

文章编号: 1000-0550(2003)01-0129-04

# 我国含煤沉积学若干问题及展望

刘焕杰 桑树勋 郭英海 韦重韬

(中国矿业大学资源与地球科学学院 江苏徐州 221008)

**摘要** 煤资源在我国一次能源结构中占主导地位,同时煤又是制约我国环境的主要污染源,满足社会对煤能源需求与保护人类生存环境的协调发展,将成为我国含煤沉积学关注的热点。成煤环境多样性与煤质复杂性的耦合研究,煤的环境沉积学与可洁净特性研究,煤储层与煤层气成藏理论体系的研究,含煤岩系米氏旋回识别与旋回地层学研究,聚煤区多信息、数字化古地理重建等研究课题,将会是我国含煤沉积学应用基础研究的前沿领域和未来中长期的发展方向。伴随着这些领域的突破,含煤沉积学必将视环境保护为学科己任,开拓煤资源与环境协调发展的新局面。

**关键词** 含煤沉积学 优质煤 煤层气 环境沉积学 旋回地层学

**第一作者简介** 刘焕杰 男 1933年生 教授 博士生导师 沉积学与岩相古地理学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

煤在我国一次能源结构中占主导地位,对我国能源安全至关重要,预计这种格局在新世纪前半叶不会发生根本性变化。我国煤炭预测资源量为 45 521.04 亿 t<sup>[1]</sup>,但优质煤分布和资源量不甚明了;西部煤炭资源研究与探明程度低下,东部煤炭又面临着深部开采带来的围岩稳定性和一系列地质灾害新问题;世界性的建设以大功率综合技术为核心的一矿一面或两面的高产、高效矿井也给含煤沉积学提出了新挑战。煤层自生、自储的非常规天然气—煤层气,被誉为新世纪高效洁净可替代化石能源,我国煤层气资源量极为丰富,预测有效资源量为 14.34 万亿 m<sup>3</sup>,但商业性工业开发长期未能获得突破性进展<sup>[2]</sup>。

煤资源同时又是制约我国生态环境的重要污染源,我国大气中 > 90% 的 SO<sub>2</sub>、80% 的 CO<sub>2</sub>、7% 的 CO、70% 的 NO<sub>x</sub>、60% 的烟尘和大量重金属元素都是煤炭在开采、储存、转运、燃烧和加工利用过程中排放的。煤资源的主导地位与煤源污染的严重性极大地影响我国能源与环境的可持续发展进程,满足社会对煤炭资源需求与保护人类生存环境的协调发展必将成为我国含煤沉积学关注的热点;优质煤及煤层气的研究与勘探开发、煤的可洁净性研究与应用将是应对这一挑战的对策。成煤环境多样性与煤质复杂性的耦合研究,煤的环境沉积学与可洁净特性研究,煤储层研究与煤层气成藏理论体系的构建,含煤岩系米氏旋回识别与旋回地层学研究,聚煤区多信息、数字化古地理重建等研究课题,将会是我国含煤沉积学应用基础研究的前沿领域和未来中长期的发展方向。伴随着这些领域

的突破,含煤沉积学必将视环境保护为学科己任,涵盖资源与环境双重理念,开拓煤资源与环境保护协调发展的新局面。

## 1 成煤环境多样性与煤质复杂性的耦合研究

泥炭沼泽是沼泽演化的成炭阶段,是现代泥炭和地质历史时期煤层的主要形成环境。前苏联学者在研究顿涅茨煤田时,依据沼泽水动力条件与沉积特点将沼泽划分为充水沼泽、闭流沼泽和泥炭沼泽。McCabe<sup>[3]</sup>依据沼泽覆水的补给来源将沼泽区分为低洼沼泽和凸起沼泽。也有人依据沼泽植物特点将沼泽划分为草沼泽(marsh)和树沼泽(swamp)等。我国学者对成煤环境类型及成煤环境多样性进行了卓有成效的研究工作,取得了丰硕成果,推进了该领域的发展。桑树勋等<sup>[4]</sup>依据沼泽共生环境,将陆相淡水成煤环境划分为岸后泥炭沼泽、湖滨泥炭沼泽、扇缘泥炭沼泽、三角洲平原泥炭沼泽等微环境。刘焕杰等<sup>[5,6]</sup>、桑树勋等<sup>[4]</sup>、陈世悦等<sup>[7]</sup>通过对现代与古代海岸带及障壁后咸水、半咸水成煤环境的研究,确认这种成煤环境受潮汐水流和潮坪地理景观制约,属潮坪景观单元,是潮坪发育的成炭阶段,提出了泥炭坪成煤环境类型。泥炭坪是现代泥炭和地质历史时期煤层另一重要形成环境,依据泥炭坪着生位置、共生环境和发育规模,可进一步划分为泻湖泥炭坪、障后泥炭坪、潮汐三角洲泥炭坪、河口湾泥炭坪、三角洲间湾泥炭坪、台地泥炭坪、礁后泥炭坪等微环境。

