

文章编号: 0253-2697(2010)04-0542-06

琼东南盆地崖城组煤的沉积学特征与聚煤模式

李增学^{1,2} 何玉平³ 刘海燕^{1,2} 吕大炜^{1,2}

(1. 山东科技大学地质科学与工程学院 山东青岛 266510; 2. 山东科技大学山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室 山东青岛 266510; 3. 中海油研究总院 北京 100027)

摘要: 对琼东南盆地钻井、岩心、测井、构造形态等资料进行了系统分析,阐述了琼东南盆地崖城组成煤作用、成煤环境及成煤模式。崖城组的成煤作用主要为凝胶化作用;煤层多发育在辫状河三角洲平原泥炭沼泽环境和潮坪的潮间带上部、潮上带泥炭沼泽环境;主要的成煤沉积体系在崖城组早期主要为辫状河三角洲体系,在崖城组中、晚期主要为潮坪—泻湖体系。在综合研究各种影响成煤作用因素的基础上,从沉积环境和构造形态角度建立了6种主要的聚煤模式,即冲积扇前缘和辫状河三角洲平原聚煤模式、泻湖—潮坪聚煤模式、浅海周缘扇三角洲和滨海带聚煤模式、深水半地堑凹陷聚煤模式、浅水半地堑凹陷聚煤模式、深水地堑凹陷聚煤模式。

关键词: 琼东南盆地;崖城组;成煤作用;成煤环境;聚煤模式;沉积学特征

中图分类号: TE112.115

文献标识码: A

Sedimentology characteristics and coal-forming models in Yacheng Formation of Qiongdongnan Basin

LI Zengxue^{1,2} HE Yuping³ LIU Haiyan^{1,2} LÜ Dawei^{1,2}

(1. College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; 3. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: The analyses on the data of drilling, cores, well logging and tectonic patterns of Qiongdongnan Basin showed that the coal beds in Yacheng Formation mostly formed by the gelatification and were deposited in the environment of peat swamp in the braided channel delta plain and the peat swamp environment of the epilittoral zone and upper eulittoral zone. In the early Yacheng Formation, the main coal-forming depositional system was the braided stream-braided channel delta system. In the middle and later periods of Yacheng Formation, the main coal-forming depositional systems were the tide flat-lagoon system. The affecting factors for incoala-tion were comprehensively analyzed. Six kinds of coal-forming models in Qiongdongnan Basin were developed on the basis of the sedimentary environment and tectonic configuration. The coal-forming models include the alluvial fan forepart and braided channel delta plain model, tide flat-lagoon model, shallow sea peripheral fan delta and littoral zone model, deepwater half-graben sag model, shallow-water half-graben sag model and deep-water graben sag model.

Key words: Qiongdongnan Basin; Yacheng Formation; incoala-tion; coal-depositional environment; coal-forming model; sedimentology characteristics

1 琼东南盆地地质背景

琼东南盆地位于海南岛东南部海域,南海北部大陆边缘西北部,是新生代形成的北东向伸展盆地,面积为 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地西侧与莺歌海盆地相邻,东北与神狐隆起和珠三坳陷相邻,北部为海南隆起,南与永乐隆起相接,走向近北东且平行于南海海盆主要构造线(图1)。

前人对琼东南盆地油气地质、沉积体系与层序地层学等做了较为深入的研究工作^[1-6],有力地指导了该盆地的油气勘探与开发,也为该盆地的聚煤作用研究奠定了基础。对中国东部第三系典型断陷盆地的层序地层分析,以及层序框架内小层综合对比方法的研究^[7-9],为开展琼东南盆地含煤地层沉积学与聚煤模式研究提供了有益的启示。

琼东南盆地古近纪存在多幕裂陷作用,第一幕为

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40872100)、国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB219400)、国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价项目(XQ-2007-05)和国家科技重大专项(2008ZX05025)联合资助。

作者简介: 李增学,男,1954年11月生,1995年获中国地质大学(北京)博士学位,现为山东科技大学教授、博士生导师,主要从事煤地质学、盆地分析与层序地层学教学与研究工作。E-mail: lizengxue@263.net

