

文章编号: 1000-0550(2013)05-0856-11

西南地区晚二叠世层序—古地理及聚煤特征^①

邵龙义¹ 高彩霞^{1,2} 张超¹ 汪浩¹ 郭立君¹ 高彩红¹

(1. 中国矿业大学煤炭资源与安全国家重点实验室及地球科学与测绘工程学院 北京 100083;

2. 外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室 重庆地质矿产研究院 重庆 400042)

摘要 西南地区上二叠统赋存有丰富的煤炭资源,含煤地层自下而上分别是峨眉山玄武岩组、龙潭组(宣威组中、下段或吴家坪组)和长兴组(宣威组上段或汪家寨组)。本文对该区晚二叠世含煤岩系层序地层、岩相古地理及聚煤作用进行研究,以区域不整合面、沉积相转换面以及下切谷砂体底部冲刷面等为层序界面,结合石灰岩标志层向古陆方向延伸距离而显示的旋回性特征,将区内含煤岩系划分为3个三级层序和相应的低位、海侵及高位体系域。层序1形成于晚二叠世吴家坪阶早期,主要分布在川南隆起的南北两侧,包括川东北及滇东、黔西地区;层序2形成于吴家坪阶中期,层序3形成于吴家坪阶晚期及长兴阶,层序2和层序3在西南全区均发育。三个层序的发育特征反映出海侵自东向西脉动推进、东深西浅的古地理格局,当时物源区主要为西侧的康滇古陆,沉积相单元有从西到东依次为陆相冲积平原—过渡相潮坪及三角洲—海相碳酸盐台地的沉积相展布规律。成煤环境主要为河流岸后沼泽、三角洲平原分流间湾沼泽、海湾(泻湖)—潮坪沼泽等,以三角洲体系成煤作用最强。总体上随着海水自东向西不断侵进,有利的成煤环境亦随着海平面的上升而不断向西迁移,聚煤中心亦有逐渐向西迁移的规律。

关键词 西南地区 层序地层 岩相古地理 晚二叠世 聚煤作用

第一作者简介 邵龙义 男 1964年出生 教授 沉积学和煤田地质学 E-mail: shaol@cumt.edu.cn

中图分类号 P531 **文献标志码** A

层序地层格架下厚煤层的聚集模式一直是众多地质学者争论的议题^[1~5],尤其是可容空间增加速率与泥炭堆积速率的比率被用来解释在一个可容空间周期内泥炭/煤的厚度变化特征^[6~10]。当可容空间增加平衡或者稍微超过有机物的产出量能形成厚而孤立的泥炭,这种平衡的时间选择和厚煤层的位置将进一步依赖于沉积场所的沉降速率和沉积物供给的变化^[5]。大量对近海型陆源碎屑含煤岩系煤层的研究表明,以冲积和三角洲相为主的厚煤层常常与最大海泛面相关^[3,11,12],因为在最大海泛面附近,快速的容容空间产生速率与快速泥炭堆积速率相平衡。但是近年来,人们对以海相碳酸盐岩煤系的研究发现,在快速沉降的背景下,一些很厚的和广泛分布的煤层也可出现于海侵面附近^[10,13]。一些研究也证明厚煤层可能是多个层序的复合体,其中发育多个间断面^[2,9]。因此,厚煤层的成因及其在层序地层格架中的分布模式仍然是一个需要进一步探讨的课题。

晚二叠世是地质历史上的一个重要的聚煤期,在我国西南地区,包括四川、重庆、贵州及云南四省区,形成了丰富的煤炭资源,并构成我国南方最重要的煤

炭生产基地。晚二叠世西南地区发育从陆到海沉积相带完整的近海型含煤岩系,是研究海平面变化及可容空间变化对聚煤作用控制的理想场所。很多学者对中国南方及西南地区晚二叠世沉积环境^[14,15]、层序地层^[16~21]、岩相古地理^[14,22]及聚煤规律^[14,18,20]等进行研究,提出了潮坪体系成煤、三角洲体系成煤等多种观点。贵州西部及川南地区海陆交互相含煤地层中广泛发育的石灰岩标志层成为煤系旋回性及层序地层分析的明显标志,从而亦促进了研究区含煤岩系的层序地层研究^[14,18~20]。

本文作者在前人研究的基础上,通过对西南地区晚二叠世含煤岩系露头剖面及钻孔资料的综合研究,分析近海型含煤岩系层序地层格架特征,并进行西南地区的分层序的岩相古地理研究,提出西南地区聚煤作用控制因素,为煤田勘探预测提供依据。

1 区域地质背景

华南板块是中国南方一个相对稳定的大地构造单元,由扬子陆块、华南加里东山系及华夏陆块组成。西南地区(四川、重庆、贵州及云南四省区)的晚二叠

^①国家自然科学基金项目(41030213)、国土资源大调查项目(1212010633901)联合资助
收稿日期:2013-07-31

世聚煤盆地坐落于扬子陆块的西段,北面以秦岭为界,东侧以雪峰古陆为界,西部以筲河—程海断裂为界,西南沿红河断裂带与三江碰撞山系毗邻(图1)。中二叠世末的东吴运动使华南板块大部分地区抬升成陆,经历了较长时期的剥蚀,至晚二叠世,发生再次基底沉降,海水侵入,形成了晚二叠世的含煤岩系。上扬子地区的海侵来自北东、东方和南方^[23,24]。

由于康滇裂谷带在中二叠世末的复活,康滇古陆抬升,形成上扬子盆地西高东低的格局,且为西南地区晚二叠世聚煤期唯一的陆源供给区,决定了由西向东由陆到海的古地理格局^[25,26],并控制着沉积体系的总体配置关系,其沉积环境自西向东依次为冲积平原河流体系、三角洲—潮坪沉积体系、潟湖—潮坪沉积体系及碳酸盐岩台地体系^[14]。研究区上二叠统划分为三个组,自下而上分别是峨眉山玄武岩组、龙潭组(宣威组中、下段或吴家坪组)和长兴组(宣威组上段或汪家寨组)(图4)。

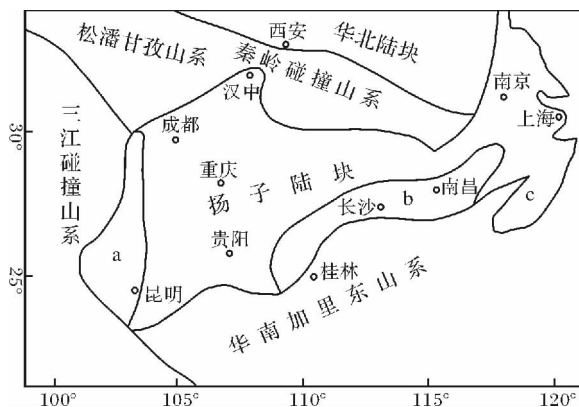


图1 华南地区构造分区图^[24]

a 康滇古陆 b 江南古陆 c 华夏古陆

Fig. 1 The tectonic zonation of the Southern China area

2 层序与体系域关键界面识别

2.1 层序界面识别

研究区晚二叠世沉积环境跨越陆相—过渡相—海相环境,不同地区沉积环境、岩性组合大不相同,层序界面在不同地区也有不同的表现。研究区层序界面识别标志主要有以下几种:

(1) 区域不整合面

古构造运动形成的不整合面是典型的层序界面。上二叠统龙潭组与下伏峨眉山玄武岩组之间、以及龙潭组与中二叠统茅口组之间的区域性不整合面是全区普遍发育且易于识别的层序界面。在研究区广泛

存在,表现为龙潭组底部的不整合面,界面之下为中二叠统茅口组灰岩,其次在四川南部及重庆东北部局部地区为中二叠统孤峰组炭质硅质岩、炭质硅质泥岩、钙质泥岩。

(2) 下切谷冲刷面

随着海平面相对下降,河流的回春作用形成的下切谷是层序界面的典型标志。下切谷的充填物与其下伏沉积层存在明显的沉积相错位。研究区三级层序边界常以发育低位河流下切谷砂体为特征,且多具有多重叠置结构,厚度较大,不是由单一的砂体组成,该砂体底部冲刷面可视为层序界面(图3)。在下切谷不太发育的地区,即河道间地区,古土壤和根土岩则较发育。研究区河流下切谷在四川筠连—芙蓉—古叙矿区龙潭组较发育。

(3) 沉积相转换面

在沉积盆地下倾方向,河流下切谷砂体不发育的地区,层序界面一般表现为水体变浅—变深过程的转换面。川南地区龙潭组中上部 C_{16} 煤层,其底板的根土岩代表了龙潭中期向东最大海退位置。并且向东继续以潮下海湾相过渡,直到被碳酸盐台地相灰岩完全取代。该煤层在四川、重庆、云南及贵州四省大区域的对比研究中作为层序边界具有可靠意义。

(4) 上二叠统与下三叠统之间界面

此界面在本区是一个整合面。但是,此界面无论从岩石地层、生物地层或事件地层方面研究划分,界线均很清楚而一致,本文将作为层序界面。

2.2 海泛面与最大海泛面

在研究区海陆过渡相区,海相石灰岩标志层比较发育,石灰岩标志层代表区域性的海泛事件,石灰岩层向陆地延伸的距离即代表当时海侵的范围。在一个层序内,向陆地方向延伸最远的石灰岩标志层代表了最大海泛期的沉积,而该层石灰岩的底面则代表了最大海泛面。

在贵州西部织金—纳雍煤田,上二叠统发育的13个石灰岩标志层中, K_{12} 、 K_{7-1} 及 K_{3-2} 是3个分布范围最广的标志层,代表3次最大海泛事件沉积(图2)。

在川南地区层序2中,良村灰岩向陆延伸最远,为温水—良村海侵达到最大时的沉积物,代表了最大海泛期沉积,即以良村灰岩底界面作为该层序的最大海泛面,该石灰岩标志层可与黔西的 K_{7-1} 对比;在层序3中,石宝灰岩代表了最大海泛期沉积,该灰岩的底界面代表了该时期的最大海泛面,该标志层可与黔

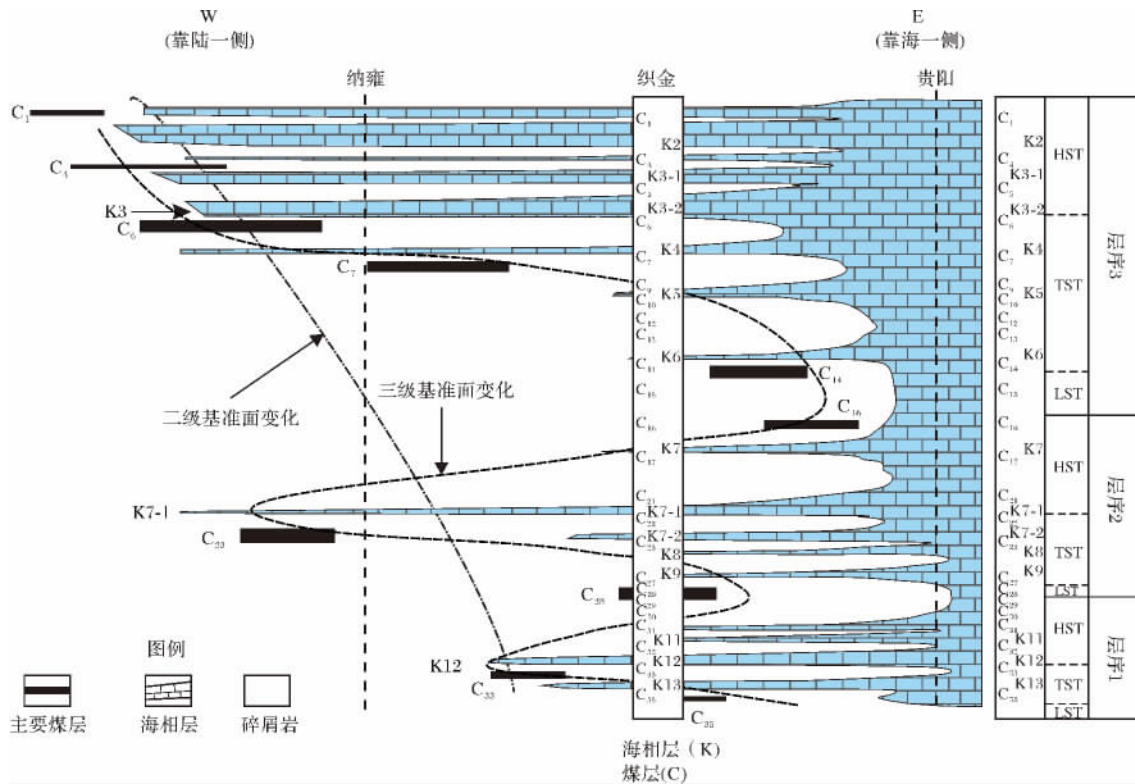


图2 贵州西部晚二叠世海相层的分布及其代表的海侵范围(据邵龙义等^[14]修改)

Fig. 2 The distribution of marine limestone beds and transgression ranges of the Late Permian in western Guizhou (modified after Shao Longyi^[14])

西的 K3-2 对比。在向陆一侧没有石灰岩发育的地区,最大海泛期往往沉积大套厚层泥岩,或反映海相沉积的岩石组合,与代表最大海泛期沉积的石灰岩层或相应的煤层可以对比,也代表了该地区最大海泛期沉积,进而识别出最大海泛面。

2.3 古土壤与煤层

(1) 古土壤及根土岩的顶面:是地表暴露的一个主要标志,代表一段时间的沉积间断。如羊场七矿区 712 孔的 106.3 m 和 115.55 m 处煤层底板下伏根土岩。