泥炭沼泽与泥炭坪是两大基本成煤环境,在海陆过渡古地理格局条件下,泥炭沼泽与泥炭坪在空间上相邻过渡,垂向上共生交替,进一步丰富了成煤环境的多样性。影响煤质特点的因素很多,不同地质背景其影响因素也不尽相同,但成煤环境乃是影响煤质特点的主导因素。形成于泥炭沼泽与泥炭坪不同环境类型的煤层,其煤岩组成及其富氢状况、矿物质特点、煤的挥发份和氢碳原子比、有机碳及灰分和硫分含量、无机地球化学特点及煤层赋存规律都不相同,直接影响煤质特点,对研究煤质特点至关重要。成煤模式滞后于沉积学其它分支学科领域发展,泥炭沼泽与泥炭坪环境及其对煤质影响的研究有待进一步深化,泥炭沼泽与泥炭坪各自的微环境对煤质的制约还不甚明了,因此成煤环境的多样性与煤质复杂性的耦合研究,必将成为含煤沉积学重要应用基础研究的前沿领域,并将有助于指导优质煤和煤层气资源的勘查与开发,从源头上减轻煤源污染,保护生态环境。

## 2 煤的环境沉积学与可洁净特性研究

煤中赋存着如 C H O N S Si Al 等常量元素,还赋存着 60 多种微量元素。煤中有害元素有 22 种: Ag As Ba Be Cd Hg Pb 和 Ti 为有毒元素, As Be Cd Cr Ni 和 Pb 为致癌元素<sup>[8]</sup>。微量元素在煤中主要以无机化合物、有机化合物、络合物、类质同象或单质等多种形式存在,由于不同煤层或同一煤层不同区域所处的环境介质不同,从而构成了微量元素赋存状态的多样性和复杂性<sup>[9]</sup>。煤在开采、储存、运输、加工利用过程,为人类提供能源需求的同时对大气圈、水圈、生物圈及地壳浅部也造成重大破坏和污染。当煤进入到开采、洗选、加工、燃烧等人类活动干预的表生带,煤中常量和微量元素失去平衡,进入大气—水—土壤生态环境系统,并将发生物理、化学及生物作用和迁移、循环,还将产生新的毒性更大污染物破坏的生态环境系统。

煤的环境沉积学重点研究人类生产活动导致原煤有害物质迁移、转化、聚集及其环境效应,从而寻找出资源利用与环境保护协调发展的有效途径。显然,煤的洁净利用乃是解决我国能源需求和排除煤源污染的根本途径,它是通过煤的绿色开采、加工转化技术、煤的洁净燃烧技术等,可统称洁净煤技术来实现的;而原煤的可洁净特性乃是开发洁净煤技术的基础和条件,包括查明原煤污染物及有害元素的含量、赋存状态、成因及分布规律以及在开采、加工、燃烧中的迁移、转化、聚集规律,进而建立起我国煤中有害元素聚集、迁移模式。例如煤中常量元素硫、氮是造成污染环境的重要来

源,它们在煤中的数量、赋存状态、结合方式等直接影响其在加工、转化、利用过程中释放的地球化学行为,并与煤炭脱(固)硫、脱(固)氮工艺的选择相关。再者,煤中矿物质是煤源烟尘污染的重要来源,矿物质的数量及在煤中的赋存特性或与有机质结合方式,则在极大程度上决定着它们通过烟尘释放的特性和降灰工艺技术。再如,原煤开采过程排出的大量甲烷如何变害为利,加以利用;烧煤过程中产生的大量 CO<sub>2</sub> 如何回收、储存甚至利用;这不仅是洁净煤技术的重大研究课题,也是煤可洁净特性研究的重要内容。煤的可洁净特性研究是煤环境沉积学的核心之一,不仅为洁净煤技术提供基础和条件,也为我国治理煤源污染、合理规划煤炭工业布局 and 协调能源与环境可持续发展提供战略依据。