晚白垩世末—始新世初,为 NNE 向。第二幕为始新世—早渐新世,又可分为两个阶段:中—晚始新世,走向 NE;始新世末—早渐新世,走向为 NEE。第三幕为晚渐新世,琼东南盆地仍属断陷,再次快速沉降,走向 EW。各幕断裂发育的优势走向有呈顺时针变化的趋势。早渐新世崖城组沉积时期是第二幕构造活动末期,构造活动较弱,利于聚煤作用的发生。

琼东南盆地经历了多期构造运动,现今主要表现为“两拗两隆”格局,即为北部拗陷、北部隆起、中央拗陷、南部隆起等一级单元,还可以进一步划分为 20 多个二级构造单元。北部拗陷由崖北、松西、松东 3 个凹陷组成,中央拗陷由乐东、崖南、陵水、松南、宝岛、北礁 6 个凹陷组成。琼东南盆地构造区划在平面具有“南北分带”、“东西分块”的特点(图 1)。

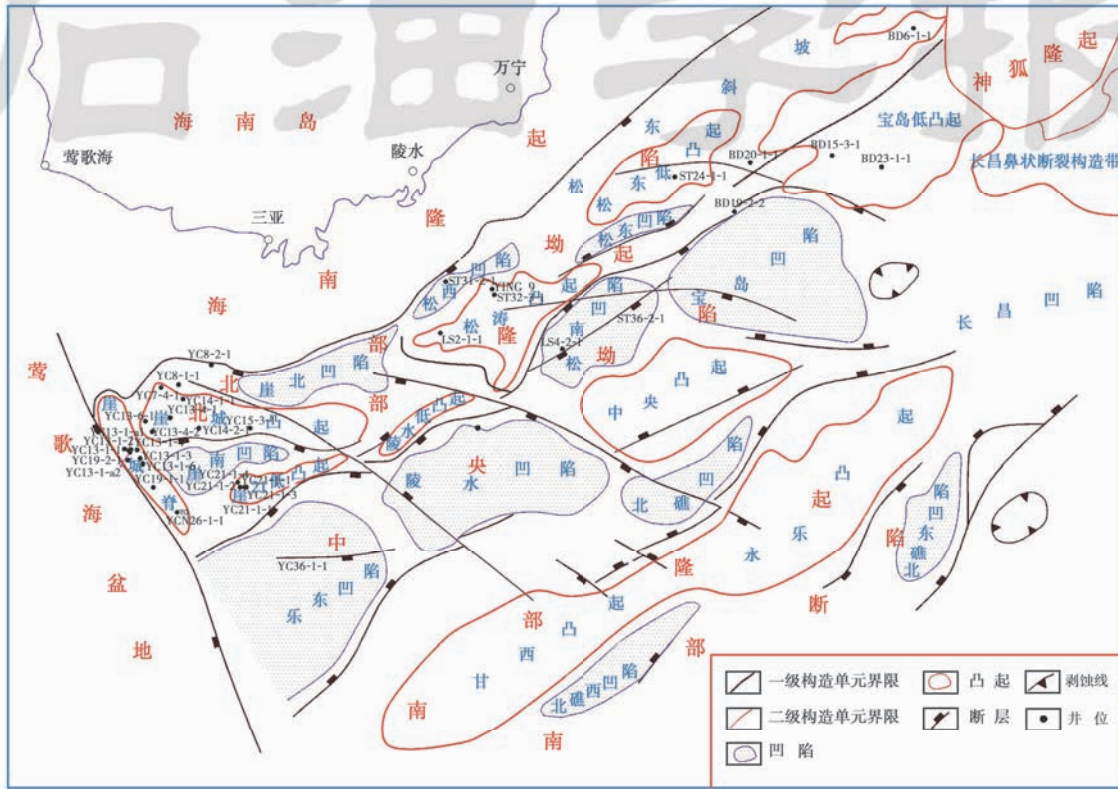


图 1 琼东南盆地构造单元划分

Fig. 1 Division of tectonic units in Qiongdongnan Basin

2 成煤作用

成煤作用模式的研究进展曾推动了煤地质学理论的发展与完善,如 Diessel 等提出了海侵过程成煤模式^[10],丰富了煤地质学科学体系。通过对崖 13-1 地区煤样的分析发现,研究区崖城组煤的有机组分主要为镜质组,惰质组次之,壳质组较少(图 2)。镜质组又以基质镜质体为主;其次为结构镜质体,结构保存差,多被挤压成线状、闭合状、破碎状的胞腔,可见充填黏土;少数为均质镜质体、团块镜质体和碎屑镜质体。惰质组以碎屑惰质体为主,菌类体(可见多室菌孢子体)居多,少数为丝质体碎片,微粒体少见。

基质镜质体是植物木质纤维组织经彻底的凝胶化作用变成极细的分散腐植凝胶或胶体溶液,以后再经凝聚而成。说明了物质在泥炭化过程中经受腐植作

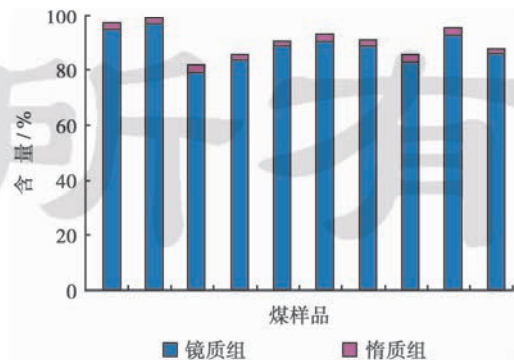


