

# 苏北盆地白驹凹陷古近系层序地层 及生储盖组合分析

魏祥峰<sup>1</sup>, 张廷山<sup>1</sup>, 魏祥华<sup>2</sup>, 梁 兴<sup>3</sup>, 姚秋昌<sup>3</sup>

(1. 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500;

2. 中国石化中原油田公司, 河南 濮阳 457001; 3. 中国石油浙江油田公司, 浙江 杭州 310023)

**摘要:**在 Vail 经典层序地层学理论指导下, 综合利用岩心、钻井、测井以及地震等资料, 在白驹凹陷古近系共识别出 6 个层序界面, 划分出 1 个 I 级层序、2 个 II 级层序、5 个 III 级层序, 并认为 III 级层序 SQ1—SQ4、SQ5 分别与盆地拗陷—断陷阶段和强烈断陷阶段相对应。运用等时对比理论和技术方法, 建立了白驹凹陷古近系层序地层格架, 并详细地讨论了古近系 III 级层序与生储盖组合的关系, 认为低水位及晚期高水位体系域为有利储层的发育位置, 湖侵体系域及早期高水位体系域则为烃源岩和盖层的发育位置, 之间相互组合形成了 3 套生储盖组合, 其中下生储盖组合为白驹凹陷古近系最好的一套生储盖组合。

**关键词:**层序地层; 生储盖组合; 古近系; 白驹凹陷

**中图分类号:** TE121.3<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2011)04-0674-010

**引用格式:** 魏祥峰, 张廷山, 魏祥华, 等. 苏北盆地白驹凹陷古近系层序地层及生储盖组合分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 674-683.

## 0 引言

白驹凹陷位于苏北盆地东台拗陷的东北部, 东临裕华凸起、小海凸起, 西以柘垛低凸起为界与高邮凹陷相隔, 北与建湖隆起接壤, 南以吴堡低凸起、梁垛低凸起与溱潼凹陷、海安凹陷相对, 面积约为 2 180 km<sup>2</sup><sup>[1-2]</sup> (图 1)。自晚白垩世以来白驹凹陷构造演化经历了晚白垩世拗陷成盆期、古近纪拉张断陷成盆期、新近纪以来的整体沉降拗陷成盆期, 其中古近纪拉张断陷期又可分为拗陷—断陷、强烈断陷等 2 个阶段, 这基本形成了白驹凹陷南断北超的构造格局。上白垩统及其以上层位的陆相沉积层序构成了白驹凹陷的主体沉积, 地层从老到新依次是: 上白垩统浦口组 (K<sub>2</sub>p)、赤山组 (K<sub>2</sub>c); 古新统泰州组 (E<sub>1</sub>t)、阜宁组 (E<sub>1</sub>f); 始新统三垛组 (E<sub>2</sub>s)、新近系盐城组 (N<sub>2</sub>y)、第四系东台组 (Qd), 缺失始新统戴南组 (E<sub>2</sub>d) 以及渐新统 (E<sub>3</sub>) (图 2)。

近年来, 层序地层学取得了很大的进展, 已成功

地应用于陆相沉积体系研究, 并取得了一定的成果<sup>[3-12]</sup>。而白驹凹陷从勘探以来, 在古近系泰州组发现了工业油流, 且阜宁组也有良好的油气显示, 因此, 对白驹凹陷古近系的研究有着重要的意义。近年来, 虽然有些学者在白驹凹陷进行了相应的研究<sup>[1-2, 13-15]</sup>, 但对白驹凹陷古近系地层划分研究程度不高, 目前主要的问题是研究区层序地层格架划分标准和划分方案不统一, 层序地层特征不清楚, 这制约了白驹凹陷选区、选带、选层的评价研究。本文尝试以沉积学<sup>[16-18]</sup>和构造—层序地层学理论<sup>[19-23]</sup>为指导, 在对古近系层序划分的基础上, 进行全区的层序地层对比, 建立古近系层序地层框架, 并讨论古近系层序与生储盖组合的关系, 阐述层序框架中生储盖的叠置关系, 以期能提高研究区油气勘探成功率。

