文章编号：1004—5589（2009）02—0199—08

残留盆地沉积相研究方法
——以济阳坳陷中生代盆地为例

徐振中[1]，陈世悦[2]，姚军[1]，王永诗[3]

1. 中国石油大学（华东）石油工程学院，山东 东营 257061；
2. 中国石油大学（华东）资源与信息学院，山东 东营 257061；3. 胜利油田 地质院，山东 东营 257015

摘要：对济阳坳陷中生代沉积特征的综合研究，初步提出一套改造型残留盆地沉积相研究方法，强调从野外露头、岩芯、岩屑录井、测井、人工地震和盆地结构 6个方面进行沉积相综合研究，并与研究区周围地层沉积特征、岩芯沉积相识别、沉积相垂向演化、测井相、地震相和沉积体系分布研究相结合。其中最核心的技术是平衡剖面及地震约束下的连井剖面沉积相纵横向研究。研究认为济阳坳陷在中生代由多个时而分割时而相连的湖盆组成，主要发育冲积扇相、河流相、扇三角洲相、三角洲相、湖泊相及沼泽相。

关键词：沉积相；中生代；济阳坳陷；残留盆地

中图分类号：P536　　**文献标识码**：A　　**doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2009.02.009

Methods for the study of sedimentary facies in residual basins —a case study of the Mesozoic basin in Jiyang depression

XU Zhen-zhong[1], CHEN Shi-yue[2], YAO Jun[1], WANG Yong-shi[3]

1. *Faculty of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China;*
2. *Faculty of Nature Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China;*
3. *Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield, Dongying 257015, Shandong, China*

Abstract: Through an integrated study of Mesozoic sedimentary characteristics in Jiyang depression, the authors put forward a set of methods for studying sedimentary facies in reworked residual basins. The main concept including the field outcrop, core, sample log, well logging and the basinal structures. Integration research has been done includes sedimentary characteristics of strata, sedimentary facies recognition of core, vertical variation of sedimentary facies, logging facies, seismic facies and sedimentary system distribution. The most important methods are the balanced cross-section and sedimentary analysis of well-to-well correlation sections in seismic restraint. The study approves that Jiyang depression was composed of the lake basins divided up or connect by catches in Mesozoic, and developed the alluvial fan facies, fluvial facies, fan delta facies, delta facies, lacustrine facies and swamp facies.

Key words: Sedimentary facies; Mesozoic; Jiyang depression; residual basin

收稿日期：2008-02-29；**改回日期**：2008-12-17
基金项目：国家“十五”科技攻关项目（2001BA605A09）；中国石油化工股份有限公司科技攻关项目（P03036）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引言

早期盆地虽经受了挤压和改造作用，却有相当部分残留在晚期盆地之下，这种盆地被称为残留盆地。残留盆地在中国非常普遍，由于其地质条件的复杂性，多学科的综合研究将是残留盆地油气勘探的关键所在[1]。中国的勘探实践已经在残留盆地中发现了丰富的油气资源[2-4]。南方前新生代海相地层及渤海湾盆地深层均经过多期次构造运动改造，原始盆地面貌已经不复存在，对这种残留盆地的研究和勘探长期以来一直面临着很多尚未突破的难题，残留盆地沉积相的研究就是其中之一，这也是准确预测生储盖层的瓶颈问题。

济阳坳陷是在华北古生代地台基础上发育而成的一个中、新生代叠合盆地，中生代盆地已经被完全肢解，只留下一些支离破碎的残留地层。济阳坳陷邻区新汶盆地是鲁西隆起上一个小型的中、新生代陆相断陷湖盆，发育良好的中生界露头。笔者通过对新汶中生界露头及济阳坳陷中生界岩芯钻孔、测井、地震和盆地结构等多种资料进行详细的研究，旨在剖析这种残留地层的沉积特征，一方面为济阳坳陷中生界油气资源勘探奠定基础，同时也希望总结一套残留盆地沉积相研究方法。

1 多资料沉积相分析

1.1 露头剖面分析

露头剖面是最详细和最直接的资料。通过全面观察露头剖面沉积地层的接触关系、岩石的颜色、成分、沉积构造和岩性序列组合等沉积特征，研究其沉积相类型及垂向演化，初步判断古地理环境，是沉积相研究的基础。如果研究区目的层没有出露，可对邻区出露的目的层进行研究，进而和研究区类比。

济阳坳陷没有中生界露头剖面，而邻区博山和新汶有出露较好的中生界地层。新汶地区四条剖面[5]反映出：新汶中生代盆地发育冲积扇-河流-湖泊沉积体系，湖泊内部包括滨浅湖、滨浅湖滩坝、三角洲和半深湖等亚相沉积；从纵向演化来看，经历了冲积扇-河流向上演化为湖泊沉积，再逐渐演化为河流沉积的过程，并且在早白垩世火山作用逐渐加强。盆地表现为盆大、湖浅、坡缓及浅水三角洲的沉积特征 (图 1)。

