

文章编号: 1001-1986(2007) 01-0001-06

# 柴北缘鱼卡地区侏罗纪含煤地层层序地层学研究

鲁 静<sup>1</sup>, 邵龙义<sup>1</sup>, 刘天绩<sup>2</sup>, 文怀军<sup>2</sup>, 汪 浩<sup>1</sup>, 尚潞君<sup>1</sup>, 杨敏芳<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学煤炭资源与安全国家重点实验室及资源与地球科学系, 北京 100083;  
2. 青海省煤田地质局, 青海 西宁 810000)

**摘要:**运用钻井岩心、测井及层序地层学有关理论、方法, 对青海柴北缘鱼卡地区侏罗纪含煤地层进行了层序地层学研究。共识别出4个层序界面, 将侏罗系含煤地层划分为3个三级层序, 分别对应于中侏罗统大煤沟组、石门沟组下段和石门沟组上段; 研究区层序界面主要包括区域不整合面(古风化壳)、三角洲平原分流河道下切谷、河道间古土壤和盆地内基准面下降—暴露—上升旋回的转折点; 与海相含煤盆地不同, 厚煤层在层序格架内的发育具有多样性。在古隆起和盆地内部, 厚煤层常靠近初始湖泛面发育(煤7); 在盆地边缘河流—三角洲平原, 厚煤层常靠近最大湖泛面发育(煤5)。总体来看, 陆相含煤盆地三级层序中, 湖侵体系带聚煤最好。

**关键词:**鱼卡地区; 侏罗系; 含煤地层; 层序地层学; 柴达木盆地北缘

中图分类号: P618.1102; P534.52 文献标识码: A

## A sequence stratigraphic analysis of the Jurassic coal measures in Yuqia region of Northern Qaidam basin

LU Jing<sup>1</sup>, SHAO Long-yi<sup>1</sup>, LIU Tian-ji<sup>2</sup>, WEN Huai-jun<sup>2</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>, SHANG Lu-jun<sup>1</sup>, YANG Min-fang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safety Mining and Department of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Beijing, 100083; China;  
2. Qinghai Coalfield Geologic Bureau, Xining 810000, China)

**Abstract** The principle of the sequence stratigraphy in well logs and outcrops has been used to reconstruct sequence stratigraphic framework of the Jurassic coal measures in Yuqia area of Northern Qaidam basin. Four sequence boundaries have been identified, which divide the Jurassic coal measures into 3 third-order sequences, corresponding to Dameigou Formation, Lower Member of Shimengou Formation and Upper Member of Shimengou Formation, respectively. The main types of sequence boundary in the research area include regional unconformity surface (paleo-weathering crust), incised valley fill of distributary channels, paleosols in the interfluvial area and the shallowing-upward to deepening-upward transforming surface of the depositional systems. The distribution of thick coal seams in the Jurassic continental lacustrine sequence stratigraphic framework is various compared with the paralic coal measures. The thick coal seam, represented by Coal Seam 7, developed near the transgressive surface of Sequence I in the basinal area and the paleo-uplift area, but in the marginal fluvial delta plain such as in Sequence II, the thick coal seam (Coal Seam 5) developed around the maximum flooding surface. In overall, in the continental third-order sequences, the thickest coal seams tend to develop in the transgressive systems tract.

**Key words:** Yuqia area; Jurassic; coal measures; sequence stratigraphy; northern Qaidam basin

层序地层学在近海盆地含煤岩系中得到了广泛应用<sup>[1-3]</sup>, 许多研究都从不同角度揭示了煤层在层序格架中的发育和分布特征, 并认识到广泛分布的厚煤层形成于可容空间增加速率与泥炭堆积速率保持平衡或略高于泥炭堆积速率时。滨海平原含煤岩系层序地层学研究表明, 在靠陆一侧的三角洲平原,

厚煤层主要出现在最大海泛面位置, 在靠海一侧<sup>[4]</sup>, 厚煤层主要出现在初始海泛面的位置<sup>[5-6]</sup>。然而, 这些根据近海盆地含煤岩系得出的规律是否适合内陆盆地含煤岩系还有待于进一步研究。青海柴达木盆地北缘地区侏罗系是一陆相湖盆背景下沉积的含煤岩系, 其层序地层学特征已经有不少学者进行过

收稿日期: 2006-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40172050)及教育部新世纪优秀人才支持计划资助

