

文章编号: 1000-0550(2008)06-0982-12

合肥盆地白垩纪层序地层格架、沉积体系配置及演化¹

唐洪三¹ 张勇^{2,3} 任凤楼¹

(1 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015

2 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室 山东青岛 266071

3 青岛海洋地质研究所 山东青岛 266071)

摘要 合肥盆地的白垩系是叠置在侏罗纪前陆盆地上的断陷构造层,其层序地层及沉积演化研究是油气勘探的重要环节。综合应用横跨盆地二维地震剖面、测井、岩芯、露头及其它分析化验资料,对合肥盆地白垩纪的地层进行了层序地层界面的识别、划分,建立了该期地层格架。共划分出一级层序:构造层序界面(构造层序)界面 2 个:SBK₁(TK₁)、SBE(TE);二级层序(层序组)界面 1 个:SBK₂(TK₂);三级层序(层序)界面 4 个:SBK₁1(TK₁1)、SBK₁2(TK₁2)、SBK₁3(TK₁3)、SBK₁1(TK₁1)。在此基础上建立了合肥盆地白垩纪层序地层格架及沉积演化阶段:早白垩世层序组(包括朱巷组和响导铺组层序组):为西缓超东陡深的不对称箕状断陷格局,西南部和西北部各发育一个大型冲积扇—冲积平原—三角洲平原带,西南部冲积扇—冲积平原大部分已经被剥蚀殆尽;东部和东北部发育一系列扇三角洲构成扇三角洲平原(裙),两者之间为滨浅湖—半深湖—深湖。晚白垩世层序组(张桥组层序组):北断南超的格局占主导,早白垩世时期的大型三角洲体系域已经不复存在,代之而起的是北部发育较大规模的扇三角洲平原;而南部或西南部冲积扇—冲积平原—三角洲平原带已经大为缩小到信阳—舒城断裂北缘。

关键词 合肥盆地 白垩纪 层序地层 朱巷组 响导铺组 张桥组

第一作者简介 唐洪三 男 1965 年出生 高级工程师 石油地质学 E-mail Tanghs@sbf.com

中图分类号 TE121.3⁺4 **文献标识码** A

0 引言

合肥盆地是晚三叠世以来,在华北板块东南缘和秦岭—大别山带东端之间发育起来的中新生代沉积盆地。现今的残留构造和盆地形态,经燕山和喜山等多期构造变形和走滑位移,与原始沉积时的古地貌有很大差异。大别造山带和郯庐断裂带是合肥盆地形成和发展演化的主要动力源泉。侏罗纪合肥盆地表现为受大别造山带控制的前陆盆地,其构造、沉积等方面已经有了很好的论述^[1-7]。进入白垩纪,合肥盆地的构造属性有多种认识;有的认为是挤压走滑,朱巷组是郯庐断裂带挤压挠曲凹陷沉积^[5,8,9];有的依据盆地分析认为是滑覆冲断^[3,10];也有的认为是走滑拉分^[4,12]。最新的研究认为合肥盆地的大规模伸展起始于早白垩纪中期^[13]并和郯庐断裂的活动直接相关,与之相对应的合肥盆地,尤其是东缘呈现出明显的断裂沉积响应^[8,9,16],亦有学者进行了埋藏史和裂变径迹研究^[14,15]。但是对于盆地内白垩纪的地层序列、沉积相及充填学者论述很少^[17,18],且仅限于

局部地区,并且主要应用露头资料,缺乏对全盆地整体的研究。

层序地层学从国外引到国内,从经典的海相到中国陆相盆地的探索应用,取得了丰硕成果^[19-23],层序划分的关键在于不整合面及其相对应的整合面的识别。本文在前人研究基础上,综合应用地震、测井、岩芯、露头等资料建立了合肥盆地白垩系层序地层格架及沉积演化规律,主要依据的是合肥盆地 7 口深井(合深 1—合深 6 和安参 1 井)的测井资料,辅以 21 口浅井资料,并结合合肥盆地周边地层断续露头的野外观察,以及二维地震剖面资料(其中重点是南北向 6 条即 HF99-748、HF2000-716、HF99-700、HF2000-684、HF2000-667、HF99-62Q 东西向 6 条即 HF99-396、HF2000-38Q、HF99-365、HF99-34Q、HF99-317、HF99-294)见图 1。这些资料对于层序划分和层序地层格架的精细建立,对于油气普查阶段的层序地层单元划分和层序格架的建立及充填模式和沉积演化的分析具有重要价值。

¹ 中国石油化工股份有限公司重大油气勘探项目(编号: P03007)资助。
收稿日期: 2007-08-22 收修改稿日期: 2007-10-27



图 1 合肥盆地区域构造位置及测线分布图

Fig 1 Regional structural and seismic line distribution map of the Hefei Basin

1 合肥盆地白垩系层序界面识别及划分

对合肥盆地地震剖面、合深 1—合深 6 井及安参 1 井测井曲线的分析并结合地表露头观察, 识别出白垩系不同级别的层序界面, 并明确了其地质含义。主要等时界面识别的依据有: 1) 地震反射结构特征, 如: 削蚀(截)或冲刷充填和顶超造成的不整合关系; 上超和下超沉积造成的不整合关系; 强振幅反射同相轴所显示的上下地层的截然差异等; 2) 合成地震记录中层速度差异特征; 3) 测井曲线的形态及其突变; 4) 沉积体系域演化, 主要表现为副层序叠置和组合样式差异等。

在合肥盆地白垩纪地层中识别出 7 个主要的等时界面(图 2)。对各级层序界面的命名采用与之对应的或相近的地震反射界面, 层序组和层序的编号, 则顺延侏罗系层序组和层序的编号。主要的界面为: 一级层序(构造层序)界面 2 个: SBK₁(T_{K1})、SBE(T_E); 二级层序(层序组)界面 1 个: SBK₂(T_{K2}); 三级层序(层序)界面 4 个: 即 SBK₁₁(T_{K11})、SBK₁₂(T_{K12})、SBK₁₃(T_{K13})、SBK₂₁(T_{K21})。

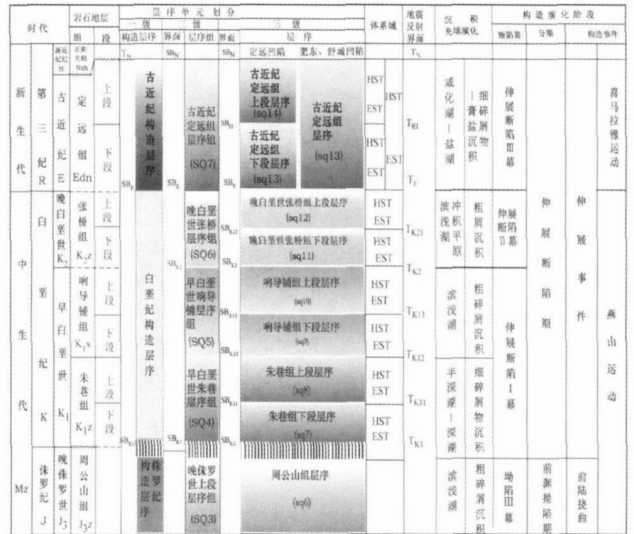


图 2 合肥盆地白垩纪地层层序综合图

Fig 2 Cretaceous-Paleogene sequence stratigraphy of the Hefei basin

一级(构造层序)和二级(层序组)(图 2)界面特征明显, 参照¹、⁴均有较为详细的论述, 在此不再赘述。仅以 93-212 和 716 测线为例(图 3 和图 4)。

