

川西地区上三叠统天然气成藏主控因素及勘探方向

裴森奇 李跃纲 张本健 王维 杨毅

中国石油西南油气田公司川西北气矿

裴森奇等.川西地区上三叠统天然气成藏主控因素及勘探方向.天然气工业,2012,32(10):6-9.

摘要 四川盆地川西地区前陆盆地上三叠统沉积巨厚,发育了多套自生自储的天然气成藏系统。为了弄清该区天然气成藏的主控因素、寻找下一步油气勘探的方向,在分析天然气成藏条件的基础上,结合区域构造、油气演化的时空配置,探讨了油气运聚成藏机制及其主控因素。结果表明:川西上三叠统烃源岩层厚度大、有机碳含量高、生烃强度大,具有有利的天然气成藏条件;有效时空配置是成藏的关键,生烃强度控制气藏丰度,古今构造叠置决定气藏品质,大断裂控制气藏改造、重组和充满度。进而指出下一步的勘探方向:川西地区南部以勘探常压、构造圈闭型气藏为主,其中川西南部三和①号断层下盘的老君山和邛西①号断层下盘的桑园等构造应为构造圈闭气藏的首选目标;川西地区北部以勘探超压、岩性气藏为主,其中地层上倾方向的梓潼凹陷—九龙山构造之间的剑门—龙岗地区是岩性气藏勘探的重要领域。

关键词 四川盆地 川西前陆盆地 晚三叠世 气藏类型 成藏条件 成藏机制 主控因素 勘探区

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2012.10.002

1 地质背景及勘探简况

中生代以来,四川盆地的地壳运动发生了质的变化,由晚古生代至中生代早期的拉张运动,向挤压褶皱运动发展,从被动大陆边缘盆地沉积转化为龙门山山前推覆作用的前陆盆地发展历史,沉积了上三叠统须家河组巨厚的含煤碎屑岩地层,在绵竹金河厚逾4 200 m,向盆内减薄。纵向上可六分,其中须一、须三、须五段以泥页岩为主夹薄煤层,是主要的烃源岩层,须二、须四、须六段是以砂岩为主的储集层。

川西地区须家河组的油气钻探始于1977年1月14日中坝构造中4井,该井在须二段获高产气流,无阻流量达 $124.67 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;迄今为止,川西地区以须家河组为目的层的勘探,已钻33个构造,其中有23个构造钻获工业气井,构造钻探成功率为69.7%;共发现42个气藏,已探明气藏5个(指已获国家储委审批),其中平落坝、邛西和中坝等3个须二段气藏为中丰度、中型储量的整装气藏。

2 天然气成藏条件

2.1 烃源条件

晚三叠世,川西前陆盆地为前渊拗陷充填的一套海陆交互—陆相的含煤碎屑岩建造,是四川盆地最富特色的成烃系统。

1)须家河组烃源岩层段多、厚度大、分布广:须一、须三、须五段是主要的烃源岩,以黑色泥岩、碳质泥岩为主,夹煤层,须家河组在前渊带沉积巨厚,介于700~4 200 m,烃源岩厚度占地层总厚的30%~40%,并以雅安—绵阳一带为最厚(介于800~1 000 m),煤层厚度介于5~15 m,其中平落4井为23 m,白马庙达40 m。

2)烃源岩品质好,有机碳含量高:TOC主要分布在0.25%~6.50%,最高可超过10%,平均为2.43%,甚至须二、须四段大套砂岩中夹的页岩的TOC也介于2.98%~4.31%;煤层有机碳含量一般大于35%,泥质岩有机碳含量远高于四川盆地其他时代的烃源岩。

3)生烃强度大,天然气资源量丰富;川西地区须家河组生烃强度最高可达 $200 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 以上(据罗启后、王世谦等,1995)。生烃中心在彭州—都江堰一带,具有与上三叠统地层厚度变化趋势相一致的“贝壳状”分布,向东、向北、向南逐渐降低,目前发现的气藏都分布在生烃强度介于 $15 \times 10^8 \sim 150 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的区域(图1);据四川盆地第三次油气资源评价结果(陈绥祖,1993),川西地区须家河组潜在天然气资源量占全盆地天然气资源总量的 49.2%。

