

晋北晚古生代高分辨率含煤层序

赵省民 郑浚茂

(中国地质大学,北京 100083)

提 要 本文介绍了以基准面升降为驱动机制的高分辨率层序地层学的理论和方法。此方法是在沉积相分析的基础上,通过沉积体划分和相异反演出可容纳空间的单向迁移方向、地层叠置样式、基准面升降及界面位置,进而划分出不同级次的基准面旋回(即层序),并由长期旋回到短期旋回逐级进行对比。此后,作者用该法对以陆相沉积为主的山西大同晚古生代煤系进行详细划分对比,澄清了过去某些模糊认识,探讨了聚煤作用与高分辨率层序的关系。研究结果表明,该方法能极大地提高地层划分与对比精度,是陆相层序地层研究的有效方法。此外本方法在储层对比和储层预测方面也是十分有用的。

关键词 山西大同 晚古生代 含煤地层 分辨率层序 地层对比 聚煤作用

分类号 P618[·] 11

第一作者简介 赵省民 男 32岁 博士 储层沉积学和层序地层学

1 引言

晋北晚古生代含煤地层主要分布于山西大同煤田,是一套以陆相沉积为主的煤系^[1]。长期以来,该套地层因其相变大、聚煤作用规律不明显及缺乏特征标志层而不易对比,并因此困扰着该区晚古生代煤炭资源的勘探与开发。然而,近两年兴起的以基准面升降为直接驱动机制的高分辨率层序地层学,为解决此类问题提供了一个新方法。本文将用此方法研究大同煤田晚古生代地层的层序、地层对比及聚煤作用,以证实该方法在陆相层序研究中的有效性,并为生产勘探服务。

2 基本原理与研究方法

2.1 基本原理

自 Powell(1875)首次提出基准面(base level)的概念以来,许多学者都有不同的理解,笔者赞同 Wheeler(1964)的意见,他认为,基准面是一个单一的、(全球范围内)永恒存在的球形面。可供潜在堆积的沉积物供给形式的不断变化和波浪与水流能量的作用使其不断变化和波浪与水流能量的作用使其不断“波动或摆动”,当基准面上升到地表以上的地方,沉积物发生堆积;下降到地表以下处,发生剥蚀作用^[2]。T. A. Cross等人(1994)又将 Wheeler的概念

进一步完善。Shanley和 McCabe(1994)则指出,相对海平面是大陆边缘和浅海环境基准面的令人满意替代物,而河流平衡剖面、湖平面及地下潜水面可分别作为河流环境、湖泊环境及沙漠的基准面^[3]。

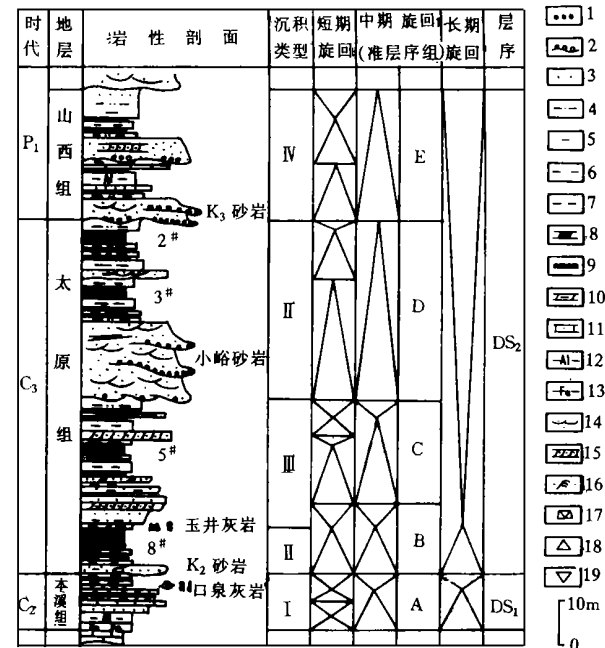
基准面相对于地表位置的升降引起可容纳空间的动力学变化,进而导致沉积物保存程度、地层堆积样式、相及相组合特征等一系列地层—沉积学响应,从而控制着成因地层单元的形成。尽管基准面升降变化期间,不同的地理位置上发生着诸如剥蚀作用与饥饿作用的不同作用过程,但在一定区域内,横跨不同沉积环境的基准面升降是等时的。而且,基准面由下降到上升(或由上升到下降)的地层响应构成不同级次的基准面旋回,即为不同级别的层序。