三级层序界面(沉积间断面): 地震反射特征

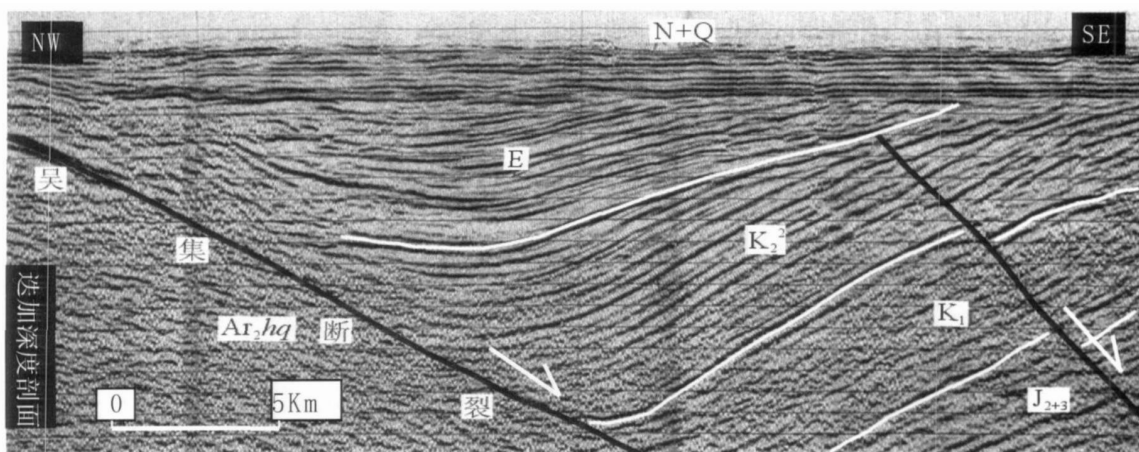


图 3 合肥盆地西北部(吴集断裂与颖上凹陷)HF93-212W 地震测线层序界面识别和单元划分(测线位置见图 1)

Fig. 3 Identification of sequence boundary character in the Yingshang depression on seismic line HF93-212W of the northwestern of Hefei Basin

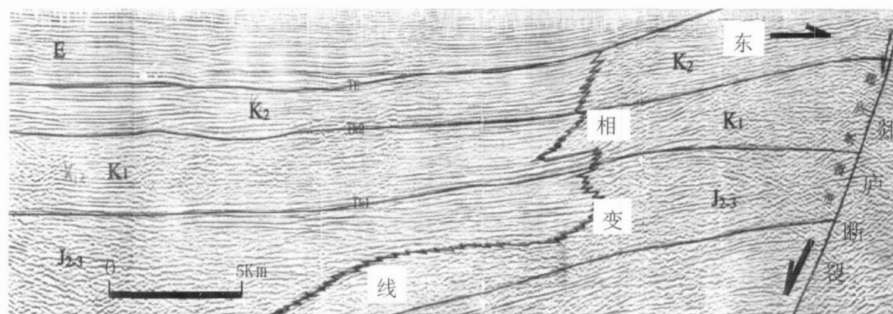


图 4 合肥盆地 294 地震测线东段(舒城凹陷)层序界面识别和单元划分

Fig. 4 Identification of sequence boundary character in Shucheng depression on seismic line 294

征不明显,主要根据合深 1—合深 6 井、安参 1 井钻井测井资料来确定。三级层序界面主要由沉积间断面(或水下侵蚀面)和相转换面组成,其识别标志为:在地震剖面上表现为两种情形,一种为整合平行反射,即各界面反射波同相轴一般为 1~2 个相位、强振幅、中高频、连续性较好—中等的反射,其上、下反射特征差异较大,但底超(上超和下超)和削截(顶削)关系不明显,如 748 测线,测线剖面略。局部地区表现为界面上下具有明显的底超和削截现象,如 667 测线,测线剖面略。

测井层序分析据合深 1—合深 6 及安参 1 井等深井,现以合深 3 为例(图 5),其三级界面特征为:1)各界面上、下沉积相和副层序的叠置样式明显不同。各界面之上的层序短旋回(层序下界面—最大湖泛面)为正粒序,局部反粒序,以退积为主,局部为加积;中旋回显示为一系列退积或加积准层序,长旋回显示为退积准层序组,显示为滨浅湖、滨岸砂坝;而界

面之下的层序短旋回(最大湖泛面—层序上界面)为一系列反粒序,抑或有正粒序,以进积为主,局部为加积;中旋回为一系列小的进积副层序,长旋回为进积准层序组,显示为三角洲前缘和前三角洲沉积。2)测井曲线显示为突变,界面上为多齿型钟形—箱形曲线叠置成退积—加积型,界面下为多齿型漏斗型—箱型叠置成进积—加积型(图 5)。3)另外,在盆地中部合(肥)—淮(南)公路沿线和盆地东缘郟庐断裂带沿线零星露头上,可见大量的泥(干)裂等暴露相标志、冲刷充填和大量的底砾岩等沉积间断或侵蚀面。

2 白垩系沉积体系研究

据地表露头观察结合地震相、测井曲线等资料,在合肥盆地内共识别出 5 种主要的沉积体系:冲(洪)积扇、扇三角洲(浅湖—深湖扇三角洲)、低位扇、三角洲平原、滨浅湖、半深湖—深湖和湖泊浊积扇等沉积体系,限于篇幅,每种沉积体系各举一例说明。

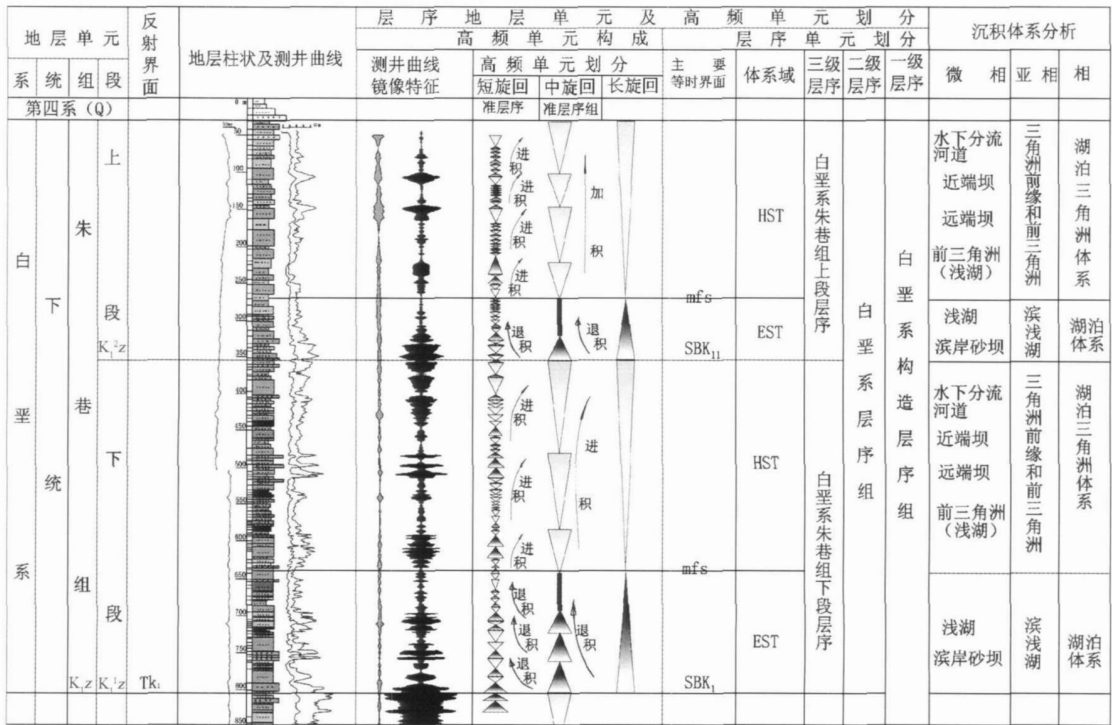


图 5 合深 3 井层序地层单元和沉积相分析图

Fig 5 Sequence stratigraphy units & sedimentary facies of the Heshen Well 3

2 1 冲(洪)积扇

冲积扇是合肥盆地白垩系—古近系重要沉积体系之一。主要沿合肥盆地南部信阳—舒城断裂带分布。总体构成向上逐渐变细的正粒序序列, 间或夹有向上变粗的反粒序序列。近端扇以发育泥石流和粗粒的水携沉积物为主; 扇中及远端扇则主要由辫状水道充填和席状漫流沉积组成。