图 2 崖 13-1 地区崖城组煤样中有机组分含量

Fig. 2 Organic components percent of Yacheng Formation coal samples in YC13-1 area

用后,继而经历了较为彻底的凝胶化作用。凝胶化作用是在沼泽中较为停滞的、不太深的覆水条件下,弱氧化至还原环境,在厌氧细菌的参与下,植物的木质纤维

组织一方面进行生物化学变化,一方面进行胶体化学变化,两者同时发生并导致物质成分和物理结构都发生变化。

崖城组煤样中无机矿物质含量较高,无机矿物含量大于20%的煤,其惰质组主要为流水氧化所致,水体的流动带来无机物,造成了无机物含量较高,反映了沼泽中有流动水体的注入。

3 成煤环境

研究区仅有少数钻井取心揭露了崖城组的煤层,且均分布在崖三段,这些岩心为研究成煤微环境提供了宝贵的资料。YC13-1-a1井崖三段取心段共发育3层煤(图3);其中上部煤层厚约20cm;中部煤层厚约5cm;下部煤层厚约15cm。煤层顶底板均为泥岩,与煤层为过渡接触,泥岩中富含植物碎屑。煤层测井异常

表现为高阵列感应电阻率、低岩性密度、高中子孔隙度、低无铀伽马值。煤层位于短期基准面下降半旋回的顶部,下一个短旋回水体加深终止成煤作用。所有煤层均为高硫煤($St, d > 1\%$),说明煤聚集时均受到海水作用的影响。中、下部煤层灰分含量高($Ad > 40\%$),说明中、下部煤层不但受海水影响,且水动力较强,煤中陆源碎屑含量较大;上部煤层灰分含量低,说明上部煤层沉积时,水体相对较为安静,陆源碎屑含量较低。从硫分、灰分曲线变化看(图3),在高灰高硫的情况下,灰分和硫分仍表现为互为消长的关系。从显微煤岩类型来看,上部和下部煤层均为以微镜煤为主的微镜惰煤组合,说明为浅覆水一半覆水的环境,具微异地煤特征。经过综合各种因素分析,这3层煤是在近海的辫状河三角洲平原泥炭沼泽环境中发育的。