(2) 煤层:煤层的发育与海平面变化有密切关系,具等时意义,其底板与根土岩(古土壤)相重合,往往亦是一个海泛面,一些厚煤层底板还可能是最大海泛面^[14]。

3 晚二叠世层序地层格架及岩相古地理特征

通过对研究区露头及钻孔资料的考察与分析,本次研究对晚二叠世含煤岩系进行了沉积环境和层序

地层学研究,并对研究区进行层序划分,研究区整个晚二叠世含煤岩系属于吴家坪阶和长兴阶^[27],根据区域性构造不整合面、下切谷冲刷面、沉积相转换面及上二叠统与下三叠统之间界面,研究区上二叠统含煤岩系可识别出 4 个层序界面,因此划分出 3 个三级层序。受古构造因素及后期构造因素的影响,不同地区层序发育情况不同。其中层序 1 对应于晚二叠世吴家坪阶早期,主要发育在川南隆起的南北两侧,包括川东北及滇东、黔西地区;层序 2 及层序 3 分别对应于晚二叠世吴家坪阶中期、晚二叠世吴家坪阶晚期及长兴阶,在西南全区发育(图 3 图 4)。

西部康滇古陆为研究区主要物源区,研究区晚二叠世自西向东依次发育由陆相向海相逐渐过渡的沉积环境。下面通过南北向沉积相与层序地层对比图(图 5)及各层序岩相古地理图(图 6)介绍各层序及其岩相古地理特征。

(1) 层序 1

中二叠世末期,西南地区除紫云裂陷槽外,大部分地区地壳抬升到海平面以上遭受风化剥蚀,中、晚二叠世之交阶段在西部地区(主要是滇东一带)发生

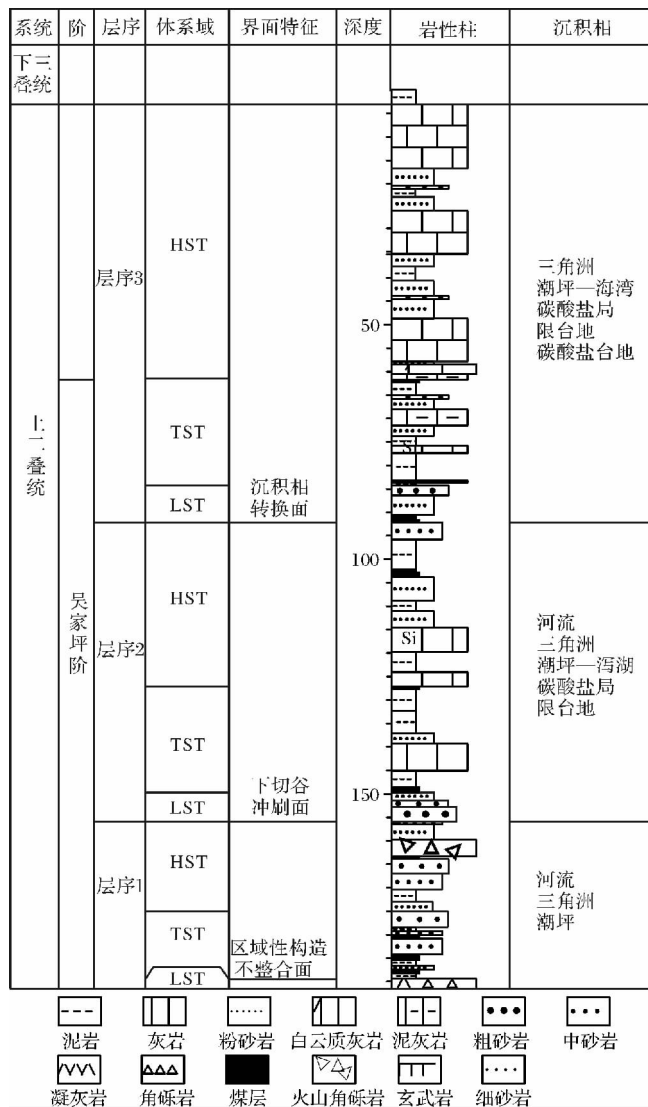


图 3 贵州西部织纳煤田珠藏剖面晚二叠世沉积相与层序地层柱状图

LST—低位体系域; TST—湖侵体系域; HST—高位体系域

Fig. 3 Columnar section showing sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Late Permian in Zhuzang section of the Zhijin-Nayong coal field, western Guizhou

的大规模的玄武岩喷发,又在茅口组石灰岩顶部风化夷平面上堆积了玄武岩楔状层。在此之后,构造运动由上升逐渐转化为下降,从而开始了晚二叠世主体地层的沉积。当时的沉积基底有四种:一是滇东黔西的玄武岩风化剥蚀平原;二是黔西、黔东、川南、滇东南的茅口灰岩顶部风化剥蚀基底;三是紫云裂隙槽附近的连续沉积的海相层。四是四川南部及重庆东北部局部地区孤峰组的深水沉积层。这四种基底的分布明显受当时的基底断裂的制约,并明显控制晚二叠世的沉积环境格局。

层序 1 沉积期相当于晚二叠世吴家坪阶早期。聚煤盆地大致以黔北—川南隆起为界,北部以大面积缓慢的地壳差异沉降运动为主,河流不发育。南部断块活动较强,古陆剥蚀区地势较高,冲积扇与河流发育,陆源供给充分。该层序底界面为区域不整合面,界面之下为茅口组灰岩,其次在四川南部及重庆东北部局部地区为中二叠统孤峰组炭质硅质岩、炭质硅质泥岩、钙质泥岩,界面之上除了在罗甸以南地区上为台盆相钙质泥岩,其余大部分地区为凝灰岩与铝土质泥岩残积相,属层序 1 低位体系域沉积期。伴随着第一轮海侵,从贵州安洛到罗甸海侵体系域主要为潮坪相粉砂岩、泥质粉砂岩及台盆相钙质泥岩。高位体系域依次发育潮坪—泻湖、开阔台地及台盆。其中潮坪岩相为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;泻湖相为泥岩、泥质灰岩及石灰岩;开阔台地相主要为生物屑灰岩,含有孔虫、海绵骨针等。而在中梁山北井至龙门峡井田海侵体系域亦为潮坪相细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩。

本次对岩相古地理研究作图步骤如下:首先对研究区钻井和露头剖面资料进行分析、筛选,主要选用揭露地层全,由代表性、分布均匀的资料;其次,分别统计出每一层序每一钻孔的地层厚度、煤层厚度、泥岩(蚀变凝灰岩、泥岩、高岭石泥岩、水云母泥岩+煤层)厚度、砂岩(砾岩+粗砂岩+中砂岩+细砂岩)厚度等,并分别计算出每一钻孔的灰岩百分含量、砂泥比,然后绘制每一层序的地层厚度等值线图、煤层厚度等值线图、砂泥比等值线图、灰岩百分含量等值线图(表 1)。通过综合地质分析,绘制出某一沉积期的岩相古地理图。

利用此方法以灰岩百分含量等值线以及砂泥比等值线为基础,结合地层等厚线图、灰岩等厚线图及煤层等厚线图,恢复了西南地区晚二叠世层序 1 沉积期的岩相古地理面貌(图 6a),古地理单元有古陆、冲积平原、残积平原、辫状河三角洲、潮坪、海湾、局限台地、生物礁、深水盆地。研究区自康滇古陆向东依次发育由陆相向海相逐渐过渡的沉积环境。在康滇古陆前缘且砂泥比值为 0.5 以上的地区为冲积扇和辫状河道沉积;向东至乐山—盐津—宣威一线以西为河流冲积平原;乐山—盐津—宣威一线以东至遂宁—綦江—毕节—普安一线以西为辫状河三角洲沉积;遂宁—綦江—毕节—普安一线以东至达县—武隆—遵义—兴义一线以西为潮坪—海湾沉积区,达县—武隆—遵义—兴义以东至利川—黔江—贵阳—安龙—

