

文章编号: 0253-9985(2004)05-0501-05

川西坳陷上三叠统须家河组 天然气分布及成藏特征

杨克明^{1,2}, 叶军¹, 吕正祥^{1,2}

(1. 中国石化西南石油分公司, 四川成都 610081; 2. 成都理工大学能源系, 四川成都 610081)

摘要: 川西坳陷自晚三叠世以来, 经历了印支-燕山-喜马拉雅多期构造运动, 导致了上三叠统须家河组岩石物性、构造特征、流体性质和地压场的多期次变化, 油气运移聚集经多次反复而成藏。川西坳陷上三叠统须家河组天然气富集带环绕彭灌生烃凹陷, 在其东、西、北坡呈马蹄形分布, 显裂缝系统构成天然气自然渗流的重要通道, 天然气藏主要聚集在以早期构造为基础的各种复合圈闭中。综合源岩生排烃期-储层致密化期-流体充注储层时期-圈闭形成期的分析, 川西坳陷上三叠统的原生气藏成藏期为印支中晚期-燕山中晚期。晚白垩世以后, 储层整体致密化, 烃源岩生排烃高峰期结束, 油气被致密化作用所“封存”。喜马拉雅运动使区内产生强烈形变, 主要表现为裂缝对早期致密化“封存”油气的活化作用。因此, 川西坳陷上三叠统须家河组天然气的成藏特征: 早期“古构造”是天然气藏聚集的基础; 中期“致密化封存”是天然气保存的条件; 晚期“裂缝活化”是天然气富集的关键。

关键词: 川西; 上三叠统; 天然气; 成藏特征

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Characteristics of gas distribution and reservoiring in Upper Triassic Xujiahe Formation in Western Sichuan depression

Yang Keming^{1,2}, Ye Jun¹, Lu Zhengxiang^{1,2}

(1. Southwest Petroleum Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan;

2. Dept. of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan)

Abstract: Since Late Triassic, Western Sichuan depression has experienced Indosinian, Yanshanian and Himalayan movements, leading to the multi-stage changes of poroperm characteristics, structural features, fluid properties and geopressure fields, as well as reservoiring through repeated migration and accumulation of hydrocarbons. Gas in Upper Triassic Xujiahe Formation in Western Sichuan depression has been accumulated around the Pengguan hydrocarbon-generating sag, and distributed in the eastern, western and northern slopes of the sag. Distinct fracture systems have acted as the key pathways of natural seeping of gas. Gas has mainly accumulated in various composite traps formed on the basis of early structures. Comprehensive analysis of hydrocarbon generation and expulsion stages, reservoir compaction stage, fluid charging stage and trap forming stage shows that the original gas reservoirs in the Upper Triassic in Western Sichuan depression have been formed in middle-late Indosinian to middle-late Yanshanian. Since Late Cretaceous, the whole reservoirs have been compacted, peak of hydrocarbon generation and expulsion has finished, and hydrocarbons have been “sealed up” as a result of the compaction. This area has been strongly deformed by Himalayan movement and the hydrocarbons “sealed up” during the earlier compaction have been reactivated by the fractures. Therefore, the reservoiring of gas in Upper Triassic Xujiahe Formation of in Western Sichuan depression are characterized by the early “palaeo-structures” to be the basis of gas accumulation, intermediate “compaction seal-up” to be the condition of gas preservation, and the late “fracture activation” to be the key to gas enrichment.

基金项目: “十五”国家重点科技攻关项目: 川西坳陷天然气勘探开发关键技术研究(2001BA-605-05)

第一作者简介: 杨克明, 男, 49岁, 教授级高级工程师, 石油与天然气地质

收稿日期: 2004-06-18

Key words: Western Sichuan; Upper Triassic; natural gas; reservoiring characteristics

川西坳陷深层须家河组经历了印支、燕山和喜马拉雅多期构造运动,导致了上三叠统须家河组岩石物性、构造特征、流体性质和地压场的多期次变化,如何解决须家河组油气藏的形成过程和分布问题,对于高效地发现深层天然气资源具有非常重要的意义。有关川西坳陷上三叠统须家河组的成藏问题,许多学者都进行过研究,形成的认识主要有“早期说(燕山期成藏)^[1]”、“晚期说(喜山期成藏)^[1]”、“深盆地^[2,3]”、“早聚晚藏^[4,5]”等。本文依托“十五”国家重点科技攻关项目*的研究,提出了川西上三叠统天然气经历了“早聚、中封、晚活化”递进动态成藏过程的理论认识。

