

文章编号:0253-9985(2010)01-0107-07

川西坳陷上三叠统天然气成藏主控因素及形成模式

苏永进^{1,2},唐跃刚¹,张世华³,房新娜⁴

(1. 中国矿业大学,北京 100083; 2. 中国石油化工股份有限公司,北京 100728;

3. 中国石油化工股份有限公司 西南油气分公司 石油勘探开发研究院,四川 成都 610016;

4. 中国石油化工集团公司 石油化工管理干部学院,北京 100012)

摘要:在对川西坳陷上三叠统天然气藏的形成机理及构造演化特征进行分析的基础上,对沉积储层和圈闭发育特征研究,运用成藏动力学的原理和方法,系统归纳川西坳陷上三叠统天然气成藏的主控因素,划分成藏体系并总结形成模式。综合研究认为,川西坳陷上三叠统须家河组具备形成大中型气(田)藏的条件;充足的烃源岩和较高的生气强度、良好的输导条件、适时的古隆起和古斜坡、圈闭发育、大面积分布的巨厚储层、优良的保存封盖条件是控制上三叠统天然气成藏的主要因素;上三叠统包括下部和上部两个成藏体系,下部成藏体系包括高压驱赶和低压吸拉两种天然气成藏模式,上部成藏体系主要以毛细管导入、水溶气运移释放和浮力顺优势通道输导等3种天然气成藏模式为主,不同模式具有不同的成藏动力学机制和不同的分布特征。

关键词:主控因素;成藏体系;成藏动力学模式;天然气藏;上三叠统;川西坳陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Main controlling factors and patterns of gas accumulation in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression

Su Yongjin^{1,2}, Tang Yuegang¹, Zhang Shihua³, and Fang Xinna⁴

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100728, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC Southwest Company, Chengdu, Sichuan 610016, China; 4. SINOPEC Management Institute, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on the analysis of the Upper Triassic structural evolution features in the western Sichuan Depression, a study of sedimentary reservoirs and trap development features is carried out in this paper. By using the theories and methods of pool-forming dynamics, we identify the main controlling factors of gas accumulation, divide plays, and present several pooling patterns. The Upper Triassic Xujiahe Formation in the western Sichuan Depression possesses the conditions for the development of giant or medium-sized gas pool/fields. The main controlling factors of gas accumulation in the Upper Triassic are abundant sources, relatively high gas generation intensity, favorable migration conditions, good timing of paleouplifts and paleoslopes, well-developed traps, widely-distributed thick reservoirs and favorable preservation and sealing conditions. Two plays are recognized in the Upper Triassic, including an upper play and a lower play. The lower one is featured by high pressure driving and low pressure attraction, while the upper one is characterized by capillary imbibition, migration and release of water-soluble gas and transporting by buoyancy through preferential pathways. Different modes have different dynamic mechanisms of pool-forming and different distribution characteristics.

Keywords: main controlling factor, play, dynamic mode of hydrocarbon pooling, gas pool, Upper Triassic, western Sichuan Depression

收稿日期:2009-10-05。

第一作者简介:苏永进(1969—),男,博士、副教授,油气成藏。

基金项目:国家“十五”重点科技攻关项目(2004BA616A-05)。

川西坳陷自晚三叠世由大陆边缘沉积盆地进入前陆盆地阶段以来,在构造活动频繁、被动沉降、快速堆积的背景下形成了上三叠统巨厚的含煤碎屑岩沉积,其多源多期生排烃作用、早期大型隆起带发育和厚大储层、致密超压等特征不仅决定了这是一个富气坳陷,而且决定其成藏机理较为复杂,主控因素和成藏模式多种多样。

1 区域地质概况

1.1 构造演化特征

川西坳陷自晚三叠世开始的演化历史,经历了早期大陆边缘盆地阶段($T_3m-T_3x^3$)、中期前陆盆地阶段($T_3x^4-T_3x^5$)和晚期类前陆盆地和萎缩衰亡阶段(J-K—渐新世),其演化历史基本上受控于龙门山逆冲推覆带的形成和发展^[1,2]。

