

文章编号: 1000-0550(2003)01-0168-07

# 广西合山晚二叠世碳酸盐岩型煤系层序地层分析<sup>①</sup>

邵龙义<sup>1</sup> 陈家良<sup>2</sup> 李瑞军<sup>1</sup> 张鹏飞<sup>1</sup>

1(中国矿业大学(北京校区)资源与地球科学系 北京 100083) 2(广西安全生产检查局 南宁 530022)

**摘要** 广西合山煤田晚二叠世合山组是在浅水碳酸盐台地背景下形成的典型的碳酸盐岩型含煤岩系,其沉积环境有滨外陆棚、生物礁、开阔台地、潮坪和泥炭沼泽等。在包括合山组和大隆组在内的整个晚二叠世地层中,可以识别出 5 个层序界面,并可根据这些层序界面将区内上二叠统划分为 4 个层序。层序 I 从合山组底面到合山组下段顶部的四<sub>下</sub>煤层底板硅质岩层之底面;层序 II 包括从四<sub>下</sub>煤底板到四<sub>上</sub>煤底板的一套地层;层序 III 为从四<sub>上</sub>煤层底板到二煤层之下铝土质泥岩底板的序列;层序 IV 包括从合山组二煤层之下铝土质泥岩底板到大隆组之顶。其中层序 I、层序 II 和层序 IV 厚度在合山煤田范围内变化较大,说明受盆地基底沉降作用控制强烈,层序 III 则表现为多次的煤层—石灰岩旋回性,并且在合山煤田甚至桂中地区稳定分布,说明可能主要受全球海平面变化控制。

与滨海平原靠陆一侧的冲积体系的陆源碎屑岩含煤岩系不同,陆表海碳酸盐岩型煤系三级层序中的最大海泛带底部以该层序中向上变薄至最薄的一层煤的底面为代表,如研究区三<sub>中</sub>煤层底面即为层序 III 中的最大海泛带底部,其下为三级层序中的海侵体系域,其上为高位体系域。三级层序中有包含四<sub>上</sub>、三<sub>下</sub>、三<sub>中</sub>、三<sub>上</sub>等煤层为界的 4 个四级层序,每个四级层序中发育以煤层为代表的海侵期沉积和以煤层之上石灰岩为代表的四级高位期沉积。

**关键词** 层序地层 碳酸盐岩型煤系 合山煤田 晚二叠世

**第一作者简介** 邵龙义 男 1964 年出生 教授 博士生导师 沉积学和层序地层学

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 1 引言

广西中部晚二叠世合山组以其碳酸盐岩夹煤层序而著称于世,20 世纪 80 年代以来,国内许多学者都到该处考察研究,着重对煤系地层划分<sup>[1]</sup>、沉积模式<sup>[2-6]</sup>及聚煤模式和聚煤特征<sup>[7]</sup>等方面进行了系统研究;近年来又有关于合山地区晚二叠世沉积间断面<sup>[8]</sup>、古土壤层<sup>[9]</sup>、碳同位素地层学<sup>[10]</sup>以及层序地层学研究<sup>[11]</sup>。这些资料和看法都大大促进了该碳酸盐岩型煤系的研究。

虽然层序地层学在陆源碎屑岩含煤岩系中得到广泛应用,但对碳酸盐岩型煤系层序地层特征的研究则甚为少见。同时仅根据对滨海平原靠陆一侧冲积体系为主的碎屑岩煤系研究得出的一些规律可能不适于陆表海碳酸盐岩型煤系,例如,目前普遍认为厚度最大、分布最广的煤层形成于最大海泛面附近<sup>[13,14]</sup>,但在碳酸盐岩型煤系中情况则相反,即最大海泛面处形成的煤层其厚度可能最小。本文即对广西合山地区晚二叠世碳酸盐岩型煤系进行初步的高分辨率层序地层分析,并探讨碳酸盐岩层序地层格架下的煤层的分布特征。

## 2 地质背景

广西晚二叠世古地理轮廓主要表现为一系列被深水槽盆包围的孤立碳酸盐台地<sup>[15]</sup>,其上发育了典型的碳酸盐岩型煤系,本文所研究的合山煤田即位于这些碳酸盐台地上,其中,马滩、鹅滩剖面是本次研究较为详细的剖面。合山煤田的主体构造为合山向斜(图 1),它是一个近南北向短轴状不对称向斜盆地,南北长约 30 km,东西宽约 12 km,向斜西翼地层倾角平缓,约 12~20°,东翼地层倾角变化大,从 19°到直立甚至倒转。马滩和鹅滩两个剖面即沿向斜西翼的红水河边分布。合山煤田晚二叠世地层包括合山组和大隆组,该地合山组厚约 140 余米,以碳酸盐岩夹煤为特征,大隆组厚 20 余米,以火山碎屑浊积岩为主。合山组含煤主要有四层,从上到下编号为二、三、四、五煤层,其中三煤和四煤在本区有二到三个分层。煤层结构复杂,高灰高硫,其顶底板常直接为石灰岩或燧石。马滩剖面近年来经详细的生物地层学研究后被划分为吴家坪阶和长兴阶,二者界线一般被放在合山组四煤层附近,但具体位置仍有争议。本文采取四<sub>下</sub>煤层底板为分界线。