2.2 研究方法

高分辨率层序划分与对比正是依据基准面旋回及其伴随的可容纳空间的变化导致岩石记录的地层学和沉积特征的过程——响应原理进行的^[4]。层序的边界可以是基准面上升到下降的转换点——泥岩、煤层或石灰岩,也可以是基准面下降到上升的转移点——砂体冲刷底面,笔者倾向后者,对此,关键是将与异旋回事件有关的砂体(区域上是等时间的)与冲积砂体区别开来,一般认为,侧向上和垂向上叠置砂体的底面与异旋回事件有关^[3]。据此,可将发育范围不同、侧向上和垂向上叠置程度不等的砂体底

面作为各级层序的边界。

基准面升降引起的可容纳空间变化将导致不同沉积环境内的沉积物体积和相同沉积环境下相类型、相组合及相序等随时间而发生变化, Cross等人分别称之为体积划分 (Volumetric partition) 和相分异 (Facies differentiating)。通过体积划分和相分异可反演出可容纳空间的单向迁移方向、地层堆积样式 (stacking pattern)、基准面升降及界面位置, 进而划分出最基本的基准面旋回 (简称短期旋回)——成因准层序。然后, 依据各短期旋回的体积划分和叠置样式, 又可划分出中期基准面旋回 (简称中期旋回)——准层序组。依次类推, 还可划分出长期基准面旋回 (简称长旋回)——层序以及更高级别的基准面旋回。



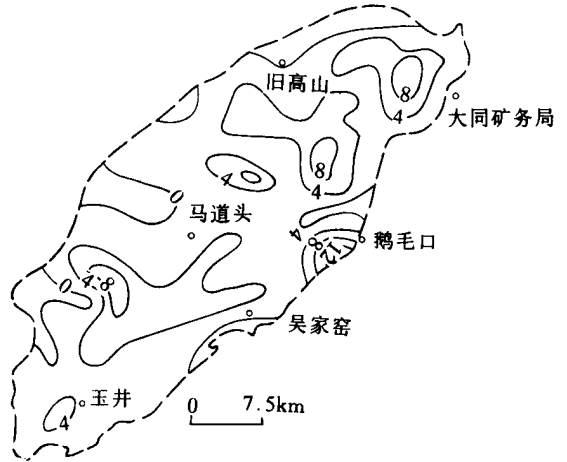
1. 砾岩 2. 砾石层 3. 砂岩 4. 砂质泥岩 5. 泥质粉砂岩
6. 粉砂质泥岩 7. 泥岩 8. 炭质泥岩 9. 煤 10. 泥灰岩
11. 砂质灰岩 12. 铝质泥岩 13. 铁质岩 14. 槽状交错层理
15. 板状交错层理 16. 沙纹层理 17. 动物化石 18. 基准面上升
19. 基准面下降 DS. 沉积层序 I. 混合滨岸带沉积 II. 细粒点坝高弯度河沉积 III. 三角洲沉积 IV. 辫状曲流河沉积

图 1 大同 (吴家窑) 晚古生代含煤地层沉积类型和层序划分

Fig. 1 Division of the sedimentary type and sequence of coal-bearing strata in the Datong region (Wujiayao)