早白垩世冲积扇主要发育在北淮阳霍山黑石渡—与儿街—毛坦厂一线, 与佛子岭群变质基底呈角度不整合或断层接触。沉积物主要由大量的砾岩、含砾砂岩、砂岩和紫红色砂泥岩组成, 砾石成分受物源区母岩类型控制, 成分复杂。霍山县下符桥张团山—长岭岗一带, 下白垩统黑石渡组 (K_1h) 底部发育一套上百米厚的砾岩, 几乎全由花岗片麻岩、花岗岩和片岩等砾石组成的冲积扇, 与中侏罗统三尖铺组 (J_3s) 呈角度不整合接触。早白垩世早中期郟庐断裂伸展断陷, 其西侧陡坡亦有朱巷组冲积扇发育, 见东西向地层格架图。

晚白垩世张桥期的冲积扇主要发育于沿盆地北缘(定凤山区)和东部张八岭隆起西缘(盆地东岸), 以定凤山区南缘冲积扇为例说明如下: 合浅 2 井、合浅 6 井、合 102 井、合浅 12 井等资料显示为由一套

数百米厚棕红色砾岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩组成。以耿集西约 3 km 的合浅 6 井为例(图 6), 厚度大于 627 m, 砾石含量各段不等, 含砾砂岩中砾石约 2% ~ 10%, 砂砾岩和砾岩中砾石约 25% ~ 50%, 杂基支撑, 棱角状—次棱角状。冲刷充填构造发育, 有时可见泥砾和斜层理。分选差, 成熟度低, 为冲积扇相沉积。其他晚白垩世冲积扇还有定远岱山镇大柏村冲积扇、肥东王铁赤山塘冲积扇。

在地震剖面上, 冲积扇沉积体系具有乱岗状、变振幅、连续性差的地震反射特征, 具有发散的反射结构和楔状形态。

2 2 扇三角洲

合肥盆地的扇三角洲主要发育在郟庐断裂带和寿县一定远断裂的下降盘, 横向上向盆地深洼方向与湖相沉积呈指状交互, 其近水上部分过渡到冲积扇砾岩; 纵向上表现为总体向上变粗的相序, 进一步可分出前扇三角洲、扇三角洲前缘和扇三角洲平原。重力流沉积经常出现于扇三角洲沉积序列之中, 代表频繁发生的突发性或灾变性洪水事件。扇三角洲前缘的重力流常以底流形式沿斜坡直达湖底, 形成浊流沉积, 在大桥凹陷安子集—施坎一带地表均有较好的湖底浊积扇露头。现以早白垩世朱巷期的扇三角洲为例。

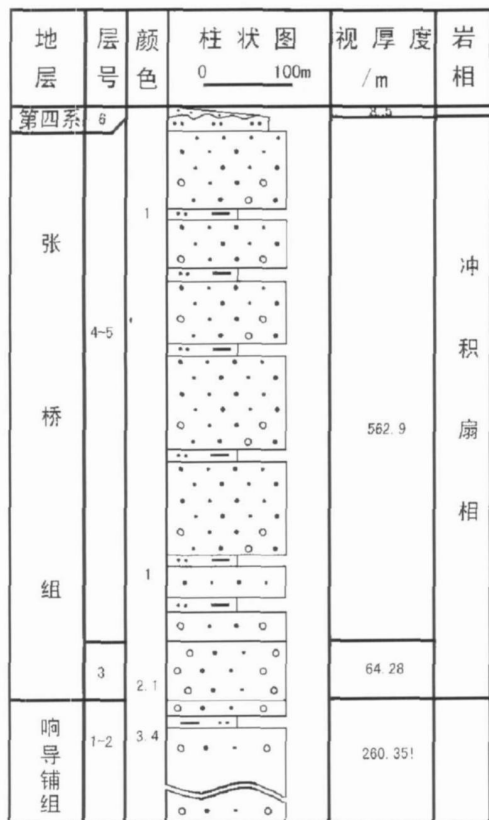


图 6 合浅 6 井剖面图

Fig 6 Profile map of Heqian Well 6

该系列扇三角洲主要发育在定远县岱山—藕塘—永宁—肥东三官—西山驿一线(即沿庐断裂带)发育,由一系列水上和下水扇体组成的北北东向扇三角洲裙,见东西向地层格架模式图。大型扇三角洲主要有定远郎峰林场、滁县章广东、肥东三官、章广

梅山采石场等。以肥东三官扇三角洲为例。

该扇三角洲位于肥东县三官岗赵村,岩性为灰紫红色块状砾岩夹砂岩透镜体。砾石成分主要为片麻岩、花岗岩,其次安山质火山岩等,大小悬殊,一般 5~10 cm,小者 1~2 cm,杂基支撑。为一个较典型的扇三角洲上部高密度、高粘度的泥石流沉积体。从大量的片麻岩、花岗岩等砾石成分判断其主要物源来自肥东县浮槎山地区的肥东群杂岩。

砂岩粒度概率曲线从扇根—扇缘的变化也明显反映为扇三角洲(水上部分)环境下的特征。如图 7a-3 所示为一种无明显粗细截点的上凸式弧形或多段式上凸形折线,说明碎屑粒径展布范围宽、分异差或无分异现象、悬浮组分高的特点,反映高密度、高粘度碎屑流沉积特征,类似的还有 a-1(定远郎峰林场),a-2(滁县章广东)。章广梅山采石场扇三角洲(图 7b)为三段式,跳跃组分斜率低(40°~47°),分选中等,悬浮组分高占 50% 以上,并有 < 2% 的滚动组分,可能是受到湖泊波浪改造所致,故反映扇缘(端)沉积特征。

早白垩世响导铺期扇三角洲沉积是继承朱巷期的扇三角洲而发展起来的,其位置与朱巷期大致相同,限于篇幅,在此不逐个描述。目前在地表露头上发现的响导铺期扇三角洲均属水下部分,水上部(即冲积扇)可能后期反转抬升而被剥蚀掉。