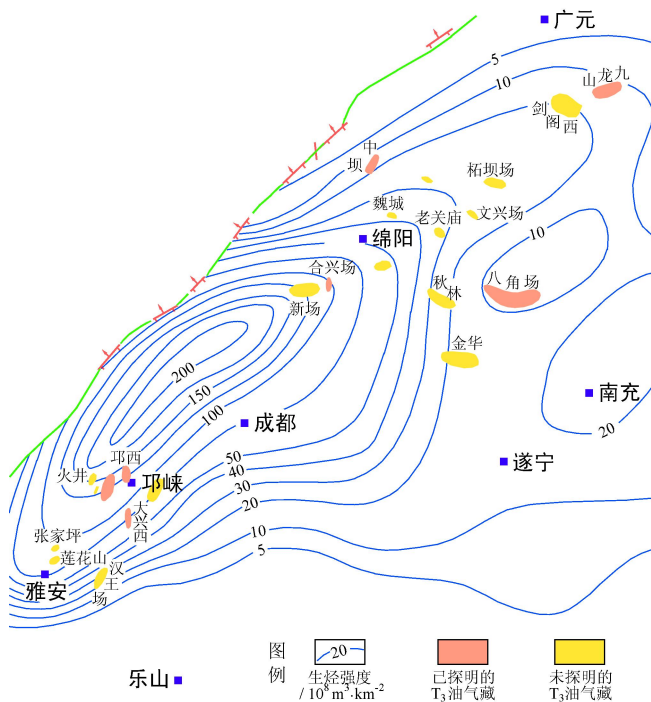


图1 川西地区前陆盆地上三叠统生烃强度及油气藏分布图

2.2 储层条件

须二、须四—须六段的厚层、块状砂岩是主要储层,多为中、细粒长石岩屑砂岩、长石石英砂岩和岩屑石英砂岩,有利沉积微相为三角洲前缘河口砂坝、三角洲平原河道砂体。储集空间以粒间、粒内溶孔和微裂缝为主,次为杂基溶孔及少量残余粒间孔。岩心实测须家河组储层孔隙度主要介于 2%~8%,平均渗透率介于 0.001~1 mD,为低孔隙度、低渗透率、强非均质性的裂缝—孔隙型储层,其有效性取决于岩石喉道大小和裂缝发育程度及其匹配关系。

2.3 圈闭条件

川西地区已经发现 49 个构造圈闭,闭合面积一般介于 $10 \sim 60 \text{ km}^2$,圈闭的闭合高度一般介于 100~400 m,少数达 935 m。相比较而言,川西南部的构造闭合面积较大、幅度较高、断裂发育。

2.4 油气运移的输导条件和动力条件

断层、储层和不整合面是油气二次运移的主要通道。须二、须四、须六段砂岩厚度大、分布广,并与上、下烃源岩呈互层式接触,构成了油气二次运移的主要输导层。川西南部褶皱强度大,断裂发育,因此断层、裂缝是油气运聚的重要通道。川西北部大断层不发育,褶皱强度弱,储层致密化后,排流不畅,油气运聚主要靠浮力和裂缝。

3 气藏类型与成藏

晚三叠世川西前陆盆地须家河组气藏近源聚集,自生自储特征明显,纵向上各个层段均有气藏发现(表1),故大致可分为 5~6 套成藏组合。各区带因前陆盆地结构单元、充填强弱以及构造应力大小的不同,其成藏机制、成藏类型也各不相同。油气藏类型,国内外从不同角度有不同的分类方案,本文从勘探、开发生产的实用出发,对川西地区已发现的 42 个气藏(未包括中石化的,下同),以圈闭类型为主,划分为以下 3 类(表1)。由表 1 可知:

1)气藏分布层位从须一段至须五段均有,皆可构成完整的生、储、盖组合,自成压力系统、独自成藏。其中须二段发现气藏 22 个,占气藏总数的 52.4%,次为须四、须三段气藏,分别占气藏总数的 19% 和 16.7%,即便是传统意义上的须一段烃源岩,近期在须一段马鞍塘组海相碳酸盐岩储层中也已获 2 口工业气井,其中川科 1 井气产量高达 $86.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2)从构造分区来看,气藏主要分布在川西北部。北部已发现 26 个气藏(含中坝须二上亚段气藏),占气藏总数的 61.9%,而南部则仅有 16 个,占气藏总数的 38.1%。