作者简介: 鲁静(1976—), 男, 河北保定满城人, 中国矿业大学(北京)博士研究生, 从事沉积与层序地层学研究

研究<sup>[7-9]</sup>,但是关于厚煤层在该陆相层序格架中的分布规律研究还很少见。本文即对柴达木盆地北缘鱼卡地区煤系进行分析,并探讨内陆盆地层序地层格架下的煤层分布特征。

## 1 区域地质背景

鱼卡煤田位于柴达木盆地北缘中部(图1)柴北缘鱼卡—红山断陷二级构造单元内<sup>[10]</sup>,区内地势西高东低,西侧为赛什腾山,北侧和东侧为达肯大坂山,南侧为绿梁山,为一呈北西向展布的狭长盆地。盆地基底由下元古界长城—蓟县系中—深变质岩系、奥陶系复理石建造、石炭系海陆交互相碎屑岩、灰岩及加里东期基性、超基性、中酸性侵入岩、火山岩组成。

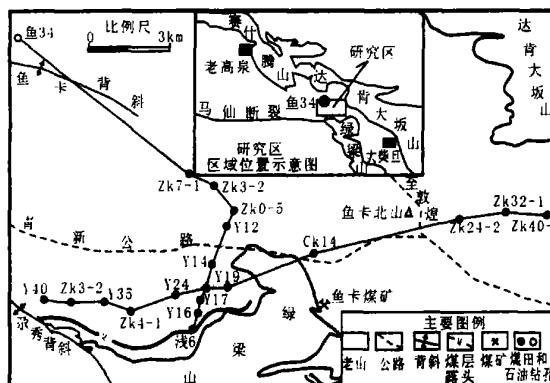


图 1 研究区地理位置及钻孔分布图

Fig. 1 The map showing the location of research area and the distribution of drillings

早、中侏罗世柴达木盆地整体处于三叠纪末晚印支运动后的构造伸展、松弛阶段,柴北缘发育一系列断陷盆地。早侏罗世沉积作用主要发生在柴北缘西部冷湖、南八仙构造带以南地区<sup>[11]</sup>。早侏罗世末—中侏罗世初,受塔里木地块相对柴达木地块大规模地向东迁移影响,柴北缘西部受挤压、抬升,沉积中心向东、向北迁移,形成了以鱼卡为沉积中心,向绿梁山、赛什腾凹陷等地区超覆的沉积特征<sup>[12]</sup>。鱼卡地区中侏罗世沉积期古地理轮廓中间为绿梁山向北、西北方向倾伏、延伸的古隆起,两侧首先接受沉积。大煤沟组下段主要分布于古隆起东、西两侧及西北方向鱼34井附近,大煤沟组上段及石门沟组全区均有分布,为主要含煤岩系。研究区中侏罗统主要发育曲流河三角洲、湖泊和辫状河沉积体系。大煤沟组下段在古隆起西侧主要为三角洲前缘相,古隆起东侧以滨、浅湖相为主;大煤沟组上段和石门沟组下段主要为三角洲间湾沼泽和下三角洲平原河流、沼泽沉积;石门沟组上段以滨、浅湖和半深湖向