## 3 煤储层研究与煤层气成藏地质理论体系构建

自生、自储于煤层之中的煤层气 (coalbed gas) 或称煤层甲烷 (coalbed methane), 是一种高效洁净且资源量巨大的新世纪优质替代化石能源,它的主要成分是甲烷;煤层甲烷同时又是危害生态环境极其严重的温室气体之一,甲烷的温室效应是等量二氧化碳的 20 倍,对臭氧层的破坏是等量二氧化碳的 7 倍,它主要是通过煤矿生产过程排放并污染大气圈,我国甲烷排放量约占全球排放量的 1/3;煤层甲烷还是危害煤矿安全生产的主要祸源,给人民生命财产和煤矿生产带来的巨大损失,触目惊心。

迄今为止,世界上开展煤层气勘查、开发和研究的国家和地区已达 30 余个,但只有美国进入了商业性工业生产,成功地建立了煤层气工业体系,加拿大和澳大利亚也有所突破。截止 2001 年,美国圣胡安、黑勇士皮申斯、粉河等盆地煤层气生产井有 14 000 余口,年产量已达 480 亿 m<sup>3</sup>,超过全国天然气年总产量的 3%。自 20 世纪 80 年代以来,煤炭、石油和地矿系统以及有关高校和研究单位进行了一系列煤层气重大研究和勘探开发工作,在近 30 个矿区施工煤层气参数井或开发试验井约 210 口,先后在山西柳林、三交、石楼、乡宁、晋城、寿阳、辽宁铁法、阜新、淮南新集、陕西韩城等地区获得工业气流,提交了约 1 000 亿 m<sup>3</sup> 的工业储量;同时取得了一批理论研究成果,概略地查明了我国煤层气资源的分布赋存格局,认识到我国煤层(特别是晚古生代煤层)具有低压、低渗、低饱和的总体特点,资源量富集与煤储层渗透性差的矛盾较为普遍,现代构造应力场对煤层气含气性和储层物性存在显著影响,对某些重点矿区煤层的含气性和控气性因素有了一定程度

了解,但我国煤层气的商业性工业开发长期未能实现突破性进展

煤层气的成藏理论与煤层气富集高产机理既不同于常规天然气地质学有关理论,也不同于煤田地质学有关理论,煤层气成藏过程是与其地质背景演化耦合发展的。美国的煤层气理论体系是建立在地质条件相对简单基础上的,与我国煤层气地质条件极不相同,不能过分依赖美国经验。摆脱我国煤层气长期未能实现突破的徘徊局面,实现商业性开发,逐步建立起我国煤层气工业体系的关键是加强煤储层研究,构建符合我国地质条件的煤层气成藏理论体系,包括适合我国地质条件的煤层气控气地质理论、煤层气富集高产地质机理、煤储层结构演化、二次生气显现规律、有利区带优选理论等等。实现我国煤层气的工业性生产,不仅可以获得资源量丰富的高效洁净能源,同时又减少了煤源污染,改善了生态环境,还将为煤矿安全生产消除了最大的祸源

#### 4 含煤岩系米氏旋回识别与旋回地层学研究

地层划分对比与等时地层格架的建立是包括含煤沉积学在内的地质科学的研究基础,也是地质科学的重大研究课题之一。层序地层学的建立与发展,为区域乃至全球性地层对比与等时地层格架的建立提供了理论基础。随着全球性重大研究计划的提出,地球系统科学理念的建立,化石燃料地质学的发展,对地层划分对比分辨率提出了更高的精度。早在 1986 年,全球沉积地质计划(GSGP)白垩纪韵律与事件研究项目要求地层划分对比的分辨率时间尺度  $< 0.1 \text{ Ma}$ ,并要求进行沉积记录的米兰柯维奇旋回识别与旋回地层学研究。