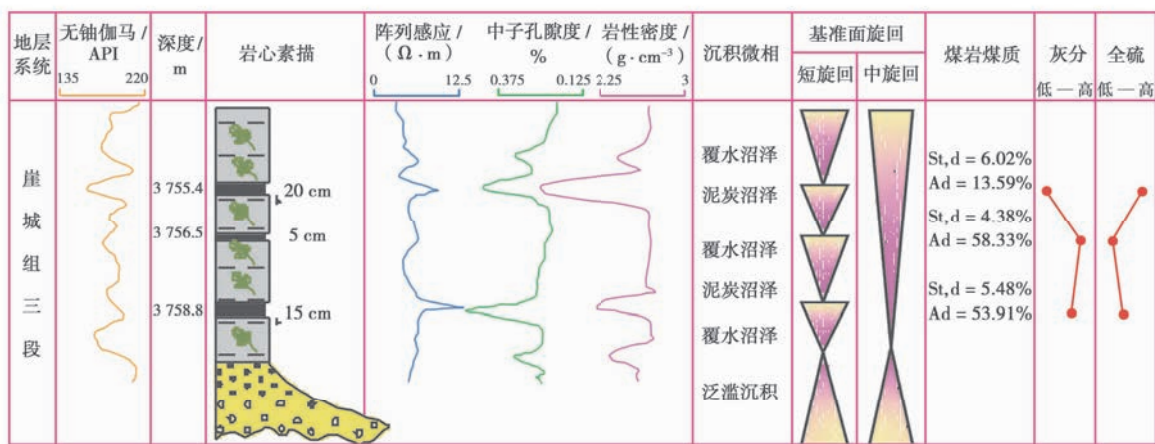


图3 YC13-1-a1井崖三段上部岩心煤层特征

Fig. 3 Coal beds in the third member of Yacheng Formation in Well YC13-1-a1

琼东南盆地早渐新世崖城组沉积时处于始新世陆相沉积向晚渐新世陵水组海相沉积的过渡时期,崖城组沉积早期虽然开始发生海侵但仍以陆相沉积作用占主导,在崖城组沉积的中、晚期海侵作用逐渐增强,海相沉积逐渐取代陆相沉积而起主导作用。该时期主要发育冲积扇/扇三角洲—海底扇体系、辫状河—辫状河三角洲—水下扇体系、潮坪—泻湖体系、滨浅海—浊积扇体系。其中,成煤沉积体系主要为辫状河—辫状河三角洲—水下扇体系和潮坪—泻湖体系。

辫状河—辫状河三角洲—水下扇体系主要发育于早渐新世崖城组沉积早期。辫状河三角洲以近端扇及辫状河平原为特征,远滨深入深水,形成水下扇,尤其在低水位期,水下扇较为发育。沉积体系由近源冲积扇、辫状河砂砾岩沉积、辫状河三角洲及远端水下扇以及水道间洼地沉积等组成。辫状河三角洲平原分流间湾、泛滥平原、扇间洼地等地区易沼泽化而有利于聚

煤作用发生。

辫状河三角洲平原是辫状河三角洲的陆上沉积部分,主要发育分流河道、分流间湾、泛滥平原、泥炭沼泽等微环境。该沉积环境分流河道较发育,由于河流的侧向迁移或改道等作用,常常对周围的泥质沉积或泥炭堆积造成侵蚀,使煤层厚度变薄或缺失,导致煤层的稳定性变差。典型的沉积序列为分流河道—天然堤—泛滥平原/分流间湾—决口扇—泥潭沼泽/泛滥平原—分流河道。辫状河沉积体系与扇三角洲沉积体系沼泽更为发育,炭质泥岩、页岩和可采煤层、煤线的夹层更多、厚度较大。

崖二段和崖一段钻井与测井资料表明,潮坪相的潮上带、潮间带上部的泥炭沼泽环境也是有利的成煤环境。潮坪—泻湖体系主要发育在早渐新世崖城组沉积的中—晚期,以大面积潮坪展布为特征,尤其在海侵、高水位期潮坪环境尤为发育。泻湖受构造凸起屏