为主,底部发育下三角洲平原分流河道和分流间湾沉积(图2)。

## 2 鱼卡地区侏罗纪层序地层格架

### 2.1 关键层序界面识别

在本次柴北缘鱼卡地区侏罗纪含煤地层的研究

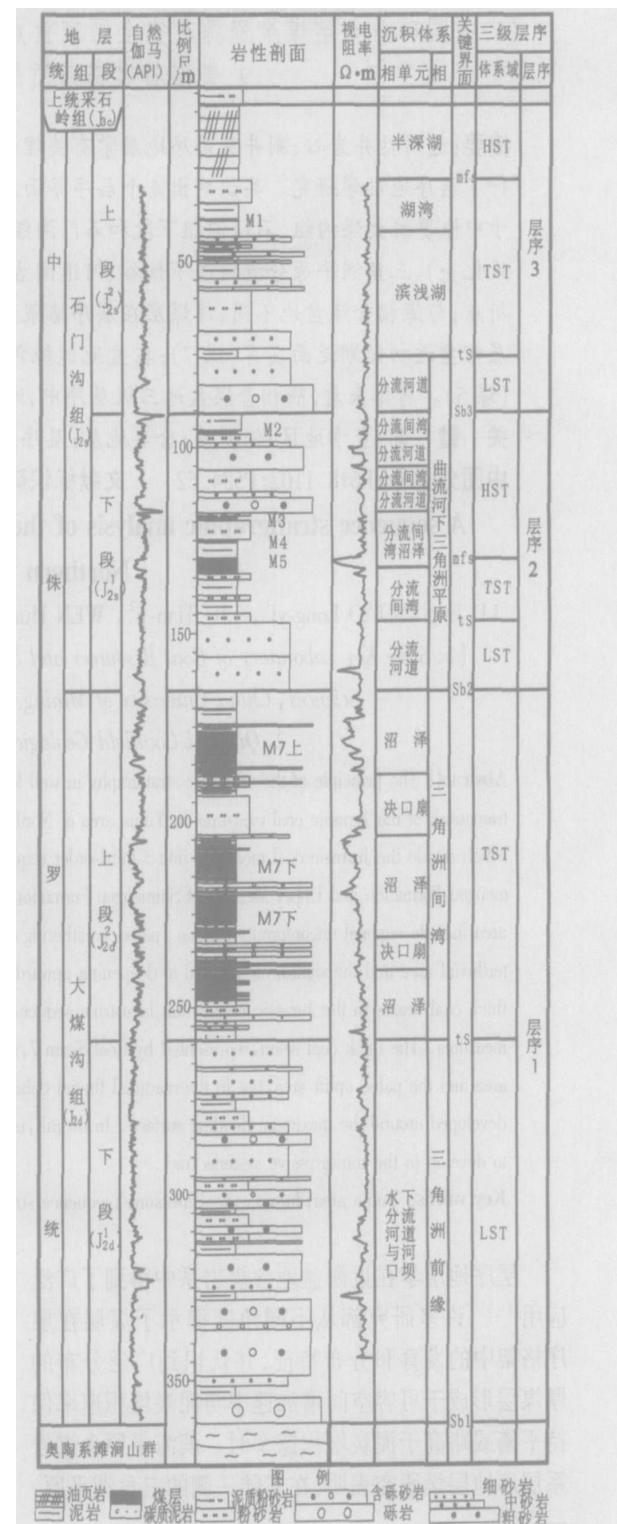


图 2 研究区沉积环境与层序地层综合柱状图

Fig. 2 The integrated column of sedimentary environment and sequence stratigraphy of Yuqia region

中, 层序的定义及体系域的划分采用 EXXON 公司“Vail”学派的观点, 各关键界面主要通过以下标志进行识别。

### 2.1.1 层序界面的识别

层序界面在湖盆边缘通常表现为区域性不整合面或河道下切冲刷面, 而在湖盆内部常为连续沉积的整合面。研究区层序界面具体特征如下:

a. 区域不整合面: 如中侏罗统大煤沟组与盆地基底奥陶系上统滩间山群( $O_{3j}$ )之间为一典型层序界面, 有时在区域不整合面上有古风化壳发育, 如 CK14 孔底部煤 7 直接发育在盆地基底风化壳上; b. 层序界面上下地层颜色、岩性突变, 如中、上侏罗统之间界面, 界面之上为一套紫红色、浅红色、褐色不含煤地层, 界面之下为一套灰色、灰黑色、黑色含煤地层; c. 下切谷砂砾岩体的发育, 伴随着湖平面相对下降, 由河流回春作用形成的下切谷是层序界面的典型标志。下切谷充填沉积一般以叠置的厚层及透镜状砂砾岩体为特征, 可根据下切谷砂体的规模及其垂向的叠置关系把层序界面处的下切谷沉积与次一级层序的河道砂岩相区别; d. 古土壤: 古土壤层一般是基底暴露经成土作用形成, 古土壤在冲积平原河道间地区是识别层序界面的极好标志<sup>[4, 13]</sup>。e. 界面上下电相特征发生突变, 如 GR 曲线及视电阻率曲线在界面上下有显著差异, GR 值快速减小、视电阻率快速增大部位一般可能发育层序界面(图 2 sb3)。

### 2.1.2 初始湖泛面识别

理论上初始湖泛面为湖水体首次漫过坡折带或漫过低位下切谷所形成的湖泛面。研究区一般将河道砂砾岩之上覆盖的泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩等细粒岩石的底面定为初始湖泛面。在没有河道发育的地带, 初始湖泛面与层序界面重合, 此时古土壤可能比较发育。

### 2.1.3 最大湖泛面识别

该界面为一个基准面旋回内基准面抬升速率及可容空间增加速率最大、水体最深时形成的沉积面。其识别特征如下: a. 在一套向上变细、变深的沉积序列中, 代表最深的岩相一般为滨、浅湖和半深湖相泥岩、粉砂质泥岩和油页岩, 这样的岩性一般以相对较大的厚度出现时, 可将其底面作为最大湖泛面的位置。b. 若最深的岩性岩相在剖面上重复出现, 那么在厚度上向上变到最厚的一个层位的底面既为最大湖泛面的位置。