在不同级次界面识别和不同级别基准面旋回划

分的基础上, 由长期到短期逐级进行基准面旋回对比。可见, 沉积相和沉积体系分析是高分辨率层序地层研究的关键



图中数字代表砂体厚度

图 2 大同地区 K₂ 砂体平面形态

fig. 2 Plane shape of the K₂ sandbody in the Datong region

3 高分辨率层序划分及地层对比

3.1 层序划分

通过相类型、相组合及相序的综合分析, 将大同煤田晚古生代煤系划分为 2 个长期旋回 (层序)、5 个中期旋回 (准层序组) 和 6~9 个短期旋回 (准层序), 见图 1

DS 层序 与本溪组相当, 顶至 K₂ 砂岩底, 包括 1 个中期旋回 (A) 和 2 个短期旋回。中期旋回具上升、下降两个半旋回, 主体为混合滨岸沉积。上升半旋回为泻湖潮坪沉积, 岩性主要是铝质泥岩、粉砂岩和石英细砂岩, 偶夹煤线, 碎屑分选磨圆较好, 具水平层理和潮汐层理; 下降半旋回虽亦为泻湖潮坪沉积, 但砂质含量增加; 上升、下降半旋回的转换点的地层响应为泉灰岩, 属局限台地沉积, 内含大量石英砂, 含蜓、海百合等化石。

DS 层序 相当于太原组和山西组, 包括 4 个中期旋回和 4~7 个短期旋回分别叙述:

(1) 中期旋回 B 底始 K₂ 砂岩, 顶至 8 煤之上的河道 (或分流河道) 砂体之底。在大同煤田南部, 该旋回具上升、下降两部分; 中北部仅有上升半旋回, 下降半旋回表现为上覆河道 9 或分流河道) 砂体之

底的冲刷面。上升半旋回为高弯度曲流河沉积,底界为河流冲刷面,其上为含砾中粗粒河道砂岩(K₃砂岩),此砂体厚度中等,下部普遍含砾,局部为底砾岩,区内广泛发育(图2),侧向连续性好,其上数米即为8#主煤层,可比性极强,遂作为DS层序(也是中期旋回B)之底。在怀仁吴家窑一带,该砂体切入潮坪沉积而与其过渡,北部局部变为细砾岩。砂岩分选较差,但磨圆中等,具大型板状和槽状交错层理。河道上部为泛滥盆地泥岩、粉砂岩和细砂岩,含菱铁矿结核和丰富的植物化石,具水平层理和小型交错层理,其顶部为煤层;下降半旋回为三角洲前缘沉积,由灰黑色泥岩、粉砂岩和中细粒砂岩组成,碎屑分选磨圆中等,具板状交错层理。上升、下降半旋回的转换位置为泥灰岩(玉井灰岩),含丰富的黄铁矿和特化的动物化石,该泥岩向中北部相变为黑色泥岩。

分流河道)砂岩和泛滥盆地细砂岩、泥岩和煤层组成。砂岩厚度较小,层位稳定,侧向连续性较好,之下数米即磨圆中等,具槽状交错层理。泥岩多含菱铁矿结核和植物碎片;旋回下降部分为决口河道、决口扇与煤层互层的沉积;上升下降转换期间形成了厚煤层(5#)。

(3)中期旋回D 自小峪砂岩之底开始,上至K₃砂岩底,仅有上升半旋回,下降部分以K₃砂岩底冲刷记录于地层中。该中期旋回为典型的高弯度曲流河沉积,由含砾中粗粒砂岩、细砂岩、泥岩和煤层组成。底部的小峪砂岩是区内最发育的砂体,厚度大,垂向和侧向叠置明显,底部含砾,分选磨圆中等,楔状和槽状交错层理极为发育,上、下皆为厚煤层(3#和5#),中是分布范围较K₃砂体略小,因而作为中期旋回D之底。

