

文章编号: 1000-0550(2003) 01-0125-04

含煤岩系沉积学研究的几点思考¹

张鹏飞

(中国矿业大学(北京校区) 北京 100083)

摘要 根据沉积学和煤地质学的理论和方法,对聚煤作用、聚煤中心、煤层在地层格架中的分布、煤的前身——泥炭和成煤基地——沼泽地,以及煤和煤系中的矿物组分——高岭石进行了介绍、分析、论述,并再次提出华北晚古生代海侵问题。

关键词 含煤岩系 聚煤作用 泥炭和沼泽地 高岭石 海侵

作者简介 张鹏飞 男 1921 年出生 教授 沉积学及煤田地质学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

含煤岩系沉积学和沉积环境的研究历史已近百年,其主要发展进程和阶段可概括如下:20 世纪初期和早期,Udden 对地层岩石单位的垂向层序的研究,Weller 等提出的煤沉积的旋回模式,中—晚期,Rahmani 和 Flores 把含煤岩系研究划分为旋回沉积阶段和旋回沉积阶后阶段(沉积模式阶段),20 世纪 80 年代,在地震地层学基础上诞生了层序地层学。为含煤岩系年代地层、旋回性及盆地演化提供可靠依据,从而也推动聚煤作用理论的发展。当前含煤岩系沉积学研究应拓宽研究范围,加深研究内容,提出新的研究方向和领域。本文遵循探索求真,开拓创新精神,对下述几点提出一些不成熟的看法。

1 聚煤作用、聚煤中心和煤层在层序地层中的分布

在煤地质学研究中,对聚煤作用、聚煤规律均有较详细的分析和报道,但对聚煤中心在研究方法上则介绍较少。郝黎明等^[1]利用旋回频率曲线法研究了我国西南地区晚二叠世的幕式聚煤作用,在此基础上建立了不同层序组及不同复合层序的旋回频率曲线,并根据其峰值的位置分析了聚煤中心的变化。

当前国内外对煤层在层序地层格架中的分布的探讨和认识,可谓“百花争艳,异彩纷呈”。我们在研究我国华北地区石炭—二叠纪和西南地区晚二叠世岩相古地理和聚煤规律时,注意到有些大面积连续展布的煤层的形成环境与其下伏沉积物的沉积环境并没有必然的成因联系,煤层与其下伏根土岩或古土壤之间是一个

沉积间断面,而煤层本身则代表基底暴露之后的海侵事件沉积。也就是说一些大面积的稳定展布的煤层可能形成于海平面上升过程中,即海侵过程成煤,亦即在层序中煤层位于海侵体系域。对中国广西合山煤田这一海相背景下碳酸盐岩煤系来说,其最厚的煤层形成于海侵面位置,最薄的煤层形成于最大海泛面附近。这是因为碳酸盐岩台地背景下,基底沉降速率比其它浅水环境要大得多,只有相对较慢的海平面上升才能维持厚层泥炭堆积所需要的可容空间^[2]。李增学等^[3]分析了镜惰比值、灰分、挥发分和硫分等煤岩煤质指标变化与层序地层格架的关系。毛节华、程爱国^[4]提出并建立了泥炭沼泽体系,指出其主要发育在海侵体系域和高位体系域中。这方面的报道不胜枚举。上述情况说明了煤层在层序地层格架中的分布这一重要问题,受到普遍关注,并进行了积极的研究和探索。事实上,煤层在层序地层格架中的位置与煤盆地的区域大地构造背景、古地理条件、成煤环境及亚环境、成煤沼泽类型以及煤相和沉积有机相等多种因素密切相关。

