

doi: 10.3799/dqkx.2010.010

二连盆地层序地层单元统一划分 及格架层序地层学

梁宏斌¹, 吴冲龙^{2,3*}, 李林波¹, 毛小平⁴, 白生平¹

1. 中国石油华北油田公司勘探开发研究院, 河北任丘 062552

2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

4. 中国地质大学能源学院, 北京 100083

摘要: 在剖析二连盆地层序地层学研究现存问题的基础上, 将构造地层学、成因地层学和层序地层学的理论、方法结合起来, 把具有区域对比意义的盆地世界面和盆地原型界面分别作为一级层序和二级层序的界面, 把盆地(或凹陷)原型的每一个裂陷—反转旋回(亚原型)作为三级层序, 把沉降—充填单元作为四级层序, 尝试在构造—地层格架约束下进行层序地层格架分析, 而在层序地层格架约束下进行成因地层格架分析。其优点是既吸取了经典海相层序地层学的等时地层界面、层序旋回和可容空间分析等精髓, 又摒弃了不适合陆相裂陷盆地的海平面升降变化及体系域等部分内容, 便于建立全盆地统一的层序地层格架, 也便于揭示各层序地层单元的沉积特征、沉积演化史和不同构造岩相带的油气成藏条件, 有助于提高对有利储集相带和有利储集体分布规律及其区域性差异的认识, 进而有助于建立有指导意义的成藏预测模式。通过二连盆地各凹陷的实际分析, 建立了可对比的、有规律可循的、统一的分级层序界面系统及层序地层格架。

关键词: 层序地层学; 层序地层格架; 层序级别; 层序界面; 格架层序地层学; 陆相盆地; 二连盆地。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2010)01-0097-10

收稿日期: 2009-11-13

Unifying Division of Sequence Stratigraphy Unit and Framework Sequence Stratigraphy of Erlian Basin

LIANG Hong-bin¹, WU Chong-long^{2,3*}, LI Lin-bo¹, MAO Xiao-ping⁴, BAI Sheng-ping¹

1. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Huabei Oil Field Company, Renqiu 062552, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract Based on analyzing the previous problems relative to sequence stratigraphy researches on Erlian basin, this paper associated with the theories and methods of tecto-stratigraphy, genetic stratigraphy and sequence stratigraphy. We take the boundaries of basin generation and boundaries of basin prototype with regional correlative significations as first-order and second-orders in the scenario of framework sequence stratigraphy. And every cycle (para-type basin) representing rift and tectonic inversion within basin (or depression) type is divided as third-order sequences and the subsidence-filling unit as fourth-order sequences. This paper is to analyze sequence stratigraphic framework based on the restriction of tectonic-sedimentation, and to analyze genetic stratigraphic framework under sequence stratigraphic framework. The merits in the scenario of framework sequence stratigraphy are that it inherits the analysis of chronostratigraphic boundary, sequence cycle and accommodation within marine sequence stratigraphy, and abandon part component of sea level change and systems tracts in marine setting that are unsuitable in continental rift basin. Such scenario is convenient to construct the unifying sequence stratigraphic framework abroad entire basin, and to express sedimentary characteristics and developments of every sequence stratigraphic unit as well as hydro-

基金项目: 国家重大专项课题(Nos. 2008ZX05051-04, 2008ZX05005-002-06); 华北油田“十一·五”先导性科技研究项目(No. WX20070301)。

作者简介: 梁宏斌(1963—), 教授, 主要从事油气资源勘查评价研究。*通讯作者: 吴冲龙, E-mail: wucl@cug.edu.cn

carbon pool forming conditions located on different structure-lithofacies zones. In the meantime, this scenario will help to promote cognizing distributions and regional differences of favorable reservoirs and their facies belts so as to establish the significant model of hydrocarbon pool formation and accumulation. Based on practical analyses in all sags within Erlian basin, this paper has constructed correlative obviously disciplinary and unifying boundary-ordered systems and correlative sequence stratigraphic framework.

Key words: sequence stratigraphy; sequence stratigraphic framework; sequence order; sequence boundary; framework sequence stratigraphy; continental basin; Erlian basin.

二连盆地由50多个早白垩世小凹陷组成(图1),具有多世代转化、多原型叠加(朱夏等,1983;张渝昌等,1997)的残留型盆地特点,而且每个原型都显示早期裂隙、晚期压陷的地堑或半地堑(箕状)特征。各凹陷在沉积上都是独立的,具有物源多且搬运路程短的特点,陡缓两侧的相带狭窄且变化急剧。该盆地具有较好的油气资源潜力(张文朝等,2002;赵贤正等,2007),主要烃源岩为侏罗系、阿尔善组和腾一段中的湖相泥岩段,而有利储集体是阿尔善组上部、腾一段上部和腾二段下部的砂体;其油气藏分布受构造背景、凹陷结构类型、发育史、烃源层和储集相带等因素控制。随着勘探重点全面转入地层-岩性复合油藏和构造-岩性复合油藏,迫切需要在大量三维地震资料和新钻井资料的基础上,进一步建立该盆地的统一层序地层格架,查清不同沉积体系形成的分布规律及控制因素,阐明有利相带和有利储集体的时空分布规律,为有利勘探方向

和目标预测提供依据。

1 二连盆地层序地层学研究存在问题及可能原因

最近十多年来,不少研究者采用层序地层学理论和方法对二连盆地进行了研究,获得了一些初步成果,但仍有如下问题亟待解决:(1)缺乏相对统一的旋回界面和层序界面,导致同一时期、同一地球动力学机制下形成的各凹陷出现不同的层序划分方案;(2)所建立的层序地层格架与该凹陷的成因地层格架、构造地层格架没有协调起来;(3)未建立普遍适应性的层序地层格架模式,更未进一步建立各凹陷优质储层(储集体)及优质生储盖组合的层序地层学预测模式。造成这些问题的原因可能在于简单地采用了海相层序地层学的分析方法,与陆相盆地的实际情况紧密结合不够,迄今为止也还没有系统地