## 1 层序地层序列和层序界面特征

在 Vail 经典层序地层学理论指导下, 综合利用岩心、钻井、测井以及地震等资料, 并根据苏北盆地

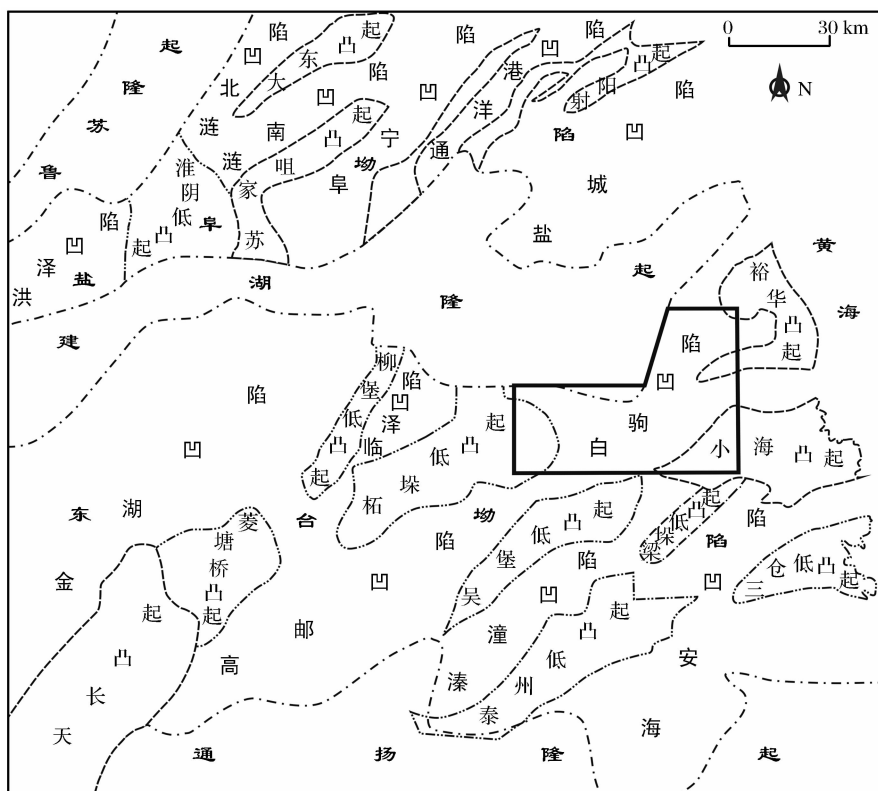


图 1 苏北盆地构造单元划分及白驹凹陷位置示意

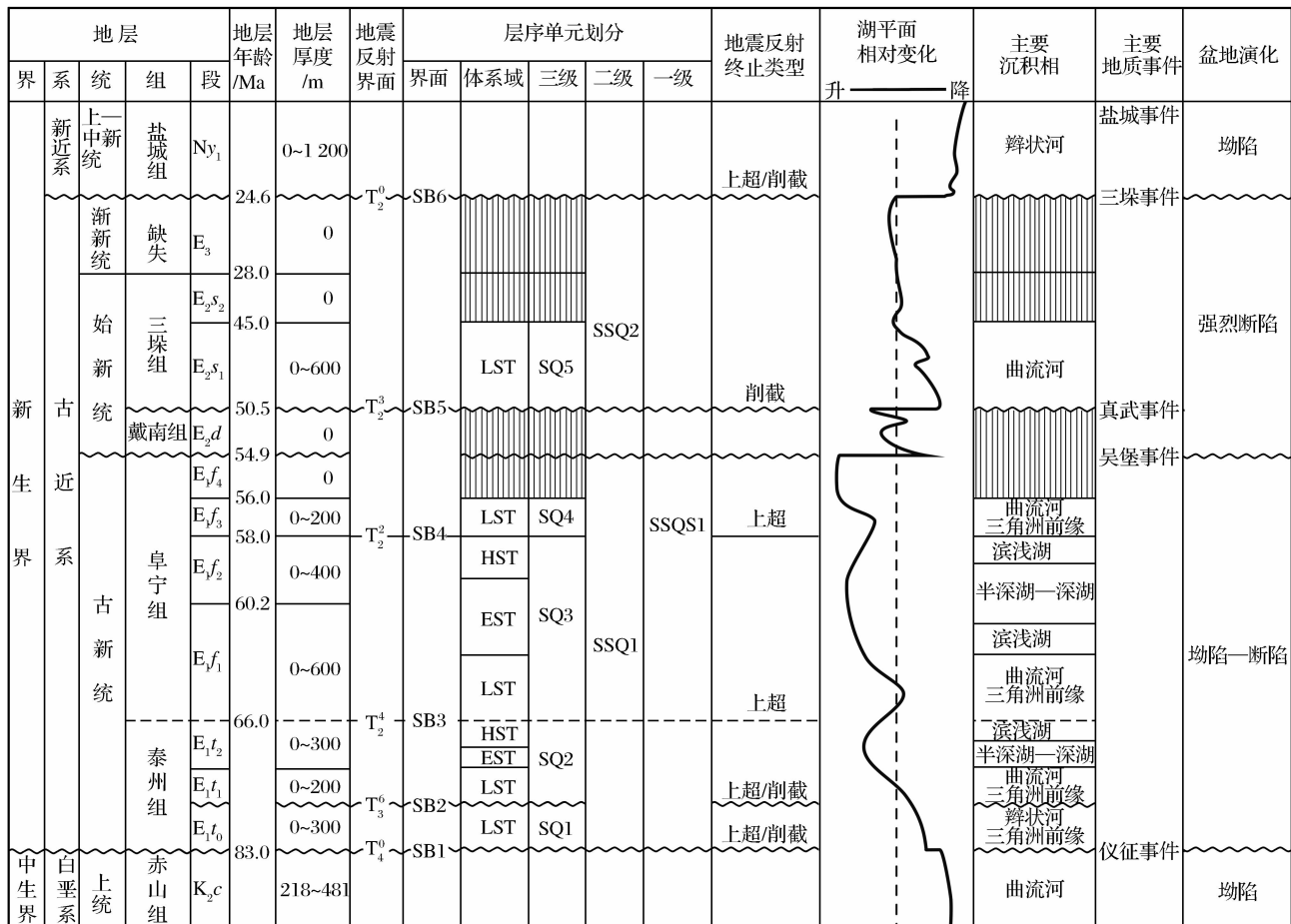


图 2 白驹凹陷古近系层序地层划分

白驹凹陷构造演化特征<sup>[24]</sup>、主要的不整合界面在凹陷内的发育特征、沉积充填特征和层序界面的识别标志,本文把白驹凹陷古近系(E)裂陷期的沉积充填作为1个Ⅰ级层序(SSQS1),古近系发育的2幕裂陷作为2个Ⅱ级层序(SSQ)。泰州组—阜宁组为Ⅱ级层序1(SSQ1),三垛组为Ⅱ级层序2(SSQ2)(白驹凹陷戴南组完全缺失)(图2)。

Ⅰ级层序和Ⅱ级层序界面都是区域性的不整合面,如古近系Ⅰ级层序(SSQS1)的顶底界面分别是新近系与古近系之间的不整合面(SB1),古近系与白垩系之间的区域角度不整合面(SB6);2个Ⅱ级层序之间的界面分别是2个裂陷幕之间的不整合面,即阜宁组和三垛组之间的不整合面(SB5),这些不整合面在 seismic 剖面、岩相和测井曲线上都有明显的特征(图2)。而在每个Ⅱ级层序内部又可以根据三级层序界面(SB2、SB3、SB4)的特征划分出三级层序。Ⅱ级层序1(SSQ1)可以划分出4个层序(SQ1、SQ2、SQ3、SQ4);SQ1相当于泰州组0段( $E_1t_0$ );SQ2相当于泰州组1段—2段( $E_1t_1$ — $E_1t_2$ );SQ3相

当于阜宁组3段( $E_1f_1$ — $E_1f_2$ );SQ4相当于阜宁组1段—2段( $E_1f_3$ )。Ⅱ级层序2(SSQ2)可以划分出1个层序,相当于三垛组1段( $E_2s_1$ )(图2)。

## 2 层序地层特征分析

### 2.1 测井层序特征分析

层序中各体系域在测井曲线上表现出不同的响应特征,即具有各种曲线形态。

低水位体系域(LST)形成于层序发育早期,其底界面与层序底界面一致,顶界面为初始湖泛面(FFS),低水位体系域发育于可容纳空间快速减小到快速增大之前,准层序组叠置方式以进积、加积型为特征,沉积物一般富砂、富砾,以低位楔、低位扇和下切谷充填为主,具较好的油气储集条件(表1,图3a)。

湖侵体系域(EST)底界面为初始湖泛面(FFS),顶界面为最大湖泛面(MFS)。湖侵体系域为典型的退积型准层序组叠置方式,在测井响应上以钟形曲线为特征,沉积物以湖相泥质沉积为主,砂岩单层厚度向上变薄,泥岩单层厚度向上增大(表1,图3b)。

