

文章编号 :1000-0550(2000)02-0297-05

非海相盆地准层序级别的有机相变化及其地质意义

杨明慧¹ 夏文臣² 张兵山³ 张宁² 彭晓群³

(¹西北大学地质系 西安 710069) (²中国地质大学地学院 武汉 430074)

(³青海石油管理局勘探开发科学研究院 甘肃敦煌 743000)

摘要 柴达木盆地北缘侏罗系由非海相冲积—三角洲及湖泊沉积体系构成。托阿尔阶的沉积序列为下部的冲积体系向上过渡为滨浅湖、中深湖沉积体系,后者发育一系列在垂向上向上变粗—变浅的旋回层并构成准层序。在准层序级别,有机相参数发生规律性变化。岩石的有机质含量向上增加,显示与粉砂质含量呈正相关。其原因可能是冲积物源的植物碎屑和粉砂颗粒具有相似的水动力均衡条件。有机母质具有高等陆生植物和低等水生生物输入的双重旋回特征。成熟度居于临界状态(镜质体反射率平均0.57%)。自生的黄铁矿/菱铁矿比与沉积物堆积速率之间存在一定的联系。湖泛面位于准层序的下部且直接上覆高有机质的暗色泥岩。

关键词 有机相 准层序 非海相 侏罗系 柴达木盆地

第一作者简介 杨明慧 男 1963 出生 博士后 副教授 沉积学与含油气盆地地质学

中图分类号 P593 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

近几年,不少学者试图在非海相沉积盆地中建立与古湖水变化旋回相关的层序地层序列^[1,2]。但是,湖水位变化的影响因素是复杂多变的^[3,4]。柴达木盆地北缘德令哈地区中新世沉积充填属内陆冲积—湖泊型,侏罗纪托阿尔阶甜水沟组沉积序列由两套冲积体系和半深湖—滨浅湖沉积体系构成。后者发育一系列旋回层。其中,准层序组9以从深灰色页片状泥岩、薄层状粉砂岩及粉砂质泥岩过渡到棕黑色油页岩,局部夹菱铁质岩,厚度62 m左右。内部的两个准层序均由下部的冲积—三角洲沉积体系向上部的湖泊体系过渡,构成由浅水到深水的湖泛准层序加积样式^[4]。上部准层序的有机质含量较高,厚度较大(占该准层序组总厚度的56%),是研究区的主力烃源岩之一。

准层序的突然终止与湖平面的相对上升有关,这个过程可能与南祁连前陆褶冲带的活动有关^[5]。以菱铁质岩等为代表的湖泛面记录了湖水深度的明显加大,从而终止了下伏准层序的发育。上部准层序的沉积相从冲积—三角洲体系到开阔湖泊,20~30 m左右的相序厚度就揭示了古环境的巨大变化。古环境变化梯度不但是研究准层序级别有机相变化趋势(沉积有机质的数量、来源和成熟度)的基础,而且对烃源岩潜力的层序地层学模式的建立^[6]等也具有实践意义。

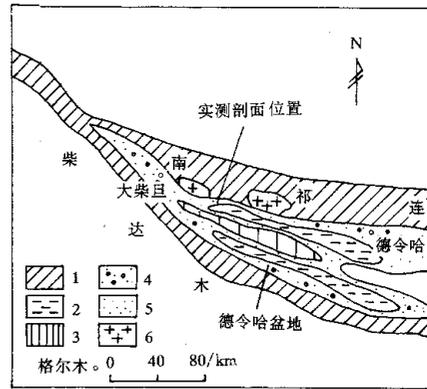


图1 德令哈地区侏罗系分布及剖面位置图

1. 冲积带 2. 前渊 3. 前隆;

4. 粗碎屑沉积 5. 细碎屑沉积 6. 岩体

Fig. 1 The distribution of Jurassic and location of the section in Delingha area

2 剖面、样品与分析方法

柴达木盆地之非海相侏罗系比较集中地出露于盆地北缘和埃姆尼克山两侧(图1),其中的大煤沟剖面侏罗纪含煤岩系发育完整,构造简单,层序清楚,化石

丰富而保存良好^[7],是中国西部开展非海相盆地层序地层学研究的重点剖面之一。本文研究层段准层序的岩性包括含 *Neocalamites - Cladophlebis* 植物群化石的粉砂岩、粉砂质泥岩和透镜状的含砾砂岩,上覆含单调地方属种叶肢介化石的油页岩,深水重力流沉积亦多发育在此部位。