<sup>①</sup> 国家自然科学基金项目(批准号:49772129 和 40172050)资助  
收稿日期:2002-12-26 收改稿日期:2003-01-10

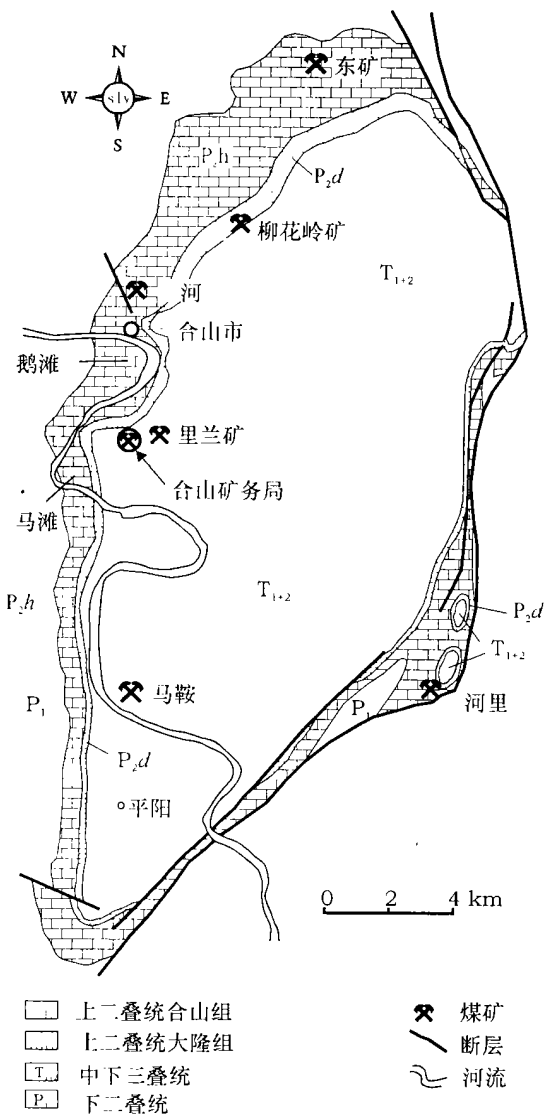


图 1 广西合山煤田地质简图及剖面位置

Fig. 1 Sketch map showing structural outline and localities of the studied sections

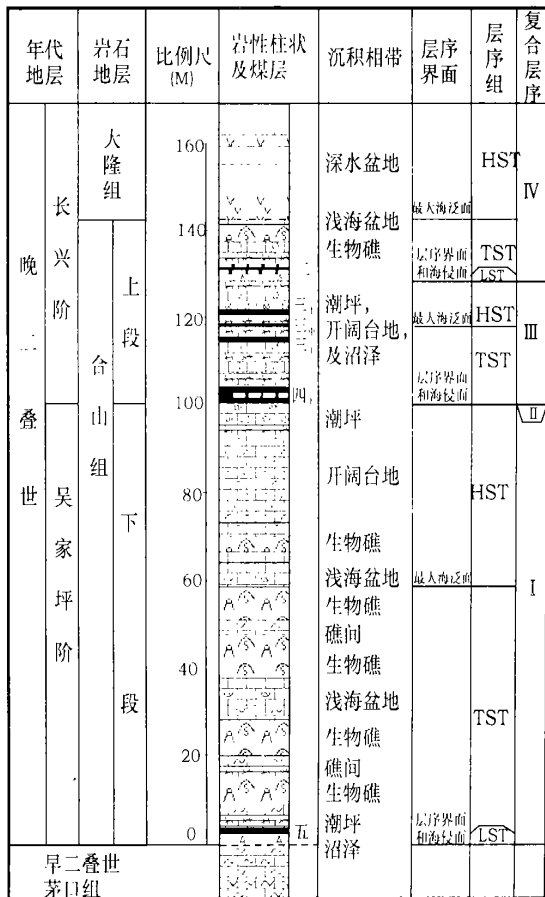
### 3 微相特征

合山组碳酸盐岩主要为石灰岩, 含有包括裸松藻类、粗枝藻类、有孔虫、蜓、海绵、苔藓虫、珊瑚、腕足类、腹足类、瓣鳃类、介形虫、三叶虫、棘皮类、管状藻及钙球等门类生物在内的丰富的化石和化石碎片, 由于颗粒种类、完整程度、含量以及颗粒之间的填隙物不同, 所以合山组碳酸盐岩又有灰泥岩、颗粒质泥岩、泥质颗粒岩以及生物粘结岩等一系列结构类型, 通过对合山组碳酸盐岩进行详细分析, 认为合山组下段发育生物礁、滨外陆棚及开阔台地环境, 合山组上段四煤底板到二煤底板之间发育潮坪和泥炭沼泽环境, 二煤底板往上发育由潮坪、开阔台地、滨外陆棚环境的向上变深的序列<sup>[7]</sup>。