个旧—一线以西为局限台地沉积环境;利川—黔江—贵阳—安龙一个旧—一线以东地区为开阔台地相沉积,其中在贵州紫云—册亨—罗甸发育深水盆地沉积。当时海侵来自东部及南部,物源区主要来自西部康滇古陆。

层序1煤层主要分布在潮控下三角洲平原以及泻湖—潮坪环境,在0~15 m之间变化,主要的聚煤中心位于云南富源—贵州盘县一带,煤层厚度达15 m,次一级的聚煤中心位于贵州纳雍一带,煤层厚度达9 m,向物源区及隆起区方向变薄尖灭。

(2) 层序2

层序2沉积期对应于晚二叠世吴家坪阶中期。伴随着全区北部、东部及南部第二轮大规模海侵,开始了区域性层序2的沉积。受黔北川南隆起的影响,

研究区层序2地层厚度呈现出中间薄两头厚的特点。层序底界面在贵州枫香二矿以北为茅口灰岩侵蚀面,枫香二矿以南为开阔台地相石灰岩顶部。

低位体系域在枫香二矿以北由残积相高岭石化凝灰岩(含黄铁矿高岭石泥岩)及顶部根土岩组成,以南至贵州都拉营依次发育泥炭沼泽、台盆相。泥炭沼泽主要由粉砂质泥岩、泥岩组成,且发育煤层。

海侵体系域自黔北川南隆起向北、向南形成的沉积环境依次为:三角洲、潮坪—海湾(泻湖)—泥炭沼泽、局限台地、开阔台地、生物滩、生物礁。其中三角洲主要发育远砂坝相,主要由粉砂岩、泥质粉砂岩组成;潮坪岩相为中砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;海湾(泻湖)—泥炭沼泽岩相为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、煤层、薄层石灰岩;局限台地主要

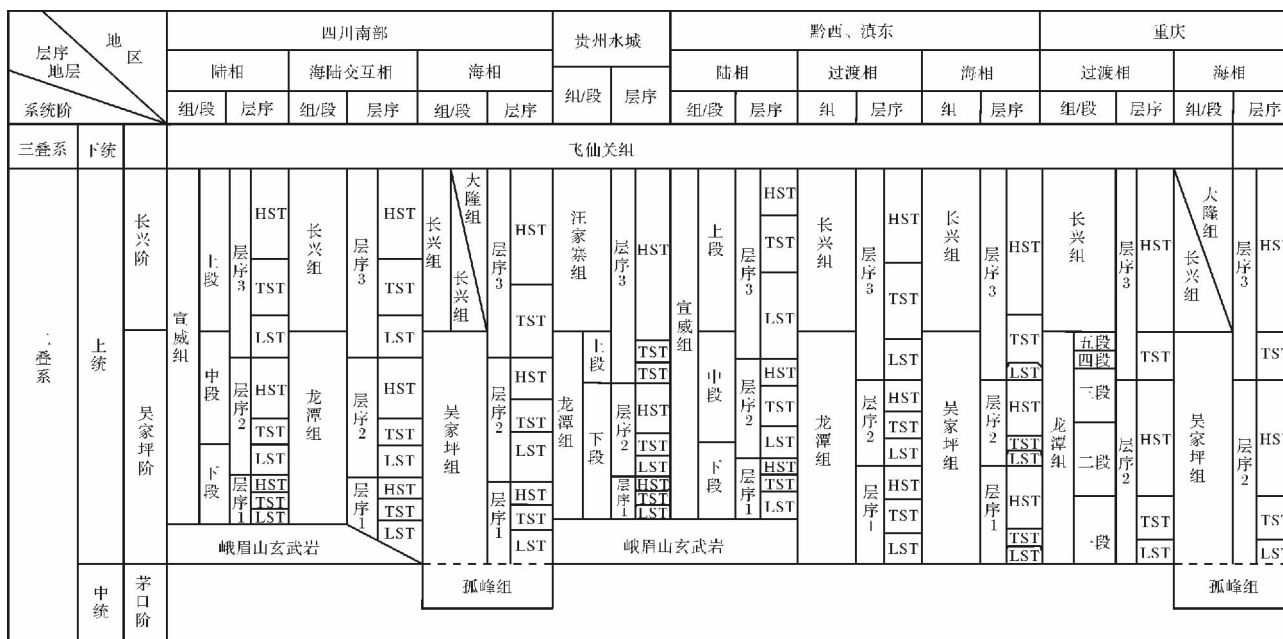


图4 西南地区晚二叠世层序及体系域划分对比

Fig. 4 Subdivision and subcorrelation of sequences and systems tracts of the Late Permian in southwestern China

表1 各种古地理参数统计方法及其地质意义

Table 1 Statistical method and geological significance of various palaeogeographic parameters

序号	参数	统计方法	意义
1	地层厚度	地层总厚度	反映区域沉积幅度,沉积物供给、隆起、坳陷及盆地轮廓
2	砂岩厚度	砂岩(粗砂岩、中砂岩、细砂岩)	反映潮坪砂体分布范围
3	灰岩厚度	灰岩总厚度	反映沉积幅度,过渡相区向海发育程度
4	煤层厚度	全部煤层厚度	反映潮上泥坪沼泽、海湾相分布范围
5	灰岩百分含量	灰岩总厚度/地层总厚度	把富含石灰岩的碳酸盐陆棚区和富含碎屑岩的滨岸、潮坪及三角洲沉积区划分开
6	砂泥比	砂岩(砾岩+粗砂岩+中砂岩+细砂岩)/泥岩(蚀变凝灰岩、泥岩、高岭石泥岩、水云母泥岩+煤层)	反映主要三角洲、潮坪砂体分布特征

