

文章编号:1000-0550(2011)04-0631-13

# 川中东北部须家河组与珍珠冲段地层划分

赵霞飞<sup>1,2</sup> 龚昌明<sup>3</sup> 张闻林<sup>4</sup> 刘德容<sup>3</sup> 何逢阳<sup>1</sup> 康仁东<sup>5</sup>

(1. 成都理工大学 成都 610059; 2. 油气藏地质与开发工程国家重点实验室(成都理工大学) 成都 610059;  
3. 中国石油西南油气田分公司川中油气矿区 四川遂宁 629001; 4. 中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院 成都 610061;  
5. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院 乌鲁木齐 830011)

**摘要** 通过地震反射终端研究,认为上三叠统须家河组( $J_2x$ )与下侏罗统( $J_1z$ )的分界面为一层序界面( $T_3x$ 被界面截削, $J_1z$ 沿界面上超);因此可依据 LUNA 法则予以确定。LUNA 认为,层序边界不整合可依据可容空间生成速率突变的岩层几何形态来识别,表现在古河道规模和河道砂岩的叠置方式,而拼合砂岩体底面乃是层序界面(SB)之所在,在录井图上,表现为 Gr、Rt 曲线的转折点——由下伏层序的反韵律向上突变为上复层序的正韵律。此面与底部砾岩底面是一致的。通过测制华蓥山西缘界线上短剖面以及取芯并岩芯描述,发现  $J_1z$  与  $T_3x$  在古生物—生态及沉积方面存在明显差异——反映地质演变的不可逆性。古生物:主要为植物化石, $T_3x^6$  黑页岩中植物化石十分丰富且保存完好,粗砂岩中常见茎杆印模; $J_1z$  化石罕见,可见炭化植物细碎屑或他生的煤“砾”。沉积与成岩特征:除菱铁矿结核分布于界面上下数米深度范围内,在  $J_1z$  底、 $T_3x^6$  顶皆可见到外,其他特征都是大不相同的。剖面结构—— $T_3x^6$  中下部为大套灰白色中(粗)一细砂岩,厚数米至几十米,上部为浅灰、灰黄细砂—粉砂岩与黑页岩交互; $J_1z$  下部为浅灰、灰绿薄层粉砂岩与红色、杂色泥岩交互,上部泥岩变为灰色,砂岩亦变厚。成分—— $J_1z$  下部粉砂岩石英含量高于  $T_3x^6$  砂岩,而燧石和变质岩屑显著低于后者。结构成熟度—— $J_1z$  粉砂岩分选程度显著低于  $T_3x^6$  砂岩, $J_1z$  中的薄层浊积是  $T_3x$  中见不到的。沉积构造—— $T_3x$  中常见双粘土层、鱼骨状交错层、突然相变、透镜状和脉状层理、薄互层,是  $J_1z$  中所没有的。硅质中砾岩—— $J_1z$  底部砾岩为可靠分界标志,与  $T_3x$  底部者不难区分;风暴流砾石和牛角炭只见于  $T_3x^6$ ;植物根系在  $J_1z$  中常见, $T_3x$  中偶见。这些差异源于沉积环境的不同, $T_3x$  属浅海河口湾潮汐成因, $J_1z$  为陆相湖泊三角洲系统。它们在测井响应上也各有特点,不难区别。本文证明,在钻进过程中,依据岩屑信息,迅速判断钻达层位是可以做到的。

**关键词** 川中东北部 三叠系—侏罗系分界 LUNA 法则 用岩屑确定钻达层位

**第一作者简介** 赵霞飞 男 1933 年出生 教授 博士生导师 沉积学 E-mail: zhaoxf@cdu.edu.cn

**中图分类号** TE121.3<sup>+</sup>4 **文献标识码** A

## 0 前言

四川盆地东北部三叠系、侏罗系的分界长期模糊未决。川中地区中、南部的上三叠统须家河组( $T_3x$ )顶部为黑色页岩及粉砂岩、细砂岩,而侏罗系底部珍珠冲段( $J_1z$ )为黄绿色、紫红色泥岩夹砂岩。两者显然有别,如是就约定成俗“红黑分界”。黑的为须家河组、红的为珍珠冲段。但川中东北部,即渠县—营山一线以北地区(图 1),珍珠冲段也变为灰绿、深灰色泥岩夹灰色细砂岩,红黑分界就不适用了。几年来,这个问题困扰着勘探开发工作者:现场钻井中,能否凭岩屑判断钻达的层位?近来珍珠冲段中发现了工业气藏,储量计算时如何准确划定珍珠冲段的底界?

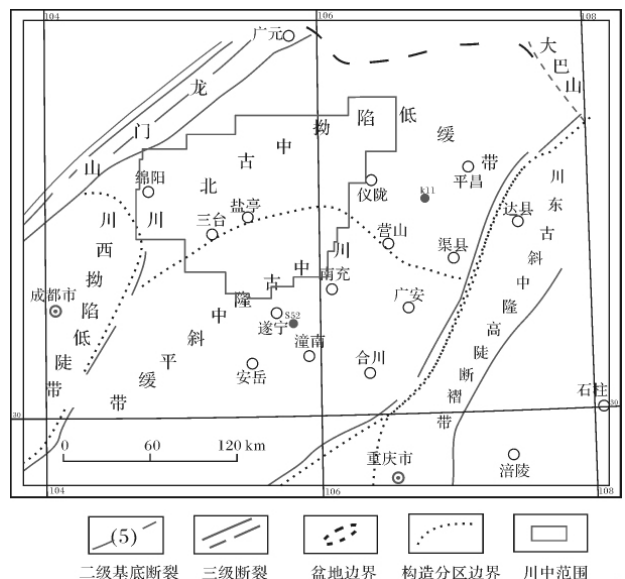


图 1 四川盆地区域构造及研究区位置图  
Fig. 1 Tectonical zonation of Sichuan Basin and location of the studied area

收稿日期:2010-11-05; 收修改稿日期:2011-01-15

对于这个界限,古生物学者的意见是明确的:种子蕨 *Ptilozamites Chinensis*(中华羽羊齿)在晚三叠世大量出现,到侏罗纪已经消亡,因此是晚三叠世的标志;珍珠冲时期,出现新分子,如真蕨类的 *Coniopteris*(锥蕨叶科),苏铁类的 *Ptilophyllum*(毛羽叶属),由此可确定侏罗系底界<sup>[1,2]</sup>。而且这个古植物分界与珍珠冲段底部砾岩分界是一致的。在盆地东北部大巴山,珍珠冲段底部常稳定分布一套石英质砾石,厚度变化较大,有时相变为含砾石英砂岩,砾石磨圆度高而分选不好( $D = 10 \sim 20 \text{ cm}$ ),与下伏须家河组呈假整合接触。向南至达州、宣汉、大竹、梁平一带,珍

珠冲段底部石英砂岩明显。所以在地表露头区,将侏罗系底界置于珍珠冲段底部石英质砾岩或石英砂岩之下假整合处,是合理可行的<sup>[2]</sup>。

但是,到了川中东北部平昌县一带的井下,砾岩并非到处都有。录井信息也是间接的,“红黑分界”又不可靠,须家河组与珍珠冲段难以划分了。因此,出现了好几种划分意见,见表1。

由于勘探开发的需要,中石油西南油气田分公司与成都理工大学合作,于2009年6月~2010年5月间,作了川中东北部地区须家河组与珍珠冲段地层沉积特征与地层划分对比的研究。研究过程中我们描

表1 四川盆地东北部J底界划分沿革

Table 1 History for determinating the basal boundary of Jurassic in NE Sichuan Basin

