

文章编号: 1009-3850(2004)04-0066-10

# 川西坳陷中段上三叠统须家河组二段层序地层初析

董立全<sup>1</sup>, 王 信<sup>1,2</sup>

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国石化西南分公司 勘探开发研究院, 四川 成都 610081)

**摘要:** 须家河组二段是川西坳陷中的区域气层。长期以来, 地质分层采用岩石地层单位界面。这一界面的穿时性, 造成了构造演化分析中的误差。笔者以钻井、测井和地震资料为主要研究对象, 在引入地震反射“等时”约束条件的前提下, 通过对须家河组长期基准面旋回层序及须二段中期基准面旋回层序的划分和对比, 在建立高分辨率时间-地层格架的基础上, 经过地震微相特征的仔细分析, 确认须二段顶面属 III 级整合界面。

**关键词:** 川西坳陷; 上三叠统; 须家河组; 层序地层

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

## 1 前言

川西坳陷已经成为一个重要的天然气生产基地, 其中高产稳产的上三叠统须家河组气藏特别引人注目。区域气层——须家河组二段, 已经发现中坝、合兴场等中型气田和一批高产气井, 如新 851 井须二段, 清水替喷测试无阻流量  $151.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 试采一年中, 产能有明显上升, 在产出  $2.4 \times 10^8 \text{ m}^3$  天然气之后, 无阻流量达到  $335 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ <sup>[1]</sup>。然而, 须家河组圈闭复杂, 其中最突出的就是缺乏与现今构造的对应关系, 明确展现了早期成藏的特点, 如中坝气田的须二段气藏为古构造成岩圈闭<sup>[2]</sup>。因此, 构造演化分析必然成为圈闭识别、评价中的关键技术。但地层研究相对滞后, 不能适应构造演化分析的需要。

长期生产中普遍使用岩石地层单位。事实上, 特别在陆相地层中, 大范围内不存在连续平整的岩石地层界面。有人已经认识到, 地质上分层和作图时采用的岩石地层单位界面, 实际上是个锯齿形犬牙交错的岩相变化带。徐怀大(1995)指出: “世界上

几乎每个时代的地层、每个盆地中、盆地四周的地层划分, 都存在着久战不息的争论, 其根源就在于把地层划分成彼此矛盾的时间地层单位、生物地层单位和岩石地层单位, 而没有把年代地层单位作为唯一的客观标准, 因为在地震地层学诞生前, 没有一种有效的方法, 能够在三维空间追索这一界面”<sup>[3]</sup>。层序地层学是在地震地层学基础上发展并完善的, 构造演化分析必须依据层序地层的研究成果才能有新的发展。

笔者根据层序地层学方法, 在对各层序界面成因、层序类型、沉积相特征分析的基础上, 提出了用层序地层学方法, 优化地层组、段划分的新思路, 对分歧意见较大的须二段顶面, 使用以 III 级界面对应的湖泛面、即最大湖泛面为等时对比标准, 取得了良好效果。

## 2 层序界面的识别及层序划分

层序是以顶、底不整合或相关整合界面来划分的, 因此, 层序界面的识别是层序地层研究中关键技术之一, 川西地区有 5 种不同级别的界面。

收稿日期: 2004-06-04

第一作者简介: 董立全, 1979 年生, 硕士生, 从事油气田开发。

### 1. I级界面

中三叠统雷口坡组顶古侵蚀面,对应于地震剖面的标准反射层T<sub>6</sub>。该界面之下海相碳酸盐地层削截明显,界面之上的陆相地层显著出现深凹陷底部充填和逐层向东上超,具有I级不整合界面性质。

### 2. II级界面

须三段顶面(T<sub>3</sub><sup>2</sup>)分隔了“须上盆”(边缘盆地)和“须下盆”(前陆盆地)。该界面反映了较强的地区性构造运动——安县运动,对应地震T<sub>3</sub><sup>2</sup>反射层。该界面在盆地的不同部位具有不同性质,特点为由盆地边缘的侵蚀不整合界面向盆地中部渐变为整一界面,但界面上下在地震相构型上不同:其下,由西向东出现削截—顶超—平行结构;其上,由西向东则为上超—平行结构。显示界面的成因与构造隆升、沉降而引发的大幅度沉积超覆作用相关。

须家河组顶面推测亦可能为II级界面,但其中尚有较多待研究的问题。

### 3. III级界面

须二段和须四段顶面具II级整合界面性质,界面处虽然缺乏明显的侵蚀作用,特别存在地层的横向变化,但界面上下反射结构在区域剖面上具有较明显的区别。如须三与须二分界所对应的反射,就难以形成连续性较强的区域性标准反射。层序地层学原理确认,反映一组相邻岩性界面的复合波形其产状在宏观上将基本平行于时间界面。进一步分析发现,如以川鸭95井须二段顶面为准,界面之上具有上超反射特征,界面之下常为平行—亚平行反射结构;须四段与须五段地层有相对较大的波阻抗差异,在地震剖面上与此分界面相对应的T<sub>3</sub><sup>2</sup>反射波较连续,基本可实现横向同相追踪对比,显示须四段顶部存在一个区域范围内可稳定追踪对比的沉积间断面。上述两个界面,无论在钻井剖面或地震剖面上,均表现为基准面有较大幅度下降和界面两侧相构型有较大差异的转换面,此为划分基准面旋回层序的重要界面标志。

### 4. IV级界面

该类界面由基准面低幅度下降、气候变异或沉积物供给速率变化等因素所造成,钻井剖面常表现为同一沉积体系或相带内的间歇暴露和短暂的沉积间断面,具有低级别的相转换面性质。在地震剖面上显示则不明显,虽然局部可以见到超覆结构,但总体上表现为整一界面。由于此类界面在测井剖面中易于识别,其特征的标志表现为测井曲线上由一系列进积叠加样式过渡为一系列退积叠加样式的重要