我们在吐哈盆地中、下侏罗统含煤沉积和煤成油课题中,提出了不同成煤环境的聚煤特征及含煤特征^[5]。通过上述研究,我们认识到吐哈盆地主要沉积体系中都有煤层形成,但以下三角洲平原的分流间湾沼泽和三角洲间湾的三角洲间湾沼泽的成煤条件最好,而且也有利于煤成烃。通过研究,给我们提供了一个启示,即为了更确切地、更合理地判断煤层在层序地层格架中的位置,是否可以根据沉积学和沉积有机相研究,

¹ 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 收修稿日期:2003-01-20

表 1 吐哈盆地早、中侏罗世几种成煤环境的聚煤特征及含煤性比较

Table 1 Comparison of coal accumulations in different coal-forming environments in Turpan-Hami Basin

类型	辫状河—辫状河 三角洲	上三角洲平原 河流体系	下三角洲平原	三角洲间湾	水进型三角洲		湖泊体系
					间歇水进	持续水进	
聚煤环境	河漫滩或废弃 三角洲平原	岸后沼泽、泛滥 盆地沼泽	分流间湾沼泽	三角洲间湾沼泽	分流间湾沼泽	不成煤	湖湾沼泽
煤层层数	少	少	多	多	较多	无	少
单层厚度	薄—中等	较厚	厚	特厚	薄	—	薄
煤层稳定程度	不稳定	较稳定	稳定	稳定	不稳定	—	较稳定
煤层总厚	薄—中等	较厚	厚	特厚	薄	—	薄
有机岩石类型	丝质煤、丝炭	镜煤、亮煤	光亮煤、半亮煤	亮煤、半亮煤	—	—	暗淡型腐泥煤
显微组分	惰性组多	结构镜质体、 均质镜质体	基质镜质体、 孢子体	基质镜质体、 角质体	—	—	基质镜质体、 孢子体、藻类 体、半丝质体
地球化学指标 (mg/g)	HI < 100, S ₁ + S ₂ < 100	HI 100 ~ 300, S ₁ + S ₂ 100 ~ 200	HI 300 ~ 400, S ₁ + S ₂ 150 ~ 350	HI 300 ~ 500, S ₁ + S ₂ 200 ~ 350	—	—	HI 100 ~ 700, S ₁ + S ₂ 150 ~ 350
聚煤有利程度	较差	较好	好	极好	较差	极差	极差
煤成烃有利程度	差	中等	较好	好至较好	较好	极差	有利
共生的主要岩相	砾岩	砂岩、泥岩及 粉砂岩	砂岩、泥岩及 粉砂岩	泥岩、粉砂岩	砂岩、泥岩	砂岩	粉砂岩、泥岩、 碳质泥岩
实例	三道岭露天矿 4 号 煤层、大南湖 4 号 煤层	艾维尔沟 J _{1b} 、 C ₅ 、C ₆ 、C ₇	柯柯亚大槽煤层、 七泉湖红灰槽煤层	地湖南大槽煤层	艾维尔沟 J _{1b} 、 C ₈ 、C ₉	区内三工 河组下部	柯柯亚南 大槽煤层

以探讨和恢复煤层的聚煤环境和成煤沼泽类型,再依据所获得的资料分析与沉积体系域的关系,最后确定煤层在层序地层格架中的位置。当然,这只是一个想法,是否合理、可用,请专家批评、指正。

再者,在海平面上升和海侵过程中,海平面与源区相对高差变小,陆源碎屑来源减少,海岸沼泽主体部分并非发育在海中,而是仍在陆地上,只是地下水潜水面因海平面上升而不断升高,沼泽长期处于缓慢逐渐被淹没状态,因此,煤层是海侵过程中形成的,但不是海相层。正因为煤层在海侵体系域中常出现于体系域的底部,又不属海相,而且煤层又是层序划分的边界,因此,在体系域划分上,应该对煤给予符合其特征的术语。

2 泥炭和沼泽地的现代和第四纪沉积研究

泥炭和沼泽地,是整个第四纪在世界各地形成的,它是近万年来全新世时期具有特色的自然地质体,泥炭是煤的前身,沼泽地是煤形成发育和演化的基地。如果掌握了关于泥炭、沼泽地的正确知识,对第四纪古地理学和煤地质学的研究就会更细致、深入。