1.2 沉积储层特征

晚三叠世以来川西地区经历了复杂的多期构造运动,相伴生发育了海相、海陆过渡相、陆相等多种古沉积环境,自下而上充填了马鞍塘组(T_3m)、小塘子组(T_3t)和须家河组(T_3x)3套地层^[3],为西厚东薄、沉积厚度最厚可达4 000 m的含煤碎屑岩层系。

川西坳陷上三叠统气藏主要发育于须家河组。须家河组砂岩类储层十分发育,须四、须二段以其累厚几百米、储层砂岩特别发育而以“储层段”著称^[4]。储层岩石类型多样,主要为岩屑砂岩和岩屑石英砂岩,储集空间类型主要有粒内溶孔、铸模孔、粒间溶孔、粘土晶间孔及残余粒间孔与裂缝等。须家河组储层砂岩的不同特征直接导致了储集性能的差异,影响着不同地区、不同层段天然气的成藏特点。

须二段、须四段中发育的相对优质储层分布范围较广,特别是须四段储层,如在重点勘探区须四段上亚段的多套储层和中亚段、下亚段的部分储层,它们分布范围广、厚度大,与构造圈闭配置关系佳,为形成须家河组规模气藏提供了重要的储集条件。

1.3 圈闭发育特征

针对川西地区“复杂地质目标和复杂地质条件”的客观背景,根据圈闭的成因机制、几何形态和运动学的特征,将川西地区目前已经发现的圈闭划分为3大类14亚类(表1)。这些圈闭的形成、演化与前陆盆地的发展演化息息相关,其分布特征在形成时间上具有分时性,在平面上具有分带性,在层位上具有较好的分层性。

表 1 川西坳陷上三叠统圈闭类型划分方案				
Table 1 Classification of types of traps in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression				
类型			亚类	典型实例
构造圈闭	背斜型	与褶皱作用有关的背斜圈闭	水平挤压 纵弯背斜圈闭	丰谷构造
		与逆冲滑脱作用有关的背斜圈闭	断弯背斜圈闭	大邑构造
			断展背斜圈闭	大园包构造
			断滑背斜圈闭	八角场构造
		与冲断牵引作用有关的背斜圈闭	冲断牵引背斜圈闭	中江- 回龙、马井构造
			背冲背斜圈闭	邛西、五郎泉、合兴场构造
	断层型		断层遮挡圈闭	川合 137 井、唐昌、鸭子河构造
	非构造类圈闭	岩性圈闭	透镜状砂体圈闭	罗江须五、须三气藏圈闭
成岩圈闭			孝泉- 新场- 丰谷须四下亚段气藏圈闭	
地层圈闭		与不整合面有关的地层圈闭		
复合圈闭		断层 + 成岩复合圈闭	高庙子地区须二气藏圈闭	
		背斜 + 成岩 + 岩性复合圈闭	丰谷须四中亚段气藏圈闭	
		背斜 + 裂缝 + 岩性复合圈闭	合兴场须二上部气藏圈闭	
		背斜 + 断层 + 岩性 + 裂缝复合圈闭	新场须二段中、上部气藏圈闭	

2 天然气成藏主控因素

川西坳陷上三叠统经过几十年的勘探,已建成了以须家河组为主要产层的中坝、合兴场、邛西、平落坝、八角场等大中型气田,并且发现了一大批具工业产能的含气构造^[5]。勘探实践表明,川西坳陷上三叠统具备大中型气田的形成条件,其成藏主控因素主要表现为以下几个方面。

2.1 充足的烃源和较高的生气强度

川西坳陷上三叠统是一套以含煤碎屑岩系为主的地层,其中马鞍塘组、小塘子组、须家河组三段和五段为主要烃源岩,此外,在以储集岩为主的须家河组二、四段中夹部分泥页岩也是高效烃源岩。总体上,上三叠统烃源岩厚度大、展布广,有机质丰度高、生气强度高、品质较好,这些烃源岩在地质演化过程中生成了丰富的天然气,为本区须家河组天然气藏的形成提供了必备的气源条件。

2.2 良好的输导条件

川西坳陷上三叠统各段烃源岩巨大的天然气生成量,从晚三叠世须四期时开始陆续排烃,到中侏罗世遂宁期和蓬莱镇期进入排烃高峰^[6]。须家河组尚未致密的区域性储层和断裂裂缝系统、沉积作用变化界面、不整合面等纵横交织,构成了网络状的输导体系,为天然气的运移聚集提供了良好的输导条件。喜马拉雅期形成的晚期断裂裂缝系统为天然气在致密化以后的储层中重新活动、调整运移、最后成藏定型提供了良好的通道和聚集有利部位。