1 年代

川西坳陷上三叠统具有如下成藏年代学特征*。

(1) 川西坳陷上三叠统烃源岩的主要生气排烃期自须家河组四段(以下简称须四段)沉积开始,结束于晚白垩世(图1)。

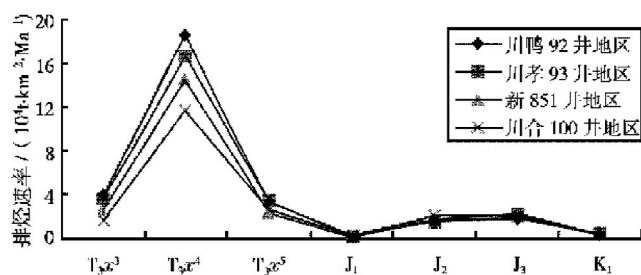


图1 须家河组源岩排烃速率图

Fig. 1 Diagram showing rate of hydrocarbon expulsion from source rocks in Xujiahe Formation

(2) 川西坳陷中部须家河组储层致密化的成岩作用主要是机械压实和自生矿物的充填作用。自生矿物充填作用一是次生石英的破坏作用,二是碳酸盐胶结物的破坏作用。须家河组储层整体致密化时期完成于燕山晚期,与生排烃作用时期同步。须家河组二段(以下简称须二段)储层整体致密化时期为上沙溪庙期末—蓬莱镇末期,即燕山早期晚时—燕山中期;须四段储层整体致密化

时期为晚侏罗世—晚白垩世,在局部地区由于次生溶蚀作用改造强烈,现今仍然发育良好孔隙性储层(如孝泉、新场)。

(3) 流体化石证据的研究表明,烃源岩主要生排烃时期都有天然气持续注入储层。上三叠统须二段的主要运聚成藏时期为须四段沉积末期—中侏罗世末期。

(4) 川西坳陷从须家河组三段(以下简称须三段)沉积期末的安县运动就有圈闭形成,继承性发展的早、晚期叠合构造十分发育,与生、排烃作用同步形成了三排燕山期大型古隆起**;此外,在隆起带斜坡和坳陷斜坡带也分布有大量的地层型及岩性型圈闭。

综合源岩生排烃期—储层致密化期—流体充注储层时期—圈闭形成期确定川西坳陷上三叠统的原生气藏成藏期为印支中晚期—燕山中晚期(图2)。晚白垩世以后,储层整体致密化,烃源岩生排烃高峰期结束,油气被致密化作用封存。喜马拉雅运动使区内产生强烈形变,表现为裂缝对早期致密化封存油气的活化作用。

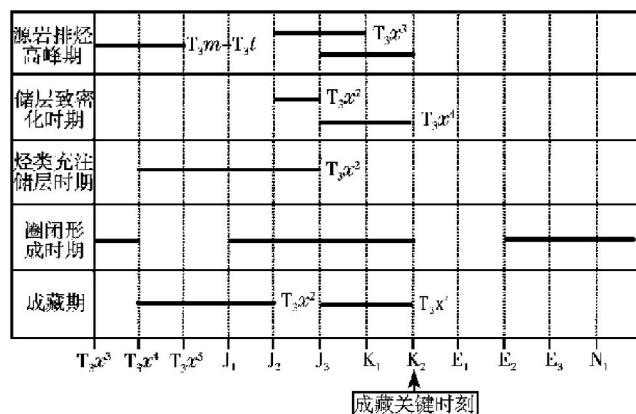


图2 川西上三叠统成藏年代图

Fig. 2 Diagram showing reservoiring chronology of Upper Triassic in Western Sichuan depression

2 分布

(1) 天然气呈马蹄形环彭灌生烃凹陷分布。川西中段马蹄形天然气富集带由龙门山推覆带中

* 杨克明,唐宇,李书兵,等.四川盆地西部低渗透气藏勘探开发关键技术研究.“十五”国家重点科技攻关课题成果报告,2003

** 安凤山,梁恩宇.四川盆地西部碎屑岩领域天然气富集规律及大中型气田预测与评价.“八五”国家重点科技攻关一级专题成果报告,1995

3.1 “早聚”