蔽而与广海连通性小,环境相对稳定。

潮坪可以进一步划分为潮上带、潮间带和潮下带。潮上带主要为泥质沉积,潮间带主要发育砂岩和泥岩薄互层,在潮上带和潮间带的上部均发育泥炭沼泽环境。由于这些环境长期处于暴露状态,水动力条件弱,沉积物细,适于植物生长,周期性的潮汐作用使得沼泽的聚煤作用也具有周期性。潮坪—泻湖体系发育的煤层无论厚度还是稳定性均优于辫状河三角洲体系发育的煤层(图4)。

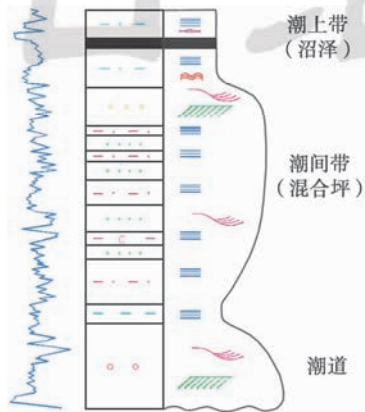


图4 潮坪成煤沉积序列(YC19-1-1井,崖城组)

Fig. 4 Coal-forming sedimentary sequence of tide flat in Yacheng Formation of Well YC19-1-1

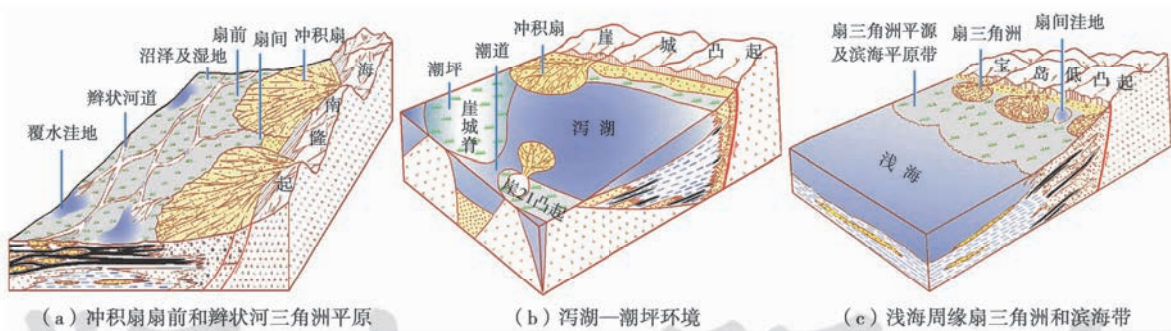


图5 以沉积环境为导向的主要成煤模式

Fig. 5 The main coal-forming models based on sedimentary environment

起、陵水低凸起、松涛凸起等古凸起起到障壁作用。

古凸起的障壁作用使得海水连通性变差,进而发育泻湖环境[图5(b)],海水以潮汐作用为主,在泻湖的外缘斜坡以及起障壁作用的古凸起内侧发育潮坪环境,并发育潮道—潮沟系统。在潮坪的潮上带和潮间带的上部发育的沼泽环境是聚煤作用发生的主要场所。

潮坪环境中的煤层发育是与潮道较为密切的,在多潮道地区成煤条件较好,煤层层数多,但厚度较薄,煤层间距大;在缺潮道地区,含煤层数则较少,但厚度较大,煤层间距较小,煤层结构复杂(即煤层中的夹层

4 主要的成煤模式

从沉积环境和构造形态两个方面分别建立聚煤模式,以指导研究区煤层分布预测。

4.1 沉积环境为导向的模式

4.1.1 冲积扇扇前和辫状河三角洲

该模式出现于崖城组沉积的早期,主要发育于崖北凹陷、松东低凸起、宝岛低凸起、南部陵南低凸起等地区(图1)。

该模式常出现于断陷盆地的端部,由于区域总的地形坡度趋势和水系发育的格局,通常在盆地的端部发育较长的洪泛平原。河道从纵端部进入,蜿蜒于扇前或扇间地区,最后在盆地宽阔处进入泻湖或浅海[图5(a)]。此种类型在垂向序列上显示了曲流河的特征,靠近边缘则有越来越多的冲积扇沉积物的夹层,一般认为是冲积扇的远端相。河道两侧的平原可以沼泽化并发育煤层,但煤层薄且不稳定。较厚和较稳定的煤层形成于废弃河道,此时扇间地区可以大面积沼泽化形成较厚煤层,从而形成主要的富煤带。