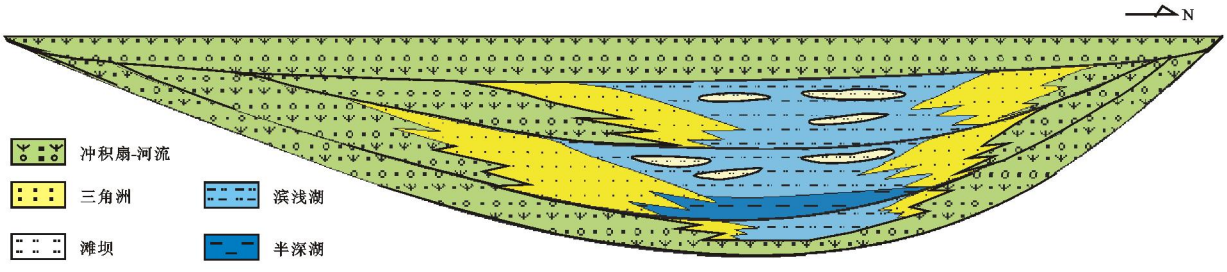


图 1 新汶盆地中生代沉积模式图

Fig. 1 Mesozoic sedimentary schematic mode of Xinwen Basin

博山地区两条剖面[5]反映出较强烈的河流沉积，河流的性质为辫状河流，其间夹有浅湖相沉积的深灰色泥岩，表明有湖泊相发育。中生代新汶-博山盆地与济阳地区均为渤海湾盆地的一部分，处于基本相同的构造环境[6]，其沉积特征应该具有可比性，也就是说，济阳中生代盆地也发育类似的沉积体系。

1.2 岩芯观察及分析

岩芯是研究沉积特征和判断沉积环境最直接，也是最有效的手段。根据从岩芯观察到的岩石颜色、成分、结构、构造、韵律和垂向变化等各种相标志，可以判断该井取芯层位的沉积相类型 (图 2)，而通过岩芯观察分析沉积相类型和特征也是进一步利用录井、测井和地震等资料分析沉积相的前提和基础。

通过对 200多口取芯井的观察及测井、地震等相标志的详细研究，并结合前人的研究成果，认为济阳坳陷中生界主要发育的相类型有冲积扇相、河流相、三角洲相、扇三角洲相、湖泊相 (滨浅湖亚相、湖湾亚相) 及沼泽相。

