

文章编号:1000-0550(2014)05-0912-09

川西坳陷上侏罗统遂宁组洪水—漫湖沉积特征^①

陈贤良^{1,2} 纪友亮¹ 杨克明³ 刘君龙¹ 黄富祥¹ 赵春妮¹ 杨永¹ 李龙迪¹

(1. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249; 2. 西安科技大学 西安 710054;
3. 中国石化西南油气分公司 成都 610016)

摘要 利用岩芯、薄片鉴定、粒度分析、录井及测井解释等资料和手段,对四川盆地川西坳陷上侏罗统遂宁组沉积特征进行研究。结果表明,川西坳陷在遂宁组沉积时期处于稳定拗陷阶段,沉积作用明显受周期性洪水注入影响,形成“洪水—漫湖”沉积体系。“洪水—漫湖”沉积主要发育冲积扇、曲流河、三角洲和湖泊 4 个沉积相和若干个沉积微相,其沉积具有以下特征:①频繁的湖平面升降,形成砂泥互层的地层叠加样式;②缺乏大面积分布的半深湖—深湖沉积;③河流相为主要的沉积类型;④湖盆具有多物源、多期漫湖、满盆含砂的沉积特点。“洪水—漫湖”是川西坳陷遂宁组一种沉积充填新模式,对指导油气勘探具有重要的理论和实践意义。

关键词 川西坳陷 遂宁组 沉积特征 沉积模式 洪水—漫湖

第一作者简介 陈贤良 女 1985 年出生 博士 沉积学、层序地层学 E-mail: chenxianliang1985@163.com

通讯作者 纪友亮 男 教授 E-mail: jiyouliang@cup.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

侏罗系是川西坳陷重要的产油气层位之一,已发现和投入勘探开发的大、中型天然气田有十几处。近年来,在新都、洛带和什邡一带遂宁组中钻获的一批工业气井表明该层位具有巨大的勘探开发潜力。由于该地层埋藏浅、开发成功率高,目前已成为川西地区浅层天然气藏勘探开发的重点对象之一。伴随着天然气勘探、开发的不断深入,对遂宁组的研究要求也越来越精细。许多学者从物源分析、沉积作用、层序地层、构造充填等多方面对川西坳陷遂宁组进行了深入的研究^[1-12],并取得了大量成果。大部分学者认为遂宁组为正常湖泊沉积,发育冲积扇—曲流河—三角洲沉积体系^[1-5],也有学者认为遂宁组为正常湖泊夹间歇性时令湖沉积^[6]。

笔者基于大量岩芯、测井、录井、地震、野外露头和分析化验资料,结合现代沉积和国内外干旱背景下湖盆、河流沉积特征的研究成果^[13-23],对遂宁组的沉积环境和沉积模式进行了重新论证,并建立了一种干旱背景下坳陷湖盆全新的沉积充填模式,即“洪水—漫湖”沉积模式,该模式的建立对指导遂宁组天然气勘探与开发具有重要的理论和实践意义。

1 地质概况

川西坳陷位于四川盆地西部,呈北东向展布,西以安县—都江堰断裂与龙门山冲断带为界,东以龙泉山—南江一线为界,南以峨眉—荣经断裂与川滇南北构造带为界,北至米仓山前缘,面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。本文所研究的川西地区西抵绵竹—都江堰—天全,东达盐亭—简阳—峨眉山,北至广元,南到雅安—峨眉山。

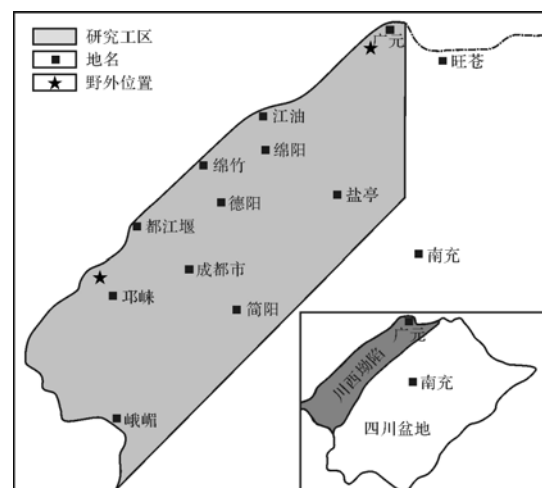


图 1 研究区位置(据沈忠民,2011)

Fig.1 Location of the study area(after Shen Zhongmin, 2011)

^①国家自然科学基金面上项目(批准号:41272157)与国家重大科技专项(编号:2011ZX05003-002)联合资助
收稿日期:2013-06-13;收修改稿日期:2013-08-27



A. 广元—剑阁剖面

B. 天宫庙斜源镇剖面

图 2 川西坳陷遂宁组野外露头特征(剖面位置见图 1)

Fig.2 The outcrop characteristics of the Suining Formation in western Sichuan depression