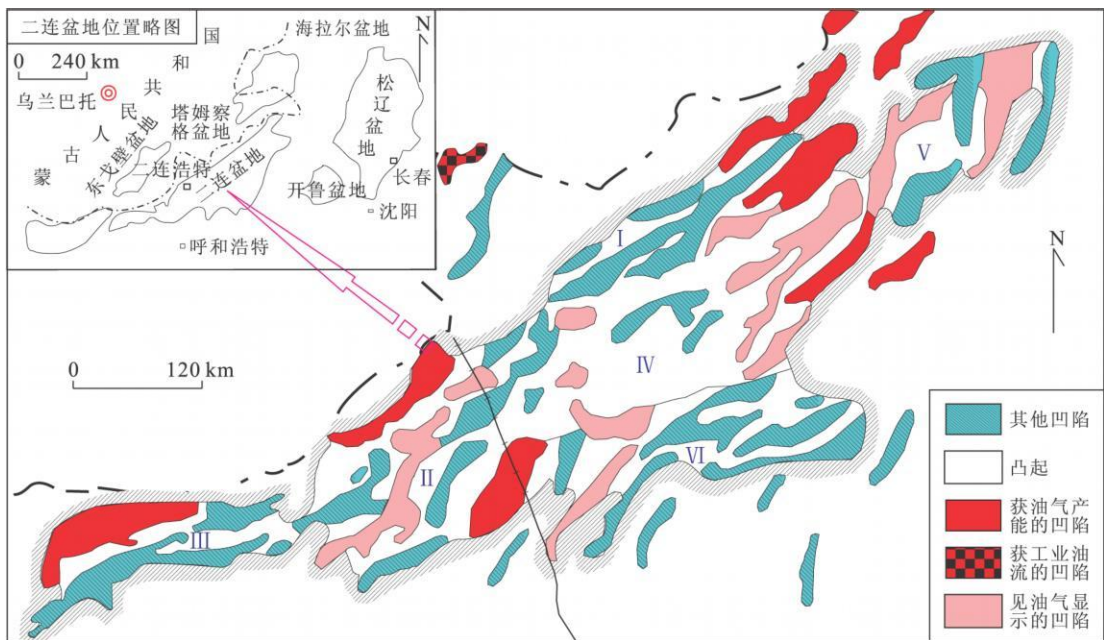


图 1 内蒙古自治区二连盆地各凹陷分布

Fig. 1 Location of each sags in the Inner Mongolian Erlian basin

I. 马尼特坳陷; II. 乌兰察布坳陷; III. 川井坳陷; IV. 苏尼特隆起; V. 乌尼特坳陷; VI. 腾格尔坳陷

开展过这些凹陷之间及其同类盆地之间的类比分析。

海相层序地层学的精髓在于层序划分及可容空间确认。前者可以有效地避免盆地含油岩系分析的穿时现象,其关键是层序界面的分级划定,即各级不整合面及其相当的整合面识别;而后者能有效地解释沉积体和沉积相带时空结构及其演化特征,其关键是沉积基准面的划定及其与海平面升降变化关系的识别。因此,层序地层学的研究与应用,可以显著地提高对海相盆地的烃源岩、储集层、封盖层以及油气资源丰度和潜力的预测水平。然而,由于这种起源于海相含油岩系研究的层序地层学,已经深深地打上了海相盆地的烙印,并不完全适合于陆相裂陷盆地(王婧韬, 2004)。许多研究者很早就注意到了这个问题,并且从不同方面进行探讨和改进,提出了陆相层序地层学(Posamentier and Vail, 1988; Shanley and McCabe, 1994; 刘招君等, 2002)和综合地层学(谢晓军等, 2009)的概念,并将层序与盆地构造演化及其幕式充填演化联系起来(李思田等, 1992; 任建业和焦贵浩, 1999),甚至提出了按构造运动面划分构造层序(吴冲龙和李绍虎, 1994^①; 李思田等, 1995)和格架层序地层学的概念(吴冲龙和李绍虎, 1994^①)。这是因为,中国的陆相盆地大多具有多世代转化、多原型叠加的特征(朱夏等, 1983),在每个世代和每个原型之间均有与区域构造运动级次相应的可以在一定范围内进行对比的不整合面。根据层序地层学的基本原理,它们应当分别成为划分各个级别层序的界面,但要顾及这个情况,就需要开展盆地构造分析、区域对比和构造—地层格架研究。然而,多数层序地层学研究者却常常忽略这个问题,这可能是造成对二连盆地各个凹陷各相应级别的层序界面认识不一致的原因。

在层序内进行小层序和体系域的识别和划分,是海相层序地层学分析的基本方法。在陆相裂陷盆地的层序地层分析中,由于套用海相体系域概念和分析方法,尽管提出了补充性的“湖退体系域”新概念,但是仍然无法全面地反映湖泊发育前和萎缩后的沉积相时空结构及其演化。因为这种做法将湖面等同于海面,把沉积物可容空间局限于湖面变化区及其附近,而实际上湖泊只是盆地沉积环境的一部分,而且仅存在于盆地生命周期中的一个阶段。在湖

泊发育前的填平补齐阶段、湖泊发育阶段的早期和湖泊萎缩后的平原化阶段,盆地内沉积物可容空间的变化和沉积相的时空结构主要受基底构造差异沉降控制,而与湖面升降变化无关。因此,这种以海平面升降为沉积物可容空间主控因素,或者用与湖面相关的“地层基准面”约束可容空间的方法,不能描述湖泊发育前、湖泊发育早期和平原化阶段的全盆冲积扇—河流—洪泛平原体系域。不仅如此,即便是在湖泊发育阶段也有失偏颇。例如,不少研究者把砂体厚度作为湖面升降的标志,将扇三角洲、辫状河三角洲和曲流河三角洲的进积、侧向迁移,甚至三角洲前缘的滑塌和浊流作用引起的砂体厚度变化,都当成是湖面升降的结果。由于这类盆地(或凹陷)的相变急剧、砂体进退和侧向迁移频繁,在相邻钻井岩性柱状图或相邻地质剖面图上,便解释出了许多不同的小层序、体系域和基准面升降曲线。不仅在二连盆地,而且在几乎所有的陆相裂陷盆地(或凹陷),普遍出现了对体系域的认识因人而异、因井而异、因剖面而异,甚至与沉积相和沉积环境分析相脱节的情况。这是应当加以正视的。

