

# 三角洲平原上网结河的发育与聚煤作用

陈代钊<sup>1</sup> 张鹏飞<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (中国科学院地质研究所,北京 100029)

<sup>2</sup> (中国矿业大学北京研究生部,北京 100083)

**提 要** 龙潭组上段(2# 煤顶板到 12# 煤)是盘县地区含煤最好的层段,对该区西北部本段地层的研究表明其中发育有网结河体系。河道沉积由多层叠置的鞋带状砂体组成,湿地沉积主要由菱铁质泥质岩夹薄层板状细砂岩(决口扇沉积)和煤组成。河流的发育和聚煤作用都显示幕式性,可能主要受海平面变化的控制。网结状河道被认为是海侵期对低位下切河谷充填过程中经侧向冲裂水道并相互连通形成的;稳定、连续的厚煤层发育于河道大范围废弃后的海侵晚期,其次是高水位早期。

**关键词** 网结河 聚煤作用 海平面变化 龙潭组上段

**第一作者简介** 陈代钊 男 33岁 博士 沉积学

## 前 言

过去,网结河和辫状河被视为同一种河流类型。最近十多年来,沉积学家们认识到它们属于不同的河流类型,并在现代和古代沉积中找到了相应的实例<sup>[4][14][16][17][18]</sup>。尽管对它们的认识还不够深入,但网结河的存在是无疑的。

作者通过对盘县西北部龙潭组上段详细的钻井资料分析和野外观察识别出了网结河体系。该文旨在阐述网结河体系沉积特征和聚煤规律,探讨网结河体系发育过程和聚煤作用的控制因素。

## 1 研究区概况

研究区位于盘关向斜西北翼,包括了老屋基、山脚树、月亮田和大田坝井田(图 1),现都已进行开采。但基本没有做过系统的沉积学研究。

本区含煤地层为晚二叠世龙潭组和长兴组,二者以 1# 顶板为界(图 2),主要为砂岩、泥质岩和煤组成的海陆交互相沉积,厚 180- 300 m 左右,上覆于峨眉山玄武岩风化壳之上。是茅口晚期“东吴运动”的抬升和滇东、黔西玄武岩喷发后,康滇古陆山前盆地迅速下沉引发的区域性海侵背景下沉积的,其中有多次海平面变化旋回,形成多个沉积层序(图 2)。每个层序由下切河谷侵蚀面开始,代表了相对快速的海平面下降过程。长兴期是晚

二叠世海侵范围最大时期 晚二叠世时, 研究区西部的牛首山隆起和康滇古陆连为一体 (图 5), 为玄武岩所覆盖, 共同向研究区提供物源

本文重点对龙潭组上段的沉积特征和聚煤规律进行研究 该段为 24# 煤顶板到 12# 煤的含煤地层, 厚 65–150 m, 含煤 18–30 层, 煤层较厚、较稳定, 灰分和硫分含量较低, 尤以 18# 以上最优, 是整个含煤岩系含煤性最好的层段 该段地层中河流沉积发育, 同时又夹有海相夹层 (图 2) 说明其沉积于过渡三角洲平原。

## 2 研究方法

在本文中, 我们主要采用层序地层的概念和方法体系<sup>[12][20]</sup>来分析沉积环境和聚煤作用的演化和变迁。考虑到三角洲平原的沉积特征, 在参阅了有些学者的观点<sup>[21]</sup>后, 术语系统也作了相应调整 (图 2)。

为了了解河道的三维空间形态以及与上下岩层的关系, 我们也吸收了成因地层层序分析<sup>[3][5]</sup>的一些具体做法, 即把河道沉积放在层序的中部来做图, 这样做并不妨碍用层序地层方法来解释。上述两种方法, 都强调了时间界面的重要性, 前者以低位侵蚀面作为层序界面, 该界面向泛滥平原延伸时, 变为广泛发育的古土壤层, 而在含煤地层中这种古土壤是比较普遍的, 只是具体操作中不好把握。而后者以最大海泛面作为层序界面, 该界面在一定范围内很稳定, 易于识别, 但向陆方向, 该界面的可靠性降低, 而且层序内有沉积纪录的缺失, 这是该方法的不足之处。西南地区晚二叠世煤层中普遍发育有火山灰蚀变成因的高岭石夹矸 (Tonsteins), 这种夹矸薄, 但非常稳定<sup>[2][22]</sup>, 有的甚至可延伸到海相灰岩中, 是确定上述时间界面, 进行煤、岩层对比的很好的标志层。

## 3 沉积相与沉积环境

### 3.1 沉积相

在研究区的龙潭组上段, 主要发育有 (1) 含砾叠置砂岩相; (2) 席状 (板状) 砂岩相; (3) 泥质岩相; (4) 煤层, 它们在空间的组合类型纪录了不同沉积环境的历史。