(4)中期旋回E 始于K₃砂岩底,上止下石盒

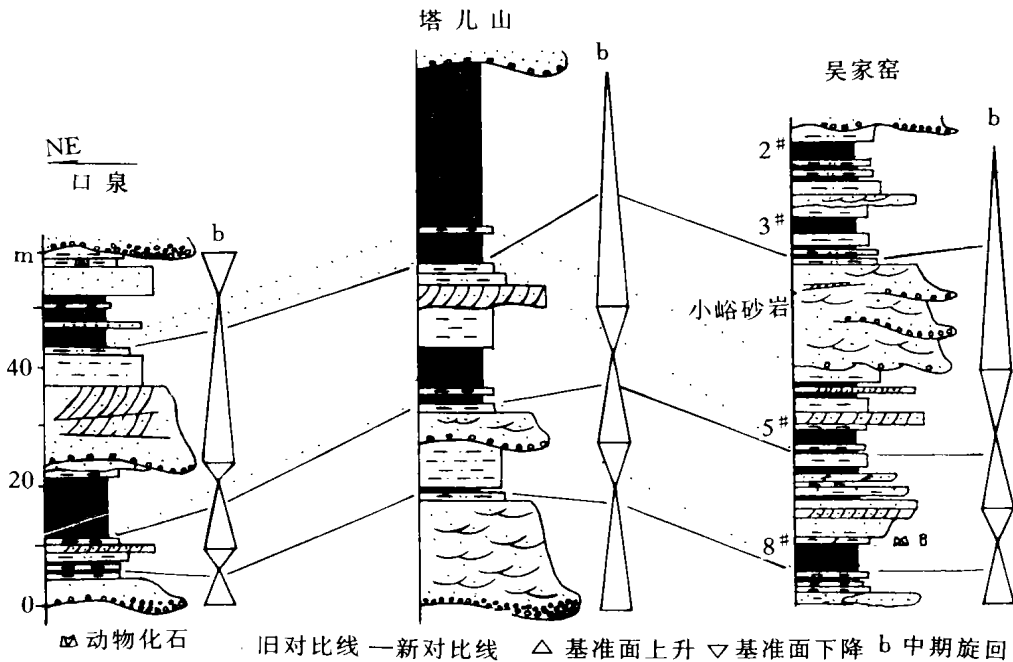


图3 大同地区太原组层序和地层对比

Fig. 3 Correlation of sequence and stratum of Taiyuan Formation in the Datong region

(2)中期旋回C 始于中期旋回之顶,止于小峪砂岩底。在南部吴家窑一带包括上升、下降两部分;中北部仅有上升半旋回,下降半旋回表现为小峪砂岩底部的冲刷不整合。旋回上升部分在南部为三角洲平原沉积,中北部大部为河流沉积。由河道(或

子组底。与旋回D类似,仅有上升半旋回,但为辫状曲流河沉积。其中,下部砂岩比例增大,砾石含量增加,粒度变粗,分选磨圆变差,上部泥岩和煤层比例减少,该旋回底部砂岩(K₃)厚度较大,分布广,侧向连续性好,砾石含量多而分选差,其上地层含煤性显