2 格架层序地层学与高级别层序地层单元划分

针对上述问题,本文尝试采用格架层序地层学分析法(吴冲龙等, 2009),来进行二连盆地各凹陷的地层序地层分析。其要点是:根据区域构造演化、盆地构造演化和区域—地层对比结果,构建盆地(或凹陷)的构造—地层格架,把沉积盖层划分为世代地层单元(一级层序或巨层序)、原型地层单元(二级层序或超层序、大层序组)、裂陷旋回单元(三级层序或大层序)和沉降充填单元(四级层序或层序)等 4 个级别。其中,世代地层单元(一级层序)的界面为大地构造运动面(不整合面),原型地层单元(二级层序)的界面为区域性构造运动面(不整合面),裂陷旋回单元(盆地亚原型, 三级层序)的界面为盆地反转不整合面,而沉降充填单元(四级层序)的界面为沉积相组合界面(图 2)。陆相裂陷盆地(或凹陷)层序地层单元的主要控制因素,是同沉积构造运动体制、基底沉降和气候条件,而非湖面升降,更与海平面无关。其高级别层序地层单元分析不应单独进行,而应与盆地构造—地层格架分析结合起来,并且在盆地构造—地层格架的约束下进行。

①吴冲龙, 李绍虎, 1994. 大型含油气盆地层序地层学研究. 国家七五重大科技攻关项目《天然气预测勘探技术研究》二级课题(85-101-01-01-01)研究报告, 武汉。

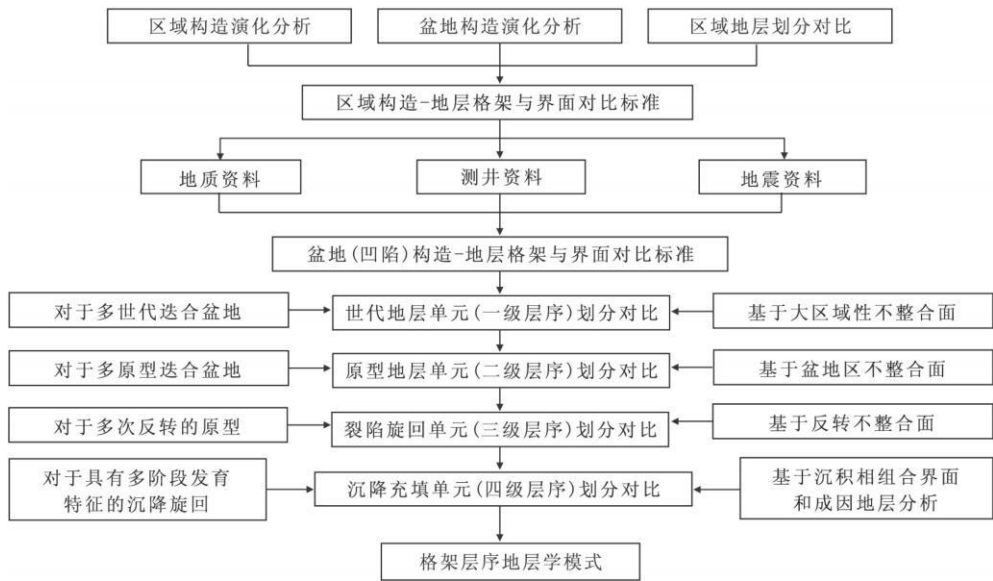


图 2 以构造—地层格架分析为主线的格架层序地层学建模思路(吴冲龙等, 2009)

Fig. 2 Sequence stratigraphic model based on the structure-stratigraphy framework analysis

二连盆地处于多世代、多原型叠加的盆地发育区,其大地构造位置在中朝板块与西伯利亚板块相互交接和相互作用的缝合线上,是在兴—蒙海西期多旋回、软碰撞褶皱基底上发育起来的裂陷盆地群,属于早白垩世东北亚裂陷盆地的组成部分(李思田等, 1987)。基于上述格架层序地层学建模思路,该盆地可划分为晚古生代和中—新生代两个盆地世代,其盖层可相应地划分为两个巨层序,即晚古生界巨层序(ESQ1)和中—新生界巨层序(ESQ2), T_g 为其分界面。其中,中—新生代盆地包含着 3 个陆相裂陷盆地原型: 侏罗纪裂陷盆地原型、白垩纪裂陷盆地原型和古—新近纪裂陷原型,因此中—新生界巨层序可划分为 3 个超层序——侏罗系超层序(SSQ1)、白垩系超层序(SSQ2)和古—新近系超层序(SSQ3)。超层序的界面为 T_{11} 和 T_2 (图 3),相当于阿尔善组(K_{1ba})底面和赛汉塔拉组(K_{1bs})顶面,在区域上可分别与辽西义县组(K_{1y})底面和海州组(K_{1h})顶面对比。

白垩系超层序是二连盆地的主要含油岩系和勘探对象。白垩纪裂陷原型包含着 3 个裂陷—反转旋回,即 3 个裂陷亚原型,所以该超层序可进一步划分为 3 个大层序——阿尔善组—腾一段裂陷—反转旋回与大层序、腾二段裂陷—反转旋回与大层序、赛汉塔拉组裂陷—反转旋回与大层序(图 3),相互间界面为 T_6 和 T_3 ,在区域上可能分别相当于辽西九佛堂组(K_{1j})底面和沙海组(K_{1sh})底面。这里需要指

出的是,前人将 T_8 作为区域不整合面,当作盆地原型演化的大阶段转换界面,而将 T_6 视为局部的不整合面,忽略了它在盆地演化过程中的地位。笔者通过对二连盆地几个重点凹陷的地震资料分析,发现 T_6 是带有全盆地意义的大型角度不整合面(图 4),应当作为盆地原型演化的大阶段转换界面——裂陷—反转旋回(亚原型)界面。相反,沿着 T_8 出现的角度不整合现象多数表现为平行不整合或假整合,为裂陷旋回的内部界面,可能仅具有局部意义。

高级别(一、二、三级)层序划分的关键环节,是各凹陷中的各级层序地层界面识别及其在凹陷间的对比和确认。为此,在具体工作过程中,需将地震资料与单井岩心柱、测井曲线分析结合起来,建立各凹陷典型的联井对比剖面,确保层序地层界面划分的正确和统一。

3 二连盆地四级层序地层单元(沉降—充填单元)的划分

已有的研究(吴冲龙等, 2001)表明,小型陆相裂陷盆地(或凹陷)的基底裂陷并非一种短暂的“瞬间拉张”过程,而是由弱渐强并在达到极点后迅速减弱并停止;其拗陷作用与裂陷作用基本上同时开始,并且一开始就具有较高的速率,但其衰减速率较裂陷作用慢,可以一直延续到盆地(或凹陷)衰亡阶段。中国中—新生代陆相裂陷盆地(或凹陷)的典型构造演