## 2.2 层序划分与横向展布

根据以上层序界面识别原则, 研究区侏罗系中

统含煤地层共识别出 4 个层序界面, 划分为 3 个层序。由于中侏罗世延续了大约 14.4 Ma, 则每个层序大约延续了 4.4 Ma, 相当于 Vaill 的三级层序。为说明鱼卡地区层序地层横向变化特征, 沿盆地南部近东西向和南北向各绘制了一条层序连井剖面(图 3 和图 4), 剖面位置见图 1。各层序关键界面及展布特征分述如下。

### 2.2.1 层序 1

对应于中侏罗统大煤沟组, 层序底界面为一区域不整合面, 界面之下为下元古界奥陶系绿泥片岩、花岗岩(如图 4 中的鱼 34 孔)或古风化壳(如图 3 中的 CK14 孔), 界面之上为侏罗系。层序 1 主要发育湖侵体系域, 局部发育低位体系域和高位体系域。

低位体系域对应于大煤沟组下段, 体系域界面与层序界面一致。主要发育在古隆起两侧和南北向剖面鱼 34 井附近。古隆起西侧低位体系域主要由三角洲前缘水下分流河道、河口坝和远砂坝砂、砾岩等组成。古隆起东侧 ZK24—2 和 ZK32—1 低位体系域由浅湖相泥岩、砂质泥岩及少量细砂岩组成, 而 ZK40—1 孔低位体系域由三角洲平原灰白色、厚层状河道粗砂岩组成。南北向剖面(图 4)仅鱼 34 井钻遇低位体系域, 主要由灰白色辫状河道砂砾岩组成。由于低位体系域沉积期陆源碎屑供应充足, 可容空间低, 一般不发育煤层。

湖侵体系域全区发育, 主要由三角洲间湾、湖泊和三角洲平原沼泽及三角洲平原分流河道砂体组成。初始湖泛面在古隆起上位于类似于海相层序的陆棚坡折带处, 湖侵面与层序界面基本一致(如图 3 中 Y24 孔), 代表基准面开始上升; 在三角洲平原上位于下切谷砂、砾岩之上覆盖的泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩等的底面(如图 3 中的 ZK40—1 孔), 代表基准面开始漫过低位下切谷; 在盆地内部(如图 3 中的 ZK24—2 孔)位于基准面由下降到上升的转换面, 由于盆地内受基准面变化影响小, 准层序以加积叠置为主, 此时全区稳定分布的厚煤层是基准面由下降到上升转换面的很好标志。湖侵初期全区发育 M7, 煤层厚度大、横向连续、但厚度不稳定。煤层结构在古隆起上较简单, 而在古隆起两侧煤层夹矸增多, 分层现象普遍(图 3)。湖侵体系域末期局部发育 M6, 煤层一般结构简单, 厚度大, 但横向连续性较差。

高位体系域在南北向剖面较发育, 主要由滨、浅湖泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩及前三角洲泥岩、三角洲前缘远砂坝、河口坝、水下分流河道砂岩组成。最大湖泛面位于滨、浅湖泥岩、泥质粉砂岩和粉砂岩最大厚度层的底部( DX3—2、DX7—1), 准层序表现加

