



煤炭高等院校

青年科学基金学术研讨会

论文集

煤炭工业部科技教育司

汇 编

中国矿业大学出版社

煤炭高等院校青年科学基金学术研讨会

论文集

煤炭工业部科技教育司 汇编

会议主办单位 煤炭工业部科技教育司

会议承办单位 中国煤炭学会青年工作委员会
华北矿业高等专科学校
中国矿业大学北京研究生部

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第 010 号

煤炭高等院校青年科学基金学术研讨会论文集

煤炭工业部科技教育司 汇编

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 29.5 字数 700 千字

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第一次印刷

印数:1—430 册

ISBN 7-81040-310-9

Z·10

定价:40.00 元

煤炭高等院校青年科学基金学术研讨会

学术委员会成员名单

主 任	何伯镛					
副主任	潘惠正	辛镜敏	金学林	胡省三		
委 员	南 岳	谢和平	李金良	张文祥	常心坦	
	胡卫民	郭勇义	王家棣	王金庄	赵大庆	
	钱仲德	乔 石				

执行委员会成员名单

主 任	王家棣					
副主任	乔 石	李宝田	赵大庆	吴立新		
委 员	王皖平	朱学义	肖兴明	刘炯天	郭嗣琮	
	王春秋	曹代勇				

攀登科技高峰
培育一代新人

范维唐
九二年元月

序 言

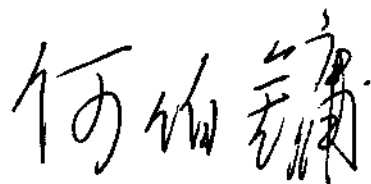
当代科学技术日益渗透于经济发展和社会生活各个领域,成为推动现代生产发展的最活跃的因素。国家的富强繁荣取决于科技进步,煤炭工业的发展也取决于科技进步。科学技术需要人才掌握,依靠人才发展。我们煤炭高等院校的青年教师,不仅是从事科学技术研究工作的一支朝气蓬勃的生力军,而且还肩负着为煤炭工业战线不断培养科技人才的历史重任。为了加速培养和造就煤炭高等院校的青年教师和科技工作者,使他们脱颖而出,并逐步成长为新一代的教学骨干和学术带头人,原中国统配煤矿总公司党组于1991年决定从“煤炭教育发展基金”中每年拨出壹佰万元,建立“煤炭高等院校优秀青年科学基金”,即现在的“煤炭高等院校青年科学基金”。

该项基金主要用于扶持和鼓励35岁以下、无课题经费来源的、具有中级以上技术职称的青年教师和科技人员进行科研课题准备和课题前期探索性试验。申请资助的必须是学术思想新颖、研究内容先进、目标明确、技术路线可行的基础理论、应用基础理论、新工艺新材料和新技术,以及煤炭工业生产关键技术课题的前期准备,对新兴和边缘学科或跨学科联合申请的课题优先给予资助。

迄今为止,“煤炭高等院校青年科学基金”已资助四年。为检验受资助课题的完成(进行)情况,并给青年人提供一个互相交流、互相学习的机会,煤炭工业部科教司决定在北京组织召开这次煤炭高等院校青年科学基金学术研讨会。

科教司和中国煤炭学会青年工作委员会联名于1994年初发出第一号(征文)通知后,得到各煤炭院校科研处及受资助青年教师的积极响应。共收到来自中国矿业大学、中国矿业大学北京研究生部、阜新矿院、西安矿院、山东矿院、山西矿院、焦作矿院、淮南矿院、湘潭矿院、黑龙江矿院、河北煤炭建筑工程学院、淮北煤炭师范学院和中国煤炭经济学院的应征论文120余篇。经组织专家、教授进行认真审查,从中筛选出106篇予以录用、刊登。这些论文涉及到煤田、油气地质与勘探、采矿工程、矿山建设工程、电力传动及其自动化、矿山机械工程、安全技术及工程、矿物加工工程、管理工程及其它等8大学科领域,基本上包括了煤炭科技领域中主要的学科研究方向,对有关领域的科技工作者有重要的参考价值。

希望我们的青年教师和科技工作者充分发挥自己的优势,以强烈的时代使命感投入各自的工作领域,瞄准世界科学发展前沿动态,积极进行开拓性和创造性研究,为将自己造就成跨世纪的杰出一代教育科技人才而奋斗!