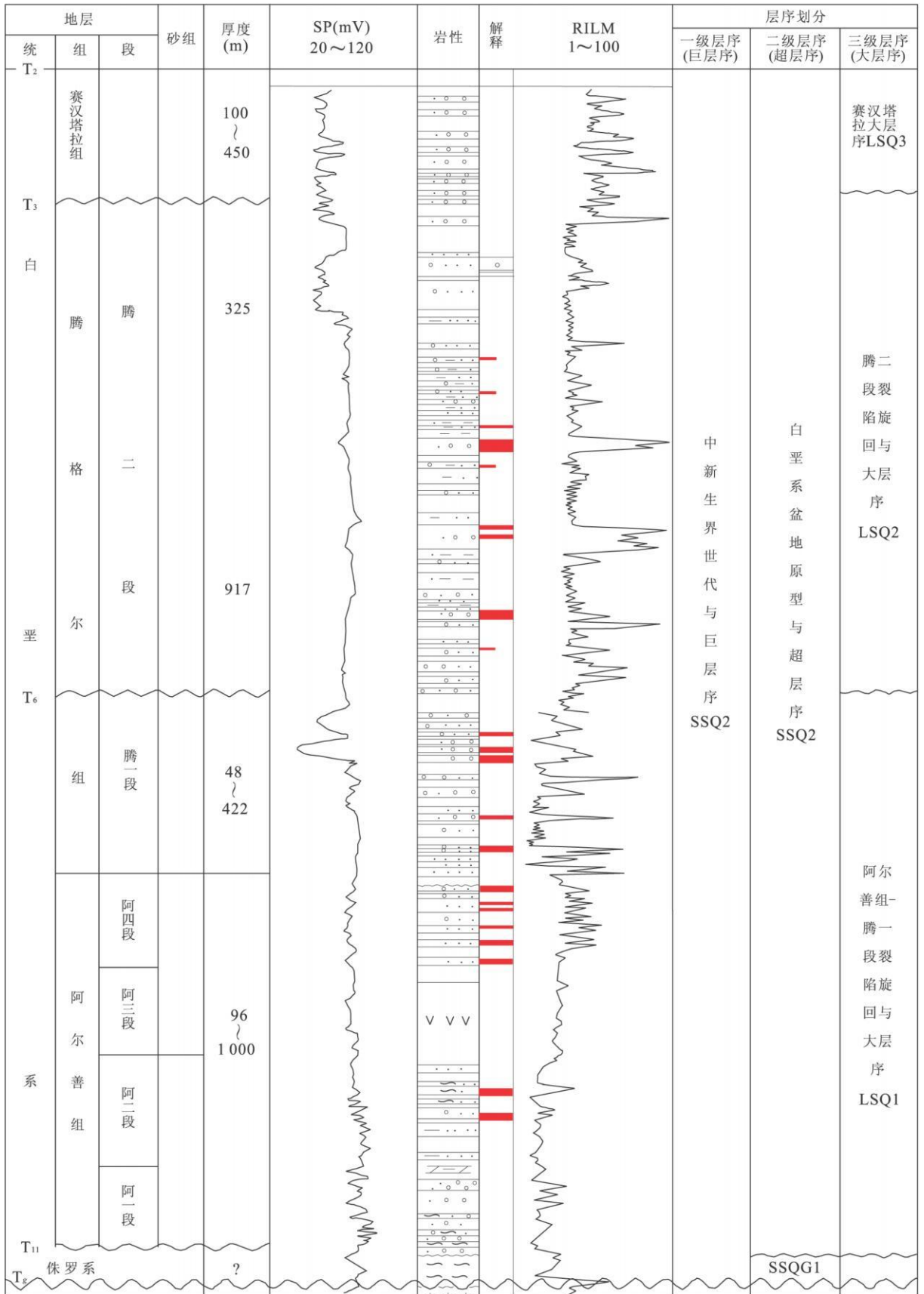


图 3 二连盆地各凹陷统一层序地层单元划分方案(以洪浩尔舒特凹陷为例)

Fig. 3 Scheme for the sequence stratigraphic unit recognition in the Erlian basin

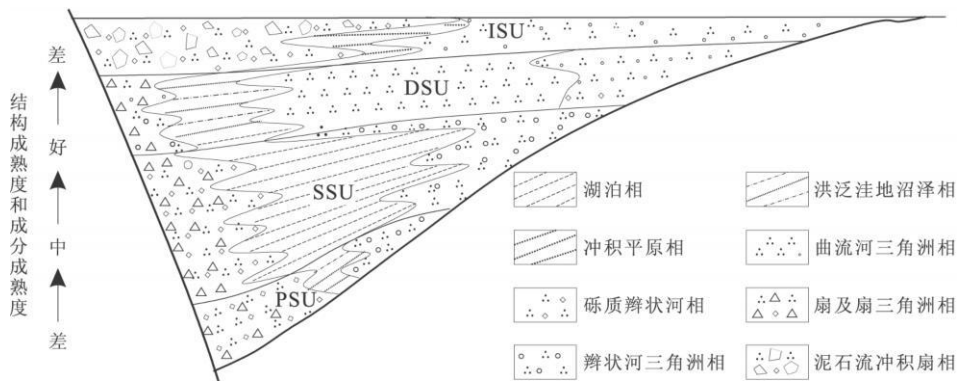


图 4 陆相盆地(凹陷)裂陷旋回的沉降—充填单元的结构与成熟度演化模式(吴冲龙等, 2009)

Fig. 4 Subsidence-filling unit configuration in the rifting cycle of continental basin (sag) and its maturity evolution pattern

化可划分为 6 个阶段: 慢速裂陷和加速拗陷→加速裂陷和快速拗陷→快速裂陷和快速拗陷→减速裂陷和减速拗陷→裂陷终止和慢速拗陷→慢速拗陷和拗陷终止. 其结果形成了颇具特色的“下断上拗”结构. 作者曾以抚顺盆地为例, 通过动力学模拟论证了这种二元结构的形成, 是区域构造应力场转变使裂陷作用中断, 而拗陷作用仍在继续所造成的. 采用同沉积构造格架分析、基底沉降史反揭和热衰减模拟相结合的方法, 计算出“上拗”部分所需的巨大沉积空间, 有 40%来自于下伏沉积物的压实, 60%来自于盆地基底的长期低速拗陷, 并非热衰减造成. 基于上述分析, 拗陷作用的终止可能是新一轮深部热事件及其伴随的巨厚辉绿岩床侵入, 导致岩石圈热衰减和重力均衡调整的逆转.

