

川西北部地区侏罗系气藏成藏特征

——与川西南部侏罗系气藏比较

张闻林^{1,2} 陈义才¹ 高 熙² 吴传明³

(1.成都理工大学 2.中国石油西南油气田公司勘探开发研究院 3.中国石油西南油气田公司开发处)

张闻林等.川西北部地区侏罗系气藏成藏特征——与川西南部侏罗系气藏比较.天然气工业,2007,27(10):15-19.

摘 要 通过对比分析川西南部和川西北部地区侏罗系气藏在烃源、储集、圈闭、保存条件及异常高压等方面的成藏特征的差异,总结出川西北部地区侏罗系气藏可能的成藏模式。结果认为:作为气源的上三叠统的生烃强度在川西南部明显优于川西北部,南部拥有丰富的气源断裂,有利于油气的垂向运移,北部有可能形成侏罗系自生自储的油气藏;川西的南部地区和北部地区储集层厚度相差不大,沙溪庙组和千佛崖组在北部地区储集条件更为优越;构造圈闭条件南部更优;保存条件南部有白垩系的膏盐层作为区域盖层、北部有异常高压封存箱。地层异常高压在川西北部对侏罗系成藏起着关键作用,有助于压力封存箱内部形成油气藏。钻探情况证实,川西北部地区所有侏罗系产层和显示层段都集中在中侏罗统沙溪庙组及其以下层位。因此在今后的勘探实践中,应该重点注意该层段。

主题词 四川盆地 西 北部 南部 侏罗纪 气藏形成 异常高压 比较

自 1977 年川西南部发现第一口侏罗系工业气井以来,又相继在大兴西、平落坝、新场、洛带及白马庙等地区发现了侏罗系气藏^[1]。至今虽然对龙门山前缘中南部地区侏罗系的层序地层学以及川西中南部地区的油气成藏已有了较深入的研究^[2],然而,由于勘探程度低和研究滞后,对川西北部地区侏罗系气藏的成藏特征至今没有评价。为此,在与川西南部地区侏罗系的成藏条件作对比的基础上,总结了川西北部地区侏罗系气藏的成藏特征。

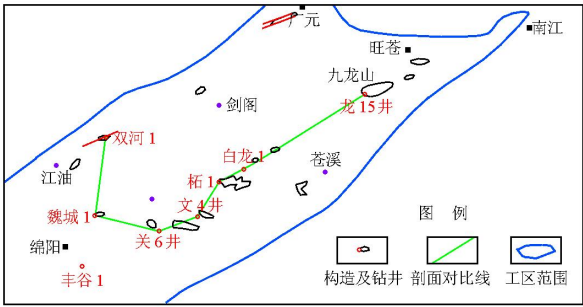


图 1 工区位置及构造略图

一、工区位置及侏罗纪地层特征

川西北部地区主要是指四川盆地西部位于龙门山前缘的北部地区,呈北东—南西向的条带状,北部位于广元至南江,南部至于绵阳、丰谷镇。工区内有众多的构造,如九龙山构造、白龙场构造、柘坝场构造、文兴场构造、老关庙构造以及魏城镇构造等(图 1)。

侏罗系之下的须家河组是一套巨厚的陆相含煤碎屑岩系,与下伏小塘子组之间呈整合接触,与上覆侏罗系呈不整合接触,特别是龙门山冲断带北段及米仓山前缘地区呈微角度不整合,并显示了这些地区的须家河组曾遭受较强烈剥蚀。

侏罗系在川西北部地区从下至上地层依次如下。

- (1)白田坝组(J₁b):为黄绿、灰色砂、泥(页)岩夹石英砂岩和薄煤层组成,底部常具石英质砾岩。
- (2)千佛崖组(J₂q):灰绿、紫红夹黑的杂色砂、泥岩层,并夹泥灰岩、介壳碎屑灰岩透镜体,底具石英质砾岩。
- (3)下沙溪庙组(J₂x):为紫红、灰紫、棕红色泥岩、砂质泥岩与绿灰色细、粉砂岩互层,含钙质结核;底部有一层块状中至粗粒砂岩,一般为长石石英砂岩,其底面偶含细砾。顶部时见一层“叶肢介页岩”,为标志层。