2.3 适时的古隆起和古斜坡

上三叠统须家河组自晚三叠世末开始排烃,在燕山中晚期生、排烃作用达到高峰,与之相适配的隆起带和背斜构造是最有利的富集部位。研究证实,在川西坳陷内存在着3个近北东向的大型隆起带(中坝隆起带、新场-丰谷隆起带、蒲江-彭山隆起带),由于其形成期与油气运移高峰相匹配,称之为适时古隆起。正因为这些适时古隆起的存在,为川西坳陷形成大中型气田提供了聚气带,从而成为大中型气田形成的主要条件,并控制了大中型气田(藏)的展布,目前发现的须家河组

气田(藏)一般都位于古隆起带上或斜坡带上。

2.4 大面积分布的巨厚储层

川西上三叠统须家河组中储层广泛发育,须家河组二、四段在坳陷主体部位的沉积厚度一般约500~800 m,各段沉积最大厚度可达1 000~1 100 m,砂地比60%~98.04%,平均84.38%。须二段和须四段是全区域性分布的、以砂岩为主的储集层,它们不仅是天然气运移的输导层,而且为天然气成藏提供了优良的储集条件。此外,须五、须三段中也有大量的砂岩储层发育。

2.5 优良的封盖保存条件

川西坳陷碎屑岩领域存在4套储盖组合:上侏罗统蓬莱镇组(J_3p)上部泥岩/ J_3p 砂岩、上侏罗统遂宁组(J_3s)泥质岩/中侏罗统上沙溪庙组(J_2s)砂岩、上三叠统须家河组五段(T_3x^5)泥页岩/须家河组四段(T_3x^4)砂岩、须家河组三段(T_3x^3)泥页岩/须家河组二段(T_3x^2)砂岩。其中 J_3p 上部泥岩、 J_3s 泥质岩、 T_3x^5 和 T_3x^3 的泥页岩,它们分布广、厚度大(均超过100 m)、且岩性较稳定,构成了研究区内4套良好的区域盖层。

根据压力系数的分布状况,坳陷内除龙门山前缘地带及坳陷南部因断裂较发育致使原始地层压力难以保持,不能形成压力封盖外,其余大部分地区压力系数一般都在1.5以上,具有很好的压力封盖条件。从新场气田陆相地层纵向压力预测剖面图(图1)可见,上三叠统须家河组内部存在多个高压异常带,如须家河组五段中部、须四段中上部、须二段顶部-须三段底部,这些超高压异常带无疑可以成为天然气成藏的良好封盖层。

以成岩作用为主导的岩石致密化作用,使川西坳陷须家河组地层已整体致密,而成岩作用过程中的不均一性,如岩石的选择性压溶作用,使稳定组分相对富集的部位产生压结式胶结,孔隙和渗透性的丧失比其它部位更趋严重,导致在普遍致密的砂岩中出现了更加致密的、可作为盖层的砂岩。

在川西前陆盆地前缘坳陷区,上三叠统深断裂纵向延伸一般不切穿须家河组五段,多数消失在上三叠统内部。断层性质以压性走滑为主,在活动期均为油气运移或散失通道,但在宁静期间

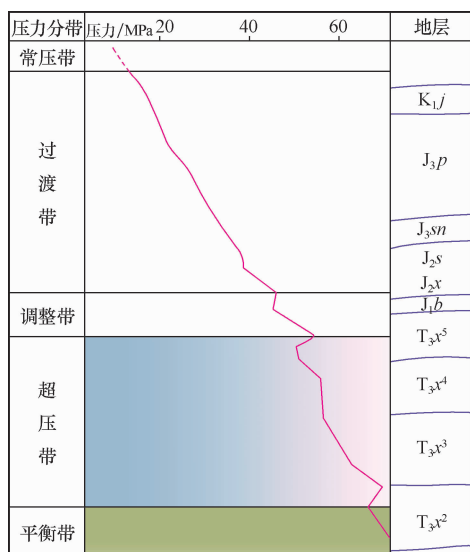


图 1 新场气田三维地震 IN440/CR314 线
预测地层压力剖面

Fig. 1 Formation pressure profile from 3D seismic interpretation of line IN440/CR314 in Xinchang gasfield

