

文章编号: 1009-3850(2001)01-0038-06

川西坳陷侏罗系沉积岩相与生烃关系研究

王亮国, 曹 烈, 邓康龄, 叶 军, 潘丽华

(西南石油局 地质综合研究院, 四川 成都 610081)

摘要: 笔者从生烃角度分析和研究了川西坳陷侏罗系沉积岩相, 川西坳陷早侏罗世—中侏罗世早期最好的生烃沉积环境是长年湖, 其次为时令湖。在对烃源岩的系统采样分析与研究的基础上, 对有机碳、有机质类型、有机质演化程度、生气率、生聚系数和体积参数进行了深入的研究, 并取得了可靠的参数。采用天然气有机碳发生率法与有机显微组分发生率法, 计算了川西坳陷侏罗系生烃量为 $(292483.3 \sim 333425.0) \times 10^8 \text{ m}^3$, 生烃聚集的资源量为 $(3509.8 \sim 4001.1) \times 10^8 \text{ m}^3$, 这对侏罗系远源成藏聚集效率有不可忽视的重要作用。目前川西坳陷所获储量仅占远景资源量的 10%, 川西坳陷侏罗系勘探高峰远未到来, 仍有大量的油气资源量待发现, 储量仍将有一个高速增长期。笔者通过综合研究认为侏罗系为勘探前景与经济效益较好的区域。

关键词: 川西坳陷; 侏罗系; 沉积岩相; 生烃; 资源量

中图分类号: TE132.1; P534.52

文献标识码: A

Jurassic sedimentary facies and hydrocarbon generation in the West Sichuan depression

WANG Liang-guo, CAO Lie, DENG Kang-ling, YE Jun, PAN Li-hua

(Geological Research Institute, Southwest China Bureau of Petroleum, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Jurassic sedimentary facies in the West Sichuan depression are discussed in this paper. The most favourable hydrocarbon-generating conditions in the study area during the Early Jurassic and early Middle Jurassic consist primarily of perennial lakes and subordinately of seasonal lakes. The organic carbon and organic matter types, organic matter

收稿日期: 2000-08-24

作者简介: 王亮国 (1971—), 男, 西南石油局地质综合研究院工程师, 从事石油天然气地质综合研究。

evolution, gas-generation rates, coefficients for generation and accumulation, and parameters for volumetric variations are dealt with in detail and reliable results have been obtained. The hydrocarbon production varies between 292483.3 and $333425.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ for the Jurassic sedimentary rocks, and inferred oil and gas reserves range between 3509.8 and $4001.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ in terms of organic carbon production and organic microcomponent production in natural gas. This is significant for the study of the Jurassic distant gas accumulation efficiency. Up to now, only about 10% of the total gas reserves are found in the study area. The bulk of future gas will be found and the promise of large discoveries lies also in this area with significant investment in research and development. In these cases, the target areas and prolific areas are both delineated in this study.

Key words: West Sichuan depression; Jurassic; sedimentary facies; hydrocarbon generation; reserve

1 侏罗纪沉积相

1.1 早侏罗世—中侏罗世早期沉积相

印支运动后,甘孜-阿坝(巴颜喀拉)造山带形成,秦岭造山带耸立,从而改变了本区的大气环境,由晚三叠世的湿热气候,演变为以侏罗纪炎热、半干旱气候为主。广泛分布于侏罗系中的红色泥质岩层,与上三叠统暗色岩系形成了鲜明对比。

在川西坳陷盆地构造背景下,早侏罗世以南充-达州成为湖盆中心,由此,中心向盆地四周沉降幅度递减,湖水深度变浅^[1]。位于湖盆的西端,主要属于滨浅湖环境下沉积的暗色/灰绿色泥质岩、粉砂岩、砂岩和介壳灰岩。由于受周期性气候的变化,注入湖盆的水量锐减,湖收缩,原湖泊环境演变为滨湖平原或泛滥平原,沉积了紫红色泥质岩、粉砂岩和砂岩。自流井组是由湖域萎缩和湖域扩大两个周期的沉积物所组成。川西坳陷的自流井组由泛滥平原相红色碎屑岩—滨浅湖相暗色泥质岩与介壳灰岩两个沉积韵律所组成。

蒲江-雅安地区的早侏罗世属冲积平原和泛滥平原环境,下侏罗统主要为一套红色碎屑岩系,其岩性组合可与“康滇地轴”的益门组对比。

早侏罗世早期受造山带的影响,本区北部和西北部普遍发育冲积扇相和冲积平原相的粗碎屑岩。受自流井时期最大湖侵波及,本区北部、西北部夹少量介屑灰岩或灰岩,在湖水萎缩期演变为湖沼相(为主)和高位沼泽相,沉积了暗色碎屑岩夹薄煤层/煤线;由于受炎热、半干旱气候影响,一些地区还出现了厚度不等的棕红色/紫红色泥质岩。