#### 3.1.1 含砾叠置砂岩

这种砂岩体一般厚 4–30 m, 宽 300–500 m 不等, 宽/深比平均 10–15 左右。如果完全暴露, 两侧大致是对称的。粒度以中-细粒为主, 局部含砾。砂岩类型以 (玄武) 岩屑砂岩或长石岩屑砂岩为主, 这主要与物源供应有关。砂岩中常见自生的海绿石, 特别是在侵

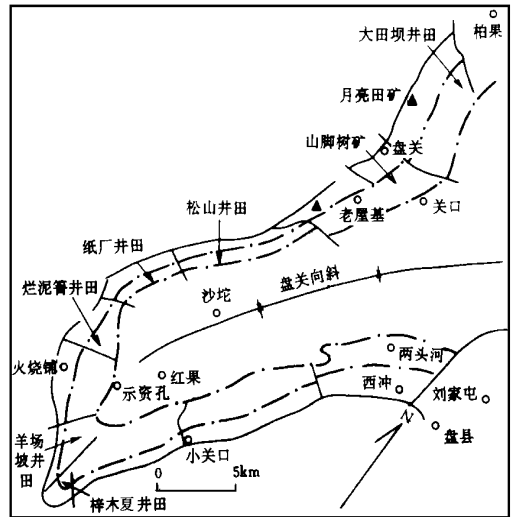


图 1 研究区位置及地质背景

Fig. 1 Diagram showing the location and geological setting of the study area at Panxian County, western Guizhou. Measured sections are denoted by filled triangles.

蚀界面上较多, 说明砂体发育过程中曾受到海水的影响。

砂岩底部具明显的侵蚀面, 界面上常见泥岩或粉砂岩的砾石, 煤层的碎块及炭化的植物茎干(图 3), 这些茎干长者可达 0.5 m, 常常定向排列, 砾石的长轴直径 0.04- 0.15 m

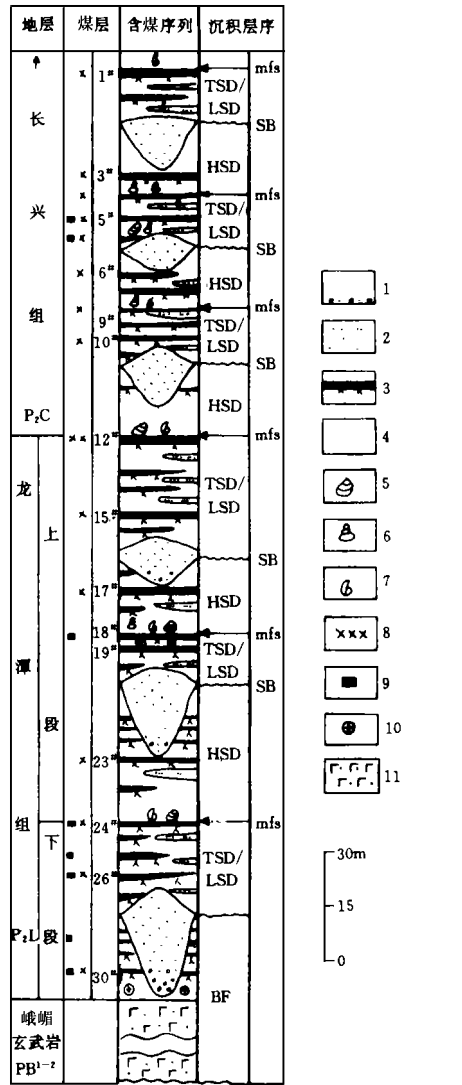
砂体内部常发育多个侵蚀面, 侵蚀面上也常见层内泥砾(图 3)。由于露头限制, 这些侵蚀面的侧向延伸不易追索。沉积构造以大型槽状交错层理为主, 其次为大型的板状和楔状交错层理, 层系厚 0.20- 1.0 m 不等。另外尚有少量沙纹层理和波状层理, 它们发育于砂岩内部的细粒夹层或砂体的上部。总的来看, 砂体具有向上变细的序列, 但砂体仍具有截然变化的顶界面。砂体有多个垂向加积层组成, 侧向加积层不明显, 反映了河道以垂向加积作用为主。在空间上, 砂体呈相互连结的鞋带状或网状(图 4)。上述特征与曲流河道砂的特征是有区别的