关于沼泽的名词和用语

Moore P D^[6]在“泥炭形成的生态学和文学”一文中,提出“Mire”(沼泽地)一词,定义为堆积有有机物质的淡水生态系统,是用来指所有类型的泥炭形成

生态系统的通用术语。某些湿地生态系统,如有的 marsh 中泥炭并不发育,因此 marsh 严格来说,不是 mire。和 mire 相对应的可能是德语 Moor。

Swamp 属矿物质营养性(流水营养性)湿地系统,旱季其水面总是位于土壤或沉积物表面之上。主要生长水生植物和浮现植物。

Swamp forest(森林沼泽)是 Swamp 的一种特殊类型,植物以树为主,产于热带和亚热带。红树林沼泽是森林沼泽的特殊类型。矿物质营养性温带树木泥炭沼泽地(Wooded mire)斯堪的纳维亚语称为“carr”(森林泥炭沼)。

Marsh(沼泽湿地)使用最混乱,包含不同涵义。美学者用来指湿地中主要是漂浮或浮现的草本水生植物。此术语可应用于淡水和咸水。

Bog(酸沼、藓沼、泥炭沼)限定于在降水营养性生态系统泥炭形成中使用。

Mire 的发展演化程序如图 1 所示,表示泥炭沼泽的一般发展程序,即从低位—中位—高位,但在不同气候和不同环境条件下,其发展与演化可有不同模式,从低位—中位—高位泥炭沼泽的完整发展过程,只限于长期温湿或冷湿地带^[7]。低位泥炭沼泽在我国分布最广,而酸沼(Bog)则极少。关于泥炭的现代沉积和第四纪沉积的研究,对我们提供了新的启示。

如根据泥炭地质学研究^[7],中国渤海西北黄海沿岸泥炭地与海侵海退的关系非常密切。据今约 40 000

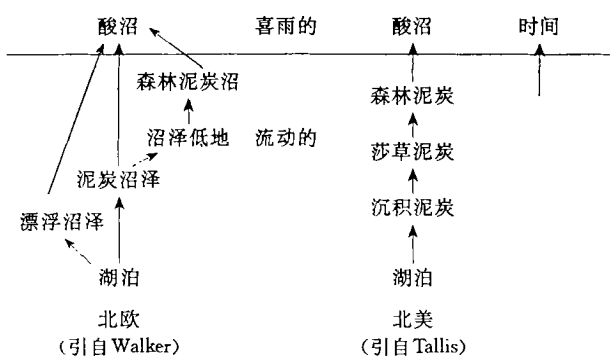


图1 Mire的主要发展演化程序(Walker, 1970)

Fig. 1 Major development and evolution stages of mires (Walker, 1970)

年前,海平面开始回升,在北黄海现在水深 73 m 附近,堆积了厚 25 cm 的泥炭层(> 36 000 年)。海水继续向华北平原侵进,在黄骅一带地下 41 m 深处形成了厚达 1 m 的泥炭(> 32 000 年)。这些泥炭层直接被海侵层超覆,说明它是伴随海侵而生成的。

研究海平面变化,红树林泥炭是一个可利用的海平面指示物。如在澳大利亚大堡礁海岸的许多地区,潮差小于 3 m,红树林泥炭可以把古海平面位置确定在 ± 1 m 内。^[8]那么,我国海南岛红树林泥炭是否也可以作为海平面指示物呢?

