨海军, 等. 塔里木盆地喜马拉雅晚期油气藏调整与改造[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(6): 668-680.
- Zhang Shuichang, Zhang Bin, Yang Haijun, et al. Adjustment and alteration of hydrocarbon reservoirs during the late Himala-

- yan period, Tarim Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(6): 668-680.
- [31] 李伟, 朱智鹏, 张海杰. 中西部含油气盆地喜山期强烈隆升剥蚀与大气田的成藏效应[J]. *天然气工业*, 2012, 32(8): 48-55.
Li Wei, Zhu Zhipeng, Zhang Haijie. Relationship between strong uplifting and denudation during the Himalayan epoch and hydrocarbon accumulation effects of large gas fields in the central-western petroliferous basins of China [J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(8): 48-55.
- [32] 姜振学, 庞雄奇, 金之钧, 等. 地层抬升过程中的砂体回弹作用及其油气成藏效应[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2004, 29(4): 420-426.
Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Jin Zhijun, et al. Relationship between pore variation of reservoir and rebounding of sandstone during uplift and its application to the Daqing oilfield [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2004, 29(4): 420-426.
- [33] 刘树根, 李国蓉, 李臣初, 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.
Liu Shugen, Li Guorong, Li Juchu, et al. Fluid cross formation flow and gas explosion accumulation in Western Sichuan Foreland Basin, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(5): 690-699.
- [34] 陈迎宾, 王彦青, 胡焯. 川西坳陷中段侏罗系气藏特征与富集主控因素[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(5): 561-565.
Chen Yingbin, Wang Yanqing, Hu Ye. Characteristics and main factors controlling the Jurassic gas reservoirs in the middle section of the Western Sichuan Depression [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(5): 561-565.
- [35] 叶素娟, 李嵘, 张世华. 川西坳陷中段侏罗系次生气藏地层水化学特征及与油气运聚关系[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(4): 487-494.
Ye Sujuan, Li Rong, Zhang Shihua. Chemical characteristics of Jurassic formation water and its relationship with hydrocarbon migration and accumulation in middle part of Western Sichuan Depression [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(4): 487-494.
- [36] 刘传虎. 准噶尔盆地隐蔽油气藏类型及有利勘探区带[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(1): 304-309.
Liu Chuanhu. Subtle reservoir type and favorable exploration belts in Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(1): 304-309.
- [37] 张善文. 准噶尔盆地盆缘地层不整合油气成藏特征及勘探展望[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(3): 231-237.
Zhang Shanwen. Hydrocarbon accumulation characteristics and exploration prospects of stratigraphic unconformity in basin margin of Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(3): 231-237.
- [38] 刘卫民, 陶柯宇, 高秀伟, 等. 含油气盆地远距离成藏模式与主控因素[J]. *地质论评*, 2015, 61(3): 621-633.
Liu Weimin, Tao Keyu, Gao Xiuwei, et al. Long-distance hydrocarbon migration and accumulation models and key controls in petroliferous basin [J]. *Geological Review*, 2015, 61(3): 621-633.
- [39] 郭辉, 马中远, 张黎, 等. 塔中北坡下志留统柯坪塔格组裂缝发育特征及成藏意义[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(1): 22-27.
Guo Hui, Ma Zhongyuan, Zhang Li, et al. Development characteristics and hydrocarbon accumulation significance of fractures in Lower Silurian Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(1): 22-27.
- [40] 马玉杰, 卓勤功, 杨宪彰, 等. 库车坳陷克拉苏构造带油气动态成藏过程及其勘探启示[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(3): 249-254.
Ma Yujie, Zhuo Qingong, Yang Xianzhang, et al. Petroleum dynamic accumulation process and its implications in Kelasu structural belt, Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(3): 249-254.
- [41] 李萌, 汤良杰, 李宗杰, 等. 走滑断裂特征对油气勘探方向的选择: 以塔中北坡顺1井区为例[J]. *石油实验地质*, 2016, 38(1): 113-121.
Li Meng, Tang Liangjie, Li Zongjie, et al. Fault characteristics and their petroleum geology significance: A case study of well Shun-1 on the northern slope of the central Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016, 38(1): 113-121.
- [42] 杨克明, 朱宏权, 叶军, 等. 川西致密砂岩气藏地质特征[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 181-390.
Yang Keming, Zhu Hongquan, Ye Jun, et al. Geological characteristics of tight sandstone gas reservoirs in Western Sichuan [M]. Beijing: Science Press, 2012: 181-390.
- [43] 杨晓萍, 邹才能, 陶士振, 等. 四川盆地上三叠统一侏罗系含油气系统特征及油气富集规律[J]. *中国石油勘探*, 2005, 10(2): 15-22.
Yang Xiaoping, Zou Caineng, Tao Shizhen, et al. Characteristics of Upper Triassic-Jurassic oil and gas system in Sichuan Basin and oil and gas abundance law [J]. *China Petroleum Exploration*, 2005, 10(2): 15-22.
- [44] 尹伟, 郑和荣, 胡宗全, 等. 鄂南镇泾地区延长组油气富集主控因素及勘探方向[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(2): 159-165.
Yin Wei, Zheng Herong, Hu Zongquan, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation and favorable exploration targets for the Yanchang Formation in Zhenjing area, south Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(2): 159-165.
- [45] 张克银. 川西孝泉—新场地区须家河组四段裂缝分布特征[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(4): 398-404.
Zhang Keyin. Fracture distribution characteristics of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaquan-Xinchang area, western Sichuan [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(4): 398-404.
- [46] 姚泾利, 陈世加, 路俊刚, 等. 鄂尔多斯盆地胡尖山地区长7储层特征及影响因素[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(2): 162-166.
Yao Jingli, Chen Shijia, Lu Jungang, et al. Features and influencing factors of Chang 7 reservoir of Yanchang Formation in Hujianshan area, Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(2): 162-166.