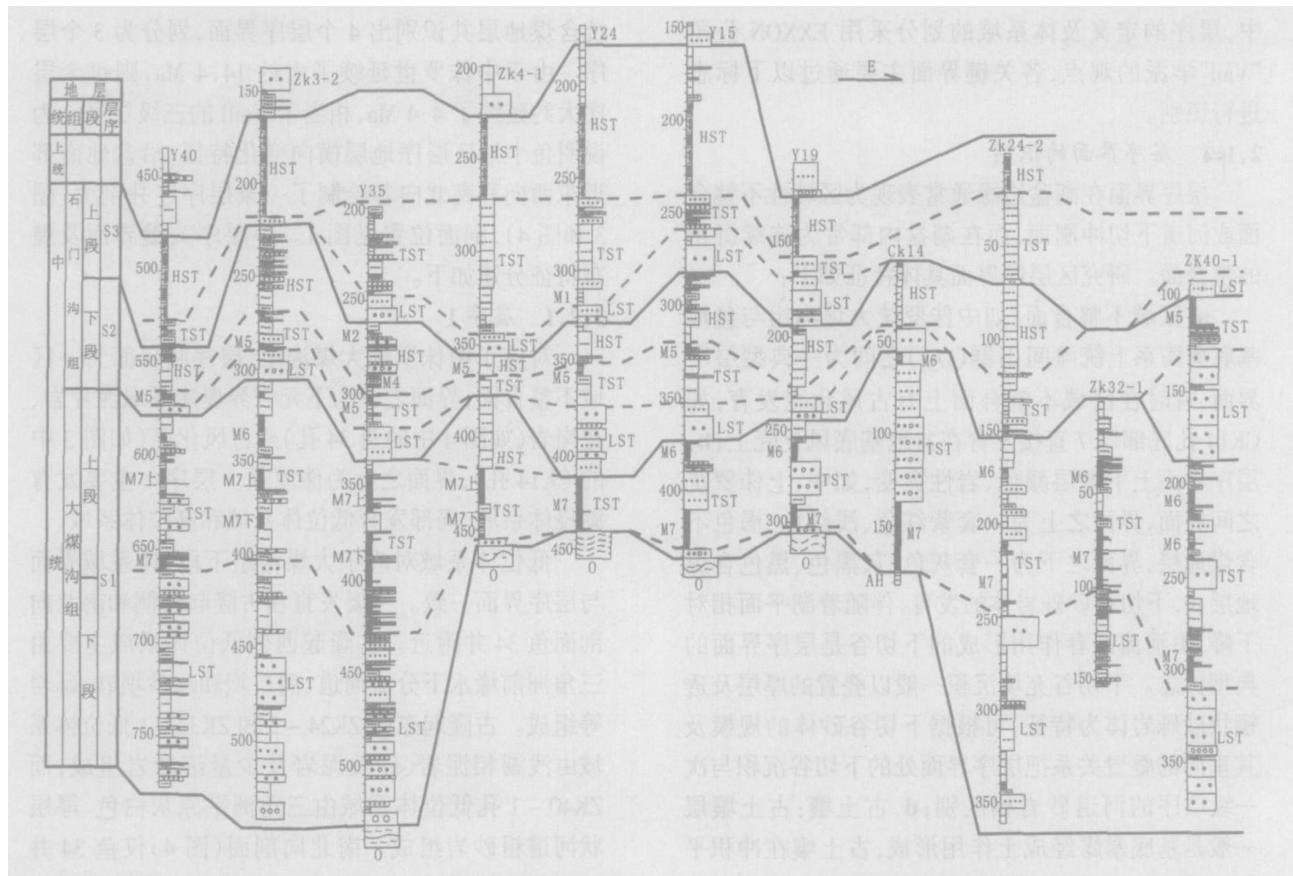


图3 鱼卡地区中侏罗统东—西向层序地层连井对比图

Fig. 3 Cross section from west to east showing sequence stratigraphic framework of the Middle Jurassic in Yucua region

积;或位于前三角洲泥岩底界面(DX0—5、Y17),准层序表现为先加积后进积。高位体系域几乎没有可采煤层,仅在高位体系域中—末期局部钻孔有薄煤层、煤线或碳质泥岩发育。

## 2.2.2 层序2

对应于中侏罗统石门沟组下段,层序底界面主要为下三角洲平原分流河道下切谷(DX0—5、Y14等),局部为河道间层序界面,当有全区厚煤层发育时,河道间一般有富含植物根、茎化石的古土壤(基底长期暴露分化形成)发育,层序界面位于古土壤底界面(如ZK4—1等)。该层序以高位体系域和湖侵体系域为主,其次为低位体系域。

低位体系域主要由下三角洲平原分流河道下切谷砂岩组成,河道间缺失低位体系域(如DX3—2)下切谷砂岩包括3种形式,一种为单一河道下切谷,垂向上为一向上变细的沉积序列,如Y15孔等;第2种为多个河道垂向叠置,有时上部河道对下部下切谷有冲蚀作用。前者垂向上表现为向上粒度变细—变粗—再变细的垂向沉积序列(如Y14),后者垂向上表现为变粗再变细的垂向沉积序列(如Y12等)。低位体系域没有煤层发育。

湖侵体系域全区发育,主要由下三角洲平原次

一级分流河道砂岩和分流间湾泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、碳质泥岩、煤层等组成。初始湖泛面主要位于下切谷砂、砾岩之上覆盖的泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩等的底面;河道间初始湖泛面与层序界面一致(DX3—2)。湖侵体系域全区发育M5,局部发育不可采煤层M4。M5结构简单,横向厚度稳定、连续,但厚度较小,一般仅为2~3 m。