3)从气藏压力系数分布看,川西北部 27 个须家河组气藏的压力系数均大于 1.6,全为高压、超高压气藏。

4)气藏圈闭类型“三分天下”,即构造圈闭气藏 13 个,构造—岩性圈闭气藏 14 个,岩性圈闭气藏 15 个。其中,构造圈闭气藏从层位上看,除平落坝须四段气藏以外,另 12 个均分布在须二段;从压力系数看,除九龙山须二下亚段为高压气藏以外,其余 12 个气藏的压力系数均介于 0.98~1.25,均为常压气藏;从构造分区来看,除中坝位于龙门山北段前缘带、九龙山位于川西北部以外,其余 11 个构造圈闭气藏均分布于川西南部。南部地区地应力大,褶皱强,断裂发育;此类气藏多与断层相伴,特别是中坝、平落坝、邛西 3 个探明储量大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的中丰度(大于 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{km}^2$)气藏,均与背冲式逆断层上拱部分紧密相关。即 100

表 1 川西地区须家河组气藏分布、压力及类型统计表¹⁾

气藏位置	气藏压力	圈闭类型	储层层位	气藏名称
川西南 部	常压 气藏	岩性	须二、须三、须五段	白马庙须二、须三 ²⁾ 、须五 ²⁾ 段及莲花山须三段等 4 个气藏
		构造—岩性	须五段	汉王北
		构造	须二段	平落坝、邛西、大兴西、大兴场、汉王场、火井、莲花山、张家坪、油榨西、灌口
			须四段	平落坝
龙门山北段 前缘带			须二上亚段	中坝
川西 北部	超压 气藏	构造	须二下亚段	九龙山
		构造—岩性	须四段	魏城、丰谷镇、老关庙、文兴场、柘坝场、黎雅庙
			须三段	中坝、九龙山
			须二上亚段	文兴场、老关庙、富顺场、黎雅庙、九龙山
		岩性	须五段	文兴场、思依场
			须四段	剑门—龙岗
			须三段	文兴场、柘坝场、白龙场、剑门—龙岗
			须二上亚段	丰谷镇、柘坝场、剑门—龙岗
须二下亚段	剑门—龙岗			

注:1)此表未包括中石化的须家河组气藏;2)指白马庙须三、须五段气藏,应归属高压气藏

~350 m 巨厚的须二段砂岩体,为构造圈闭气藏奠定了储层基础,喜山期的断褶,是该类气藏形成的关键要素。

岩性圈闭和构造—岩性圈闭气藏,从本质上讲二者都主要受岩性控制,仅因后者是产生在构造背景上。这两类气藏共同特征是压力系数高,主要受沉积环境和岩性控制,多形成于川西北部“泥包砂”沉积体系的须三、须五段砂岩储渗体中。

4 气藏主控因素分析

众所周知,油气成藏过程中生、储、盖、运、聚、保是必要的基本条件,对川西须家河组气藏而言,储层致密化时间早,多数圈闭形成晚,气藏类型多种多样,不同类型的气藏其形成机理和主控条件也各不相同。气藏形成的主控因素如下。

4.1 有效时空配置是成藏的关键

前人已达成共识,川西地区须家河组生烃高峰在燕山中、晚期,丰富的烃源进入砂岩后,因浮力和压差的作用尚较活跃,在燕山期古隆起和大斜坡上方进行区域聚集,或在局部构造和地层岩性遮挡条件下适时成藏。储层厚而圈闭大者能集聚巨大的储量,并能进行气水分异。燕山晚末期砂岩已完全致密化,流体运移受阻,生烃增压,产生异常高压从而进入燕山期“深盆气”或“根缘气”发展阶段。喜山期,龙门山多期次的强烈推覆,其前缘直达龙泉山^[1-3],形成一大批构造圈闭和断层、裂缝系统,从而打破燕山期油气分布格局并