## 4 层序地层分析

### 4.1 关键界面

本次在广西中部合山一带上二叠统中识别出一系列沉积间断面和事件沉积界面, 其中比较显著的有 5 个, 分别可作为 5 个层序界面 (图 2)



1. 凝灰质泥岩和粉砂岩; 2. 凝灰质砂岩; 3. 含完整生物体的颗粒泥质岩和灰泥岩; 4. 球茎生物泥质颗粒岩; 5. 含粪球粒藻泥质颗粒岩; 6. 有孔虫生屑泥质颗粒岩; 7. 纹层状藻泥质颗粒岩; 8. 具 *Skolithos* 痕迹化石的泥卷形内碎屑粗砾岩; 9. 海绵障积-粘岩; 10. 铝土质泥岩; 11. 煤和炭质泥岩

图 2 广西合山组沉积相及层序地层柱状图

Fig. 2 Geological log showing facies and sequence stratigraphic interpretation of the Late Permian carbonate coal measures in the Heshan coalfield, central Guangxi

- 1. Tuffaceous mudstone and siltstones; 2. Tuffaceous sandstone; 3. Wackestone and mudstone with whole body stenohaline fossils; 4. Fusulinid packstone; 5. Algal clast packstone with fecal peloids; 6. Foraminiferal bioclastic packstone; 7. Laminated algal clast packstone; 8. Rip-up intraclastic rudstone with *Skolithos* trace fossils; 9. Sponge bafflestone and bindstone; 10. Bauxitic mudstone; 11. Coal and carbonaceous mudstone

SB+ 以合山组底部的上、下二叠统交界处代表

东吴运动的区域性古风化面为代表；

SB2- 以合山组上段和下段交界处的厚层石灰岩顶部为代表,该界面为一暴露间断面,在鹅滩剖面表现为巨厚层状珊瑚生物礁岩的起伏不平的顶部,其上覆盖薄层状海绵骨针硅质岩及中厚层状蓝藻硅质岩,再上即为四<sub>下</sub>煤层,在马滩该界面之下为发育泥卷形干裂及 Skolithos 痕迹化石的巨厚层状藻屑泥质颗粒岩,其上直接覆盖四<sub>上</sub>煤层。该界面处还伴随有碳同位素突然降低的现象<sup>[10]</sup>；

SB3- 以合山组四<sub>上</sub>煤的底板为代表,该界面在湖河矿及柳花岭矿井下见“鼓丘”状突起,其上可见煤层及炭质泥岩超覆现象；

SB4- 以合山组上段二煤底板铝土质泥岩底面为代表,该界面亦代表一较长时间出露的古风化面；在整个桂中地区广泛分布。古风化面之上岩性组合从下到上依次为铝土质泥岩、相当于区域二号煤的煤层和炭质泥岩、纹层状藻屑泥质颗粒岩；

SB5- 以区域性二叠—三叠系界线为代表。该界面处曾发生过全球范围内的大规模的地质事件—生物大量灭绝事件<sup>[16]</sup>。

### 4.2 层序划分

以上述五个层序界面为界,可将合山地区上二叠统划分为 4 个层序(图 2 和图 3)

层序 I — 从合山组底面到合山组下段顶部的四煤底板硅质岩层之底面。该层序是在研究区经受长期风化剥蚀之后海水侵入该区而形成的,代表一个三级层序,该层序包含低位体系域、早期海侵体系域、晚期海侵体系域和高位体系域沉积

低位体系域: 泻湖沉积

桂中地区早二叠世末期由于发生东吴运动而上升成陆,经过长期风化剥蚀作用,晚二叠世又开始沉降,本区也随之开始接受沉积。海侵初期在古风化面上相对低凹的地段发育了水流闭塞的泻湖环境,沉积了合山组底部的铝土质泥岩,此铝土质泥岩即为当时的低位期沉积

早期海侵体系域: 泥炭沼泽、潮坪和开阔台地沉积

在合山组底部铝土质泥岩沉积之后,海水大规模地入侵本区,受潮汐作用控制的泥炭沼泽环境发育,形成区内五号煤层;随着海水进一步变深,沼泽很快被海水淹没,以潮汐作用为主的潮坪环境随之发育,并很快即演化为开阔台地环境。潮坪环境以纹层状藻屑泥质颗粒岩为代表,开阔台地环境以含粪球粒的藻屑泥质颗粒岩和有孔虫—生屑泥质颗粒岩为代表。这一阶段沉积环境显然经过泻湖沼泽—潮坪—开阔台地这样一个发育过程,代表一个早期海侵体系域的退积序列。