地 层				何鲤 (1989)	郑荣才 (2003)	川中油气矿 勘探工作者 (2005年以前)	中石油西南油 气田(2005)	西南石油大 学蒋裕强 (2008) <sup>①</sup>	赵霞飞 <sup>②</sup> (2010)
界	系	组	段						
中 生 界	侏 罗 系	自流井组	珍珠冲段	珍珠冲段假整合于须三段之上。	将大巴山一米仓山地区侏罗系底界置于一含假鲕蚌化石泥岩之下10~20m处石英砂岩之底。	较薄粉砂岩、细砂岩与泥页岩交互。底界面即须家河组大套砂岩顶面。	珍珠冲段泥页岩具氧化色	南充—广安一线以南用“红黑”分界,此线以北须家河组大套砂岩之上第一套砂岩划归珍珠冲段。	底界位于向上开始变细(可容空间成长速率加大)的转换面处。
		三叠系	须家河组	须六段	四川盆地东北部缺失须四~须六段,理由是盆地东北边缘雷口坡组之上第一套砾岩的砾石成分为硅质岩与燧石,不同于川西须家河组的碳酸盐砾。	上述石英砂岩以下的泥页岩及大套砂岩。	大套灰白中、细砂岩,或夹薄的黑色页岩。	须六段泥页岩为黑色。	顶部泥页岩、大套砂岩或砾岩。
评论				砾石成分不同是由川东北物源不同引起的,与层位无关。	该石英砂岩如何在区域上、井下追索?缺乏普遍指导意义。	将须六层序上部划入珍珠冲段不合理,应用中矛盾多。	在川中南部大体可用(欠严谨),南充—广安一线以北不适用。	“大套砂岩”、“第一套砂岩”不好掌握,也缺乏理论基础。	

1) 蒋裕强,等. 川中地区侏罗系珍珠冲段含油性评价研究(内部资料). 西南油气田分公司川中油气矿, 2008. 10

2) 赵霞飞,等. 川中东北部地区须家河组与珍珠冲段地层沉积特征与地层划分对比研究(内部资料). 成都理工大学, 2009. 12

述了5口井岩芯,岩芯总长度341 m。为补岩芯之不足,在华蓥山实测了5条短剖面,厚度共305 m。此外,分析岩屑资料、鉴定岩芯薄片、分析地震测线,尤其研究了已有的大部分综合录井剖面。

## 1 研究思路与方法

### 1.1 研究思路

为解决川中东北部须家河组与珍珠冲段地层划分问题,我们采用露头剖面研究与钻井岩芯研究相结合途径,以便认识界面上下古生物—古生态和岩性—岩相特征及其差异,同时通过地震反射终端,确定界面的性质,通过取芯井段的测井曲线(Gr、Rt曲线)寻找对应于地层界面的转换面。整个研究工作中的理论依据是层序界面的划分法则。

以下着重介绍须家河组沉积环境研究进展、取芯井剖面研究和层序界面划分。

### 1.2 须家河组沉积环境认识进展

长期以来,石油地质家们都认为四川盆地须家河组属陆相成因,有各种各样的看法:水进三角洲<sup>[3]</sup>、湖成滩坝<sup>[4]</sup>、辫状河、辫状河三角洲<sup>[5]</sup>等。而我们却认为盆地内部广大地区须家河组二段至六段皆属典型浅海(河口湾)潮汐沉积<sup>[6]</sup>,其上假整合覆盖的珍珠冲段才属湖泊三角洲产物。这就产生一个问题:当时的开阔海洋在何处?据Wendt等<sup>[7]</sup>的川西及邻区晚三叠世小塘子组( $T_3t$ )岩相古地理图,小塘子期四川盆地北、东、南三面分别为秦岭古陆和湘黔桂古陆围绕,西边为甘孜—阿坝海盆。现在,地质学界公认小塘子组等同于须家河组一段( $T_3x^1$ ),那么须二段~须六段沉积时,区域古地理格局当不至发生重大改变,当时广海应该仍在西部的甘孜—阿坝,属Tethys(特提斯海、古地中海)的一部分,直至晚三叠世末期—侏罗纪初印支造山运动的出现,四川盆地才升至海平面以上,成为陆相盆地。

关于须家河组有无海相化石的证据,是大家普遍关心的问题。最近,张闻林等<sup>[8]</sup>对此做了如下的回顾与介绍:广元幅和峨眉幅区域地质测量报告中均有须家河组下亚段含半咸水化石的记录;渠县三汇须五段也有半咸水的疑源孢粉化石;南京古生物研究所张璐瑾教授对威远须家河组露头剖面做了详尽的古生物研究之后,认为滨海相最重要的特征是存在生长于半咸水的动物群,他在威远剖面中发现半咸水瓣鳃类化石10层,并将相当于须五段的一套厚约70 m的粉砂岩、泥岩互层层段划为滨海相,此外,相当于须三段

的地层中也发现了半咸水化石。

还有一个问题,四川盆地须三段、须五段为煤系地层,岩芯中煤层比比皆是,应该如何解释?我们认为含煤的须三、须五段与其下的须二、须四段是不可分割的沉积系统。后两者属潮汐砂坝(LST—TST),前两者为潮间—潮上沉积(HST)。薄煤层和碳质页岩属于潮上带海岸平原沼泽相,是河口湾废弃的结果,相似于加拿大的艾伯达省Drumheller出露的上白垩统河口湾—临滨系统的G相<sup>[9]</sup>。

### 1.3 钻井岩芯研究

我们以川中南、北地区各一口岩芯井为例,说明须家河组与珍珠冲段界面上、下的岩性(岩相)变化。研究钻井岩芯时,首先要有准确的界面深度,这个深度是用可容纳空间成长速率突变(表现在测井曲线形态转换上)原理确定的。该原理将在后面予以介绍。

#### 1.3.1 S52井取芯段

如图2所示,珍珠冲段底界在1697 m处:

##### (1) 须六段

以井深1718.7 m为界,可分为以下退积(水进)部分和以上的进积(水退)部分:

a) 水进部分(1747~1718.7 m, TST):由深灰页岩与灰色、灰黄色粉砂岩、泥质粉砂岩组成的略等厚互层。下部粉砂岩中见清晰的双黏土层,因此属潮下带的沙坝与潮道,中部见泥页岩与泥质粉砂岩的薄互层、水流突变和生物扰动(匀化)构造,属潮间的混合坪与泥坪。上部属潮间带沙坝成因。双黏土层见图3a。

b) 水退部分(1718.7~1697 m, HST):为一向上变粗(变浅)的序列,由海湾泥→潮坪→潮上环境,可归属于潮汐影响的三角洲成因。

##### (2) 珍珠冲段

图2中,1697~1658 m为珍珠冲段,由两个正旋回组成。

a)  $J_{1z}$ 底部,为浅灰、灰白块状石英质粉砂岩,遍布暗红色菱铁矿小颗粒,粒径0.2~1 mm。向上具平行层理,为高流态上平底产物,再上含泥粉砂岩中含大量植物根系(图3e)。所以 $J_{1z}$ 底部属小水道与古土壤环境。