1.3 岩屑录井资料分析

岩屑录井资料往往是全井段的，虽然不及岩芯

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

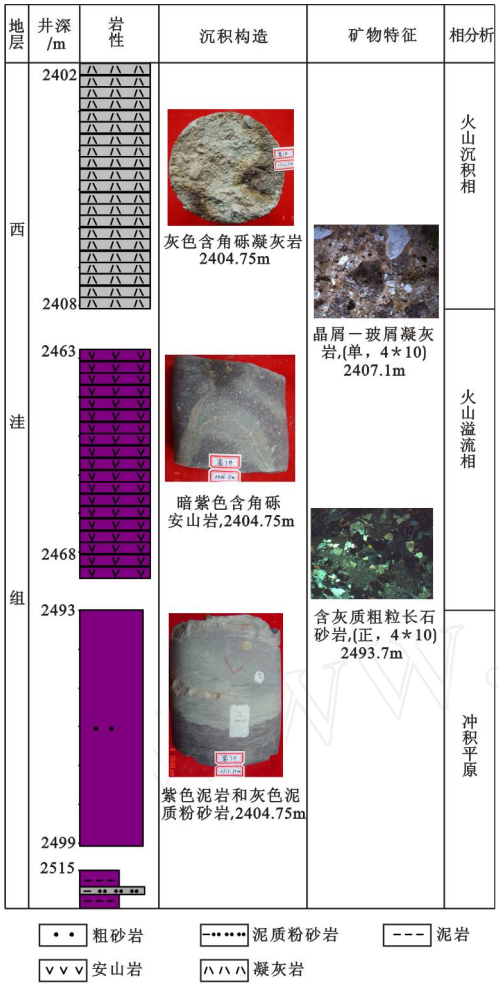


图 2　富 7井取芯井段综合沉积相分析

Fig. 2　Comprehensive sedimentary facies analysis of core interval in Well Fu 7

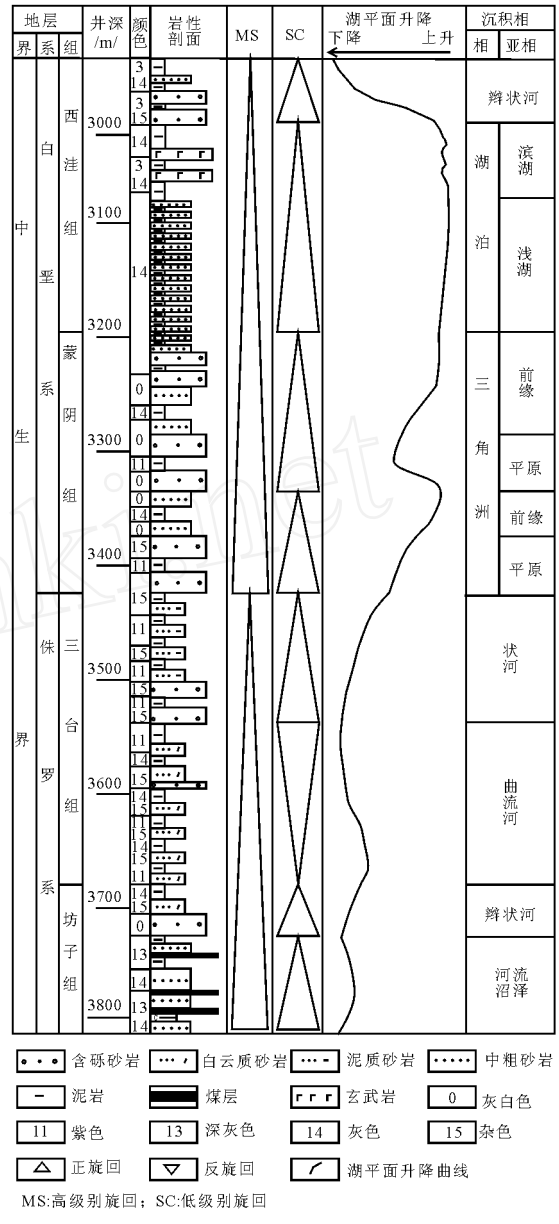


图 3　单井综合沉积相分析

Fig. 3　Comprehensive sedimentary facies analysis of single well

观察直接有效，但也是详细了解岩性特征的有效方法。因此，对取芯井进行沉积相分析后，需要总结不同类型沉积相在垂向上的颜色、粒度及岩性等变化规律，从而建立与沉积（亚）相对应的相序模板，再推广应用到未取芯井段，分析全井沉积相的垂向变化（图 3）。

1.4　测井资料分析

所有勘探井和开发井都有测井数据，测井数据的垂向变化往往是地层中岩性、构造以及含油（水）的反映。对于取芯井，在相对精确地判断沉积相后，可以总结不同类型测井曲线与沉积相的对应关系，建立测井相模板。对于没有取芯和录井资料的井，可利用该模版研究单井剖面的沉积相序列（图 4）。

1.5　地震资料分析

对于开发程度较低的区域或目的层，要分析该区域平面上的沉积相分布，需要充分利用沉积特征在地震资料上的响应。利用地震资料的纵向连续性、垂向变化的规律性和几何形态的可解释性，可以研究主要反射界面的层序界面性质和地质属性，不同沉积体系的地震相特征、几何形态和识别标

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

志，建立以沉积学为基础的岩芯-钻井-地震剖面中地层沉积特征的表现方式。因此，可先通过岩芯（图 2）、录井（图 3）和测井（图 4）的资料分析，判断研究层位的沉积相类型，然后分析过井剖面上研究层位的地震反射特征（图 5），总结不同类型沉积相所对应的地震相特征。对于其他没有井的区域，可以根据地震相特征来判断沉积相类型及其平面分布情况。

