

文章编号: 0253-9985(2006)03-0384-08

川西新场大型气田地质特征与预测关键技术

叶 军, 陈昭国

(中国石油化工股份有限公司 西南分公司, 四川 成都 610081)

摘要: 川西新场大气田由浅层构造-岩性气藏、中层构造-成岩气藏、深层构造-裂缝气藏叠置而成, 纵向跨度 4 000 多米, 具多层、多类气藏叠合型大气田特征。该气田纵向上以浅层上侏罗统蓬莱镇组、中层中侏罗统上沙溪庙组、深层上三叠统须家河组二段为主力气藏。蓬莱镇组气藏的主控因素为鼻状背斜上的河道砂岩亚相, 上沙溪庙组气藏的主控因素为古隆起上的河口坝与分支河道叠加微相砂岩中的有利成岩相, 须家河组气藏的主控因素为大型古隆构造带上的裂缝发育系统。针对浅层气藏天然气富集带预测的关键技术是“低频强振幅”地震响应亮点识别技术; 针对中层气藏天然气富集带预测的关键技术是多学科结合的储层综合建模预测评价技术; 针对深层气藏天然气富集带预测的关键技术是地质-地震-测井多学科相结合的裂缝综合预测技术和含气性检测技术。

关键词: 地质特征; 预测技术; 新场气田; 川西坳陷

中图分类号: TE112.2 文献标识码: A

Geological Characteristics of large Xinchang gas field in western Sichuan depression and key predication technologies

Ye Jun, Chen Zhaoguo

(Southwest Division Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081)

Abstract Xinchang gas field in western Sichuan depression is a large superimposed gas field characterized by multiple layers and various reservoir types with a vertical span of over 4 000 m, and is composed of the shallow structural-lithologic gas reservoirs, the middle structural-diagenetic gas reservoirs and the deep structural-fracture gas reservoirs. Vertically, its major gas reservoirs include the shallow layer Upper Jurassic Penglaizhen Formation, the middle layer Middle Jurassic Upper Shaximiao Formation and the deep layer Upper Triassic 2nd member of Xujiahe Formation. The main control factors of Penglaizhen Formation gas reservoirs are the channel sandstone subfacies in the nose-like anticline, the main control factors of the Upper Shaximiao Formation gas reservoirs are the favorable diagenetic facies in the sandstones of superimposed mouth bar and distributary channel microfacies on the palaeohigh, while that of Xujiahe Formation gas reservoirs are the fracture systems developed in the large palaeohigh structural zone. The key technology for prediction of prolific zone in the shallow gas reservoirs is bright spot identification of seismic response with “low frequency but strong amplitude”; the key technology for prediction of prolific zone in the middle gas reservoirs is multidisciplinary comprehensive reservoir model building while the key technology for prediction of the prolific zone in the deep gas reservoirs is the comprehensive prediction technology through geology-seismic-logging integration and gas-bearing property detection technology.

Key words geologic characteristics; prediction technology; Xinchang gas field; western Sichuan depression

位于川西坳陷的新场气田是“七五”末期发现、通过“八五”“九五”持续攻关研究和滚动勘探开发、于“九五”期末建成的大型天然气田^[1]。截止 2005

年末, 在新场气田的不同深度、不同层位共发现气藏 10 余个, 已建成开发井 515 口, 年产天然气 $13.73 \times 10^8 \text{ m}^3$, 探明天然气地质储量 $652.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。新

收稿日期: 2006-04-11

第一作者简介: 叶军 (1955—), 女, 高级工程师, 油气成藏地质

基金项目: 国家“九五”“十五”重点科技攻关项目 (96-110-03-01; 99-110-02-04; 2004BA616A-05)

场气田是川西坳陷中段燕山期古构造背景下多层、多类型气藏叠置的复式气田, 其发现是我国致密碎屑岩含气领域的重大突破。

1 地质概况

新场气田的区域构造位置处于川西坳陷中段绵竹- 盐亭北东东向燕山期大型隆起带中部, 其南、北分别为彭县向斜和梓潼向斜。新场构造是一个向东倾没的鼻状背斜, 西邻孝泉背斜, 东连青岗咀、合兴场南北向构造 (图 1)。气田由上三叠统一白垩系陆相碎屑岩沉积体系构成, 总厚度逾 5 000 m。其中, 自下而上已发现深层致密- 超致密裂缝性须家河组二段气藏、孔隙- 裂缝性须家河组四段气藏, 中层致密裂缝- 孔隙性上沙河街组气藏 (沙河街组一段、沙河街组二段、沙河街组三段)、裂缝性千佛崖组砾岩气藏及浅层孔隙性蓬莱镇组气藏 (蓬莱镇组一段、蓬莱镇组二段、蓬莱镇组三段)、白垩系气藏等十余个气藏 (图 2)^[2]。这