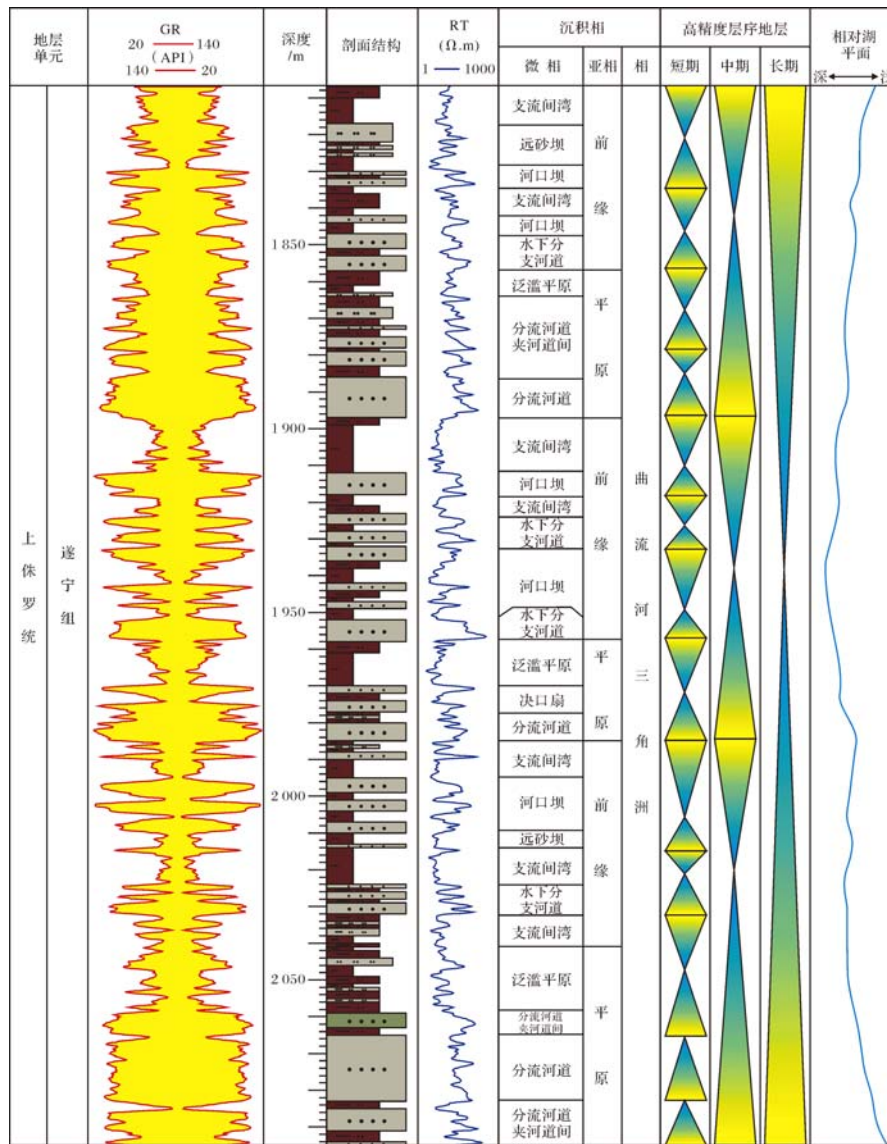


图 3 川西坳陷统遂宁组综合柱状图(CD620 井)

Fig.3 Comprehensive column of the Suining Formation in western Sichuan depression(Well CD620)

晚三叠世以来,川西坳陷的形成和发展经历了印支、燕山和喜山三期构造运动。以印支运动晚幕的构造不整合面为界,四川盆地于上古生界—中三叠统海相碳酸盐岩地层组成的沉积基底之上,充填了巨厚的晚三叠世—始新世的陆相地层。川西地区沉积厚度可达万米以上,以上三叠统须家河组—侏罗系发育最全,沉积充填序列保存最为完整^[9-12]。中侏罗世沙溪庙组沉积末期的燕山Ⅱ幕构造运动使川西坳陷古地貌夷平而变得较为平缓,至晚侏罗世遂宁组沉积期,四川盆地的气候由早中侏罗世的温暖潮湿变为炎热干旱^[4],龙门山逆冲推覆构造活动相对较弱,川西地区处于稳定坳陷阶段。

遂宁组以单一的岩性和较为鲜艳的棕褐色为特征(图2),与上覆、下伏地层均为整合接触,厚度为300~500 m,是侏罗系一标志层。除在龙门山推覆体前缘粒度明显变粗,为一套棕红色、砖红色中—细粒砂岩、含砾砂岩或砾岩外,主要为一套棕褐色泥岩、粉砂质泥岩夹褐灰色粉、细砂岩组成(图3),含少量介形虫、轮藻、叶肢介及双壳等陆相生物化石及生物遗迹化石^[4]。

2 洪水—漫湖沉积特征

2.1 岩石类型

川西坳陷遂宁组主要岩石类型为泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉—细砂岩及含砾粗砂岩等,泥岩一般以棕褐色、紫红色为主,反映为持续暴露氧化的浅水沉积环境(图2,3)。砂泥岩组合略显正韵律,是漫湖环境的沉积产物,反映了沉积期的浅水氧化环境。

2.2 砂岩结构特征

根据150余块岩石薄片鉴定结果的统计,川西坳陷遂宁组粉砂岩、细砂岩的陆源碎屑组分中石英含量一般为60%~75%,岩屑含量15%~50%,长石含量5%~15%,岩石类型以岩屑砂岩为主,次为岩屑质石英砂岩(图4)。颗粒一般为次棱角状,少部分为棱角—次棱角状,分选中等,部分分选好,以孔隙式胶结为主。岩石的成分成熟度和结构成熟度较低。

2.3 冲刷—充填构造

受周期性洪水影响,湖平面频繁升降,导致河道或分(支)流河道频繁发生改道、废弃和侧向迁移,砂岩层底面冲刷现象十分明显(图5a,b)。冲刷面起伏程度不一,深者可达3~4 cm,构成了冲蚀坑或冲蚀槽,为紫红色泥砾或砂岩砾(盆内碎屑)的河床滞留层所充填。砾石呈次棱角状或椭圆状,最大砾石直径