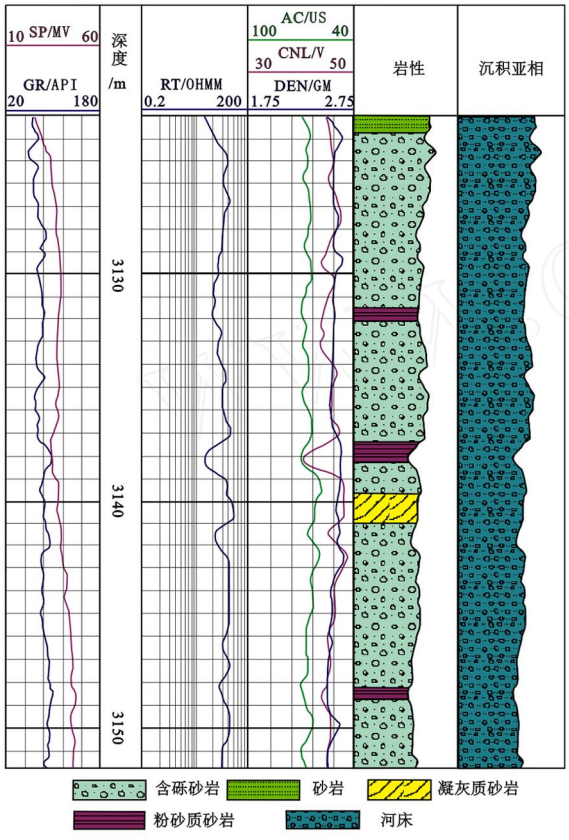


图 4 测井资料综合沉积相分析

Fig. 4 Comprehensive sedimentary facies analysis of well logging

1.6 盆地结构和性质分析

原型盆地的结构和性质是控制沉积的主要因素之一，所以对研究区目的层盆地的结构和性质要进行仔细分析，从整体上把握盆地边缘区和沉积中心区的相对位置，分析是何种类型的盆地：对于压陷盆地其断层的下盘主要为扇三角洲-湖泊（半深湖）沉积体系；而断陷盆地的断层下盘主要为扇三角洲-湖泊（滨浅湖）沉积体系（图 6中 J_3沉积前的盆地结构与沉积体系分布和 K_2沉积前盆地结构与沉积体系分布有显著的区别）。通过对盆地结构和性质的分析认为济阳坳陷在中生代不同时期发育的不同盆地类型控制着沉积物的分配：坊子期发育时而分割时而相连的山间压陷盆地，断层的下降盘（东北侧）发育扇三角洲-半深湖沉积体系，上升盘（南西侧）发育冲积扇-河流-三角洲-滨浅湖沉积体系（图 6G）；三台期发育相互分割的山间坳陷盆地，为冲积扇-河流沉积体系（图 6F）；蒙阴期发育山间断陷盆地，断层的上升盘（东北侧）发育冲积扇-河流-三角洲沉积体系，下降盘（南西侧）发育扇三角洲-滨浅湖沉积体系；西洼期断陷湖盆的范围逐渐萎缩，火山喷发强烈，火山岩大量出现。

