

文章编号: 0253- 9985(2004) 01- 0106- 05

济阳坳陷古生界层序地层研究

李明娟¹, 张洪年², 胡宗全², 张福顺²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 运用层序地层理论与基准面旋回分析方法, 结合钻井、地震、测井方法, 将济阳坳陷古生界划分为 3 个超层序、14 个三级层序, 即馒头组- 亮甲山组超层序 A、下马家沟组- 八陡组超层序 B 和本溪组- 石千峰组超层序 C。根据层序在区域地震剖面上标定结果, 追踪解释 4 个超层序界面, 建立了济阳坳陷古生界等时地层格架。测井约束反演剖面上, 超层序显示清楚, 自下而上呈现低阻抗、高阻抗、低阻抗三分现象。层序界面的主要识别标志有不整合面、岩电性突变面、河流冲刷面、颜色突变面, 其中不整合界面为超层序分界面, 其余可作为三级层序的分界面。在此基础上, 确立了济阳坳陷地震层序的划分标准, 建立了济阳坳陷古生界层序地层沉积模式。

关键词: 济阳坳陷; 古生界; 层序地层; 沉积体系

中图分类号: TE111. 3 文献标识码: A

Study of Paleozoic sequence stratigraphy in Jiyang depression

Li Mingjuan¹ Zhang Hongnian² Hu Zongquan² Zhang Fushun²

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: The Paleozoic in Jiyang depression can be divided into three super-sequences and 14 third-order sequences by using sequence stratigraphy theory and cycle analysis of datum level, combining with drilling, seismic and logging methods. The super-sequences are the Mantou formation-Liangjiashan formation (A), the Xiamajiagou formation-Badou formation (B) and the Benxi formation-Shiqianfeng formation (C). According to calibration of sequences in regional seismic profiles, an isochronic framework of the Paleozoic sequence stratigraphy in Jiyang depression is established through tracing and interpreting the four super-sequence boundaries. The three super-sequences are clear in logging-constrained inverse profiles, showing low, high and low impedances from bottom to top, respectively. The main identification marks of sequence boundaries are unconformable surfaces, scouring surfaces of rivers, surfaces showing abrupt changes of litho-electric properties and color, of which unconformable surfaces are super-sequence boundaries, while others are boundaries of third-order sequences. Standards for dividing seismic sequences are defined and a sedimentation model is developed for the Paleozoic sequence stratigraphy in Jiyang depression

Key words: Jiyang depression; Paleozoic; sequence stratigraphy; sedimentary system

济阳坳陷位于华北地台的东部、渤海湾盆地南部。在古生代沉积期, 为华北地台的一部分, 总体属于稳定构造背景下的陆表海沉积^[1, 2]。济阳坳陷前第三系埋藏深度大, 受后期构造运动影响, 地层剥蚀、变形强烈。前人曾对华北地台古生界岩相古地理进行过初步研究^[1, 2], 但济阳坳陷古生界层序地层学的研究尚不够系统和深入。因此,

本文试图通过对济阳坳陷古生界层序地层的研究, 有助于推动该层系的油气勘探。

本次研究是将钻井、地震、测井紧密结合起来, 运用层序地层理论与基准面旋回分析方法^[3~ 6]对济阳坳陷古生界近 50 口井的测井、录井、钻井等资料进行详细分析, 尤其使用了新处理的 15 条地震大剖面, 基本覆盖了整个济阳坳陷内

的次级构造单元。测井约束反演技术的应用, 为深入研究济阳拗陷古生界层序地层内部特征发挥了重要作用。

1 层序地层划分

古生界层序界面的地质标志有: 不整合面、岩电性突变面、河流冲刷面、颜色突变面, 据此, 对本区的古生界进行了层序地层划分, 共划分出 3 个超层序和 14 个三级层序^[3~5](以下简称层序)(图 1)。

1.1 层序界面特征

超层序 A(层序 A- I) 的底界面(图 1), 即下古生界与下伏太古界之间的界面, 界面性质为一角度不整合面, 整个元古界和部分下寒武统在本区缺失。界面之下岩性为区域性变质岩, 之上为海相碳酸盐岩地层。*GR* 曲线自下而上由高值变为低值, 界面处有明显的岩电性突变特征。由于变质岩的速度与碳酸盐岩的速度相近, 因此界面的地震反射特征为弱反射。