高位体系域全区发育,主要包括3种沉积相组合:**a.**前三角洲泥岩、三角洲前缘远砂坝泥岩、粉砂岩互层、河口坝砂岩(如Y15),粒度向上变粗,准层序表现为先加积后进积。**b.**滨浅湖相泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩组合(鱼34、DX7—1等),准层序表现为加积;**c.**湖湾巨厚层砂质页岩(CK14),准层序表现为加积。相应的,最大湖泛面分别位于滨浅湖泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩,前三角洲泥岩和湖湾砂质页岩底部。高位体系域煤层发育较差,仅高位体系域末期湖泊局部淤浅,三角洲前缘河口坝暴露沼泽化后有薄煤层(M3、M2)或煤线发育。

## 2.2.3 层序3

对应于石门沟组上段,层序底界面主要为下三角洲平原分流河道下切谷底面,盆地内部层序界面主要通过沉积物颜色来反映,如ZK24—2孔层序3

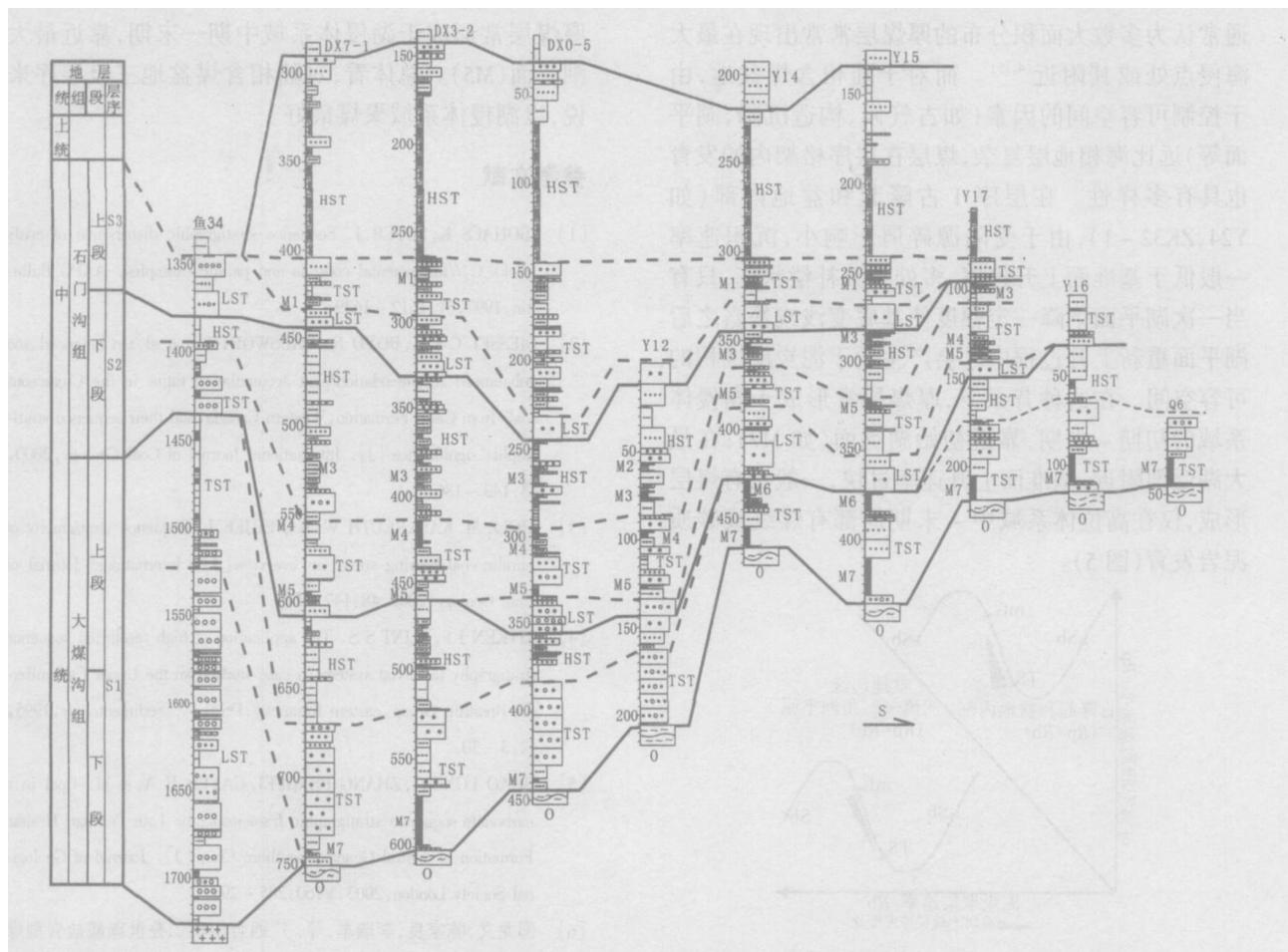


图4 鱼卡地区中侏罗统南—北向层序地层连井对比图

Fig. 4 Cross section from north to south showing sequence stratigraphic framework of the Middle Jurassic in Yuqia region

底界面位于 70 m 处一层约 1.1 m 厚的褐色粉砂岩底部(图 3)。界面上、下均为三角洲间湾灰黑色、巨厚层状泥质粉砂岩。而褐色粉砂岩反映了基准面下降—暴露—上升旋回的暴露面, 代表了盆地内部一个层序界面。层序 3 主要发育高位体系域和湖侵体系域, 低位体系域不很发育, 局部缺失。

低位体系域主要由下三角洲平原分流河道砂岩组成, 粒度向上变细, 局部钻孔缺失低位体系域。低位体系域没有煤层发育。

湖侵体系域与层序 2 类似, 主要由下三角洲平原次一级的分流河道、分流间湾砂岩、泥岩、碳质泥岩和薄煤层、滨浅湖相砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩等组成。初始湖泛面位于分流河道下切谷砂岩上覆的的泥岩、泥质粉砂岩后粉砂岩底部(如 DX0—5), 河道间初始湖泛面与层序界面一致。湖侵体系域煤层发育较差, 局部地区下三角洲平原分流间湾及滨浅湖淤浅沼泽化后有不可采薄煤层(M1)、煤线或碳质泥岩发育。