些气藏分布的纵向跨度达 4 000 m 以上, 不同深度的气藏类型和成藏特征差异较大。

上三叠统须家河组三段滨岸湖沼相和须家河组五段内陆湖沼相的含煤泥质岩是新场气田主要的烃源岩。储集岩主要是砂岩类和少量砾岩及砂砾岩类, 从浅至深储集岩物性依次变差, 由低渗透层带- 一致密岩带- 超致密岩带^[3]。气藏圈闭类型从浅至深由构造- 岩性复合圈闭- 构造- 成岩复合圈闭- 构造- 裂缝型圈闭^[4]。

2 气藏地质特征与预测关键技术

2.1 浅层气藏

新场浅层气藏主要指深度不大于 1 500 m 的上侏罗统蓬莱镇组气藏 (J_3p), 其次为白垩系 (K) 气藏。

2.1.1 构造、沉积与储层特征

新场浅层蓬莱镇组构造为孝泉背斜向北东东

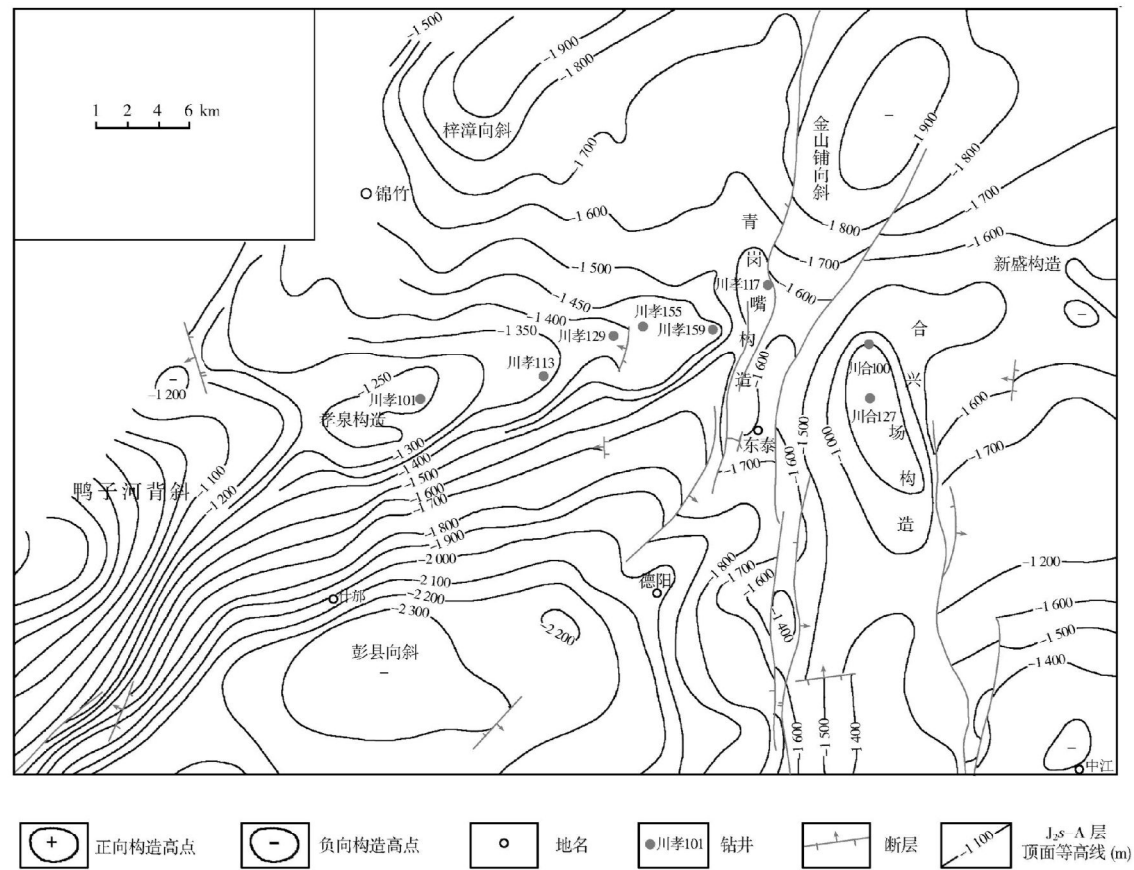


图 1 新场气田构造
Fig.1 Structural map of Xinchang gas field

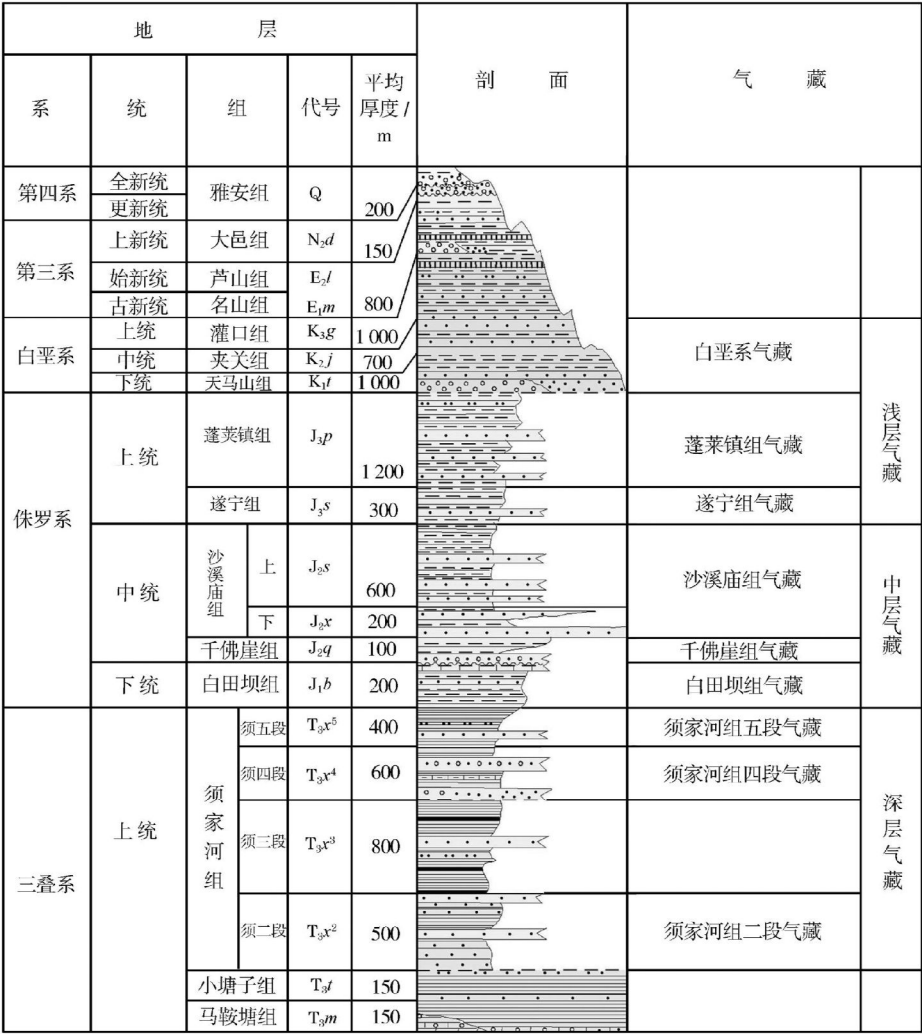


图 2 新场气田地层与气藏纵向分布

Fig. 2 Vertical distributions of strata and gas reservoirs in Xinchang gas field

延伸并向东倾没的鼻状背斜。其南翼稍陡, 倾角约 $3.0^{\circ} \sim 3.5^{\circ}$; 北翼平缓, 倾角约 $2.0^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$ 。气田东部和南翼发育有断至须家河组的南北向深断裂及一些小断层。