由此向上至井深1674 m,主要为浅灰、棕褐、褐红色细粒沉积,顶部5 m为深灰绿色和棕灰色泥岩,代表水道远端沼泽至湖泥沉积。

b) 1674~1658 m:此旋回与a)相似,下部是生物扰动了的小三角洲、水道沉积(灰色粉砂岩),上部

为越岸相和古土壤(灰绿泥质粉砂,紫色、灰绿色泥岩),证据是“匀化”构造,铁质斑点和植物根系。

这个剖面的特点是须家河组和珍珠冲段大体可

用黑红来分界;珍珠冲段确属陆相三角洲—湖泊沉积。具大量“氧化色”,不同于须六段。这是川中南部地区的一种典型情况(“红黑分界”)。

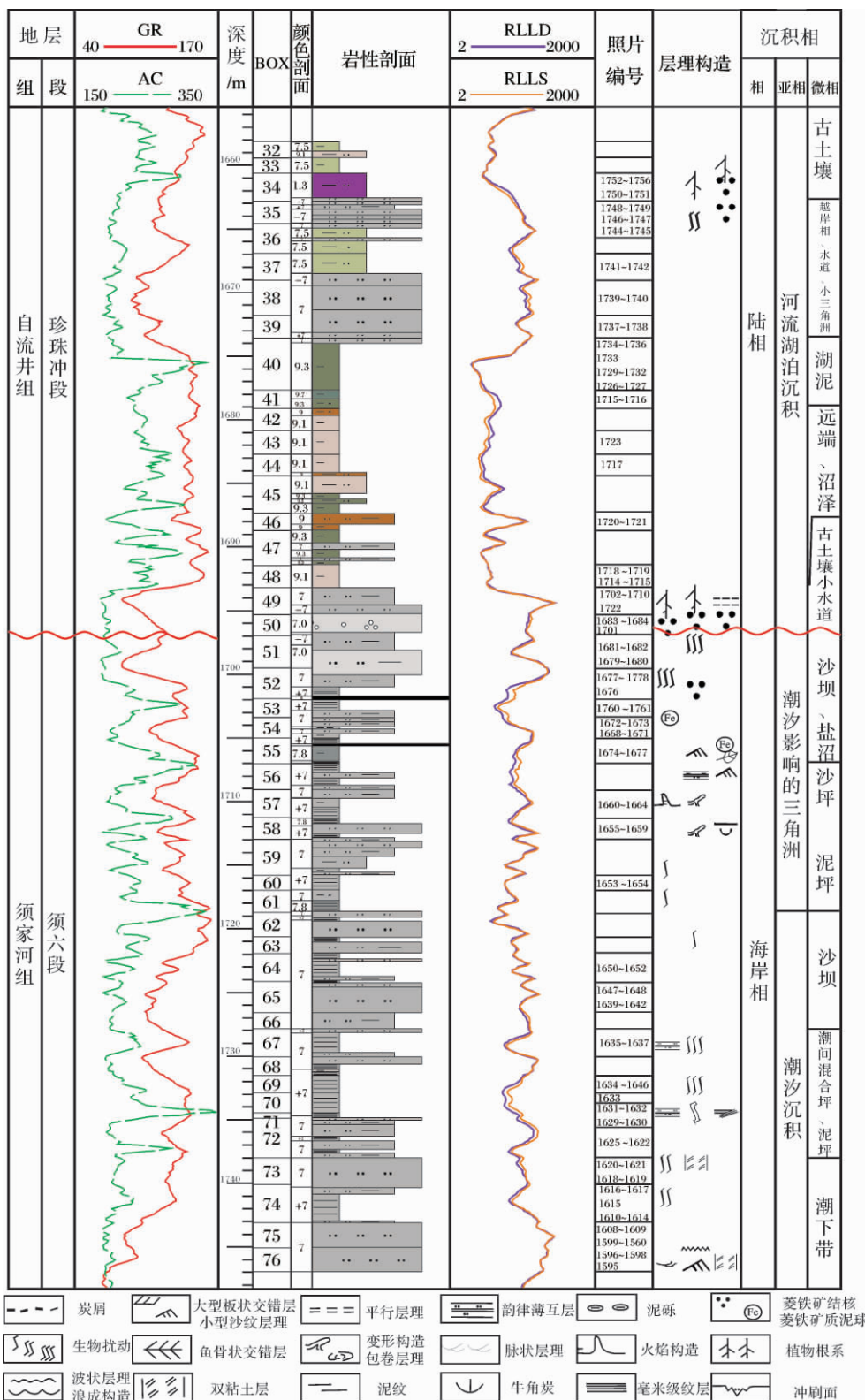


图2 S52井取芯段沉积相剖面图

Fig. 2 Sedimentary column of the cored interval of Well S52

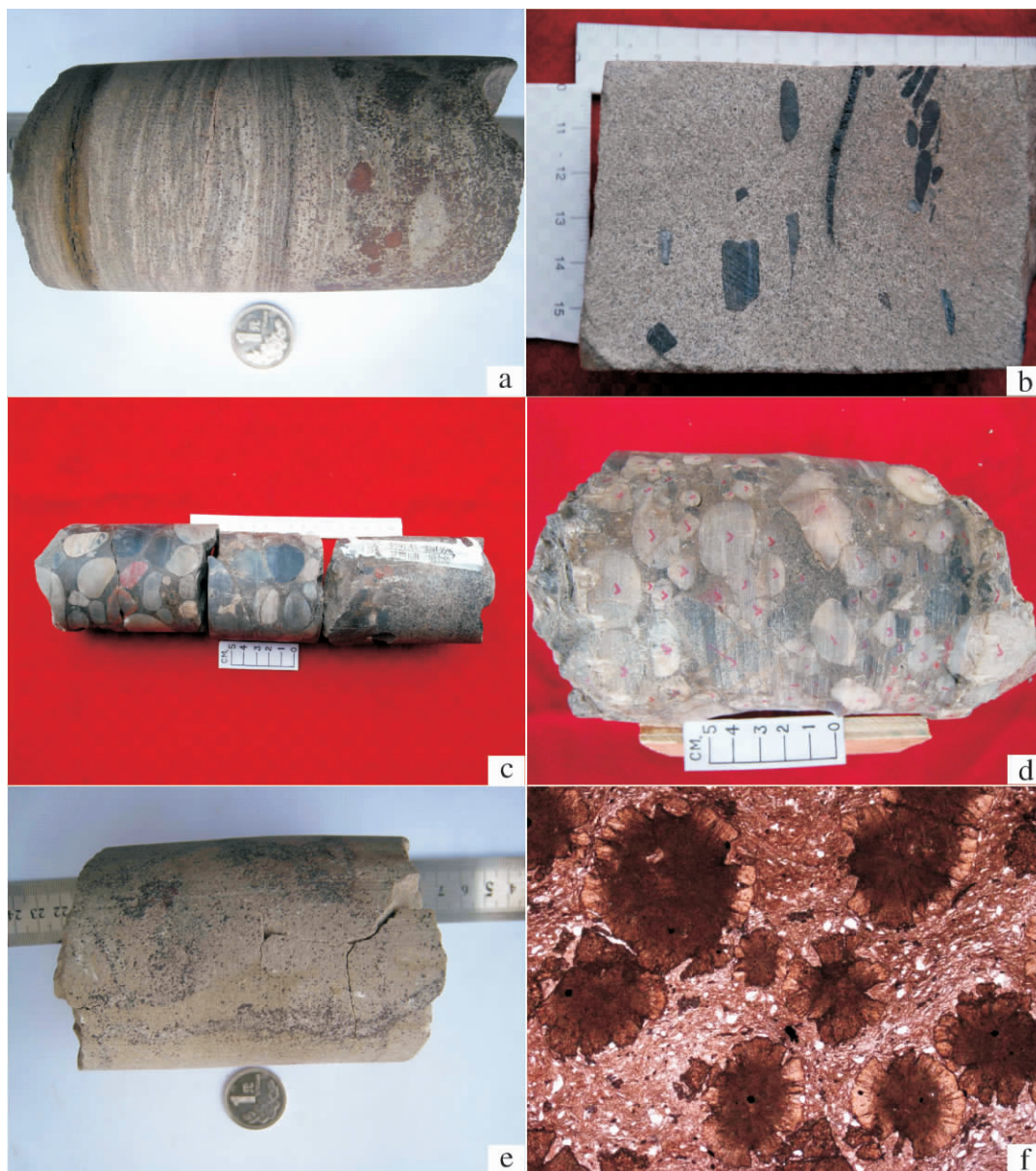


图3 须六段和珍珠冲段沉积特征

a. 灰白粉砂岩的双粘土层与菱铁矿斑点(角33井,须六段); b. 粗砂岩中泥砾,风暴成因(广安101井,井深2062.31~2062.42m,须六段); c. 须六段底部砾岩(K116井,井深3507.20~3507.42m,须六段); d. 珍珠冲段底部砾岩(K101井,井深3503.67~3503.83m,珍珠冲段); e. 植物根系(S52井,1695.40~1695.51m,珍珠冲段底部); f. 薄片中的菊花状菱铁矿(K101井,3502.50m,珍珠冲段底部)