考虑到二连盆地各凹陷的实际沉积—充填特征, 上述 6 个构造演化阶段可以归纳为 3 个沉降—充填演化阶段, 即初始沉降—填平补齐阶段、快速沉降—湖泊发育阶段、减速沉降—平原化阶段. 一般来说, 每一个裂陷盆地(或凹陷)原型可以有一个或一个以上的裂陷旋回, 而每一个裂陷旋回大致经历上述 3 个大的沉降—充填阶段, 可形成总体下粗、中细、上粗的充填序列. 如果盆地在演化后期出现构造反转, 便会有第 4 个沉降—充填演化阶段——反转沉降—后续沉积阶段. 因此, 一个完整的裂陷旋回(大层序)可划为 4 个沉降—充填单元(图 4), 即 4 个层序(吴冲龙等, 2009):

初始沉降—充填单元(PSU—preliminary subsidence-filling unit; 总体上表现为下粗段);

快速沉降—充填单元(SSU—speediness subsidence-filling unit; 总体上表现为中细段);

减速沉降—充填单元(DSU—decelerate subsidence-filling unit; 总体上表现为上粗段);

反转沉降—充填单元(ISU—inverse subsidence-filling unit; 总体上表现为顶极粗段).

由于构造反转发生的时间, 以及反转后的变形强度和剥蚀量的不确定性, 每一个裂陷旋回(大层序)上部和顶部的沉降—充填单元(层序)的存留程度不尽相同, 加上二连盆地处于东北亚盆地系的中心, 构造反转在沉积物中的响应不是很强烈, 在 LSQ1(阿尔善组和腾一段)、LSQ2(腾二段, 或称都红木组)和 LSQ3(赛汉塔拉组)中都只识别出 PSU、SSU 和 DSU(图 5 和图 6).

盆地的初始沉降—填平补齐阶段相当于基底慢速裂陷+加速拗陷和加速裂陷+快速拗陷阶段. 由于地壳裂陷作用和火山作用暂趋强烈, 基底古地形又起伏不平, 其沉降—充填单元(PSU)中通常出现山麓堆积、冲积扇、河流—洪泛平原相和分散的湖泊沼泽相并存现象, 并夹有大量的中、基性火山岩和火山碎屑岩, 总体面貌较粗且成分成熟度和结构成熟度很低, 可发育局部性的好烃源岩和好储层. 由于这个阶段的基底沉降是缓慢的, 盆地(或凹陷)在相当长的时间内将处于填平补齐阶段, 其底面的不整合现象将较为显著, PSU 比较容易区分. 二连盆地各凹陷的阿尔善组厚度巨大, 其粗碎屑相、细碎屑相和火山岩相时空分布杂乱, 其底面 T_{H1} 地震反射波组清晰, 便是这种环境特征的证明. 但是, 在一些具有多原型叠加的盆地(或凹陷)中部, 当前一个裂陷旋回末期的构造反转强度低而不足以引起褶皱变形时, 后一裂陷旋回下部的沉降—充填单元直接覆盖其上, 可能形成连续沉积的假象, 而不再出现填平补齐的环境和相组合特征, 后者的初始沉降—充填单元(PSU)比较难以区分. 这时, 需要结合全盆地(或凹陷)的资料进行分析, 从边缘开始逐步向内追寻和厘定. 在二连盆地北部的马尼特拗陷和川井拗陷的

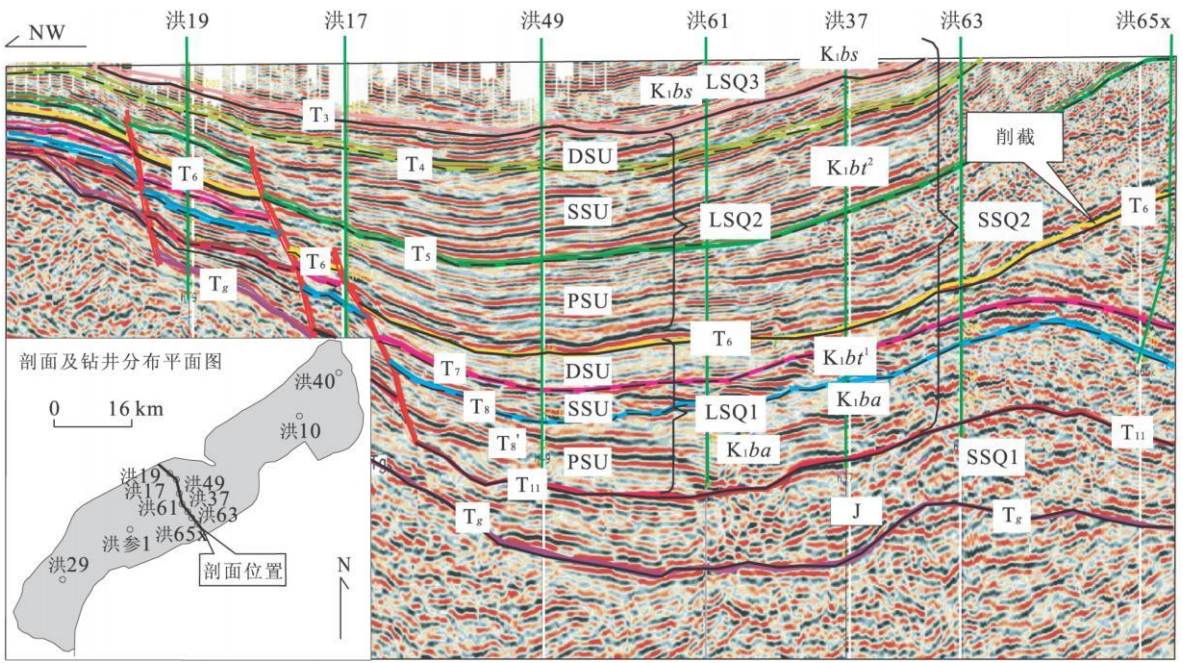


图 5 洪浩尔舒特凹陷地震剖面下白垩统超层序中的裂陷旋回(大层序)和沉降—充填单元(层序)划分示例

Fig. 5 Example showing how to recognize rifting cycle (large sequence) and subsidence-filling unit (sequence) in the Lower Cretaceous large sequence group from seismic section of Honghaoershute sag