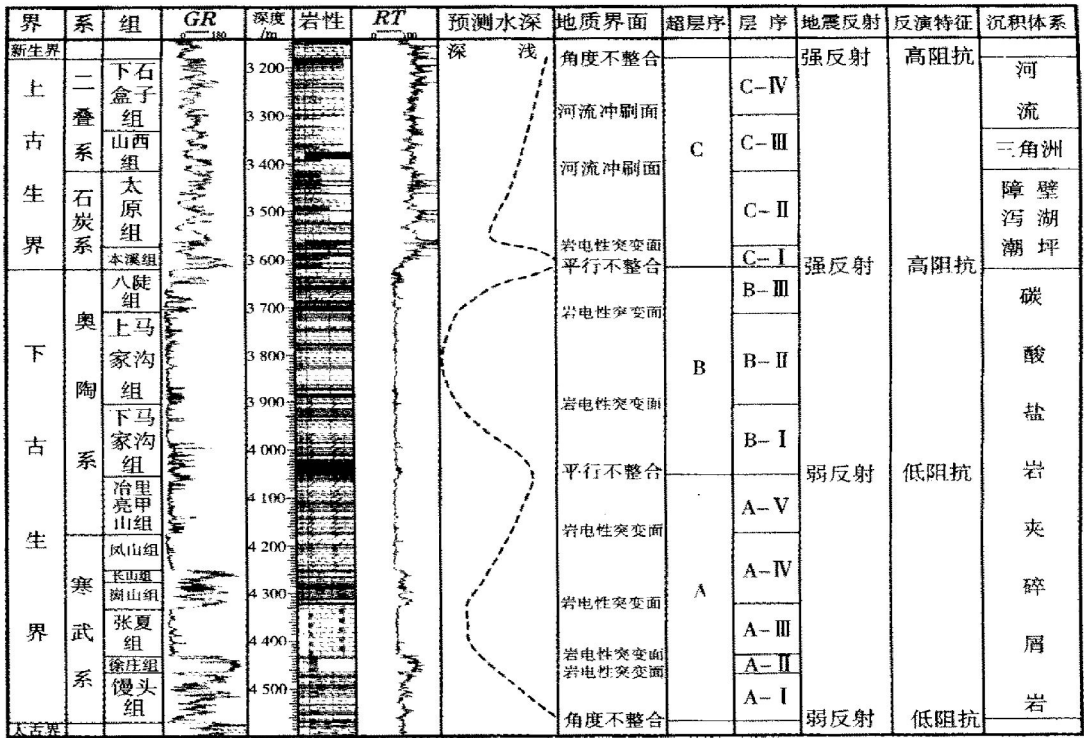


图 1 车古 202 井层序地层划分综合柱状图

Fig. 1 Composite columnar section showing sequence stratigraphy in Chegu 202 well

层序 A- II 底界面为一岩电性突变界面, *GR* 曲线由界面之下的指状箱形低值变为界面之上锯齿状箱形高值。

层序 A- III 底界面为岩、电性突变面, 由下而上, 岩性由徐庄组页岩变为张夏组的鲕粒灰岩; *GR* 曲线由界面之下的高值变为界面之上的基线低值, *RT* 曲线则由低值变为高值。

层序 A- IV 底界面为岩、电性突变面, 由下而上, 岩性由张夏组鲕粒灰岩转变为崮山组灰岩、白云岩; *GR* 曲线由界面之下的基线变为界面之上的高值, *RT* 曲线则由高值变为低值。

层序 A- V 底界面为岩、电性突变面, 岩性由灰岩、泥灰岩转变为白云岩, *GR* 曲线上由指状变为

基线。

超层序 B(层序 B- I) 的底界面为发生在亮甲山期后的怀远运动不整合界面。该界面沉积间断时间相对较短, 仅缺失亮甲山组顶部地层。岩、电性表现为突变特征, 界面之下岩性主要为白云岩, *GR* 曲线为低值, 之上泥质含量增加, *GR* 曲线变为密集刺刀形。地震上是弱反射特征。