作者简介:张闻林,1965 年生;成都理工大学矿产普查与勘探专业博士研究生。地址:(610051)四川省成都市府青路一段 1 号西南油气田公司勘探开发研究院。电话:(028)86015679,13072898287。E-mail:sczw@tom.com

(4)上沙溪庙组(J_2s):主体由十余套灰—深灰色砂岩与灰绿、紫红色泥岩的韵律互层组合叠加而成。底部发育一套区域上稳定分布的浅灰色厚层块状中—细粒长石石英砂岩。

(5)遂宁组(J_3sn):为一套鲜红色砂质泥岩夹浅红色粉砂岩及细砂岩,局部含砾细砂岩,时见砾岩薄透镜体。底部常为浅灰或砖红色细砂岩。

(6)莲花口组(J_3l):以浅红、紫红色砾岩、砂岩、泥岩组成。沿龙门山前缘砾岩、砂砾岩的夹层或透镜体较多。与蓬莱镇组(J_3p)为同时异相。

二、川西北部 and 川西南部地区侏罗系成藏差异性分析

川西北部 and 川西南部地区成藏模式存在差异,主要是因为其地质条件的差异所造成的。下面仅就目前认识所及,对二者之间的不同之处作简要分析。

1. 烃源条件存在明显差异

从侏罗系沉积相特征知道,川西北部地区侏罗系主要为河流—滨浅湖交替沉积的砂泥岩。侏罗纪气候炎热干旱,沉积环境属较强的氧化环境,泥岩多呈紫红色或棕红色。川西地区中南部侏罗系本身缺乏生烃条件,北部暗色泥岩仅在自流井组中稍有发育,主要分布在大安寨段。平面分布范围:一是川中的南部—平昌一带,这一地区是大安寨段的生油中心;二是分布在川西北地区北部的魏城—老关庙一带,沉积环境为滨浅湖相。而大多数侏罗系泥质岩的有机地化指标达不到生油门限值($TOC < 0.4\%$)。

通过几十年的钻探实践,证明侏罗系气藏的气源主要为上三叠统的煤系地层。平落坝沙溪庙组的天然气主要来自 T_3x^5 , 大兴西沙溪庙组和白马庙蓬莱镇组天然气主要来自 T_3x^3 , 而孝泉—新场侏罗系天然气则可能为二者的混源气^[1-3]。

上三叠统烃源岩生气中心位于川西地区的中南部。油气主要为其中的煤系烃源岩生成,包括煤岩、灰黑色泥页岩和碳质页岩。这套烃源岩沉积厚度

大,累计超过 300 m,川西坳陷中心则累计厚度超过 600 m,南部生气中心的生气强度达到 $70 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$,中部生气中心的生气强度可达 $100 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 以上。因此,侏罗系气藏的气源十分充足。

在川西北部的梓潼一带,上三叠统的暗色泥质岩累厚已减薄至 150 m 左右,老关庙地区也只有 200 m 左右,烃源岩生气强度一般在 $5 \times 10^8 \sim 20 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 之间。往北至广元—旺苍一带,上三叠统烃源岩的生气强度小于 $5 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 。因此,川西地区北部的烃源条件较南部明显逊色。

另一方面,在老关庙—魏城一带自流井组沉积一套滨浅湖暗色泥质岩,厚度相对较大,其生油中心位于南部—平昌一带,具有一定的生烃能力,有可能形成侏罗系自生自储油气藏。如老关庙地区关 8 井在加砂压裂后,自流井组日产气 $3.98 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、凝析油 6.16 t。