在地震剖面上,扇三角洲体系具有较强振幅、中等连续至连续和中、低频等地震反射特征。向盆地深洼中心逐渐过渡为弱反射结构或亚平行—平行反射结构的湖相泥岩沉积。

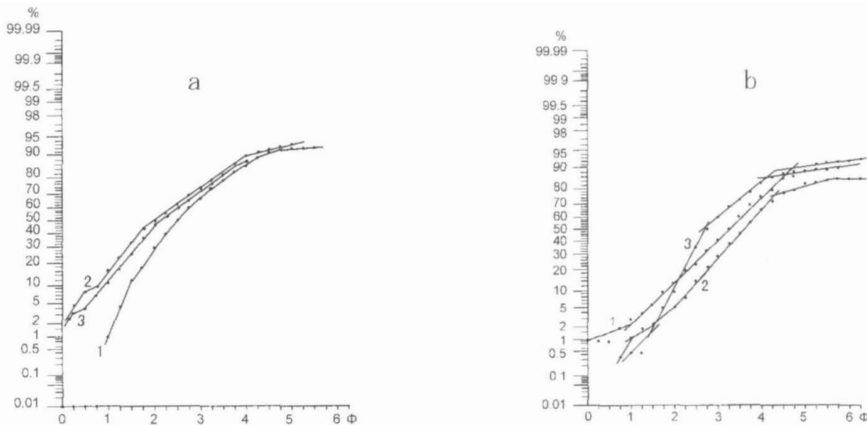


图 7 朱巷组砂岩粒度分析概率曲线

Fig 7 Probability curve of grain analysis of the sandstone in Zhuxiang Formation

a-1 定远郎峰林场, a-2 滁县章广东, a-3 肥东三官; b- 章广梅山采石场, b-1 b-2 下部砂岩, b-3 上部砂岩。

2.3 湖泊三角洲体系

据合—淮公路沿线露头观察和安参 1 井, 合深 3 井、合浅 4 合浅 5 等井揭露, 早白垩世合肥盆地西部斜坡带上发育两个三角洲沉积体系, 一个发育在盆地西北部即寿县—长丰朱巷一带, 另一个发育在三觉寺—哑巴店—吴店一带。后者三角洲发育较典型, 故以此为例, 其典型剖面有哑巴店苏桥采石场和合(肥)—淮(南)公路土山及其以东地区。

苏桥采石场下部为三角洲前缘亚相, 由灰色中厚层具平行层理的砂岩组成, 上部为三角洲平原亚相(河泛平原微相)的紫色粉砂质泥岩组成, 砂岩斜层理发育, 在粉砂岩中发育由粗砂、含砾粗砂透镜体构成前积层理。中粗粒砂岩含灰紫色粉砂质泥岩和泥砾(撕裂冲刷屑), 一般 1~10 cm, 由青灰色粉砂质泥岩组成, 其上含较多的植物化石碎片, 可能为崩岸成因。

合(肥)—淮(南)公路土山及其以东地区: 朱巷组从哑巴店苏桥采石场向东到合淮公路, 层序逐渐变新, 岩石类型也发生了显著的变化, 即由以砂岩为主而变为以泥质岩为主的沉积。露头显示为紫红色中厚层粉砂质泥岩、泥岩韵律层, 夹同色中细粒长石砂岩。砂岩单层厚 10~120 cm, 似层状、透镜状, 横向延伸渐变为紫红色泥岩、粉砂质泥岩(图 8)。砂岩对下伏泥岩冲刷作用很普遍, 导致其内常含大量泥砾(或泥屑)。泥质岩类生物扰动构造、浪成沙纹层理和泥裂普遍发育, 为洪泛平原。

合淮公路以东, 岗集、戴新庄、至吴店尚岗采石场一带, 岩性和所代表的沉积环境与合淮公路沿线基本相同。砂岩底部或下部亦普遍发育冲刷撕裂泥砾或泥片, 粒径 1~2 cm, 最大达 30 cm, 含量多时可聚集成泥砾层。泥裂、虫迹构造、浪成波纹及小型斜层理较发育。

上述剖面说明, 从苏桥采石场向东至合淮公路沿线, 再到合肥市东北角之吴店尚岗采石场, 无论从纵向上, 还是从横向上沉积相发生了变化, 即从三角洲前缘亚相逐渐过渡到三角洲平原亚相(包括河泛平原、天然堤和决口扇等微相)。

2.4 湖泊沉积

2.4.1 滨浅湖泊沉积

由于受盆缘断裂构造控制, 滨浅湖亚相主要发育在盆地西部斜坡带和南部。包括湖滨带沉积和浅水湖泊。沉积物常受湖水面波动、波浪改造以及碎屑物的输入、滨岸地形和气候等因素变化的影响而变化。

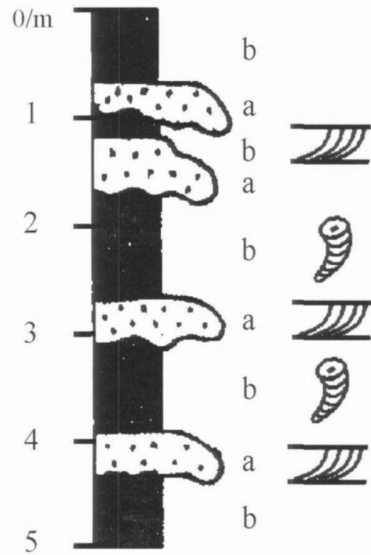


图 8 朱巷组洪泛平原沉积序列

Fig. 8 Sedimentary sequence of alluvial & alluvial plain on He-Huai road of Zhuxiang Formation

常见的沉积构造有小型沙纹交错层理、生物潜穴及扰动构造。

滨湖亚相以朱 5 井响导铺组、合浅 13 井张桥组(图 9)为代表, 由褐紫色粉砂岩、细砂岩和泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成, 普遍发育交错层理、泥砾和泥裂等构造也常见。反映滨湖环境下时而水下时而水上的暴露相特征。

浅湖亚相以合浅 2 井(图 9)和合浅 13 井(图 9)为代表, 具波状纹层和小型交错层理。合浅 13 井出现较多的砂砾岩韵律层, 可能为河流携带的粗碎屑物, 再经湖流和波浪再次搬运, 重新分布成湖滩砂坝。

浅湖在环境组合上, 向盆地东部前渊带方向沉积物粒度变细, 逐渐过渡为较深湖沉积; 在侧向上, 若有冲积扇和三角洲发育, 其沉积组合往往变为间湾沉积。在沉积序列上, 向上倾方向常与湖滨带沉积过渡, 向湖盆方向则往往过渡为较深湖相沉积。

2.4.2 半深湖—深湖泊沉积

深水湖泊发育在盆地东部于大桥洼陷, 以合浅 8 井及古城一带地表露头为代表。主要岩性为灰黑色、深灰色泥岩、灰色泥灰岩、浅色灰岩、砂质灰岩夹少量灰质粉砂岩、灰质细砂岩, 富含黄铁矿细脉及植物化石碎屑, 暗色泥岩层累计厚度 > 600 m。在肥东县古城镇东小河旁(介于合浅 8 井与合浅 9 井之间)由于郯庐断裂后期的影响, 这套暗色岩被抬升至地表。岩石中产大量植物化石碎片和炭屑, 并常夹