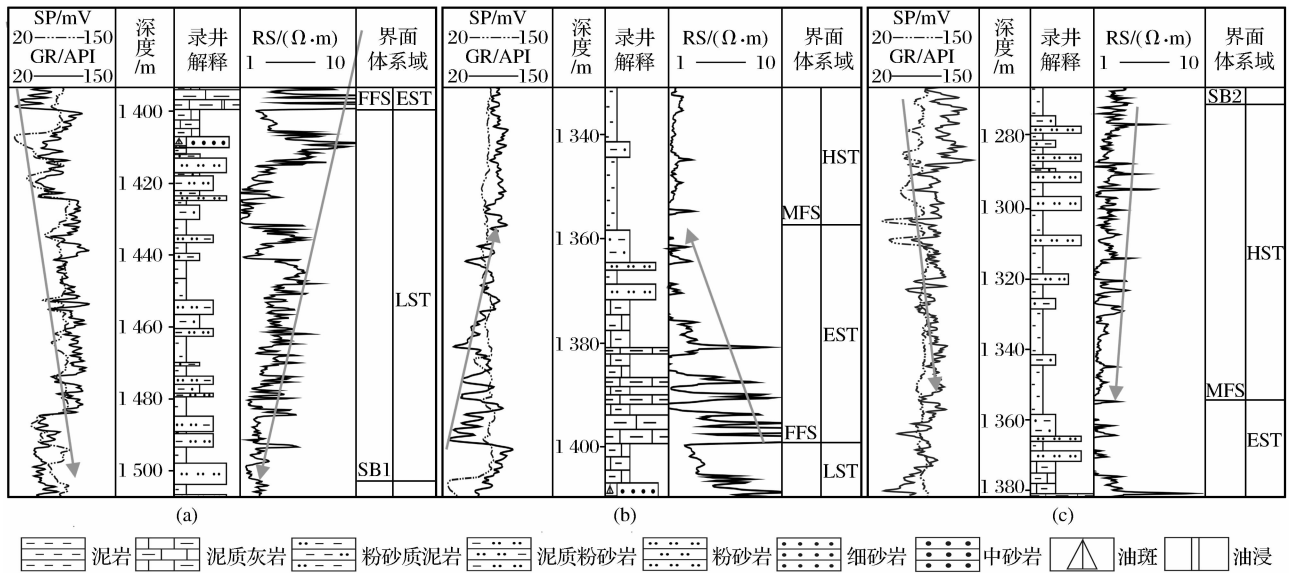


图3 白驹凹陷层序中各体系域的测井响应(以丰探5井SQ1为例)

表1 白驹凹陷的层序响应特征

层系	体系域	沉积体系	地震反射特征	测井曲线特征	岩性特征	生储盖组合
层序	高水位体系域(HST)	滨浅湖、正常三角洲体系	弱—中振幅,弱—中连续反射,连续性变化较大	指状、箱状的低电位、高伽马,电阻率呈尖峰高值、指形,具进积/加积结构	砂泥岩间互,向上有变厚、岩性变粗之趋势	上部作为储集层,下部是生油层或盖层
	湖侵体系域(EST)	滨浅湖、半深湖—深湖体系	中强振幅,连续反射,中部为平行反射,一般为较好的标志层	高电位、低伽马、低电阻率、低声波或平滑齿状的退积型结构	暗色泥岩夹薄层砂岩,间夹膏岩层,砂质含量向上变小	主要是生油层,也是良好的盖层
	低水位体系域(LST)	曲流河、辫状河三角洲、正常三角洲体系	中强振幅,较连续、杂乱或空白反射,为丘状、平行发散结构	箱状、齿状的低电位、高伽马、高电阻率、高声波,具进积、加积结构	砂砾岩、砂岩与泥岩间互,向上岩性变细	主要作为储集层

高水位体系域(HST)位于层序的最上部,其底界面为最大湖泛面(MFS),顶界面与层序的顶界面一致。高水位体系域以进积、加积型准层序组叠置方式为特征(表1,图3c)。

2.2 层序地层特征

2.2.1 SQ1( $E_1t_0$ )

泰州组0段为白驹凹陷古近系的第一个层序,沉积于盆地拗陷—断陷阶段初期,底界与白垩系地层呈角度不整合(图2,图4);该层序仅在丰探1井一线以南部分井钻遇,在丰探1井一线以北未见该地层,推测该层序在高部位被完全剥蚀。沉积形式以辫状河三角洲相为主,岩性为灰色厚层粉砂岩、含砾砂岩、砂砾岩与深灰色、灰黑色泥岩互层;地震相类型为席状空白相,为低水位体系域;之后受构造运动的影响,发生区域性抬升,未接受湖侵体系域、高水位体系域沉积。

2.2.2 SQ2( $E_1t_1—E_1t_2$ )

泰州组1段—2段为第二个层序,沉积于盆地拗陷—断陷阶段早期。底界为不整合面,表现为下伏泰州组0段的局部削截(图2,图4)。随着构造活动的开始,断裂活动加剧,湖盆慢慢扩大,开始进入盆地构造沉降鼎盛时期。该层序在垂向上整体表现为由粗到细的沉积旋回;低水位体系域为泰州组1段,广泛发育曲流河三角洲及滨浅湖沉积;湖侵体系域为泰州组2段下部,随着盆地沉降幅度的增加,湖

水发生进侵,白驹凹陷大部分地区为半深湖—深湖沉积环境,是研究区烃源岩的主要发育层段;泰州组2段晚期,水位开始下降,在湖侵期沉积之上形成了以滨浅湖沉积层序构成的进积型充填序列的高水位体系域。该层序低水位体系域地震相类型为席状空白地震相,湖侵体系域、高水位体系域地震相类型为低频、弱振、弱连续席状亚平行地震相(图4)。

2.2.3 SQ3( $E_1f_1—E_1f_2$ )

阜宁组1段—2段为第三个层序,沉积于盆地拗陷—断陷阶段中期。底界为不整合面,表现为向凹陷边缘的上超(图2,图4)。该层序沉积序列与SQ2相似,在垂向上同样表现为由粗到细的沉积旋回;相对于泰州组晚期,该层序沉积早期,湖盆水体相对萎缩,湖平面降低,沉积物向凹陷中心进积,低水位体系域(阜宁组1段下部)为曲流河三角洲沉积环境;而在该层序沉积中晚期,湖盆水体再次扩张,湖平面再次升高,湖侵体系域、高水位体系域(阜宁组1段上部—阜宁组2段)主要为滨浅湖、半深湖—深湖沉积环境,是研究区烃源岩的另一个主要发育层段。该层序低水位体系域地震相类型主要为楔状前积地震相,湖侵体系域、高水位体系域地震相类型主要为中—强连续中—强振幅席状亚平行—平行地震相(图4)。