1995年3月

目 录

煤田、油气地质与勘探

- 1 高煤级煤的透射电子显微镜暗场研究——大分子基本结构单元有序性的发展及模式……秦 勇 汪裕莘 张晓萍 盖秀贞(1)
- 2 红层岩石微观结构和力学性质的试验研究 ……隋旺华 冯启言 韩宝平(6)
- 3 白泡煤成煤植物及矿物电子显微镜研究 ……于 冰 王士俊 张 井(10)
- 4 徐州煤田太原组 20 号煤层成煤植物群及其演化 ……王士俊 秦 勇 于 冰 张 井(13)
- 5 兴隆——平泉区推覆构造结构特征 ……姜 波 李振生 郑孟林 金法礼(17)
- 6 地形数据与重磁数据图像综合处理技术 ……杨小勤 张景发 王四龙 吴立新(23)
- 7 构造煤的物质成分结构特征及意义 ……王延斌 郭德勇 艾天杰(27)
- 8 多源地学数据图像处理系统 ……杨小勤 吴立新 李 彬 王四龙 郁建林(31)
- 9 构造煤岩学研究理论和实践 ……曹代勇 唐跃刚(36)
- 10 航磁图像结构信息提取与应用 ……王四龙 杨小勤 张景发 肖克炎(40)
- 11 自燃煤有机地球化学特征研究 ……舒新前(44)
- 12 贵州晚二叠世碳酸盐岩型煤系沉积相带及微相特征 ……邵龙义 雷加锦 艾天杰(48)
- 13 矿床模型计算机系统研究 ……杜明义 武文波(53)
- 14 南秦岭下古生界石煤的几种有害元素及其环境效应 ……雒昆利 折振安(57)
- 15 煤中有机显微组分伴生元素的微区分析 ……王运泉 王隆国 谢洪波 宫福满(61)
- 16 量子地震理论雏形 ……廖 毅 赵爱红(65)
- 17 $\text{SF}_6\text{-CF}_3\text{ClBr}$ 双元示踪技术探测高温水源的实验室研究 ……邵 辉 代广龙(69)
- 18 鸡西盆地沉积演化史分析 ……胡善亭 刘桂荣(76)
- 19 蒙特卡洛法在煤成气远景资源量计算中的应用 ……邹艳荣 蔡玉兰(79)
- 20 鸡西盆地有机地球化学特征及煤成气前景 ……胡善亭 孟繁聪(85)
- 21 宝清煤田七星河区聚煤单元特征 ……蔡玉兰 邹艳荣 王连元(89)

采矿工程

- 22 综采面块裂结构岩体冒顶特征与力学模型研究 ……何富连 石炳华 邹永华(94)
- 23 应用二维倾角仪监测顶板平行错动 ……韩正铜 高存宝 窦林名 郭常宁(98)
- 24 煤矿断裂网络复杂程度的分形维评价 ……徐志斌(102)
- 25 采动变形模拟试验台竖向位移施加系统的研究 ……肖跃军(106)
- 26 工作面断层破坏指数的最优形式及其统计预测 ……汪云甲 焦宝文(110)

- 27 三软煤层综采放顶煤工作面矿山压力显现特征 于海勇 吴凤东 金智新 殷建河(117)
- 28 岩体开采沉陷的损伤过程研究 于广明 杨 伦 王旭春 朱哲明(123)
- 29 煤层注水效果的模糊控制 宋华岭 秦书玉 海国治(128)
- 30 海州露天矿 F_{K1} 断层岩移机理的研究 白占平 曹兰柱 刘志斌 白润才(133)
- 31 霍州矿区陷柱的分布规律 侯恩科 夏玉成 樊怀仁(136)
- 32 煤层底板突水通道形成过程研究 王芝银 李云鹏(142)
- 33 岩层与地表移动动态位移反分析研究 高延法 张文泉(147)
- 34 煤体裂隙尺度一条数分形方法与分形特征研究 康天合(151)
- 35 综采条件下煤厚变化对煤炭回收率的影响 刘文错 丁安民(159)
- 36 厚煤层网工作面 π 型钢长梁支护的几个问题 高 鹏(162)
- 37 采场上覆岩层力学结构的离散元法研究 陶连金 邢纪波 张东日 李风义 尹鹤峰(167)

矿山建设工程

- 38 煤矿巷道底臃机理的研究 姜辉东 孙永联 陈庆敏(170)
- 39 承载砂的结冰温度实验研究 李 毅 崔广心(173)
- 40 沿空留巷巷道支护合理形式研究 甘吉庆 刘运立(177)
- 41 用边界元法求解带有裂纹柱体的扭转 胡光伟 关祥慧(181)
- 42 岩石力学系统的阻尼性能及对稳定性的影响 王来贵 李国臻 章梦涛(185)
- 43 平巷特殊装药结构控制断裂技术的研究 张 奇 员永峰 谢建厚 王绪保(189)
- 44 齿形膨胀塑料锚杆的研制 毛巨省 惠兴田 折振安(192)
- 45 岩体破坏机理初探 任建喜 郝跃天(195)
- 46 天然硬石膏混合充填料试验研究 谢广祥 孟祥瑞 华心祝(201)
- 47 软岩巷道底臃机理与支护对策分析 钟新谷(206)
- 48 考虑剪切变形的变截面平面刚架计算 胡启平(213)
- 49 复杂受力变截面杆单元研究 胡启平(216)