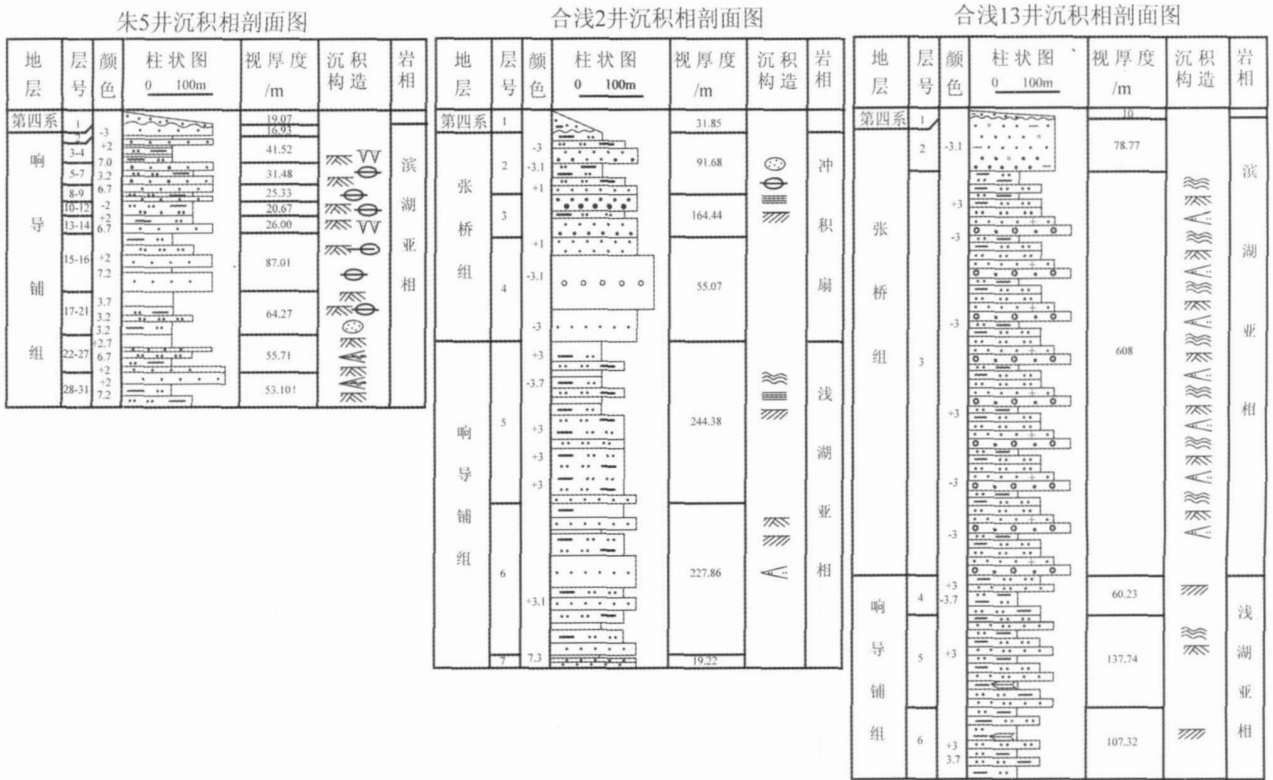


图 9 朱 5 井、合浅 2 井和合浅 13 井沉积相剖面图

Fig 9 Sedimentary facies profiles of Zhu W 5 well / Heqian W 2 & Heqian W 13

有土黄色或铁锈色透镜状黄铁矿结核或菱铁矿结核，应为还原环境下半深湖—深湖相沉积。

2.4.3 湖底浊积扇沉积

湖底浊积扇主要发育于下白垩统响导铺组，在大桥凹陷施坎村简易公路路堑上有较好的出露。这是盆地东部沿郟庐断裂带下降盘发育的扇三角洲前缘上的沉积物以重力流或底流的形式沿斜坡滑塌直达深湖湖底而形成的，在湖底深洼部位呈北北东向展布，形成轴向湖底扇沉积，具有清晰的鲍马序列和准同生变形构造。

鲍马序列及岩性特征：A 段：以粒度正递变层为主，由下而上为砾质砂岩渐变为岩屑粗、中细砂岩。细砾岩具块状层理，杂基支撑。砾径一般几毫米，少数 1~2 cm，大者可达 5 cm。砾石成分主要为来自东部张八岭群的变火山岩，少数为花岗岩和石英岩等。多数棱角状，少数略有磨圆。冲刷面发育，主要为 A 段对 D 段的冲刷，冲刷面较陡达 40°左右。B 段：为粗砂岩和中砂岩，具平行层理，有时见 15°左右的斜层理。C 段：以粉砂岩、细砂岩和泥岩组成，可见小型滑塌揉皱和包卷层理及砂枕等构造。D 段：由粉砂质泥岩、泥岩组成，具水平纹层构造。E 段：为质地很纯

的泥岩，水平纹层发育，呈纸片状纹泥。风化后呈为灰白色，可能是暴露地表长期氧化退色所致，推测原岩应为灰黑色浊流间隙期正常深水湖相悬浮垂向加积泥岩。以上各段并非连续出现，常以 AB、BC、AA、CD 和 AD 组合出现。每一组合一般几厘米~数十厘米不等，最厚 AB 组合可达 100 cm 左右。

粒度特征：B 段：砂岩粒度曲线为低斜率（30°左右）弯曲曲线，粗细截点不明显，分异很差或无分异，粒径范围跨度大，悬浮组分较高，具较典型的浊流沉积特征（图 10B）。C 段：粉砂岩段，粒度曲线仍为弯曲曲线，斜率 55°左右（图 10C），略高于 B 段。粒度较 B 段细，悬浮组分（60% 以上）比 B 段高得多。反映由下而上能量衰减，由高密度流向低密度流转变之特征。

湖底浊积扇在 365 地震测线东段（合深 1 井—郟庐断裂之间）也有反映，表现为一系列的底平上突的丘状反射，与地表露头是吻合的。

2.4.4 膏盐湖沉积

最典型的膏盐湖沉积分布于古近系定远凹陷。据合深 4 井揭露（综合柱状图略）为粉砂质泥岩夹灰绿色、棕色薄层膏泥，含钙芒硝和星点状、纤维状石

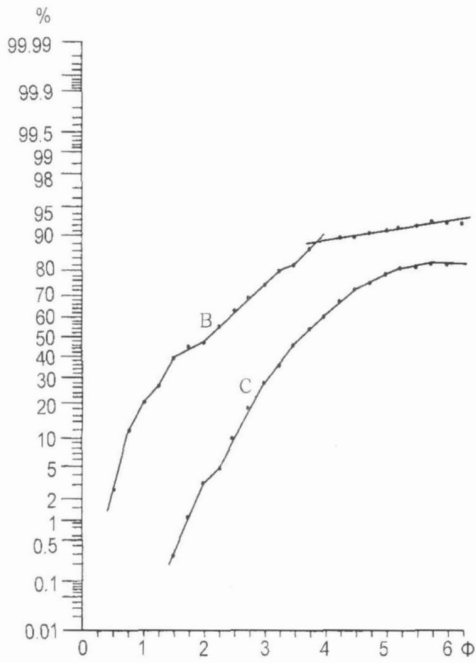


图 10 大桥施坎响导铺组浊积岩 B、C 段粒度概率曲线

Fig 10 Probability curve of grain analysis of B & C sandstone of turbidite fan in Xiangdaopu Formation on Shikan village, Daqiao depression

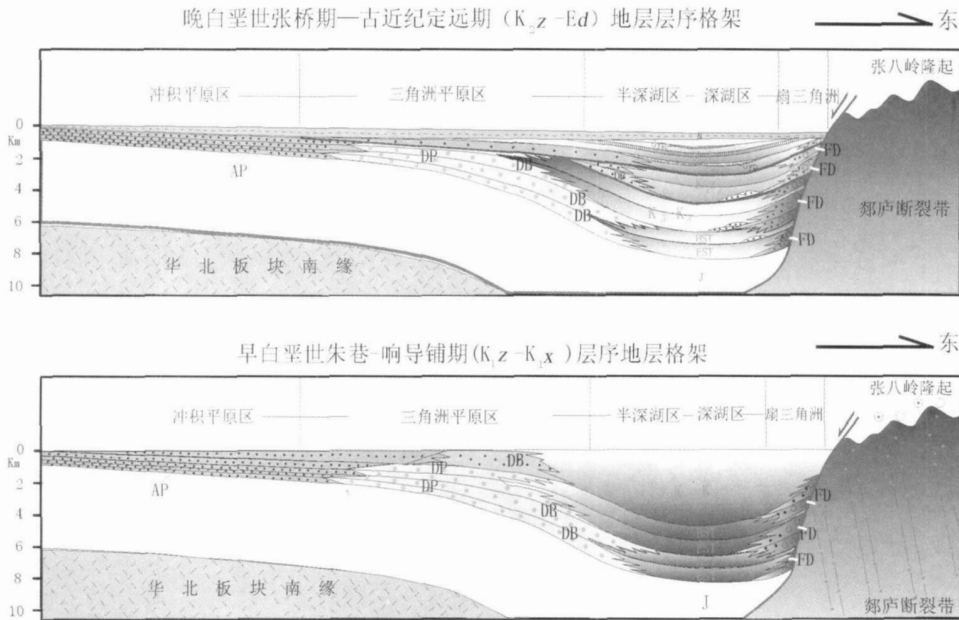
平行、弱中振幅、合深 4 井视电阻率曲线为多强而密集尖齿状形态, 这可能是含多层膏盐有关。