那些非通断层视两侧的岩性对接关系和断层泥发育情况也可以成为油气遮挡层,在须家河组内部成为局部含气流体封存箱的边板。

3 成藏体系与成藏模式

关于川西上三叠统天然气成藏的研究,经历了由早期(燕山期成藏)到晚期(喜马拉雅期成藏),由静态到动态(早聚、中封、晚活化)的认识过程^[7,8],形成了整体轮廓性的认识,并有效地指导了本区的天然气勘探。但对于上三叠统成藏体系内部子系统的划分及与之相关的动力学机制、运聚机理及成藏模式的研究显得较为薄弱,难以依据有效的模式寻找新的发现。

根据川西上三叠统烃源岩分布特征、封盖条件、压力状况、疏导条件等因素,将上三叠统的成藏体系划分为下部和上部两个成藏体系(图 2)。

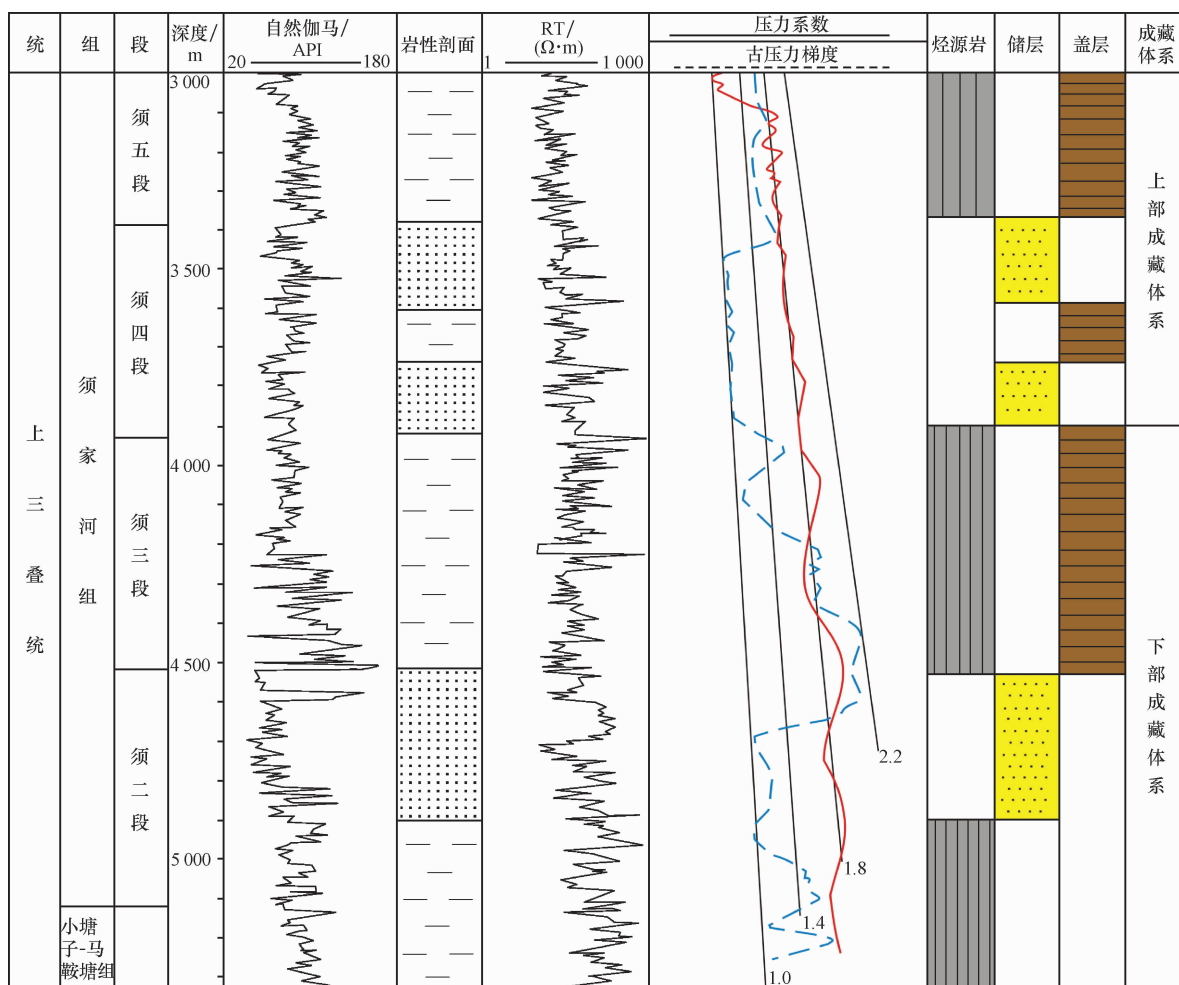


图 2 川西坳陷上三叠统成藏体系划分(据川合 100 井)

Fig. 2 Division of plays in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression

3.1 下部成藏体系

主要包括马鞍塘组、小塘子组、须二及须三段。系统内具备完整的底板和顶板封盖面,分别为小塘子组和须三段泥岩。海陆过渡相的马鞍塘组、小塘子组是该系统的主要烃源岩,同时须二段内部所夹的湖沼相的泥页岩也具有一定的生烃潜力。系统内的压力系数在坳陷区为1.8~2.2,为异常高压;在山前带一般为1.0~1.2,表现为正常压力。下部成藏体系主要包括两种类型成藏模式(图3)。

3.1.1 高压驱赶运聚成藏模式

由于构造运动的影响,在构造高部位产生了大量的断裂及裂缝,使得构造高部位的压力降低,同时也大大改善了致密性储层的储集空间,形成了良好的孔隙-裂缝型储层。由于高部位势能的降低及储集空间的扩大,高势区的天然气被驱赶至低势的构造高部位,形成了天然气富集。晚期构造运动形成的断裂及裂缝所产生的势能差是导致天然气驱赶汇聚的关键,同时“断而未破”是天然气富集的源泉。