4.1.2 泻湖—潮坪环境

该模式主要发育于崖城组中、晚期的崖南、崖北、松西、松东、北礁、北礁西凹陷等地区(图1),但整体环境中并没有发育相应的障壁岛,而是由崖城脊、崖21低凸

较多)。此外,潮道砂体与煤层发育呈负相关关系,在带状、树枝状分叉的潮道砂体之间的部位煤层发育好,而在潮道砂体较发育的地方煤层较薄,说明这种潮道水体活动而畅通,成煤作用主要发生在潮道间的低洼地带;如果成煤作用发生在废弃的潮道中,则形成厚煤层沿潮道分布的类型。

在海进时期,潮坪环境向远离泻湖方向迁移,聚煤环境也随着迁移,聚煤范围有所减小;海退时期,潮坪环境向泻湖推进,煤层也随之向泻湖方向迁移,聚煤环境范围扩大。聚煤作用主要发生在缓坡带,虽然陡坡

带也有潮坪环境,但其相带窄、环境变化快,不利于聚煤作用的发生,但可见零星的薄煤线发育。

4.1.3 浅海边缘扇三角洲和滨海带

该模式主要分布于盆地东北缘及松涛凸起南缘地区,出现于古凸起与浅海过渡地区,源于古凸起的冲积扇入海盆而形成扇三角洲,在扇三角洲平原以及滨海平原地区,地势相对平坦,古凸起及平原地区植被繁盛,为泥炭堆积提供条件,在扇三角洲平原的河道间洼地、扇间洼地、扇前及海岸平原沼泽地区,利于聚煤作用的发生[图 5(c)]。

在崖城组沉积初期,水体相对较浅,扇三角洲向凹陷内部延伸较远,成煤带较宽广,形成的煤层向凹陷内部延伸较远,但由于扇三角洲环境的不稳定性,煤层较薄且易发生分叉;崖城组沉积中期,水体扩张,沉积范围不断扩大,滨海带向凹陷边缘推进,扇三角洲后退,成煤环境也随之向陆地迁移;崖城组沉积晚期,海水相对发生退却,扇三角洲再次向凹陷内部迁移,滨海带随之迁移,煤层也随之向凹陷内部迁移,但迁移幅度不及崖城组沉积早期。

在每个演化阶段,扇三角洲平原、废弃朵体、朵体间洼地、海岸平原沼泽均有泥炭堆积。其中,崖城组沉

积早期和晚期,有利的成煤环境范围较大,利于较大范围聚煤。该模式也为崖城组最主要的聚煤模式之一。

4.2 构造形态为导向的模式

研究区的凹陷有两大类,即半地堑凹陷和地堑凹陷。其中根据水体的深浅又可分为深水半地堑凹陷和浅水半地堑凹陷,地堑凹陷均为深水凹陷。

4.2.1 深水半地堑凹陷聚煤模式

深水半地堑凹陷有崖南凹陷、崖北凹陷、松东凹陷和松南凹陷(图 1),这几个凹陷主要发育泻湖环境,只有松南凹陷为浅海环境。

崖北凹陷沉积断面上表现为“一断一超”,一侧的高角度大断层控制沉积。在陡坡带,广泛发育大规模扇三角洲,向凹陷内延伸较远,以碎屑沉积为主,也发育较窄的潮坪带,因而可能发生一定的聚煤作用,但其强度较弱;缓坡带可以发育辫状河三角洲、小的扇三角洲和三角洲等沉积,地势平缓,可以发育宽广的潮坪带,在潮坪的潮上带和潮间带沼泽,利于聚煤作用的广泛发生。由于水体较深,缓坡带和陡坡带的煤层向凹陷内部延伸不远而终止,因此可表现为明显的两个聚煤带,缓坡聚煤带和陡坡聚煤带,缓坡聚煤带占绝对优势[图 6(a)]。