电力传动及其自动化

- 50 电力滤波器参数选择及计算机仿真 仇润鹤 任子晖 石 超(219)
- 51 利用同步电机动态补偿无功功率的研究 唐 轶(225)
- 52 权衡协调控制及其在温湿度分布控制上的应用 刘红军 孙 伟 洪丛华 许世范(232)
- 53 可控硅供电直流绞车低频振荡机理及消除方法研究 吴俐君 姜建国 贾艳丽(237)
- 54 KWJ3001 型井下工作站研制报告 李长青 朱世松 窦长信 赵建贵(241)
- 55 传感元件在光电选矸系统中的应用研究 李文斌(246)
- 56 高频感应电机车的研究 付家才 纪 钢(250)
- 57 矿井电量参数单片机测量系统的研究 纪 钢 付家才 李冬辉(255)

- 58 跳汰机电磁风阀程控装置的设计..... 翟延忠(260)
- 59 利用微机监测实现矿井主排水系统的高效运行..... 王红岩(264)

矿山机械工程

- 60 倒谱分析在载荷识别中的应用..... 吴 森(268)
- 61 摩擦提升机滑动监控的理论与实验研究 肖兴明 洪晓华 罗成芳 任子辉 陈 军(272)
- 62 QGS2020 琴弦概率分级筛 赵跃民 樊忠良 洪 军(276)
- 63 矿用小主扇的开发研制..... 胡亚非 陈更林 王家澍(280)
- 64 镶片齿轮滚刀存在的问题及改进措施..... 张树森 刘东会(285)
- 65 纵轴式掘进机截割头的优化设计..... 李晓豁 郑连宏 周桂英(289)
- 66 ZG45Si2Mn2Mo VRE 双相耐磨钢铸造截齿的研制 林晓博 董 允(293)
- 67 误差分离技术在煤矿大型零件加工中的应用 郝迎吉 王振义 李充宁 折振安(298)
- 68 矿井提升机动态设计方法初探..... 梁兆正 夏荣海(301)
- 69 薄煤层组合式轻型支架架型的研究 王春秋 赵清寿 潘立友 宋志安 孙晓明(306)
- 70 两柱撑顶掩护支架工况参数的研究..... 寇子明(310)
- 71 多绳摩擦提升机钢丝绳张力测试方法研究..... 杨兆建 王勤贤 程秋生(314)
- 72 输送带捕捉器..... 刘英林 贾昌喜 李春英(318)
- 73 采煤机电动机轴承故障诊断的模式识别方法研究..... 樊淑趁(322)
- 74 矿井提升机摩擦故障诊断的研究..... 荆双喜 王建生(326)
- 75 新型高压回转密封的研制..... 王建生 荆双喜 于乃颖 刘 伟(330)
- 76 中频感应电炉中性成型炉衬的研究..... 赵亚洲 赵海军 王 昌 陈洪玉(334)
- 77 稀土低合金空淬贝氏体耐磨铸钢的研究..... 赵国刚 毛新宇 王金良(338)
- 78 球冠半径测量装置研制..... 潘凡忠(342)
- 79 带缓冲漏装置的单体液压支柱及其动态特性的理论与实验研究 周明连 许淑惠 段广玉(346)

安全技术及工程

- 80 煤巷卸压带对煤和瓦斯突出的作用机理..... 林柏泉(350)
- 81 预防煤炭自燃的化学凝胶的研制及其应用..... 李增华 程远平(356)
- 82 二向应力作用下可压缩流体耦合流动的摄动解..... 徐曾和 梁 栋(359)
- 83 采场自然发火的模糊预测方法研究..... 郭嗣琮(367)
- 84 下花园煤矿Ⅲ₃煤层煤与瓦斯突出的模式识别预测 周 骏 张正贤 王大曾 周文涛 杨 勇(372)

矿物加工工程

- 85 粉煤灰- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - H_2O 系统水热反应率的研究 张 洪 印宽嵘 杨东华 高 山(378)