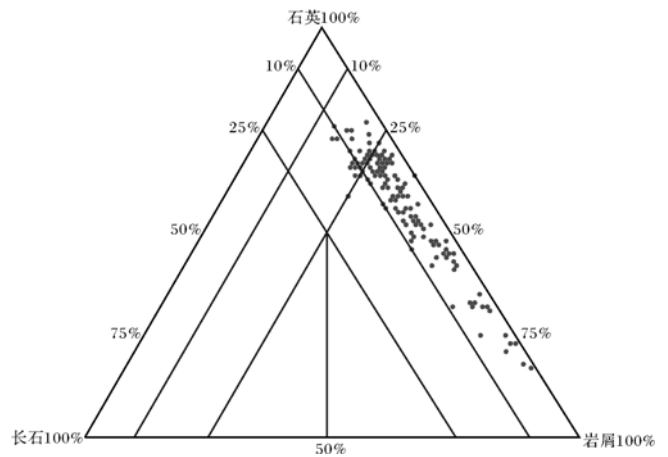


图4 川西坳陷遂宁组砂岩类型

Fig.4 Sandstone types of the Suining Formation in western Sichuan depression

可达4~6 cm,具有一定的定向排列性,砾石层厚4~20 cm(图5a~e),显正粒序,表明沉积物在快速堆积时又显示一定分选的特点。泥砾颜色为灰黑色、紫红色,砾径有大有小,最大可达4~5 cm(图5c,e)。其成因主要为高能单向洪水冲刷下伏早期沉积物(泥岩或砂岩),经搬运、磨蚀,再沉积而形成。

2.4 牵引流和重力流兼而有之的层理构造

遂宁组的沉积构造既有牵引流的沉积特征,又有重力流的沉积特征。与牵引流有关的层理在垂向上呈现一定的韵律性,主要有平行层理、块状层理等(图5f~i),反映了水浅、流急的沉积环境。反映重力流沉积特征的除了前面提到的冲刷—充填构造外,还可见递变层理、包卷层理和滑塌变形构造等(图5j~l)。棕褐色砂岩或薄砂岩夹层中的小型滑动和滑塌变形构造,反映水道两旁的沉积物因快速堆积而处于不稳定状态所产生的滑动和变形。

2.5 生物扰动构造

形成洪水—漫湖沉积的古气候、古地理条件是干旱、半干旱气候条件下地形平坦的浅水湖泊,不利于植被生长而有利于生物活动^[16,17]。因此在遂宁组地层中少见植物碎屑,而生物成因构造丰富,反映了当时沉积的古地理环境是地形较平坦的浅水湖泊环境。

生物扰动构造主要发育在粉砂质泥岩、泥质粉砂岩中,呈形态各异、倾斜或弯曲状生物潜穴及斑点状生物扰动构造(图5m~p)。冲刷面以上的平行层理及块状层理砂岩中生物扰动几乎不发育,反映沉积物被突发性洪水冲刷携带而快速搬运,使生物无法生存。相反在较细的泥质粉砂岩中生物扰动最为强烈,

常使层理遭到破坏和变形,甚至产生泥砂搅混现象,说明远离水道的漫湖亚相更利于生物活动。冲刷面以下的粉砂质泥岩中常出现生物逃逸迹,逃逸构造边缘的层理向下弯曲发生变形,是动物为逃避突发性的掩埋、侵蚀而造成的沉积构造^[18]。生物成因构造的另一个重要特点是具有较为明显的旋回性,每次洪水过后,便进入生物的繁盛时期,洪水事件的周期性伴随着生物的扰动旋回^[17]。

2.6 粒度特征复杂

遂宁组粒度概率曲线比较复杂,根据曲线特征可

归纳出3种类型(图6)。①两段式:以跳跃总体为主,斜率中等,这种类型的粒度概率曲线所反映的牵引流特征,多出现在曲流河河道、水下分流河道沉积中(图6a)。②高斜三段式:其沉积物粒度相对较粗,以细砂岩为主,粒度分布区间大,但以滚动和跳跃组分为主体,多出现在河口坝和洪水水道沉积中(图6b)。③低斜三段式:其沉积物粒度区间大,滚动组分分选差,有的探井以滚动和跳跃组分为主体,有的探井以悬浮组分为主体,这类粒度分布特征常出现在洪水水道沉积物中(图6c)。



图5 川西坳陷遂宁组沉积构造类型及特征

a.CD620井,1 922.7 m,冲刷面及泥砾; b.DS21井,2 134.7 m,冲刷面及泥砾; c.DS21井,2 134.7 m,河道底部泥砾; d.JY21井,1 967.52 m,砂砾岩; e.JY21井,1 967.82 m,砂砾岩; f.WJ2井,2 627.1 m,平行层理; g.DSH2井,1 924.56 m,平行层理; h.DS2井,1 802.1 m,块状层理; i. DS2井,1 818.17 m,块状层理; j. JY21井,1 967.72 m,递变层理; k.CD620井,1 921.1 m,滑塌变形构造; l.DS2井,1 818.89 m,滑塌变形构造; m.DSH2井,1 928.14 m,搅混构造; n.JS3井,1 741.5 m,虫孔及灰绿色泥岩充填; o.JY21井,1 964.92 m,搅混构造; p.DS2井,1 791.4 m,虫孔及灰绿色泥岩充填。