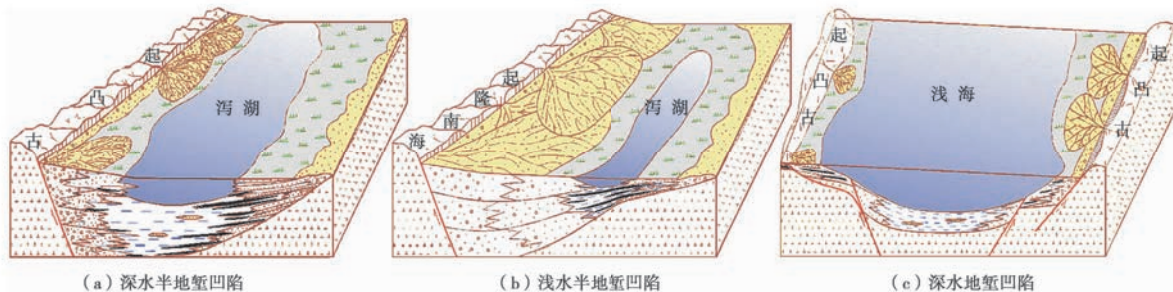


图 6 以构造形态为导向的主要成煤模式

Fig. 6 The main coal-forming models based on structural configuration

在崖城组沉积早期,水体相对较浅,扇三角洲、辫状河三角洲、潮坪等聚煤带向凹陷延伸较远,煤层也随之向凹陷内部延伸较远,该时期沉积环境不稳定,发育的煤层薄、层数多且易分叉;到崖城组沉积中期,海水不断入侵,沉积范围逐渐增大,聚煤带随之向凹陷外缘迁移,煤层也随之向外迁移,该时期沉积环境相对稳定,发育煤层层数少、厚度有所变大;到了崖城组沉积晚期,海水发生一定程度的退却,扇三角洲等再次活跃,聚煤带也随着海水的退却再次向凹陷内部迁移,煤层迁移方向也是如此。该时期沉积环境再次变得不稳定,发育的煤层薄、层数多。总之,深水半地堑凹陷聚煤模式中,崖城组沉积早期和晚期,聚煤作用发生范围较大,为相对有利的聚煤时期。

4.2.2 浅水半地堑凹陷聚煤模式

浅水半地堑凹陷只有松西凹陷[图 6(b)]。该凹陷仍为“一断一超”的特点,但是,由于断层的活动性较强,在陡坡带广泛发育扇三角洲粗碎屑岩沉积,且一直延伸到凹陷内部,使得几乎整个凹陷都为粗碎屑岩沉积,而使得水体退却到缓坡带一侧,使得沉积中心与沉降中心明显偏移。

该凹陷泻湖范围较小,在泻湖边缘发育潮坪带,缓坡处宽陡坡处窄,聚煤作用从缓坡开始向凹陷内部延伸,由于水体较浅,煤层可以与陡坡的扇三角洲砂体或煤层几乎对接,使得泻湖缓—陡坡两侧的煤层相接。该种凹陷发育的煤层可以延伸到扇三角洲砂体以外的整个凹陷。

4.2.3 深水地堑凹陷聚煤模式

深水地堑凹陷有宝岛凹陷、陵水凹陷和乐东凹陷。宝岛凹陷表现为“双断式”,凹陷两侧均为控凹断层控制的陡坡带,水体由浅部迅速变深,整体不利于聚煤作用的发生。在凹陷边缘的往往发育多级断裂,在凹陷外缘的次级断裂处,水体相对较浅,地势相对平坦,在凹陷周缘有宽窄不同的扇三角洲平原、潮坪带发育,该环境可以发生微弱的聚煤作用,形成零星分布的煤层。总体上看,这种深水地堑凹陷由于水体突然变深,缺乏缓坡带,不利于大规模聚煤作用的发生[图6(c)]。