野外作业采集岩石学和有机地球化学分析样品 50 余件,主要为深灰色、灰色、棕灰色和浅灰色泥岩,黑灰色炭质泥岩以及煤样等,其中有 14 个样品为准层序级别有机相变化研究的基本样品(图 2)。

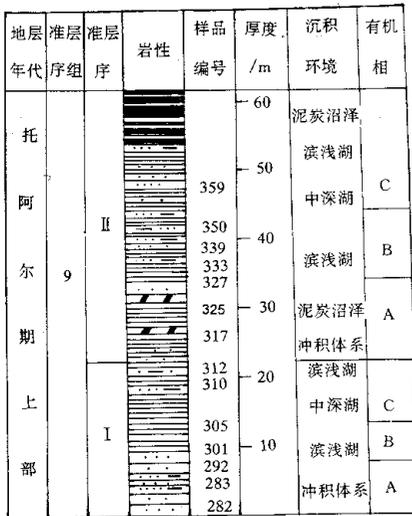


图 2 准层序组 9 的岩性柱状及采样位置图

Fig. 2 Lithological column and sampling points in the parasequence set 9

有机质丰度的主要评价指标是有机碳、氯仿沥青“ A ”和总烃的百分含量等。这些指标反映烃源岩排烃后残留的有机质丰度,也基本上反映了原始有机质的丰度。沉积物的有机碳含量测定使用 LECO WR12 碳分析仪,对岩石进行氯仿抽提得到氯仿沥青“ A ”含量,然后将抽提物进行色层分离得到总烃含量。

有机质类型从干酪根和沥青的性质和组成加以区分。对干酪根采用元素分析、光学分析以及岩石热解分析等方法。利用 Van Krevelen 图 H/C 和 O/C 原子比的演化路线将干酪根分为 II 型和 III 型,其中 II 型可分 II₁和 II₂两种,光学分析是识别干酪根在透射光下的微观结构或按煤岩学方法对干酪根的显微组成进行分类,表 1 为岩石热解分析仪(Rock-Eval)测定结果^[8]。

有机质成熟度的评价采用综合方法,即镜质体反射率、热变或色变指数及岩石热解法。镜质体反射率在全岩定向切片样品上测定,油浸条件。

表 1 侏罗系烃源岩热压模拟试验数值

Table 1 Pyrolysis oil-gas yield of Jurassic source rocks

热模拟 温度/℃	气态烃产率/m ³ ·t ⁻¹			热解油产率/kg·t ⁻¹		
	泥岩	炭质泥岩	煤	泥岩	炭质泥岩	煤
250	1.0	1.2	0.0			
300	7.6	1.7	0.4	1.9	0.4	
350	46.9	10.8	20.6	21.9	微量	6.5
400	142.9	35.1	30.2	5.2		
450	155.3	67.8	52.2	2.2		
500	219.5	127.2	240.2			
550	291.9	214.4	327.0			
600	291.6	270.1	466.4			

3 分析结果与解释

除了炭质泥岩和煤以外,准层序中的细粒沉积物研究表明有机质的丰度与岩性有关。从整个剖面岩石学观察,有机碳含量向上递增与细粒沉积物中的砂质含量递减正相关。换句话说,随着水深加大,有机碳含量增加(图 3)。可溶沥青含量较低,最小 0.004%,最大 1.174%,平均 0.211%。可溶沥青含量与岩石的有机碳含量有一定的关系,在准层序中亦由底部的冲积体系向上部的滨浅湖、中深湖相呈增加趋势(图 4)。

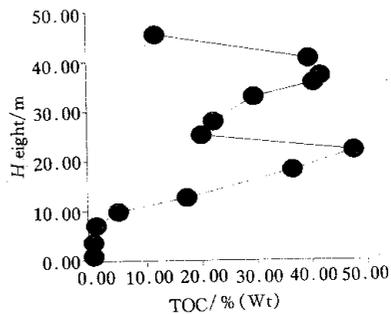


图 3 准层序中的有机碳含量变化

(图中纵坐标为厚度值并与图 2 厚度值对应,下同)