重组气藏,那些禁锢在储层中的高压气、因大幅度升降脱溶的溶解气、弥散在储层中的游离气,以及丰富的晚成气,经断层、裂缝的沟通进入圈闭富集成藏^[4]。

4.2 生烃强度控制气藏丰度

燕山期最有利于须家河组原生气藏的形成,曾形成过相当规模的常规储层和大范围的“深盆气”聚集;此期聚集在平面上储量丰度差别,则成为晚期(喜山期)气藏分布、等级优劣的基础^[1,5]。现今气藏的分布与生烃强度关系密切,所有气田(藏)都分布在生烃强度大于 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的区域,邛西、平落坝这种储量丰度较高的气藏,均位于生烃强度大于 $125 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的部位(图 1),并处于燕山期古隆起带上。

4.3 古今构造叠置决定气藏品质

现今气藏格局是喜山期龙门山强烈推覆,对燕山期古气藏改造、重组的结果^[1-6]。燕山期气藏或聚集带的含气丰度,既受控于烃源条件,又受控于燕山期的构造作用^[2]。现今气藏分布和含气丰度,既取决于烃源条件又取决于喜山期的构造作用。因此古、今叠置的正向构造最有利于油气富集。据原地矿部西南石油局“八五”攻关成果(图 2),燕山中晚期有 3 个鼻状隆起带,从龙门山呈近东西向伸入川西前渊带,并控制了燕山期和现今主要气藏的格局。南部邛崃隆起带形成于中侏罗世晚期,面积最大,囊括了莲花山、平落坝、邛西等 16 个须家河组气藏;中部的什邡隆起带,整个燕山期都处于相对隆起状态,孝泉、新场、合兴场和新 851 等气藏^[5]均分布于该带核部;北部的安县—中坝