### 3.1.2 席状(板状)砂岩

这种砂岩厚 0.2- 3.0 m, 厚者可达 3.5 m, 以 < 1.0 m 者较常见。粒度以细-极细砂岩为主, 时夹透镜状或薄层状粉砂岩, 在短距离内尖灭或过渡为粉砂岩。与上覆和下伏的泥质岩(或煤)接触明显, 且时有冲刷现象, 有时亦表现为过渡接触。它们或夹于泥质岩中或与泥质岩互层, 在河道的周围形成席状或板状砂体, 向源滥平原中心尖灭(图 4)。砂岩中常含丰富的植物碎片或茎干, 在其顶部还时常见有植物根痕, 局部含有透镜状菱铁质结核。沉积构造以沙纹层理为主, 其次有 1. 断续波状层理、小型槽状或楔状交错层理(图 3), 它们的形成与堤岸的决口作用有关

### 3.1.3 泥质岩

泥质岩类是所有岩石中最丰富的一类, 粒度变化从粉砂到粘土, 包括了粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩, 以及少量纯的粘土岩。构造从块状到纹层状或交错纹层状, 在粉砂岩中以纹层状或交错纹层状构造为主。这类岩石中普遍含有植物碎屑和植物根痕, 含植物根痕极丰富的泥质岩往往表现为块状层, 说明这种块状层与植物根的扰动和穿孔有很大联系, 在这些块状层中往往具有滑动面(特别是有些煤层底粘土(或根土岩)), 反映了干-湿气候交替所发育的不成熟古土壤<sup>[7]</sup>。在有些泥质岩中, 发



1. 含砾砂岩 2. 砂岩 3. 煤 4. 泥质岩 5. 瓣鳃类 6. 腹足类 7. 腕足类 8. 高岭石夹矽 (Tonstein) 9. 黄铁矿结核 10. 鲕状菱铁矿结核 11. 玄武岩 LSD. 低位沉积 TSD. 海侵沉积 HSD. 高位沉积 SB. 层序界面 TS. 海侵面 mfs. 最大海源面 BF. 盆地充填

图 2 晚二叠世含煤地层特征和层序

Fig. 2 Depositional characteristics and sequences of the Late Permian coal-bearing strata at Panxian County, western Guizhou

在有些泥质岩中, 发

育有生物潜穴，以水平或斜交层面者具多。岩石中常见透镜状菱铁质结核或条带，有时甚至构成互层。在有些泥岩中尚可见菱铁质鲕粒（直径 1 mm 左右），局部尚见有钙质结核，反映了弱碱性、弱还原的水介质条件以及海陆过渡的沉积环境。在有些黑色泥岩中，常含有黄铁矿结核，含有腹足、瓣鳃类动物化石和完整的植物叶片，水平纹理或块状，反映了水体较停滞的还原环境。在有些深灰色泥质岩中，含有腕足类及瓣鳃类海相化石，且常含有生物潜穴，反映了海洋的影响。泥质岩中常夹有薄层状席状砂岩（图 3-4），反映了源滩平原经常性的决口作用。

### 3.1.4 煤层

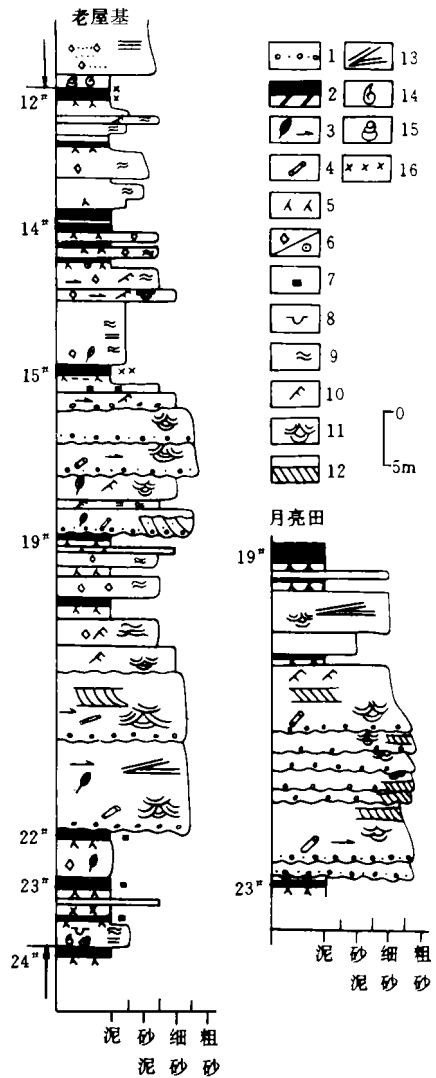
龙潭组上段是晚二叠世含煤地层含煤性最好的层段，一般含煤 18-30 层，可采 7-12 层，主要可采煤层有 12#、15#、17#、18#、19# 等。根据煤层煤质及相关沉积相特征，可把龙潭组上段分为两个含煤带，2# 煤顶板到 18# 煤为下含煤带，18# 煤顶板到 12# 煤为上含煤带（图 2）。