层序 B- II, B- III 与层序 B- I 界面特征类似。

超层序 C(层序 C- I) 底界面为上、下古生界之间的平行不整合界面, 期间缺失了晚奥陶纪至早石炭世的沉积, 沉积间断长达 1.3×10^8 a。岩性由界面之下的块状灰岩变为界面之上的泥岩、灰岩交互沉积, *GR* 曲线自下而上由低值变为锯齿状高

值。地震同相轴为凹凸不平的强反射特征。

层序 G- II 底界面为一岩、电性突变界面,岩性由泻湖相泥岩、碳酸盐岩陆棚变为粗粒分支河道砂岩。经研究,该砂岩在全区稳定分布,只是厚度、粒度变化较大。

电测曲线上为一突变界面,底部砂岩具有阶梯状箱形特征,其包络线向上降低,显示为退积式叠置的。

从剖面结构上看,该界面之上的一套砂岩,岩性逐渐变细,典型正粒序特征;砂岩厚度逐渐减少,体现了水体不断加深地层向陆退积的演化。

层序 G- III 底界面为海水大面积退出,河流入海,三角洲形成时期形成的河道冲刷界面。

岩性显示为突变特征,由下伏太原组泥炭沼泽相泥岩、碳质泥岩薄砂岩等突变为山西组的砂岩、含砾砂岩。砂岩底界面常为河道下切作用形成的区域性冲刷面。

GR 曲线上为一突变界面,由界面之下的钟型转变为之上的箱形。

层序 G- IV 底界面为河道下切作用形成的区域性冲刷面。岩性由界面之下的泥炭沼泽相的煤层、碳质泥岩、薄泥岩和砂岩等转变为界面之上的河道砂岩。

从剖面结构上看,界面之上的一套砂岩,砂层向上有所变厚;GR 曲线上表现为漏斗型,其包络线向上逐渐增大,显示地层叠置是弱进积式。

层序 G- V 底界面为河流作用形成的区域性冲刷面。岩性由粒度较细的砂、泥互层变为粒度粗的砂岩。层序底部的一套砂岩,向上粒序变细,砂层变薄,GR 曲线显示为钟型,说明水体向上变深。

层序 G- VI 底界面为石千峰组底界面,石千峰组为一套红层,与下伏上石盒子组存在显著差异,是一种由气候和物源供应差异造成的沉积界面。

超层序 C(层序 G- VI) 顶界面为发生在中、新生代的构造运动造成的一个古生界残余顶面,该界面是多期构造运动的产物,沉积间断和剥蚀地层平面变化很大,总体为一角度不整合界面。地震反射为强反射。

1.2 层序地层特征

1.2.1 超层序 A

超层序 A 发生在寒武纪馒头期的海侵,是在准平原化基底上开始进入本区。海水带来了大量的陆源泥质,与海相碳酸盐岩交互沉积,单层厚度

薄,反映海平面频繁升降,电测曲线上表现为大幅震荡,随着海水不断入侵,至张夏期,海侵达到最大,海水动荡,沉积了巨厚的鲕粒灰岩,电测曲线为平直;之后,水体变得较为宁静,陆源碎屑物质含量不断增加,沉积了页岩、灰岩、泥灰岩互层;到冶里-亮甲期,岩性主要为白云岩,说明海水在不断退出。GR 曲线出现 3 个由高到低的旋回特征,自下而上高值幅度变小,反映泥质含量由多变少。

根据岩电性变化特征在 A 中划分了 5 个层序,分别为层序 A- I(相当于馒头组)^[6,7]、层序 A- II(相当于毛庄和徐庄组)、层序 A- III(相当于张夏组)、层序 A- IV(相当于崮山、长山和凤山组)、层序 A- V(相当于下奥陶统的冶里-亮甲山组)。

1.2.2 超层序 B

超层序 B 包括下马家沟、上马家沟和八陡早期,灰质泥岩、白云岩和石膏质白云岩,水体很浅,晚期沉积以灰岩为主,水体较深,构成了 3 个海进旋回^[1],3 个旋回构成一个超层序,上马家沟沉积期,海侵范围最大,为该超层序的最大海侵期。GR 曲线存在 3 个旋回,每个旋回由下部密集刺刀形向上变为锯齿状低值,反映泥质含量由多变少。