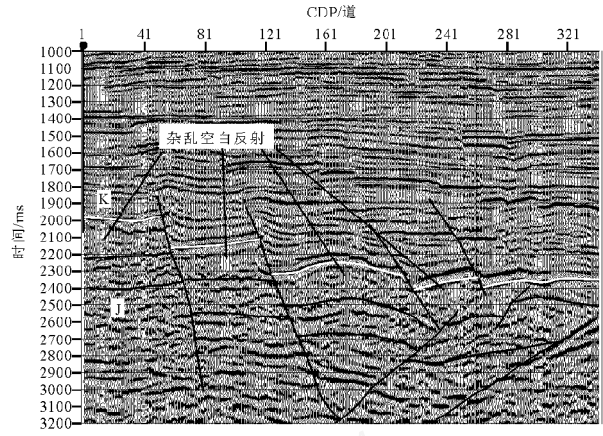


图 5 富 7井附近地震反射特征

Fig. 5 Seismic reflection in the vicinity of Well Fu 7

2 沉积相分析关键技术

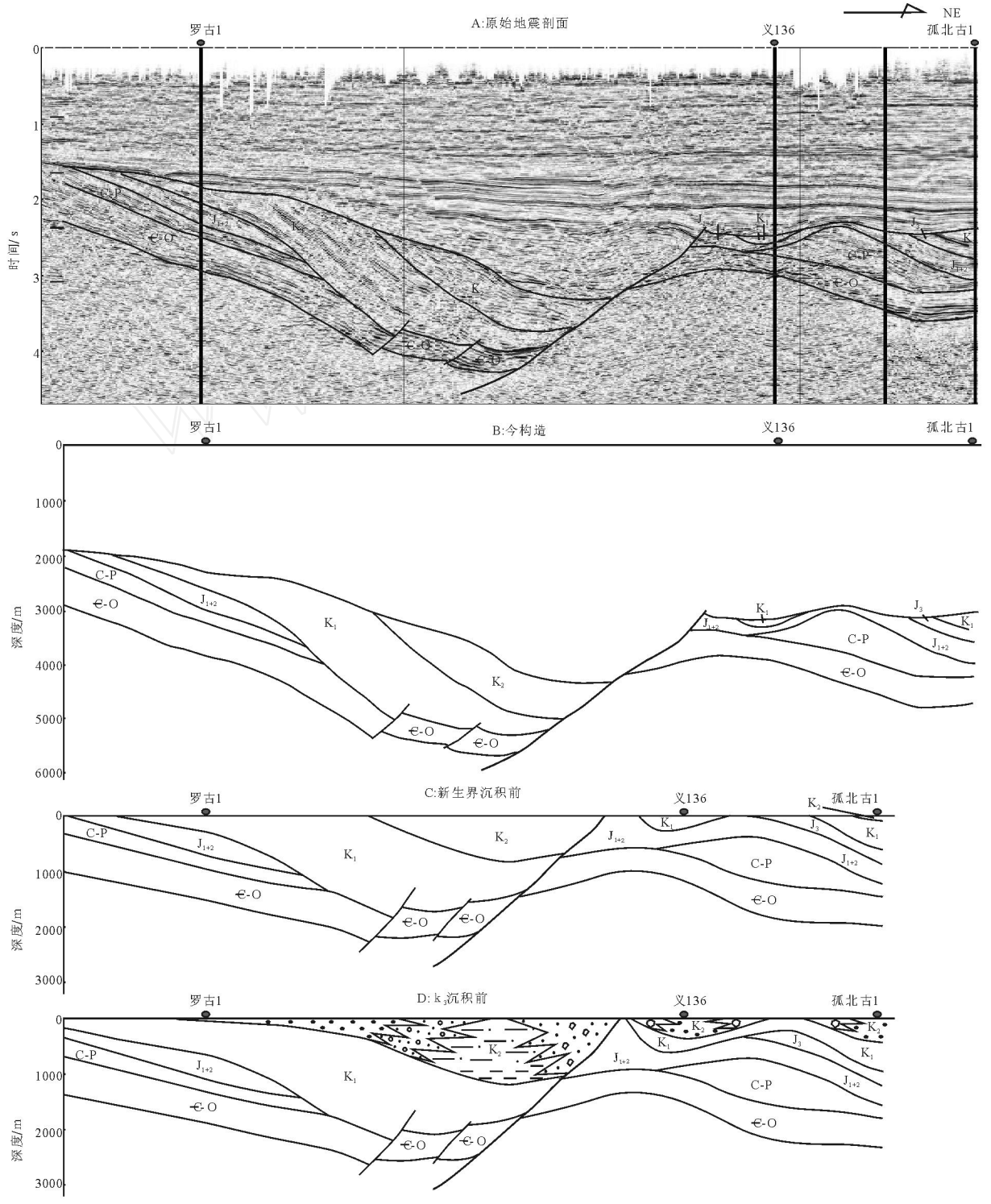
在残留盆地沉积相研究中强调多种资料的综合应用。实际上，沉积特征在岩芯-测井和地震资料上都有响应，因此这些资料的综合研究是解决问题的关键所在，也是恢复沉积古环境的最核心技术。

2.1 平衡剖面分析

平衡剖面技术是 60年代随着石油地质勘探工作的深入而产生的，Dahlstrom 首先详细论述了这一概念[7]。平衡剖面技术遵循面积不变或长度不变的几何学平衡原则进行剖面的构造复原[7,8]。在利用平衡剖面进行构造复原时应该注意，“地质概念上”的平衡和地质逻辑上的合理比纯粹的“几何学上”的平衡更重要，需要注意两个问题：①构造变形的期次，构造形成与发展具有阶段性和统

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一性; ②构造反转, 不同时期构造活动的性质不同[9]。由于研究区在中生界经历了由压性构造向张性构造的转换, 因此对前期压性构造复原时, 不但要考虑地层的压实校正, 还要考虑同沉积盆地中岩性和岩相横向变化大及地震波速度的横向差异显著, 采用变速时深转换方式地质剖面构建与垂直/斜滑机制的算法的平衡剖面计算[10]。在济阳坳陷中生界研究中, 选取了与主要控盆断裂北西向断层垂直的地震剖面, 主要利用 Paradigm Geophisical公司的 GeoSec平衡剖面软件进行构造沉积演化分析,