相转换面,对应的岩性变化为:界面之下的单砂层向上增多变粗,泥质含量减少;界面之上则出现反向的变化序列,有两种表现形式,其一以冲刷面形式出现在两套进积砂体之间,其二以整一界面处于进积与退积的砂泥岩互层组合中。在该区须二段地层中,以前一种表现形式的界面广泛发育和界面两侧砂岩含量高为突出特征。因而此种界面不仅为划分中期基准面旋回的重要标志,也是区域上预测有利储集砂体发育位置的重要线索。

### 5. 湖泛面

湖泛面可进一步划分成4个级别,其中以与IV级和II级界面所对应的湖泛面在层序地层分析中最具等时对比研究意义。它们依其形成和保存的差别分为两种:其一为位于非对称型基准面旋回层序顶部的湖泛面,相当下降半旋回的时间跨度,其成因与基准面下降期的无沉积作用或侵蚀冲刷作用有关,因而又可视作无沉积作用间断面或侵蚀冲刷间断面,该类界面主要发育在须二段的IV级旋回层序中,偶见于须四段下部;其二为位于对称型基准面旋回层序内部的湖泛面,系基准面上升达高点位置后折向下降的转换点位置,为一连续沉积的整和界面,该类型为须家河组各级次基准面旋回层序中最为发育的湖泛面。

湖泛面在钻井剖面中标志较清晰,不同级次的基准面旋回中均表现为测井曲线单向或脉动性移动到高幅极限位置后,折为向幅度降低方向移动的转换面,对应岩性为向上变细序列或向上变粗序列底部相对富泥或大套质纯泥岩的发育位置。须二段内部的IV级湖泛面在大区域范围的等时追踪效果较差,但在研究区的一定范围内,其中尤以发育于须二段上部的II级湖泛面,由于在测井和地震剖面中均易于识别,具有较好的等时追踪对比性。

## 3 须家河组长期基准面旋回层序划分

在分析研究川西坳陷构造演化对沉积层序控制作用、盆-山转换关系和界面性质、层序结构以及叠加样式的基础上,以钻井岩心、测井、地震特征的综合分析为主要依据,提出了以长周期时间单元为等时地层对比单元框架的层序地层综合划分方案,对须家河组进行层序划分。

被研究的近十口钻井分布于新场—丰谷燕山期北东东向隆起带上和南侧相邻地区(图1),均为钻达须家河组的深井,但钻穿须二段的井只有川鸭92井、川鸭95井和川合100井等3口井。对区域二、三

维地震剖面数据拼接和重处理, 制作了 5 口深井的合成地震记录, 其中对川鸭 95 井须二段进行了测井数据标准化和地震资料重处理后的首次地震地层标定, 合成记录与地震剖面相关系数高。根据联合标定、剖面追踪和多井划分、对比, 以 II 级界面为界, 将须家河组划分为 4 个长期基准面旋回层序(表 1)。其中发生于晚三叠世须三段沉积末期的“安县运动”, 是该区晚诺利期最为剧烈、对须家河组沉积格

局影响最大的一次构造运动。在前人研究成果中, 以此界面将须家河组分为“须上盆”和“须下盆”两个构造充填沉积序列: “须下盆”在西侧深凹陷厚 2000m 以上, 向东迅速减薄, 到川中地区是否还有沉积或仅有局部残留, 目前尚有不同认识; “须上盆”的沉积中心在大邑经成都北到金堂一带, 和“须下盆”凹陷呈北东方向不同, “须上盆”表现为东西向, 所以, 须家河组是两套性质不同盆地的叠合。“须上

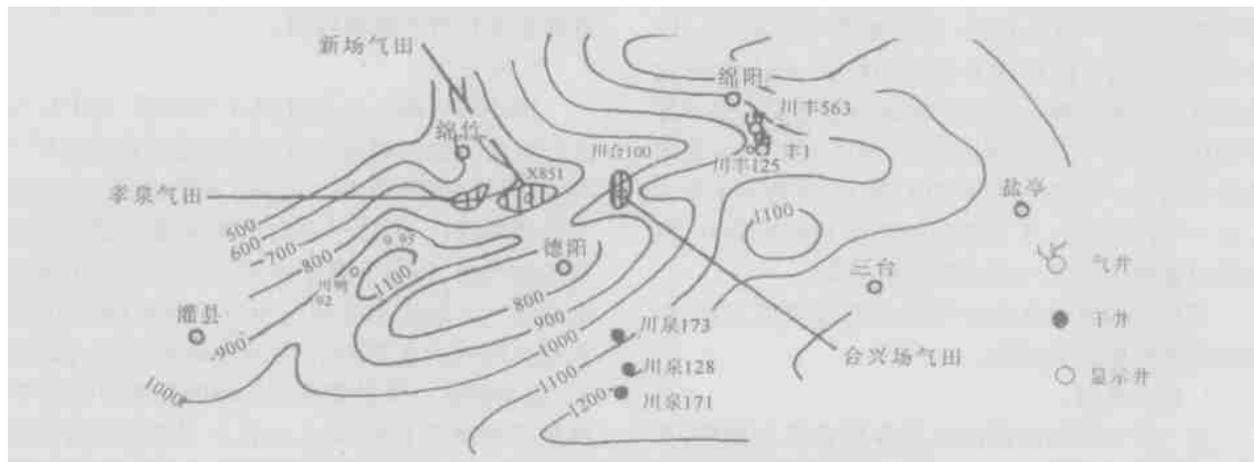


图 1 川西地区侏罗系中统厚度与深钻井分布图

1. 气井; 2. 干井; 3. 显示井

Fig. 1 The Middle Jurassic stratial thickness and deep-seated borehole distribution in western Sichuan depression

1= gas well; 2= dry well; 3= gas show

表 1 川西拗陷中段三叠系—侏罗系盆地充填序列沉积层序划分简表

Table 1 Division of the depositional sequences of the Triassic—Jurassic strata in the middle part of western Sichuan depression