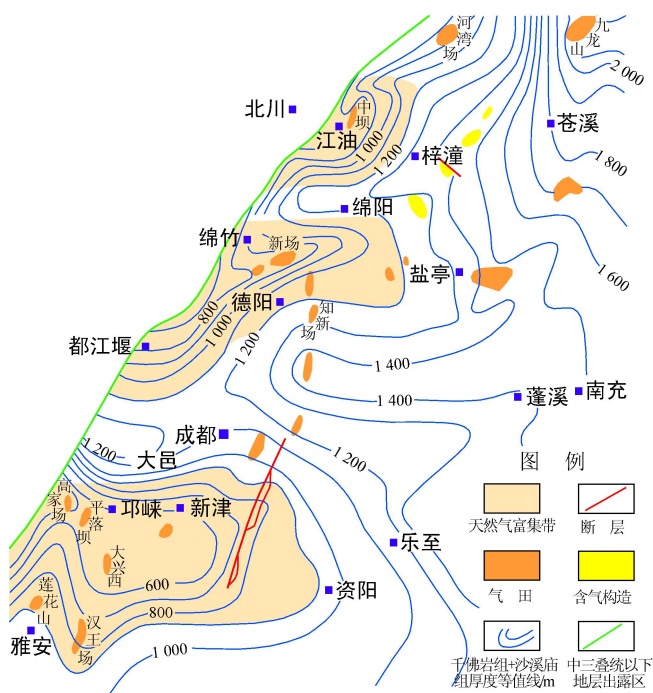


图 2 川西地区上三叠统燕山期古隆起与天然气藏分布关系图
注:据中石化“八五”成果改编

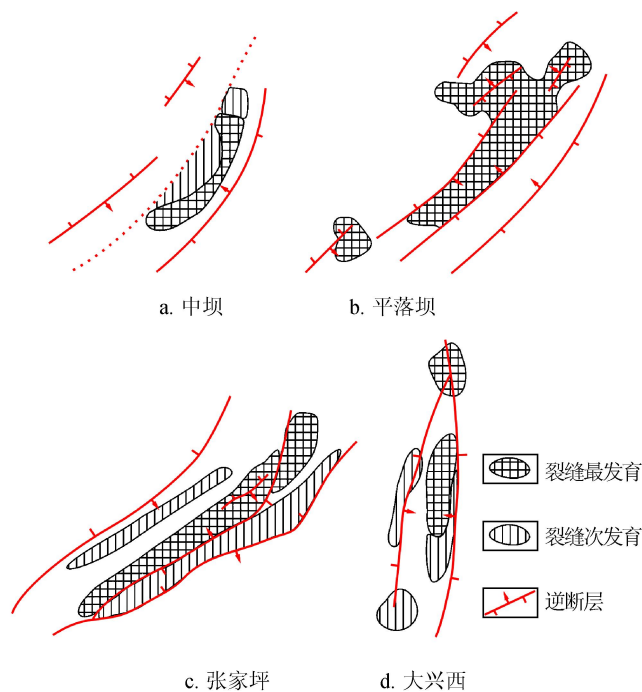


图 3 川西坳陷背冲断层构造裂缝发育情况图

隆起带与什邡隆起带类似,但面积最小,中坝须二段气藏位于该带核部,中坝是前人共识的印支期已具雏形的古构造。

4.4 大断裂控制气藏改造、重组和充满度

前已述及,喜山运动时期,龙门山多次的强烈推覆形成了一大批构造圈闭和断层、裂缝系统,这为改造、重组气藏创造了条件。盆内各地因地质结构、应力强度和环境的差异,改造效果也不一样;靠山前带比盆内、川西南部比北部褶皱、断裂更发育。川西南部须家河组气藏和 3 个中丰度气藏多与大、中型断层相伴,中坝气田与彰明断层相伴,闭合高度达 830 m,平落坝气田和邛西、大兴西气田分别受控于平落①号断层和邛西①号断层;近期发现的张家坪和莲花山、油榨西须二段气藏^[6],分别与张①号断层和三合①号断层相关。这些大断层属边界断层,它控制了区域地质格架和构造区带特征,控制了断层—构造圈闭的形态、面积和闭合度以及裂缝系统(图 3);这些大断层既处于高生烃强度区,又位于燕山期隆起带上,可以较大范围运、聚,对燕山期“深盆气”进行改组、调整,重新富集成藏,当通过断层、裂缝的聚气量大于或远大于逸失量时,则可富集成藏,并进而制约现今气藏的含气范围、含气高度和储量规模以及气藏的充满度,如邛西北断垒和平落坝须二段气藏的充满度为 100%。

5 结论与勘探方向

1)川西地区上三叠统烃源岩层厚度大(200~1 000 m)、有机碳含量高(0.25%~6.5%)、生烃强度大(200×10⁸ m³/km²),气藏分布与烃源条件密切相关。

2)燕山期的构造格架控制了早期气藏的分布和丰度,并决定成为喜山期天然气成藏条件优劣的基础,因此古今构造叠置的地区,控制了现今气藏的“甜点”及其分布。

3)喜山期形成的圈闭、断层、裂缝系统为改造、重组气藏创造了条件;大、中型断层发育区,可以大范围运移、富集成藏。

4)已知的 42 个气藏,构造圈闭、岩性圈闭、构造岩性圈闭气藏各占 1/3。构造圈闭气藏表现为常压,多分布于川西南部的须二段大砂体中,并与喜山期的断褶改造密切相关,其中三和①号断层下盘的老君山和邛西①号断层下盘桑园等构造应为构造圈闭气藏的首选目标^[4]。岩性圈闭和构造岩性圈闭气藏的重要特征是异常高压,多分布于川西北部的须三、须五段“泥包砂”沉积体系中或分布于须四段砾岩为主的储渗体中,主要受沉积环境和岩性的控制,其中地层上倾方向的梓潼凹陷—九龙山构造之间的剑门—龙岗地区是岩性气藏勘探的重要领域。

研究与成文过程中得到了邱宗恬高级工程师的指导、修正,在此致谢!

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 刘树根,赵锡奎,罗志立.龙门山造山带——川西前陆盆地系统构造事件研究[J].成都理工大学学报:自然科学版,2001,28(3):221-230.
- [3] 许志琴,杨经绥,姜枚,等.大陆俯冲作用及青藏高原周缘造山带的崛起[J].地学前缘,1999(3):139-151.
- [4] 杨跃明,段勇,何鲤,等.川西地区天然气勘探新思路[J].天然气工业,2009,29(6):4-8.
- [5] 杨克明.川西坳陷须家河组天然气成藏模式探讨[J].石油与天然气地质,2006,27(6):486-793.
- [6] 唐立章,张贵生,张晓鹏,等.川西须家河组致密砂岩成藏主控因素[J].天然气工业,2004,24(9):5-7.

(修改回稿日期 2012-08-04 编辑 居维清)