3 煤和煤系中的矿物及其成因浅析

煤中常见的矿物有高岭石、黄铁矿、方解石、菱铁矿、石英、铁白云石等。古生代煤系中粘土矿物主要为高岭石,中生代陆相煤系中常见伊利石、伊蒙混层矿物。

研究这些矿物的成因,并进而推测煤层和煤系的形成环境和古地理背景,有时是比对其鉴定还要困难些。

从生成阶段看,可分为:陆源(碎屑)矿物、自生矿物、成岩矿物(早期、晚期)、后生矿物、表生矿物等。自生矿物可反映成煤环境。但碎屑矿物也很重要。碎屑沉积,特别是碎屑粘土,分散于煤层中或富集于泥岩夹矸中,对揭示煤的沉积史以及对煤的合理利用、环保方面均甚重要。但目前此工作进展不多。

成岩作用与变质作用的界限很难划分,对其最高温值目前还有不同意见,有的认为大体是压力为 1 500 ~ 2 000 Pa,温度为 150 ~ 200 °C,我们认为,唯一可取的是温度 120 °C,成岩后生作用的正常极限约 100 °C。它作为成岩作用阶段的上限,因超过 120 °C,则经过成熟,且矿物多已重结晶,并出现绢云母和绿泥石。

这里谈谈高岭石问题。

高岭石碎屑及自生均有,特别是呈细分散状微晶高岭石不易判别其成因。一般认为煤中细分散状高岭石属自生的,这与高岭石多为陆源组分这一通常看法有矛盾。从结构看,胶粒、团粒状高岭石系胶体凝聚,而充填在细胞腔中的则是 SiO_2 、 Al_2O_3 的真溶液沉积。从晶体结构看,晶体有序度(以 HI 表示,用 X 射线衍射曲线计算)是一个分析成因的较好标志。华北石炭、二叠纪地层中,表生有机胶体化学沉积成因的高岭石有序度高,经陆地搬运的高岭石,其有序度降低。如内蒙准格尔二叠系山西组中的软质隐晶质高岭石其 HI 可高达 1.45,而砂质高岭石的 HI 可降低至 0.53^[9]。矿物经长途搬运,环境动荡,会对高岭石晶体单元层叠置产生不利影响,常形成 b 轴无序高岭石。

Vladimir Bouska 在《煤地球化学》^[10]中概括了矿物相和煤化作用的关系,指出高岭石主要形成于成岩作用,但可延续到后生作用。在成岩作用阶段,高岭石属沸石相,常与蒙脱石、蛭石—黑云母及方沸石共生,其在煤化作用中,可出现于从泥炭—褐煤—烟煤甚至无烟煤中,其油浸反射率相应地从 $< 0.25 \sim 2.6$ 。如果上述现象具有普遍性,那么我们就可以仔细研究高岭石在不同的生成阶段的主要特征,进而剖析高岭石与煤化作用的成因关系。

火山灰蚀变形成的的高岭石,一般认为,由于生成滞后于沉积成因的高岭石,而且粒度较粗,遭受腐植酸淋蚀弱于沉积高岭石,故其有序度亦较沉积高岭石低。目前对这一问题研究不够,今后应加强。

据研究,滨海凹地的高岭石,在搬运过程中沿(001)发生剥层,使高岭石发生机械无序化。河流相(河漫滩、心滩)高岭石多呈片状,自形程度高。但 Si 的来源未解决。

最后,晶体有序度与成岩作用阶段有关。从成岩早期至晚期,有序度逐渐增加。

关于高岭石形成稳定条件问题,曾提出限定高岭石稳定区域的参数,包括 $[\text{K}^+]/[\text{H}^+]$ 、 $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{H}^+]$ 、 $[\text{Na}^+]/[\text{H}^+]$ 的低比值,即低 pH 介质有利于高岭石形成。离子扩散或孔隙溶液运移可使酸度发生变化,有利于高岭石沉淀。

总之,目前对煤层中高岭石这一既有理论,又有实际应用的研究领域较为薄弱,今后应加强。

4 再谈华北晚古生代海侵问题

关于这一既属地质基础理论又涉及聚煤机理问题,在拙作^[11]中已作了论述。该文通过太原西山石炭二叠纪的三个煤层的系统分析,并应用层序地层学原理,论证了华北石炭二叠纪海侵性质为渐进型,而不是