根据沉积旋回特征划分为 3 个三级层序,分别为层序 B- I(相当于下马家沟组)、层序 B- II(相当于上马家沟组)、层序 B- III(相当于八陡组)。

1.2.3 超层序 C

华北地台在经历了长期的风化剥蚀后于中石炭世地壳开始下降而遭受海侵,在准平原化陆表海基底上,本溪期主要沉积碳酸盐岩陆棚和泻湖相泥岩,水体较深;进入晚石炭太原期,水体变浅,陆源碎屑含量增加,主要为障蔽-泻湖-潮坪沉积,石炭纪晚期,气候温暖潮湿,煤层发育,整体表现为海陆交互相沉积。到了二叠纪,海水基本退出,而演化为三角洲、陆地河流沉积环境。根据岩电性、河流冲刷面、颜色等特征,进一步将超层序 C 划分为 6 个三级层序,图 1 中车古 202 井上部两个三级层序已遭剥蚀。其他 4 个三级层序分别为层序 C- I(相当于本溪组)、层序 C- II(相当于太原组)、层序 C- III(相当于山西组)、层序 C- IV(相当于石千峰组)。

从推测的水深曲线说明 3 个超层序海进、海退程度各不相同,超层序 A 海进、海退速度相近;超层序 B 海水进退速度相对较快,水体持续高位时间较长,海水进侵范围大;超层序 C 海侵速度较

快, 高位期持续时间很短。总体来说, 超层序 B 海水在高位期水体最深, 持续时间最长, 超层序 C 在高位期水体最浅, 持续时间最短。

2 地震层序的划分与解释

针对深层处理的 15 条区域大剖面拼接剖面一千多条, 新的处理技术解决了多条剖面的拼接问题。处理后的剖面信噪比较高, 为古生界层序

地层学的研究创造了条件。

2.1 层序标定

应用测井声波曲线制作的合成地震记录可将钻井层位、单井层序的划分标定到地震剖面上, 为了更好地分析超层序界面及内部特征, 应用波阻抗剖面进行层序的标定(图 2)。3 套大的颜色层段的突变界面正好对应超层序界面, 从而进一步验证超层序界面划分的正确性。

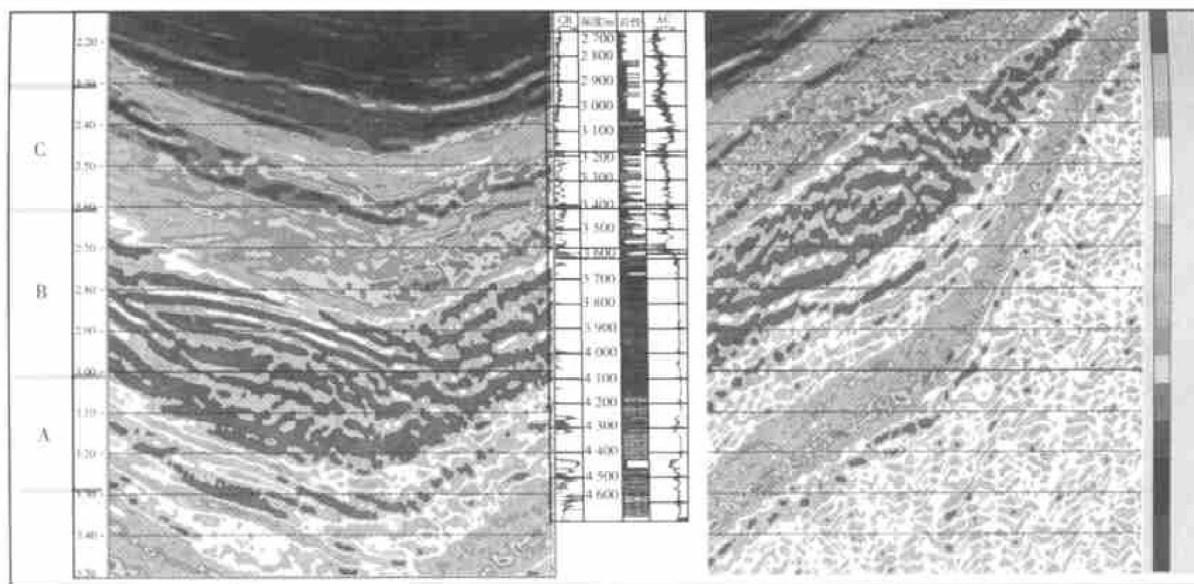


图 2 过车古 202 井波阻抗剖面古生界层序地层划分

Fig. 2 Division of Paleozoic sequence stratigraphy in impedance profile crossing Chegu 202 well