平面上主要分布于川西坳陷中部的高压力分布区及川中过渡的斜坡带上;纵向上主要分布在下部成藏体系内断背斜的上部。典型实例为新851井须二气藏^[9]。

3.1.2 低压吸拉运聚成藏模式

紧邻生烃中心的山前构造带,具备丰富的天然气供给能力;早期高压,后期构造运动强度适中,发育的断层将封存箱顶板断开,但未断通地表,此时,系统内的高压流体均衡释放,导致系统内形成相对的低压,对邻区的天然气产生巨大的吸拉作用,一方面在系统内的高部位聚集成藏,另一方面在箱外的合适圈闭内聚集成藏,构成了上下叠置的复式天然气藏。开启的断裂、挤压构造的虚脱及地层剥蚀减压是天然气动态聚集成藏的关键。

在平面上主要分布于盆地有效源区内的山前构造带上,如平落坝、邛西、中坝等气田;纵向上主要分布在下部成藏体系的构造部位。典型实例为平落坝气田须二气藏^[10]。

3.2 上部成藏体系

主要包括须四及须五段。下部成藏体系的须三段既是下部成藏体系的顶板,又可作为上部成藏体系的底板,同时也为本系统提供了丰富的气源,顶板为须五段湖沼相的泥页岩。系统内压力系数1.8左右,属于异常高压。上部成藏体系主要存在3种天然气成藏模式(图3)。

3.2.1 毛细管导入天然气聚集成藏模式

被烃源岩所包围的砂体,具有“近水楼台先得月”的优势,所以,被烃源岩所包裹的砂体往往都有油气聚集,这已被大量的勘探开发实践所证实^[11]。大小孔隙间的毛管压力差对天然气的运移形成了一种导入力,这种导入的方向是从小孔隙到大孔隙,从客观上可以认为是从烃源岩进入孔隙性砂岩。同时,由于水在地层中运移不受毛管阻力的影响,故在高压气源驱替作用下,易于进入小的孔喉,完成水的置换。即使砂体内部毛管半径大小不一,但由于毛细管压力差的存在,天然气不断进入砂体中,砂体中的孔隙水不断被替换出,直到砂体被天然气饱和为止,也就完成了天然气与水的替换过程。