5 结论与认识

(1) 琼东南盆地成煤作用主要为凝胶化作用,植物组织经历了较为彻底的凝胶化作用,有机显微组分以镜质组的基质镜质体为主,成煤作用过程中成煤环境受海水影响而使得煤的全硫含量较高。

(2) 琼东南盆地崖城组主要的成煤沉积体系在崖城组早期主要为辫状河—辫状河三角洲—水下扇体系,但在崖城组沉积中、晚期主要为潮坪—泻湖体系。研究表明,辫状河三角洲平原和潮坪环境最有利于成煤作用发生。

(3) 琼东南盆地内次级凹陷和凸起较为发育,而不同凹陷和凸起具有不同的构造形态,因此聚煤模式具有多样性。在综合研究影响成煤作用各种因素的基础上,从不同角度建立了琼东南盆地主要的聚煤模式。崖城组早期的成煤作用以冲积扇前和辫状河三角洲平原聚煤模式为主;崖城组中、晚期的成煤作用以泻湖—潮坪聚煤模式为主,浅海周缘扇三角洲和滨海带也发生一定的聚煤作用。在深水半地堑凹陷,成煤作用主要发生在缓坡浅水地区;浅水半地堑整个覆水区均可以成煤;在深水地堑凹陷,仅在周围狭窄的缓坡带发生小规模的聚煤作用。

参 考 文 献

- [1] 吕明. 莺-琼盆地低位沉积模式的新探讨[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(4): 4-13.
Lü Ming. A new discussion on lowstand deposition models in Ying-Qiong Basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2002, 16(4): 4-13.
- [2] 钟志洪, 王良书, 李绪宣, 等. 琼东南盆地古近纪沉积充填演化及其区域构造意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 29-36.
Zhong Zhihong, Wang Liangshu, Li Xuxuan, et al. The Paleogene basin-filling evolution of Qiongdongnan Basin and its relation with seafloor spreading of the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(1): 29-36.
- [3] 李绪宣, 刘宝明, 赵俊青, 等. 琼东南盆地古近纪层序结构、充填样式及生烃潜力[J]. 中国海上油气, 2007, 19(4): 217-239.
Li Xuxuan, Liu Baoming, Zhao Junqing, et al. Paleogene sequence configuration, depositional filling pattern and hydrocarbon-generation potential in Qiongdongnan Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(4): 217-239.
- [4] 米立军, 刘震, 张功成, 等. 南海北部深水白云凹陷古近系烃源岩的早期预测[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 139-145.
Mi Lijun, Liu Zhen, Zhang Gongcheng, et al. Early forecast and evaluation study on chief source rock in Baiyun Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 139-145.
- [5] 张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 16-21.
Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deep water area: The new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 16-21.
- [6] 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Yang Shaokun, et al. Introduction on gas geology of continental margin basins in the northern part of South China Sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [7] 袁新涛, 沈平平. 高分辨率层序框架内小层综合对比方法[J]. 石油学报, 2007, 27(6): 87-91.
Yuan Xintao, Shen Pingping. Continental strata correlation of high-resolution sequence in reservoir development phase[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 27(6): 87-91.
- [8] 严德天, 王华, 王清晨. 中国东部第三系典型断陷盆地幕式构造旋回及层序地层特征[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 185-190.
Yan Detian, Wang Hua, Wang Qingchen. Episodic tectonic cycles and sequence pattern of the Tertiary rifted basins of East China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(2): 185-190.
- [9] 王家豪, 王华, 肖敦清, 等. 陆相伸展性盆地二级层序的厘定[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 870-875.
Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing, et al. Determination of second-order stratigraphic sequences in continental extensional basins[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 870-875.
- [10] Diessel C F K. Coal-bearing depositional systems-coal facies and depositional environments: 8-coal formation and sequence stratigraphy[M]. New York: Inc. Springer-verlag, 1992: 462-514.

(收稿日期 2010-01-05 改回日期 2010-02-24 编辑 熊英)