蓬莱镇组气藏总体沉积环境为河流与三角洲-湖泊环境。 J_3p^3 和 J_3p^1 时期为三角洲-湖泊相, 发育有三角洲平原分流河道、决口扇、天然堤、河漫滩等微相以及三角洲前缘水下分流河道、河口坝、远砂坝、滨湖砂泥坪等微相。 J_3p^2 时期以河流相为主, 发育有河道、决口扇、天然堤与河漫滩等微相。

蓬莱镇组气藏储层岩性主要为浅褐、浅绿灰色细粒长石岩屑石英砂岩, 次为细粒岩屑石英砂岩和粗粉砂岩, 部分含泥。储层非均质性较强, 由浅到深储层致密化程度增加 (表 1)。

表 1 蓬莱镇组储层参数及类型
Table 1 Reservoir parameters and types in Penglaizhen Formation

地层	J_3p^3	J_3p^2	J_3p^1
埋深 /m	< 800	800~ 1 200	1 200~ 1 600
孔隙度 /%	13.34~ 19.80	9.51~ 13.48	7.30~ 13.20
平均孔隙度 /%	15.02	11.83	9.88
渗透率 $/(10^{-3} \mu m^2)$	2.09~ 6.90	0.37~ 2.24	0.09~ 3.38
平均渗透率 $/(10^{-3} \mu m^2)$	4.90	1.38	0.38
砂体类型	湖泊型三角洲 毯状砂体为主	河道砂	湖相滩坝砂 水下河道砂
储层类型	近常规孔隙型	近致密储层	致密储层

2.1.2 圈闭类型与气藏形成机理

新场气田浅层蓬莱镇组气藏是在鼻状背斜构造背景上, 叠置三角洲-湖泊沉积环境中的分流河

道砂岩、河口坝砂岩、河道砂岩以及水下隆起滩坝砂岩等形成的。构造范围内的有利储层微相展布控制着气藏的形态。储层的分布与不同微相带有密切关系。首先,Ⅰ、Ⅱ类储层主要分布于分流河道、河口砂坝中;而Ⅲ类储层主要分布在决口扇、远砂坝中。远砂坝前缘中的砂体一般是非有效储层。因此,沉积微相控制着砂体、含气砂体的发育和展布。