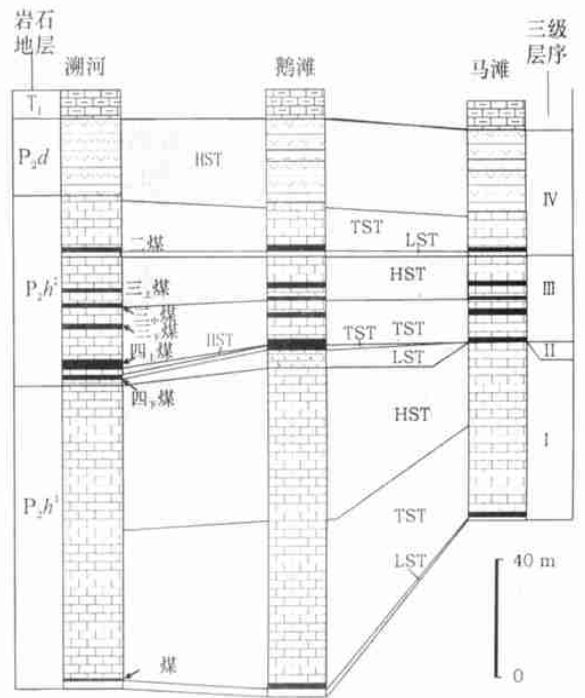


图 3 桂中合山煤田晚二叠世层序地层对比简图  
Fig. 3 Sequence stratigraphic correlation of the Late Permian in the Heshan coal field, central Guangxi

### 晚期海侵体系域: 开阔台地和生物礁沉积

随着基底继续下降,海水逐渐变深,当处于波浪带时,波浪活动带来的新鲜养分使各类生物得以大量繁殖,造礁的大个体生物串管海绵尤为繁盛,各种形态的串管海绵对生物碎屑及灰泥物质阻留和粘结,在缓慢沉降的基底上形成了生物礁。生物礁的形成导致沉积环境发生分异,在礁前浪基面以下是低能的开阔浅海盆地,其中沉积了含腕足类、海百合和苔藓虫等正常盐度生物化石的灰泥岩,而在生物礁的向陆一侧则形成了以藻类和孔虫等浅水生物为主的开阔台地沉积,沉积物为由裸松藻类、粗枝藻类、各类动物化石碎片、孔虫和粪球粒等构成的泥质颗粒岩,生物礁本身则代表台地边缘地区沉积。由于当时海平面持续抬升,使得沉积作用处于“追补”状态。这一阶段的“追补”沉积表现为所形成的沉积序列总体上从下向上依次为泥炭沼泽相—潮坪相—浅水潮下相—生物礁相的海进序列。顶部的浅海盆地相薄层状含完整生物化石的灰泥岩为凝缩层沉积,其底面为当时的最大海泛带底部。

高位体系域: 浅海盆地相、生物礁相、开阔台地相及潮坪相

从合山组下段中部的最大海泛带到合山组下段顶部的一段沉积,当时区域沉降作用已经变缓,海平面上升速度减慢甚至开始下降,所以形成浅海盆地相—生物礁相—开阔台地相—潮坪相的高位体系域的进积序

列,高位体系域下部仍表现为“追补”沉积,高位体系域的上部则表现为“并进”沉积。上部发育了厚度较大的开阔台地相沉积,在接近四煤层处还发育了代表潮坪上部环境的泥卷形内碎屑粗砾岩及含粗大 *Skolithos* 痕迹化石的藻屑泥质颗粒岩,顶面发育古地表岩溶地貌(鹅滩剖面硅质岩底面),说明在这一阶段末期水体已开始变浅且基底已经露出水面遭受风化。

层序II—发育于合山煤田鹅滩剖面以北的地区,典型层序见于溯河矿井下和鹅滩剖面,由四<sub>下</sub>煤层附近的一套地层组成,在溯河矿井下以四<sub>下</sub>煤底板到四<sub>上</sub>煤底板的一套地层为代表,包括四<sub>下</sub>煤及其顶板灰岩(图 3a);在鹅滩以四煤层下部及四煤层之下的一段潮坪相薄层状燧石岩为代表,这层燧石岩含有粗大的硅化植物化石树干,其底部与下伏珊瑚礁岩石之间呈凹凸不平接触,该凹凸不平接触面即为该层序底面,该层序顶面为四<sub>上</sub>煤层的中部的一层根土岩夹矸(图 3b);该层序在马滩仅以合并了的四煤层的下半部为代表,据合山矿务局资料,四<sub>上</sub>煤和四<sub>下</sub>煤在里兰矿及马滩一带已经合并为一层煤层(图 3c),该煤层下部则相当于煤田北部的四<sub>下</sub>煤层。马滩以南地区可能缺失该层序。该层序中,燧石岩仅在鹅滩剖面附近比较发育,可能代表当时的填补局部低凹环境的低位体系域沉积,其上大面积分布的四<sub>下</sub>煤层为该层序中的海侵体系域沉积,四<sub>下</sub>煤层顶板的石灰岩代表当时的高位体系域沉积。其顶界面为一鼓丘状起伏不平的不整合面。

层序III—由从四<sub>上</sub>煤层底板到二煤层之下铝土质泥岩底板的一段地层为代表。主要由开阔台地、潮坪和泥炭沼泽环境的沉积构成,包括海侵体系域和高位体系域。该层序中的最大海泛带底部以三<sub>中</sub>煤层底面为代表,其下为海侵体系域,其上则为高位体系域。层序III中又有一系列的四级层序。