Fig. 3 Sedimentary features of the 6<sup>th</sup> Member of Xujiache Formation and Zhenzhuchong Member

### 1.3.2 K11井取芯段

取芯段深度3482~3552.3m(图4),揭露出须家河组与珍珠冲段间的清楚的界面在井深3508.2m处。

(1) 3552.3~3544.8m: 灰白中细砂岩,具脉状层理、双黏土层构造,并含多个冲刷面,表明了是潮下水道—沙坝环境的产物。

(2) 3544.8~3536m: 深灰色页岩、粉砂质泥岩及粉砂岩和泥质粉砂岩。具毫米级纹层、鱼骨状交错层、透镜状层理等,沙坝斜坡。

(3) 3536~3519m、3519~3508.2m,为两个向上变粗韵律。分别为潮间带—潮上带和河口湾泥—小三角洲。

(4) 3508.2~3502.8m: 灰白中砾岩—浅灰粉

砂岩。中砾岩为SiO<sub>2</sub>质  $d=0.6\sim 7.0\text{ m}$  ,分选中等而磨圆度高,低位河道沉积。砾岩底界面是一显著冲刷面,即侏罗系底面。

(5) 3 502.8 ~3 482.0 m: 深灰细粒沉积夹煤线。具薄互层、生物扰动、变形构造等。属陆相三角洲的湖泥与远沙坝相。

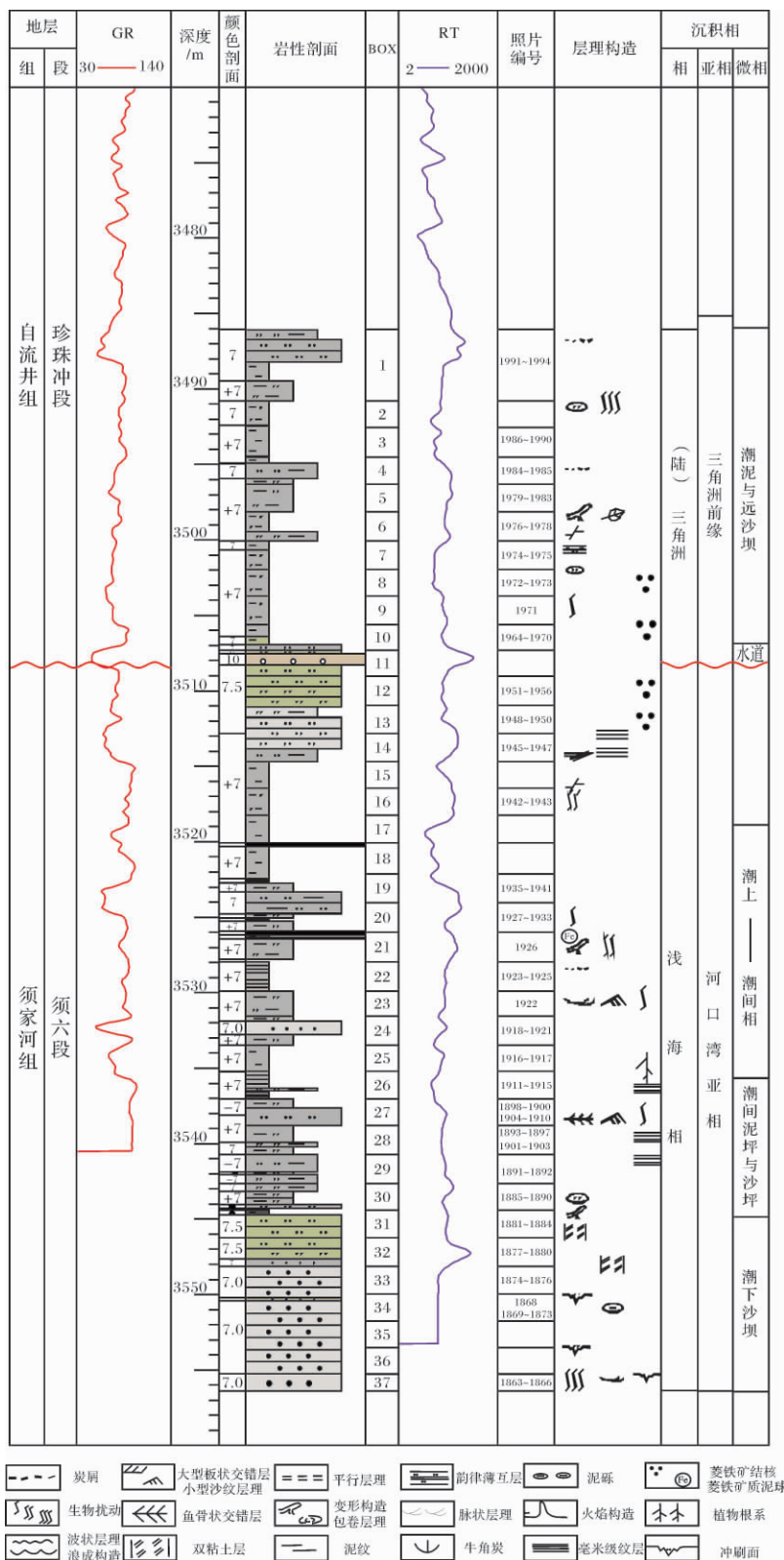


图4 L11井取芯段沉积相剖面图

Fig. 4 Sedimentary facies column of the cord interval of Well L11

岩芯中一大特色是在  $T_3x \setminus J_1z$  界面附近,大致 3 508 ~ 3 499 m 深度岩石中含大量菱铁矿颗粒,直至富集成斑块。铁离子是由河流以胶体形态带入河口滨海地区,由于海水中富电解质,胶体遂凝絮而沉淀。沉积物成岩阶段的地球化学过程,导致还原和半还原环境,使氢氧化铁转变成  $FeCO_3$  (图 3f)。

本井取芯段引人注目之点:

○  $J_1z$  具底部砾岩。

○  $J_1z$  和  $T_3x$  的泥、页岩都呈深灰色,  $T_3x^6$  的中细砂岩为灰白色的。

○ 菱铁矿颗粒分布于界面上、下 5 m 范围内。

图 3 中包括须六段和珍珠冲段的底部砾岩,分别为(c)、(d)。两者成分相似,由石英(白)和燧石(深灰)组成,但须六段砾岩中燧石含量(30% ~ 40%)大于珍珠冲段砾岩(<10%),而且须六段底部砾岩分选好,呈单众数分布,珍珠冲段砾岩分选差,燧石质砾石显著变细,许多在毫米级,双众数分布。因此不难将两者区分开来。

以上介绍的两口井,由于有大量岩芯,并存在底部砾岩,所以不难划分珍珠冲段底界。对一般的少取芯或者未取芯的井,如何依据录井曲线划分界面呢?这就需要层序地层学理论的指导。

#### 1.4 层序地层模式与 LUNA 法则的应用

通过研究区地震测线上反射终端(截削、上超)的分析,可以确定珍珠冲段底界面属于Ⅲ级以至Ⅱ级层序的层序界面(SB)。所以,我们面对的是用测井资料确定层序界面问题。

层序地层学最初基于被动大陆边缘沉积层的研究,认为全球相对海平面升降控制层序的发育,而前者乃是构造运动、气候、大地水准面变化、沉积补给等的合成结果。

这个理论能否解释陆相沉积层序呢? 20 世纪 80 年代,国际地质科学联合会为此设立了陆相层序地层学工作小组(LUNA)。研究成果由 Shanley & McCabe<sup>[10]</sup>发表。有关层序界面(SB)与层序(SQ)划分的原理简介如下:

层序是由不整合面及其可对比的整合面为边界的一个有成因联系的沉积体。不整合面是表明重大沉积间断的陆表侵蚀削截面及其可对比的水底侵蚀面<sup>[12]</sup>。在实际工作中,尤其从录井剖面中可以准确地确定不整合面。

LUNA 认为,层序边界不整合可依据可容空间生成速率突变的岩层几何形态来识别,其具体标志是古

河流规模和河道砂岩的叠置方式。下切宽度和深度均大于单河道,纯砂比率很高的砂岩段,乃是地层基准面(上升速率)低,河道反复迁移冲走了洪泛平原细粒物质的结果。这种砂体被称为拼合砂体,其底面就是陆相盆地中可靠的层序界面。这些界面在录井图上,表现为 Sp、Rt 曲线的突变点: Sp、Rt 曲线反映出的由向上变粗的反韵律突变为向上变细的正韵律。在地震测线上,则可由反射终端的特征—截削、上超来确定,两种资料条件下应得出一致的结论。

LUNA 的上述原理,其实早已是层序地层学确定的原理,见于 Vail 等<sup>[11]</sup>、Van Wagoner<sup>[12]</sup>、Olsen 等人的文章中。我们可以用 Olsen 等人<sup>[13]</sup>的河成层序构型模式予以说明(图 5)。底侵蚀面(SB1)是基准面下降时复杂河谷下切所造成的。拼合的河成砂席(层位 2)是基准面长期下降和开始上升时,河谷下切与扩大的结果,其特点是砂体厚度大(比其上、下的砂层厚得多)且广延成席状(多口井相连),内部多冲刷面。层位 3 是单河道砂体,分散于细粒沉积中,向上变细,其规模远小于拼合砂体。层位 3 顶部可出现(泥)灰岩。由层位 1→层位 3,基准面上升速率是增大的(水进)。层序上部代表基准面上升速率减小,以致为零,此时冲积平原向盆地前积,可容纳空间减小,沉积物向上变粗(水退)。然后是基准面重新下降,出现新的河谷下切,形成新的不整合面(SB2),也就是第二个层序的层位 1,如此轮回式发展。结果,

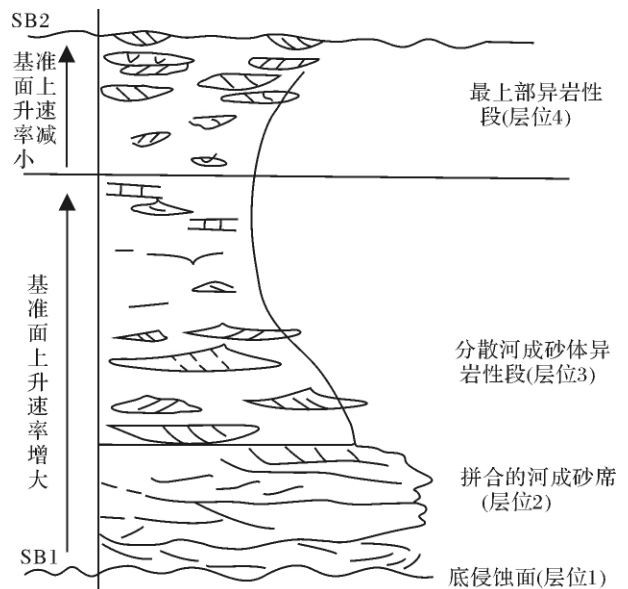


图 5 河成层序构型模式(Olsen T 等)<sup>[13]</sup>

Fig. 5 Architecture model for fluvital sequences  
(after Olsen T, et al., 1995)

层序界面(SB)正好是下伏反韵律与上覆正韵律的转换面。

现在回过头来看前述两口井的地层分界。S52井(图2)珍珠冲段底界在井深1697m处,从GR和RLLD曲线都可看出,暴露面(古土壤)正好是可容纳空间生成速率的转折点。K11井(图4)情况相似,界面(3508.2m)正好是测井曲线趋势的突变处。

## 2 结果

关于川中东北部须家河组与珍珠冲段地层划分,我们得出了以下成果。

### 2.1 得出须家河组与珍珠冲段地层划分的地质、地球物理标志

至此,我们可以对川中北部地区 $T_3x \setminus J_1z$ 地层划分与对比的依据(标志),作出如下小结。

#### 2.1.1 古生物

主要为植物化石。须六段中下部的灰白砂岩中不含化石,而上部的黑色页岩中,含丰富的植物化石,保存完好,不难鉴定。此次研究中,我们初步鉴定了岩芯中*Cladophlebis*、*Pterophyllum*和*Neocalamites*等种属。珍珠冲段的红色和杂色泥岩中是不含化石的,灰色泥页岩中可含他生的煤“砾”,而含泥粉砂岩层面上可见少量植物残体,保存不好,皆已炭化。

#### 2.1.2 岩性特征

整体而言,与 $T_3x$ 比较, $J_1z$ 岩性以色较浅,粒度偏细,化石极少为特点。

(1) 颜色:砂屑岩——珍珠冲段呈浅灰—灰绿色,

须六段砂岩多为灰白色,其次浅灰、灰黄。泥页岩——珍珠冲段泥岩灰白—浅灰、杂色以及红色,无植物碎屑。须六段页岩为黑色、深灰色,含丰富植物碎屑。

(2) 成分: $J_1z$ 底部(粉)砂岩的石英含量高于 $T_3x^6$ 砂岩,而燧石和变质岩岩屑显著低于后者。须六段中可见含大量暗色颗粒(燧石、变质岩屑)的砂岩,在珍珠冲段中是见不到的。

(3) 粒度和单层厚度: $T_3x^6$ 中下部的砂岩为中细粒砂,连续厚度在数米至数十米,上部则一般为薄的细砂、粉砂与深色页岩成互层。 $J_1z$ 砂质岩粒度一般为粉砂岩和泥质粉砂岩,少数为细砂,厚度一般在1m以下,少数达7~8m。

(4) 分选性:须六段砂岩分选中—好,磨圆度高,而珍珠冲段粉砂岩分选差,磨圆度亦较低。 $J_1z$ 中可见分选很差的含砾砂岩和含泥质角砾的泥岩,属浊流沉积,在 $T_3x$ 中是不存在的。

(5) 硅质中砾岩:珍珠冲段底部砾岩是可靠标志,其底面是可容纳空间成长突变面(层序界面)。 $T_3x^6$ 底部也有中砾岩,且特征相似。但是两者的不同点在于:a.黑色燧石质砾含量—— $T_3x^6$ 高(30%~40%),而 $J_1z$ 底砾岩低(10%±)。b.粒度分布—— $T_3x^6$ 底部砾岩的石英质砾和燧石质砾大小相近,分选好,为单众数分布, $J_1z$ 底部砾岩的石英质砾比燧石质砾大得多(分选差),似为双众数分布。