Fig. 3 Variation of total organic carbon content (wt. % TOC) in the parasequence

烃源岩以湖相暗色泥岩为主,有机母质具有高等陆生植物和低等水生生物输入的双重特征。干酪根类型以腐殖型为主,来自于陆生植物,原始 H/C 原子比一般小于 1.0,而 O/C 原子比可达 0.2~0.3,第二种类型是腐泥型,有机质来自于汇水盆地中的浮游生物和细菌,原始 H/C 比达 1.3~1.5, O/C 原子比则在 0.1~0.2 之间。有机母质的组分丰度及类型如图 5 所示(各组分类型分别按样品野外编号从左向右自小到大排列,纵坐标为丰度值。图中数据为样品 DMJ315

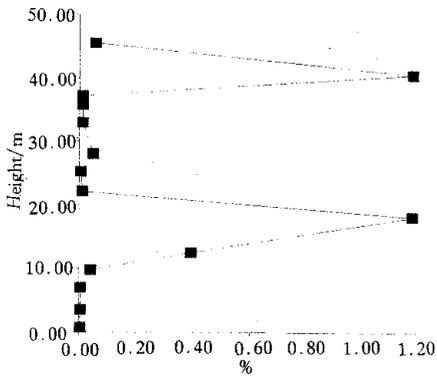


图 4 准层序中的可溶沥青含量变化

Fig. 4 Variation of soluble bitumen content in the parasequence

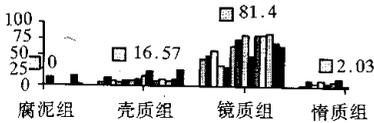


图 5 样品有机母质组分类型与丰度

Fig. 5 Component type and abundance of organic matters

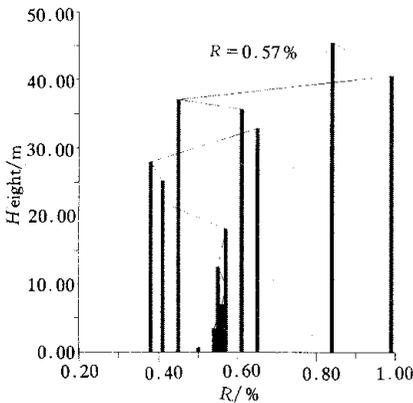


图 6 随机镜质体反射率分布频率及平均值

Fig. 6 Histogram of random vitrinite reflectances (R_o %) histogram and their mean value

中各组分类型的丰度值,余类推)。

有机质成熟度如图 6 所示。在一个准层序内记录的镜质体反射率数值变化范围较大,显然不是有机质成烃演化阶段的差异所致。反射率数值具有双模式特征(图 6)。这两个主要部分之间的绝对差异的意义表现在一部分是未成熟的(0.4%),另一部分位于边界成熟线之右($\geq 0.5\%$)。这样就较难评价究竟那一部分具有代表性。较小的反射率值与富壳质组基质有关^[9]或与镜煤化作用期间镜质体的起源和早期成岩

作用有关^[10]。沉积物中较低的壳质体含量使前者的起源难以置信,在涉及到外来镜质体时,也难以证实后者的可能性。而较高的反射率值可能是测量过程中受半丝质体而非镜质体的影响。不论如何,图 6 反映的情况是在准层序级别上镜质体反射率存在一定的变化,即在从浅水环境到深水环境的变化过程中 R_o 有逐渐增大的趋势。

尽管反射率值和全岩 T_{max} 数据测算可能存在误差,但是边界(成熟度)反射率的平均值 0.57% 却是具有代表性的。煤样(DMJ325)的低反射率(0.38%)相对其它岩性是常见现象^[9-11],而样品 DMJ359 镜质体的较高反射率(0.99%)是其碳含量较高的缘故。

