

川东北五宝场构造沙溪庙组气藏勘探开发认识

肖富森 马廷虎

(四川石油管理局川东开发公司)

肖富森等.川东北五宝场构造沙溪庙组气藏勘探开发认识.天然气工业,2007,27(5):4-7.

摘要 五宝场构造地处川东构造区边缘,位于大巴山弧形褶皱带与川东弧形褶皱带交汇处。该构造在侏罗系沙溪庙组获气,开辟了川东北陆相碎屑岩油气勘探的新领域。为此,利用地震、测井、综合地质及钻井资料,对浅层沙溪庙组地质基本特征进行了研究。结果认为,以嘉祥寨砂岩底界作为划分沙溪庙组沙二段、沙一段的分界线是可行的,明确提出沙溪庙组的天然气主要来自下伏须家河组及下侏罗统的陆相生烃岩系,河道沉积是最有利于储层发育的相带;通过储层特征分析,指出沙溪庙组储集类型为裂缝—孔隙型,气藏圈闭类型为构造—岩性圈闭;还对砂体的地震响应模式进行了探讨,归纳出了(含气)砂体在地震反射剖面及速度反演剖面上的响应模式。进而提出了“滚动勘探、整体开发、分批实施、优质砂体优先”的勘探开发思路。

主题词 四川盆地 东北 五宝场构造 侏罗纪 气藏 勘探 开发 方针

五宝场构造地处川东构造区边缘,位于大巴山弧形褶皱带与川东弧形褶皱带交汇处^[1]。1999年,五宝场高点附近首次布井钻探X5井,主探目的层:三叠系飞仙关组,钻至侏罗系沙溪庙组遇良好气显示,中测获气 $4.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,完井上试获气 $5.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,从此发现沙溪庙组(J_2s)气藏。2001~2002年先后钻探X21、X22、X23井3口沙溪庙组专层井,仅X21井2层测试共获气 $5.21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其余2口井产微气,浅层天然气勘探一度停滞。2005年低效油气合作启动后,通过对三维地震资料处理解释,又部署了X1、X2、X2-1、X4、X5等5口勘探开发井,均获成功,测试日产气量 $6.47 \times 10^4 \sim 34.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均 $15.23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,勘探工作取得重大进展。

一、地质基本特征

1. 地层划分标准探讨

四川石油管理局与原地质矿产部对沙溪庙组上、下段的分层标准略有不同,前者采用黑色“叶肢介页岩”底界为上下段分层标志;后者则以紧邻“叶肢介页岩”之上的一套相对稳定的块状砂岩(嘉祥寨砂岩)的底界分层,二者相差几米至30m。究其原因,主要是由于嘉祥寨砂岩不是一个等时的地层单元,以及其厚度与岩性不稳定造成的。五宝场构造沙溪庙组内的“叶肢介页岩”已相变为暗紫红色砂泥

岩,上下段无法划分。从区域资料对比结果来看,紧邻“叶肢介页岩”之上的嘉祥寨砂岩相对较稳定,更具有分层的标准作用,故建议以嘉祥寨砂岩底界(即X5井产气砂岩底界)作为划分沙二段(J_2s^2)与沙一段(J_2s^1)的分界线。

2. 天然气气源和时空配置

川东北地区沙溪庙组的天然气与下三叠统嘉陵江组、飞仙关组及以下的海相生烃层系无关,主要来自下伏须家河组及下侏罗统地层的陆相生烃岩系^①,与生烃岩系沟通的断裂系统及流体增压形成的微裂缝是良好的运移通道^[2]。与蔡开平等对川西侏罗系次生气藏起源研究所得出的结论基本一致^[3]。

须家河组地层中泥(页)岩为含煤系的湖沼相泥(页)岩,有机质以植物为主,干酪根类型以腐殖型为主,少量I~II_B型干酪根^[3]。有机碳含量平均为2%,部分达5%,烃含量0~500 $\mu\text{g}/\text{g}$,氯仿沥青“A”含量为0.27%,还原系数($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)为0.49。据不完全统计,暗色泥(页)岩厚度占其总厚度的16%~30%,厚80~162m。埋藏深度大于2350m,有机质热演化程度高,生烃强度为 $5.0 \times 10^8 \sim 10.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,镜质体反射率(R_o)为0.5%~2.0%,地温在120℃左右,具备形成有效烃源岩的条件。