前述成藏年代学特征研究表明,大量生气与排烃作用完成于燕山中晚期。因此,圈闭有效性决定了圈闭的形成期必须早于或同步形成于生排烃高峰期。印支-燕山期构造运动在川西坳陷形成了数个大型隆起和局部构造,为天然气的聚集提供了重要场所。勘探实践证明,目前发现的气田(藏)多位于燕山期古隆起或斜坡带上,含气圈闭多为以古构造为基础的构造-岩性复合圈闭,充分证实了古构造是川西上三叠统天然气藏形成的基础。

喜山期构造运动在四川盆地形成了大量的背斜构造,并掩盖和改造了早期构造运动中产生的局部构造形态。就天然气分布与现今构造的关系而言,控气作用并不明显,气层分布与今构造圈闭无关的实例频频可见。如在柘坝场、文兴场、九龙山、汉王场、老关庙、新场、平落坝等构造圈闭之外都发现了工业性气井^{*,**}。如:文兴场构造圈闭之外的文10井,须二段底部日产气 $2.55 \times 10^4 \text{ m}^3$,产气层比最低构造圈闭线低100 m;老关庙构造的关2井在构造圈闭以外,须四段日产天然气 $11 \times 10^4 \text{ m}^3$;柘坝场构造柘3井在构造圈闭之外,产气层比最低圈闭线低65 m,测试日产气 $59.31 \times 10^4 \text{ m}^3$;柘4井远离背斜圈闭,测试日产气 $2.59 \times 10^4 \text{ m}^3$;汉王场构造的气层分布也与背斜构造高部位无关,构造低部位产气;无背斜圈闭的川西坳陷东坡上钻的川97井曾发生强烈井喷;平落坝香溪组二段气藏所钻12口井均未见水,构造闭合度590 m,而气藏高度719 m,产气层比最低圈闭线低129 m;新场构造851井须二产气层比须二构造最低闭合线低120 m。

这些气藏的原生气藏聚集类型多是早期构造圈闭,与现今构造圈闭不符是因早期圈闭的油气由于储层致密化原因而未能随晚期构造重新调整之故。

川西坳陷上三叠统在喜山运动以前整体以被动沉降为主,烃类持续生成,燕山中晚期须家河组一、三、五段生排烃作用达到高峰,与此同时须二、须四段砂岩致密化持续进行,部分地区的层段先后进入致密化阶段,但截止晚侏罗世末(131 Ma),上三叠统大部分砂岩整体致密化作用才完成,在

此之前天然气能够进行常规运移和正常的重力分异,因此,这一阶段天然气按常规油气藏差异聚集原理富集,形成燕山期古隆起有利的油气富集区,以常规背斜圈闭聚集为主(可能有部分非背斜圈闭)的天然气藏。

3.2 “中封”

晚白垩世后,生排烃高峰结束,上三叠统整体处于致密化阶段。白垩纪末-古新世-始新世,天然气通过输导层进行规模运移变得困难,基质渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \text{ mD}$,早期形成的原生气藏被岩石致密化“封存”,天然气活动处于受限状态。致密化作用虽然破坏了储层品质,但是却有效地保存了上三叠统巨大的天然气资源。尽管川西坳陷深层在经历了喜山期大幅度构造抬升和剥蚀以后,仍然发现了大量气田(藏)及单井日产量达数百万立方米的高产气井,正是储层致密化“封存”对天然气起了重要的保存作用。

(1) 储层致密化以后,地层水体大量减少,流体活动微弱,循环基本停止,由水体造成的各种天然气破坏程度减小到最低。

(2) 据张义纲等人^[10]通过数学模拟计算,川西坳陷上三叠统须四段经过124 Ma,其扩散前锋尚不能够穿越侏罗系顶面。岩石致密化降低了天然气扩散效率。

(3) 储层致密化使得断裂破坏作用程度大大降低。在常规储层中,凡与通天断裂沟通的气藏,储层中的天然气将沿破裂带运移到地表而遭受彻底破坏。而致密储层天然气由于其致密化“封存”作用,极大地降低了通天断裂的破坏作用,仅是位于断裂破碎带附近的天然气遭受破坏,气藏主体仍然保存完好,如邛西气田、鸭子河含气构造。

(4) 川西坳陷上三叠统天然气组分碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_1$ 一般为 $-3.030\% \sim -3.457\%$, $\delta^{13}\text{C}_2$ 一般为 $-2.14\% \sim -2.71\%$,显示了腐殖型热解气特征^[11]。迄今为止,尚未发现川西坳陷存在细菌生化降解气和水洗作用,表明致密化“封存”对气藏起到了良好的保存作用。