2. 储集条件差异不大

(1)从储层砂体的厚度(表 1)分布看,虽然北部地区蓬莱镇组的砂泥比略小,但北部蓬莱镇组总厚度比南部大,因此砂岩累计厚度更大。而北部沙溪庙组比南部沙溪庙组的砂岩累计厚度大得多,在川西北部地区比南部厚度更大。

由于北部地区的侏罗系厚度比南部厚得多,其储集砂体更为丰富。值得注意的是南部千佛崖组,砂体仅在部分地区存在,厚度为 0~20 m;而在北部地区在异常压力封存箱(详见下文)之下的千佛崖组,储集砂体较南部发育,厚度大多介于 20~60 m 之间。因此该层位成为油气聚集的有利部位,钻井常常发现油气显示。

(2)川西北部的物性分析数据多集中在龙门山北段前缘的中坝、厚坝和青林口一带,受龙门山推覆构造作用的影响,侏罗系砂岩中可能裂缝较发育,而造成其渗透率普遍较高^[4]。而且,由于砂岩早先被原油饱和后,可使孔隙得到有效保存,厚坝沙溪庙组油砂岩具有较其他地区高的孔隙度。 J_3p 砂岩的

表 1 川西地区南—北侏罗系部分层位砂岩厚度对比表

地 区	J_3p		J_2s		J_1z	
	砂岩累厚(m)	百分比(%)	砂岩累厚(m)	百分比(%)	砂岩累厚(m)	百分比(%)
白马庙—观音寺	180~190	19~26	104~197	18~38	17~70	21~40
邛西—平落坝	102~223	12~23	202~220	39~40	68~92	36~45
大兴—汉王场	71	16.14	200	31.7	63	23.25
老关庙地区	114	9.4	370.5	30.7		
文兴场—柘坝场	88.5~202	7.4~20	587~643	44~47		
双鱼石—广元	792	45.4	302	36.5		

平均孔隙度大于 10%, 平均渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 从而具有常规砂岩储层高孔、高渗的特征。 J_3sn 、 $\text{J}_2\text{s}+x$ 、 J_2q 和 J_1z 砂岩则具有低孔低渗的物性特征, 其平均渗透率一般小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 基本属于致密砂岩储层。

3. 川西南部地区断裂十分发育, 油气运移通道发育

在川西南部地区的东部有熊坡断皱带,中部有大兴断皱带,西部有平落—邛西断皱带,这表明龙门山的挤压抬升过程,尤其是喜山期的构造活动十分强烈,产生了一系列北东向至南北向的挤压逆断层(图2)。这些断层向下穿过上三叠统,可达到雷口坡组;向上则消失在侏罗系各层组中,有的甚至直达地表。通天大断层则往往具有开启性质,并有油气苗显示。无疑这些断裂在地质历史时期会成为上三叠统油气向上覆侏罗系储层砂体中运移的重要通道。发育的断裂会使下伏烃源层中的大量油气源源不断地输送到储层条件相对较好的侏罗系中聚集成藏。川西北部地区侏罗系梓潼拗陷受构造运动作用力小,断裂不发育(图3)。