Fig.5 Sedimentary structure types and characteristics of the Suining Formation in western Sichuan depression

a.Well CD620, 1 922.7 m, erosion surface and mud-gravel; b.Well DS21, 2 134.7 m, erosion surface and mud-gravel; c.Well DS21, 2 134.7 m, mud-gravel at the channel bottom; d.Well JY21, 1 967.52 m, sandy conglomerate; e.Well JY21, 1 967.82 m, sandy conglomerate; f.Well WJ2, 2 627.1 m, parallel bedding; g.Well DSH2, 1 924.56 m, parallel bedding; h.Well DS2, 1 802.1 m, massive bedding; i.Well DS2, 1 818.17 m, massive bedding; j.Well JY21, 1 967.72 m, graded bedding; k.Well CD620, 1 921.1 m, slump deformation structure; l.Well DS2, 1 818.89 m, slump deformation structure; m.Well DSH2, 1 928.14 m, blended structure; n.Well JS3, 1 741.5 m, wormhole burrow and the grey-green mudstone fill; o.Well JY21, 1 964.92 m, blended structure; p.Well DS2, 1 791.4 m, wormhole burrow and the grey-green mudstone fill.

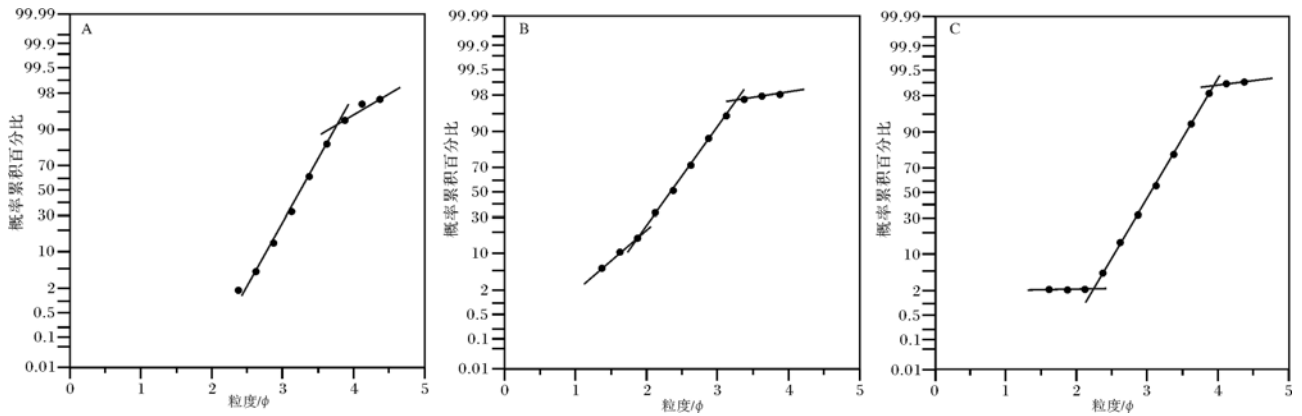


图 6 川西坳陷遂宁组粒度概率累积曲线

A. CD617 井, 1 810.25 m; B. DS2 井, 1 817.63 m; C. DS21 井, 2 137.08 m

Fig.6 Grain-size cumulative probability plots of the Suining Formation in western Sichuan depression

3 沉积相类型

3.1 冲积扇

冲积扇主要分布在川西坳陷西缘龙门山前缘, 分布面积较小。沉积物岩性以褐灰色、灰绿色含砾砂岩、砂砾岩和粉、细、中砂岩夹棕褐色、棕红色泥岩为主(图 7)。根据沉积学特征, 可将冲积扇划分为扇根、扇中和扇缘 3 个亚相类型。其中扇根亚相钻井少见, 主要出露在盆地边缘龙门山前部分地区, 表现为块状的砾岩沉积; 扇中亚相是冲积扇沉积体系的主体

部分, 主要由河道沉积和漫流沉积 2 个部分构成, 河道沉积物主要为含砾中—粗砂岩, 垂向上单砂层由底向顶具有粒度变细的趋势, 测井曲线为锯齿化箱形或钟形, 漫流沉积物主要为棕红色泥岩、泥质粉砂岩夹细砂岩, 测井曲线为锯齿化漏斗形; 扇缘亚相的沉积物类型主要为红色、紫红色泥岩和泥质粉砂岩, 测井曲线特征组要为低幅齿形或齿形夹指形。