四<sub>上</sub>煤层形成前,桂中地区发生大面积的构造抬升,沉积基底上升露出水面,遭受剥蚀和夷平作用,煤田南部的拉岭滩和马滩剖面及煤田北部的溯河矿和柳花岭矿井下的四<sub>上</sub>煤底板“鼓丘”等均是当时地壳上升遭受剥蚀的证据。石灰岩顶面的“鼓丘”代表一古地表岩溶形态<sup>[8]</sup>,这一古岩溶面是桂中一个很好的层序界面,代表当时基底有一定时间的暴露。之后,海水重新侵入,形成层序III,这一阶段整个桂中地区基底沉降作用比较一致,没有明显的差异沉降作用,这可由桂中地区合山组上段厚度比较一致(50~60 m)而反映出来。沉积背景是一比较平坦的浅水碳酸盐台地。在海侵初期泥炭沼泽相发育,形成全区稳定分布的四<sub>上</sub>煤层。

随着海水进一步变深,泥炭沼泽逐渐被交替出现的潮坪环境和开阔台地环境取代,潮坪环境沉积了纹

层状藻屑泥质颗粒岩,开阔台地环境沉积物以球蜓—生物泥质颗粒岩和痕斑状生物扰动的含生物残余的晶粒石灰岩及白云质灰岩为代表。在这一阶段水体曾几度变浅,使泥炭沼泽环境多次在本区发育,从而形成三煤层的几个分层(三<sub>下</sub>、三<sub>中</sub>、三<sub>上</sub>)。开阔台地、潮坪和泥炭沼泽等环境的交替出现,反映了当时海平面高频、周期性的变化。

该层序顶部是含钙质结核的纹层状藻屑泥质颗粒岩,结核岩性为含粪球粒的藻屑泥质颗粒岩,这种岩石是地壳上升阶段开阔台地环境向潮坪环境过渡期的产物,最后露出水面遭受剥蚀。值得一提的是,合山组上段厚度在全区相当稳定,说明当时沉积基底极为平缓,且地壳沉降作用比较均匀,因而为成煤作用提供了良好的古地理条件和构造条件,当时气候温暖潮湿,植物繁盛,所以在这一阶段形成了合山组全区可采煤层四<sub>上</sub>煤和主要煤层三<sub>下</sub>煤。煤层高灰、高硫(9%~11%,以有机硫为主),Sr/Ba比值大于1(平均4.5),亦说明沼泽发育期间曾受到海水强烈影响,成煤植物可能为适盐的类红树植物。

这一层序的典型序列表现为,开阔台地相、潮坪相和泥炭沼泽相在垂向上有规律地组合构成4次海退海进旋回,与此对应的是4个四级高频层序,每个四级层序中又有以煤层为代表的海侵期沉积和煤层之上石灰岩层为代表的高位期沉积,在这些四级层序中,煤层往往形成于海进初期发育的泥炭沼泽环境中。这些四级层序叠置在一起构成一个三级层序,其中以三<sub>中</sub>煤层底板为界,可将该三级层序划分为海侵体系域和高位体系域。在该三级层序中的所有煤层中,三<sub>中</sub>煤层最薄,仅0.2 m到0.4 m厚,与其它煤层相比,它代表海平面上升速度相对较快期间的沉积,海平面上升速率超过泥炭堆积速率时,泥炭沼泽会被淹没,泥炭会随之停止堆积。在这种情况下,我们把三级层序中的代表海平面上升速率最快的、最薄的一层煤作为最大海泛带底部沉积。在垂向上,合山煤田内,不论是马滩剖面,还是溯河井下剖面,煤层厚度都有从四<sub>上</sub>、三<sub>下</sub>、三<sub>中</sub>逐渐变小,又由三<sub>中</sub>到三<sub>上</sub>变厚的趋势(表 2)。

层序IV—包括从二煤层之下铝土质泥岩底板一直到大隆组顶面的层段,主要发育合山组顶部以泻湖、潮坪、开阔台地、生物礁、浅海盆地沉积为代表的海侵体系域和大隆组以深水盆地环境的火山碎屑浊积岩为代表的高位体系域。

这一层序底界如前所述,亦为起伏不平的间断面,其上的泻湖相铝土质泥岩亦为填补低凹地带的低位体系域沉积,铝土质泥岩之上从下向上依次有泥炭沼泽相(二号煤层)、潮坪相、开阔台地、生物礁相及浅海盆

地相等,潮坪相以纹层状藻屑泥质颗粒岩为代表,开阔台地相以厚层状球蜓—生屑泥质颗粒岩为代表,浅海盆地相以生物碎屑颗粒质泥岩为主。上述沉积相在垂向上的组合特征表现为地壳逐渐下降,海水连续侵入的海侵体系域的退积序列,表现为“追补”沉积,反映了合山组末期水体逐渐变深并向上覆大隆组深水火山碎屑浊积岩过渡这样一个环境演化过程。合山期成煤作用也随之终止。该层序上部的大隆组主要为一套火山碎屑岩与硅质岩互层序列,发育有典型的重力流沉积构造,如粒序层理、包卷层理、槽模、重荷模、碟状构造、滑塌褶皱等,属于深水海底扇浊积岩沉积<sup>[16]</sup>,为该层序中的高位体系域沉积。