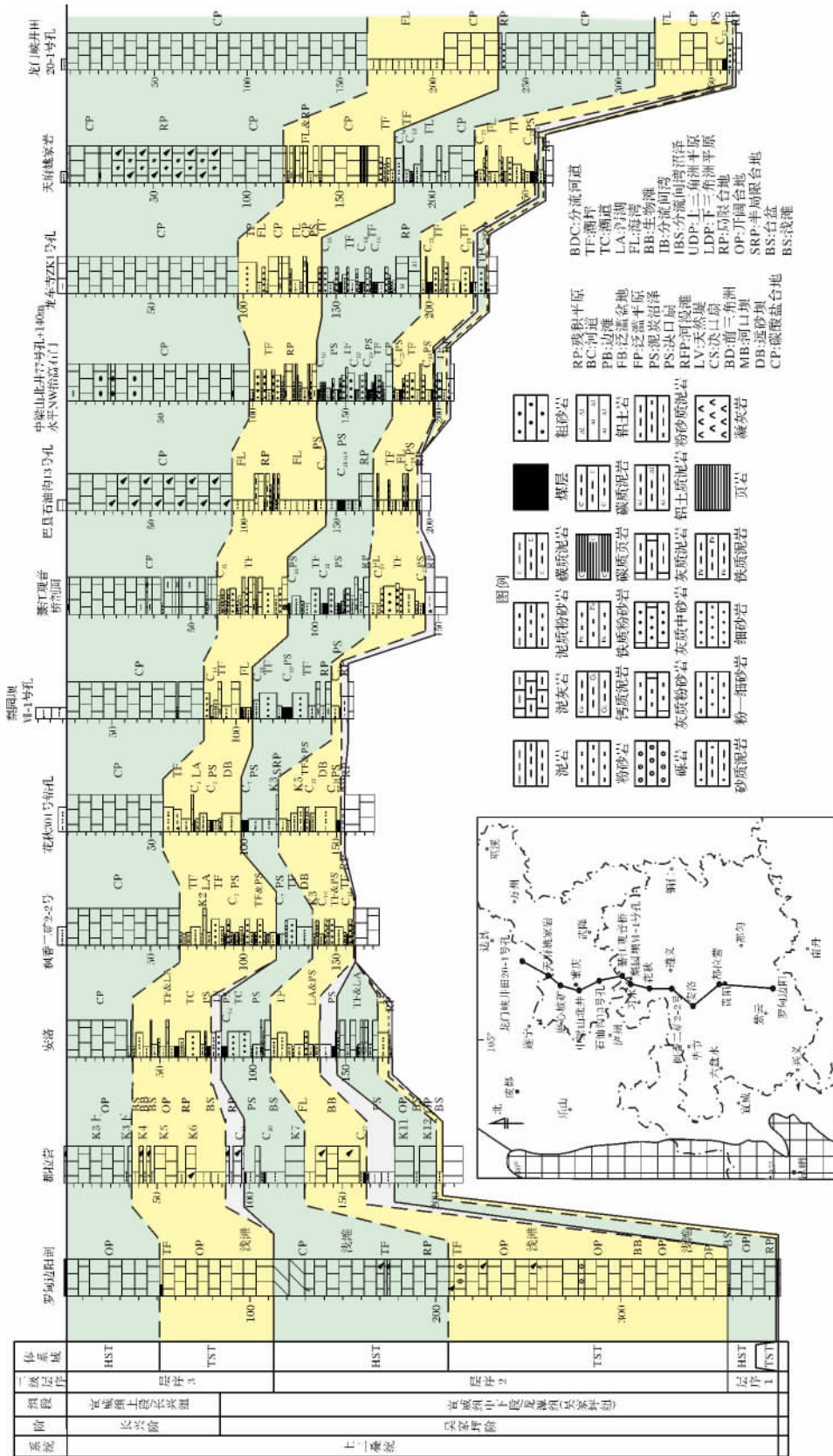


图 5 西南地区上二叠统层序地层格架(南北向)
Fig. 5 Sequence stratigraphic framework of the Upper Permian in southwestern China (North-South)

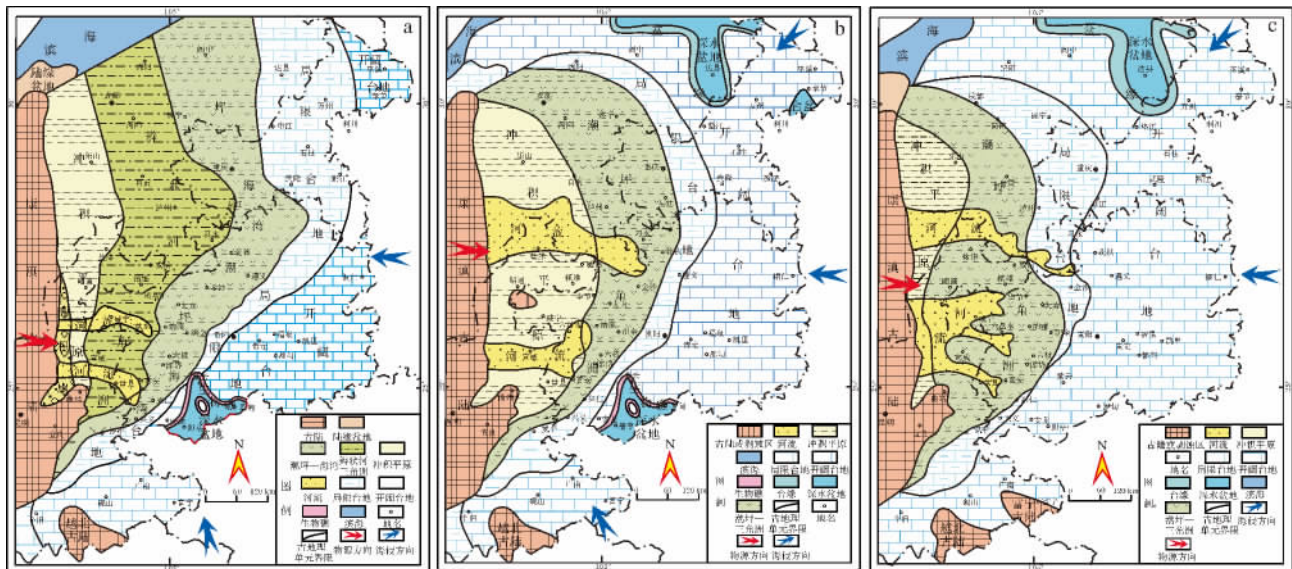


图6 西南地区晚二叠世三级层序的岩相古地理图
a-层序1; b-层序2; c-层序3

Fig. 6 Paleogeographical maps of third-order sequences of the Late Permian in southwestern China

为泥质白云岩、燧石灰岩及硅质灰岩,含蜓、腕足等动物化石;开阔台地相在贵州罗甸及重庆天府以北地区发育,主要为生物屑灰岩;生物滩相只在贵州罗甸地区发育,主要由生物屑石灰岩组成,化石丰富;生物礁主要在贵州都拉营以南地区发育,结构成分中常见亮晶方解石,化石亦丰富。

高位体系域早期,随着海平面的继续上涨,主要发育局限台地、开阔台地相;高位体系域晚期,海平面回落,发育海湾、潮坪及泥炭沼泽。而在贵州紫云裂陷槽以南地区,水位依然很高,开阔台地及浅滩发育。其中局限台地相主要为硅质石灰岩沉积,多见介形虫、藻屑、生物屑、海绵古针等化石;开阔台地相岩相为生物屑灰岩;浅滩相为泥晶粉晶生物屑灰岩、含燧石灰岩。

利用同样的方法画出了层序2的岩相古地理图,见图4b。研究区西部主要为河流冲积平原,中部地区主要为过渡相沉积环境潮坪、海湾及三角洲,东部地区大部为碳酸盐台地。从康滇古陆东缘到自贡—毕节—普安—一线以西,主要为冲积平原环境,且发育两条主干河流;自贡—毕节—普安—一线以东至绵阳—綦江—花秋—兴仁—一线以西,主要为潮坪—三角洲环境,三角洲主要发育在黔北川南隆起带西部的古蔺—叙永地区;四川中北部地处于川中低隆起区,地势平缓覆水较浅,主要发育潮坪环境;绵阳—綦江—花秋—兴仁—一线以东至阆中—遵义—贵阳—安龙—