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

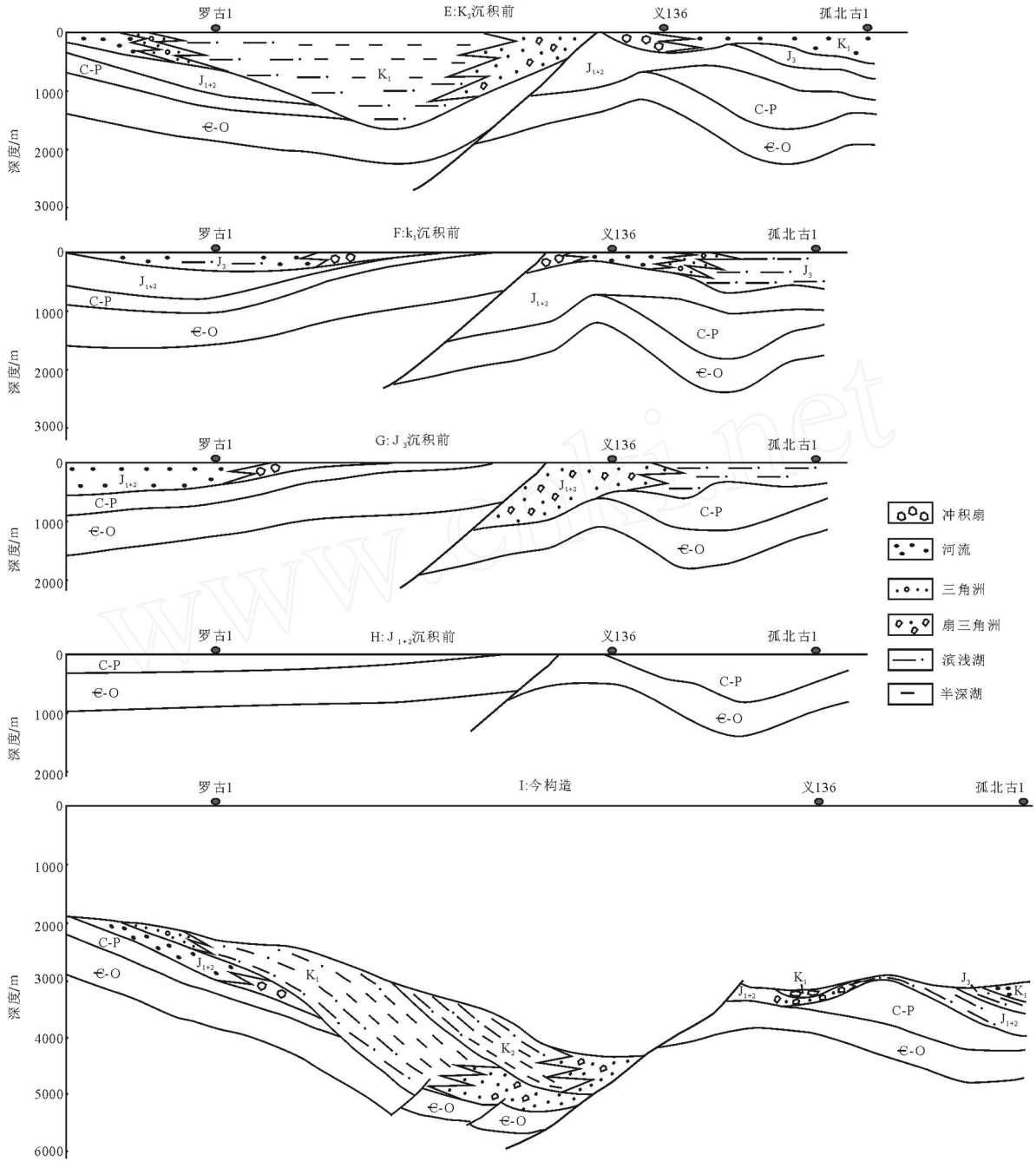


图 6 地震约束下的陈 16井 —垦东古 2井连井部分剖面平衡剖面与沉积相分析

Fig. 6 Balanced cross - section and sedimentary facies analysis of the partial correlation section from Well Chen 16 to Well Kendonggu 2 in seismic restraint

图 6为济阳坳陷陈 16罗 22罗古 1-义 136孤北古 1-孤古 14孤东古 1垦东古 2连井剖面的部分剖面分析结果。

2.2 地震约束下的连井剖面沉积相分析

在传统沉积学研究中，连井剖面沉积相分析是恢复岩相古地理环境的关键步骤之一。通过它的分析可以了解研究区沉积相的纵横向变化，对于开发程度较高的区域，这种方法非常有效。但在勘探初期，钻井很少的情况下，这种单纯根据钻井去做连井剖面分析的方法就显示出井间预测的不可靠性，

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

因此, 利用地震进行约束是井间预测的关键。在济阳坳陷中生界沉积相研究中, 连井剖面分析充分利用了地震约束这一技术。笔者以济阳坳陷陈 16罗 22罗古 1义 136孤北古 1孤古 14孤东古 1垦东古 2连井剖面沉积相分析为例来说明这一方法。