3.2 曲流河

曲流河包括河床、河漫和堤岸三个亚相, 具典型的二元结构。韵律层下部以河道沉积的褐灰色、灰绿

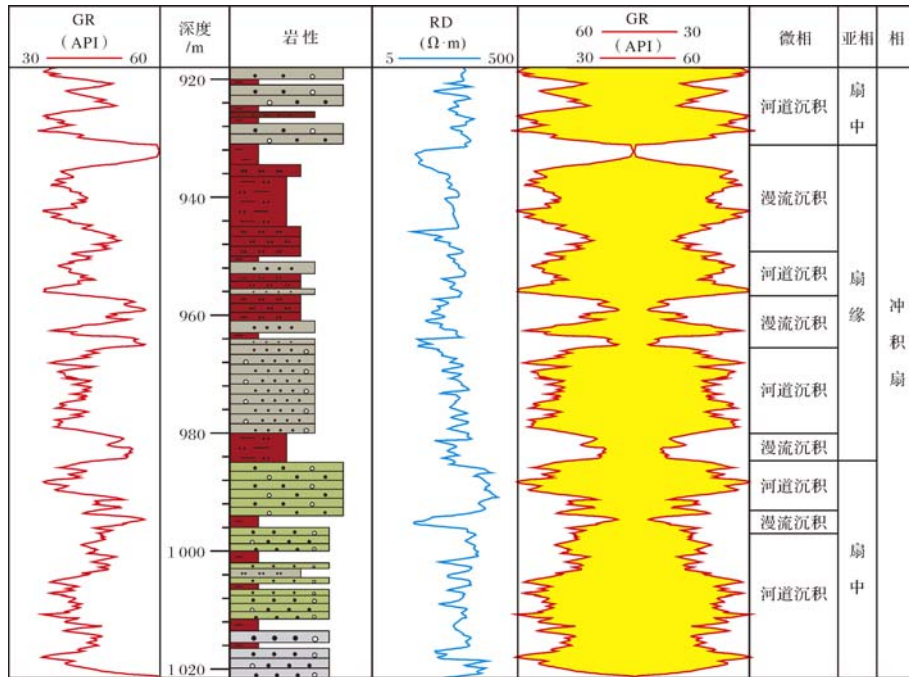


图 7 冲积扇岩电特征(CY92 井)

Fig.7 Lithological and electrical characteristics of alluvial fan(Well CY92)

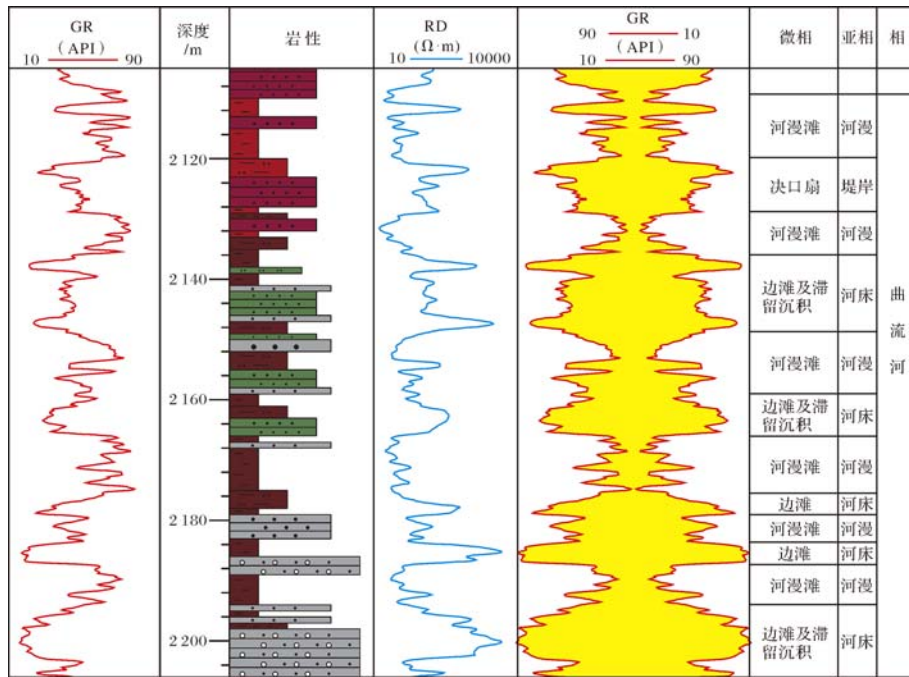


图 8 曲流河岩电特征(DY1 井)

Fig.8 Lithological and electrical characteristics of meandering river(Well DY1)

色中—细粒砂岩为主,局部为含砾粗砂岩,发育平行层理及块状层理,韵律层上部以河漫滩的棕褐色粉砂岩与粉砂质泥岩互层为主,水平层理发育。河道砂岩的测井曲线为反映较高水动力条件的中—高幅钟形或齿化箱形,而河漫滩亚相的测井曲线则呈中—低幅指形、齿形位于河道砂岩测井曲线之上,显示溢出河道的堤泛悬移沉积特征(图 8)。

3.3 曲流河三角洲

曲流河三角洲可划分为三角洲平原和三角洲前缘 2 个亚相,前三角洲不发育。曲流河三角洲平原以分流河道为骨架,两侧发育天然堤和决口扇等沉积微相,分流河道底部冲刷面发育,冲刷面上常含有来自下伏地层、大小不等的棕褐色、紫红色泥砾,砂岩中发育平行层理和块状层理(图 4f~h),泥岩中水平层理发育。曲流河三角洲前缘主要由水下分支河道、支流间湾、河口坝等微相组成。水下分支河道与三角洲平原分流河道相比粒度变细,主要由褐灰色粉—细砂岩组成,发育平行层理(图 4f),砂体底部普遍发育小型冲刷面,纵向上由多个小的河道砂体叠置组成正韵律层,测井曲线呈指状或齿化钟形。河口坝主要由褐灰色粉—细砂岩组成,具反粒序结构,测井曲线则呈漏斗形,表征水体变浅和沉积水动力条件逐渐增强(图 9)。

3.4 湖泊相

湖泊相主要分布在川西坳陷的东南部,半深湖—深湖亚相不太发育,主要发育滨浅湖亚相。岩性由单一的棕褐色泥岩夹薄层粉砂岩组成,发育水平层理和少量生物扰动构造,测井曲线呈指状、具有“两高一低”的特点,即高伽马、高声波时差和低电阻。