2.2.4 SQ4( $E_1f_3$ )

阜宁组3段为第四个层序,沉积于苏北盆地拗

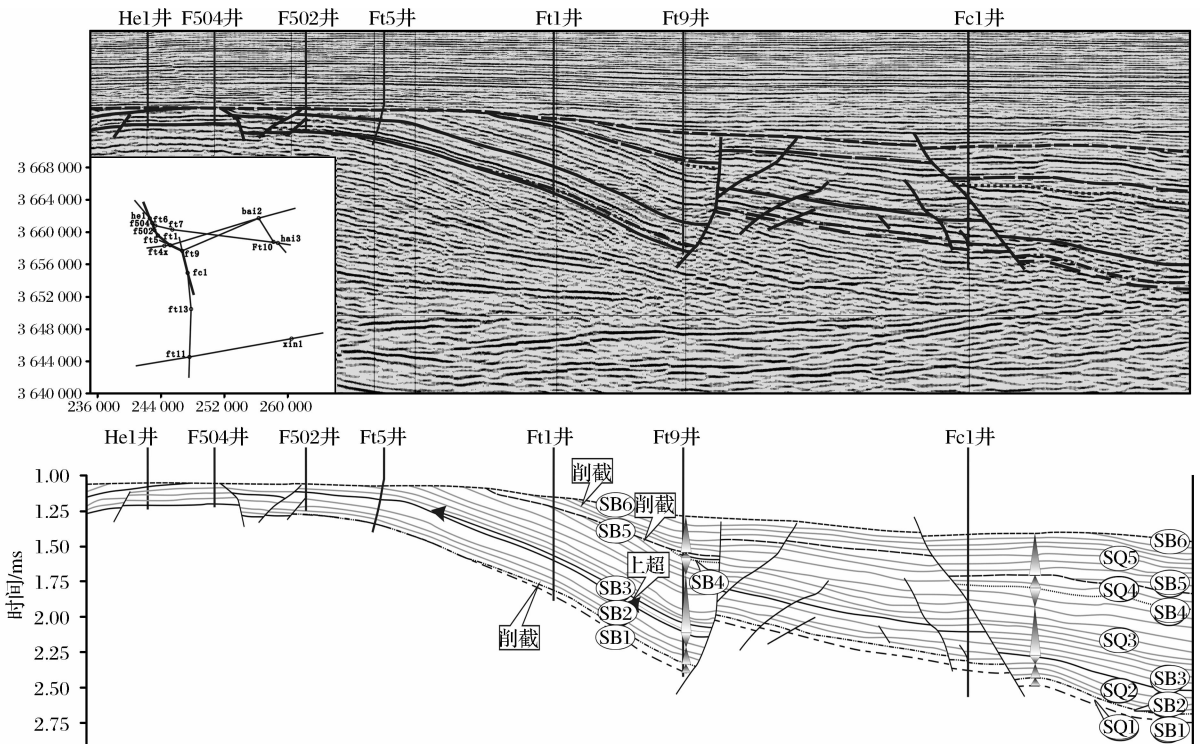


图4 白驹凹陷过 He1 井—F504 井—F502 井—Ft5 井—Ft1 井—Ft9 井—Fc1 井测线层序界面识别及层序单元划分

陷—断陷阶段晚期。底界为不整合面,表现为向凹陷边缘的上超(图 2,图 4)。该层序本由阜宁组 3 段、4 段组成,但由于阜宁期末吴堡运动的影响,造成白驹凹陷地层隆升剥蚀,阜 4 段完全缺失,阜 3 段地层仅在凹陷较深部位可见。低水位体系域为阜 3 段,主要为曲流河三角洲及滨浅湖沉积;湖侵体系域、高水位体系域缺失。该层序地震相类型主要为低频、弱连续、弱振幅席状亚平行地震相(图 4)。

### 2.2.5 SQ5 ( $E_2 s_1$ )

三垛组 1 段为第五个层序,沉积于盆地强烈断陷阶段。在该层序沉积之前地层为戴南组,但在戴南末期,由于受真武运动的影响,戴南组遭受隆升剥蚀,特别是白驹凹陷戴南组的沉积厚度本来就薄,因此最终造成了戴南组的完全缺失,以致于三垛组直接沉积在阜宁组之上。而在三垛组沉积末期,三垛运动再次使盆地整体遭受强烈的剥蚀,因此白驹凹陷深凹处仅见垛 1 段,在高部位三垛组甚至完全缺失;整个三垛组 1 段为低水位体系域,为曲流河沉积环境。该层序地震相类型为低频、中连续、中振幅席状亚平行—平行相(图 2,图 4)。

## 2.3 层序地层格架

为了更好地揭示白驹凹陷古近系各层序的发育、展布规律。本文研究以三级层序为等时地层对比单元,运用等时对比理论和技术方法,建立了顺物源方向(南北向)的层序地层格架。

从白驹凹陷古近系层序地层格架(图 5)可以看出,各层序在凹陷内不同构造部位发育的完整程度不一致。总体上白驹凹陷洋心次凹内部的每一个层序总体上都向北部收敛,每个三级层序都是由南向北厚度逐渐减小。SQ1 仅在深凹低部位存在,在凹陷边缘高部位完全缺失,仅发育低水位体系域;SQ2 基本上没有受到剥蚀,低水位体系域、湖侵体系域和高水位体系域发育完全;SQ2、SQ3 受吴堡运动影响严重,在凹陷边缘高部位合 1 井、丰探 5 井、丰探 1 井、丰探 1-1 井、丰 102 井完全缺失,向深凹方向剥蚀程度减弱;受三垛运动的影响,三垛组也遭受严重剥蚀,垛 2 段完全缺失,SQ5 在该剖面上合 1 井、丰探 5 井完全缺失,向深凹方向剥蚀程度减弱,依次从丰探 1 井、丰探 1-1 井、丰 102 井、丰探 9 井、丰参 1 井残余厚度增大。

## 3 层序地层格架内的生储盖组合

### 3.1 烃源岩

白驹凹陷古近系暗色泥岩主要分布在 SQ2 和

SQ3 湖侵体系域及早期高水位体系域。SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域( $E_1 t_2$  中下部)烃源岩分布稳定,厚度较大,多在 100~200 m 之间,深凹部位最大厚度可达 225 m,为半深湖—深湖相泥灰岩和深灰、灰黑色泥岩;有机质类型较好,主要为 I 型或 I—II 型,有机碳含量(TOC)为 1.12%~2.04%,氯仿沥青“A”含量为 0.018 4%~0.026 3%,总烃含量为  $(71.4 \sim 152) \times 10^{-6}$ ,  $R_o$  值为 0.45%~0.66%,有机质基本进入低成熟阶段。属于中等—好烃源岩,该套烃源岩是白驹凹陷最重要的一套烃源岩(表 2)。SQ3 湖侵体系域及高水位体系域( $E_1 f_1$  上部— $E_1 f_2$ )烃源岩遭到不同程度的剥蚀,厚度多在 200~400 m 之间,深凹部位最大厚度可达 600 m;有机质类型主要为 I 型或 I—II 型,有机碳含量为 1.09%~2.25%,氯仿沥青“A”含量为 0.019%~0.259%,总烃含量为  $(80.13 \sim 383.5) \times 10^{-6}$ ,  $R_o$  值为 0.46%~0.84%,热演化程度为低成熟—成熟阶段,属于中等—较好烃源岩(表 2)。