总的来看，上含煤带煤层相对较稳定，层间距相对较大；下含煤带煤层相对不稳定，层间距较小，常分叉。在同一含煤带内又以主（河道）砂体上部煤层比较稳定，厚度大，煤质好（图 4），如 12#-15# 要比 16#-17# 煤稳定，18#-19# 煤比 20#-23# 煤稳定。

煤层主要由半亮型和半暗型煤组成，一般呈细条带状、线理状或块状，某些煤层局部变成鳞片状或粉末状（如 17# 煤）。煤岩组分以稳定组为主，其次为惰质组和镜质组的过渡组分，稳定组分中主要以木栓质体为主，混有少量石英、粘土等陆源组分。

上含煤带煤层灰、硫分比下含煤带的要低，上含煤带煤层硫分（ $S_{g0}$ ）一般  $< 1.0\%$ ，平均  $0.5\%$  左右，下含煤带煤层硫分  $1.0\% - 1.5\%$ ，煤层中普遍含有黄铁矿结核（蠕虫状、莓粒状），所以其硫分主要为黄铁矿硫。

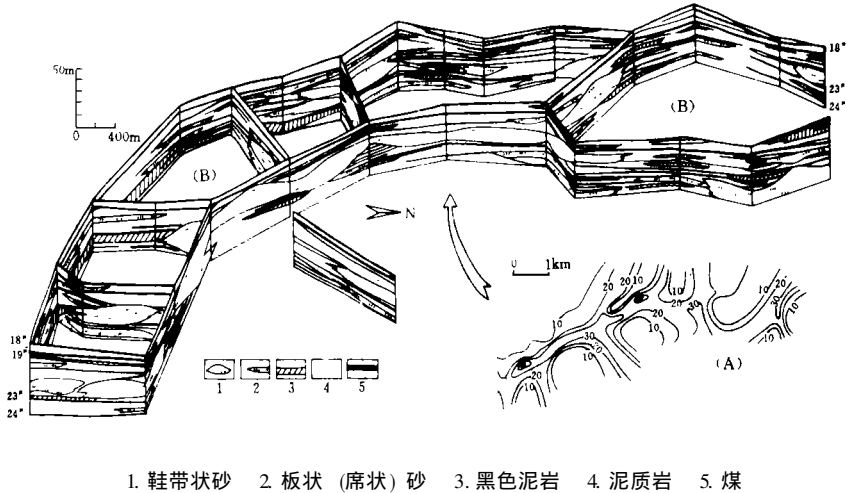
许多煤层中含有火山灰蚀变的高岭石夹矸，特征明显，在大范围内稳定<sup>[2][22]</sup>，是进行煤、岩层对比的很好时间标志层。



1. 泥砾 2. 煤及炭质泥岩 3. 植物叶及碎片  
 4. 植物茎干 5. 根土 6. 菱铁质结核及菱铁质鲕  
 7. 黄铁矿 8. 生物潜穴 9. 波状层理 10. 沙纹层理  
 11. 大型槽状交错层理 12. 板状层理 13. 楔状层理  
 14. 腕足类 15. 瓣鳃类 16. 蚀变火山灰粘土  
 图 3 河道砂岩及相关相沉积特征及垂向序列  
 Fig. 3 Two measured sections of the upper mbr., Longtan Fm., showing the depositional features and vertical successions of channel fills and associated deposits

### 3.2 沉积环境

龙潭组上段丰富的煤层和根土岩以及局部的海相夹层表明其为海陆交互相沉积, 河道的发育和演变以及向上变粗又变细的成因序列和组合显示了三角洲平原的沉积特征



1. 鞋带状砂 2. 板状(席状)砂 3. 黑色泥岩 4. 泥质岩 5. 煤  
图 4 龙潭组上段下含煤带含砂率图 (A) 及相应的三维立体栅栏图 (B)  
图中清楚地显示了河道型式及相关环境(或相)的空间组合关系, 钻孔号已省略。

Fig. 4 Isopach map of sand percentage (a) and three- dimension fence diagram (b), which clearly show the geometry of channel fills and associated deposits of the lower coal zone in the upper Member, Longtan Formation, northwestern Panxian County, Guizhou.