早侏罗世晚期受早燕山早幕影响,湖水一度退出,自流井组和白田坝组还遭受了一些风化侵蚀。中侏罗世早期本区为滨浅湖环境,发育有三角洲相和滨浅湖相暗色(少部分为灰绿色/紫红色)碎屑岩,局部夹介屑灰岩或灰岩。千佛崖期沉积之后,受早燕山晚幕影响,使湖广泛抬升,千佛崖组遭受到不同程度的风化剥蚀,其中尤以西部为甚,有的地区被剥蚀殆尽。

早侏罗世—中侏罗世早期,本区湖域范围最广,为持续时间最长的时期,自流井组和白田坝组普遍发育的暗色/灰绿色泥质岩,有机质含量和总量都是侏罗系各组中最丰富的,因此,是侏罗纪烃源岩主要沉积时期。

1.2 中侏罗世晚期沉积相

早燕山运动之后,气候更为干旱,大范围的湖泊与沼泽环境结束,代之以泛滥平原和冲积平原为主的沉积环境。在这种环境中沉积的有机质含量很低的红色泥质岩,占据了泥岩类的主导地位。与此同时,龙门山中南段发生了较强烈上升,于其前缘沉积了一些粗碎屑沉积物,形成了冲积扇和冲积平原相。邛崃、绵竹-安县、中江、江油-梓潼等地,一度出现了较短暂的间歇性湖泊环境,有灰绿色等泥质沉积物。

下沙溪庙组的晚期,受中国东部燕山运动的影响,四川盆地东部抬升,截断了沉积盆地东部的出水口,出水通道的堵塞使原河流环境变成一个大型湖泊^[3],沉积了厚度虽然不大(一般小于10m),但分布面积广和富含叶肢介(还有少量双壳类、介形类、鱼等)化石的深灰色页岩^[3]。从沉积厚度分析,说明此常年湖泊环境延续的时间较短。研究区的西部无此含叶肢介的页岩层,反映仍为河流环境。旺苍-剑阁一带,沙溪庙组中一度存在一个长年性湖泊,但延续时间也不长,暗色泥质岩厚度不大。

1.3 晚侏罗世晚期沉积相

中燕山运动使龙门山区强烈上升,古生界和中下三叠统碳酸盐岩和碎屑岩形成了新的陡峻山岭。本区的西部紧邻龙门山,为源于山区河流携带的粗碎屑提供了沉积场所,形成了冲积扇和冲积平原相。龙门山北段-南段莲花口组砾岩中砾石成分的差异,反映存在多条河流形成的冲积扇,这些冲积扇的扇缘构成了连扇平原。

山区河流进入盆地后,河床坡度骤减,河水流速随之迅速变缓,大量粗碎屑物在很短距离内沉积下来,因此,本区冲积扇相和冲积平原相虽发育,但分布面积不大。而分布面积最广的为以紫红色/棕红色泥质岩、粉砂岩夹砂岩为主的泛滥平原相。在河流之间的河间洼地或废弃河道地区,形成了一些时令湖、间歇湖和常年湖。苍溪-绵阳、中江-蒲江间,蓬莱镇期曾一度发育有间歇湖,有少量灰绿色泥质沉积物。中江-广汉、邛崃-名山间发育有常年湖,有厚度不大的暗色泥质物的沉积。

2 侏罗系天然气生烃分析

2.1 有机碳

综上所述,川西坳陷侏罗系暗色泥岩属浅湖或半深湖相沉积,河湖变迁较为频繁,古气候较为炎热、干燥,地球化学背景总体表现为氧化-弱氧化。但在侏罗系的大套红色沉积物中形成的还原-弱还原条件的暗色泥岩,有机碳含量,根据采集区域范围内侏罗系暗色泥岩84个样品,有机碳含量范围为0.07%~7.94%,平均为0.63%。若以有机碳0.5%作为烃源岩下限,则大多数黄绿色以上级别的泥质岩和灰岩都达到了源岩标准,这说明侏罗系中的暗色泥质岩具有一定的生烃能力。

近年来,在川西坳陷侏罗系天然气的勘探开发中,也不断钻遇暗色泥岩和储层沥青,在新场构造、马井构造发现富含有机质纹层的粉砂岩,从而推断侏罗系本身所夹含的暗色富有机质成分的泥岩为侏罗系气藏的形成提供了好的条件。