- 86 一种新型煤泥分选设备——旋流器式浮选柱 刘炯天 高 敏 胡 军 李备备 王永田(383)
- 87 用煤系石英砂(岩)生产水玻璃新工艺..... 冯诗庆 黄小敏 刘光芬 李保民(387)
- 88 热处理低阶煤表面性质的研究..... 李登新 王 力(391)
- 89 煤焦油中稠(杂)环芳烃保留指数测定..... 罗 坚 张秋花(395)
- 90 药剂加辅助设备处理湖南煤矿矿井水..... 夏畅斌(399)

管理工程及其它

- 91 论煤矿责任会计..... 朱学义 徐宗宇 侯晓红(402)
- 92 矿山社会经济复合生态系统的耗散结构初探..... 卞正富(406)
- 93 煤炭投资决策支持系统..... 邵良杉 仲维清(410)
- 94 煤矿设备技术进步分析与最佳更新期研究..... 张耀辉(413)
- 95 煤矿处理采掘接替模拟模型..... 范 辉 陈鸿章(417)
- 96 简单图的极小割集及其端片..... 贾晓峰(420)
- 97 二维复双曲空间中具有常主曲率的实超曲面..... 许志才(424)
- 98 煤炭运输模型..... 曾庆光(427)
- 99 对大中型煤炭企业转换经营机制的途径探究..... 刘友金(431)
- 100 系统布置三元模糊设计理论 刘德顺 陈安华(435)
- 101 关于系统布置设计理论中若干问题的探讨 陈安华 刘德顺(439)
- 102 关于对学生违纪行为实行经济惩罚的思考 李全彩 鲁 峰(443)
- 103 余集空间上周期轨道的相对 Nielsen 数..... 黄保军(446)
- 104 关于一类微分包含解的存在性 张从军(450)
- 105 智能化会计软件的设计 刘 志 李海棠 甄树厚(453)
- 106 大中型煤矿固定资金与流动资金数量规模及其比例关系的研究..... 罗福凯 耿殿明 孙海涛 曲绍强(457)

高煤级煤的透射电子显微镜暗场研究 ——大分子基本结构单元 秩序性的发展及模式

秦 勇

(中国矿业大学)

汪裕苹 张晓萍 盖秀贞

(北京大学电子显微镜实验室)

摘要 以透射电子显微镜暗场技术为主,结合明场及选区电子衍射技术,对我国高煤级煤——石墨天然演化系列样品的大分子基本结构单元特征进行了研究,进而探讨了高煤级煤基本结构单元秩序性的发展历程及演化模式。

关键词 高煤级煤 透射电子显微镜 暗场技术 基本结构单元 秩序性演化及模式

作者简介 秦勇,男,37岁,博士,副教授,煤岩学及煤的地球化学。

1 概述

高煤级煤(High-Rank Coal)系指镜质组油浸最大反射率($R_{\max}$)大于2.0%的煤,处于煤化作用系列的高级演化阶段^[1]。国内学者近年来利用透射电子显微镜明场(Bright Field,简记为BF)技术、结合选区电子衍射(Selected Area Diffraction,简记为SAD)在煤的大分子结构研究方面做了一定工作,但有关利用暗场(Dark Field,简记为DF)方法的研究成果至今未见正式报道。国外学者利用透射电子显微镜技术对高煤级煤结构做过某些研究工作^[2~5],但工作较为零散,至今未能系统查明高煤级煤大分子结构的演化历程。在煤这样的非晶态物质中,透射电子显微镜暗场技术不但可以强化明场条件下的观测效果,而且往往可以获得在明场条件下不可能得到的大分子结构衍射信息。有鉴于此,作者以透射电子显微镜DF技术为主,结合BF及SAD技术,对高煤级煤——石墨天然演化系列大分子基本结构单元(Basic Structural Unit,简记为BSU)的三维特征进行了系统研究。

2 原理、样品及实验条件

任何衍射域或单元,当其大于透射电子显微镜分辨率时,它的衍射束就会在暗场中形成一个亮斑。煤的基本结构单元是一种短程有序的物质,在暗场中呈线条不同、形态各异的衍射亮斑或亮斑团产出。通过对其不同衍射面及同一衍射面在不同旋转方位上的暗场像的观察测定,结合明场像及选区电子衍射特征,可以获取大分子基本结构单元三维空间的结构信息。

采样工作是在考虑煤化作用系列的基础上进行的,样品的 $R_{\max}$ 在1.83%~17.90%之间,概括了整个高煤级煤——石墨系列(表1)。将原样一分为二;一部分样品制成光片,利用显微镜光度计(MPV2)测定镜质体或石墨的 $R_{\max}$,以确定样品的煤化或石墨化程度;另一部