### 3.2 储集层

储集层发育受控于充填层序。在层序地层格架内白驹凹陷储集层不同程度的发育在各低水位体系域中。低水位体系域形成于湖平面上升初期,因周缘构造活动加剧,碎屑物质供给通量的增量远大于可容纳空间的生长量,形成由辫状河三角洲或曲流河三角洲沉积构成规模储集层(如 SQ1 低水位体系域);湖进体系域形成于湖平面上升期,主要为滨浅湖、半深湖—深湖沉积环境,砂体不发育(如 SQ2 湖侵体系域);早期高水位体系域以泥质沉积为主,晚期高水位体系域随湖平面下降、周缘构造活动趋于活跃,可容纳空间向湖迁移,在盆地边缘形成进积的滨浅湖或三角洲砂体(如 SQ2 高水位体系域),研究表明,SQ1—SQ2 低水位体系域( $E_1 t_0$ — $E_1 t_1$ )、SQ2 高水位体系域上部—SQ3 低水位体系域( $E_1 t_2$  上部— $E_1 f_1$  下部)及 SQ4( $E_1 f_3$ )的砂体是研究区内重要的储集层。

SQ1—SQ2 低水位体系域储集层分布广泛,厚度较大,具有一定的储集物性,又紧邻泰 2 段烃源岩,因此,是古近系最重要的勘探目的层系。储集岩主要为辫状河三角洲、曲流河三角洲前缘泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、含砾不等粒砂岩、砂砾岩,单层厚度较大,最大可达 30 余米;储层总厚度为 37.78~143.00 m。砂体孔隙度为 4.45%~28.40%;渗透率为  $(0.10 \sim 1\,746.00) \times 10^{-3} \mu m^2$ 。总体上看,泰 1 段砂体属于低孔中渗和中孔低渗型储层(表 3)。

SQ2 高水位体系域上部—SQ3 低水位体系域储层岩性主要为滨浅湖以及曲流河三角洲前缘泥质

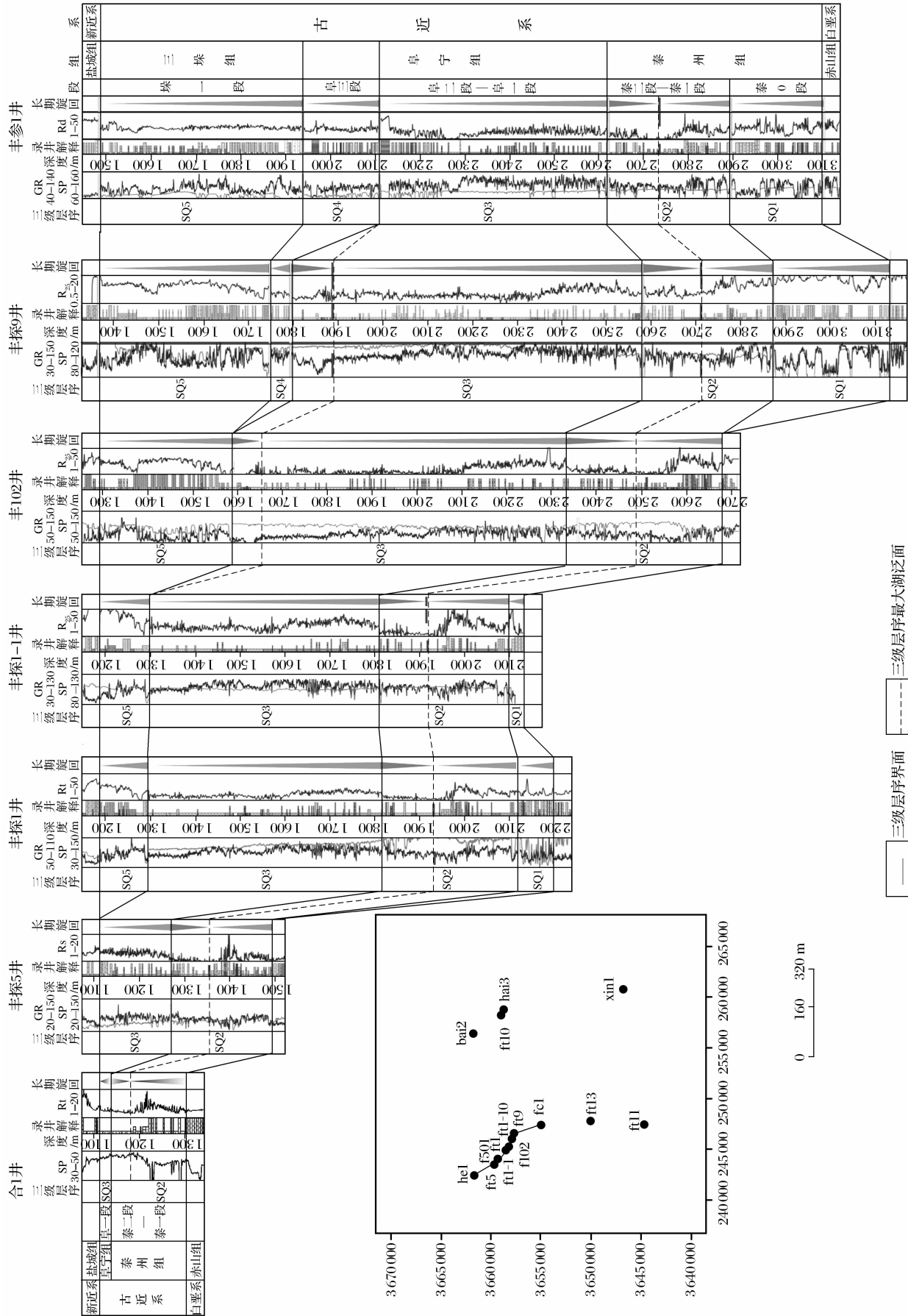


图5 白驹凹陷古近系层序地层格架

表 2 白驹凹陷烃源岩有机质丰度评价

井号	层位	岩性	TOC/%	氯仿沥青"A"/%	总烃/( $\times 10^{-6}$ )	$R_o$ /%	干酪根类型	评价
丰参 1	$E_1 f_2$	泥岩	2.25/3	0.104 2/2	281.00/2	0.49/2	Ⅱ <sub>1</sub>	好
	$E_1 t_2$	泥岩	1.27/11	0.002 52/6	93.00/6	0.59/6	Ⅱ <sub>2</sub>	中
合 1	$E_1 f_1$	泥岩	1.15			0.39		
	$E_1 t_2$	上段泥岩	1.12	0.018 4	95	0.45	I	好
		下段泥岩	1.45	0.025 6	152	0.45	I	好
白参 1	$E_1 f_2$	泥岩	1.63			0.46	I	好
	$E_1 t_2$	泥岩、油页岩	2.04/5	0.026 3	71.4	0.66	I—Ⅱ <sub>1</sub>	好
白 2	$E_1 f_2$	泥岩	1.52/6	0.259/6	383.5/6	0.72~0.79	Ⅱ <sub>1</sub>	好
	$E_1 f_1$	泥岩	1.99	0.024 8	132/6		Ⅱ <sub>2</sub>	好—较好
海 3	$E_1 f_2$	泥岩	1.09/3	0.019/3	80.13/3	0.78	Ⅲ	较好