年代地层	岩石地层		代号	地震界面	基准面旋回层序		构造层序		年龄/ Ma	沉积体系配置	构造运动	
	系	统			组	段	中期	长期				构造充填层序
侏罗系	上统	蓬莱镇组		J <sub>3p</sub>	T <sub>1</sub>			IV	179	冲击扇-河流沉积体系		
		遂宁组		J <sub>3sn</sub>								
	中统	沙溪庙组		J <sub>2x</sub> +J <sub>2s</sub>	T <sub>6</sub>			III		210		冲击扇-河流-湖泊沉积体系
		千佛岩组		J <sub>2q</sub>								
三叠系	上统	须家河组	五段	T <sub>3x<sup>5</sup></sub>	T <sub>1<sup>4</sup></sub>		LSC4	II	224	扇三角洲-湖沼沉积体系	印支 III 幕	
			四段	T <sub>3x<sup>4</sup></sub>			LSC3					
			三段	T <sub>3x<sup>3</sup></sub>			LSC2					
			二段	T <sub>3x<sup>2</sup></sub>		MSC1—MSC5	LSC1					I
		小塘子组		T <sub>3t</sub>								
		马鞍塘组		T <sub>3m</sub>								
	中统	天井山组		T <sub>2t</sub>	T <sub>6</sub>						印支 I 幕	
		雷口坡组		T <sub>2l</sub>								

盆”厚800~1700m,除北部广元地区未接受沉积外,“须上盆”具广泛超覆特征。

由于川西坳陷须家河组的分层对比,一直存在较大的争议,其中尤其是须二段顶界的确定,钻井、地质、地震均有不同的意见,特别须二段是这里重要的区域气层,其聚集成藏作用与燕山期构造作用关系密切,充分论证并确定这一界面,对勘探有重要作用。

## 4 须家河组二段地震地层及层序地层特征

通过中期基准面旋回层序划分及沉积相、地震层序特征分析,建立了高分辨率层序地层格架,进而对地层进行了等时追踪对比,取得了较好效果。

### 4.1 中期基准面旋回层序划分及沉积相分析

层序划分及沉积相分析从单井研究入手,考虑到地震资料分辨率的限制,以Ⅳ级界面的为界,对须二段进行更高时间分辨率精度的中期基准面旋回层序划分。通过对川鸭92井、川合100井的岩心微相、亚相、测井相及地震响应特征的综合分析,确认须二段为三角洲相沉积,是一个完整的中期旋回层序。其特点为:中期基准面处于上升状态时,因可容纳空间增大,而沉积物补给相对不足,成为粒度变细的沉积充填过程,形成低部粒度较粗的三角洲平原水上分流河道微相,向上粒度逐渐变细,形成三角洲前缘水下分流河道、河口坝、滨岸席状砂等微相;基准面上升晚期到下降早期时,常发育有分流间湾和前三角洲富含有机质的暗色泥质沉积;中期基准面处于下降状态时,则是一个相反过程;可容纳空间逐渐减少,沉积物供给量逐渐增大,粒度由细变粗,以发育河口坝和水上决口扇等沉积微相为主。其有利储集砂体主要出现在该中期旋回层序的中、下部和顶部,其中以位于中、下部的分流河道砂体规模较大,物性条件较好,而位于层序中部湖泛面两侧的分流间湾或前三角洲泥岩,则有隔层和烃源岩的作用,具备形成地层-岩性圈闭的条件。

### 4.2 地震层序特征

传统的地震层序划分,其所依据的各种反射终止现象(削蚀、顶超、下超、上超等),操作上主要用于识别长期、超长期基准面旋回所对应的地震层序单元。就相对尺度较小的须二段而言,则需要从地震反射强度、连续性、频率及上下波组的配置关系(同相轴交角)等地震微相特征分析入手,进一步划分亚层序。

钻井揭示,研究区内须二段厚504.5~716.5m,西厚东薄呈楔状。其底部有一系列上超点并向东密集,表明沉积作用首先从西部开始,而后逐步向东扩展,逐层上超尖灭,到川中地区,须二段顶反射面与雷口坡组顶反射面( $T_6$ )合并,须二段明显缺失。

由于湖泛面具有等时性和对比性,其地震特征也存在相当的一致性。通过对须二段中期基准面旋回层序的合成记录标定,确定了湖泛面在地震剖面上的准确位置。须二段存在有5个湖泛面,须二段相应划分为5个中期基准面旋回,自上而下分别是MSC5、MSC4、MSC3、MSC2和MSC1。其中MSC1仅见于西部的鸭子河地区,在合兴场地区则因上超缺失。

MSC5湖泛面发育在三角洲前缘和三角洲相的低阻泥页岩层中,与川合100井所称的“腰带子”泥页岩相对应,向西到川鸭92井,则进入目前按岩性分层所划的须三段下部(图2),从图上可以明显看出川合100井“腰带子”上面约60m的那套被称为“上砂体”的砂岩变化较大,以此砂岩顶面来划分须二段,对比中必将产生较大误差。按岩性分层原则,川合100井须二段顶面在4527m,川鸭92井在4392m;若以湖泛面对比的层序划分,其结果则出现较大变化,以MSC5界面之上的冲刷面为须二段顶面,川合100井仍在4527m,川鸭92井则上提了234m,界面深度为4158m。MSC5湖泛面无论在三维还是二维地震剖面上,都与区域标准反射波T51有平行一致性。

MSC4湖泛面位居须二段中部,反映该界面的岩性已有变化:在新851井为32m前三角洲相泥页岩层段,川合100井为席状砂与分流间湾泥页岩的20m互层组合,川孝93井为40m泥页岩,而在川鸭95井则为厚仅6m的泥质粉砂岩夹薄层页岩。由于厚度小,与下伏分流河道砂体的阻抗差小,所对应的地震反射,由原来的较强反射变为较连续的弱反射。大体来看,该湖泛面所对应的地震反射波T511,亦为新851井E层气层与上覆湖泛面位置处的厚层泥页岩形成的反射)其反射能量较强,除鸭子河地区和丰谷地区反射较弱外,在研究区范围内基本上可连续追踪。