陈 16井 垦东古 2井连井剖面长度约 80 km, 而剖面中只有 8口井, 首先对有取芯资料的罗 22、义 136和孤北古 1井, 通过岩芯观察及室内分析化验进行取芯井沉积相综合分析, 研究各种岩性序列组合所对应的沉积相类型; 然后从取芯井段类比到全井段, 进行全井段沉积相综合分析, 通过岩性序列组合特征, 分析各级次的沉积旋回, 研究湖平面升降变化, 进而分析沉积物的堆积方式; 其次对没有取芯井段的单井进行全井沉积相综合分析, 分析时利用有取芯井段的单井分析结果; 最后对单井附近的地震反射特征进行分析, 然后采取类比分析, 分析两口井之间的地震反射特征, 推测沉积相。选取这一剖面 (较长) 的部分剖面为例来详细描述这一过程 (图 6)。

在对罗古 1 七义 136和孤北古 1井单井沉积相综合分析的基础上, 分析解释了这三口井的地震剖面 (图 6A), 从而剖析中生界的纵横向分布 (图 6B)。利用平衡剖面构造地层剥离技术, 分析了 K_2 沉积时盆地的性质及结构 (图 6D), 并研究了这一时期地震反射特征 (图 6A), 结果表明在西洼组 K_2沉积时期, 这一区域为受北西向断层控制的断陷盆地, 断层的南西侧主要为扇三角洲 滨浅湖沉积体系, 东北侧主要为冲积扇 河流沉积体系, 初期在湖盆中心有半深湖发育, 此后湖水逐渐变浅, 主要发育滨浅湖 (图 6D)。在西洼组沉积相横向展布研究后, 分析了 K_1沉积时盆地的性质及结构 (图 6E), 并研究了这一时期地震反射特征 (图 6A), 结果表明在蒙阴组 K_1沉积时期, 这一区域同样为受到北西向断层控制的断陷盆地, 断层的南西侧主要为扇三角洲 滨浅湖沉积体系, 东北侧主要为冲积扇 河流沉积体系, 初期湖水较浅, 在湖盆中心仅有滨浅湖发育, 此后湖水逐渐变深, 有半深湖发育 (图 6 E)。在蒙阴组沉积相横向展布研究之后, 分析了 J_3沉积时盆地的性质及结构 (图 6F), 并研究了这一时期地震反射特征 (图 6A), 结果表明在三台组 J_3沉积时期, 这一区域为不受北西向断层控制的坳陷盆地, 主要发育冲积扇 河流沉积体系, 湖水较浅, 湖盆中心仅有滨浅湖发育 (图 6F)。在三台组沉积相横向展布研究之后, 分析了 J_{1+2}沉积时盆地的性质及结构 (图 6G), 并研究了这一时期地震反射特征 (图 6A), 结果表明在坊子组 J_{1+2}沉积时期, 这一区域为受到北西向逆冲断层控制的压陷盆地, 断层的东北侧主要为扇三角洲 滨浅湖沉积体系, 南西侧主要为冲积扇 河流沉积体系, 沉降中心靠近断层的东北侧附近, 沉积中心与沉降中心有显著差别 (图 6G)。在中生界不同时期沉积相纵横向分布分析之后, 归纳总结了现今沉积相的分布特征, 进而分析了保留下来的中生界沉积相展布, 为生储盖层的纵横向分布预测奠定了基础 (图 6I)。

3　沉积相分析工作流程

综合以上分析, 提出如图 7所示的残留盆地沉积相研究的工作流程。这一工作流程以露头剖面 七岩芯 七录井 七测井和地震资料为基础, 运用单井沉积相综合分析 七平衡剖面分析及地震约束下的沉积相综合分析等关键技术, 剖析残留盆地的沉积相分布特征及其纵横向演化。

4　结论

(1) 济阳坳陷在中生界主要发育的相类型有冲积扇相、河流相、三角洲相、扇三角洲相、湖泊相 (滨浅湖亚相、湖湾亚相) 及沼泽相。

(2) 济阳坳陷中生代盆地类型控制着沉积物的分配。坊子期发育时而分割、时而相连的山间压陷盆地, 断层的下降盘 (东北侧) 发育扇三角洲—半深湖沉积体系, 上升盘 (南西侧) 发育冲积扇 河流 三角洲 滨浅湖沉积体系; 三台期发育相互分割的山间坳陷盆地, 为冲积扇 河流沉积体系; 蒙阴期发育山间断陷盆地, 断层的上升盘 (东北侧) 发育冲积扇 河流 三角洲沉积体系, 下降盘 (南西侧) 发育扇三角洲 滨浅湖沉积体系; 西洼期断陷湖盆的范围逐渐萎缩, 火山岩大量出现。

(3) 总结了残留盆地沉积相研究方法。强调从野外露头、岩芯、岩屑录井、测井、人工地震和盆地结构 6个方面进行沉积相综合研究, 并与研究区周围地层沉积特征、岩芯沉积相识别、沉积相垂向演化、测井相、地震相和沉积体系分布研究相结合。将这几种方法有机地结合起来, 剖析残余盆地的沉积特征。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