(5) 储层致密化以后有利于气层能量的保存,如新851井由于产层能力高,估算的采气指数高达 $1.87 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{MPa}$,采气一年之后,无阻流量增加了2.2倍。

* 邓康龄. 从川西勘探成果看孝泉-新场地区须家河组勘探前景. 中国石化西南分公司深层勘探研讨会材料, 2002

** 安凤山. 川西地区须家河组成藏机制探讨. 中国石化西南分公司深层勘探研讨会材料, 2002

3.3 “晚活化”

第三纪发生的喜山运动使川西坳陷隆升幅度最大超过 2 000 m, 上三叠统生烃作用停止或很微弱, 在强烈的构造挤压应力作用下, 早期形成的油气圈闭经历了复杂的叠加和改造变形, 温压条件改变导致地层水离子浓度变化, 引发成岩后生作用异常强烈, 储层更加致密。除了早期裂缝, 各种类型的新裂缝应运而生。部分断裂系统发育的地区, 早期富集的油气经断裂和裂缝的开启, 发生再次运移, 形成次生气藏。在多数地区, 早期形成的常规气藏若无断裂的破坏或抬升暴露, 其构造形态虽然发生了变化, 但因储层致密和超致密, 油气不可能发生大规模的再次运移和重新聚集。因此, 在喜山期构造运动中, 主要是油气藏形态受到了一定程度的改造: 有的气藏由原背斜高点部位改变为低点部位或翼部、有的气藏气水界面被掀斜、有的气藏由统一气藏被成岩作用肢解成若干储渗体, 多数气藏超越了现今构造圈闭的范围, 气藏形态很不规则。油气圈闭由早期的常规圈闭经历了强烈的改造, 而变得更加复杂, 也更增加了气藏勘探的难度。

始新世末发生的喜山期构造运动, 使上三叠统储层在强烈的构造挤压应力作用下进一步致密化的同时, 其较强的应力作用也形成了大量的断裂和裂缝, 断裂系统又极大地改善了储层渗透性能, 使原已封存的原生气藏“活化”, 恢复气藏的渗流能力, 而具备商业开采价值。其中需要强调的是岩石致密化利于超高压的保持, 进而使岩石骨架应力降低, 也易于形成微破裂及裂缝系统。因此, 存在于有效圈闭中的裂缝系统是天然气高产富集的部位。这些与晚期裂缝系统相关的“封存”气藏的“复活”, 以及天然气调整、运移、聚集作用被称之为晚期“裂缝活化”作用, 可见, 对于多期构造运动作用的致密-超致密砂岩气藏, 晚期“裂缝

活化”是天然气富集的关键。

4 结论

(1) 须家河组原生气藏成藏期为印支中晚期(T_3x^4 末)至燕山中晚期(K_2 末)。

(2) 须家河组天然气围绕生烃中心呈马蹄形展布; 天然气主要聚集在以早期构造为基础的各种复合圈闭中; 显裂缝系统是天然气自然渗流的重要通道。

(3) 在多期构造作用下, 川西坳陷上三叠统的天然气成藏特征表现为: 早期“古构造”是天然气藏聚集的基础, 中期“致密化封存”是天然气保存的条件, 晚期“裂缝活化”是天然气富集的关键。

参 考 文 献

- 1 青永固, 罗代富, 岳绍东, 等. 西南石油局志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002. 132~ 147
- 2 宋岩, 洪峰. 四川盆地川西坳陷深盆地地质条件分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 11~ 14
- 3 张金亮, 常向春. 四川盆地上三叠统深盆地研究[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 29~ 33
- 4 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
- 5 王金琪. 川西坳陷须家河组气藏再认识[J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 1~ 6
- 6 杨克明. 川西坳陷油气资源现状及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 322~ 326
- 7 吴世祥, 汪泽成, 罗启后, 等. 川西前陆盆地勘探思路分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 210~ 216
- 8 谢泽华. 天然气成藏模式与勘探方法: 以川西天然气为例[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 144~ 147
- 9 刘树根, Arne D. 川西前陆盆地的“四川运动”及与油气的关系[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 376~ 281
- 10 张义纲. 天然气的生成聚集和保存[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991. 8
- 11 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

更 正

在 2004 年第 4 期李舟波教授的论文“利用测井方法识别复杂油气储层的流体性质”中, 图 2 和图 3 的位置颠倒了, 应将图 2, 图 3 的图面互换, 特此更正。

《石油与天然气地质》编辑部