以西为局限台地沉积区;阆中—遵义—贵阳—安龙—一线以东地区为开阔台地相沉积,发育多套碳酸盐岩;在广元—旺苍—通江—达州地区为深海盆地环境;贵州紫云亦发育深水盆地沉积。总之,层序2沉积时,第二轮海侵规模较大,全区均接受沉积且厚度变化较层序1大。此时海侵来自北部、东部及南部,物源区主要来自西部康滇古陆。层序2煤层主要形成于海湾、潮坪、三角洲环境,聚煤中心主要位于四川南充—重庆綦江—重庆合川地区及贵州西部六盘水南部地区,煤层最厚可达16 m,向古陆及深海方向明显尖灭、逐渐变薄。

(3) 层序3

随着沉积补偿性海退发展达到高峰,发育了C₁₆煤层。C₁₆煤层顶板至长兴组顶部为层序3,即对应于晚二叠世吴家坪阶晚期及长兴阶,除贵州都拉营及安洛地区3个体系域发育完全外,其他地区均由海侵体系域和高位体系域组成。都拉营及安洛地区低位体系域主要由潮坪细砂岩及局限台地硅质灰岩、泥岩组成。

与层序2海侵体系域同样,受黔北川南隆起影响向北、向南沉积环境逐渐由过渡相向海相转变,依次发育的沉积环境为:三角洲、潮坪—海湾(泻湖)—泥炭沼泽、局限台地、开阔台地、浅滩。其中三角洲亦主要发育远砂坝,岩相为细砂岩;潮坪岩相为中砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、煤层及石灰岩;海湾(泻湖)—泥

炭沼泽岩相为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、煤层、薄层石灰岩。潮坪—海湾相具波状层理、透镜状层理及大量虫迹,含植物化石碎片、较多瓣鳃、腕足及少量苔藓、虫腹足及藻等生物化石。局限台地相主要为泥质灰岩、白云岩、燧石灰岩及硅质灰岩,含蜓、腕足等动物化石;开阔台地相由石灰岩、白云岩组成,化石丰富,多见藻、蜓、有孔虫、介形虫及海百合茎等。该体系域在横向及垂向上变化不大,较为稳定。

高位体系域主要由长兴组地层组成。主要为开阔台地相生物屑灰岩,局部含燧石结核,局部地区见缝合线构造,生物化石以藻屑为主,其次为有孔虫、蜓、腕足、介形虫、海绵骨针及珊瑚等。

从各项参数在平面上的分布和层序地层及沉积相对比结果,勾画出了层序3岩相古地理图。康滇古陆东缘至乐山—曲靖一线以西为河流冲积平原;该线以东至简阳—泸州—织金—罗平一线以西为潮坪(海湾)—三角洲沉积区;简阳—泸州—织金—罗平一线以东至綦江—习水—兴文一线以西地区为局限台地相沉积;綦江—习水—兴文一线以东地区为碳酸盐台地;四川重庆北部达州—开江地区为深水盆地沉积。与层序2沉积期相比,研究区各古地理单元均向西、西南迁移,河流冲积平原已缩小到仅限于康滇古陆的前缘地带,海陆过渡相也向云南东部延伸(图4c)。由于该时期海侵规模较前两个层序均大,该时期的聚煤中心向西南方向迁移,聚煤带也实现了向西、向西南大幅度的迁移。

4 聚煤作用控制因素分析

富煤带和厚煤层形成的必要条件是:古构造条件与沉积环境的最有利配合。前者包括构造活动的强度和频率,后者包括沉积时的岩相古地理条件、古地貌、古植被、古气候、泥炭沼泽类型和沼泽中的水体深度及地球化学条件等^[25, 28, 29]。本区煤层聚集的主要控制因素如下:

(1) 古构造条件

中二叠世晚期的东吴运动,使地壳上升,发生了大规模的海退。海水退到贵州紫云、册亨、罗甸以南,长寿、涪陵以北,使滇东、川南—渝南—黔北、黔中、黔西的大部分地区成为陆地。沉积基底茅口石灰岩遭受风化剥蚀。同时在康滇古陆,发生了玄武岩喷溢,在茅口石灰岩的夷平面上,覆盖了一层向东变薄尖灭的玄武岩和基性凝灰岩。于是构成了康滇古陆玄武岩山地、玄武岩斜坡、茅口石灰岩溶蚀及残积平原和

浅海4个不同高度的构造地形台阶。至晚二叠世,海侵自北东、东和南方进入上场子盆地。由于康滇裂谷带的复活,康滇古陆抬升,为聚煤期唯一的陆源供给区,决定了研究区由西向东由陆到海的古地理格局,并控制着沉积体系的总体配置关系。聚煤盆地在黔北川南隆起与南北向的康滇古陆共同控制下形成了西部高、东部低和中间高、南北低的平缓地形。盆内一级构造有黔北—川南隆起、川东坳褶带及滇东南断陷区,与周缘的古陆共同控制了研究区的海陆配置关系,影响古地理景观的整体布局,并决定了富煤带的位置及方向。盆内的二级构造有盘县断裂、川中隆起、黔南隆起、紫云裂陷槽、水城—紫云断裂,与三级构造决定沉积体系的基本特征及富煤中心的位置和发育情况(图7)。

(2) 古植物和古气候

古植物和古气候是控制聚煤作用的主导因素之一。据资料,西南地区在晚二叠世为温暖潮湿的热带雨林气候。研究区当时所形成的大量煤层、煤系底部的铝土质泥岩和煤系中大量的碳酸盐岩的产出以及共生的门类丰富的动物化石等都是温暖潮湿气候的证据。温暖潮湿的气候条件有利于植物的大量繁殖,从而为泥炭堆积成煤作用提供了物质基础,晚二叠世大规模聚煤作用就是在这种气候背景下发生的。

(3) 层序—古地理

从上述晚二叠世南北向层序格架及三个层序古地理图可以分析,伴随每一次海平面的抬升与下降,以及每次海侵规模的逐渐增大,沉积环境在空间上的配置不断向陆迁移,从而有利的成煤环境亦不断向西迁移。研究区晚二叠世总的古地理面貌为:云南东部及四川西南部为冲积平原,贵州西部以及重庆西部为以三角洲和潮坪为代表的滨海平原,云南东南部、贵州东部、四川北部及重庆东部大部分为浅海碳酸盐台地,贵州南部紫云一带往南为深水裂陷槽环境,古地理格局有自西向东、自西南向东北均由陆相—过渡相—海相的展布规律。其中以三角洲平原聚煤最好,海湾(泻湖)—潮坪型聚煤次之,河流和残积平原聚煤均较差。

可容空间变化即基准面变化,它和沉积物供给速率两者相互作用,共同控制了沉积层序,并控制煤层厚度变化。前人建立的大量成煤模式表明,控制聚煤作用的最根本因素是泥炭的堆积和保存需要足够高的水位以覆盖正在腐烂的植物并防止其被氧化,同时水位又要足够的低以确保活着的植物不被淹死,可容