新场鼻状背斜向东倾没,向西开启,在新场地区蓬莱镇组构造层没有构成圈闭,含气范围无构造圈闭控制。因此,蓬莱镇组气藏的圈闭类型为鼻状构造背景下的岩性圈闭。其圈闭形成机理是鼻状构造背景提供了天然气运移聚集的低势区,有利沉积微相提供了天然气输导和储集的空间,泥质岩相则构成砂岩封堵。由于蓬莱镇组在沉积时正值下伏上三叠统须家河组主力烃源岩的成烃高峰期,整个沉积成岩过程都有被油气充注的机遇,故有利的相带诸如分流河道、河口砂坝等首先成为了油气聚集的部位;而天然堤等为较差的相带,其含气性则相对变差,显示了岩性的制约作用。

2.1.3 浅层气富集带预测关键技术

新场浅层蓬莱镇组天然气富集的主控因素是构造隆起背景下的有利沉积微相砂体,据此确定预测技术的关键是有利沉积微相、砂体、含气性预测。针对技术关键,采用地质、地震^[5,6]、测井多学科联合攻关,形成了浅层气富集带预测的技术系列。该技术系列主要由6项单项技术组合而成。

1) 储层沉积微相研究技术

该技术的主要环节有:①岩石相及其组合层序的研究;②测井曲线形态特征及组合规律的研究;③沉积环境地震响应特征的研究;④储层沉积背景的环境模式及骨架微相、伴生微相的确立;⑤储层沉积微相类型及其纵、横剖面展布和平面分布规律的研究;⑥储层沉积微相沉积演化序列的研究;⑦储层沉积微相与含气性的探讨;⑧有利储层沉积微相模式的预测。

2) 薄砂岩储层的精细标定技术

通过合成地震记录标定,确定砂体(砂组)在三维剖面上的相应反射,这是砂体含气性判别和地震响应模式建立的基础。精细标定包括在三维保幅剖面上对砂体的标定和在Interwell反演剖面

上对砂体顶、底的标定。在保幅剖面上对蓬莱镇组薄储层的标定。主要通过制作单井或连井的合成地震记录实现。

3) 砂体含气性亮点判别技术

含气砂岩在声波测井和密度测井曲线上表现敏感。新场气田蓬莱镇组气藏多口典型井含气砂岩及其围岩声波测井和密度测井资料的统计显示,含气砂岩的速度为 $3\,000\sim 3\,500\text{ m/s}$,密度为 $2.38\sim 2.59\text{ g/cm}^3$;围岩的速度为 $3\,850\sim 4\,500\text{ m/s}$,密度为 $2.60\sim 2.77\text{ g/cm}^3$ 。因此,含气砂体与围岩间存在明显的波阻抗差异。通过楔状含气砂体地质模型正演,得到了含气砂体的亮点判别模式。

4) 沿层反射波属性提取综合分析技术

新场气田蓬莱镇组气藏的砂岩储层横向变化大,非均质性强。储层含气时与围岩有较大的波阻抗差异,从而引起反射波振幅出现较大的差异。对众多地球物理参数,例如振幅、频率、相位类参数、波阻抗参数的实验与对比分析表明,从地震数据体中提取各类振幅参数可较好地识别储层、判别储层的含气性。

5) 三维相干检测河道边界技术

在考虑了构造倾角、断层走向的情况下,利用三维地震数据在空间上的相干性,对三维地震数据作相干性处理。具有相同反射特征(振幅、频率、相位)的区域呈高相干性;而在岩性变化的突变点呈低相干性。从低相干值的空间展布特征,能快速识别出断裂、断层以及小断层;高相干值有助于快速识别古河道、河口坝等岩性异常体,并有利于快速划分异常体的边界(图3)。

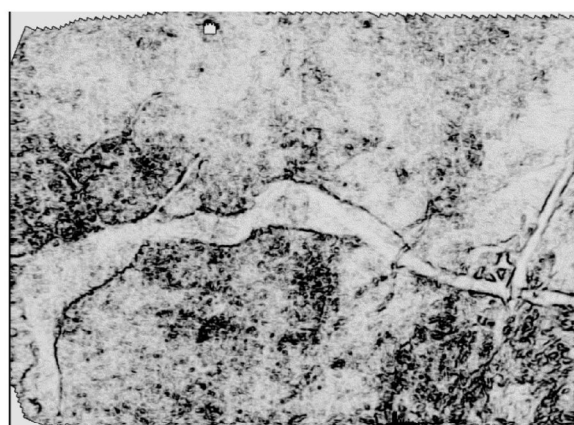


图3 三维相干检测河道边界(新场气田 J_3p^1 气藏)

Fig.3 Channel boundaries from 3D coherence detection (J_3p^1 gas reservoir in Xinchang gas field)