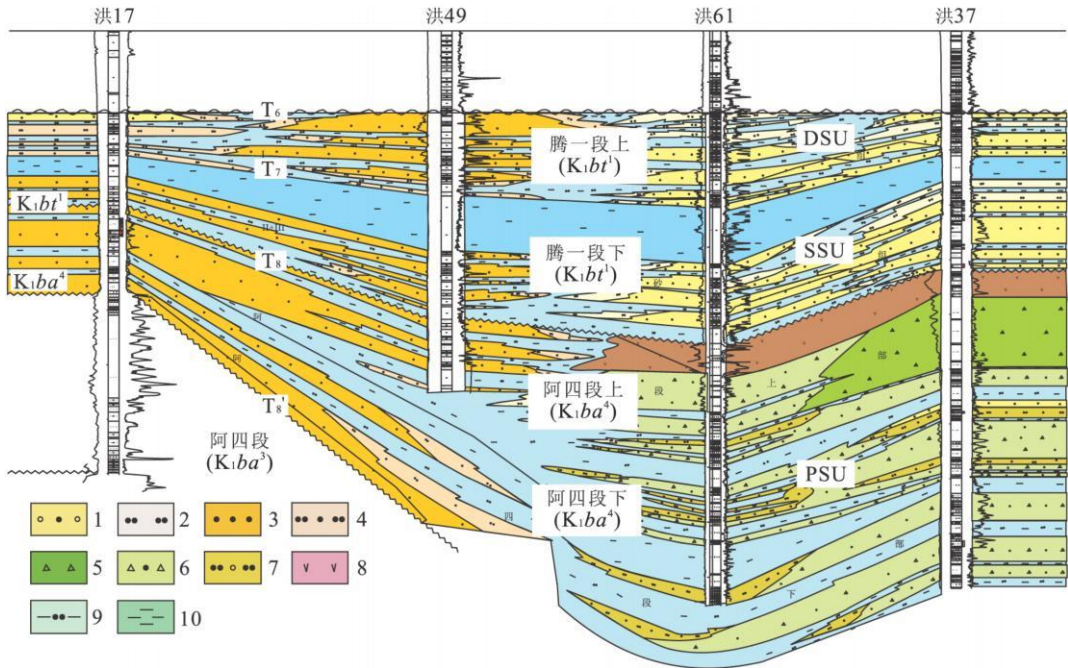


图 6 洪浩尔舒特凹陷下白垩统下部裂陷旋回(大层序)中的沉降—充填单元(层序)划分示例(沉积相剖面由韩春元绘)

Fig. 6 Example showing how to recognize rifting cycle (large sequence) and subsidence-filling unit (sequence) in the early Lower Cretaceous of Honghaoershute sag (sedimental profile design by Han)

- 1. 扇三角洲前缘沉积砂; 2. 扇三角洲沉积砂; 3. 辫状河三角洲水下分流河道砂; 4. 辫状河三角洲前缘沉积砂; 5. 扇三角洲水上分流河道; 6. 扇三角洲水下分流河道; 7. 扇三角洲前缘席状砂; 8. 火山岩及火山碎屑岩; 9. 滨浅湖沉积; 10. 较深湖沉积

各凹陷中部, 早白垩世裂陷原型第 2 个亚原型(腾二段大层序, LSQ2)底部 PSU 的相就是这样, 它与第 1 个亚原型(阿尔善—腾一段大层序, LSQ1)上部的 DSU 之间, 也不存在显著的不整合现象. 由于 LSQ1

上部的 DSU 遭受剥蚀, 两者的浅湖相部分直接接触, 便造成了连续沉积的整合假象, 只能通过包含边缘相的剖面对比来分割界面。

盆地(或凹陷)的快速沉降—湖泊发育阶段相当于基底快速裂陷+快速拗陷和减速裂陷和减速拗陷阶段。在这个时候各凹陷基底古地形已经被填平补齐, 分散的水体(浅水湖沼)开始连接成为统一的汇水湖泊, 其沉降—充填单元(SSU, 腾一段下部)的主要沉积相在陡坡侧是冲积扇—扇三角洲组合, 在缓坡侧是辫状河及其三角洲相组合, 而在凹陷中部是湖泊—前三角洲相组合——主要优质烃源岩发育层段。沉积物总体面貌变细, 碎屑物主要来自陡坡侧, 碎屑的成分成熟度和结构成熟度增高。SSU 上部缓坡侧的辫状河三角洲、陡坡侧的扇三角洲前缘滑积体, 都是可能的优质储集体。在这个阶段, 湖泊面积逐步扩大, 其沉积体系的沉积基准面及可容空间与湖面的关系与滨、浅海陆源碎屑盆地近似, 因此也可以借用海相层序地层学关于体系域的概念和方法来描述。例如, 在湖泊连通和扩张阶段可以划分出低位体系域和湖(水)进体系域, 在湖泊最大扩张阶段可以划分出高位体系域, 而在湖泊萎缩阶段可以划分出湖(水)退体系域。应当指出的是, 在二连盆地各凹陷的湖泊发育全过程(即上述 4 个体系域)中, 都出现了滑塌和浊积成因的湖底扇, 而只有在最大湖泊扩张阶段(高位体系域)中, 才出现与水下(冲积)扇相关的湖底扇。

盆地(或凹陷)减速沉降—平原化阶段相当于基底裂陷终止+慢速拗陷和慢速拗陷+拗陷终止阶段。在此期间, 盆地(或凹陷)轴向两端的河流发展成为过境曲流河; 两侧隆起区被逐渐夷平, 冲积扇扇面河流和辫状河流则转化成源远流长的支流。各凹陷的湖泊逐步被曲流河三角洲、辫状河三角洲和扇三角洲淤塞且平原化, 碎屑物主要来自轴向两端河流和缓坡侧, 其沉降—充填单元(DSU), 例如腾一段上部, 主要沉积相组合是曲流河、辫状河和洪泛平原沉积体系的组合。沉积物的总体面貌再度变粗, 但成分成熟度和结构成熟度比 SSU 有进一步提高。优质的储集体是 DSU 下部缓坡侧的辫状河三角洲、陡坡侧的扇三角洲前缘滑积体和凹陷轴两端的曲流河三角洲。

构造挤压反转是陆相裂陷盆地形成演化过程中的一种较为普遍的现象。如果反转沉降—后续沉积发生于减速沉降—平原化阶段之后, 由于盆外两侧急剧隆起造山, 原来的盆缘张性断裂可能转化为逆