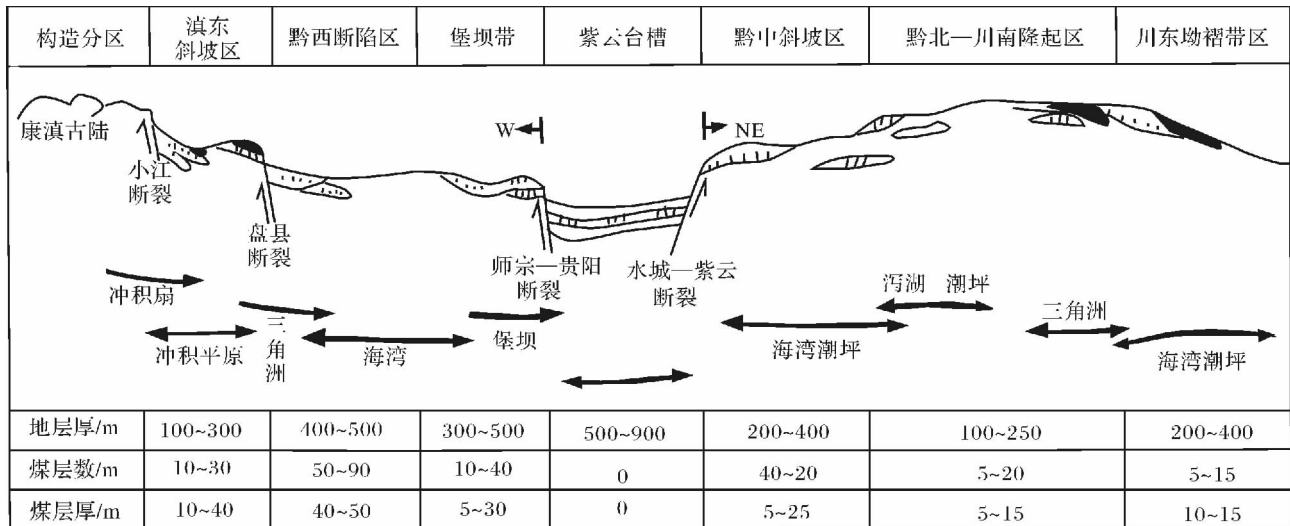


图7 西南地区晚二叠世构造—沉积—聚煤特征表^[30]

Fig. 7 The characteristics of tectonism-sedimentation-coal accumulation of the Late Permian in the southwestern China

空间增加速率与泥炭堆积速率之比值达1到1.18时,煤层厚度最大^[5]。在岸线向陆方向,由于物源供给比较充足,只有当海平面快速上升时,为泥炭堆积提供了合适的可容空间,形成的煤层较厚。在岸线向海一侧,物源供给不足,因此只有当海平面慢速上升时,才能为泥炭堆积提供合适的可容空间,从而形成较厚煤层。研究区靠近西部康滇古陆物源区滇东—黔西接壤地区,由于物源供给充足,当海平面快速上升时,为泥炭的堆积创造了合适的可容空间,即在最大海泛面附近形成厚煤层;研究区再向东物源供给不足,当海平面慢速上升时,为泥炭的堆积亦创造了合适的可容空间,即在初始海泛面附近形成厚煤层。

5 结论

(1) 西南地区晚二叠世含煤岩系以区域不整合面、下切谷冲刷面、沉积相转换面及上二叠统与下三叠统之间界面结合石灰岩标志层向古陆方向延伸距离而显示的旋回性特征,将区含煤岩系划分为3个三级层序和相应的低位、海侵及高位体系域。层序1对应于晚二叠世吴家坪阶早期,层序2对应于晚二叠世吴家坪阶中期,层序3对应于晚二叠世吴家坪阶晚期及长兴阶。三个层序的发育特征反映出海侵自东向西脉动推进、东深西浅的古地理格局,当时物源区主要为西侧的康滇古陆,沉积相单元有从西到东依次为陆相冲积平原—过渡相潮坪及三角洲—海相碳酸盐台地的沉积相展布规律。成煤环境主要为河流岸后沼泽、三角洲平原分流间湾沼泽、海湾(泻湖)—潮坪

沼泽等,以三角洲体系成煤作用最强。总体上随着海水自东向西不断侵进,有利的成煤环境亦随着海平面的上升而不断向西迁移,聚煤中心亦有逐渐向西迁移的规律。

(2) 西南地区晚二叠世煤层的发育主要受古构造条件、海平面层序—古地理、古植物与古气候的控制。聚煤盆地在黔北川南隆起与南北向的康滇古陆共同控制下形成了西部高、东部低和中间高、南北低的平缓地形。盆内一级构造与周缘古陆决定了富煤带的位置及方向,二级与三级构造决定沉积体系的基本特征及富煤中心的位置和发育情况。

(3) 靠近西部康滇古陆物源区滇东—黔西接壤地区,由于物源供给充足,当海平面快速上升时,为泥炭的堆积创造了合适的可容空间,即在最大海泛面附近形成厚煤层;研究区再向东物源供给不足,当海平面慢速上升时,为泥炭的堆积亦创造了合适的可容空间,即在初始海泛面附近形成厚煤层。

参考文献(References)

- Diessel C F K. Coal-Bearing Depositional Systems [M]. Berlin: Springer, 1992: 721
- Shearer J C, Staub J R, Moore T A. The Conundrum of Coal Bed Thickness: A Theory for Stacked Mire Sequences [J]. The Journal of Geology, 1994, 102(5): 611-617
- Flint S S, Aitken J F, Hampson G. Application of sequence stratigraphy to coal-bearing coastal plain successions: implications for the UK coal measures [A]. In: Whateley, M. K. G. & Spears, D. A. (Ed.), European coal geology [C]. Geological Society, London, Special Pub-