由于近距离富集,侏罗系生成的烃类在运移中受到的损失很小,除满足岩石自身的吸附外,其余均可进入储层与主力气源(下伏T_{3x})提供的天然气混合成藏。根据岩石对甲烷吸

着能力资料的计算认为, 甲烷生成量小于 $0.1\text{m}^3/\text{t}$ 岩石时, 只能提供吸附而不能向外运移。当岩石剩余的有机碳小于 0.21% , 其甲烷生成量小于 $0.1\text{m}^3/\text{t}$ 岩石, 因此, 将岩石中剩余有机碳 0.2% 定为川西坳陷侏罗系暗色泥岩烃源岩的下限。对于川西地区由下伏 T_3x 主力气源充注的侏罗储层天然气藏, 其本身所含富有机质暗色泥岩生成的天然气, 只是作为一种自生自储气源的补充, 取 0.2% 作为下限应当是可行的。

2.2 有机质类型

对 53 块泥质岩的样品进行了干酪根类型鉴定, 其结果表明川西坳陷侏罗系暗色泥质岩有机质类型以生气型的 II 型为主, 少量为 I 型和 II 型。据 7 块样品的有机显微组分分析, 腐植基质含量为 $19.39\% \sim 71.09\%$, 平均为 47.36% , 成为无定形组的主要成分, 具有较好生烃能力的腐泥组(无定形组) + 壳质组组分占总有机显微组成的 $20\% \sim 80\%$, 具中等生气能力的镜质组分小于 40% , 集中分布于 $25\% \sim 40\%$, 而不具任何生烃能力的惰性组一般占 $20\% \sim 40\%$ 。充分揭示侏罗系泥质岩中富含高等植物碎屑的降解产物, 具有较强的生气能力。

2.3 有机质的演化程度

据 30 个样品实测, 川西坳陷侏罗系暗色泥岩镜质反射率向深部逐渐加大, 其分布范围从 $0.51\% \sim 1.04\%$ 。上侏罗统蓬莱镇组 R_0 在平面上变化较大, 如洛带为 $0.51\% \sim 0.53\%$, 金马和马井为 $0.8\% \sim 0.87\%$, 新都、新场介于两地之间, 总的平均值小于 0.5% (表 1), 属 Tissot 确定的 II 型干酪根生烃门限。

表 1 R_0 实测值表
Table 1 R_0 determinations for the Jurassic mudstones in the study area

地区	层位	实测 $R_0/\%$	样品数
洛带	上侏罗统蓬莱镇组	$0.51 \sim 0.53$	2
洛带	上侏罗统蓬莱镇组	$1.61 \sim 1.63$ ^①	2
洛带	中侏罗统沙溪庙组至千佛岩组	$0.88 \sim 0.93$	3
金马	中侏罗统沙溪庙组至千佛岩组	$0.80 \sim 0.87$	3
新都	上侏罗统蓬莱镇组	$0.55 \sim 0.81$	2
马井	上侏罗统蓬莱镇组	$0.81 \sim 0.87$	4
金堂	上侏罗统蓬莱镇组	0.67	1
玉泉文兴场	上侏罗统蓬莱镇组	0.68	1
新场	上侏罗统蓬莱镇组	$0.58 \sim 0.84$	8
新场	中侏罗统沙溪庙组	$0.95 \sim 1.04$	3
新场	中侏罗统千佛岩组	$0.99 \sim 1.00$	2
厚坝	中侏罗统千佛岩组	0.48	1
厚坝	下侏罗统白田坝组	0.49	1

①推测为异地沉积镜质体

川西坳陷生气母质由以镜质体和无定形腐值体为主而构成, 并含部分树脂体和角质体等成分, 其显微组分决定其生烃时间较早。结合前人对显微组分生烃演化阶段的研究成果, 川西坳陷侏罗系烃源岩已进入成熟阶段, 地史上已进入生烃高峰期。

2.4 生气率的确定

笔者对不同地区陆相碎屑岩泥质生烃率确定的验与实际模拟实验结果表明,采用李汶国的最大有效累积生气气率,经理论计算与模拟实验相结合综合考虑提出的成熟阶段Ⅲ型干酪根有机碳生气率为13.15%,体积转化系数为 $1400\text{m}^3/\text{t}$ —烃。以及根据张义纲等“七五”的研究成果,高等植物木质纤维组织降解的无定形腐植组热解中生烃量为 $200\sim 400\text{g}/\text{g}-\text{c}$,取生气率为 $150\text{g}/\text{g}-\text{c}$,体积转化系数取 $1400\text{m}^3/\text{t}$ —烃。