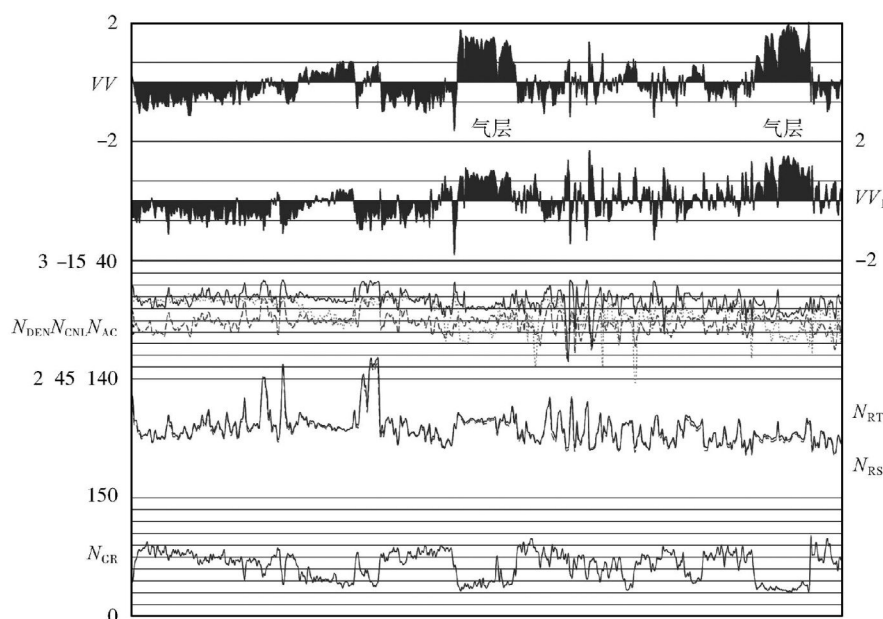


图 4 某井多参数处理成果 (新场气田 J_3p^2 气藏)

Fig. 4 Results of multi-parameter processing in a well (J_3p^2 gas reservoir in Xinchang gas field)

6) 测井多参数气层综合判别技术^[7]

将每一种测井响应当成一个随机变量,从随机变量的分布特点出发研究含气性。通过对测井资料作正态化处理,统一刻度,消除量纲差异,根据不同曲线的含气响应特征构筑多参数综合判别函数。判别函数的表达式为:

$$VV = aN_{AC} + bN_{CNL} + cN_{DEN} + dN_{GR} + eN_{RT} \quad (1)$$

式中: a, b, c, d, e 为权值系数,由天然气对各测井的影响而确定; $N_{AC}, N_{CNL}, N_{DEN}, N_{GR}, N_{RT}$ 分别为正态化以后的声波时差值、中子值、密度值、伽马值、电阻率值,无量纲。

当储层条件相同或接近时,各种测井信息在反映储层含气性方面有较好的一致性。因此判别函数分布在某一区间,该区间的下限就是地层含气时判别函数指示的最小值。图 4 是某井蓬莱镇组二段气藏运用多参数综合判别技术对气层进行识别的实例。 VV 和 VV_1 是根据不同的测井响应所构筑的判别指标,异常高值处即是气层。经测试证实,该方法对新场蓬莱镇组气藏的判断准确率达 100%。

“九五”以来,新场浅层蓬莱镇组天然气富集带预测技术系列的应用,使勘探、开发井部署成功率达到 100%,有力地促进了新场气田的增储上产,获得了很好的经济效益。同时,这套技术在川西坳陷其它气田(如洛带、马井、新都等气田)浅层气勘探开发的推广应用,也取得显著成效。

2.2 中层气藏

新场中层气藏主要指深度在 1 500~3 300 m 的中侏罗统上沙溪庙组气藏 (J_2s),其次为中侏罗统千佛崖组气藏 (J_2q)。

2.2.1 成藏地质特征

新场地区上沙溪庙组的构造特征与上覆蓬莱镇组反射层形态基本一致。地史中,上沙溪庙组曾经历巨大埋深和强烈的构造挤压作用,砂岩整体致密化,平均孔隙度小于 12%,平均渗透率仅 $0.08 \times 10^{-3} \sim 0.20 \times 10^{-3} \mu m^2$,孔渗相关性很差,相关系数一般小于 0.5。在这种致密低渗透储层背景下,如何认识其天然气富集规律,寻找气藏的中、高产富集带,将上沙溪庙组气藏蕴含的丰富天然气储量变成可供工业性开采的产能,曾经是西南石油局勘探开发中的一道高难度课题。科技攻关和几轮气藏描述揭示出,上沙溪庙组致密厚大的砂岩并非“铁板”一块。在致密低渗透背景下,砂岩内部的非均质性极强,尤其表现在渗透性上的差异极大。这种渗透性能的好坏直接决定了气井产能的高低^[8]。孔隙度在上沙溪庙气藏中已不再象蓬莱镇组气藏是决定气藏产能的最直接因素。上沙溪庙组气藏实质上是由砂层内部分布着的许多独立的成岩改造储渗体组合而成,这些储渗体由低渗透的致密砂岩或泥岩构成三度空间上

的封隔。虽然鼻状隆起向西往孝泉方向开启,但由于成岩相变形成封堵,气藏保存完好。此外,气藏的有效含气面积并未受鼻状构造最大圈闭线的制约。这充分显示了有利成岩相带对气藏的控制作用。因此,新场上沙溪庙组气藏的圈闭类型为鼻状构造背景下的构造-成岩复合圈闭。