3 合肥盆地白垩纪沉积体系空间配置

印支运动导致大别—苏鲁碰撞造山与郟庐转换断层活动以后, 早侏罗世合肥盆地开始形成, 并逐渐进入了前陆盆地形成和发展阶段。早白垩世初, 郟庐断裂带由转换断层转变为左行平移走滑, 合肥盆地沉积可能没有响应。早白垩世中期(朱巷组), 郟庐断裂带由左行平移走滑转变为伸展断陷, 合肥盆地进入了伸展断陷演化阶段。晚白垩世, 合肥盆地持续伸展断陷, 沉积了以张桥组为代表的粗碎屑物。古近纪合肥盆地伸展断陷进入尾声, 古近纪末或新近纪初, 受太平洋板块构造运动的影响, 中国东部普遍遭受东西向区域性的挤压, 郟庐断裂带发生逆冲作用, 导致合肥盆地最终消亡。区域性构造演化的不同阶段, 在盆地充填沉积记录中都不同程度地留下了相应的记录。

据 12 条二维地震剖面详细判别、解释, 划分地震相单元, 并结合 7 口深井单井层序和沉积体系域和沉积相分析以及地表露头充填沉积—沉积相的圈定, 建立了合肥盆地白垩纪层序地层格架(图 11, 东西向)。

膏, 为半深—深湖相盐湖沉积。地震反射为杂乱—亚



AF - 冲洪积扇; AP - 冲积平原; DP - 三角洲平原; DB - 三角洲前缘; FD - 扇三角洲; OL - 湖泊; EST - 湖泊扩张体系域; HST - 高位体系域; Gyp - 膏盐层
 AF - alluvial fan; AP - alluvial plain; DP - delta plain; DB - delta front; FD - fan-delta; OL - lacustrine; EST - lacustrine expand system tract; HST - high system; Gyp - Gypsum

图 11 合肥盆地白垩纪—古近纪地层沉积格架图

Fig 11 East-west stratigraphy framework of the Hefei Basin during Cretaceous to Paleogene

在层序地层等时框架内,对白垩系各层序的典型沉积体系进行二维分析、解剖,并确定其时空展布及其演化。从而恢复合肥盆地白垩纪沉积体系的古地貌和古环境。1)以二级层序组为单元,其中早白垩世朱巷组和响导铺组层序组在地震剖面反映特征相似,难以区分,故合并在一起,主要表现为东断西超,北断南超(尤其是晚白垩世表现更为明显)。2)物源主要来自于盆地的南部(或西南部)大别造山带、北部华北克拉通淮南—蚌埠隆起带以及东部张八岭隆起带,显示复杂的多物源特征。3)受构造单元和物源控制,整个盆地发育三大砂体:北西部砂体和南部(或南西部)砂体,两者皆为大型建设性三角洲砂体;其次为北东和东部平行郟庐断裂带和寿县一定远断裂东段的深水扇三角洲砂体。

3.1 早白垩世层序组沉积体系空间配置

早白垩世层序组(包括朱巷组和响导铺组层序组),为西缓超东陡深的不对称箕状断陷格局,据地震反射结构和地震相特征所恢复的沉积体系空间配置特征(图 12)。西南部和北西部各发育一个大型冲积扇—冲积平原—三角洲平原带,西南部冲积扇—冲

积平原大部分已经被剥蚀殆尽,但隐约可以恢复其原貌。东部和东北部发育一系列扇三角洲构成扇三角洲平原(裙)两者之间为滨浅湖—半深湖—深湖。在东部断陷深洼带发育深湖相湖底浊积扇。在西部吴集断裂和肥中断裂西部还发育湖侵初期的低水位扇。

3.2 晚白垩世层序组沉积体系空间配置

晚白垩世层序组(张桥组层序组),基本上沿袭早白垩世不对称箕状断陷格局,但是北断南超的格局占主导,东断西超的格局为辅,导致沉积体系空间配置有较大的改变:早白垩世时期的大型三角洲体系域已经不复存在,代之而起的是北部发育较大规模的扇三角洲平原。而南部或西南部冲积扇—冲积平原—三角洲平原带范围已经大为缩小到信阳—舒城断裂北缘(图 13)。

4 结论

合肥盆地的白垩纪是叠置在侏罗纪前陆盆地上的断陷构造层,其层序地层及沉积演化研究是油气勘探的重要环节。本文综合应用横跨盆地二维地震剖面、测井、岩芯、露头及其它分析化验资料,对合肥盆

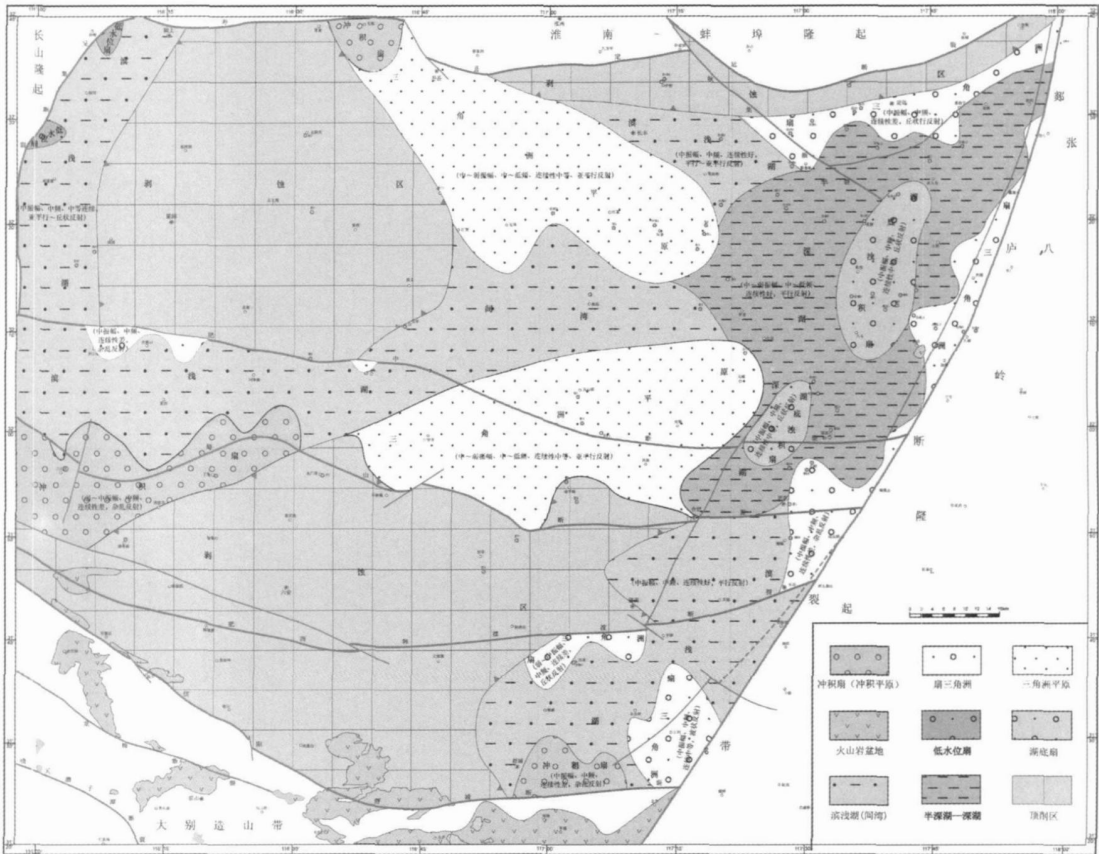


图 12 早白垩世地震相和沉积体系分布图

Fig 12 Seismic facies & sedimentary system distribution on Early Cretaceous in the Hefei Basin