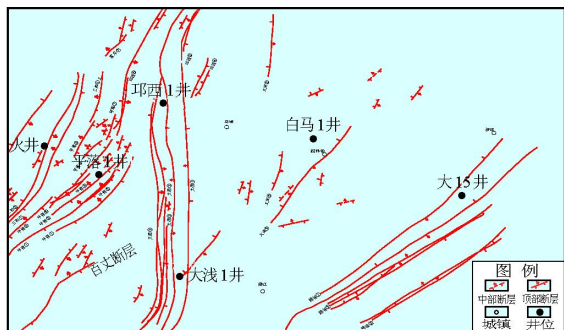


图 2 川西南部地区断裂分布示意图

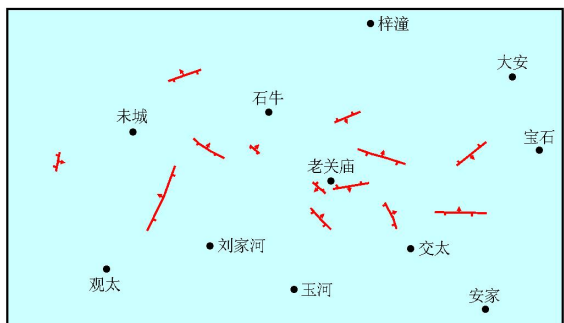


图3 川西北部地区自流井组底界构造图

4. 川西南部的圈闭条件优于川西北部

侏罗系气藏虽然不完全受构造圈闭的控制,但仍与构造圈闭密切相关。大多数气藏属于构造—岩性或岩性—构造复合型气藏。构造圈闭所处的低势

能区往往是高势能区油气运移的最佳指向,也是勘探目标的首选。从川西地区侏罗系构造的圈闭统计看,南部在 29 个构造中存在侏罗系构造圈闭,而北部则仅有黎雅、魏城等 6 个圈闭构造。侏罗系构造形态特征总体表现为:①构造平缓,地层倾角一般 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$;②潜伏高点隆起幅度小,除平落坝、大兴西、白马庙、苏码头等少数几个构造可达 500 m 外,一般仅几十米,川西北部尤其如此;③圈闭范围小,一般为几到几十平方公里。可以肯定川西南部的圈闭条件优于北部。但是,侏罗系存在广泛分布的砂岩岩性圈闭,这是不可忽视的勘探领域,观音寺构造的遂宁组气藏就是典型例证。

5. 川西北部保存条件优越

(1) 盖层条件

1)纵向上多套泥岩盖层叠置,厚度大,横向展布稳定,南部有膏盐层封盖

侏罗系中泥质岩比例高,累计厚度大,分布稳定。即便是蓬莱镇组和沙溪庙组砂岩层最多、厚度最大的层段,泥质岩所占比例也相当大(表1)。而沙溪庙组储层,上覆有200~300 m厚的遂宁组的大套泥岩可以作为良好的区域性盖层。此外,在川西南部灌口组沉积有一套100~300 m厚的干旱湖相含石膏、钙芒硝层,对于下部侏罗系储层的气藏具有良好的区域封盖性。

2)泥质岩封闭性能良好

由侏罗系泥岩封盖参数分析^[1],泥岩封闭性能为Ⅰ~Ⅱ级,可塑性强突破压力大(一般超过 12 MPa),中值半径小(小于 4 nm),以微孔隙结构为主,可作为有效的区域盖层或直接盖层。

3) 压力封闭层具有良好的封闭效果

侏罗系在川西地区的中、北部具有明显的超压异常,可以形成压力封闭层对下伏气藏形成封盖。

(2) 断层封闭条件

包括龙门山推覆带前缘的广元—安县和都江堰—天全一带,以及熊坡断裂带中南部断上盘主体构造和龙泉山断裂带断上盘主体构造,该区断层通天、开启,地表见上升泉和油气苗,地层水矿化度低,地层压力为常压。龙门山北段和中段前缘香水断裂带以东的狭长地带,三和场断裂带以及熊坡断裂带北端和龙泉山断裂带西翼断下盘,该区内既有通天断裂,又有仅断至侏罗系的断层,地层水矿化度较低,一定程度上仍受大气渗入水的影响。油气保存条件中等—较差。上述大断裂分布范围之外的川西坳陷和梓潼坳陷及其斜坡带等,构造作用程度低,断

裂大小适中,无通天断裂,北部和中部具有高压层封闭,南部有灌口组的膏盐层的封盖,地层水矿化度高,受大气渗入水影响小,油气保存条件优越。

三、川西北部地区异常高压带对成藏的影响

分析老关庙和柘坝场构造钻井的泥岩声波时差值随井深的关系图发现,从沙溪庙组的顶部开始,其声波时差即出现反常的趋势,表明这时地层的压力系数已发生异常。将双河场—九龙山的各构造的钻井中的泥岩的声波时差做一横剖面进行对比,结合已有钻井测试地层压力,总结出侏罗系有三段地层异常压力带(图4)。第一段发生在自流井组下部,同时这也是一套生烃层;第二段位于沙溪庙组中部,第三段位于沙溪庙组顶部。