从水动力学角度,沉积物中的有机母质如植物碎屑比硅质粗粉砂和细砂颗粒更为重要^[12]。粉砂和植物碎屑可能是同一冲积物源,所以有机碳与粉砂质含量呈一定的相关关系,尽管一般认为它与粘土含量更为密切。在海相近物源区,大量的炭化植物碎屑导致有机碳含量与沉积物颜色或成层性之间缺乏联系。无定形体有机母质的保存取决于氧化作用、生物扰动程度、还原性、黄铁矿丰度和沉积物颜色等^[6]。然而,这种关系在非海相环境似乎并不存在。

有机碳含量一般大于 1%,但热解结果表明产烃率并不理想。最好的样品(非煤)是靠近准层序底部的纹层状黑色泥岩,但只占很小的比例。所以,烃源岩的潜力比较有限。在准层序中,有机碳的垂向变化反映向上变深、由近源到远源的相变(图 2)。水深较浅时,氧化作用增强。下部的近源沉积物含有大量的植物碎屑,而且绝大部分是氧化的和炭化的植物碎屑。对于中上部的沉积物来说,氧化作用程度逐渐降低。这也说明易氧化的物质在浅水环境难以保存。

表 2 准层序级别的有机相变化

Table 2 Summary of parasequence-scale organic facies variation

样品编号	岩性(野外)	TOC /%	沥青 /%	氯仿“A”/%	干酪根类型	有机相类型
312	煤	47.69	<0.012	0.1084	Ⅲ	
310	炭质泥岩	36.54	1.174	0.8462	Ⅲ	C
305	灰色泥岩	17.34	0.391	0.6718	Ⅱ ₂	B
301	深灰泥岩	4.96	0.041	0.0548	Ⅱ ₂	B
292	深灰泥岩	0.96	0.004	0.0160	Ⅲ	A
283	浅黄泥岩	0.46	0.004	0.0064	Ⅲ	A
282	浅灰泥岩	0.45	0.004	0.0077	Ⅱ ₂	A

在表 2 中,我们通过样品的一些参数将第一准层

序概略地划分为三种有机相。其中的大部分参数是连续变化的而非间断的,甚至一些边界的界定带有随机性。然而,有机相和岩相的关系如图 2 所示,其一致性却是非常明显的。总体来看,有机相 A 和有机相 B 之间的界限缺乏明显的标记,也就是说,不同的参数在一定的界限处其变化梯度存在较大的差异。作为准层序的下部,有机相 A 以粗粒、色暗,植物碎屑呈棱角状为特征。而从水动力学角度,后者多集中发育在其中的粉砂岩夹层内。有机相 B 以较细粒、色浅,植物碎屑进一步破碎为特征,反映其沉积环境为低能的浅湖相。有机相 C 与深湖相暗色泥岩基本吻合,但植物碎屑似乎受进一步改造磨细,以高有机碳含量为特征。

最后,值得提出的是自生铁矿物问题。在野外和全岩有机岩石观察中发现,菱铁矿常见于准层序的中下部,有时甚至形成菱铁岩层,而黄铁矿则主要发育于准层序的底部和上部。菱铁矿形成于两种古环境下:淡水沉积物或沉积速率相对较高的海相沉积物之中。在第一种情况下,硫酸盐含量较低,不足以造成还原环境并影响黄铁矿的形成。在此问题上的进一步研究应当注意准层序中自生铁矿物的分布状况。较低的沉积物堆积速率既可位于准层序的底部也可位于准层序的顶部。层序地层学可以预测准层序顶部的沉积物堆积速率逐渐降低,这是因为在靠近沉积基准面位置时沉积物几乎填满了所谓的“可容纳空间”^[13]。较高的黄铁矿/菱铁矿比对应于准层序的慢速沉积部位,而较低的黄铁矿/菱铁矿比对应于较高的沉积速率则往往发育于准层序的下半部分,也就是说在非海相沉积地层中,黄铁矿/菱铁矿比仍然受沉积物的沉积速率大小影响。

4 讨论

准层序级别的有机相变化表明不同的样品在准层序旋回中的相对位置可以通过沉积序列研究加以预测。样品在体系域或层序级别表现出明显的有机相变化趋势,这在近物源区尤为现实。而准层序级别的有机相垂向变化梯度却可能在远物源区方向逐渐降低。一般而言,尽管这个过程可能与一些参数如有机碳在搬运沉积过程中的均一化作用有关,但却增加了准层序边界的识别难度。