上世纪初,前南斯拉夫气象学家 M<sup>o</sup> 米兰柯维奇为解释第四纪大冰期成因,提出了一个天文学假说。他认为夏半年日照量的减少是冰期形成的主要原因,而地球上任一纬度日照量主要取决于地球公转轨道三要素:偏心率、地轴倾斜角或黄赤交角和岁差的变化。目前这三个轨道参数的变化周期分别为:岁差约为 21 Ka,黄赤交角为 41 Ka,偏心率短周期为 100 Ka,长周期为 400 Ka,这三个轨道参数变化周期称为米兰柯维奇旋回。米氏旋回可以由沉积记录的周期性来显示和验证,因为周期性的气候变化必将在沉积物的成分、结构、构造及沉积层的厚度变化上反映出来,关键在于如何“捕获”所研究层段的米氏旋回信息。也可以通过频率分析,数字滤波,可以过滤出优秀旋回曲线并与米氏旋回理论值进行对照比较,或通过米氏旋回的 Fischer 图解以及其它途径解决。齐永安等<sup>[10]</sup>在塔里木盆地下

石炭统巴楚组生屑灰岩段识别出九个米氏旋回,它们的形成受米兰柯维奇轨道参数诱导的复合海平面变化所控制。龚一鸣等<sup>[11]</sup>对我国南方泥盆系弗拉斯—法门阶成功地进行了旋回地层学研究。近来徐道一对我国华北一些地区石炭—二叠系划分对比,开展了旋回地层学研究,期待着他的出色成果。

鉴于成煤环境多样性与煤质复杂性的耦合特点以及煤可洁净特性,必须提高煤层划分对比分辨率,从目前准层序或四级层序(parasequence)时间尺度约 0.25 ~ 50 Ma 的确认提高到米氏旋回时间尺度  $< 0.1 \text{ Ma}$  的分辨率,实现由煤组对比提高到分层对比的精度。从而确保优质煤与煤层气的勘查开发,分别对不同煤质和可洁净特性的煤层,实施不同的洁净煤技术,确保煤资源利用与环境保护协调发展。强调旋回地层学研究将会是含煤沉积学的重要发展趋势。

#### 5 聚煤区多信息、数字化古地理重建

聚煤区新一代古地理重建应具备如下特点:首先古地理重建应在地球系统科学新地球观的指导下,充分与地球信息科学相结合,进行多学科交叉融合,实现古地理重建的整体性、系统性和多元信息化;其次是充分运用现代高新技术与成果,包括 3S 技术和计算机技术,进行信息采集、数据挖掘、处理、数据库建立、构建古地理多元信息集成系统,实现古地理重建的数字化、可视化、网络化和虚拟现实。再者,多信息、数字化古地理重建必须建立在第一性的野外与室内观察、研究、试验基础上,运用计算机技术实现古地理重建的数字化与可视化,还应加强基础地质理论问题的研究与创新,三者缺一不可。聚煤区新一代古地理重建应按不同尺度进行,不同尺度古地理重建应包括不同研究内容、不同图件内涵和不同服务目的。不同尺度聚煤区古地理重建包括两种基本类型:大区域、中小比例尺、长时限尺度和小区域、大比例尺、短时限尺度。

大区域、中小比例尺、长时限尺度多信息、数字化古地理重建应以年代地层单位纪、世、期、时为研究和编图时间单位,分别以研究区各地体或聚煤盆地为研究和编图区域范围;在活动论指导下,分别恢复各地体及聚煤盆地的古纬度;以 GIS 为平台,运用计算机技术进行多信息采集、处理,实施多元信息集成,分别实现各地体及聚煤盆地古地理重建的数字化和三维可视化;将分别重建的各地体及聚煤盆地古地理,再按研究区现今地理位置进行整合,整合部位应标出各地体及聚煤盆地古纬度;该尺度的古地理重建适用于大区域宏观古地理研究和优质煤、煤层气远景资源预测与评价。

小区域、大比例尺、短时限尺度多信息、数字化古地理重建,应以煤田或勘探区为研究和编图范围;以时限  $< 0.1 \text{ Ma}$  为研究和编图时间单位;以 GIS 为平台,运用计算机技术进行多信息采集、处理,实施多元信息集成,实现煤田或勘探区“瞬时”古地理重建的数字化和多维可视化;该尺度的古地理重建适用于煤田或勘探区成煤环境与煤质分布规律研究,指导优质煤及煤层气资源勘探开发,指导不同煤质特点和可洁净特性煤层的勘查开发,并为洁净煤技术提供信息和条件。