下侏罗统烃源岩主要集中在大安寨、东岳庙段的暗色泥(页)岩及湖相碳酸盐岩(主要是介壳灰岩)

作者简介:肖富森,1963年生,高级工程师,成都理工大学博士研究生;现任四川石油管理局川东开发公司副经理、总地质师。地址:(400021)重庆市江北区川东开发公司。电话:(023)67313766。E-mail:math805@163.com

中,部分位于凉高山或珍珠冲段,有机质类型为Ⅰ~Ⅱ_B型,具有良好的生烃潜力。烃源岩总厚度150~230 m,有机碳含量平均在0.3%以上,最高达到0.95%,氯仿沥青“A”含量为0.115%~0.38%,还原系数($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)为0.1~0.8,按中国陆相生油岩分类标准,可达中—好烃源岩标准。

上述烃源岩在侏罗世末期相继达到成熟阶段,大量的液态烃和天然气生成并发生运移,初步有油气聚集于早期形成的圈闭中;喜山运动时期,川东北部大规模抬升,剥蚀加剧,烃源岩演化进入高成熟期,早已形成的天然气,因构造运动进行调整运移,进入合适圈闭聚集成藏。

3. 构造特征

五宝场地面构造较为简单,沙溪庙组顶界构造为一低缓穹隆状背斜,无断层。沙溪庙组内部第Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ反射层及沙溪庙组底界(自上而下)构造形态由穹隆状演变成短轴状背斜,背斜圈闭面积总体上由浅至深逐渐变大,由6.3 km²渐增至15.2 km²。发育逆断层14条,断距小,落差一般10~50 m,主要分布在沙溪庙组内部,只有渡⑰、渡⑱断层下延至三叠系嘉陵江组,规模较大,但也未对圈闭造成明显破坏,还成为了油气运移的重要通道。

4. 沉积相特征

五宝场构造侏罗系沙溪庙组纵向上砂体类型多样,相互叠置,为油气聚集的有利场所。砂岩从上至下具有粒度由细变粗的韵律结构特征,常见平行层理、斜层理及交错层理,见棱角尖锐的泥岩砾屑等滞留沉积。泥岩中常见层状排列的钙质团块或条带,较致密,局部泥岩颜色呈紫红色和灰绿色相混的杂色。总体表现为干旱炎热条件下的冲积平原—河流体系沉积,进一步可划分出:河道(包括边滩、心滩、河床滞留沉积)、天然堤、决口扇、河漫平原及河漫洼地等多种亚相。

研究表明,河道沉积是最有利于储层发育的沉积相带,其中又以河道心滩砂体储集物性为最好,次为边滩砂体、决口扇及天然堤砂体。

5. 储层特征

有关储层特征内容详见本期下篇毛嘉宾的论文,在此只作简述。

(1) 岩石学特征

沙溪庙组储层主要为长石石英砂岩,次为岩屑石英砂岩和岩屑长石石英砂岩。

(2) 储集空间类型及特征

储集空间由多种孔隙及裂缝所组成,按照成因

分类,可划分为原生孔隙、次生孔隙,构造裂缝与溶蚀裂缝。原生孔隙及次生孔隙又可各分为3种类型。

(3) 物性特征

据不完全统计,五宝场构造沙溪庙组储层岩心孔隙度普遍偏低,最高7.02%,平均3.5%。进一步研究认为,储层孔隙度大小与砂岩粒度、成分关系密切。

孔隙度与砂岩粒度关系:不同粒度砂岩的孔隙度有随粒度变粗而孔隙度增大的趋势。粉砂岩、细砂岩、中砂岩及粗砂岩平均孔隙度分别为2.58%、3.13%、3.63%及5.79%^⑨。