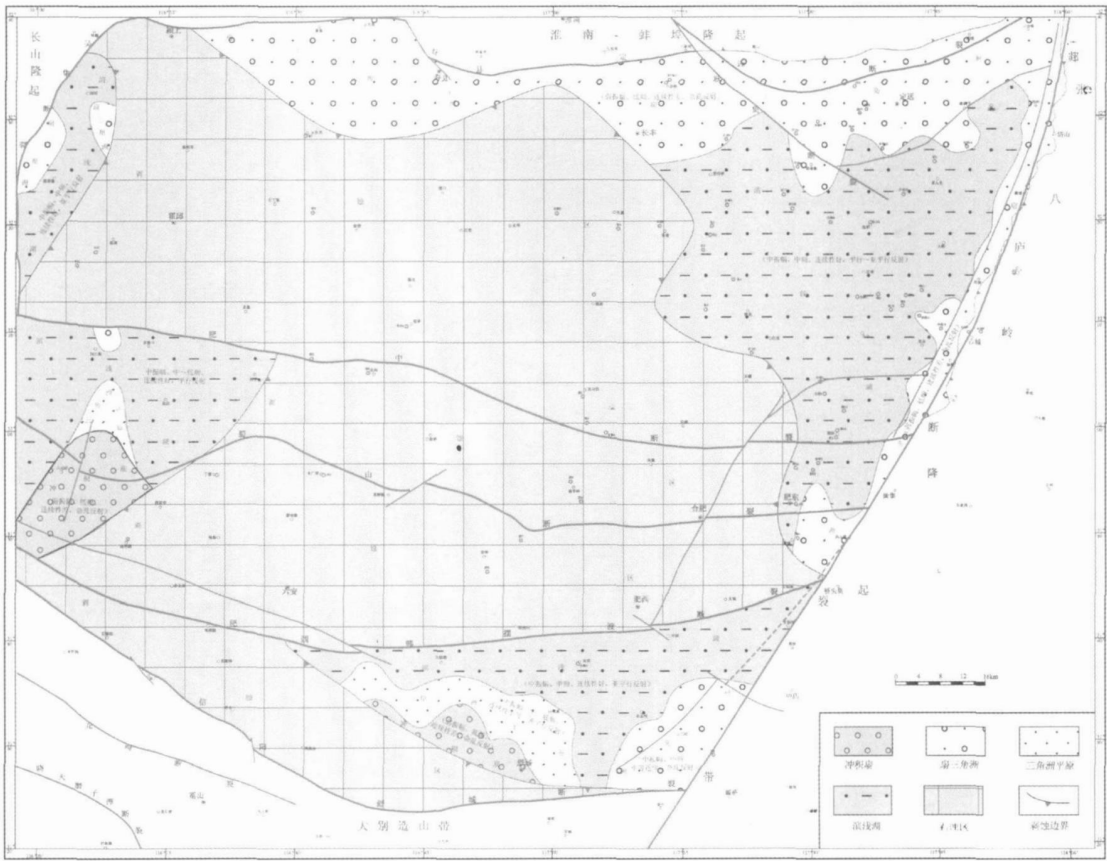


图 13 晚白垩世地震相和沉积体系分布图

Fig 13 Seismic facies & sedimentary system distribution on Late Cretaceous in the Hefei Basin

地白垩纪地层进行了层序地层界面的识别、划分,建立了该期地层格架。共划分出一级层序:构造层序界面(构造层序)界面 2 个: SBK₁(TK₁)、SB_E(T_E);二级层序(层序组)界面 1 个: SBK₂(TK₂);三级层序(层序)界面 4 个: SBK₁₁(TK₁₁)、SBK₁₂(TK₁₂)、SBK₁₃(TK₁₃)、SBK₂₁(TK₂₁)。在此基础上建立了合肥盆地白垩纪层序地层格架及沉积演化阶段:早白垩世层序组(包括朱巷组和响导铺组层序组):为西缓超东陡深的不对称箕状断陷格局,西南部和北西部各发育一个大型冲积扇—冲积平原—三角洲平原带,西南部冲积扇—冲积平原大部分已经被剥蚀殆尽;东部和东北部发育一系列扇三角洲构成扇三角洲平原(裙),两者之间为滨浅湖—半深湖—深湖。晚白垩世层序组(张桥组层序组):北断南超的格局占主导,早白垩世时期的大型三角洲体系域已经不复存在,代之而起的是北部发育较大规模的扇三角洲平原;而南部或西南部冲积扇—冲积平原—三角洲平原带已经大为缩小到信阳—舒城断裂北缘。

合肥盆地白垩系层序地层格架为一典型的半地

堑(箕状)伸展断陷盆地,东断西超,可以分为两部分即:东部断陷带,西部斜坡带。断陷带即郟庐断裂带下降盘(西盘),严格受控于郟庐断裂带,呈北北东向展布,为沉降—沉积中心,西部斜坡带较为广阔。两者沉降—沉积带分异性较明显。东部主要发育半深湖—深湖相及扇三角洲相沉积,而西部斜坡带主要发育滨浅湖、三角洲、冲积平原和冲(洪)积扇相沉积。早白垩世(包括朱巷组和响导铺组)沉降—沉积主要受郟庐断裂带控制,但是东西向前陆逆冲断层如寿县—一定远断裂、肥中断裂、肥西—韩摆渡断裂、信阳—舒城断裂等开始反转为伸展断裂,对其沉降—沉积亦有较弱的显示,表现在其下盘(南盘)发育少量的粗碎屑物(低位扇、扇三角洲),在盆地南部边缘产生中心—裂隙式火山喷发,形成大量的中酸性火山岩。晚白垩世(张桥组)沉降—沉积作用受郟庐断裂带和东西向断裂的双重控制作用很明显。古近纪时,由于东西向断裂强烈地差异性升降,导致合肥盆地南北分野,形成各自独立的、彼此分割的、主要受东西向断裂控制的小盆。

参考文献 (References)