MSC3、MSC2、MSC1等3个层序在须二段下部,由于泥页岩层段横向变化较大,地震剖面上难以同相追踪。川合100井湖泛面的标定结果显示,MSC1和MSC2下降半旋回沉积记录缺失。MSC3湖泛面对应段的泥页岩厚度虽然较大,但砂质含量较高,岩性为粉砂岩夹薄层泥岩组合,与下伏中厚层的

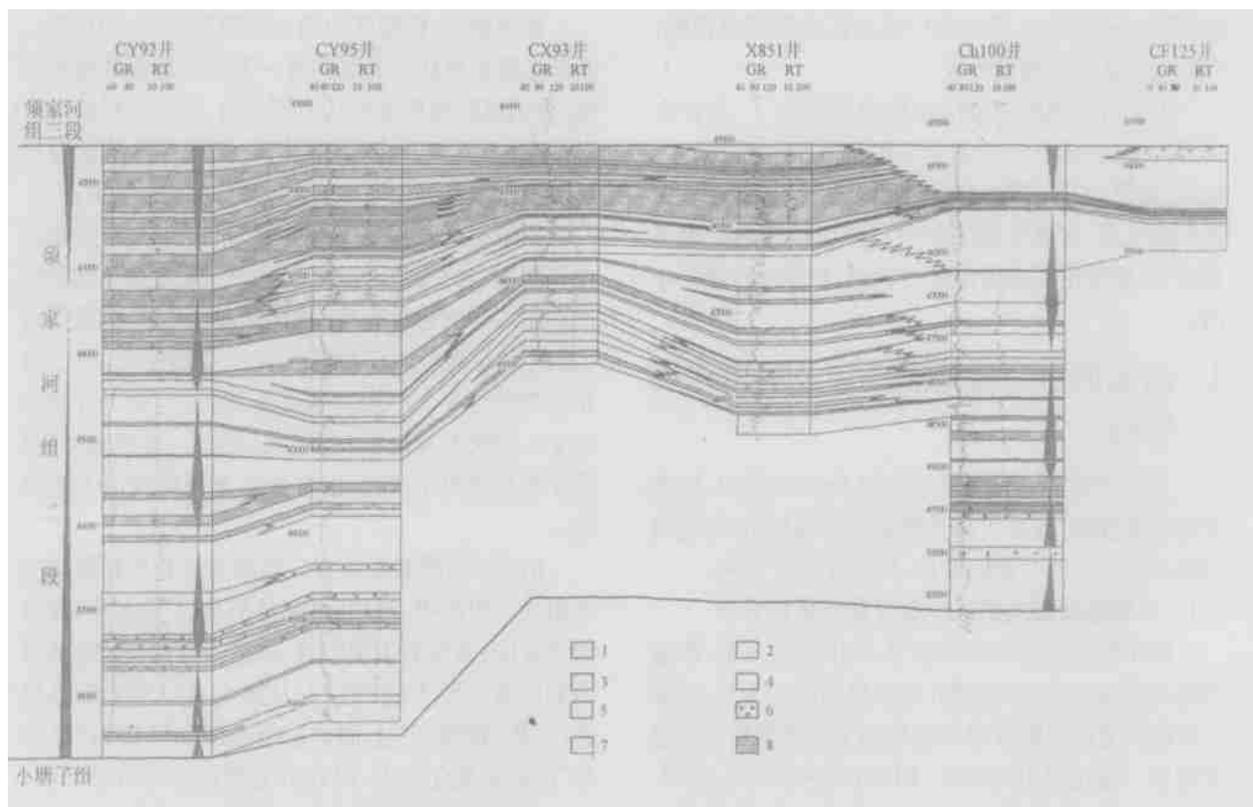


图2 北东东向构造带钻井沉积相剖面

1. 水下分流河道; 2. 河口坝; 3. 水上分流河道; 4. 决口扇、席状扇、远砂坝; 5. 辫状河道; 6. 支间沼泽、洼地; 7. 前三角洲; 8. 分流间湾

Fig. 2 Sedimentary facies profile through the boreholes in a NEE-trending structural zone

1= subaqueous distributary channel; 2= channel mouth bar; 3= subaerial distributary channel; 4= crevasse splay, sheet sands and distal bar; 5= braided channel; 6= interdistributary marshes and swales; 7= prodelta; 8= interdistributary bay

粒度相对较细的水下分流河道砂体的波阻抗差异小,因而也形成弱反射特征。

就须二段整体来看,以MSC4湖泛面所对应的 $T_5^{II}$ 反射波为界,可进一步划分为两个地震亚层序。下部地震亚层序I在鸭子河地区包括MSC1、MSC2和MSC3,反射特征为中偏弱振幅、中连续、平行—亚平行反射结构为主,孝泉—新场地区为较强—中振幅、短连续、亚平行反射结构为主,而合兴场及其以东地区,只有部分MSC2和MSC3,反射特征为中偏弱振幅、弱不连续、亚平行反射结构为主。地震相的横向变化,显示了相应基准面旋回内沉积相的变化。上部地震亚层序II,以合兴场地区钻井揭示的须二砂岩顶反射为界主要有须二顶反射、MSC5湖泛面、“腰带子”)对应反射 $T_5^I$ 、MSC4湖泛面对应反射 $T_5^{II}$ 等3个反射相位组成,以中—强振幅、低—中频、中高连续、平行—亚平行反射为主,与MSC4和MSC5两层序主要由分流河道砂体、河口坝、滨湖席状砂与分流间湾或前三角洲泥页岩的相间互层组合一致。需要说明,须二顶反射在合兴场及其东南地

区,由于基准面下降期的大套辫状分流河道砂岩与须三湖沼相砂泥岩互层,形成了明显稳定的反射,而在新场、孝泉及鸭子河地区,该反射为MSC5基准面下降期的三角洲前缘薄层席状砂、沼泽化分流间湾泥页岩、煤层与须三湖沼相砂泥岩互层形成的反射。由于无明显的波阻抗界面,反射不稳定,对比、追踪较难。但 $T_5^{II}$ 与 $T_5^I$ 皆为湖泛面附近反射,其间存在协调性。其地震反射特征的横向变化,受沉积相序纵向组合特征的控制。