表 2 合山煤田煤层厚度变化特征 (厚度单位: m)

Table 2 Thickness of coal seams in different localities of the Heshan coal field (unit: m)

煤层号	层序格架		溯河井下	鹅滩剖面	马滩剖面
二煤	层序IV	TST	1.09	1.50	1.60
三上		HST	1.38	1.00	1.60
三甲	层序III	Mfs	0.41	0.65	0.70
三下		TST	0.81	1.00	0.90
四上		ts and SB	3.13	1.90	2.10
四下	层序II	TST	1.26	缺	缺
五	层序I	TST	0.36	0.75	0.90

晚二叠世沉积环境演化过程表现为,合山组层序I和层序II反映了区域性基底不均匀的沉降和抬升过程,伴随着海水变深然后变浅的过程,发育海侵体系域和高位体系域沉积,层序III反映了在基底均匀沉降基础上叠加的海平面升降运动,形成多个短周期的含煤旋回或四级层序。层序IV则反映了一个基底快速沉降和海水连续侵入的过程,发育海侵体系域浅水台地沉积以及高位体系域(大隆组)深水浊积岩沉积,可能代表一次构造沉降事件。总之,合山地区晚二叠世沉积作用过程中,区域沉降作用和海平面变化起了主导作用。

### 5 海平面变化与聚煤作用

目前,许多地质学家都已认识到大面积稳定分布的厚煤层作为含煤岩系中的一个等时面,形成于海平面(基准面)抬升过程,即海(湖)侵过程成煤,而煤层底板的根土岩则是基底暴露期间形成的古土壤层,代表一定的沉积间断<sup>[17-20]</sup>。同时也认识到,大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>[13,14,19-21]</sup>,这主要是考虑到从泥炭到煤层的压实率为 10:1<sup>[22]</sup>,所以数米厚的煤层代表数 10 m 厚的泥炭层。如此厚的泥炭层的堆积需要有持续存在的可容空间以容纳快速堆积的泥炭,而适合成煤的最大可容

间的持续保持需要有潜水面或和基准面的不断抬升,这种基准面的抬升又离不开海平面的抬升,因此,一般认为大区域性分布的厚煤层一般都形成于最大海泛期<sup>[13,14,23]</sup>。

事实上,这种情况只是问题的一个方面,适合于距物源区较近的冲积体系或滨海平原过渡相靠陆一侧的含煤岩系。这种背景因有丰富的陆源碎屑供给而常常出于补偿或过补偿状态,只有当海平面上升速率相当大时,即相当于最大海泛面位置,相对海平面上升速率才会与泥炭堆积速率保持平衡,适于泥炭层堆积的可容空间可以持续很长时间,从而形成巨厚煤层(图 4a)<sup>[20]</sup>。

与上述情况相反,对于远离陆源区的碳酸盐台地背景中形成的含煤岩系,情况则完全相反。碳酸盐台地环境一般缺乏陆源碎屑供给,碳酸盐岩的沉积速率一般低于海平面上升速率,所以盆地多处于欠补偿状态,只有当一次海平面下降一定幅度使基底变浅或暴露之后海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,在海侵面附近,相对海平面上升较慢,维持适于泥炭层堆积的可容空间长时间存在以形成较厚煤层,相反,在最大海泛面附近,海平面上升速度过快,大大超过泥炭堆积速率时,水体则会变深而不适于植物生长,其结果是适于泥炭层堆积的可容空间不能长期存在,从而只能形成厚度较小的煤层(图 4b)。因此,在碳酸盐台地背景中,厚度较大的煤层可能只会在初次海泛面即海侵面处形成,而在最大海泛面处形成的煤层,其厚度往往较小。正如合山煤田

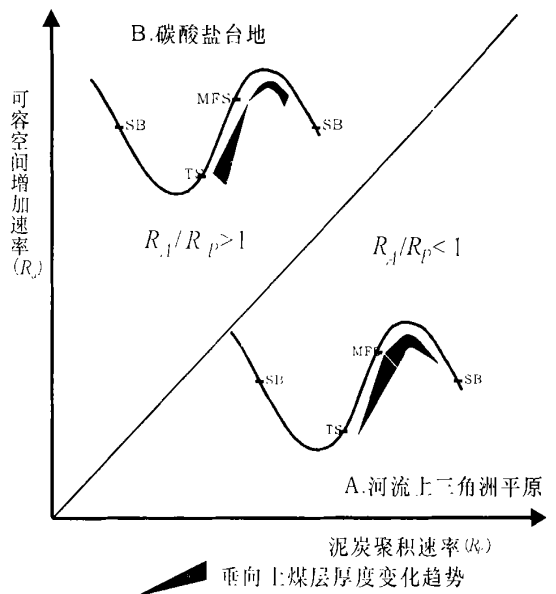


图 4 煤层厚度在层序地层格架中的变化规律  
Fig. 4 Variations of coal thickness in a sequence stratigraphic framework