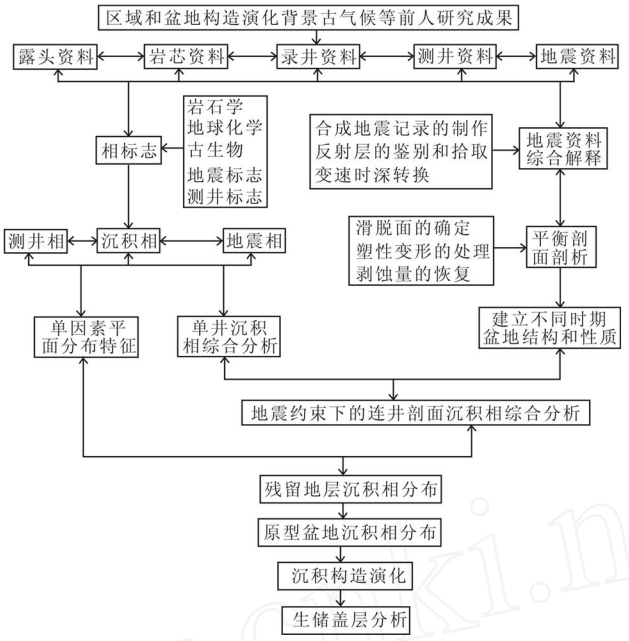


图 7 残留盆地沉积相研究的工作流程

Fig. 7 Work flow of sedimentary facies analysis in residual basins

参考文献:

[1] **刘光鼎. 试论残留盆地** [J]. **勘探家**, 1997, 2 (3): 1-4.
LIU Guang-ding. Preliminary discussion on residual basins [J]. Petroleum Exploration, 1997, 2 (3): 1-4.

[2] **顿铁军. 酒西盆地鸭儿峡地区变质岩储层研究** [J]. **西北地质**, 1995, 16 (2): 50-57.
DUN Tie-jun. Metamorphic rock reservoirs study in Ya'erxia, Jiuxi Basin [J]. Northwestern Geology, 1995, 16 (2): 50-57.

[3] **夏新宇, 陶士振, 戴金星, 等. 中国海相碳酸盐岩油气田的现状和若干特征** [J]. **海相油气地质**, 2000, 5 (1/2): 6-11.
XIA Xin-yu, TAO Shi-zhen, DAI Jin-xing, et al. The current situation and characters of marine carbonates oil & gas field in China [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5 (1/2): 6-11.

[4] **梁生正, 杨国奇, 田建章. 渤海湾叠合盆地大中型天然气田的勘探方向** [J]. **石油学报**, 2001, 22 (6): 1-5.
LIANG Sheng-zheng, YANG Guo-qi, TIAN Jian-zhang. The exploration orientation of large and medium sized natural gas pools in Bohaiwan polymerized basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22 (6): 1-5.

[5] **徐振中, 陈世悦, 王永诗. 渤海湾盆地中生代构造活动与沉积作用** [J]. **中国地质**, 2006, 33 (1): 201-211.
XU Zhen-zhong, CHEN Shi-yue, WANG Yong-shi. Mesozoic tectonic activities and sedimentation in the Bohai gulf area [J]. Geology in China, 2006, 33 (1): 201-211.

[6] **吴齐之, 王同和, 李明杰, 等. 中国油气盆地构造演化与油气聚集** [M]. **北京: 石油工业出版社**, 1997: 73-117.
WU Qi-zhi, WANG Tong-he, LI Ming-jie, et al. Tectonic evolution and hydyocarbon accumulation of petroliferous basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 73-117.

[7] Dahlstrom C D A. Balanced cross section [J]. Canadian Journal of Earth Science, 1969, 6: 743-757.

[8] Woodward N, Boyer S, Suppe J. Balanced geological cross-section: an essential technique in geological research and exploration [M]. Washington DC: American Geophysical Union, 1989: 6.

[9] **漆家福, 杨桥, 王子煜, 等. 关于编制盆地构造演化剖面的几个问题的讨论** [J]. **地质论评**, 2001, 47 (4): 388-392.
QI Jia-fu, YANG Qiao, WANG Zi-yu, et al. Some problems about compiling tectonic evolution sections of basin [J]. Geological Review, 2001, 47 (4): 388-392.

[10] **周建勋. 同沉积挤压盆地构造演化恢复的平衡剖面方法及其应用** [J]. **地球学报**, 2005, 26 (2): 151-156.
ZHOU Jian-xun. The balanced cross-section method for restroration of structural evolution in compressional basins with synkinematic sedimentation and its application [J]. Acta Geoscientic Sinica, 2005, 26 (2): 151-156.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net