因此,川西北部油气成藏规律必然具有异常压力的特点,根据国内外研究,位于超压体系内的低渗透超压储层可能形成油气藏。这种油气藏多分布在三角洲前缘和前三三角洲部位。沉积体系中以富含有机质的泥岩、页岩及煤层为烃源岩。有机质在一定条件下转化为烃类,因体积膨胀而导致超压。储集层为低渗泥质砂岩,储层的连续性和物性一般均较差,但分布范围广,压力系数高达1.7以上。例如美国的落基山区绿河盆地等第三系低渗气藏及 Uinta 盆地白垩系和老第三系油藏^[5]。

在高温超压地层中,随着埋深加大,成熟烃类由源岩向储层运移,烃类以溶解状态储存在孔隙水中。当储层孔隙流体压力大于盖层破裂压力时,封隔层就产生水力压裂出现微裂隙,高压带的流体便沿着微裂隙以混相状态(溶解气水、游离气和油)向外涌流。

当温度压力降低到饱和温度压力之下时,外溢的混相流体开始出现油、气、水的分离,溶解在地层水中的天然气大量出溶,游离气相大量增加,聚集成

藏。随着压力下降、裂缝关闭,形成新的封隔层。当压力系数降到1.2~1.3时,裂缝重新闭合或被方解石充填^[6]。这一过程周而复始,形成幕式运聚动平衡。这一过程与常压条件下的不同之处在于:一是油气的聚散完全处于动平衡状态;二是运移机理以脉冲式混相涌流为主,不同于常压条件下天然气多以分子扩散和渗流为主的运移机理;三是在超压条件下,烃类以溶解状态存在于孔隙水中,天然气生成运移聚集过程中始终和水处于同一系统中,只有出溶才能成藏。而超压体的过渡带是寻找油气的有利地带。

四、川西北部地区侏罗系气藏成藏模式

1. 川西北部地区侏罗系气藏成藏模式

川西北部地区梓潼坳陷受构造运动作用力小,侏罗系中断层欠发育(图3),且向上断层数量更少。老关庙地区自流井组底仅有少量小的断层分布,延伸范围小,断层面位少,落差小,至上部遂宁组底界已不存在断层。

这一区域性地质特征决定了其成藏模式有别于川西南部地区的成藏模式。这类侏罗系气藏的成藏往往具有异常高压特征(图4)。这类构造断裂不发育,仅发育水平或低角度卸载缝,所不同的是,这一地区可能存在侏罗系自生自储油气藏。其成藏模式如图5所示,因为沙溪庙组中的数层异常高压层的存在,来自下伏上三叠统和侏罗系自流井组的油气通过微裂缝向上覆千佛崖组和沙溪庙组中的储层内运移,在圈闭内的上覆泥岩和高压带的封盖之下聚集成藏,而无法突破异常高压带向遂宁组和蓬莱镇组中的砂岩内运移。