#### 3.2.1 河道型式

河道型式是确定河流沉积体系和聚煤作用的关键之所在。为了鉴别河道型式, 我们曾分别作了上含煤带(1#顶板到1#煤)和下含煤带(2#顶板到18#煤)的含砂率等值线图, 由于有很密的钻井工程控制, 河道的空间展布得到了很好的限定。同时, 我们还进一步对山脚树、月亮田和大田坝下含煤带的河道砂进行了重点解剖(图4), 图中清楚地显示了河道砂及相关沉积相的空间形态。从上面的分析中可以看出河道砂在空间上呈相互连通的网结状或鞋带状, 其间被小的伸长状泛滥盆地沉积所分隔, 这些正是网结河体系的最显著特征<sup>[4][16][17][19]</sup>。河道砂岩的侧向不连续性、丰富的泥质岩、煤和根土岩(图4)排除了高能量辫状河体系的可能。

龙潭组上段河道砂岩的内部结构表明河道主要以垂向加积为主, 如(1)相对较低的宽深比值, (2)砂体内部多层侵蚀面, (3)缺乏明显的侧向加积层和(4)具有明显的顶界面(图3), 这些都是网结河体系的重要特征<sup>[14][16]</sup>。单独考虑其中一项也许能在曲流河系统中出现, 比如曲流河体系中也可形成多层河道砂岩, 但这种情形通常是在具有侧向加积单元和高的宽/深比的情形下发生的。另外当剖面方向平行于曲流砂坝的原始沉积走向时, 侧向加积现象也不太明显, 但多个剖面的观察可以弥补其中的不足。大小不等的河道类型(图4), 相对稳定的堤岸环境和河道发育的短期性也是网结河体系比较特征的标志<sup>[7][16][19]</sup>。

研究区龙潭组上段河道砂的几何形态和内部结构与网结河道砂的特征非常相似。Smith等人<sup>[16][17]</sup>对现代温湿气候条件下的网结河体系的研究表明它们具有多层叠置, 侧向

稳定的砾质、砂质河道，具多变曲度和平均 10:1 的宽/深比，天然堤和决口扇紧挨河道，向远端过渡到植被丰富的湿地，它们占据了泛滥平原 80% 的范围。因此，从河道型式看，龙潭组上段中发育的河流体系应为网结河体系。

### 3.2.2 溢岸环境

溢岸环境包括天然堤、决口扇和泛滥盆地等自然地貌单元。

天然堤是河流系统中最高地貌单元，具良好的泄水条件，因此，在现代河流中是一些大的木本植物最有利的生长场所。在龙潭组上段中，含有丰富植物根座的纹层状（交错状或水平状）或块状的极细砂岩、粉砂岩或它们的互层被认为是天然堤的沉积，其中生物扰动较强烈，局部含菱铁质结核。

普遍发育的决口扇是网结河体系最显著的特点之一<sup>〔16〕〔19〕</sup>，决口作用的发生对于旧河道的废弃、新河道的产生以及河道的侧向稳定性都具有十分重要的意义。

溢岸沉积序列中的席状（或板状）细—极细砂岩被认为是决口扇沉积，这些砂岩厚 0.4—3.0 m，近端决口扇砂可见到小型交错层理，向湿地方向以沙纹层理为主，具向上变粗又变细的序列，显示小型三角洲特征。砂岩顶部常见植物根痕，但生物扰动没有天然堤沉积强烈。如果决口扇进一步扩大，将发育成次一级河道，如果被树干或沉积物淤塞，决口扇将停止生长，而逐渐被植被所覆盖，从而终止决口扇的进一步发育。

龙潭组上段丰富的泥质沉积物说明泛滥盆地占据网结河体系中的大部分区域，沉积组成以富含菱铁质结核或条带的纹层状粉砂岩、粉砂质泥岩为特征。纹层状或块状含有腹足、瓣鳃等海相化石的深灰、灰绿色（粉砂质）泥岩代表了三角洲间湾或河口湾之沉积。而这种环境一般发育于河道大范围废弃之后。

### 3.2.3 沼泽

龙潭组上段煤层及炭质泥岩厚度约占剖面厚度的 1%—15%。根据 Ryer & Langer<sup>〔15〕</sup> 的研究，烟煤的压缩比约为 11:1，砂岩的压缩比约 1:1，泥岩约为 2:1，炭质泥岩约为 5.5:1。这些数字表明泥炭和富有机质泥岩相当于未压缩剖面的 40%—50%，然而泥炭堆积速率相对碎屑沉积物而言是很低的<sup>〔8〕</sup>，所以龙潭组上段所保存的所有岩石中，煤及炭质泥岩占去沉积作用过程中约 90% 的时间。

低的泥炭堆积速率表明煤层的形成至少需要数千，甚至数万年的无碎屑输入<sup>〔8〕〔9〕</sup>，因此，广泛发育的煤层（特别是河流废弃后）表明沉积盆地存在长时期的碎屑物饥饿。