波阻抗值的大小主要反映储层物性参数—层速度的大小, 即阻抗值越大, 层速度值越大。剖面整体表现为超层序 C 的波阻抗值最低, 超层序 B 的波阻抗值最高, 超层序 A 介于二者之间。超层序 A, 中等阻抗, 对应平直测井曲线段与跳跃层交互的碳酸盐岩、页岩组合; 超层序 B, 高阻抗, 对应平直 AC 和低 GR 的碳酸盐岩; 超层序 C, 低阻抗, 对应测井跳跃层段的砂、泥、煤、薄层碳酸盐岩混积。通过对该区钻遇古生界井的层速度统计: 超层序 C 主要分布范围 4 000~5 000 m/s, 超层序 B 为 6 200~6 800 m/s, 超层序 A 为 4 100~6 800 m/s, 统计结果与反演结果相吻合。进一步分析可以发现, 在超层序 A 中, 底部波阻抗值较高的层段应为灰岩和白云岩集中段, 中间强的波阻抗值推测主要为张夏灰岩的反射, 期间相对低值的层段主要为页岩段的反射。在超层序 B 中, 波阻抗特征没有明显的分界, 为高的波阻抗值, 主要由于该沉积

期, 地层稳定沉积, 岩性主要为厚层灰岩和白云岩, 通过对该区各类岩性的速度统计, 二者的层速度值高而差别很小。在超层序 C 中, 上部存在明显的阻抗低值, 推测为河流相沉积的泥岩反射。

2.2 等时格架的建立

图 3 为 L568 测线的超层序界面解释结果, 剖面右侧, 断层多, 反射非常凌乱, 在断层 F 的下降盘超层序的界面特征和内部特征比较清楚。A 层序中下部, 地震同相轴平行、连续、强反射, 揭示了超层序 A 灰岩、页岩交替发育的地层特征; 层序上部反射变弱、同相轴不连续, 推测主要由灰岩—页岩互层演化为碳酸盐岩。超层序 A、B 的界面反射相对变弱, 界面上下层速度差值较小, 说明该界面由沉积间断造成。超层序 B 整体反射较弱, 显示该沉积期, 岩性组合较为单一, 地层沉积比较稳定, 表现在电测曲线上整体变化幅度较小。超层序 B 和超层序 C 的界面为强反射, 是由于界面上

下速度差别较大造成。超层序 C 在剖面的上翘方向变薄、尖灭,反射特征与超层序 A 类似,下部同相轴表现为平行、连续、强反射,主要反映海陆交互沉积特征;中上部为不连续弱反射,为三角洲平原和河流沉积,局部强反射应为砂体反射。