层序地层学认为洪泛面是在海平面上升期间相对海平面快速上升的结果^[13]。而在非海相盆地,洪泛面除了受湖平面变化还受局部构造运动等影响。基底沉降和湖平面上升或沉积物供给降低均可导致先期浅水沉积环境(如泥炭沼泽等)消亡。这种状态的综合在沉积学上一般表现为纹层状、富有机质的暗色泥岩沉积。但基准面的快速升降可以引发沉积物输入的改变,如下部准层序顶部的部分削截和侵蚀作用。有效的可容纳空间逐渐减小直至沉积基准面与湖平面趋合时,便标志着一个准层序发育的终结。

参 考 文 献

- 1 解习农,李思田. 陆相盆地层序地层研究特点[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 22~26
- 2 李思田. 沉积盆地的动力学分析[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 1~8
- 3 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6~10
- 4 杨明慧, 夏文臣. 非海相前陆盆地含煤沉积层序地层分析[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(3): 1~5
- 5 杨明慧. 南祁连南缘弧形逆冲推覆构造[J]. 中国区域地质, 1998, 17(2): 213~217
- 6 Frank M C, Tyson R V. Parasequence-scale organic facies variations through an Early Carboniferous Yoredale cyclothem, Middle Limestone Group, Scremerston, Northumberland[J]. Journal of the Geological Society, 1995, 152: 41~50
- 7 李佩娟, 何元良, 吴向午等. 青海柴达木盆地东北缘早、中侏罗世地层及植物群[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988
- 8 王明儒, 胡文义, 彭得华. 柴达木盆地北缘侏罗系油气前景[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(5): 20~24
- 9 Price L C, Barker C E. Suppression of vitrinite reflectance in amorphous-rich kerogen - a major unrecognized problem[J]. Journal of Petroleum Geology, 1983, 8: 59~84
- 10 Mastalerz M, Bustin R M, Lamberson M N. Variation in chemistry of vitrinite and emifusinite as a function of associated inertinite content[J]. International Journal of Coal Geology, 1993, 22: 149~162
- 11 Wenger L M, Baker D R. Variations in vitrinite reflectance with organic facies - examples from Pennsylvania cyclothem of the Midcontinent, U.S.A.[J]. Organic Geochemistry, 1987, 11: 411~416
- 12 Hennessee E L, Blakeslee P J, Hill J M. The distributions of organic carbon and sulfur in surficial sediments of the Maryland portion of Chesapeake Bay[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1986, 56: 674~683
- 13 Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campton K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops[C]. AAPG Methods in Exploration, 1990. 7

Parasequence – Scale Organic Facies Variations and Its Significance in Nonmarine Basin

YANG Ming-hui¹ XIA Wen-chen² ZHANG Bing-shan³
ZHANG Ning² PENG Xiao-qun³

1(Northwest University, Xi'an 710069) 2(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

3(Qinghai Petroleum Administration Bureau, Dunhuang Gansu 743000)

Abstract

The Jurassic of the northern Qaidam basin is widely recognized as the nonmarine sediments, and interpreted as alluvial – delta and lacustrine depositional system. The depositional sequence of the Tianshuigou Fm. within the lower Jurassic mainly composed of the alluvial system at the base and lower and the deep lacustrine system in the upper. Geochemical and optical analyses were undertaken on the minor cyclothems, a progradationally coarsening – and shallowing – upward parasequence (cycle) within the major lacustrine deposits in which Type III land – plant derived kerogen is overwhelming. The total organic carbon content of the fine – grained lithology increases upwards through the parasequence and is positively correlated with silt content, presumably due to the hydrodynamic equivalence and common alluvial source of phytoclasts and silt particles. The section is marginally mature (about 0.57% vitrinite reflectance). The distribution of pyrite and siderite is apparently related to sediment accumulation rate, with frequent appearance of siderite in the lower part of the parasequence. The lacustrine flooding surface at the base of the parasequence is overlain by black shale, and thought to have been terminated by an abrupt and major rise in relative lacustrine level, which may be perhaps the result of tectonically driven changes in subsidence.

Key words organic facies parasequence nonmarine Jurassic Qaidam basin