## 4 河流发育及聚煤作用的控制因素

### 4.1 网结河体系的发育

网结河体系的成因尚未定论。Schuman<sup>〔10〕</sup>以为网结河形成于低坡降区域，具有高的悬浮床沙载荷比。考虑到坡降、河道稳定性及高的悬浮床沙载荷比，Mollard (1973) 认为网结河是辫状河与曲流河的过渡类型。Smith, et al.<sup>〔17〕</sup>认为网结河形成的主要原因是由于下游基准面上升所引起的快速垂向加积所致，由于缺乏足够的水动力而使河道保持侧向稳定性，同时因植被的发育而使其得到加强。但干旱气候条件下网结河的存在<sup>〔13〕</sup>表明堤岸稠密的植被不是河道侧向稳定的首要因素，因此，粘性、细粒沉积物对延缓河道迁移、保持河道稳定也许具有更重要的意义。河道的冲裂也能形成网结状河道，Saskatchewan河广泛

发育的网结状河段位于沼泽中有重要冲裂水道的区域<sup>[16][19]</sup>。尽管任何河流的冲裂都有可能产生暂时的网结水道, 但只有当冲裂水道通过沼泽时, 这种型式才能加固, 泥炭的粘性将延缓河道的侵蚀使网结河道能保持较长时间

龙潭组上段所发育的网结河总体上和 Saskatchewan 河的网结河型式是相似的 首先, 河道砂和相关的决口砂体大致发育于同一阶段 (图 4), 说明河流的发育具阶段性, Saskatchewan 河的主河道区为曲流河, 尽管在研究区没有成熟的曲流河沉积, 但在该区西南的羊场坡—梓木戛一带是存在的<sup>①</sup>, 说明曲流河和网结河存在着过渡关系 另外, 河道特有的几何形态和内部结构, 较小的河道宽/深比、稳定的堤岸和泛滥平原丰富的植被与现代和古代记录中的网结河是相似的<sup>[10][11][14][16]</sup>。

那么究竟是什么因素造成了周期性沉积作用和网结河的发育? 气候的变化可以影响物源供给, 但碎屑岩中丰富的煤层说明气候没有多大变化 周期蹲槽隙沃械暮拥莱梁 瞻苾窍虑泻庸? 低水位期) 在海侵阶段沉积充填的。在低水位期, 由于沉积基准面降低, 侵蚀作用较强, 河道沉积较难保存, 有的仅保留了一些谷底的滞留沉积 (图 3), 该期河型可能主要为曲流河体系, 河道的空间形态 (图 4) 好象还保存了这种河型的痕迹 在海侵阶段, 由于海平面快速上升, 海水迅速向河网倒灌, 河道将伴随沉积基准面的上升而向上迅速加积, 由于下蚀作用较弱, 使得沉积得以保存, 这就是河道沉积中有多层侵蚀面并缺乏侧向加积层的主要原因, 每个侵蚀面代表一次海水/河水加深事件。充盈河水, 泄水不畅的河道将通过侧向冲裂 (常由一些触发因素如风暴、潮汐、洪水泛滥等引起) 向泛滥平原扩展河道, 释放过多能量, 形成相互连通的网结状河道; 由于能量的相对分散, 使河网能在一定时间内保持稳定, 但海平面的继续快速上升, 使得绝大部分河道在较短时间内被沉积物充填淤塞, 除了主河道区和冲积平原上部发育小型河道外, 大范围的河道被废弃, 形成广布的滨岸平原和沼泽, 这

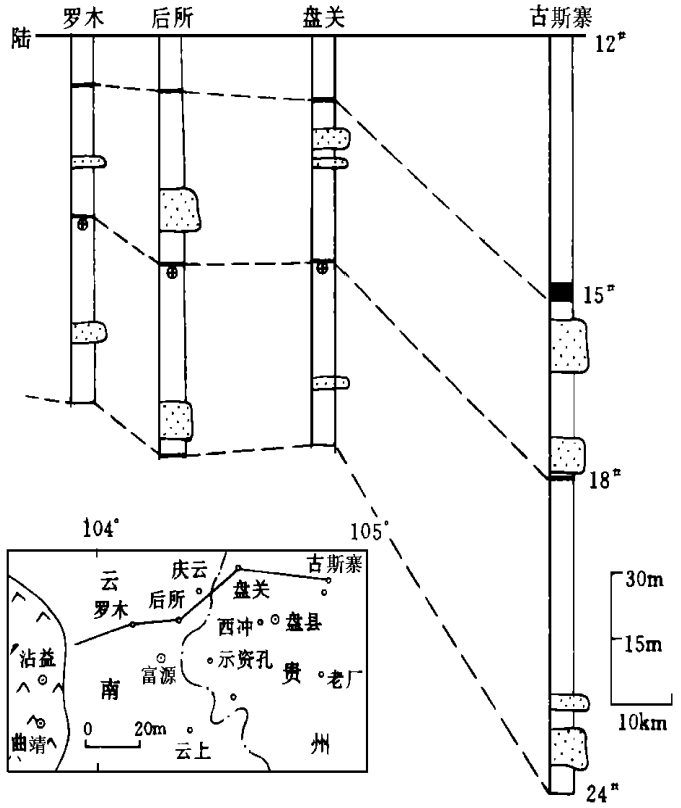


图 5 滇东-黔西龙潭组上段横剖面图

Fig. 5 Cross-Section of the upper member, Longtan Formation from eastern Yunnan to western Guizhou, showing the generalized depositional settings and structural subsidence.