2.5 生聚系数

世界上的主要含油气盆地,其碎屑岩沉积盆地的天然气生聚系数多为 $0.008\sim 0.01$,国内勘探程度较高的松辽盆地北部下白垩统的生聚系数为0.0125。川西坳陷侏罗系暗色泥岩尽管丰度低,但类型好,显微组分生气潜力较高,更由于上覆的局部盖层和区域性盖层封盖条件好,生成的烃类在满足自身吸附后都能就近进入相邻砂岩,特别是蓬莱镇组砂岩中富含的有机碎屑转化成的烃气基本不经过运移就储集在储层孔隙中并被保留下来,聚集效率显然很高。同时,据川西坳陷孝泉-新场、马井、洛带的实际生聚系数(表2),从蓬莱镇组下部组合及以下的地层现在的埋深可认为,侏罗系大部分暗色泥质岩目前正处于生气高峰,扩散损失相对可忽略不计。故本次计算统一取天然气生聚系数为0.012。

表2 碎屑岩领域生聚系统数统计表
Table 2 Coefficients for gas generation and accumulation in the clastic rocks in different parts

地区	生聚系数	备 注
世界范围	$0.008\sim 0.01$	平均
松辽盆地	0.0125	勘探程度较高
孝泉-新场	0.0093	仍有储量待发现
洛带地区	0.0025	已考虑中侏罗统沙溪庙组,但仍有储量待发现
马井地区	0.0126	中侏罗统沙溪庙组未勘探
川西坳陷	0.012	综合取值

2.6 暗色泥岩密度

取川西地区侏罗系泥岩密度经验数据(J—K): $(26.3\sim 26.7)\times 10^8\text{t}/\text{km}^3$ 为 $2.65\times 10^8\text{t}/\text{m}^3$,即 $2.65\times 10\text{t}/\text{m}^3$ 。

2.7 烃源岩体积参数的确定

通过钻井与露头烃源岩取样数据分析,得出各取样点所代表的烃源岩厚度,再根据烃源岩区分布可计算出烃源岩的分布面积,从而可知烃源岩的体积参数。

2.8 生烃计算

据天然气有机碳发生率法与天然气有机显微组分发生率法来计算生烃量,用这两种计算方法所计算的生烃量较为接近,计算结果其生烃量为 $(292483.3\sim 333425.0)\times 10^8\text{m}^3$,根据生聚系数,生烃资源量为 $(3509.8\sim 4001.1)\times 10^8\text{m}^3$ 。

3 侏罗系油气资源量远景评价

川西坳陷陆相地层中蕴藏着丰富的天然气资源,其天然气圈闭资源为 $(12000\sim 20000)\times 10^8\text{m}^3$ 。天然气资源量不可否认主要来自于下伏上三叠统须家河组的生油源岩,但侏罗系本

身也有一定的生油气能力,川西坳陷侏罗系总生烃量为 $(292483.3 \sim 333425.0) \times 10^8 \text{ m}^3$,生烃聚集的资源量约为 $(3509.8 \sim 4001.1) \times 10^8 \text{ m}^3$,占整个侏罗系资源量的 17.6%~33.3%。且其本身生烃后全部满足了其自身岩石的吸附量,因此,下伏地层运移而来的天然气不必损失吸附量。岩石吸附量的数量是十分巨大的,据“八五”国控“四川盆地地质结构与天然气藏勘探新领域区划研究”报告认为,生烃量的 10%左右用于吸附,由此不难知道,侏罗系本身的生烃量对经过长距离运移而来的天然气富集具有重要作用。

川西坳陷侏罗系现已获探明+控制储量为 $1576.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅占其远景资源量的 10%左右。因此,川西坳陷侏罗系勘探高峰远未来到,仍有大量的油气资源量待发现,储量仍将有一个高速增长期。

综合研究侏罗系下伏上三叠统须家河组的生油源岩、侏罗系自身生油源岩的地质特征,以及侏罗系的储集条件,笔者认为侏罗系勘探前景较好的区域在川西坳陷中段的彭县—德阳—金堂一带,这里发育有鸭子河、孝泉、新场、金堂、洛带等构造,已发现孝泉、新场等气田,勘探深度为 500~3000m,经济评价效益良好,是勘探的重点方向。

参考文献:

- [1] 邓康龄等. 四川盆地碎屑岩油气地质图集[Z]. 成都:四川科学技术出版社,1996.
- [2] 吴舜卿. 大江东去自古如此吗? 谈距今两亿年前后的祖国大地[J]. 化石,1978,(1):1
- [3] 卢孟凝,王若珊. 四川盆地晚三叠世至早侏罗世孢粉组合及分布特征[A]. 石油地层古生物会议论文集[C],北京:地质出版社,1987.