对地震层序详细分析表明,以上地震亚层序I和地震亚层序II的反射结构和地震相组合差异较明显,各有不同的纵横相变化特征:地震亚层序I中的“空白带”——弱反射地震振幅相带,对比确认为厚层砂体夹薄层泥页岩组合的反射特征,显示沉积物供给量大、可容纳空间小的沉积背景和能量较高沉积动力学条件,利于分流河道砂体的广泛发育;地震亚层序II的强反射振幅特征,代表泥质含量或夹层增多的沉积过程,利于形成砂泥岩互层的组合。

#### 4.3 须二段高分辨率层序地层格架

以须二段单井沉积相分析和基准面旋回划分为依据,用层序界面和湖泛面为优选时间地层等时对比位置,对最具等时对比意义的中期旋回层序,进行多井高分辨率层序地层对比,编制了川鸭92井、川合100井高分辨率层序地层及沉积相综合主状图(图3,图4)。在此基础上,通过多口钻井合成地震记录的制作、层序界面的标定和地震特征的综合分析,并经钻井、测井验证,建立了涵盖钻井、测井和地震等综合地质信息的层序地层格架。

根据高分辨率层序地层理论中的体积划分原理与相分异原理,利用Walther相律和Wisdom面取代定律,以层序地层格架为基础,编制了川鸭92井—川丰125井须二段沉积微相剖面图(图2)。从图上可以明显看出:剖面东段,川合100井处的须二段顶部砂体向西明显侧变,到川鸭92井成为一套泥页岩夹砂岩。这造成了地质分层上的困难。目前的岩性分层,均以大砂岩顶面来划分须二和须三,川鸭92井须二段顶面则划在4392m处,不难发现这一岩性界面存在明显的穿时性。等时对比确认,川鸭92井须二段顶面应在4158m。这里需要说明的是,作为圈闭识别关键技术的构造演化分析是特别强调等时性的。

须二段中期旋回层序类型,主要是对称型和非对称型两种(图5)。

#### 1. 三角洲平原—三角洲前缘对称型

这里所称的对称是相对和不完全的。按上升半旋回和下降半旋回的差别,有两种情况。

前者为上升半旋回大于下降半旋回的不完全对称型。这是川西坳陷须二段最为普遍发育的中期旋回层序结构类型,MSC3、MSC4皆以此类型为主。如川合100井MSC3,其沉积相序的纵向组合特征是上升半旋回下部为三角洲平原水上分流河道、支间洼地沉积的浅灰色中粒厚层长石岩屑砂岩、含钙岩屑石英砂岩夹黑色页岩薄层和条带,向上过渡为三角洲前缘水下分流河道、河口坝、席状砂细砂岩与泥岩互层组合,至上升半旋回顶部和下降旋回底部为分流间湾和前三角洲相的黑色泥岩、碳质页岩条带与深灰色粉砂岩互层,常夹有煤线。下降半旋回中上部为进积的三角洲前缘河口坝到水下分流河道沉积的浅灰色细、中粒中薄层岩屑砂岩、长石岩屑砂岩为主,夹厚度不等的分流间湾黑色页岩、粉砂岩。

后者是下降半旋回大于上升半旋回的不完全对称型。川鸭92、川鸭95、川孝93和新851等井的MSC5皆为此类型。在测井曲线上表现明显,如新

851井的MSC5,上升半旋回砂层厚度变薄、粒度变细,而下降半旋回特征相反,基准面转换处出现明显的“缩颈”现象。川鸭92井MSC5,其上升半旋回下部,为三角洲平原水上分流河道微相的浅灰色中细粒岩屑石英砂岩、长石岩屑砂岩夹深灰色粉砂岩、黑色页岩薄层及条带,向上过渡为薄层的三角洲前缘水下分流河道和席状砂砂体、分流间湾泥岩,上升半旋回顶部及下降半旋回下部为三角洲前缘相和前三角洲相的黑色页岩、碳质页岩、深灰色泥质粉砂岩互层组合,常夹薄煤层,碳质页岩中见黄铁矿,泥岩中富含植物化石,水平层理及小型斜层理发育。下降半旋回中上部为三角洲前缘远砂坝、河口坝、席状砂与分流间湾厚层黑色泥岩、碳质页岩、泥质粉砂岩互层沉积。

就对油气的关系而言,对称型旋回结构的基本特点是:当上升半旋回大于下降半旋回时,主要发育在近物缘的河口内侧偏上游部位,在基准面上升期有更高的沉积强度,伴随可容纳空间向陆方向的迁移,存在分流河道砂体的溯源上超作用,致使有利储集相带位于向陆的河口内侧。在基准面下降期,伴随可容纳空间向盆地方向的顺源迁移,以河口坝和下切分流河道的砂体,向远物源的盆内低部位顺源下超,以至有利储集相带发育于向盆地方向的河口坝外侧;当下降半旋回大于上升半旋回时,表明远离物源,多处于河口外侧的三角洲前缘及前三角洲部位。

#### 2. 三角洲平原向上“变深”非对称型

该类型发育于须二段底部,川鸭92井MSC1和川合100井MSC2最为典型。川鸭92井须二段底部MSC1为灰色中至细粒岩屑石英砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑长石石英砂岩组合,底部含泥砾。微相类型主要为辫状河道,上部为黑色泥质粉砂岩和泥岩,含少量黄铁矿、菱铁矿,指示相对封闭的分流间湖沼沉积环境。川合100井缺失MSC1,须二段底为MSC2,层序的主体由分流河道砂体组成。下部为厚层含碳酸盐质细粒长石岩屑砂岩夹黑色页岩薄层及条带,中上部以支间沼泽微相暗色泥质岩夹粉砂岩为主,顶部为薄层细砂岩与泥岩互层。