高位体系域全区发育, 局部钻孔因后期剥蚀而残缺, 以由深湖一半深湖相巨厚层状横向稳定分布

的油页岩及浅湖相泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩为代表。最大湖泛面位于深湖一半深湖油页岩底部。高位体系域没有煤层发育。

### 3 层序格架内的聚煤作用分析

如图 3、图 4 所示, 研究区层序格架内煤层的发育具有明显的规律性, 从层序 1 到层序 3, 聚煤作用逐渐变弱。层序 1 全区发育巨厚煤层 M7, 局部发育中厚层 M6; 层序 2 全区发育中厚煤层 M5, 局部发育不可采煤层 M4、M3 和 M2; 层序 3 基本不发育煤层。此外, 从同一层序不同体系域内煤层分布看, 煤层主要发育于湖侵体系域, 其次为高位体系域, 低位体系域不发育煤层。层序 1 全区稳定分布的厚煤(M7)形成于湖侵体系域早期—中期, 靠近初始湖泛面; 层序 2 全区稳定分布的厚煤(M5)形成于湖侵体系域中期—末期, 靠近最大湖泛面。

基于对近海盆地含煤岩系层序地层学研究, 许多地质学家都已认识到层序格架内具等时意义的大面积稳定分布的厚煤层形成于海平面(基准面)抬升过程<sup>[6]</sup>。考虑到从泥炭到煤层的压实率为 10:1<sup>[14]</sup>,

通常认为多数大面积分布的厚煤层常常出现在最大海侵点处或其附近<sup>[4, 15]</sup>。而对于陆相含煤盆地, 由于控制可容空间的因素(如古气候、构造沉降、湖平面等)远比海相地层复杂, 煤层在层序格架内的发育也具有多样性。在层序1古隆起和盆地内部(如Y24、ZK32-1), 由于受陆源碎屑影响小, 沉积速率一般低于基准面上升速率, 多处于欠补偿状态, 只有当一次湖平面下降一定幅度使基底变浅或暴露之后湖平面重新上升过程中才会产生适于泥炭层堆积的可容空间。在这种背景下, 厚煤层常形成于湖侵体系域的初期—中期, 靠近初始湖泛面(如M7); 在最大湖泛面附近, 基准面上升速率过快, 一般没有煤层形成, 仅在高位体系域中—末期局部有煤线或碳质泥岩发育(图5)。