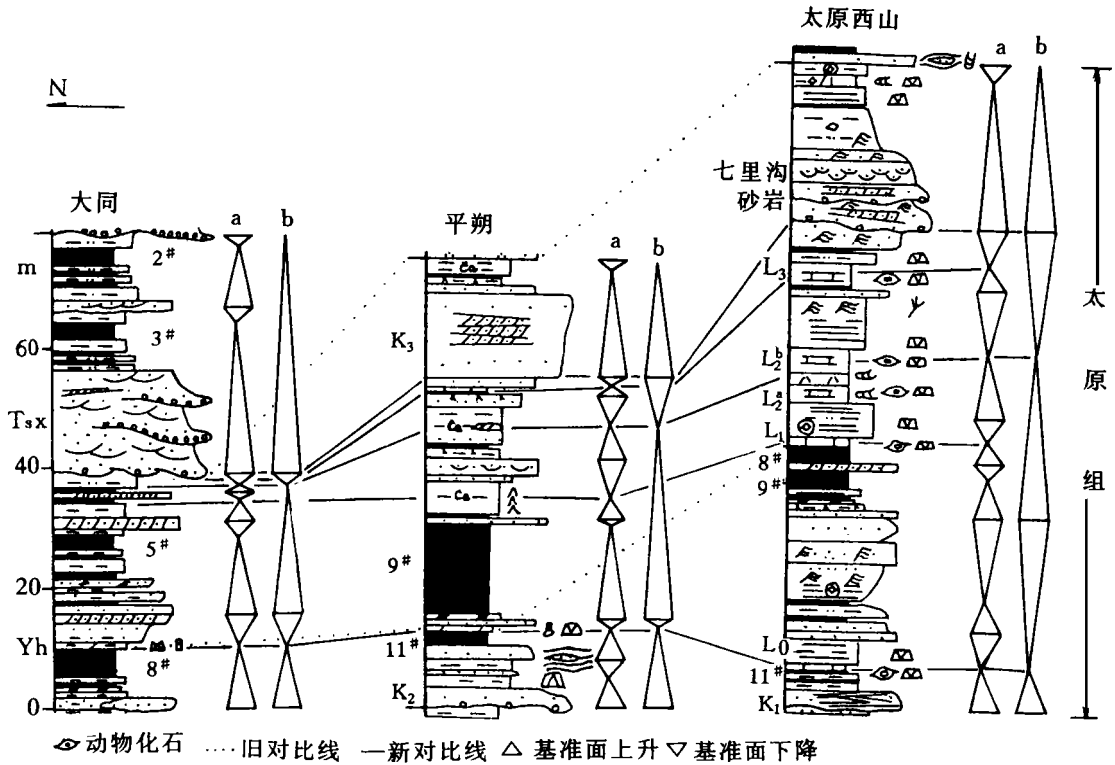
著变差,是一很好标志层

3° 2 地层对比

大同晚古和代煤系因以陆相沉积为主,缺乏特征标志层而在煤田范围内也不易对比,其问题多集中于太原组,下面拟用高分辨层序对比法将该组地层重新对比,见图 3

由图 3可见,原对比方案认为:① 口泉、塔儿山一带的巨厚煤层系南部的 2#、3#、4# 和 5# 煤合并而

成;② 3#、5# 煤间的小峪砂体在口泉、塔儿山地区尖灭;③ 8# 煤厚度在口泉、塔儿山稳定分布,但经高分辨率层序对比发现:① 口泉、塔儿山地区巨厚煤层是 2#、3# 和 4# 煤合并而成,5# 煤没合入其中;② 小峪砂体在口泉、塔儿山一代并未尖灭;③ 8# 煤在口泉、塔儿山已减至很薄,遂导致以前误将 5# 煤当作 8# 煤,并误认为 5# 煤合并入该地区的巨厚煤层



L₀.吴家峪灰岩 L₁.庙沟灰岩 L₂ L₃.毛儿沟灰岩上、下分层 L₃.斜道灰岩
 L₄.东大窑灰岩 Y_h.玉井灰岩 T_{sx}.小峪砂岩 a.短期旋回 b.中期旋回

图 4 大同、平朔和太原西山的太原组层序和地层对比

Fig. 4 Correlation of sequence and stratum of Taiyuan Formation in the Datong Pingshuo and Xishan Taiyuan regions

另外,大同晚古生代煤系的划分与对比目前尚有两点争议:一是山西组的底界位置,有人主张其底界为 K₃ 砂岩底,有的则置其于东山砂岩(伏于小峪砂岩下,区内很不发育)底;另一是玉井灰岩的层位问题,一种意见将其与太原西山的庙沟灰岩或毛儿沟灰岩对比,还有人认为其与太原西山的吴家峪灰岩相当。下面笔者试图将这段地层与太原西山标准剖面和平朔矿区的同段地层进行高分辨率对比,以期对消除这两歧见能有所帮助,由图 4可见,① 大同