该类旋回结构的基本特点有三。其一,仅保留基准面上升半旋回沉积记录,可能保存的中期湖泛面位于顶部,其上的下降半旋回表现为冲刷作用。受层序顶部冲刷面下切侵蚀作用造成的地层缺失,相当于层序下降半旋回的时间跨度。其二,层序的底界面多为具下切侵蚀作用的冲刷面,层序由超覆

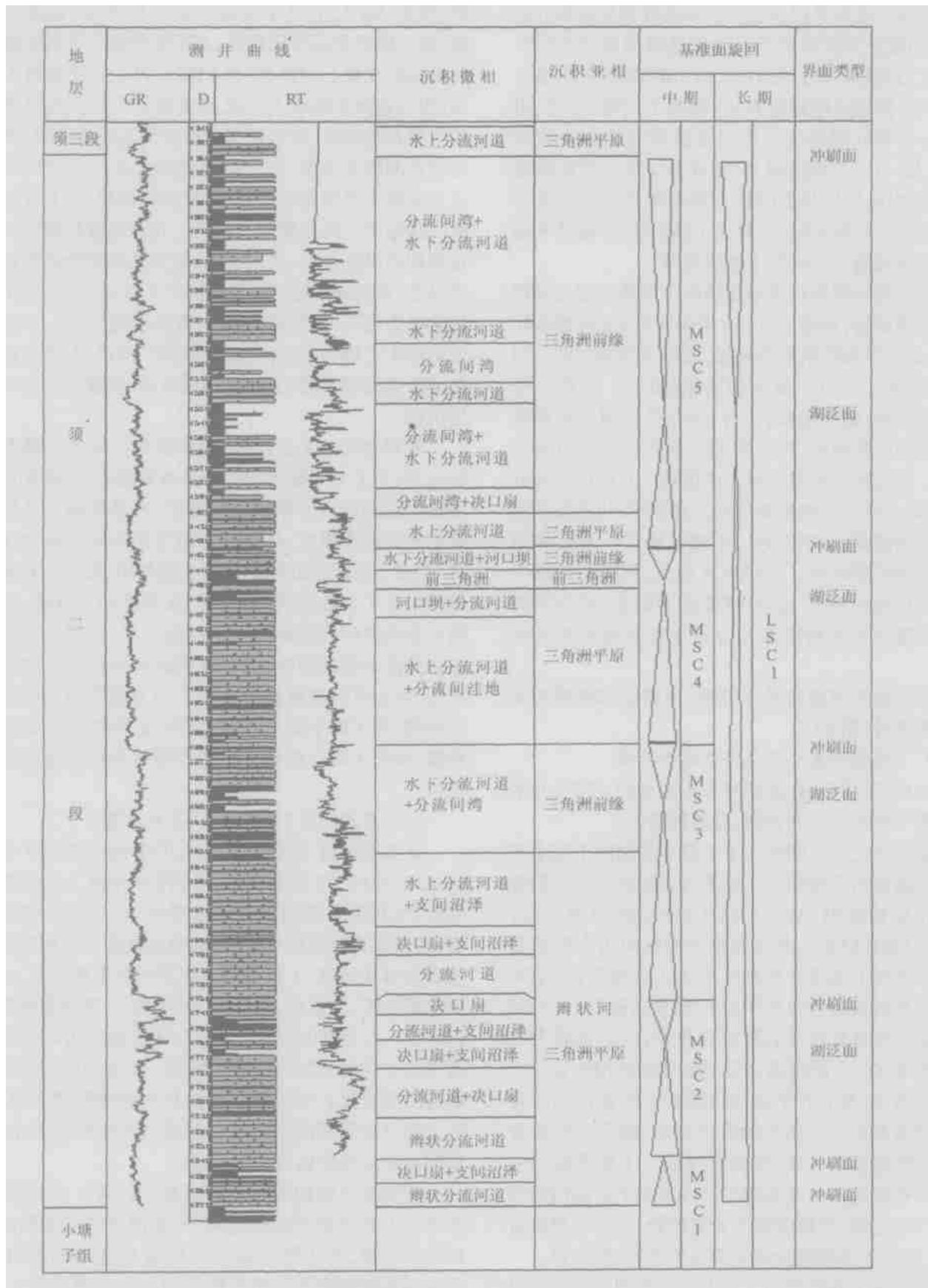


图3 川鸭92井高分辨率层序地层及沉积相综合柱状图

Fig. 3 Generalized column showing high-resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies through the CY92 well