#### 参考文献 (References)

- 1 毛节华,许惠龙.中国煤炭资源预测与评价[M].北京:科学出版社,1999.454-455[Mao Jiehua, Xu Huilong. China National Administration of Coal Geology. Coal resource prediction and assessment of China[M]. Beijing: Science Press, 1999.454-455]
- 2 叶建平,秦勇,林大杨等.中国煤层气资源[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,1998.1-229[Ye Jianping, Qin Yong, Lin Dayang. China National Administration of Coal Geology. Coalbed methane resources of China[M]. Jiangsuxuzhou China University of Mining and Technology Press, 1998.1-229]
- 3 McCabe P J. Depositional environments of coal-bearing strata[A]. In Rahmani R A, Flores F R, eds. Sedimentology of coal and coal-bearing sequences[C]. Internat Associ Sedimentologists Special Paper, 1984, 7: 12-32
- 4 桑树勋,陈世悦,刘焕杰.华北晚古生代成煤环境与成煤模式多样性研究[J].地质科学,2001,36(2):212-221[Sang S X, Chen S Y, Liu H J. Study on diversity of Late Paleozoic coal-forming environments and models in North China. Chinese[J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(2): 212-221]
- 5 刘焕杰,贾玉如,龙耀珍等.海相成煤论进展[J].沉积学报,1992,10(3):47-56[Liu H J, Jia Y R, Long Y Z, et al. Progress in coal-forming theory of marine facies[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 47-56]
- 6 刘焕杰,桑树勋,施健.成煤环境的比较沉积学研究—海南岛红树林潮坪与红树林泥炭[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,1997.1-203[Liu H J, Sang S X, Shi J. Comparative sedimentology research on coal forming environments— mangrove tidal flats and mangrove peats in the Hainan island of South China Sea[M]. Jiangsuxuzhou China University of Mining and Technology Press, 1997.1-203]
- 7 陈世悦,徐凤银,刘焕杰.华北晚古生代层序与聚煤规律[M].山东东营:石油大学出版社,2000.1-162[Chen S Y, Xu F Y, Liu H J. The sequence stratigraphy and coal-forming distribution of Late Paleozoic in North China[M]. Dongyingshangdong Petroleum University Press, 2000.1-162]
- 8 任德贻,赵峰华,张军营等.煤中有害微量元素富集的成因类型初探[J].地学前缘,1999,6(增刊):17-22[Ren D Y, Zhao F H, Zhang J Y, et al. A preliminary study on genetic type of enrichment for hazardous minor and trace elements in coal. Earth science frontiers[J]. 1999, 6( Suppl): 17-22]
- 9 刘桂建,王桂梁,张威.煤中微量元素的环境地球化学研究—以充州矿区为例[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,1999.1-118[Liu G J, Wang G L, Zhang W. Study on the environmental geochemistry of minor area[M]. Jiangsuxuzhou China University of Mining and Technology Press, 1999.1-118]
- 10 齐永安,胡斌,张国成.遗迹学在沉积环境分析和层序地层学研究中的应用[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,2001.1-161[Qi Y A, Hu B, Zhang G C. The ichnology application in depositional environmental analysis and sequence stratigraphy[M]. Jiangsuxuzhou China university on mining and technology press. 2001.1-161]
- 11 Gong Y M, Li B H, Wang C Y, et al. Orbital cyclostratigraphy of the Devonian Frasnian - Faniennian transition in South China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 168: 237-248

## Some Problems and Prospect for China on Coal-Bearing Sedimentology

LIU Huan-jie SANG Shu-xun GUO Ying-hai WEI Chong-tao

(School of Mineral Resources and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221008)

**Abstract** The coal resource is the key position in primary energy structure, but it is also the main pollution source to restrict the environments for China. It will be the research hot point to Chinese coal-bearing sedimentology to keep the coordinate development for coal energy requirement and environmental protection. The frontier fields of applied basic research and the middle to long term directions in future on Chinese coal-bearing sedimentology will be as follows: the coupling researches in the variety of coal-forming environments with the complexity of coal properties, the researches in environmental sedimentology with the cleaning properties for coal, the researches in coal reservoirs and the construction of the pool-forming theory systems according to Chinese geological settings, the Milankovitch cycle recognition and the orbital cyclostratigraphy researches in coal-bearing sequences, palaeogeographic reconstruction of coal-accumulated areas by multi-information and digitization. Along the breakthrough in these frontier fields, the environmental protection will be the academic duty in coal-bearing sedimentology and a new aspect of the coordination development for the coal resources and environments will be opened up by coal-bearing sedimentology.

**Key words** coal-bearing sedimentology, clean coal, coalbed methane, environmental sedimentology, cyclostratigraphy