粉砂岩、粉砂岩、细砂岩,单层厚度较薄,一般为 1~5 m。储层总厚度一般为 20~30 m,最厚可达 88.00 m(获 5 井)。砂体孔隙度为 7.60%~26.00%,渗透率为  $(3.40\sim 312.00)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表 3)。总体上看,SQ2 高水位体系域—SQ3 低水位体系域砂体属于中孔中渗储层。该套储集层分布广泛,储集物性较好,下邻 SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域烃源岩,上邻 SQ3 湖侵体系域及高水位体系域烃源岩。因此,SQ2 储层是古近系较为重要的勘探目的层系。

SQ4 储层岩性主要为曲流河三角洲前缘的泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩。由于剥蚀严重,SQ4 储层分布局限,残存厚度一般小于 50 m。砂体孔隙度为 1.00%~33.1%,渗透率为  $(1.00\sim 97.10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表 3)。总体上看,SQ4 砂体属于中孔低渗

储层。SQ4 储集层具有一定的厚度和分布范围,储集物性较好,下邻 SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域烃源岩。因此,SQ4 储层是古近系一个值得注意的勘探层系。

### 3.3 盖层

白驹凹陷古近系发育有多套盖层,主要分布在 SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域( $E_1 t_2$  中下部)、SQ3 湖侵体系域及高水位体系域( $E_1 f_1$  上部— $E_1 f_2$ )以及 SQ4 上部。

SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域发育有大套泥岩和泥灰岩段,泥岩厚度占地层总厚的 90%以上,是 SQ1—SQ2 低水位体系域砂岩储层良好的区域性盖层,该套盖层在研究区内分布比较稳定,厚度多在 100~200 m 之间,最厚可达 225 m。

表 3 白驹凹陷及周缘钻井储层物性统计

井号	层位	岩性	砂层厚度/m	孔隙度/%	渗透率/( $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ )
丰参 1	$E_1 f_{1-3}$	粉砂岩、细砂岩	176.00	12.3~27.3	0.44~376.008
	$E_1 t_0$ — $E_1 t_1$	粉砂岩、细砂岩、含砾不等粒砂岩	141.00	5.12~20.20 14.15(22)	0.100~715.0 137.03(22)
丰探 1	$E_1 t_0$ — $E_1 t_1$	粉砂岩、含砾不等粒砂岩、砂砾岩	79.47	4.45~25.50 16.59(32)	0.86~1 746.0 257.17(32)
丰探 5	$E_1 t_1$	泥质粉砂岩、粉砂岩	37.78	15.80~28.40 20.80(8)	10.30~174.80 54.91(8)
丰探 9	$E_1 t_0$ — $E_1 t_1$	粉砂岩、细砂岩、含砾不等粒砂岩	121.39	5.55~12.80 7.24(5)	0.14~4.71 1.40(5)
丰探 10	$E_1 f_3$	泥质粉砂岩	25.00	1.00~20.24 11.60(52)	1.00~97.10 13.17(52)
镇 4	$E_1 t$	泥质粉砂岩、粉砂岩	143.00	13.00~14.00	36.00~63.00
白参 1	$E_1 f_1$	粉砂岩	22.00	17.60	
	$E_1 t_2$	泥质粉砂岩、粉砂岩	11.50	14.50~18.60	
	$E_1 t_1$	粉砂岩	55.00	14.50~16.60	
白 2	$E_1 f_3$	粉砂岩、细砂岩	21.00	18.60~33.10	
获 3	$E_1 f_1$	粉砂岩	23.00	15.00~25.00	
获 5	$E_1 f_3$	粉砂岩、细砂岩	53.50	15.00~20.00	
	$E_1 f_1$	泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩	81.50	7.60~26.00	3.40~312.00

SQ3 湖侵体系域下部( $E_1f_1$  上部)发育有大段棕色、灰色泥岩,泥岩分布范围较广,厚度稳定,泥质岩占地层厚度的 73%~100%,一般厚 150~250 m,最大厚度 500 余米。SQ3 湖侵体系域上部及高水位体系域( $E_1f_2$ )由深灰、灰黑、黑色泥岩与灰黑色灰质泥岩组成互层,既是良好的生油岩又是良好的盖层,厚度多在 70~120 m 之间,由于后期的剥蚀、风化作用,在一定程度上影响了其封盖质量,但和 SQ3 湖侵体系域下部泥岩共同构成了 SQ2 高水位体系域—SQ3 低水位体系域砂岩储层的良好盖层。

SQ4 上部发育有深灰色、灰色泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩互层,由于后期的剥蚀,泥岩厚度较

薄,一般小于 20 m,在一定程度上影响了其封盖质量,但对 SQ4 砂体有一定的封堵作用,可作为研究区良好的局部盖层。

3.4 生储盖组合关系

根据烃源层、储集层及盖层的性质和质量以及它们纵向、横向分布特征,把白驹凹陷古近系划分为下、中、上 3 套生储盖组合(图 6)。

3.4.1 下生储盖组合

下组合的主力生油岩为 SQ2 湖侵及早期高水位体系域的泥灰岩和灰黑色泥岩,以其下的 SQ1—SQ2 低水位体系域砂岩作为储层,以 SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域泥灰岩、泥岩作为盖层的上