- lication, 1995, 82: 1-16
- 4 Hampson G. Discrimination of regionally extensive coals in the Upper Carboniferous of the Pennine Basin. UK using high resolution sequence stratigraphic concepts[A]. In: Whateley, M. K. G. & Spears, D. A. (eds), European coal geology[C]. Geological Society, London, Special Publication, 1995, 82: 79-97
 - 5 Bohacs K, Suter J. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1612-1639
 - 6 Petersen H I, Bojesen-Koefoed J A, Nytoft H P, et al. Relative sea level changes recorded by paralic liptinite-enriched coal facies cycles, Middle Jurassic Muslingebjerg Formation, Hochstetter Forland, North-east Greenland[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 36(1): 1-30
 - 7 Diessel C, 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
 - 8 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
 - 9 Jerrett R M, Davies R C, Hodgson D M, et al. The significance of hiatus surfaces in coal seams. Journal of the Geological Society, London, 2011, 168: 629-632
 - 10 Shao Longyi, Zhang Pengfei, Gayer R A, et al. Coal in a carbonate sequence stratigraphic framework: the Upper Permian Heshan Formation in central Guangxi, southern China[J]. Journal of the Geological Society, London, 2003, 160: 285-298
 - 11 Hamilton D S, Tadros N Z. Utility of coal seams as genetic stratigraphic sequence boundaries in non-marine basins: an example from the Gunnedah basin, Australia [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78: 267-286
 - 12 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
 - 13 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 [Shao Longyi, Chen Jialiang, Li Ruijun, et al. A sequence stratigraphic interpretation on Late Permian carbonate coal measures in the Heshan coal field, southern China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 168-174]
 - 14 邵龙义, 刘红梅, 田宝霖, 等. 上扬子地区晚二叠世沉积体系演化及聚煤[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 55-60 [Shao Longyi, Liu Hongmei, Tian Baolin, et al. Sedimentary evolution and its controls on coal accumulation for the Late Permian in the Upper Yangtze area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 55-60]
 - 15 杨玉卿, 冯增昭. 中国南方二叠纪沉积体系[J]. 古地理学报, 2000, 2(1): 11-18 [Yang Yuqing, Feng Zengzhao. Permian depositional systems in south china[J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(1): 11-18]
 - 16 贾建雄, 曾允孚, 陈洪德, 等. 西南地区二叠纪层序地层及海平面变化[J]. 岩相古地理, 1998, 18(1): 19-35 [Qin Jianxiong, Zeng Yunfu, Chen Hongde, et al. Permian sequence stratigraphy and sea-level changes in southwestern China [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1998, 18(1): 19-35]
 - 17 王成善, 陈洪德, 寿建峰, 等. 中国南方二叠纪层序地层划分与对比[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 499-509 [Wang Chengshan, Chen Hongde, Shou Jianfeng, et al. Characteristics and correlation of Permian depositional sequences in south China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 499-509]
 - 18 郭立君, 洪愿进, 邵龙义, 等. 黔西织纳煤田上二叠统层序地层及聚煤作用[J]. 古地理学报, 2011, 13(5): 493-500 [Guo Lijun, Hong Yuanjin, Shao Longyi, et al. Sequence stratigraphy and coal accumulation of the Upper Permian in Zhijin-Nayong coalfield of western Guizhou province [J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(5): 493-500]
 - 19 Wang Hao, Shao Longyi, Hao Liming, et al. Sedimentology and sequence stratigraphy of the Lopingian (Late Permian) coal measures in southwestern China [J]. International Journal of Coal Geology, 2011, 85: 168-183.
 - 20 高彩霞, 向晓军, 李长林, 等. 重庆地区晚二叠世煤系层序地层与聚煤作用[J]. 煤田地质与勘探, 2012, 40(4): 20-24 [Gao Caixia, Xiang Xiaojun, Li Changlin, et al. Sequence stratigraphy and coal accumulation of Late Permian coal measures in Chongqing [J]. Coal Geology & Exploration, 2012, 40(4): 20-24]
 - 21 李祥辉, 王成善, 陈洪德, 等. 中国南方二叠纪层序地层时空格架及充填特征[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 522-528 [Li Xianghui, Wang Chengshan, Chen Hongde, et al. Patterns and fills of Permian sequence stratigraphy in south China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 522-528]
 - 22 陈洪德, 覃建雄, 王成善, 等. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 510-521 [Chen Hongde, Qin Jianxiong, Wang Chengshan, et al. Sequence-Based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of Permian in south China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 510-521]
 - 23 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 603 [Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. Sequence Stratigraphy and Paleogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 2009: 603]
 - 24 郑和荣, 胡宗全. 中国前中生代构造—岩相古地理图集[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 194 [Zheng Herong, Hu Zongquan. Atlas of Tectonic-lithofacies Paleogeography of Pre-Mesozoic in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 194]
 - 25 中国煤田地质总局. 华南二叠纪含煤盆地特征及聚煤规律[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1999: 379 [China National Administration of Coal Geology. Characteristics and Coal Accumulation of the Late Permian Coal Basin in South China [M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Publishing House, 1999: 379]
 - 26 中国煤田地质总局. 黔西南南滇东晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996: 362 [China Na-

- tional Administration of Coal Geology. Sedimentary Environments and Coal Accumulation of Late Permian Coal Formations in Western Guizhou, Southern Sichuan and Eastern Yunnan [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1996: 362
- 27 全国地层委员会. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书[M]. 北京:地质出版社, 2002: 72 [National Commission of Stratigraphy. An Instruction to China Regional Chronostratigraphic (Geo-Chronologic) Scale [M]. Beijing: Geological Publishing House. 2002: 72]
- 28 Horne J C, Fern J C, Caruccio F T, *et al.* Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian region [J]. AAPG, 1978, 62(12): 2379-2411
- 29 Fielding C R. Coal depositional models for deltaic and alluvial plain sequence [J]. *Geology*, 1987, (5): 661-664
- 30 张玉成, 李长林, 洪志奋, 等. 四川南部晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993 [Zhang Yucheng, Li Changlin, Hong Zhifeng, *et al.* Depositional Environments and Coal Accumulation of the Late Permian Coal-Bearing Strata in Southern Sichuan [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House, 1993]

Sequence-Palaeogeography and Coal Accumulation of Late Permian in Southwestern China

SHAO Long-yi¹ GAO Cai-xia^{1,2} ZHANG Chao¹ WANG Hao¹ GUO Li-jun¹ GAO Cai-hong¹

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safety Mining and School of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083;

2. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment (Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources), Chongqing 400042)

Abstract: The Upper Permian in southwestern China was developed with abundant coal resources, and is divided into three formations including Emeishan Basalt Formation, Longtan Formation (lower and middle members of Xuanwei Formation or Wujiaping Formation) and Changxing Formation (upper member of Xuanwei Formation or Wangjiashai Formation) from bottom to top. The sequence stratigraphy, paleogeography, and coal accumulation of the Late Permian in this region have been studied based on outcrop and borehole sections. According to regional unconformities, sedimentary facies reversal surface, base of incised valley fill sandstones, and distribution of marine limestone beds which reflects variation of the transgressions, we have subdivided the Later Permian into 3 third-order sequences and related lowstand, transgressive, highstand systems tracts. Sequence 1 corresponds to the intervals of early Wujiaping stage, and is distributed mainly in the northeastern Sichuan, eastern Yunnan and western and eastern Guizhou. Sequence 2 corresponds to the middle Wujiaping stage, and Sequence 3 corresponds to late Wujiaping stage though Changxing stage. Both Sequence 2 and Sequence 3 are all distributed in the whole region of southwestern China. The vertical and lateral variation of facies in three sequences reveals a overall transgression pattern of palaeogeography. From bottom (Sequence 1) to top (Sequence 3) and from west to east, there was a variation in facies units from fluvial plain, through tidal-delta combination, to shallow marine. In these three sequences, depositional environments are all deeper in the east, and shallower in the west, with the transgressive pulse of advancing from east to west. The coal-forming environments are swamps developed from fluvial overbank, interdistributary bay, lagoon-tidal flat environments, while the favorable coal-forming environment is the interdistributary bay of the delta plain. In the three sequences, with the overall westward transgression, beneficial coal-forming environments and coal-accumulating centers migrated to the west, towards the Khangdian Oldland.

Key words: southwestern China; sequence stratigraphy; lithofacies paleogeography; Late Permian; coal accumulation