① 陈代钊, 1989, 贵州盘县煤田盘关矿区晚二叠世含煤地层沉积环境及聚煤规律, 硕士论文。

可能就是这种网结河道不能持续长久的主要原因。因此, 阶段性河流发育看来是受到周期性海平面变化控制的。

#### 4.2 聚煤作用

低水位期, 由于沉积基准面较低, 下切河谷发育, 且侧向迁移较快, 大部分泛滥平原位于潜水面之上, 这种环境对泥炭的堆积是极其不利的, 因而很难形成有经济价值的煤层。海侵早期, 稳定的网结状河道的形成为持续稳定的泥炭堆积创造了必要条件, 由于彼此分隔的沼泽和比较发育的决口扇沉积, 形成的煤层不连续, 煤层常分叉且灰分较高, 仅在小范围内形成有价值的煤层。海侵晚期, 由于大范围的河道废弃, 造成了广布的滨岸平原和沼泽, 为大范围持续稳定的泥炭堆积创造了极其有利的条件, 形成全区稳定连续的厚煤层, 且煤质优良, 如研究区内的 19<sup>#</sup>、18<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>、12<sup>#</sup> 煤层就是海侵晚期形成的, 煤层连续、稳定、厚度较大、低灰、低硫 (接近最在淹没面煤层硫分稍有增高, 但仍 < 1%), 是全区最主要的可采煤层。高水位早期, 被海水暂时淹没的沼泽得以在大范围内重建, 形成稳定、连续、煤质较好的煤层。但如果后期海平面下降幅度较大的话, 该期沉积的煤层有可能被下切河道所冲蚀。高水位晚期, 由于海平面开始下降, 在三角洲平原的近端, 河流已开始复活, 向海方向已开始发育一些小型河道和决口扇, 聚煤作用开始变得不稳定, 形成的煤层常分叉、灰分也较高, 且经常被低位下切谷所冲刷。

致射: 本项研究的野外工作曾得到 159 煤田勘探队的协助。作者特别感谢盘江矿务局火铺矿的苏功平、黎飞同志, 老屋基矿的郑主进同志和 159 队的杨在纲同志, 没有他们的倾心帮助, 此项研究是很难进行的。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘宝珩, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法. 地质出版社, 1985.
- [2] 周义平等. 中国西南晚二叠世煤田中 Tonstein 的分布和成因. 煤炭学报, 1983, (3): 76-87.
- [3] Busch D A. Genetic units in delta prospecting. Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., 1971, 55 (8), 1137-1154.
- [4] Flores R M Hanley, J H. Anastomosed and associated coal-bearing fluvial deposits: Upper Tongue Member, Palaeocene Fort Union Formation, northern Powder River Basin, Wyoming, U. S. A. In Rahmani, R. A. & Flores, R. M. (Eds), Sedimentology of Coal and Coal-bearing Sequences, Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., 1984, 7, 85-103.
- [5] Galloway W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis II Applications to northwestern Gulf of Mexico Cenozoic Basin, Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., 1989, 73, 143-154.
- [6] Haszeldine R S. Coal review of depositional controls, modern analogues and ancient climate. In Whateley, M. K. G. & Pickering, K. T. (eds), Deltas Sites and Traps for Fossil Fuels, Geol. Soc. Spec. Publ., 1989, 41, 289-308.
- [7] Kirschbaum M A & McCabe P J. Controls on the accumulation of coal and the development of anastomosed fluvial systems in the Cretaceous Dakota Formation of southern Utah, Sedimentology, 1992, 39, 581-598.
- [8] McCabe P J. Depositional environments of coal and coal-bearing strata. In Rahmani, R. A. & Flores, R. M., (eds), Sedimentology of Coal and Coal-bearing Sequences, Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., 1984, 7, 13-42.
- [9] McCabe P J. Facies studies of coal and coal-bearing strata. In Scott, A. C. (ed), Sedimentology of Coal and Coal-bearing Strata Recent Advances, Geol. Soc. London Spec. Publ., 1987, 32, 51-66.
- [10] McCarthy T S, et al. The roles of sedimentation and plant growth in changing flow patterns in the Okavango Delta, Botswana. S. Afr. J. Sci., 1986, 82, 579-584.
- [11] McCarthy T S, et al. Features of channel margins in the Okavango Delta. Palaeoecol. Afr., 1988, 19, 3-14.
- [12] Posamentier H W & Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition II- sequence and system track models. In Wilgus, C. K. et al (eds), Sea Level Change- An Integrated Approach, SEPM Spec. Publ., 1988, 42, 125-154.