(6) 风暴流砾石:只见于 $T_3x^6$ ,而不见于 $J_1z$ 。

(7) 沉积构造: $T_3x$ 中常见的双黏土层、水流突变构造(及鱼骨状交错层理)、砂泥薄互层、透镜状和

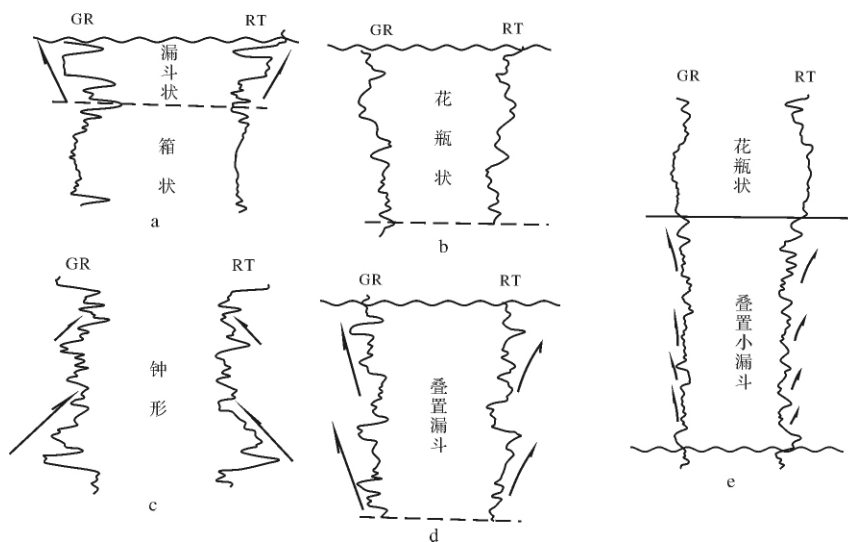


图6 须六段、珍珠冲段测井曲线各种形态

Fig. 6 Forms of the logging curves for  $T_3x^6$  and  $J_1z$



脉状层理 在珍珠冲段一般都缺失(可见薄互层)。

(8) 植物遗迹: 牛角炭—— $T_3x$  中常见  $J_1z$  未见。植物根系—— $J_1z$  常见,  $T_3x$  中偶见。植物茎杆印模—— $T_3x$  中粗砂岩中较常见,  $J_1z$  中未见。

(9) 成岩矿物: 菱铁矿结核, 分布于界面上下数米的深度范围内。

2.1.3 沉积相

$T_3x^6$  晚期: 浅海环境河口湾系统: 河口坝、潮汐影响的三角洲前缘、河口湾泥、潮间与潮上带。 $J_1z$ : 陆相湖泊三角洲系统: 三角洲前缘、前三角洲、分流间

湾。

2.1.4 地震反射终端特征

$J_1z$  底界面为一不整合面,  $T_3x^6$  顶部被截剥,  $J_1z$  底部上超于该面上。

2.1.5 测井响应形态特征

$T_3x^6$  中下部——箱形。 $T_3x^6$  上部——漏斗状、花瓶状、叠置漏斗状。 $J_1z$ ——钟形、叠置小漏斗、花瓶状(图 6)。

将以上所述的沉积和测井响应特征以表列出, 见表 2。

表 2 须六、珍珠冲段地质地球物理标志对照

Table 2 Contrast of the geological-geophysical attributes between  $T_3x^6$  and  $J_1z$

特征		分布	$T_3x^6$	$J_1z$	备注
颜色	砂屑岩		灰白、浅灰	浅灰、灰绿	
	泥质岩	黑页岩	○	△	
		杂色泥岩	×	△	
		紫红泥岩	×	○	
		白色粘土	×	○	
成分	一般砂岩		石英量较少, 燧石、变质岩屑较多	石英量增加, 燧石与变质岩屑减少	
	富暗色颗粒砂岩		○	×	
粒度	底部硅质中砾岩		○	○	两者由于成分、粒度分布予以区分
	灰白中、粗砂岩		○	×	
成层性	数十米厚单砂层		○	×	
	灰白细砂岩与黑色页岩交互		○	×	
沉积构造	水流突变构造与鱼骨交错层		○	△	川中个别井 $J_1z$ 具这些特征, 该处构造地层解释存疑
	韵律薄互层		○	△	
	双粘土层		○	△	
	透镜状、脉状层理		○	△	
	浪成构造		△	○	
浊积	风暴流沉积		○	×	
	薄的浊积层		×	△	
化石植物	完好植物化石		○	×	
	茎干印模		○	×	
	炭化植物碎屑		○	△	
	牛角炭		○	×	
	植物根系		△	○	
生物扰动			○	○	
成岩后生矿物	菱铁矿结核		○	○	分布于 $J_1z$ 底面上下不远处
	白云石		△	×	
测井曲线形态	箱形		○	×	$T_3x^6$ 中下部
	漏斗形		○	×	须六段上部
	钟形		△(底部)	○	
	花瓶状		△	○	
	叠置漏斗状		△	○	

○ 常见      △ 偶见      × 无

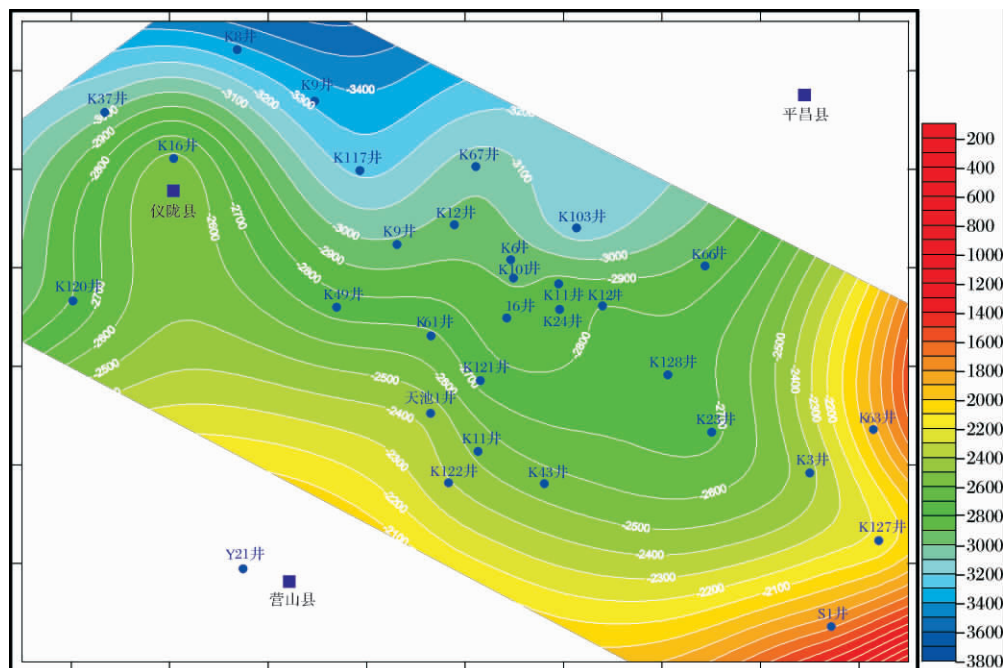


图7 川中东北部地区须家河组顶部(珍珠冲段底面)起伏轮廓

Fig. 7 Contour map of top surface of the Xujiahe Formation (basal surface of Zhenyuhuchong Member) in the northeastern NE part of central Sichuan Basin

## 2.2 运用 LUNA 法则准确划分全区已钻井的珍珠冲段底界井深

由于正确划定了珍珠冲段底界,区域连井剖面都显示出地层岩相和厚度的规律性变化(限于本文篇幅及剖面内容过大,剖面从略)。

对重点探区,做出了珍珠冲段底面起伏轮廓图,如图7所示。该图东缘和东南缘古地形较陡,分别向东和向东南升高,显然与华蓥山褶皱带的发育有关。其他除K128周围的平台,以K16井的鼻类隆起以外,大致是向西北倾斜的斜坡,反映大巴山前凹陷。此图未考虑断层,所以不是构造图,但可以预测界面埋深。对于新钻井,只要确定其在图上的位置,就可以查出珍珠冲段底面的近似海拔,换算成应该出现的井深位置。此图可随资料井的增加予以进一步修正完善。

## 2.3 利用岩屑资料确定侏罗系底界

用LUNA法则确定各井侏罗系底界深度以后,可以反过来检查岩屑记录,判断可否依据岩屑特征,随着向下钻进而判断侏罗系底界的位置。我们根据14口井的岩屑资料,比较须六段与珍珠冲段岩屑的差异,得出了8种岩屑类型。