孔隙度与砂岩成分的关系:同样都是中粒砂岩的情况下,长石石英砂岩与长石砂岩孔隙度较高,分别为4.25%、4.2%,其次的岩屑长石砂岩为3.76%,长石岩屑石英砂岩较差,平均为2.99%;同样都是细粒砂岩的情况下,长石砂岩仍然较高,平均孔隙度为3.72%,其次为岩屑石英砂岩等。因此,长石含量越多,砂岩孔隙度相对就高。

五宝场构造沙溪庙组砂岩储层岩心渗透率主要集中在小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的低值区域,属于低渗透储层。但从各井统计数据看,渗透率与砂岩粒度关系也十分明显,即随着砂岩粒度变粗,渗透率明显增大。如X21井粉砂岩、细砂岩、中砂岩的平均渗透率分别为小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $0.06208 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $0.2075 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

五宝场构造3口井沙溪庙组砂岩岩心含水饱和度普遍较高,一般在57.04%~66.06%之间,含气砂岩的含水饱和度一般在30%以下。

(4) 测井储层特征

五宝场构造目前均采用excell 2000常规测井系列,测井储层响应特征如下。

1)自然伽马值普遍较高(图1),为50~95 API,但与泥岩(100~120 API)相比仍为低值。究其原因,主要是因为地层岩石铀含量较高,估计裂缝中有铀盐沉淀,另外钻井中钻井液添加剂常含放射性物质也可能导致自然伽马值偏高。

2)补偿声波时差明显增高、补偿密度降低,补偿中子变化不明显。储层较好时补偿声波时差跳波明显,补偿中子测井会产生挖掘效应。其值一般为:补偿声波大于60 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 、补偿中子大于5%、补偿密度小于2.65 g/cm³。

3)电阻率曲线一般表现为中高阻背景下的低阻异常特征。深浅双侧向电阻率值通常在100~800 $\Omega \cdot \text{m}$ 之间。低角度裂缝存在时,电阻率值在致密层高电阻率背景下明显降低,曲线形状尖锐,深浅双侧

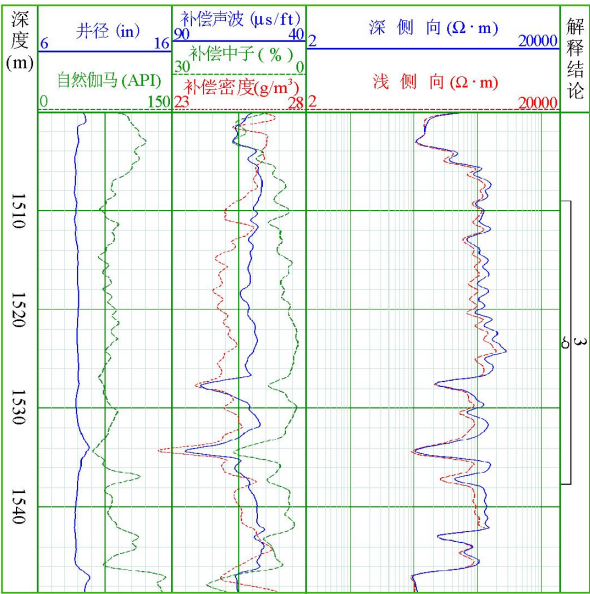


图 1 X1 井测井曲线图

向数值一般呈负差异^[5]。

综合分析认为,五宝场构造沙溪庙组主要为低孔、低渗的裂缝—孔隙型储层。

6. 气藏圈闭类型

五宝场构造沙溪庙组属“红色的氧化地层”,有机质丰度低,本身不具生烃条件,为次生气藏。从实钻成果分析,五宝场构造沙溪庙气藏工业气井的产层段主要分布在第Ⅴ、第Ⅳ砂体中,砂体间纵向被泥质岩分隔,互不连通,呈透镜状,同一砂体在平面上具有明显的非均质性,裂缝发育普遍较差,现有高产气井主要分布在构造较高部位,2口微气井位置明显偏低。因此,气藏圈闭类型应为构造—岩性圈闭^⑥。