突发型海侵。但在某些重大问题,如海侵作用的构造背景、期次、全区海侵作用的范围和等时性以及泥炭堆积速率和压实度(压缩率)等应作进一步深入探讨。

5 研究进展与展望

(1) 碳酸盐岩型含煤岩系在我国是一个颇具特色的含煤类型,我们在桂中、黔东等地区已开展了 20 年的研究的工作,并有专文发表。但对这一特殊类型的煤系,尚有不少问题值得深入探索,如煤层与海泛面的关系、煤系的层序地层格架,煤的形成机理、煤层与生物礁的关系等。

(2) 古土壤与古气候在含煤岩系研究中十分重要,虽然在国外古土壤方面的研究比较深入,取得了一定成果,但对煤系来说,尚有许多问题研究不够深入或几乎还是空白:¹对露头剖面古土壤研究较多,而忽略了煤田及油气勘探中井下古土壤的研究;④对海陆交互相含煤岩系中古土壤研究较少;④关于古土壤在高分辨率层序地层学中的应用几乎没有。

(3) 在层序地层学研究中,对华北、华南、西北各地区含煤岩系 级地层层序开展了普遍的研究和探讨, 级或 级以上的高分辨率层序的划分及建立高频层序地层格架的报道尚不多见。

(4) 开展含煤岩系(含煤盆地)和含油岩系(含油气盆地)的综合研究,如煤、油气的形成和分布规律及其共生关系、含煤岩系中烃的主要贡献者是煤还是碳质泥岩,以及有关煤成油理论和实践等问题。

(5) 高岭岩(土)是宝贵的矿产资源,由于具有许多工艺性能而被广泛应用于各种工业部门。我国含煤岩系高岭岩(土)资源成因类型齐全、储量丰富、质地优良。我们自 80 年代末期开始,对我国煤系高岭岩(土)的形成机理、矿床类型、地质和地理分布、资源评价和开发利用等方面开展了系统调查、研究,并获得显著成果。此项研究工作今后应加强、加深。

(6) 含煤岩系沉积学与岩石(土)力学和采矿工程学的结合。过去,在探讨煤矿开采地质条件和地质灾害时,往往忽视了煤系原始沉积作用影响这个主要因素,因而使顶板稳定性评价产生了困难。80 年代以来,我们开展了沉积岩(体)的工程地质力学性质研究,通过实验室分析、测试,在获得可靠的工程技术参数的基础上,提出了合理的支护对策,使复杂的工程设计与施工管理更趋于合理与可靠,从而拓宽了煤系沉积学在采矿工程的应用。此项工作,有望在 21 世纪取得更大的成果。

参考文献(References)