(1) 底部砾岩型:共3口井,砾岩是侏罗系底界的极好标志。

(2) 须家河组灰白砂岩、黑色页岩型:共2口井,对照之下,珍珠冲段为浅灰砂岩,灰色页岩,见图8(a)。

(3) 珍珠冲段紫红泥岩型:共3口井,打到紫红色泥岩表明接近侏罗系底界,见图8(b)。

(4) 珍珠冲段杂色泥岩型:本次研究资料中只见一口井,杂色泥岩和灰黑砂质页岩是珍珠冲段特有的岩性,见图8(c)。

(5) 中粒砂岩型:本次研究的资料当中也只见一口井,中粒砂岩只见于须六段,见图8(d)。

(6) 暗色颗粒砂岩型:有一口井,暗色颗粒是燧石或(和)变质岩屑,是须家河组的特征。唯离界面较远,不太敏感,见图8(e)。

(7) 浊积型:有一口井,分选很差的含砾砂岩,只见于珍珠冲段,因此有标志意义,见图8(f)。

(8) 差别模糊型:有两口井,由岩屑难以区分须家河组与珍珠冲段。

上述8中类型中,仅(8)一类难以划分界面,占总井数的14%,其他(1)~(7)类都有相当明显的特征,可以较可靠或有把握地划定或接近界面,占总数的86%。因此可以认为:在一定条件下,利用岩屑资料在现场迅速估计侏罗系底界是可能的;上述各种岩屑标志都是有价值的。

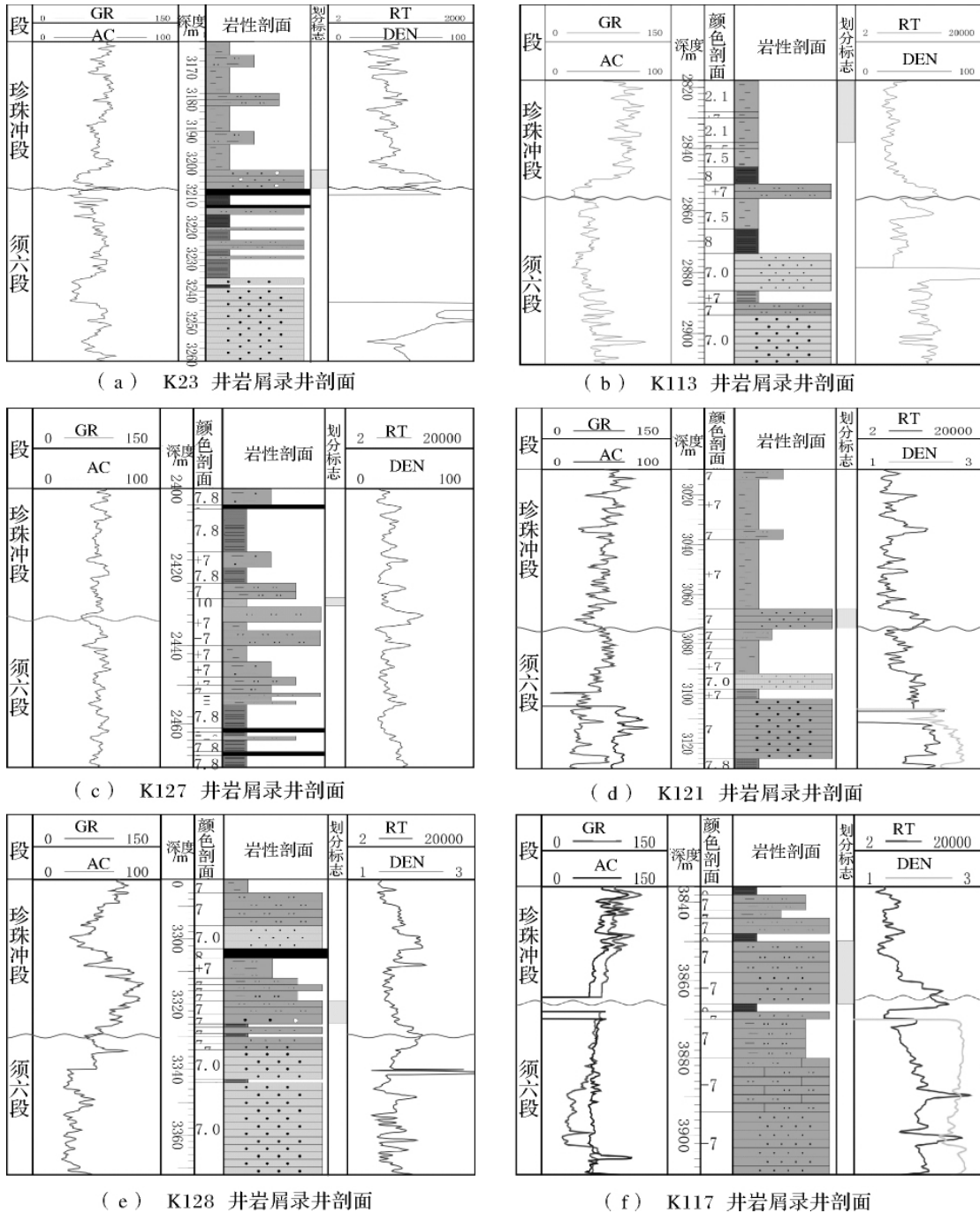


图 8 利用岩屑判断界面的几种典型情况

Fig. 8 Some typical cases for judging the division plane with cuttings

### 3 结论

至此我们可以得出如下几点结论:

(1) 须家河组顶部与侏罗系底部的沉积学和岩石学特征有很大差别,但也有相似性(如菱铁矿结核)。全面掌握了两者的特点,即掌握了事物的“个性”,就易于区别它们。因为地质发展演变是不可逆

的,它必然反映在事物的各个方面。在大量野外和井下研究工作的基础上,我们总结了两段地层的地质地球物理特征,见表 2。

(2) 但是人们不能事事都靠经验,地质学已经为地层划分准备了理论。LUNA 法则就是确定层序界面,解决地层划分和对比的可靠理论,利用录井剖面尤其容易做到这一点。露头区也是一样的道理。例

如,川西侏罗系底界上下多砾岩;由老向新研究剖面时不能遇到砾岩就划为侏罗系,只有找到具“拼合砂体”性质的砾岩,其底面才是侏罗系底界。

(3) 珍珠冲段底部的低位砾岩,早就被古生物学者作为川中东北部地区的分界标志。在井下,其底面与可容纳空间成长速率突变面一致,说明古生物地层与层序地层学都达到了正确认识。

(4) 在掌握表2的基础上,现场专业工作者可以分析岩屑资料(讯息),迅速估计侏罗系底界的井深。自然,准确的 $J_1$ 底界位置,需要在录井剖面的基础上,运用LUNA法则,对比相邻钻井,才能确定。

(5) 连井剖面研究表明 $T_{3x} \sim J_{1z}$ 时期,地形起伏被沉积补偿迅速填平,提示川中地区构造运动和缓平稳,没有特定的长期隆起或沉降地带,为东岳庙期区域性大湖泊的出现创造了条件。

(6) 珍珠冲段储层欠发育。主要储集相属于低位河道砂(砾)体,其分布是可以预测的。须家河组则极富可能的储集砂体,唯因深埋压实等成岩作用,渗透率偏低,要寻找良好的储集地带,应回溯到原始沉积环境中去。两者都离不开系统的、现代水平的沉积学研究和地震地层学制图。