二、砂体的地震响应特征

五宝场构造沙溪庙组砂体的地震响应特征受含气性、厚度、物性条件以及围岩等多种因素影响,表现出一定的复杂性和多样性。砂体储层夹于上下两套低速泥岩地层中,已完钻井资料表明,五宝场储层厚度一般在 20~50 m 之间,厚度较大时,地震反射特征明显。储层不发育(砂体含气性差)时,致密砂岩岩性稳定,顶部表现为强反射波特征;若储层发育(砂体含气性好),则孔隙度增加,速度降低,顶、底界面产生的波阻抗将形成弱反射,出现同相“扭曲”现象,类似“极性反转”特征,展示出天然气聚集部位速度降低的结果(图 2、3)。钻井取心研究表明,五宝场构造沙溪庙组砂体储层,裂缝以低角度裂缝为主,少含高角度裂缝。当低角度裂缝发育时,声波速度降

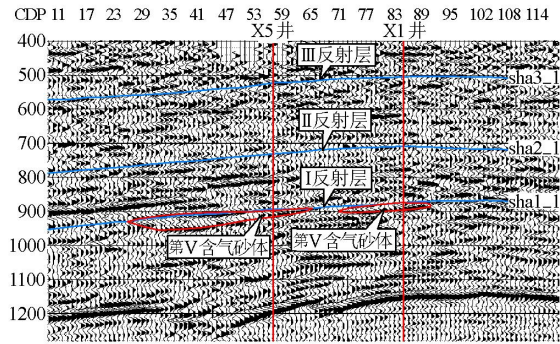


图 2 砂岩储层 23 震响应特征图(偏移剖面)

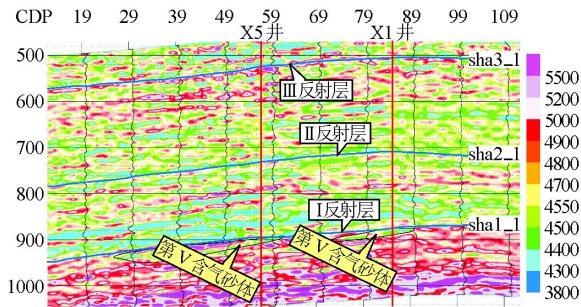


图 3 砂岩储层震响应特征图(速度反演剖面)

低,会产生较大的反射系数,也会对地震波反射频率产生较大影响,出现顶、底叠合波形主频异常,产生复波效应;当高角度裂缝发育时,对声波速度几乎无影响,增加了储层预测难度。

对五宝场各井砂、泥岩的速度分析,砂岩速度主要在 4200~5300 m/s 之间,泥岩速度主要在 4000~4900 m/s 之间,砂岩的速度明显高于围岩。而大多数含气砂体的速度范围在 4600~5300 m/s 之间,总体上呈高速异常特征,但含气性较好的砂体相对于非含气(或含气性差)砂体的速度又有明显的降低(图 3)。归纳为:在速度反演剖面上,较好的含气砂体具有高速背景下的低速异常特征,而含气性差或不含气的砂体只具有高速异常特征。

根据五宝场构造现有钻探程度,纵向上共识别划分出了 2 层含气砂体,对应于三维地震解释的第Ⅴ、第Ⅳ砂体。

1. 第Ⅴ砂体特征

该砂体即为嘉祥寨砂岩,对应于 X5 井产气层段及 X21 井下产气段,顶界对应沙溪庙组内部第Ⅰ反射层($T_{12} s^1$)。该砂体横向延伸远,除 X23 井发育较差未试油外(预测含气可能性仍大),钻穿该砂体的多口井试气均获工业气流,测井曲线对比性好,表现为同一砂体特征,分布稳定,厚度大,是本区最优质的含气砂体。

2.第Ⅳ砂体特征

相当于X21井下产气层段,位于沙溪庙组内部第Ⅱ反射层($T_{12}s^{\text{II}}$)向下50~65 ms范围内。从测井曲线分析,X5井、X21井可对比。横向上该砂体在X5、X21井区厚度最大,向四周逐渐减薄。砂体向东南延伸至X5井与X22井之间尖灭,向西延伸至东升与向家沟之间尖灭;向东北即在X21井以北急剧尖灭,至X23井区渐变为另一个小砂体,已无储层。