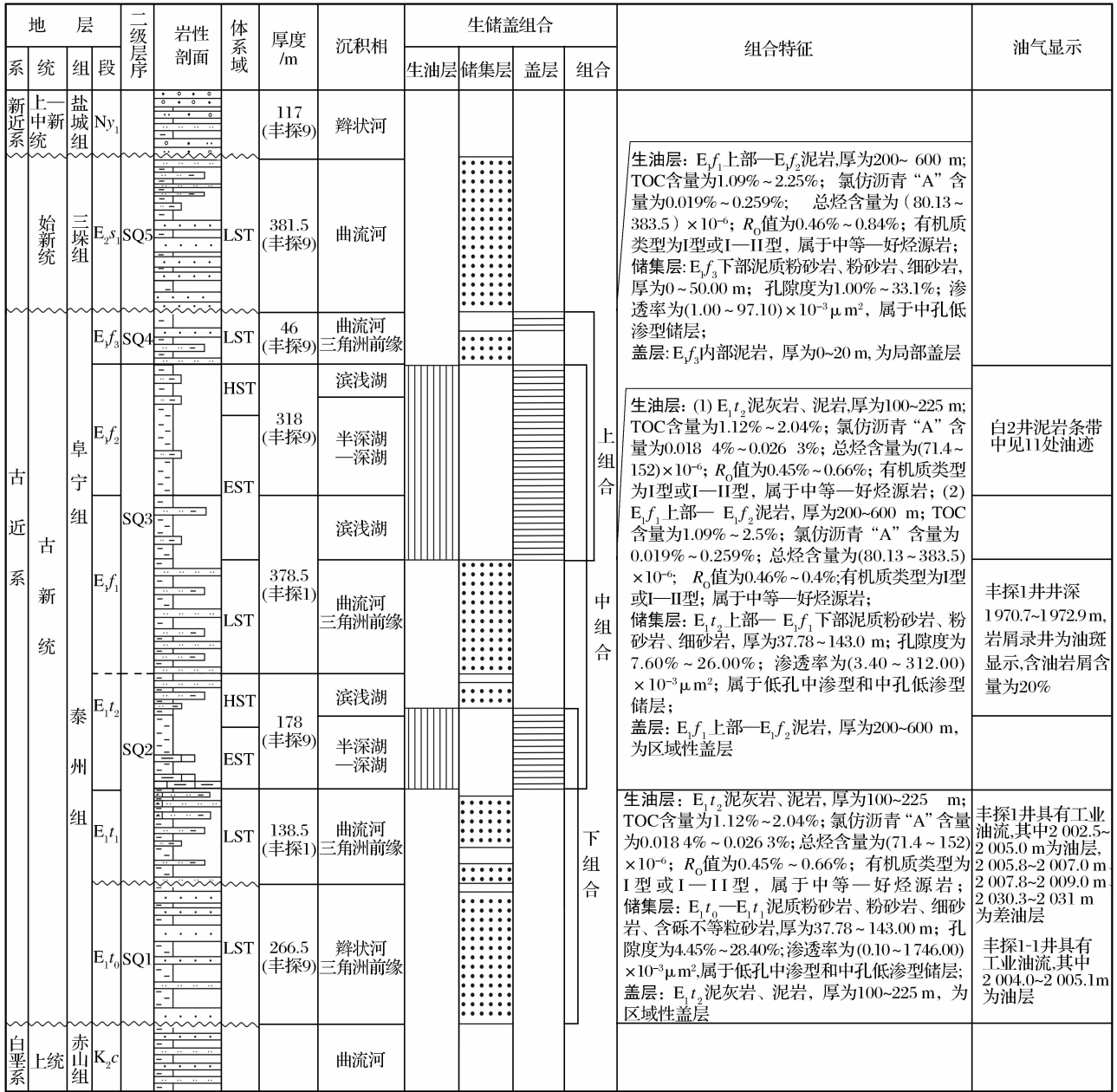


图 6 白驹凹陷古近系生储盖组合



生下储组合。这套组合在研究区内分布广, SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域烃源岩在区域上已进入成熟门限。该组合为白驹凹陷最好的一套生储盖组合, 洋心次凹部分井在 SQ2 低水位体系域已获工业油流, 证明了该生储盖组合的存在和有效性。

### 3.4.2 中生储盖组合

中组合的主力烃源岩为 SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域泥灰岩和灰黑色泥岩、SQ3 湖侵体系域及高水位体系域的深灰色泥岩, 以 SQ2 高水位体系域上部—SQ3 低水位体系域砂岩为主要储集层, 以 SQ3 湖侵体系域及高水位体系域为区域性盖层的下生上储和上生下储叠加组合。中组合有一定区域分布, 较好的地球化学、物性、热演化等指标, 而且见有良好的油气显示, 因此, 中组合是白驹凹陷比较好的一套生储盖组合。

### 3.4.3 上生储盖组合

上组合的主力烃源岩为 SQ3 湖侵体系域及高水位体系域的深灰色泥岩, 以 SQ4 砂岩为主要储集层, 以 SQ4 上部泥岩为局部性盖层的下生上储组合。由于受构造运动的影响, 白驹凹陷 SQ4 在大部分地区遭到隆升剥蚀, 仅在洋心次凹的较深部位尚存有这套组合, 该套组合仅在凹陷的深部位具有一定的勘探意义。

## 4 结论

(1) 通过岩心、钻井、测井及地震资料进行综合分析, 白驹凹陷古近系内共识别出 6 个层序界面, 划分出 1 个 I 级层序(SSQS1)、2 个 II 级层序(SSQ1、SSQ2)、5 个 III 级层序(SQ1—SQ5), 并认为 III 级层序 SQ1—SQ4、SQ5 分别与盆地拗陷—断陷阶段和强烈断陷阶段相对应。

(2) 运用等时对比理论和技术方法, 建立了白驹凹陷古近系层序地层格架, 认为各三级层序在凹陷内不同构造部位发育的完整程度不一致。总体上白驹凹陷洋心次凹内部的每一个层序总体上都向北部收敛, 每个三级层序都是由南向北厚度逐渐减小。

(3) 在层序格架范围内, 白驹凹陷古近系发育 2 套烃源岩, 位于 SQ2 和 SQ3 的湖侵体系域及高水位体系域。在纵向上形成 3 套生储盖组合, 下部 SQ1—SQ2 的低水位体系域储层与 SQ2 湖侵体系域及早期高水位体系域的泥灰岩、泥岩盖层形成上生下储的下生储盖组合, 该套组合为白驹凹陷最好的一套生储盖组合; 中部 SQ2 高水位体系域上部—SQ3 低水位体系域储层与 SQ3 湖侵体系域及高水