晚二叠世的层序III中情况那样,中部的最薄的三中煤底板代表最大海泛面,底部最后的四上煤底板代表初始海泛面即海侵面。相比较而言,上部位于高位体系域顶部的三上煤层虽然有一定厚度,但因其灰分含量及夹矸层厚度过大而没有开采价值。从合山煤田情况来看,碳酸盐台地背景以海侵体系域聚煤作用最好。

## 6 结论

1) 合山煤田晚二叠世地层中发育 5 个层序界面,它们分别为合山组底界、四下煤底板、四上煤底板、二煤之下铝土质泥岩底板、大隆组顶界(二叠—三叠纪界线)。据这些界面可将区内晚二叠世地层划分为 4 个层序,其中层序I、层序II和层序IV受盆地基底沉降作用控制强烈,层序III则表现为多次的煤层—石灰岩旋回性,并且在桂中地区稳定分布,说明可能主要受全球海平面变化控制。

2) 与陆源碎屑供给较为充分的冲积体系不同,碳酸盐台地背景中的较厚的煤层形成于层序界面或海侵面附近,而厚度最薄的煤层则形成于最大海泛带底部附近。在合山煤田晚二叠世层序III中,最厚的煤层四上煤层位于该层序底部,最薄的煤层三中煤层位于该层序中部最大海泛带底部处。对碳酸盐台地背景下的三级层序来说,以海侵体系域聚煤作用最好。

### 参考文献 (References)

- 1 沈树忠,范炳恒,邵龙义,傅肃雷. 黔桂晚二叠世煤层的生物地层对比研究[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(6): 1~5 [Shen Shuzhong, Fan Bingheng, Shao Longyi, Fu Sulei. Study of biostratigraphic correlation of the Late Permian coal seams in Guizhou and Guangxi provinces[J]. Coal Geology and Exploration, 1995, 23(6): 1~5]
- 2 黄乃和,温显端. 广西合山碳酸盐岩型煤组沉积环境[J]. 煤田地质与勘探, 1980, 2 21~28 [Huang Naihe and Wen Xianduan. Depositional Environments of carbonate coal measures in Heshan, Guangxi[J]. Coal Geology and Exploration, 1980, 2 21~28]
- 3 谔建国,李有亮. 广西上二叠统含煤建造和藻坪沼泽成煤模式[J]. 沉积学报, 1983, 1(1): 86~93 [Chen Jianguo and Li Yuliang. The coal-bearing formation and the incoation model of algal-flat swamps of the Upper Permian in Guangxi[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1983, 1(1): 86~93]
- 4 张鹏飞,刘焕杰,卓越等. 试论局限台地型碳酸盐岩型含煤建造—桂中马滩一带合山组的某些沉积特征[J]. 沉积学报, 1983, 1(3): 16~28 [Zhang Pengfei, Liu Huanjie, Zhuo Yue, et al. On restricted platform carbonate coal formation—some sedimentary characteristics of Heshan Formation in the Heshan area of central Guangxi[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1983, 1(3): 16~28]
- 5 曹慧娟,李菊英. 广西合山马滩晚二叠世沉积环境[J]. 地质科学, 1987, 20 61~69 [Jin Huijuan and Li Juying. The depositional environment of the Late Permian in the Matan area, Heshan county, Guangxi Province[J]. Scientia Geologica Sinica, 1987, 20(1): 61

- ~69]
- 6 张鹏飞,邵龙义. 广西合山地区合山组沉积相带和沉积模式[J]. 沉积学报, 1990, 8(4): 13~21 [Zhang Pengfei and Shao Longyi. Facies belts and depositional model of Late Permian Heshan Formation in Heshan, central Guangxi, southern China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8(4): 13~21]
- 7 Shao L, Zhang P, Ren D Lei J. The Late Permian coal-bearing carbonate sequences in South China—coal accumulation on carbonate platforms[J]. Int J Coal Geol, 1998, 37 235~257
- 8 邵龙义,张鹏飞. 广西合山地区上二叠统的沉积间断和旋回特征[J]. 煤炭学报, 1992, 17(3): 19~26 [Shao Longyi, Zhang Pengfei. Disconformities and cycles of the Upper Permian in central Guangxi, South China[J]. Journal of China Coal Society, 1992, 17(3): 19~26]
- 9 黄乃和,温显端,黄凤鸣等. 广西合山煤田的古土壤层与成煤模式[J]. 沉积学报, 1994, 12(1): 40~46 [Huang Naihe, Wen Xianduan, Huang Fengming, et al. The Paleosol bed and the coal deposition model in Heshan coal field, Guangxi, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 40~46]
- 10 Shao Longyi, Zhang Pengfei, Dou Jianwei, Shen Shuzhong. Carbon isotope compositions of the Late Permian carbonate rocks in southern China—their variations between the Wujiaping and Changxing Formations[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2000, 161 179~192
- 11 王根发,黄凤鸣,黄乃和,温显端. 广西中部合山—来宾地区上二叠统合山组层序地层分析[J]. 石油实验地质, 1997, 19(4): 348~353 [Wang Genfa, Huang Fengming, Huang Naihe, Wen Xianduan. Sequence stratigraphic analysis on Upper Permian Heshan Formation in Heshan and Laibin areas in central Guangxi[J]. Petroleum Experimental Geology, 1997, 19(4): 348~353]
- 12 梅仕龙,朱自力,史晓颖,等. 广西中部乐平统层序地层研究[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 11~18 [Mei Shilong, Zhu Zili, Shi Xiaoying, et al. Sequence stratigraphy of Permian Lopingian strata in central Guangxi[J]. Geosciences—Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 1999, 13(1): 11~18]
- 13 Hamilton D S, Tadros N Z. Utility of coal seams as genetic stratigraphic sequence boundaries in nonmarine basins: an example from the Gunnedah basin, Australia[J]. AAPG Bull., 1994, 78 267~286
- 14 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[J]. U.S.A. Sedimentology, 1995, 42 3~30
- 15 沙庆安,吴望始,傅家谟. 黔桂地区二叠系综合研究兼论含油气性[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 215 [Sha Qingan, Wu Wangshi, and Fu Jiemo, 1990. Synthetic studies on Permian series in Guizhou and Guangxi. Science Press[M]. Beijing, China, 1990. 215]
- 16 邵龙义,张鹏飞. 广西来宾—合山一带晚二叠世海底扇浊积岩相[J]. 古地理学报, 1999, 1(1): 20~31 [Shao Longyi and Zhang Pengfei. Lithofacies of the Late Permian submarine fan turbidites in Heshan and Laibin areas, central Guangxi[J]. Journal of Palaeogeography, 1999, 1(1): 20~31]