成岩圈闭与岩性圈闭不同,前者是化学成因。而后者是机械成因。但构造-成岩复合圈闭也可以归结为广义的构造-岩性圈闭。为了强调成岩改造在川西致密碎屑岩领域中形成储渗体的作用而使用构造-成岩复合圈闭的定义,它指的是在古今背斜、鼻状背斜等局部构造背景下于厚度较大的稳定的沉积相带砂体中形成的成岩圈闭。其形成的主要机理是:油气运移作用造成孔隙水介质的变化,在流体迁移的过程中发生一系列的水、岩相互作用,次生孔隙带成为储渗空间,沉淀胶结致密带形成圈闭。因此,成岩后生作用的差异是控制该类气藏形成和分布的主控因素。其气藏边界形状不规则,勘探开发及预测难度均较大。

新场气田沙溪庙组气藏埋深 1 500~ 2 300 m,

储层以三角洲平原的分支河道叠加微相沉积为特征,砂体纵向频繁叠置厚度 15~ 30 m 左右,平面呈毯状展布,层位稳定,岩性以中-细粒岩屑长石砂岩为主。在该储层中,因成岩后生作用产生的长石溶蚀作用、石英胶结沉淀和方解石胶结作用非均质发育,形成了储渗能力各异的储渗体^[9]。此处储渗体是指在构造圈闭范围内由成岩流体物质在岩石中发生迁移而形成的那些诸多独立、互不连通、并能产出天然气的几何体(图 5)。经研究发现,较好储渗体的周围均被非渗透的致密岩石包围。在纵向上,砂层顶、底多已致密而不作为有效储层;砂体中段有时也并不连续含气,有效储层与砂层的厚度比值小于 0.5 的在该气藏储层中占 72%,显示了成岩作用对气层的强烈改造。

2.2.2 中层气富集带预测关键技术

针对新场气田中层上沙溪庙组气藏的储层品质和空间展布受建设性成岩作用控制、相对高孔渗带和致密带穿插分布、中高产井的命中率取决于高级别储渗体发育部位是否预测准确的特点,

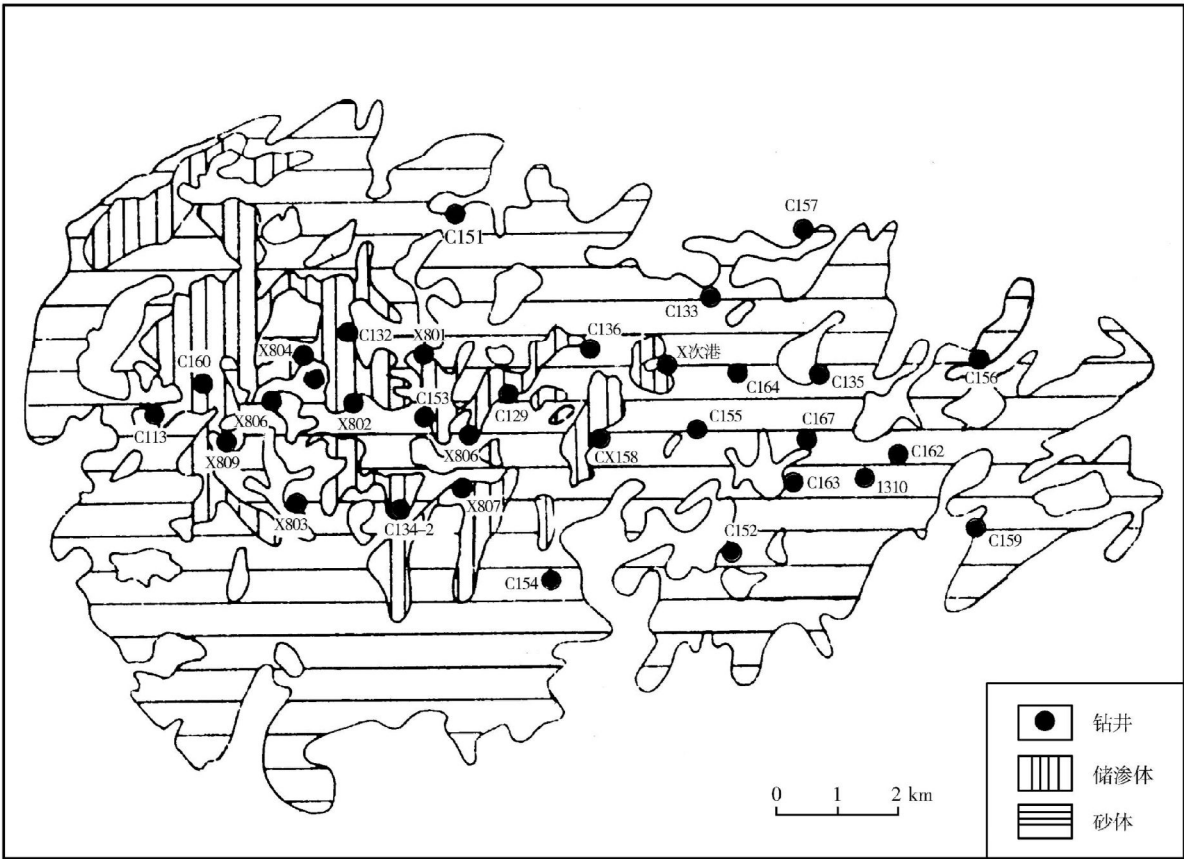


图 5 新场气田上沙溪庙组气藏储渗体分布

Fig.5 Distribution of the reservoir-seepage bodies in Upper Shaximiao Formation gas reservoirs in Xinchang gas field