4 沉积相模式及沉积特点

4.1 沉积相模式

在上述相标志、相类型及层序识别的基础之上,结合研究区地质背景和前人研究成果^[19-23],总结出了川西坳陷遂宁组“洪水—漫湖”沉积的相模式(图 10)。

遂宁组沉积时期,川西坳陷古地形平缓、气候干旱,易暴发周期性洪水。湖平面受周期性洪水注入的影响频繁升降,形成横向上相距较远的洪水期高水位面和枯水期低水位面,造成枯水期和洪水期沉积特征明显不同。枯水期湖平面收缩,在龙门山前,形成了洪积扇,在川西坳陷中部主要为“洪水—漫湖”的河流相沉积,在盆地东南部,河流汇水形成浅水湖泊;洪水期湖平面扩张,物源供给充足,主要发育冲积扇—曲流河—曲流河三角洲—湖泊沉积体系。全区湖岸线不稳定,伴随着周期性洪水的注入,湖岸线来回摆动。总体而言,遂宁组沉积具有多物源、多期漫湖、砂

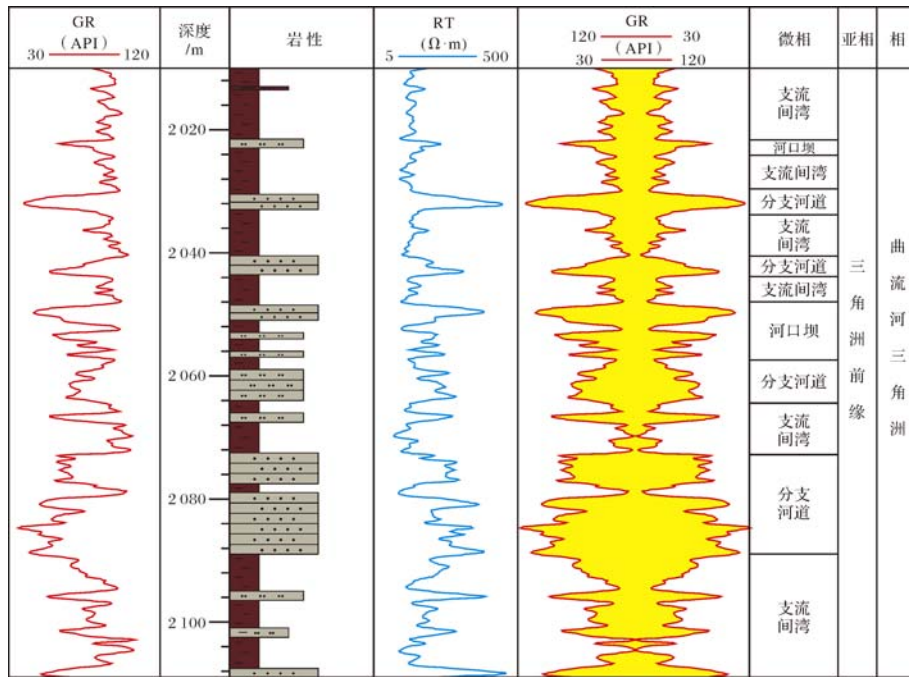


图9 曲流河三角洲岩电特征(DSH2井)

Fig.9 Lithological and electrical characteristics of meandering river delta(Well DSH2)

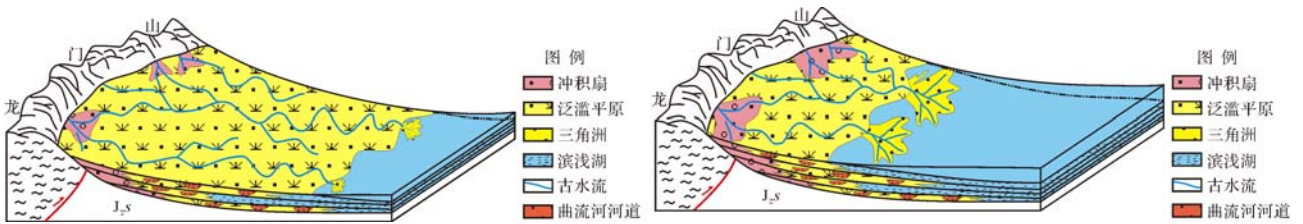


图10 川西坳陷遂宁组洪水—漫湖沉积模式

Fig.10 Flood-overlake depositional model of the Suining Formation in western Sichuan depression

泥互层、满盆含砂的沉积特点。

4.2 沉积特点

4.2.1 频繁的湖平面升降

伴随周期性干湿性交替变化,湖泊水体涨缩频繁。枯水期,湖泊水体仅限于川西坳陷东部;而洪水期,由于地形平缓,湖平面稍有上升,水体便可大面积向龙门山方向扩张,形成面积广大的洪泛湖。最终形成旱时为陆、湿时为湖的地区,河湖两种营力交互发生作用。其中多个枯水期沉积和洪水期沉积叠加构成短期旋回沉积,多个短期旋回沉积叠加构成中、长期旋回沉积,最终形成砂泥互层的地层叠加样式。

4.2.2 缺乏大面积分布的半深湖—深湖沉积

研究表明遂宁组沉积时期,小幅度的水体深度变化,可以造成大面积的湖泛或者暴露,蒸发量远大于降水量,总体水体较浅,处于氧化—半氧化环境,以

棕红色,棕褐色为主(图3),缺乏大面积分布的半深湖—深湖沉积。

4.2.3 河流相为主要的沉积类型

遂宁组沉积时期,河流表现为周期性的洪水,部分河流由于地形变缓,并未进入汇水中心,而是消失在中部地区,河流相为盆地沉积充填的主要类型。枯水期,来自龙门山方向的物源较少,部分河流会消失在川西坳陷中部,最终汇水量比较小。这种现象与我国西部内陆河的沉积特征非常相似,如在塔里木盆地南缘山前的径流散失区,由于此区为干旱区,气温高、降水少、多戈壁沙漠,气候和水文地质条件均不利于地表径流的形成,因此河流进入此区后,水量不但得不到补充,反而由于蒸发、渗透和沿途利用,随着流域面积的增大而急剧减小甚至消失在荒漠中;洪水期,水量充沛、物源供给充足,河流入湖会形成三角洲