主要分布于烃源岩发育的须三、须五段三角洲前缘及前三三角洲砂体内。典型实例为罗江须五气藏。

3.2.2 水溶气运移释放天然气成藏模式

受构造隆升作用的影响,早期圈闭中富集的水溶气由于温度压力的降低,溶解度下降,必然大量脱溶,使游离气饱和度逼近、达到临界值,局部地区出现游离相天然气是很自然的现象。此外,脱气作用也能在其它情况下发生,如地下水向上流动,因压力降低,使天然气脱溶出来;地下水区域泄水面下降,可以造成隆起部位含水层中的气体释出;温度变化引起脱溶等。

主要分布在生烃中心附近低缓斜坡带上。典型实例为新882井须四气藏。

3.2.3 浮力顺优势通道输导天然气成藏模式

在地层条件下,油气等流体必然是沿着渗透率最大、毛细管阻力最小的通道运移。川西坳陷

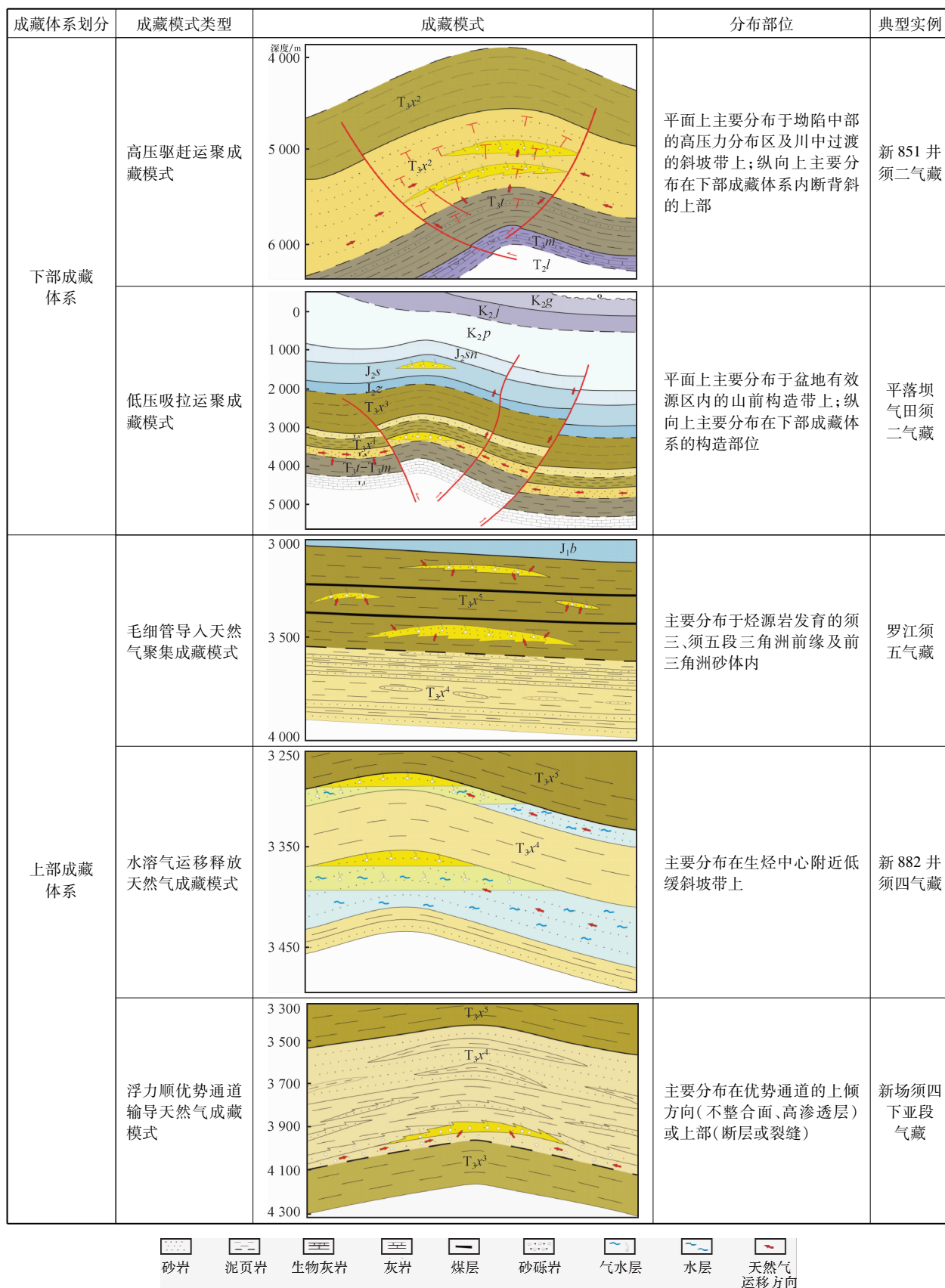


图 3 川西坳陷上三叠统成藏模式

Fig. 3 Gas accumulation modes in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression

须家河组的须四段和须二段,是厚度大、区域性的孔隙性砂体,是最重要的油气运载层。优势通道(断层或裂缝、不整合面、高渗透层)类型与品质控制着不同类型的天然气成藏,位于优势通道之上的有效圈闭的存在是成藏的关键。

主要分布在优势通道的上倾方向(不整合面、高渗透层)或上部(断层或裂缝)。典型实例为新场须四下亚段气藏。

4 结论

1) 川西上三叠统须家河组具备形成大中型气(田)藏的条件,成藏主控因素是:具有充足的烃源和较高的生气强度,良好的输导条件,适时的古隆起和古斜坡,圈闭发育,大面积分布的巨厚储层,优良的保存封盖条件。

2) 根据川西上三叠统烃源岩分布特征、封盖条件、压力状况、输导条件等因素,将上三叠统的成藏体系划分为下部和上部两种成藏体系。在成藏体系内部,由于成藏动力、成藏机理、压力分布状况、输导体系、封盖条件、构造背景及开发现状的不同,其成藏模式也存在一定的差别。下部成藏体系主要包括高压驱赶天然气成藏模式和低压吸拉天然气成藏模式两种类型,而上部成藏体系主要以毛细管导入天然气聚集成藏模式、水溶气运移释放天然气成藏模式、浮力顺优势通道输导天然气成藏模式为主。

3) 在深入剖析各种模式的成藏背景、成藏机理及主控因素的前提下,认为各种模式的发育具有一定的分布规律。高压驱赶运聚成藏模式在平面上主要分布于川西坳陷中部的高压力分布区及川中过渡的斜坡带上,纵向上主要分布在下部成藏体系断背斜的上部;低压吸拉运聚成藏

模式在平面上主要分布于盆地有效源区内的山前构造带上,纵向上主要分布在下部成藏体系的构造带;毛细管导入天然气聚集成藏模式主要分布于烃源岩发育的须三、须五段三角洲前缘及前三角洲砂体内;水溶气运移释放天然气成藏模式主要分布在生烃中心附近低缓斜坡带上;浮力顺优势通道输导天然气成藏模式主要分布在优势通道的上倾方向(不整合面、高渗透层)或上部(断层或裂缝)。

参 考 文 献

- 1 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996
- 2 刘池洋,赵红格,杨兴科,等. 前陆盆地及其确定和研究[J]. 石油与天然气地质,2002,23(4):307~314
- 3 许效松,刘宝珺,赵玉光,等. 上扬子西缘二叠纪—三叠纪层序地层与盆地转换耦合[M]. 北京:地质出版社,1997
- 4 叶泰然,郑荣才. 川西坳陷须二段层序地层特征及储层预测[J]. 天然气工业,2005,24(11):45~48
- 5 杨克明,叶军,吕正祥. 川西坳陷上三叠统须家河组天然气分布及成藏特征[J]. 石油与天然气地质,2004,25(5):501~505
- 6 杨克明,叶军,吕正祥. 川西坳陷上三叠统成藏年代学特征[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):208~213
- 7 刘树根,徐国盛,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
- 8 徐国盛,刘树根,李仲东,等. 四川盆地天然气成藏动力学[M]. 北京:地质出版社,2005
- 9 叶军. 川西新场851井深部气藏形成机制研究——X851井高产工业气流的发现及其意义[J]. 天然气工业,2001,21(4):16~20
- 10 兰大樵,邱宗恬. 川西坳陷平落坝气田须二段气藏成藏研究[J]. 石油勘探与开发,2002,29(3):8~10
- 11 陈冬霞,庞雄奇,姜振学. 透镜体油气成藏机理研究现状与发展趋势[J]. 地球科学进展,2002,17(6):871~876

(编辑 陈喜禄)