位体系域的泥岩盖层形成下生上储和上生下储叠加的中生储盖组合; 上部 SQ4 储层与 SQ4 上部泥岩盖层形成下生上储的上生储盖组合。

## 参考文献(References):

- [1] Liu Chenglin, Zhu Xiaomin, Fei Anwei, *et al.* Study on hydrocarbon reservoir forming of mid shallow strata in Baiju sag of Subei basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(3): 28-30. [刘成林, 朱筱敏, 费安玮, 等. 苏北盆地白驹凹陷中浅层油气成藏研究[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(3): 28-30.]
- [2] Liu Chenglin, Zhu Xiaomin, Fei Anwei, *et al.* A study on petroleum accumulation of deep strata in Baiju depression of Subei basin[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2003, 25(5): 23-25. [刘成林, 朱筱敏, 费安玮, 等. 苏北盆地白驹凹陷深层油气成藏研究[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(5): 23-25.]
- [3] Gu Jiayu. Framework concepts and models of sequence stratigraphy in nonmarine petroliferous basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(4): 6-10. [顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6-10.]
- [4] Li Sitian, Lin Changsong, Xie Xinong, *et al.* Approaches of nonmarine sequence stratigraphy: A case study on the Mesozoic Ordos basin[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3/4): 133-148. [李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例[J]. 地学前缘, 1995, 2(3/4): 133-148.]
- [5] Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177-184. [邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184.]
- [6] Xu Huaida. Some problems in study of continental sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 83-89. [徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83-89.]
- [7] Currie B S. Sequence stratigraphy of nonmarine Jurassic-Cretaceous rocks, central cordilleran foreland and basin system[J]. GSA Bulletin, 1997, 109(6): 1206-1222.
- [8] Martinsen O J, Ryseth A, Helland Hansen W, *et al.* Stratigraphic base level and fluvial architecture: Ericson sandstone (Campanian), rock springs uplift, SW Wyoming, USA[J]. Sedimentology, 1999, 46(2): 235-259.
- [9] Liu Haitao, Chen Shaoping. Division of high-resolution sequence formation in the middle member of Shahejie III in Tiankou and its contiguous block in Linnan oil field and prediction of petroliferous formations[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(3): 200-202. [刘海涛, 陈少平. 临南油田田口区块邻区沙三中亚段高分辨率层序地层的划分和含油气层系预测[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(3): 200-202.]
- [10] Liu Jianfeng, Peng Jun, Zhou Kang, *et al.* High resolution se-

- quence stratigraphy analysis of 2nd member of Xujiache Formation in middle and south Sichuan transitional zone[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(2): 199-203. [刘建峰, 彭军, 周康, 等. 川中—川南过渡带须家河组二段高分辨率层序地层学研究[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(2): 199-203.]
- [11] Xing Weidong, Xiang Zan, Qian Bin, *et al.* Methods on establishment of fine equitime stratigraphic framework of the 1st member of the Kongdian Formation in Zaoyuan oilfield[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(4): 617-620. [邢卫东, 向赞, 钱斌, 等. 枣园油田孔一段精细等时地层格架建立方法[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(4): 617-620.]
- [12] Ke Guangming, Zheng Rongcai, Shi He. Lithofacies and paleogeography of Paleogene tectonic sequences in the Subei basin and their evolution[J]. *Geology in China*, 2006, 33(6): 1305-1311. [柯光明, 郑荣才, 石和. 苏北盆地古近纪构造—层序岩相古地理特征与演化[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1305-1311.]
- [13] Tang Yongmei, Liang Xing, Zhou Songyuan, *et al.* Application of logging evaluation technique for thin layer in Baiju sag[J]. *Petroleum Geophysics*, 2009, 31(4): 251-255. [汤永梅, 梁兴, 周松源, 等. 薄层测井评价技术在白驹凹陷的应用[J]. *油气地球物理*, 2009, 31(4): 251-255.]
- [14] Tao Li, Zhang Tingshan, Dai Chuanrui, *et al.* The sediment source of 1st member of Taizhou Formation in Baiju depression, Subei basin[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 414-420. [陶丽, 张廷山, 戴传瑞, 等. 苏北盆地白驹凹陷泰州组一段沉积物源分析[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 414-420.]
- [15] Luo Huaizhong, Liang Xing, Zhang Jiehui, *et al.* Hydrocarbon enrichment patterns and pooling modes in Baiju sag, Subei basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(9): 22-24. [罗怀忠, 梁兴, 张介辉, 等. 苏北盆地白驹凹陷油气富集规律与成藏模式[J]. *天然气工业*, 2010, 30(9): 22-24.]
- [16] Liu Baojun, Zeng Yunfu. Elements in Lithopaleo-geography and Its Working Methods[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 1-432. [刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 1-432.]
- [17] Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 6-24. [赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 6-24.]
- [18] Jiang Zaixing. Sedimentary[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 7-498. [姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 7-498.]
- [19] Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy: Part 1, seismic stratigraphy interpretation procedure (in Atlas of seismic stratigraphy, Bally)[J]. *AAPG Studies in Geology*, 1987, 27(1): 1-10.
- [20] Xu Huaida. The Theory of Sequence Stratigraphy[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 1-519. [徐怀大. 层序地层学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 1-519.]
- [21] Ji Youliang, Zhang Shiqi. The Sequence Stratigraphy of the Fault-depression Lake Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 1-130. [纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 1-130.]
- [22] Ji Youliang, Zhang Shiqi. The Theory of Sequence Stratigraphy and Mechanic Patterns of Formation Cause of Sequence[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1-196. [纪友亮, 张世奇. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1-196.]
- [23] Chi Qiu'e, Gong Fuhua. The Basis and the Application of Sequence Stratigraphy[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1-228. [池秋鄂, 龚福华. 层序地层学基础与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 1-228.]
- [24] Qiu Haijun, Xu Zhiqin, Qiao Dewu. Progress in the study of the tectonic evolution of the Subei basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(9/10): 1117-1120. [邱海峻, 许志琴, 乔德武. 苏北盆地构造演化研究进展[J]. *地质通报*, 2006, 25(9/10): 1117-1120.]

## Paleogene Sequence Stratigraphy and Source-Reservoir-Cap Rock Assemblage in Baiju Sag

WEI Xiang-feng<sup>1</sup>, ZHANG Ting-shan<sup>1</sup>, WEI Xiang-hua<sup>2</sup>, LIANG Xing<sup>3</sup>, YAO Qiu-chang<sup>3</sup>

(1. *Institute of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;*

2. *Zhongyuan Oil Field Branch Company of SINOPEC, Puyang 457001, China;*

3. *Zhejiang Oilfield Company of PetroChina, Hangzhou 310023, China)*

**Abstract:** Based on drilling core, bore well, well logs and seismic data, we use the classical Vail theory of sequence stratigraphy to identify six sequence boundaries in Paleogene Baiju sag, which is divided into one first-order sequence, two second-order sequences, and five three-order sequences. The third-order sequences of SQ1-SQ4 and SQ5 are corresponding to the basin's subsiding-fault depressing stage and strong fault-depressing stage. We use the isochronous correlation to establish the Paleogene sequence stratigraphic framework in the Baiju sag, and discuss the relationship between source-reservoir-cap rock assemblages and third-order sequences. The low water level and later high water level system fields are the favorable place of reservoir development. The transgressive and early high water level system fields are the profitable place of source and cap rock formation. Three sets of source-reservoir-cap assemblages are formed among these fields, and the lower assemblage is the best one in Paleogene in the Baiju sag.

**Key words:** Sequence stratigraphy; Source-reservoir-cap rock assemblage; Paleogene; Baiju Sag.