沉积。

4.2.4 具有多物源、多期漫湖、砂泥互层、满盆含砂的沉积特点

遂宁组地层厚度变化较小,地层分布稳定。在平坦的古地形背景下,多条垂直或近于垂直龙门山的河流及其分枝水系游荡于川西坳陷中西部地区,使得川西坳陷具有多物源、多漫湖、砂泥互层、满盆含砂的沉积特点(图10)。

5 结论

(1) 川西坳陷上侏罗统遂宁组的沉积特征完全不同于经典坳陷湖盆和浅水湖盆沉积模式。遂宁组沉积时,盆地湖岸线不稳定,湖平面频繁升降,“洪水—漫湖”沉积体系是坳陷湖盆沉积充填的主要类型。

(2) 遂宁组主要的相类型有4种:冲积扇、曲流河、曲流河三角洲和湖泊相。

(3) 川西坳陷遂宁组“洪水—漫湖”沉积具有以下特点:①频繁的湖平面升降,形成砂泥互层的地层叠加样式;②古地形平缓,小幅度的水体深度变化,可以造成大面积的湖泛或者暴露,总体水体较浅,缺乏半深湖—深湖沉积;③河流表现为周期性的洪水,特别是枯水期部分河流消失在川西坳陷中西部地区,河流相为盆地沉积充填的主要类型;④湖盆具有多物源、多期漫湖、满盆含砂的沉积特点。

(4) “洪水—漫湖”是川西坳陷遂宁组一种沉积充填新模式,对指导油气勘探具有重要的理论和实践意义。

参考文献 (References)

- 刘安然,陈洪德,徐胜林,等. 川西坳陷中段上侏罗统遂宁组岩相古地理及砂体展布[J]. 岩性油气藏,2013,25(1):35-39 [Liu Anran, Chen Hongde, Xu Shenglin, *et al.* Lithofacies paleogeography and sand bodies distribution of the Upper Jurassic Suining Formation in the middle section of western Sichuan depression [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2013, 25(1): 35-39]
- 朱志军,陈洪德,胡晓强,等. 川西前陆盆地侏罗纪层序地层格架、沉积体系配置及演化[J]. 沉积学报,2010,38(3):451-461 [Zhu Zhijun, Chen Hongde, Hu Xiaoqiang, *et al.* Framework of sequence stratigraphy, sedimentary system and evolution of Jurassic in western Sichuan foreland basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 38(3): 451-461]
- 袁海锋,徐国盛,倪根生,等. 川西洛带气田遂宁组沉积相及与储集物性关系[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(1):15-21 [Yuan Haifeng, Xu Guosheng, Ni Gensheng, *et al.* The relation between sedimentary facies and reservoir physical property of the Upper Jurassic Suining Formation in Luodai fields of west Sichuan Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2008, 35(1): 15-21]
- 高红灿,郑荣才,柯光明,等. 川西上侏罗统遂宁组沉积相特征[J]. 古地理学报,2006,8(4):467-476 [Gao Hongcan, Zheng Rongcai, Ke Guangming, *et al.* Characteristics of sedimentary facies of the Suining Formation of Upper Jurassic in western Sichuan depression [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8(4): 467-476]
- 胡晓强,陈洪德,纪相田,等. 川西前陆盆地侏罗系三角洲沉积体系与沉积模式[J]. 石油实验地质,2005,27(3):226-231 [Hu Xiaoqiang, Chen Hongde, Ji Xiangtian, *et al.* The Jurassic delta deposit system tract and depositional model in the western Sichuan foreland basin, China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(3): 226-231]
- 王亮国,余福林,邓康龄,等. 川西坳陷侏罗系沉积环境[J]. 油气地质与采收率,2011,8(6):13-17 [Wang Lianguo, Yu Fulin, Deng Kangling, *et al.* The sedimentary environment of Jurassic depression in the west of Sichuan [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2011, 8(6): 13-17]
- 罗啸泉,陈兰. 川西坳陷形成演化及其与油气的关系[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1):16-19 [Luo Xiaoquan, Chen Lan. Forming evolution of western Sichuan depression and its relation to oil and gas [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2004, 11(1): 16-19]
- 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 [Yang Keming. Status of oil & gas resources and prospecting potential in western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(4): 322-326]
- 刘树根,赵锡奎,罗志立,等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究[J]. 成都理工大学学报,2001,28(3):221-230 [Liu Shugen, Zhao Xikui, Luo Zhili, *et al.* Study on the tectonic events in the system of the Longmen mountain-west Sichuan foreland basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2001, 28(3): 221-230]
- 刘树根,罗志立,赵锡奎,等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统形成的动力学模式及模拟研究[J]. 石油实验地质,2003,25(5):432-438 [Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, *et al.* Study on the dynamic mode and its simulation in the foreland of Longmen mountain-west Sichuan foreland basin system, China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(5): 432-438]
- 李勇. 论龙门山前陆盆地与龙门山造山带的耦合关系[J]. 矿物岩石地球化学通报,1998,17(2):10-14 [Li Yong. On coupling relationships between Longmenshan foreland basin and Longmenshan orogenic belt [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1998, 17(2): 10-14]
- 邓康龄. 四川盆地形成演化与油气勘探领域[J]. 天然气工业,1992,12(5):7-12 [Deng Kangling. Formation and evolution of Sichuan basin and domains for oil and gas exploration [J]. *Natural Gas Industry*, 1992, 12(5): 7-12]
- North C P, Warwick G L. Fluvial fans: myths, misconceptions, and the end of the terminal-fan model [J]. *Journal of Sedimentary Re-*