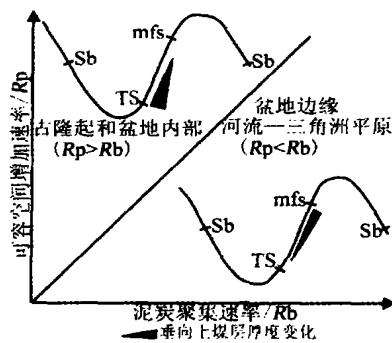


图5 层序格架内煤层厚度变化规律

Fig. 5 Variations of coal thickness in a sequence stratigraphic framework

对于层序2河流三角洲平原环境, 丰富的陆源碎屑供给常常使沉积处于补偿或过补偿状态, 只有当基准面上升速率相当大时, 基准面上升速率才会与泥炭堆积速率保持平衡。此时, 厚煤层常形成于湖侵体系域的中期—末期(图5), 靠近最大湖泛面(如M5、M4)。之后的高位体系域, 随着基准面抬升速度变慢, 陆源碎屑大量注入, 仅局部有不可采薄煤层发育(如M3、M2)。

#### 4 结论

a. 青海柴北缘鱼卡地区侏罗纪含煤地层共识别出4个层序界面, 划分了3个三级层序, 分别对应于中侏罗统大煤沟组、石门沟组下段和石门沟组上段。

b. 与近海含煤盆地不同, 由于陆相含煤盆地控制可容空间变化的因素较复杂, 厚煤层在层序格架内的发育具有多样性。层序1内古隆起和盆地内部, 厚煤层常形成于湖侵体系域的初期—中期, 靠近初始湖泛面(M7); 层序2内河流三角洲平原环境,

厚煤层常形成于湖侵体系域中期—末期, 靠近最大湖泛面(M5)。总体看, 对陆相含煤盆地三级层序来说, 以湖侵体系域聚煤最好。

#### 参考文献

- [1] BOHACS K, SUTER J. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks[ C] //fundamental controls and paralic examples. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1612—1639.
- [2] DIESSEL C F K, BOYD R, WADSWORTH J, et al. On balanced and unbalanced accommodation/peat accumulation ratios in the Cretaceous coals from Gates Formation, Western Canada, and their sequence-stratigraphic significance[ J]. International Journal of Coal Geology, 2000, 43: 143—186.
- [3] HOLZ M, KALKREUTH W, BANERJEE I. Sequence stratigraphy of paralic coal-bearing strata: an overview[ J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 48: 147—179.
- [4] AITKEN J F, FLINT S S. The application of high resolution sequence stratigraphy to fluvial systems: a case study from the Upper Carboniferous Breathitt Group, eastern Kentucky, USA[ J]. Sedimentology, 1995, 42: 3—30.
- [5] SHAO LONG YI, ZHANG PENGFEI, GAYER R A, et al. Coal in a carbonate sequence stratigraphic framework: the Late Permian Heshan Formation in central Guangxi, southern China[ J]. Journal of Geological Society London, 2003, V160: 285—298.
- [6] 邵龙义, 陈家良, 李瑞军, 等. 广西合山晚二叠世碳酸盐岩型煤系层序地层分析[ J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 168—174.
- [7] 吴因业, 宋岩, 贾承造, 等. 柴北缘地区层序格架下的沉积特征[ J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 195—203.
- [8] 彭立才, 杨慧珠. 柴达木盆地大煤沟侏罗系剖面高分辨率含煤层序分析[ J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2000, 17(1): 6—10.
- [9] 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, 1997, 25(3): 1—4.
- [10] 戴俊生, 叶兴树, 汤良杰, 等. 柴达木盆地构造分区及其油气远景[ J]. 地质科学, 2003, 38(3): 291—296.
- [11] 杨永泰, 张宝民, 席萍, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系展布规律新认识[ J]. 地层学杂志, 2001, 25(2): 154—158.
- [12] 薛光华, 杨永泰. 柴达木盆地北缘中新生代构造演化与油气关系[ J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(1): 35—39.
- [13] 杨利军, 邵龙义, 张鹏飞. 古土壤的类型及识别标志[ J]. 中国煤田地质, 2002, (14): 1—3.
- [14] STACH E, MACKOWSKY M T, TEICHMULLER M, et al. Stach's textbook of coal petrology[ M]. Borntraeger, Stuttgart, 3rd ed, 1982, 535.
- [15] FLINT S S, AITKEN J F, Hampson G. Application of sequence stratigraphy to coal-bearing coastal plain successions: implications for UK coal measures[ C] //In M K G, Whateley, Spears D A. European Coal Geology. Geological Society London, Special Publication, 1995, 82: 1—16.