研究形成了储层综合建模预测评价技术。该项技术的关键在于多学科、多技术、多参数的综合集成。建模技术路线是以动、静态信息为线索,以表征储层储集差异现象的地质模型为指导,充分运用地震、测井多种处理解释手段,以等效地球物理模型为纽带,建立储渗体储层地质、测井、试井动态、地震响应的各种识别标志,再通过这些标志实现对未知储渗体的预测和综合评价,直接指导钻井部署。

建模步骤与方法如下:

1) 资料准备,包括钻井地质、测井、测试、试井、试采、三维地震处理、岩石与流体实验分析等资料。

2) 根据沉积微相和储集岩物性、微观镜下孔喉结构、压汞、微裂缝发育程度等特征,结合动态渗透率、井控供气范围、已知油气井产能,描述各类储渗体特征,制定标准并划分储渗体类型。

3) 利用不同储渗体上的钻井测试、生产资料,开展各类储渗体储层流体产出特征和储层物性特征与测井曲线的相关性研究,确定相应储渗体的测井响应特征,划分出储渗体纵向分布井段。

4) 在上述工作基础之上,开展钻井约束地震反演,确定各类不同级别储渗体储层的含气性地震响应(振幅、速度、频率)特征和参数,然后开展储层横向追踪,圈定储渗体平面展布范围。

5) 绘制储渗体综合建模预测评价图。

6) 输出储渗体平面分布图,开展预测与综合评价。

7) 开展井位部署。

该项技术为解决新场气田上沙溪庙组“构造-成岩”复合圈闭气藏的中、高产富集带预测问题而建立,经应用实践获得很好效果。它不仅搞清了各类储渗体的空间展布,而且使钻井成功率由综合建模预测前的 25% 提高到了 100%。

以上储层综合建模预测评价技术能推广应用于致密碎屑岩中的“构造-成岩”复合圈闭气藏类型。目前,该技术在川北部阆中-柏垭侏罗系油气田、川西马井侏罗系气田的勘探开发应用中已取得了很好的效果^[10-11]。

2.3 深层气藏

新场深层气藏系指埋深大于 3 000~5 000 m

的上三叠统须家河组(T_{3x})气藏。2000 年 11 月,新 851 井于井深 4 823.20~4 846.00 m 井段获无阻流量 $151.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 发现了须家河组二段气藏;2004 年 3 月,新 882 井于井深 3 410.34~3 433.80 m 井段获测试产量 $9.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 发现了须家河组四段气藏。

须家河组砂岩的基质物性很差,平均孔隙度小于 6%,渗透率一般不大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属超致密砂岩范畴。含气储层孔隙度相对较高,须家河组四段可高达 6%~9%;但基质渗透率仍然很低,一般小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,没有裂缝的改造,须家河组储层已不具备自然渗流的能力。故裂缝预测技术是实现高产预测的关键技术之一。

但是,新场深层的勘探实践同时表明,并非裂缝发育的部位都可获高产气流。如在新 851 井北东方向 2 km 左右的联 150 井,于须家河组二段上部漏失泥浆 100 余立方米,录井显示裂缝发育,但未获产能。因此,储层的含气性识别技术是须家河组气藏勘探的关键技术之二。

“十五”以来,针对上三叠统须家河组储层的裂缝识别和含气性识别,西南分公司开展了大力度的科技攻关,取得了部分方法技术研究成果。

1) 在建立川西深层须家河组地震处理和解释配套方法技术的基础上,采用高分辨层序地层学和地震地层学相结合的研究方法,形成了适合川西上三叠统须家河组储层的横向预测方法技术。利用所建立的砂体储层横向预测技术,对须家河组四段、须家河组二段的主要砂体进行了预测,取得了须家河组四段 7 套、须家河组二段 4 套砂体平面展布及厚度预测成果。

2) 通过地震、地质及测井等多学科联合研究,系统地建立了地震裂缝预测方法、地质裂缝预测方法和测井裂缝识别方法相结合的多学科裂缝预测配套方法技术系列。其中,自主研发了 P 波方位各向异性裂缝密度和方位计算方法软件,建立了三维宽方位采集、地震资料叠前预处理和裂缝预测一体的 P 波方位各向异性裂缝预测技术,裂缝预测结果经与钻井对比证实其可靠性较高。

3) 针对深层致密砂岩储层含气性检测问题,初步建立了包括测井、地震方法在内的须家河组储层含气性识别方法系列。在地震预测方面,以叠前反演方法和叠前地震信息提取为主,开发和