- 李忠, 李任伟, 孙枢, 等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分及其物源构造属性 [J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 438-445 [Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu *et al.* Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones south Hefei basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3): 438-445]
- 周进高, 赵宗举, 邓红应. 合肥盆地构造演化及含油气性分析 [J]. 地质学报, 1999, 73(1): 15-24 [Zhou Jingao, Zhao Zongju, Deng Hongying. Tectonic evolution of the Hefei Basin and analysis of its petroleum potential [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(1): 15-24]
- 赵宗举, 朱琰. 合肥盆地构造演化及油气系统分析 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 8-13 [Zhao Zongju, Zhu Yan. The structure evolution and the petroleum system in Hefei Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2001, 28(4): 8-13]
- 陈海云, 舒良树, 张云银, 等. 合肥盆地中生代构造演化 [J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 250-256 [Chen Haiyun, Shu Liangshu, Zhang Yunyin *et al.* Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution of the Hefei Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(2): 250-256]
- 刘国生, 朱光, 牛漫兰, 等. 合肥盆地对郯庐断裂带同造山走滑活动的沉积响应 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2005, 28(10): 1233-1237 [Liu Guosheng, Zhu Guang, Ni Manlan *et al.* Depositional response of the Hefei Basin to the synorogenic strike-slip activities on the Tan-Lu fault zone [J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2005, 28(10): 1233-1237]
- 李任伟, 孟庆任, 李双应. 大别山及邻区侏罗和石炭纪时期盆山耦合: 来自沉积记录的认识 [J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1133-1143 [Li Renwei, Meng Qingren, Li Shuangying. Coupling of the Jurassic and Carboniferous basins with the origins in the Dabie Shan and adjacent area: constraints from sedimentary records [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(4): 1133-1143]
- 朱光, 王勇生, 王道轩, 等. 前陆沉积与变形对郯庐断裂带同造山运动的制约 [J]. 地质科学, 2006a, 41(1): 102-121 [Zhu Guang, Wang Yongsheng, Wang Daoxuan *et al.* Constraints of foreland sedimentation and deformation on synorogenic motion of the Tan-Lu Fault Zone [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(1): 102-121]
- 刘国生, 朱光, 王道宣. 郯庐断裂带张八岭隆起段走滑运动与合肥盆地的沉积响应 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 267-273 [Liu Guosheng, Zhu Guang, Wang Daoxuan *et al.* Strike-slip movement on the Zhangbaling Uplift segment of the Tan-Lu Fault and the depositional response in the Hefei Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 267-273]
- 刘国生, 朱光, 牛漫兰, 等. 合肥盆地东部中-新生代的演化及其对郯庐断裂带活动的响应 [J]. 地质科学, 2006, 41(2): 256-269 [Liu Guosheng, Zhu Guang, Ni Manlan *et al.* Mesozoic evolution of the Hefei Basin (eastern part) and its response to activities of the Tan-Lu fault zone [J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 2006, 41(2): 256-269]
- 任凤楼. 合肥盆地中生界沉积物物源分析及构造意义 [J]. 地质科技情报, 2008, 27(2): 25-34 [Ren Fenglou. Sediments provenance analysis and structure significance of Hefei Basin in Mesozoic [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2008, 27(2): 25-34]
- 易万鑫, 赵宗举, 李学田, 等. 早白垩世合肥盆地性质及含油气性分析 [J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(1): 64-71 [Yi Wanxin, Zhao Zongju, Li Xuétian *et al.* Nature of the Hefei Basin in Early Cretaceous and analysis of its petroleum potential [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 27(1): 64-71]
- 李云平, 吴时国, 韩文功, 等. 合肥盆地和郯庐断裂带南段深部地球物理特征研究 [J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 115-122 [Li Yunping, Wu Shiguo, Han Wengong *et al.* A study on geophysical features of deep structures of the Hefei Basin and the southern Tan-Lu fault zone [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49(1): 115-122]
- 曹忠祥. 合肥盆地及其东缘郯庐断裂带的伸展活动起始年代、断陷格局及深部动力学 [J]. 南京大学学报 (自然科学版), 2007, 43(5): 34-43 [Cao Zhongxiang. Beginning times, fault framework and deep dynamics of the extensional activities in the Hefei basin and Tan-Lu fault zone [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 2007, 43(5): 34-43]
- 王利, 周祖翼, 朱毅杰. 合肥盆地中生代三维埋藏史分析 [J]. 高校地质学报, 2007, 13(1): 105-111 [Wang Li, Zhou Zuyi, Zhu Yijie. 3-D burial history analysis of Hefei Basin since Mesozoic [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13(1): 105-111]
- 许长海, 周祖翼, P. Van Den Haute, 等. 合肥盆地构造演化的磷灰石裂变径迹分析 [J]. 石油学报, 2007, 27(6): 5-12 [Xu Changhai, Zhou Zuyi, P. Van Den Haute *et al.* Apatite fission-track thermochronology of tectonic evolution in Hefei Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 27(6): 5-12]
- 朱光, 牛漫兰, 刘国生, 等. 郯庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件 [J]. 地质学报, 2002, 76(3): 325-334 [Zhu Guang, Ni Manlan, Liu Guosheng *et al.* Structural, magmatic and sedimentary events of the Tan-Lu fault belt during its early Cretaceous strike-slip movement [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(3): 325-334]
- 陈建平, 钟建华, 饶孟余, 等. 合肥盆地中、新生代沉积相初步研究 [J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 48-54 [Chen Jianping, Zhong Jianhua, Rao Mengyu *et al.* Mesozoic and Cenozoic sedimentary facies in the Hefei Basin [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2003, 23(2): 48-54]
- 吴跃东, 邵莉. 安徽合肥盆地东北部白垩纪层序地层学分析 [J]. 地层学杂志, 2002, 26(2): 111-119 [Wu Yuedong, Shao Li. Cretaceous sequence stratigraphic analysis of the northeastern Hefei Basin [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2002, 26(2): 111-119]
- 邓宏文, 王洪亮. 美国层序地层研究的新学派——高分辨率层序地层学 [J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97 [Deng Hongwen, Wang Hongliang. A new school thought in sequence stratigraphic studies in US: high-resolution sequence stratigraphy [J]. *Oil & Gas Geology*, 1995, 16(2): 89-97]
- 邓宏文, 王红亮. 高分辨率层序地层学——原理及应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2002 [Deng Hongwen, Wang Hongliang. *High-resolution Sequence Stratigraphy: Principles and Application* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002]

- jing Geological Publishing House, 2002]
- 21 Vail P R. Sequence stratigraphy work book fundamentals of sequence stratigraphy[C]// AAPG Annual Convention Short Course Sequence Stratigraphy Interpretation of Seismic Well and Outcrop Data Houston 1988
- 22 Mitchum R M, Van J C. High frequency sequence and their stacking patterns sequence stratigraphy evidence of high frequency eustatic cycle[J]. Sedimentary Geology, 1991, 70(2): 135-144
- 23 Van J C, Mitchum R M, Campion K M, *et al* Methods in Exploration Series No7[C]. Tulsa AAPG, 1990

Framework of Sequence Stratigraphy, Sedimentary System and Evolution of Cretaceous Hefei Basin

TANG Hong-san¹ ZHANG Yong^{2,3} REN Feng-lou¹

(1. Institute of Geological Science Shengli Oilfield Branch SINOPEC, Dongying Shandong 257015;

2 The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology Ministry of Land and Resources Qingdao Shandong 266071;

3. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao Shandong 266071)

Abstract According to seismic, well logs, outcrop & cores data, we identified sequence stratigraphy boundaries. Cretaceous-Paleogene strata can be recognized as 3 first-order sequence, 1 second-order sequences and 4 third-order sequences. Based on the principle of base level cycles, the author distinguished & established sequence stratigraphy framework, sedimentary system setting & evolution in Cretaceous-Paleogene. That is: 1) Early Cretaceous sequence series (Zhuxiang & Xiangdaopu Formations): a semi-graben basin which overlapped in the west & faulted in the east, developed great scale alluvial fan-alluvial plain-delta plain on the western-northern & western-southern respectively. On eastern & eastern-northern growth a series fan-deltas & shore semi-deep-deep lacustrine. 2) Late Cretaceous sequence series (Zhangqiao Formation): similar with Early Cretaceous basically, but a semi-graben basin which overlapped in the south & faulted in the north more salience. 3) Paleogene Sequence series (Dingyuan Formation): The north of Feizhong fault uplift since tectonic movement so that bisect the basin, Dingyuan depression on the north and Shucheng depression on the south.

Key words Hefei Basin, Cretaceous, sequence stratigraphy, Zhuxiang Formation, Xiangdaopu Formation, Zhangqiao Formation