- [13] Rust B R. Sedimentation in arid- zone anastomosed fluvial system Coopers Creek, central Australia. *J. Sed. Petrol.*, 1981, 51, 745- 755.
- [14] Rust B R, et al. Coal deposition in an anastomosing- fluvial system the Pennsylvanian Cumberland Group south of Joggins, Nova Scotia, Canada. In Rahmani, R. A. & Flores, R. M. (eds), *Sedimentology of Coal and Coal - Bearing Sequences*, IAS Spec. Publ., 1984, 7, 105- 120.
- [15] Ryer T A & Langer A W. Thickness change involved in the peat- to - coal transformation for a bituminous coal of Cretaceous age in Central Utah, *J. Sed. Petrol.*, 1988, 50, 987- 992.
- [16] Smith D G. Anastomosed fluvial deposits- modern examples from Candada. In Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds), *Modern and Ancient Fluvial Systems*, IAS Spec. Publ. 1983, 6, 155- 168.
- [17] Smith D G & Putnam P E. Anastomosed river deposits- modern and ancient examples in Alberta, Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 1980, 17, 1396- 1406.
- [18] Smith D G & Smith N D. Sedimentation in anastomosed river systems- examples form alluvial valleys near Banff, Alberta. *J. Sed. Petrol.*, 1980, 50, 157- 164.
- [19] Smith N D, et al. Anatomy of an avulsion. *Sedimentology*, 1989, 36, 1- 23.
- [20] Van Wagoner J C, et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In Wilgus, C. K., et al. (eds), *Sea- level Changes An Integrated Approach*. SEPM Spec. Publ., 1988, 42, 39- 46.
- [21] Weimer R J. Developments in sequence stratigraphy: Foreland and cratonic basins- Presidential Address. *AAPG Bull.*, 1992, 76, 965- 982.
- [22] Zhou Y- P, et al. Origin and distribution of Tonsteins in Late Permian coal seams of Southwestern China. *Int. J. Coal. Geol.*, 1982, 2, 49- 77.

## Development of Anastomosed Fluvial Systems and Coal Accumulation on the Deltaic Plain

*Chen Daizhao*<sup>1</sup> and *Zhang Pengfei*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

<sup>2</sup> (Beijing Graduate School, China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

### Abstract

The upper member of Longtan Formation at northwestern Panxian, western Guizhou, consisting of about 11%—18% coal seams and 82%—89% clastic intervals, contains the most economic coal deposits in the Late Permian coal- bearing strata. Two episodes of channel- fill sedimentation are recognized in this coal- bearing unit, and they interrupt the extensive development of mires and the accumulation of peats. The widespread swamps, therefore, are developed after the regional channel abandonment.

The channel- fill sandstones are 4- 25m thick and 300- 500m wide, have pronounced basal scours, internal erosional surfaces, sharp top contacts and abundant authigenic glauconites, and they are filled dominantly by aggradational deposits, and show interconnecting shoestring- like patterns. An anastomosed channel complex is suggested by the coeval channels of different dimensions. The sheet (or tabular) sandstones, ranging from 0. 2m to 3m in thickness, are interpreted as the crevasse- splay deposits. The laminated and/or massive mudrocks with abundant sideritic nodules or bands, constituting

60– 80% of the deposits in sediment volumes, are assumed to the wetland deposits. Some mudrocks with marine body fossils are considered as the interdistributary bay or estuary deposits.

It is suggested that the episodic development of fluvial systems and the accumulation of coals perhaps were mainly controlled by sea level fluctuations for lack of full evidences of the relative rapid subsidence near the Kangdian Uplift in the west of the study area. As the sea level rose in the early transgression, the sea water invaded and filled the incised valleys exposed at the sealevel lowstand. The water-logged incised valleys on the deltaic plain had to release the excessive water potentials by lateral avulsion. Interconnecting with the avulsion channels finally formed the anastomosed river system. The continued sea level rising led to the extensive channel abandonment and the mire development because the channel aggradation could not catch up the sea level regional channel desertion in the late transgression. However, the coal accumulation on mires developed during other stages of sea level variations became unstable, discontinuous, and are of minor economic importance because of the variable mire environments or the lowstand downward incision of channels.

**Key words** anastomosed fluvial systems coal accumulation episodic sedimentation sealevel changes upper member of Longtan Formation.