2. 川西北部侏罗系勘探目标应在沙溪庙组及其以下层位

由于川西北部地区侏罗系自身和上三叠统生烃能力有限,加之该地区断裂不发育。因此异常高压

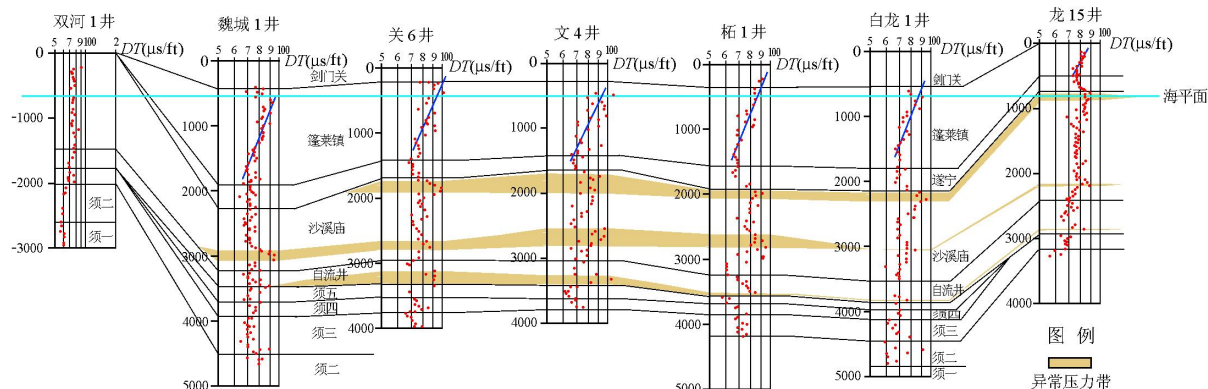


图4 川西北部泥岩声波时差剖面图

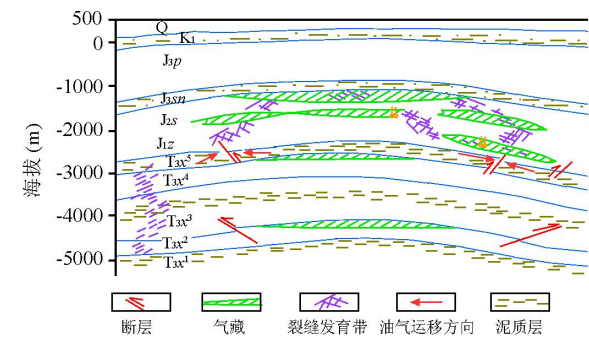


图 5 川西北部地区侏罗系异常高压气藏成藏模式图

带的存在可以有效的阻挡油气向上运移,油气多聚集在沙溪庙组及其以下的压力封存箱体中。

复查所有川西北部已钻探井的钻井资料,其中包括中坝、九龙山、文兴场等构造共 5 口钻井,显示层位为千佛崖组 2 次、沙溪庙组 2 次、自流井组 1 次;显示级别为气侵、井涌、井喷,其中川 19 井中测产气 500 m³/d。

总之,川西北部侏罗系沙溪庙组和千佛崖组油气显示情况良好,表明具有在异常压力封存箱内形成油气藏的可能。值得对已有钻井进行老井复查、上试工作,以期在这一地区的侏罗系中获得突破。同时应注意川西北部的侏罗系的自生自储式的油气藏。

五、结 论

(1)作为气源的上三叠统的生烃强度在川西南

部明显优于川西北部,但北部有可能形成侏罗系自生自储的油气藏。

(2)川西北部储层条件和川西南部的储层条件相当,前者甚至优于后者。而后者气源断裂发育。

(3)地层异常高压在川西北部对侏罗系成藏起着关键作用,从目前来看,有助于压力封存箱内部形成油气藏。

(4)建议加强对中侏罗统以下层位的勘探。

参 考 文 献

[1] 王世谦,罗启后,邓鸿斌,等.四川盆地西部侏罗系天然气成藏特征[J].天然气工业,2001(2).

[2] 蔡开平,王应蓉,刘雪梅,等.川西南部侏罗系油气垂向运移特征[J].西南石油学院学报,2000(4).

[3] 孙甫南,曾庆庸.川西地区南部侏罗系次生气藏形成机制探讨[J].天然气工业,1994(1).

[4] 曹伟.川西侏罗系致密砂岩气藏裂缝特征[J].石油实验地质,1999(1).

[5] 马启富,陈斯忠,张启明.超压盆地与油气分布[M].北京:地质出版社,2000.

[6] HENRY W. Posamentier lowstand alluvial bypass systems: Incised vs. unincised[J]. AAPG Bulletin, 2000, 85 (10): 1771-1793.

(修改回稿日期 2007-09-11 编辑 居维清)