地区 K₃ 砂岩分别相当于平朔矿区 4-1 煤底板砂岩和太原西山的北岔沟砂岩,而小峪砂岩则可与平朔矿区的 K₃ 砂岩和太原西山的七里沟砂岩对比;② 本区的玉井灰岩分别可与平朔矿区 11# 煤顶板泥灰岩和太原西山的吴家峪灰岩对比。而太原西山的庙沟灰岩、毛儿沟灰岩、斜道灰岩和东大窑灰岩在平朔矿区已先后相变为钙质泥岩(局部为泥灰岩),在大同煤田已相变为泥岩或粉砂质泥岩。

4 高分辨率层序与聚煤作用

图 5 显示的是两个短期旋回。图 5a 可见, 旋回的下部为三角洲前缘沉积, 上升部分为三角洲平原沉积。上升半旋回底部为分流河道砂体, 向上为泛滥盆地的细砂岩、粉砂岩、泥岩及薄煤层互层, 再向上为厚煤层 (5[#]), 5[#] 煤之上又出现泥质沉积, 顶部则为上覆砂体的冲刷面。图 5b 则是一个纯河流沉积的基准面上升半旋回, 其底部是相互切割叠置的河道砂体, 上部为泛滥盆地的粉砂岩、泥岩和煤层, 主要煤层 (3[#]) 靠近旋回的顶部, 再向上则为泥岩和上覆砂体冲刷面。由此可见, 无论三角洲环境还是河流冲积平原, 其中的煤层大都位于短期旋回的上升部分, 主要煤层都靠近上升半旋回的顶部聚积, 即主要煤层形成于短期基准面旋回上升的末期。这与 Ryer (1983) 在美国西部内陆海湾的白垩系滨岸沉积平原沉积中所得的结论绝无二致, 他认为, 主要煤层的堆积往往与海平面长期缓慢相对上升和沉积进积作用对之补偿的区域密切关系^[3]。

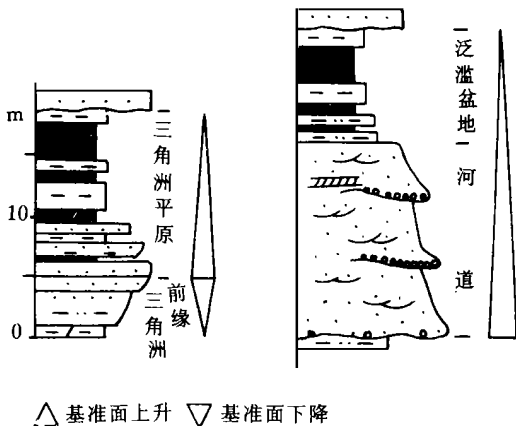


图 5 三角洲沉积 (a) 和河流沉积 (b) 的基准面旋回与聚煤作用

Fig. 5 Baselevel cycles and coal accumulation of delta sediments (a) and fluvial sediments (b)

由图 1 可知, 多数煤层也聚积于中期旋回的上升—下降转换期附近。其实, 中期旋回 D-E 的主要煤层也聚积于这一时期, 只是旋回转换后的下降部分以冲刷面记录而已。主要煤层在长期旋回中的聚积也有类似规律, 只是不太明显了。主要煤层在基准面旋回中的这种聚积规律与 T. A. Cross 对海岸平原聚煤规律的总结完全吻合, 他指出, 厚度大、分布

广的煤层都聚积在标志着最大海侵期和最大海退期的垂向加积事件内^[6]。

5 结论与认识

(1) 通过相类型、相组合及相序的综合分析, 在本区晚古生代煤系中划分出 2 个长期旋回 (层序)、5 个中期旋回 (准层序组) 和 6~9 个短期旋回 (准层序)。从旋回构成特征看, 中、短期旋回多以基准面上升部分为主, 其下降部分主要以河流冲刷面记录于地层中, 这是陆相河流层序的普遍特征。