- search, 2007, 77(9): 693-701
- 14 Nichols G J. Structural controls on fluvial distributary systems the Luna system, northern Spain [C]//Ethridge F G, Flores R M, Harvey M D. Recent Developments in Fluvial Sedimentology. SEPM, Special Publication 39, 1987: 269-277
- 15 Nichols G J, Fisher J A. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits [J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 195: 75-90
- 16 袁静. 济阳拗陷南部古近系洪水—漫湖沉积[J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 131-138 [Yuan Jing. Paleogene flooded lake sediments in the southern part of the Jiyang depression [J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 131-138]
- 17 袁静. 中国东部古近系洪水—漫湖沉积特征——以济阳拗陷南部为例[J]. *矿物岩石*, 2005, 25(2): 99-103 [Yuan Jing. Paleogen sedimentary characteristics of flood-overlake in the east China-An example in south of Jiyang depression [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2005, 25(2): 99-103]
- 18 杨式溥. 古遗迹学[M]. 北京:地质出版社, 1990:49-77 [Yang Shifu. *Ichonology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 49-77]
- 19 潘树新,卫平生,王天奇,等. 大型拗陷湖盆“洪水—河漫湖”沉积——以干旱背景下的松南泉四段为例[J]. *地质论评*, 2012, 58(1): 41-52 [Pan Shuxin, Wei Pingsheng, Wang Tianqi, et al. Sedimentary characteristics of flood-overlake in large depression basin taking the 4th Member, Quantou Formation, Lower Cretaceous, in southern Songliao Basin as an example [J]. *Geological Review*, 2012, 58(1): 41-52]
- 20 冀登武,金强. 济阳拗陷车西洼陷漫湖洪水—风暴沉积与砂体横向预测[J]. *西安石油大学学报:自然科学版*, 2005, 20(3): 53-55 [Ji Dengwu, Jin Qiang. Flood-storm deposit of Chexi area in Jiyang depression and determination of the boundary of its sandbodies [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2005, 20(3): 53-55]
- 21 杨剑萍,操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙四段下部洪水—漫湖沉积特征[J]. *石油大学学报:自然科学版*, 2002, 26(6): 17-20 [Yang Jianping, Cao Yingchang. Flood-overlake deposits in the lower fourth member of the Oligocene Shahejie Formation in western Huimin depression [J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 2002, 26(6): 17-20]
- 22 邓宏文,钱凯. 柴达木盆地渐新统红层的成因特征及石油地质意义[J]. *地球科学*, 1987, 12(2): 149-156 [Deng Hongwen, Qian Kai. Genetic characteristics of the Oligocene red beds in Qaidam Basin and their significance in petroleum geology [J]. *Earth Science-Journal of Wuhan College of Geology*, 1987, 12(2): 149-156]
- 23 邓宏文,钱凯. 关于间歇性涨缩湖盆沉积作用的几点认识(主要以柴达木盆地早第三纪沉积为例) [J]. *沉积学报*, 1987, 5(2): 91-101 [Deng Hongwen, Qian Kai. Some knowledge on the sedimentation of intermittently-expanding- and-shrinking lake basin-Taking Oligocene sediments of Qaidam Basin as example [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1987, 5(2): 91-101]
- 24 沈忠民,刘四兵,吕正祥,等. 川西拗陷中段陆相地层水纵向变化特征及水—岩相互作用初探[J]. *沉积学报*, 2011, 29(3): 495-502 [Shen Zhongmin, Liu Sibing, Lü Zhengxiang, et al. Vertical geochemical characteristics of continental formation water and its water-rock interaction in the middle area of western Sichuan depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(3): 495-502]

Flood-overlake Sedimentary Characteristics of the Suining Formation (Lower Jurassic) in Western Sichuan Depression

CHEN Xian-liang^{1,2} JI You-liang¹ YANG Ke-ming³ LIU Jun-long¹
HUANG Fu-xiang¹ ZHAO Chun-ni¹ YANG Yong¹ LI Long-di¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054; 3. SINOPEC Southwest Oil & Gas Company, Chengdu 610016)

Abstract: The sedimentary characteristics of the Suining Formation in Western Sichuan Depression have been studied based on core observation, electron microscope observation, grain size analysis and logging data. It is obvious that the lake was in a stable depression stage, the weather was dry-half dry and the sedimentation was significantly controlled by inflow of periodic flood; a flooded lacustrine sedimentary system formed in the Western Sichuan Depression. Alluvial fan, meandering river, meandering river delta and lacustrine facies formed flood-overlake sediments which have the following features: ① lake level changed frequently and sand and mud interbed stratigraphic stacking patterns was formed; ② lacking of widely distributed semi-deep lake to deep lake sediment; ③ fluvial facies is the dominant type of the basin filling; ④ the lacustrine basin beared multiple provinces and overlakes, and sandstone was deposited everywhere in the basin. As a new type of depositional model of the Suining Formation in Western Sichuan Depression, flood-overlake has important theoretical and practical significance.

Key words: Western Sichuan depression; Suining Formation; sedimentary characteristics; depositional model; flood-overlake