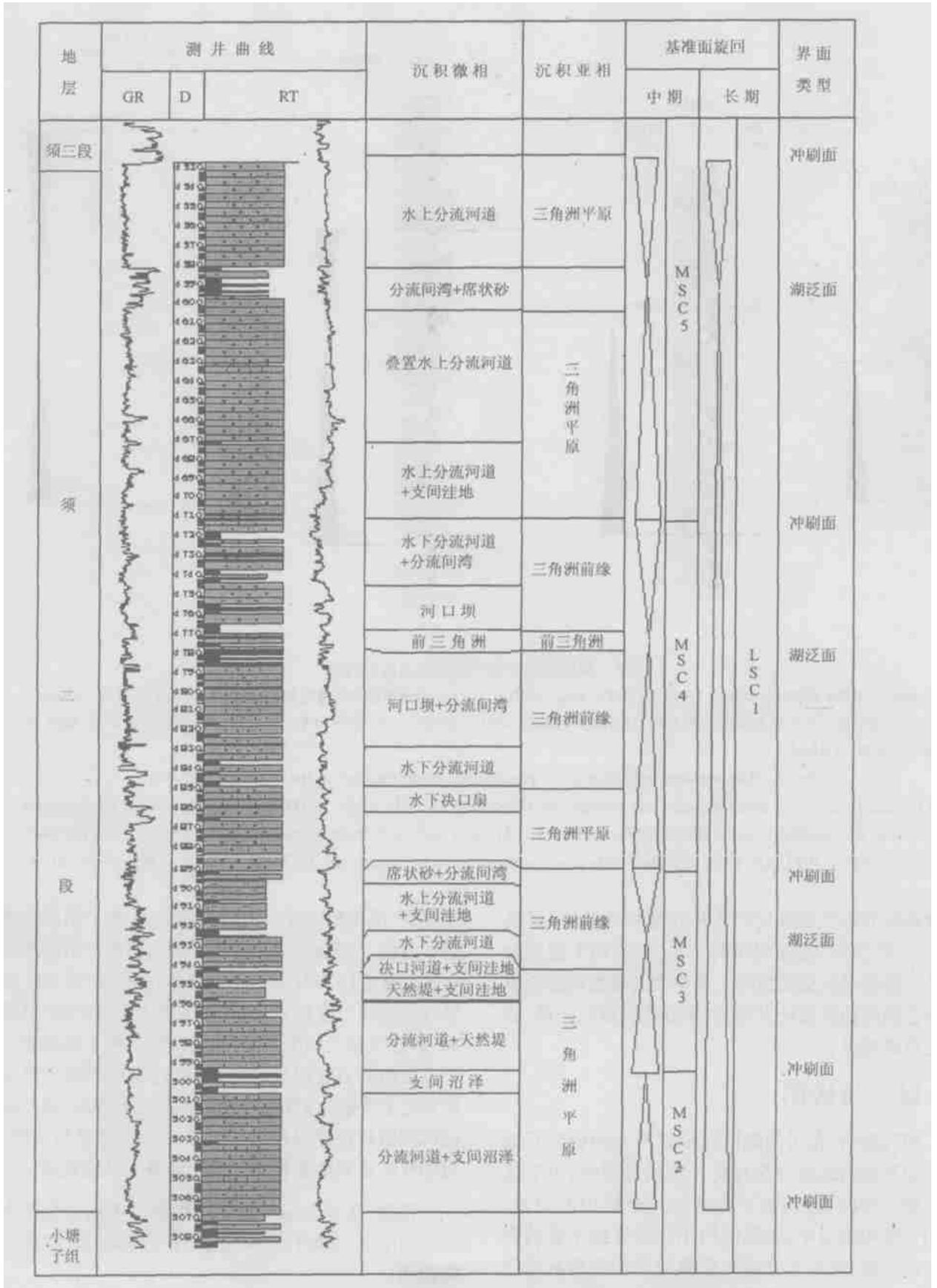


图4 川合100井高分辨率层序地层及沉积相综合柱状图

Fig. 4 Generalized column showing high-resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies through the CH100 well

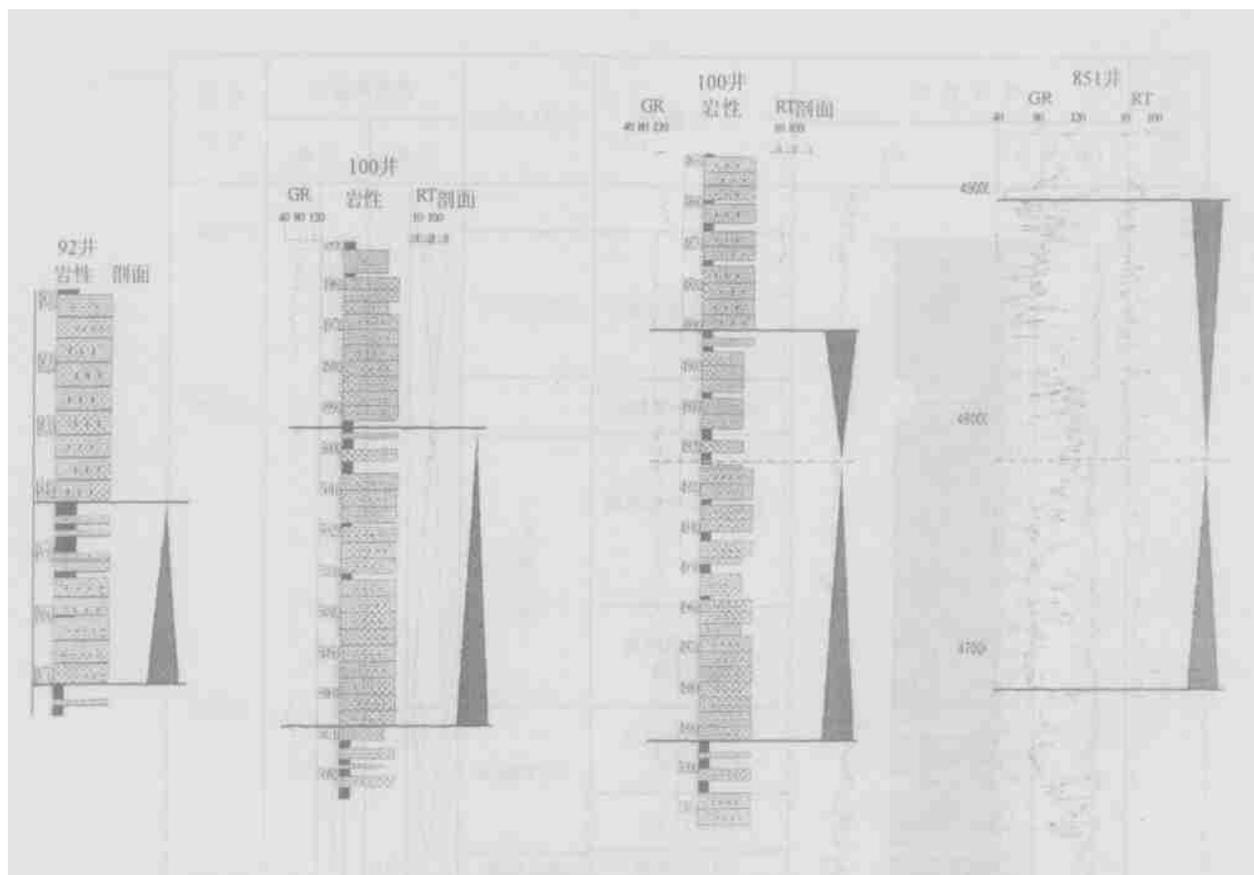


图5 须家河组二段中期基准面旋回特征

- (1) 辫状三角洲平原非对称型旋回, CY92 井(MSC1: 4842~4871m); (2) 三角洲平原非对称型旋回, CH100 井(MSC2: 4995~5068m); (3) 三角洲平原—三角洲前缘对称型旋回, CH100 井(MSC3: 4891~4993m); (4) 三角洲平原—三角洲前缘对称型旋回, X851 井(MSC5: 4505~4718m)