研制了纵波 AVO 储层含气性检测、拟横波 AVO 岩石物性参数反演、地震吸收与速度发散叠前反演油气检测、Proni 吸收滤波和非线性油气预测等方法技术,取得了较好的方法试验效果,展示了良好的推广应用前景。在测井预测方面,建立了包括纵、横波比储层含气性识别技术、CMR 核磁测井孔隙有效性分析等含气性识别方法技术系列。

由于新场乃至全川西坳陷上三叠统须家河组特定的深-超深、超高压、超致密、高温等地质条件,虽然对其富集带预测的关键技术研究取得了很大进展,在勘探中也取得了多口工业气井新发现的成效,但裂缝预测精度还需要进一步提高,特别是含气性检测技术攻关仍然需继续开展。

参 考 文 献

- 1 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~ 326 331
Yang Ken ing Status of oil& gas resources and prospecting potential in western Sichuan depression [J]. Oil& Gas Geology, 2003, 24(4): 322~ 326 331
- 2 杨克明, 叶军, 吕正祥. 川西坳陷上三叠统须家河组天然气分布及成藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 501~ 505
Yang Ken ing Ye Jun Lü Zhengxiang Characteristics of gas distribution and reservoiring in Upper Triassic Xujiahe Formation in western Sichuan depression [J]. Oil& Gas Geology, 2004, 25(5): 501~ 505
- 3 朱彤, 叶军. 川西坳陷致密碎屑岩气藏类型划分及特征 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(4): 377~ 382
Zhu Tong Ye Jun Tight sandstone gas pool classification and characteristics in western Sichuan depression [J]. Petroleum Geology& Experiment, 2004, 26(4): 377~ 382
- 4 杨克明, 唐宇, 李书兵, 等. 川西坳陷低孔渗碎屑岩气藏形成机理及勘探潜力 [A]. 杨克明, 徐进, 编. 天然气成藏理论与勘探开发方法技术 [C]. 北京: 地质出版社, 2004 22~ 26
Yang Ken ing Tang Yu Li Shubing et al Low porosity& low permeability gas accumulation forming mechanism and exploration potential in Chuanxiao depression [A]. In Yang Ken ing Xu Jin eds Natural gas reservoiring theory and exploration& development methods and technologies [C]. Beijing Geological Publishing House, 2004 22~ 26
- 5 张虹. 新场、合兴场气田蓬莱镇组气藏含气砂体横向预测 [A]. 杨克明, 徐进, 编. 天然气成藏理论与勘探开发方法技术 [C]. 北京: 地质出版社, 2004 502~ 511
Zhang Hong Lateral prediction for gas-bearing sand body in Penglaizhen Formation in Hexingchang gas field [A]. In Yang Ken ing Xu Jin eds Natural gas reservoiring theory and exploration& development methods and technologies [C]. Beijing Geological Publishing House, 2004 502~ 511
- 6 张筠. 川西地区致密碎屑岩储层测井评价技术 [J]. 测井技术, 2004, 28(10): 419~ 422
Zhang Yun Logging evaluation technology for tight elastic rock reservoirs in western Sichuan [J]. Logging Technology, 2004, 28(10): 419~ 422
- 7 许国明, 刘诗荣, 杨成. 地震反射波属性分析和联井反演技术在川西气藏描述中的应用 [A]. 杨克明, 徐进, 编. 天然气成藏理论与勘探开发方法技术 [C]. 北京: 地质出版社, 2004 555~ 566
Xu Guo ming Liu Shirong Yang Cheng The application of the attributive analysis on seismic reflected wave for western Sichuan gas reservoir description [A]. In Yang Ken ing Xu Jin eds Natural gas reservoiring theory and exploration& development methods and technologies [C]. Beijing Geological Publishing House, 2004 555~ 566
- 8 叶军, 唐艳. 川西坳陷 J_2s 储集岩特征与孔隙形成、保存机制 [J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 47~ 51
Ye Jun Tang Yan The characteristics of J_2s reservoir rock and its pore-forming& preservation mechanism in western Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(1): 47~ 51
- 9 叶军, 朱彤, 赵泽江. 川西新场气田上沙溪庙组 (J_2s) 气藏储集体特征及形成机理研究 [J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 384~ 389
Ye Jun Zhu Tong Zhao Zejiang The characteristics of J_2s reservoir and its forming mechanism in Xinchang gas field in western Sichuan [J]. Petroleum Geology& Experiment, 1998, 20(4): 384~ 389
- 10 黎从军. 川北柏垭地区大安寨一亚段储渗体特征及油气分布 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 81~ 83
Li Congjun Oil-gas prediction and characteristics of reservoir bodies for Da'anzhai 1 submember in Baiya of North Sichuan [J]. Oil& Gas Geology, 2002, 23(1): 81~ 83
- 11 黎从军, 张 Xiaopeng, 张 Shaonan. Prediction of a low tight sandstone reservoir in the Majing gas field, Sichuan basin, China [J]. Journal of Geophysics and Engineering, 2004 (3): 228~ 233

(编辑 李 军)