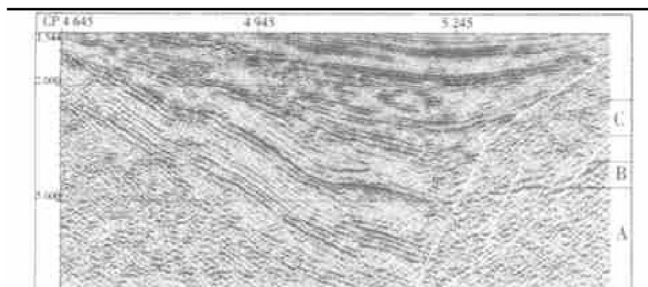


图3 L568 测线超层序解释剖面

Fig. 3 Seismic profile of super sequences along the L568 line

在单井层序标定的基础上,对济阳坳陷 15 条地震剖面 4 个超层序界面进行了追踪解释(图 4),建立了济阳坳陷古生界超层序等时地层格架。

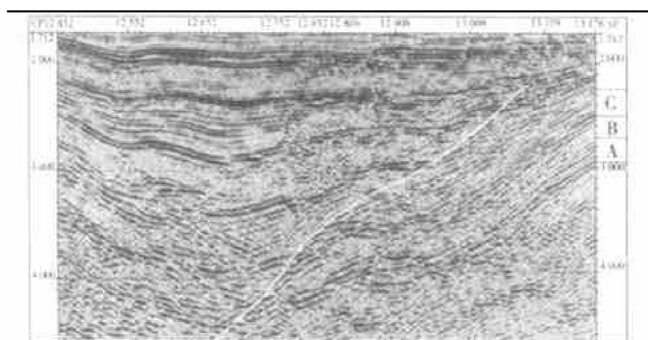


图4 X159.6 测线超层序解释剖面

Fig. 4 Seismic profile of super sequences along the X159.6 line

3 几点认识

(1) 济阳凹陷在古生界沉积期,为华北地台的一部分。依据 4 个不整合界面和可将古生界划分为 3 个超层序。3 个超层序均于准平原化基底上开始接受沉积^[11]。

(2) 超层序 A 主要岩性组合为碳酸盐岩与页岩交互,测井上表现为稳定层段与跳跃层段的反复,地震同相轴以稳定强反射为特征,阻抗以中等

为主;超层序 B 主要岩性组合为灰岩和白云岩,测井主要为平直层段,地震反射较弱,为高阻抗;超层序 C 主要岩性组合为泥岩-砂岩-煤-碳酸盐岩组合,测井以跳跃层段为主,地震反射在下部含煤层段较强,阻抗主要为低值。

(3) 超层序 A 沉积期,水体较浅,海水动荡,烃源岩总体不发育。但层序顶部沉积的亮甲山组(A-V 层序)主要岩性为白云岩,是潜山油气藏重要储集层段。超层序 B 在上马家沟沉积期海侵达到最大,发育的泥灰岩有机质相对较高,是潜在的烃源岩;本区在中奥陶世之后发育多期岩溶作用,是潜山最重要的储层类型,也是济阳坳陷寻找下古生界潜山油气藏的主要目的层。超层序 C 下部暗色泥岩、煤层发育,为很好的气源岩,上部河流砂体发育,有望找到自生自储油气藏。

参 考 文 献

- 1 宋国奇,徐春华,黄永玲.胜利油区古生界地质特征及油气潜力[M].武汉:中国地质大学出版社,2000.1~35
- 2 尚冠雄.华北地区晚古生界煤地质学研究[M].山西太原:山西科学技术出版社,1997.91~155
- 3 Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. 层序地层学基础综述和关键定义[A].见:威尔格斯 C K.层序地层学原理(海平面变化综合分析)[C].徐怀大,魏魁生,洪卫东,等译.北京:石油工业出版社,1993.49~55
- 4 Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions[A].In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea level changes: an integrated approach[C].SEPM Special Publication. 1988, 42: 39~45
- 5 樊太亮,李庆谋.基准面旋回变化分析技术及其在应用[J].石油与天然气地质,1997,18(2):108~114
- 6 曹颖辉,池英柳,薛良清.沉积基准面在层序划分及油气藏预测中的应用[J].石油与天然气地质,2002,23(2):154~158
- 7 樊太亮,刘金辉.塔里木盆地北部震旦系-古生界层序地层特征[J].石油与天然气地质,1997,18(2):120~127
- 8 翟爱军,邓宏文.鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测[J].石油与天然气地质,1999,20(4):336~340
- 9 张年富,齐雪峰,王英民.准噶尔盆地侏罗系 III 层序底界上下砂岩预测与有利区评价[J].石油与天然气地质,2002,23(2):145~149
- 10 朱筱敏,康安,张琴.准噶尔盆地东北缘含煤岩系层序地层与隐蔽圈闭[J].石油与天然气地质,2002,23(2):121~126
- 11 胡宗全,李明娟.准噶尔盆地西北缘侏罗系层序模拟与沉积相演化特征[J].石油与天然气地质,2003,24(4):351~355