三、勘探思路

采用“滚动勘探、整体开发、分批实施、优质砂体优先”的勘探思路,有利于逐步加深认识、逐步拓宽勘探区域、降低投资风险,最终实现该气藏全面有效开发。

(1)充分运用地震、测井、钻井资料,精细描述、刻画主要含气砂体(嘉祥寨砂岩)的分布范围、储层特征,研究寻找有效的储层预测方法,加强沉积相、构造演化史等基础地质研究,进一步搞清有利储集砂体的展布规律。

(2)沙溪庙组为次生气藏,横向变化大,油气富集成藏的重要因素之一是有自下而上的油气运移通道存在。因此,适当甩开、外推,选择在沙溪庙组底界有断层切割但并未通天的断层附近进行勘探部署,尽快探明气藏规模。

(3)通过试采,进行井间连通情况分析,科学合理布置井间距。结合当地自然地理条件,采用一场多井、一井多层等井位布置模式,适时采用大斜度井、水平井、分支井,充分暴露产层,增大泄流面积,改善渗流状况,提高单井产能^[6]。

(4)五宝场构造纵向上除嘉祥寨砂岩外,其余砂体层数众多,气显示频繁,应部署一定的井位进行专探,以期早日发现接替砂体。

(5)五宝场构造沙溪庙组储层为低孔低渗的裂缝—孔隙型储层,钻井过程中要特别重视加强油气层保护,力争将气层伤害降到最低程度。完井后的后期改造—加砂压裂是提高单井产量的关键。针对不同储层,作好压裂油气藏模拟,优化施工设计,确保低伤害压裂,造出足够的有效支撑缝长,最大限度提高单井产量^[7]。

四、结 论

(1)以嘉祥寨砂岩底界(即X5井产气砂岩底界)作为划分沙溪庙组沙二段(J_2s^2)、沙一段(J_2s^1)的分界线是可行的,更具操作性。

(2)五宝场构造沙溪庙组构造形态相对简单,断层少、规模小,下延至三叠系的断层是重要的油气运移通道。

(3)五宝场构造沙溪庙组为冲积河平原—河流体系沉积,砂岩储层总体上表现为低孔隙度、低渗透率的裂缝—孔隙型储层特征,为构造—岩性圈闭气藏。

(4)砂体储层发育时,在地震反射剖面上,顶、底界面将形成弱反射,出现同相“扭曲”现象,类似“极性反转”特征。在速度反演剖面上,表现为高速背景下的低速异常特征。

(5)下步工作应立足主要含气砂体(嘉祥寨砂岩),采用滚动勘探、整体开发、分批实施、优质砂体优先的勘探思路。

成文中参考的内部资料有:①周文、姜兴福等,《四川盆地川东北部地区上三叠统及侏罗系勘探潜力》,2000;②马廷虎、熊兰琼等,“《宝场沙溪庙组含油气性及目标井位选择》”,2005;③严维礼、费怀义等,《四川盆地五宝场区块沙溪庙组气藏开发前期评价》,2006。

参 考 文 献

- [1] 马廷虎,等.渡口河构造珍珠冲段浅层天然气成藏条件分析[J].天然气工业,2005,25(9):14-16.
- [2] 罗啸泉,等.川西坳陷上三叠统油气运移特征[J].天然气工业,2004,24(8):4-7.
- [3] 蔡开平,等.川西地区侏罗系气藏气源研究[J].天然气工业,2000,20(1):36-40.
- [4] 郭正吾,等.四川盆地形成与演化[M].北京:地质出版社,1996:10-100.
- [5] 赵良孝,等.碳酸盐岩储层测井评价技术[M].北京:石油工业出版社,1994:20-30.
- [6] 杨洪志,等.先进技术在白马庙蓬莱镇组低渗气藏开发中的应用[J].天然气勘探与开发,2006,29(1):31-34.
- [7] 马廷虎,肖富森,等.东溪气田嘉陵江组低效气藏地质特征与挖潜思路.天然气工业,2007,27(2):10-12.

(收稿日期 2007-03-10 编辑 居维清)