- 郝黎明,邵龙义,史宗博等. 旋回频率曲线在幕式聚煤作用研究中的应用——以西南地区上二叠统为例[J]. 古地理学报, 2000, 2(4): 12 ~ 19 [Hao Liming, Shao Longyi, Shi Zongbo, Zhang Pengfei, 2000, The application of depositional cycle frequency curve to episodic coal accumulation: with an example from the Upper Permian in southwestern China [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(4): 12 ~ 19]
- 邵龙义,张鹏飞,龚建伟,宋丽君. 含煤岩系层序地层分析的新认识——兼论河北晚古生代层序地层格架[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 20 ~ 24 [Shao Longyi, Zhang Pengfei, Dou Jianwei, Song Liju. New considerations on coal measures sequence stratigraphy—A case study from the Late Paleozoic coal measures in southern Hebei[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1999, 28(1): 20 ~ 24]
- 李增学,魏久传. 华北陆表海盆地南部层序地层分析[M]. 北京:地质出版社, 1998. 110 ~ 112 [Li Zengxue and Wei Jiuchuan. Sequence Stratigraphical Analysis of the South Part of the North China Epicontinental Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 273]
- 程爱国等. 中国聚煤作用系统分析[M]. 江苏徐州:中国矿业大学出版社, 2001. 4 ~ 8 [Cheng Aiguo, et al. Analysis of Coal Accumulation System [M]. Xuzhou Jiangsu: Publishing House of China University of Mining and Technology, 2001. 4 ~ 8]
- 张鹏飞,金奎勋,吴涛,王昌桂. 吐哈盆地含煤沉积和煤成油[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1997. 135 [Zhang Pengfei, Jing Kuili, Wu Tao, Wang Changgui. 1997, Study on Sedimentology and Oil Source from Jurassic Coal Bearing Series in Tuha Basin, northwestern China [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1997. 269]
- Moore P D. Ecological and hydrological aspects of peat formation [A]. In: Scott A C, ed. Coal and Coal-Bearing Strata: Recent Advances [C]. Geological Society Special Publication, London, 1987, 32: 7 ~ 16
- 柴岫等. 泥炭地学[M]. 北京:地质出版社, 1990, 27: 160 [Chai Xiu, et al. Study of Peat Land [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 27, 160]
- 林观得等. 海平面[M]. 北京:地质出版社, 1987. 97 [Lin Guande, et al. Sea Level [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 97]
- 刘钦甫,张鹏飞. 华北晚古生代煤系高岭岩物质组成和成矿机理研究[M]. 北京:海洋出版社, 1997. 118 [Liu Qinfu and Zhang Pengfei. The Composition and Mineralization Mechanism of Kaolinite Rocks in Late Palaeozoic Coal Measures, North China [M]. Beijing: Publishing House of Oceanography, 1997. 118]
- Vladimir Bouska. Geochemistry of coal [M]. Academia Prague, 1981. 109
- 张鹏飞等. 华北晚古生代海侵模式议[J]. 古地理学报, 2001, 3(1): 15 ~ 24 [Zhang Pengfei, Shao Longyi, Dai Shifeng. Discussions on the transgression model of the Late Palaeozoic in the North China Platform [J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(1): 15 ~ 24]

Some Problems on Lithofacies Paleogeography in Oil and Gas Area

WANG Duo-yun ZHENG Ximin LI Feng-jie

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract In recently twenty years, sedimentary geologists working in oil and gas seemingly concern much the development of stratigraphy (seismic stratigraphy, sequence stratigraphy and high-resolution stratigraphy), while pay little attention to creation of theory and research of method in the research of lithofacies paleogeographic environment. In fact, there are much abundant contents in research of paleogeographic information and its source of driving force and driving mechanism in petrostratigraphic record. The new methods and techniques of extracting information and environment are continuously appearing, and the development of lithofacies paleogeography is still facing many important problems of theory and technique. In this paper, some problems are expounded in lithofacies paleogeography of oil and gas area, which include coupling relationship and their sensibility between the process of structure and distributary model of sedimentary lithofacies, time scale and resolution of reconstruction of lithofacies paleogeography, delicate description and depiction of lithofacies and environmental units, prediction of distribution of lithofacies units, source of information and its symmetry of reconstruction of lithofacies paleogeography, and mapping of digital lithofacies paleogeography.

Key words oil and gas-bearing area, lithofacies paleogeography, theory and technique innovation

(Continued from page 128)

Some Considerations on Coal Measures Sedimentology

ZHANG Peng-fei

(China University of Mining and Technology (Beijing Campus), Beijing 100083)

Abstract This paper has introduced recent development in research of coal accumulation, coal accumulation center, distribution of coal in sequence stratigraphic framework, coal precursor peat and coal forming environment mire, as well as minerals in coal and coal measures kaolinite. The issues on Late Paleozoic transgression in northern China has been proposed again.

Key words coal measures, coal accumulation, peat and mire, kaolinite, transgression