Fig. 5 The medium-term base-level cycles in the second member of the Xujiahe Formation

- (1) Braided delta plain asymmetrical cycle through the CY92 well (MSC1: 4842—4871 m); (2) Delta plain asymmetrical cycle through the CH100 well (MSC2: 4995—5068 m); (3) Delta plain-delta front symmetrical cycle through the CH100 well (MSC3: 4891—4993 m); (4) Delta plain-delta front symmetrical cycle through the X851 well (MSC5: 4505—4718 m)

底冲刷面的若干水道化砂体相互截切和叠置, 组成向上变细“加深”的沉积序列。其三, 为利于储层发育的中期基准面旋回结构。其中尤其叠置河道分流砂体之间的冲刷面极发育, 利于砂体的横向连通, 使储层形成规模。

## 5 结论与认识

研究表明, 在川西地区长期以来采用以岩石地层单位界面的地质分层存在一定的局限性, 由于这一界面的穿时性, 造成了构造演化分析中的误差。在川西陆相地层中, 大范围内不存在连续平整的岩石地层界面, 地质上分层和作图时采用的岩石地层单位界面, 实际上是个锯齿形犬牙交错的岩相变化带。

根据层序地层学方法, 在对各层序界面成因、层

序类型、沉积相特征分析的基础上, 提出了用层序地层学方法, 优化地层组、段划分的新思路。川西地区在晚三叠世以来有 5 种不同级别的界面, 对分歧意见较大的须二段顶面, 使用以 II 级界面对应的湖泛面、即最大湖泛面为等时对比标准, 区域上该界面上下反射结构有较明显的差别, 由此厘定的须二段顶面和过去有较大的出入, 采用该对比标准后, 须二段的沉积微相特征以及生、储、盖组合特征更加清晰, 对油气的有利储集相带预测上取得了良好效果。

致谢, 文章在编撰过程中得到了中国石化西南分公司安凤山和叶泰然的悉心指导和帮助, 在此一并致谢!

## 参考文献:

- [1] 乐绍东. 川西坳陷深层天然气勘探前景与对策[J]. 天然气工业, 2004, (6): 1-3.
- [2] 安凤山, 王信, 叶军. 对中坝须二段气藏圈闭分析的思考[J]. 天然气工业, 2003, (7): 8-12.
- [3] 徐怀大. 如何推动我国层序地层学迅速发展[J]. 地学前缘, 1995, (9): 103-113.

## Sequence stratigraphy of the second member of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the middle part of western Sichuan depression

DONG Li-quan<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1,2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Southwestern Branch, SINOPEC, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** The second member of the Upper Triassic Xujiahe Formation is the regional gas horizons in the middle part of western Sichuan depression. The stratigraphic horizons have long been divided according to a lithostratigraphic boundary. The diachronism of this boundary may give rise to the differences in the examination of tectonic evolution. The findings based on sequence stratigraphy in this study have disclosed that the second member of the Upper Triassic Xujiahe Formation should be the delta deposits consisting of a complete medium-term cyclic succession, including the delta plain-delta front symmetrical cyclic sequence and deepening-upward delta plain asymmetrical cyclic sequence. The top boundary of the second member of the Upper Triassic Xujiahe Formation is interpreted as a third-order conformity.

**Key words:** western Sichuan depression; Upper Triassic; Xujiahe Formation; sequence stratigraphy

(上接第 107 页)

择部分孔作非稳定流抽水试验。抽水试验的技术要求按《供水水文地质勘察规范》(GB50027-2001)和原《水文地质钻探质量规定的实施细则》中的有关规定执行。

(4) 采样测试: 采样测试是调查工作的重要环节, 是实现宏观调查与微观研究相结合的必经途径。本项目的采样测试对象主要为岩石和水两大类。各类样品的测试项目、测试精度和检出限均要符合有关规定。

岩石样测试矿物成份和化学成份等指标, 包括: FeS、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、CaO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、MnO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiP<sub>2</sub>、结晶水、烧失量、吸附水和孔隙率等。

水样分析为简分析、全分析加主要污染离子分析。采样应有代表性, 地表水应为上、中、下游枯、洪期采样; 地下水应分层位、贫、丰期采样。其中水质简分析项目 13 项: 钾离子、钠离子、钙离子、镁离子、氯离子、硫酸根、碳酸氢根、碳酸根、总硬度、pH、溶解性总固体、游离二氧化碳、侵蚀性二氧化碳。全加

污水质分析项目 32 项: 简分析项目加上全铁、铵根、硝酸根、亚硝酸根、磷酸氢根、耗氧量、偏硅酸、氟离子、铝、六价铬、铜、铅、锌、砷、锰、镉、挥发酚类、氰化物。

(5) 空间信息系统建设: 以基于网络技术为支撑的分布式空间数据库为基础, 利用 GIS 和 WEBGIS 技术实现地下水资源数据的共享与信息发布, 开发基于 PC/终端的综合评价与决策管理信息系统, 为数据信息管理, 资源量评价, 可视化显示等方面提供技术支持, 为进行地下水资源评价可持续能力奠定基础。空间数据库的建立以 MAPGIS、AutocAD、ArcView 为支撑平台(成果提交阶段转为 Arc/info 格式), 技术要求执行《GIS 图层描述数据内容标准》及中国地调局修订的《空间数据库工作指南》和《数字化地质图图层及属性文件格式》等相关标准。成果编制阶段的文字报告版式、图件的图式图例、电子版格式均按地调局有关规定执行。