- 17 Ardito P A. A sequence stratigraphic analysis of the Late Permian succession in the Southern Coalfield, Sydney Basin, New South Wales[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1991, 38: 125-137
- 18 Diessel C F K. Coal-bearing depositional systems— coal facies and depositional environments. Springer-verlag, 1992
- 19 Flint S S, J F Aitken, G. Hampson. Application of sequence stratigraphy to coal-bearing coastal plain successions: implications for the UK coal measures[A]. In M K G, Whateley, Spears D A. European Coal Geology [C]. Geological Society London, Special Publication, 1995, 82: 1-16
- 20 邵龙义, 张鹏飞. 含煤岩系层序地层模式 [J]. 长春科技大学学报 (专辑), 1998, 67-72 页 [Shao Longyi, Zhang Pengfei. Sea level changes and episodic coal accumulation [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998 Special Issue, 67-72
- 21 Ryer T A. Transgressive-regressive cycles and the occurrence of coal in some Upper Cretaceous strata of Utah, U. S. A [A]. In Rahmani R A, Flores R M. (eds) Sedimentology of coal and coal-bearing sequences [C]. International Association of Sedimentologists, Special Publication, 7, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1988, 217-227
- 22 Stach E, Mackowsky M T, Teichmuller M, Taylor G H, Chandra D, Teichmuller R. Stach's Textbook of Coal Petrology [M]. Borntraeger, Stuttgart, 3rd ed, 1982, 535
- 23 吴因业. 煤层—一种陆相盆地中的成因层序边界 [J]. 石油学报, 1996, 17(4) [Wu Yinye. Coal—a kind of genetic stratigraphic sequence boundary in continental coal basins [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(4), 28-35]

## A Sequence Stratigraphic Interpretation on Late Permian Carbonate Coal Measures in the Heshan Coal Field, Southern China

SHAO Long-yi<sup>1</sup> CHEN Jia-liang<sup>2</sup> LI Rui-jun<sup>1</sup> ZHANG Peng-fei<sup>1</sup>

1 (Department of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, D11 Xueyuan Road, Beijing 100083)

2 (Guangxi Safe Production Administration, Nanning 530022)

**Abstract** The Late Permian Heshan Formation in the Heshan coal field is a typical carbonate coal measures formed in a shallow water carbonate platform setting. Up to seven coal seams have been preserved with numbers 2, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B and 5, in descending order. Four third-order unconformity-bounded sequences have been identified. Sequence I is from the bottom of the Heshan Fm to the base of the cherts beneath coal Seam 4B. Sequence II is from the cherts beneath Seam 4B to the base of Seam 4A; Sequence III is from base of Seam 4A to the base of the bauxitic mudstone beneath Seam 2; Sequence IV is from the base of the bauxitic mudstone beneath Seam 2 to the top of the Heshan Formation. Sequences I, II, and IV are strongly controlled by regional differential subsidence. Sequence III shows cyclicity of the coal and carbonate rocks, with extensive distribution in the central Guangxi area, reflecting strong control by sea level changes.

Within the Sequence III, four fourth-order sequences are recognised, each consisting of a basal transgressive coal seam and overlying highstand tidal flat and open platform limestones. In the Heshan coalfield, fourth-order sequences and coals within the Sequence III thin first and then thicken upwards, with the thinnest being the fourth-order sequence with coal Seam 3B. As a result, the thickest coal in the carbonate platform setting is formed at the transgressive surface and the thinnest coal is formed at the bottom of the maximum flooding zone.

**Key words** sequence stratigraphy, carbonate coal measures, Heshan coal field, Late Permian