### 参考文献(References)

- 四川人民出版社编. 四川盆地陆相中生代地层古生物[M]. 成都: 四川人民出版社, 1982 [Sichuan People's Press. Stratigraphy and Paleontology of the Continental Mesozoic in Sichuan Basin [M]. Chengdu: Sichuan People's Press, 1982]
- 刘笛笛, 杨子荣, 杨彦东, 等. 四川盆地珍珠冲组植物群特点及侏罗系与三叠界线的厘定[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 9(3): 254-259 [Liu Didi, Yang Zirong, Yang Yandong, et al. Characteristics of the Zhenzhuchong plant assemblage and definition of the boundary between Jurassic and Triassic in Sichuan Basin [J]. Journal of Geoscience and Environmental Science, 2009, 9(3): 254-259]
- 罗启后. 水进河床砂体充填在古代沉积中的发现——四川盆地中西部上三叠统某些砂体的成因探讨并试论水进型三角洲[J]. 沉积学报, 1983, 1(3): 59-68 [Luo Qihou. Discovery of water-transgressive channel infilling sandstone bodies in ancient sediments: An approach to the genesis of certain Upper-Triassic sandstone-bodies in the middle-west part of Sichuan Basin and discussion on water-transgression delta [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1983, 1(3): 59-68]
- 侯方浩, 蒋裕强, 方少仙, 等. 四川盆地上三叠统香溪组二段和四段砂岩沉积模式[J]. 石油学报, 2005, 3, 26(2): 30-37 [Hou Fanghao, Jiang Yuqiang, Fang Shaoxian, et al. Sedimentary model of sandstone in the Second and Fourth members of Xiangxi Formation in the Upper Triassic of Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 3, 26(2): 30-37]
- 郑荣才, 戴朝成, 朱如凯, 等. 四川类前陆盆地须家河组层序—岩性古地理特征[J]. 地质评论, 2009, 55(4): 484-495 [Zheng Rongcai, Dai Chaocheng, Zhu Rukai, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics of Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin [J]. Geological Review, 2009, 7, 55(4): 484-495]
- 赵霞飞, 吕宗刚, 张闻林, 等. 四川盆地安岳地区须家河组—近海潮汐沉积[J]. 天然气工业, 2008, 4: 14-18 [Zhao Xiafei, Lü Zonggang, Zhang Wenlin, et al. The Xujiahe Formation in Anyue area of Sichuan Basin—Littoral tidal deposits [J]. Natural Gas Industry, 2008, 4: 14-18]
- Wendt J, Xichuan Wu, Reinhardt J W. Deep-water hexactinellid sponge mounds from the upper Triassic of northern Sichuan (China) [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1989, 76: 17-29
- 张闻林, 徐丽媛, 赵霞飞, 等. 四川盆地上三叠统须家河组和侏罗系的沉积差异及勘探方式[J]. 天然气工业, 2010, 30(增刊): 5-10 [Zhang Wenlin, Xu Liyuan, Zhao Xiafei, et al. Sedimentary difference and exploration style between the Upper Triassic Xujiahe Formation and Jurassic in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(Suppl.): 5-10]
- Rahmani R A. Estuarine tidal channel and nearshore sedimentation of a Late Cretaceous epicontinental sea, Drumheller, Alberta, Canada [M] // De Boer P L, Gelder A V, Nio S D, eds. Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies. Reidel D Publishing Company, 1988: 433-471
- Shanley R W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4):
- Vial P R, Andemard F, Bowman S A, et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview [C] // Einsele et al. (Eds), Cycles and Events in Stratigraphy, Springer-Verlag, Berlin, 1991: 617-661
- Van Wagoner J C. Sequence stratigraphy and marine to nonmarine facies architecture of foreland basin strata, book cliff, Utah, U. S. A. [C] // Van Wagoner J C, Bertram G T. eds. Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits (AAPG Memoir 64), 1995, Tulsa, Oklahoma, U. S. A.
- Olsen T, Steel R, Hogseth K, et al. Sequential architecture in a fluvial succession: sequence stratigraphy in the upper Cretaceous Mesaverde Group, Price Canyon, Utah [J]. Journal of Sedimentary Research, 1995, 65(2): 265-280

## Stratigraphic Division between Xujiahe Formation and Zhenzhuchong Member in the NE Part of Central Sichuan Basin

ZHAO Xia-fei<sup>1 2</sup> GONG Chang-ming<sup>3</sup> ZHANG Wen-lin<sup>4</sup> LIU De-rong<sup>3</sup>  
HE Feng-yang<sup>1</sup> KANG Ren-dong<sup>4</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. State Key Lab of Oil-Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

3. Central-Sichuan-Basin Oil-gas Mine, SW Branch of CNPC, Chengdu 629001;

4. Exploration-Development Institute of the SW Branch, CNPC, Suining, Sichuan 610061;

5. Exploration-Development academy of the NW Branch, Sinopec, Urumqi 830011)

**Abstract** Studies of the corresponding seismic data revealed the division plane is a sequence boundary (SB) ( $T_3x$  truncated by the boundary and along which  $J_{1z}$  onlaps). So it can be determined by LUNA principle. LUNA regards sequence boundary unconformity as can be recognized by strata geometry of abrupt change of accommodation generation rate which is marked by the paleo-channel scale and the superimposition of channel sandstones, and base of the amalgamated sandstone body is just the site of the sequence boundary. In well-log, SB is presented by break point of Gr and Rt curves—the reverse rhythm of the underlain sequence turns into positive rhythm of the overlying sequence upwards at the point. This plane coincides well with the base of basal conglomerate. Measuring the trans-boundary short columns along the west edge of Huayingshan and core-section studies have revealed that apparent differences of paleontology-paleoecology and sedimentology exist in between  $T_3x$  and  $J_{1z}$  successions, which reflect the irreversibility of geological evolution. Paleontology: mostly fossil plants, plants are plentiful and well-preserved in  $T_3x^6$  black shale, and plant stems are considerably common in coarse sandstone of the same member. Fossils are rare in  $J_{1z}$ , however, allochthonous small carbonized plant debris or occasionally coal "pebbles" are seen. Sedimentary and diagenetic features: most aspects are quite different between  $T_3x^6$  and  $J_{1z}$ , except that siderite concretions occur in the interval from below to above the boundary by several meters. Lithology—the lower-middle part of  $T_3x^6$  is represented by thick gray-white median (coarse)–fine sandstone with single bed thickness of several to decades meters, the upper part by interbeds of light gray, yellowish gray fine sandstone to siltstone and black shales; however  $J_{1z}$  is characterized by intercalations of light gray, grayish-green thin siltstone and red, stained mudstone at its lower part, the mudstone are grading into gray colour and sandstone are getting thicker at its upper part. Composition—the quartz content in lower  $J_{1z}$  is higher than the sandstones of  $T_3x^6$ , but its chert and metamorphic rock debris are apparently lower than the later; Texture maturity— $J_{1z}$  siltstone is much worse-sorted than the  $T_3x^6$  sandstone, the thin turbidites in  $J_{1z}$  are not seen in  $T_3x$  successions. Sedimentary structures—bi-clay-layers, herringbone structure, abrupt facies change, lenticular and flaser bedding and thin interbeds are common in  $T_3x$  but not seen in  $J_{1z}$ . Siliceous cobble—the  $J_{1z}$  basal cobble is a reliable boundary marker which is easily differentiated from the basal ones of  $T_3x^6$ ; the storm-induced conglomerate and "ox-horn coal" occur only in  $T_3x$ ; rootlets are common seen in  $J_{1z}$  and occasionally presented in  $T_3x$ . Sedimentary facies: the above-mentioned differences between  $T_3x$  and  $J_{1z}$  are thought to be derived from original sedimentary environments, the authors attribute  $T_3x$  to shallow sea and estuarine origin and  $J_{1z}$  to lacustrine delta system. The two successions are also different from each other in well-logging responses and can be easily discerned. This paper proved that to judge the reached stratigraphic level during well-drilling swiftly on the basis of cutting information can be achieved.

**Key words** NE part of central Sichuan Basin; stratigraphic division between Triassic and Jurassic; LUNA principle; to judge the reached stratigraphic level with cuttings