(2) 大同晚古生代煤系山西组的底界应置于 K₃ 砂岩底, 小峪砂岩相当于太原西山的七里沟砂岩, 玉井灰岩则与太原西山的吴家峪灰岩对比。大同口泉、塔儿山一带的晚古生代巨厚煤层由 2[#]、3[#] 和 4[#] 煤层合并而成, 而 5[#] 煤并没合入其中, 8[#] 煤在该地区已减至很薄, 对此, 在勘探生产中应引起注意。

(3) 主要煤层形成于短期基准面旋回上升阶段的末期和中期基准面旋回的上升—下降转折期附近, 这与滨岸平原聚煤规律很相似。看来, 无论什么样的地貌环境, 主要煤层的聚积都有超越一切的共性, 认识这一点具有重要的理论和实际意义。

(4) 本次研究结果表明, 以基准面升降为驱动力的高分辨率层序地层学具有广泛的适用性, 它能极大地提高地层划分与对比精度, 是进行陆相地层层序研究、储层对比及储层预测的有效方法。

参 考 文 献

- [1] 张玉三, 赵省民. 大同晚古生代含煤岩系的沉积环境. 山西矿业学院学报, 1990, 8(4): 357~362.
- [2] Wheeler H E. Baselevel, lithosphere surface, and time-stratigraphy. Geological Society of America Bulletin, 1964, 75: 599~610.
- [3] Shanley K W and McCabe P J. Perspective on the sequence stratigraphy of continental strata. AAPG Bull., 1994, 78(4): 544~568.
- [4] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——Colorado 高分辨率层序地层学派的崛起. 石油与天然气地质, 1995(2).
- [5] Ryer T A. Transgressive—regressive cycles and the occurrence of coal in some Upper Cretaceous strata of Utah. Geol., 1983, 11: 207~210.
- [6] Cross T A. 徐怀大等译. 美国西部内陆上白垩统海进—海退旋回中煤层分布控制因素的研究. 见: C K 威尔格斯等. 层序地层学原理 (海平面变化综合分析). 北京: 石油工业出版社, 1993, 429~442.

High-resolution Coal-bearing Sequence of Late Paleozoic Strata in Datong Region, North Shanxi

Zhao Xingmin and Zheng Junmao

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Abstract

The paper introduces the theory and method of high-resolution sequence stratigraphy based on the control of baselevel rise and fall. On the basis of facies analysis the method is used to deduce a single direction of accommodation migration, stacking patterns of strata, baselevel rise, and fall and surface location of sequences by volumetric partition of sediment and facies differentiation, and to divide various orders of baselevel cycles (i. e. sequences) and to correlate the cycles order by order from long-term cycles to short-term ones. After that, the authors apply the method for detail division and correlation of Late Paleozoic coal-bearing series mainly composed of continental sediments in the Datong region, North Shanxi, and clarify some vague conclusions and searches for the relationship between coal accumulation and high-resolution sequence. The result of the study indicates that the method can be widely used to improve the precision of division and correlation of strata, and that it is an effective way to research into continental sequence stratigraphy. In addition, this approach is also very useful in correlation and prediction of reservoirs.

Key Words Datong in Shanxi late paleozoic era high-resolution sequence coal-bearing strata stratum correlation coal accumulation

(Continued from page 30)

therefore, the related reservoirs correspondingly developed in these different strata from NW to SE. Spatially, the most favorable regional reservoirs should be located in the central area of N. China, where the carbonate sediments experienced dolomitization with the following light leaching. U₂ was created by global event that resulted in the intraplate downward flexure, and subsequent perispherical bulge. The younger strata (Fengfeng Fm.) were protected in the concave belt of central N. China and eroded away by the meteoric water along the bulge. As a result, the potential regional reservoirs related rocks of Fengfeng Fm. and the potential regional reservoirs related to U₂ are likely to distribute along the peripheral uplift belts, especially around the remnant Fengfeng Fm.

Key Words unconformity sealevel change karstification reservoir