冲断裂, 缓坡侧的辫状河流和陡坡侧以泥石流为代表的冲积扇将再度发育; 在盆地(或凹陷)内部, 由于湖泊已经完全萎缩并且平原化, 而来自盆地(或凹陷)端部的过境曲流河将继续发育, 并且将会与辫状河和冲积扇共生, 碎屑物多数由陡坡侧的冲积扇和端部的曲流河搬运而来, 其沉降—充填单元(ISU)主要的沉积相组合是冲积扇、曲流河、辫状河和冲积平原相组合, 沉积物总体面貌进一步变粗, 而成分成熟度和结构成熟度迅速下降。冲积扇与曲流河及洪泛平原沉积共生, 是这个时期最为特征的标志性充填—沉积现象, 如同我国西部昆仑山和天山前缘的许多现代盆地(或凹陷)一样。盆地(或凹陷)之所以能在构造反转阶段继续沉积, 是因为单纯的构造挤压不足以克服盖层重力而使基底抬升, 只有地壳重力均衡调整才有可能使基底结束沉降并隆起, 这已被理论分析和数学模拟所证明(吴冲龙等, 1987)。由此而论, 构造反转期的压应力只能使基底和盖层发生断裂和褶皱, 而不可能造成大规模的隆起剥蚀, 所谓构造反转期盆地基底“挤压隆起”的提法是值得商榷的。

盆地(或凹陷)沉降—充填单元之间的界面通常是裂陷旋回内各成因地层段的分界面, 反映了盆地(或凹陷)各演化阶段基底分异程度、沉降速率、水体面积及环境条件的显著变化。由于盆地(或凹陷)沉积环境具有天然的时—空连续性, 在一个裂陷旋回内的沉降—充填单元界面往往不清晰, 需要在沉积相分析的基础上, 采用地震、测井、岩心和露头等多种资料辅助进行识别。例如, 初始沉降单元与快速沉降单元的分界面, 是以冲积扇—河流复合沉积体系为主的下部成因地层段与以湖泊—三角洲复合沉积体系为主的中部成因地层段的分界面; 快速沉降单元与减速沉降单元的分界面, 是以湖泊—三角洲复合沉积体系为主的中部成因地层段与以冲积扇—河流—洪泛平原复合沉积体系为主的上部成因地层段的分界面(图 6)。识别和划分沉降—充填单元的最简单方法, 是找出主复合沉积体系转换(分布范围由大变小或者由小变大)的起点位置。主复合沉积体系的转换通常都比较快, 在分界面上还常会出现下超、上超和削截的组合地震相特征。

沉降—充填单元(层序)内部由沉积体系组合单元(相当于小层序)组成, 而沉积体系组合单元的界面是各成因地层段内部的沉积体系域界面。根据上面的分析, 要在陆相盆地的沉降—充填单元(层序)内进一步开展地层分析, 一个可取的方法便是直接

采用沉积学的概念、知识和方法,在构造—地层格架约束下进行成因地层格架分析.盆地成因地层格架是盆地沉积相时空分布及其相互关系的一种宏观结构,反映了盆地古环境及其水动力条件的时空演化过程.在沉降—充填单元(层序)的框架下进行成因地层单元与成因地层格架分析,不必套用海相层序地层学的概念,即使要采用体系域概念的话,也不是简单地与水进、水退相对应.沉积体系组合单元及其构成的识别和划分,实际上就是宏观沉积相分析,主要依靠岩心、露头、测井曲线和高分辨的三维地震资料.

4 结论与讨论

本文基于格架层序地层学的建模思路和统一的层序地层单元划分标准,采用了世代地层单元(一级层序或巨层序)、原型地层单元(二级层序或超层序、大层序组)、裂隙旋回单元(三级层序或大层序)和沉降充填单元(四级层序或层序)等 4 个层序级别,并以同级别不整合面或相应的整合面为层序界面,为二连盆地各凹陷提供了统一的层序地层单元划分方案.

该方案着眼于盆地整体,在构造—地层格架约束下进行层序地层格架分析,而在层序地层格架约束下进行成因地层格架分析,使得二连盆地各凹陷的层序地层格架既与区域构造地层格架协调起来,也与各凹陷内部的成因地层格架协调起来.该方案的要点是将地震剖面 and 测井精细解释与岩心观察、露头观察对比结合起来,优先进行构造—地层格架分析,然后进行层序地层格架分析,最后进行成因地层格架分析.这样做的好处是便于了解各层序地层单元的沉积特征、沉积演化史和不同构造岩相带的油气成藏条件,揭示构造作用对沉积作用的控制,以及同沉积断裂活动和构造古地理对层序、相带、沉积体系和沉积特征的控制,认识有利储集相带发育、分布的时空规律.在此基础上,进一步开展不同沉积微相(组合)的四性关系,建立不同沉积微相(组合)含油性的地震—测井相预测模型,便可以开展各凹陷的有利相带和有利储集体的定位预测.

在每一个裂隙旋回中,3 个沉降—充填单元(PSU、SSU 和 DSU)由下而上所反映的是盆地(或凹陷)广义水进、水退状况,与经典层海相序地层学(Vail, 1987; Wagoner and Posamentier, 1988)的狭义水进、水退有所不同,不能简单地用经典层序地

层学的“低位体系域”、“水进体系域”、“高位体系域”和“水退体系域”来描述.显然,要在陆相盆地(或凹陷)的沉降—充填单元内进一步开展地层分析,一个可取的方法是直接采用沉积学的概念、知识和方法.在层序地层格架下,通过成因地层学分析,可以建立各凹陷统一的成因地层格架,搞清不同构造岩相带的沉积体系控制因素及分布规律,进而查明不同沉积相带对油气成藏的控制作用.基于该层序地层格架,优质的烃源岩发育于 PSU 中部,其次在 PSU 上部;优质的储集体是 DSU 下部和 SSU 上部缓坡侧的辫状河三角洲、陡坡侧的扇三角洲前缘滑积体,以及来自凹陷轴两端的曲流河三角洲,其次是 PSU 上部的同类沉积相.

在开展隐蔽油气藏的有利储集体分析和勘探目标预测时,层序地层学易于解决的问题用层序地层学处理(如等时地层格架的划分),成因地层学易于解决的问题用成因地层学处理(如沉积环境和相分析),没有必要一切都套用层序地层学的理论、思路和方法.

综上所述,本文针对二连盆地的实际情况,采用格架层序地层学(吴冲龙等, 2009)的概念和方法,并且力求提高其可操作性,采用统一的分级标准和界面方案建立其层序地层体系.这种方法对于有利储集体和勘探目标的预测的有效性,已经被二连盆地的近期勘探实践所证实.由于研究刚刚开始,一些认识还有待深化并得到其他多世代演化、多原型叠加的陆相盆地的检验.

References

- Li S. T., Lin C. S., Xie X. N., et al., 1995. Approaches of nonmarine sequence stratigraphy—case study on the Mesozoic Ordos basin. *Earth Science Frontiers*, 2(3—4): 133—148 (in Chinese with English abstract).
- Li S. T., Yang S. G., Lin, C. S., et al., 1992. On the chronostratigraphic framework and basic building blocks of sedimentary basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(4): 11—22 (in Chinese with English abstract).
- Li S. T., Yang, S. G., Wu, C. L., et al., 1988. Late Mesozoic rifting in Northeast China and Northeast Asia fault basin system. *Science in China (Ser. B)*, 31(2): 246—256.
- Liu, Z. J., Dong, Q. S., Wang, S. M., et al., 2002. Introduction and application to sequence stratigraphy of continental face. Petroleum Industry Publishing House, Beijing, 21—91 (in Chinese).

- Posamentier, H. W., Vail, P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition II—sequence and systems tract models. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. S. C., eds., *Sea-level changes: an integrated approach. Srpm Special Publication*, 42: 125—154.
- Ren, J. Y., Jiao, G. H., 1999. Sequence stratigraphic framework of Wuliyasitai faulted basin in Erlian basin group and its episodic filling evolution. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(4): 553—559 (in Chinese with English abstract).
- Shanley, K. W., McCabe, P. J., 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. *AAPG Bull.*, 78: 544—568.
- Vail, P. R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part I. In: Bly, A. W., ed., *Seismic stratigraphy interpretation procedure. Atlas of Sequence Stratigraphy*. Am. Assoc. Petrol. Geol.
- Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. S. C., eds., *Sea-level changes: an integrated approach. SEPMSpecial Publication*, 42: 39—45.
- Wang, J. Y., 2004. Limitations of division of system tracts in the sequence stratigraphy—taking the WL depression of the Erlian basin for example. *Journal of Stratigraphy*, 28(3): 244—247 (in Chinese with English abstract).
- Wu, C. L., Wang, X. Q., Liu, G., et al., 2002. Study on dynamics of tectonic evolution in the Fushun basin, Northeast China. *Science in China (Ser. D)*, 45(4): 311—324.
- Wu, C. L., Zhang, S. W., Mao, X. P., et al., 2009. Prototype and dynamics analysis of Jiaolai basin. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—18 (in Chinese).
- Wu, C. L., Zhao, G. R., Li, S. T., 1987. Tectonic framework and its forming mechanism. In: Li, S. T., ed., *Fault basin analysis and coal accumulation*. Geological Publishing House, Beijing, 251—314 (in Chinese).
- Xie, X. J., Zhu, G. H., Liu, M., 2009. Applications of the sequence stratigraphic analysis to one exploration block in Myanmar. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 29(1): 78—83 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. C., Dong, Y. L., Li, L., et al., 2002. Formation and exploration prospect of non-structural oil-gas pool in Honghaoershute depression—taking Hongdong subsag as an example. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 17(3): 1—5 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. C., Qin, D. Y., Xu, X. H., et al., 1997. Prototype analysis of China petroliferous basins. Nanjing University Publishing House, Nanjing (in Chinese).
- Zhao, X. Z., Jin, F. M., Liu, Z., et al., 2007. “Multi-factor controlling four-factor entrapping and key-factor enrichment” of stratigraphic-lithologic reservoirs and exploration practice in Erlian basin (I)—“multi-factor controlling” mechanism. *Lithologic Reservoirs*, 19(2): 9—15 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X., Chen, H. J., Sun, Z. C., et al., 1983. The Mesozoic-Cenozoic tectonics and petroliferous basins of China. *Acta Geologica Sinica*, 57(3): 235—242 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李思田, 林畅松, 解习农, 等, 1995. 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. *地质学前沿*, 2(3—4): 133—148.
- 李思田, 杨士恭, 林畅松, 1992. 论沉积盆地的等时地层格架和基本建造单元. *沉积学报*, 10(4): 11—22.
- 李思田, 杨士恭, 吴冲龙, 等, 1987. 中国东北部中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系. *中国科学(B辑)*, 2: 185—195.
- 刘招君, 董清水, 王嗣敏, 等, 2002. 陆相层序地层学导论与应用. 北京: 石油工业出版社, 21—91.
- 任建业, 焦贵浩, 1999. 二连盆地乌里阿斯太断陷层序地层格架及其幕式充填演化. *沉积学报*, 17(4): 553—559.
- 王婧韞, 2004. 层序地层学体系域划分的局限性——以二连盆地WL凹陷为例. *地层学杂志*, 28(3): 244—247.
- 吴冲龙, 汪新庆, 刘刚, 等, 2001. 抚远盆地构造演化动力学研究. *中国科学(D辑)*, 31(6): 477—485.
- 吴冲龙, 张善文, 毛小平, 等, 2009. 胶莱盆地原型与盆地动力学分析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—18.
- 吴冲龙, 赵根榕, 李思田, 1987. 构造格架和形成机制分析. 见: 李思田, 断陷盆地分析与煤聚集规律. 北京: 地质出版社, 251—314.
- 谢晓军, 朱光辉, 吕明, 2009. 综合层序地层方法在缅甸某区块的应用. *沉积与特提斯地质*, 29(1): 78—83.
- 张文朝, 董艳蕾, 李莉, 等, 2002. 洪沃尔舒特凹陷非构造油气藏的形成及勘探前景——以洪东洼槽为例. *西安石油学院学报(自然科学版)*, 17(3): 1—5.
- 张渝昌, 秦德余, 徐旭辉, 等, 1997. 中国含油气盆地原型分析. 南京: 南京大学出版社.
- 赵贤正, 金凤鸣, 刘震, 等, 2007. 二连盆地地层岩性油藏“多元控砂—四元成藏—主元富集”与勘探实践(I)——“多元控砂”. *岩性油气藏*, 19(2): 9—15.
- 朱夏, 陈焕疆, 孙肇才, 等, 1983. 中国中生代构造与含油气盆地. *地质学报*, 57(3): 235—242.