分样品手选出镜煤,用 HCl、HF 及 HNO₃ 分步处理,以脱除样品中的碳酸盐、硅酸盐及硫化铁等矿物杂质。将脱去矿物杂质之样品与 C₂H₅OH(分析纯)混合,在玛瑙研钵中轻缓研磨到悬浮状态,置于超声波装置中处理 5~10 分钟,取悬浮液滴于微栅孔铜网之上干燥,以备透射电子显微镜观测之用。

表 1 样品的基本性质

样号	产地	地质时代	样品类型	R _{max} , %	样号	产地	地质时代	样品类型	R _{max} , %
1	河南禹县	晚石炭世	镜煤	1.83	8	河南巩县	晚石炭世	镜煤	6.25
2	河南禹县	早二叠世	镜煤	1.96	9	北京京西	晚石炭世	亮煤	7.38
3	河南密县	晚石炭世	镜煤	3.56	10	北京京西	早侏罗世	亮煤	9.69
4	河南焦作	早二叠世	镜煤	3.65	11	北京京西	晚石炭世	石墨	11.27
5	河南焦作	早二叠世	镜煤	4.43	12	湖南梅田	晚二叠世	石墨	13.00
6	河南荣阳	晚石炭世	镜煤	4.81	13	河北邢台	太古代	石墨	17.90
7	河南济源	早二叠世	镜煤	6.23					

实验工作在日本电子公司 JEM-200CX 型透射电子显微镜上完成,电镜最佳点分辨率 4.5 Å。观测条件为极靴电流 35mA、加速电压 160kV、暗场观测用光阑直径 20μm、液态冷却保护。用金膜标样标定电子衍射相机长度。在每一微区中分别探测 002 及 10Debye-Scherrer 衍射环上相隔 90°的两对测点,放大倍数 2.0~33.0 万倍。每个样品中统计三个以上不同视域的 200 个 BSU 单体,然后计算出 BSU 有关参数的平均值。测试数据见表 2。

表 2 研究用样品 TEM 测试成果表

样号	R _{max} %	BSU 线度		Mc 层	碳网间距			I _{sc} %	BSU 形态参数			BSU 斑团特征		
		L _m Å	L _c Å		d ₀₀₂ Å	d ₁₀ Å	d ₁₁ Å		ΔL Å	BM %	LR	宽度 Å	长度 Å	结 构
1	1.83	15.94	8.73	2.37	3.71	2.20	1.28	0	7.21	45.20	1.83	—	—	孤立,分散
2	1.96	16.07	8.11	2.53	3.68	2.03	1.20	9	7.96	49.50	1.98	—	—	孤立,分散
3	3.56	18.46	9.71	2.56	3.68	2.18	1.22	9	8.75	47.40	1.90	—	—	孤立为主,分散
4	3.65	17.57	8.73	2.91	3.54	2.12	1.22	50	8.84	50.30	2.01	—	—	孤立为主,分散
5	4.43	19.00	9.78	3.20	3.49	2.18	1.28	65	9.22	48.50	1.94	—	—	聚团显著,疏松
6	4.81	21.08	9.41	2.54	3.60	2.23	1.32	32	11.67	55.40	2.24	—	—	聚团显著,疏松
7	6.23	23.29	9.33	2.78	3.41	2.07	1.21	88	13.96	59.90	2.50	70	100	草莓状,疏松
8	6.25	22.74	7.62	2.09	3.47	2.00	1.14	71	15.12	66.10	2.98	85	90	草莓状,疏松
9	7.38	28.27	14.15	3.55	3.40	2.11	1.24	91	14.12	49.95	2.01	60	120	条纹状,密集
10	9.69	45.87	26.02	5.19	3.37	2.04	1.19	97	19.85	43.27	1.76	220	260	条纹状,密集
11	11.27	700	40	12	3.37	2.13	1.13	97	650	93	18	—	—	微柱,皱层,平直状
12	13.00	2000	40	12	3.36	2.09	1.17	100	—	—	—	—	—	平直状
13	17.90	4000	40	12	3.36	1.96	1.15	100	—	—	—	—	—	平直状

3 基本结构单元的基本特征

3.1 基本结构单元的线度

BSU 的线度反映了非晶态物质短程有序或分子局部定向的范围,可用延展度(L_m)和堆

砌度(L_c)两个参数加以衡量。

随 R_{omax} 增大,平均延展度(L_a)持续增大。在 $R_{\text{omax}} < 4.0\%$ 的阶段, L_a 值增加缓慢,其值小于 $10 \text{ \AA}$;在 $R_{\text{omax}} 4.0\% \sim 8.0\%$ 之间, L_a 仍未超过 $25 \text{ \AA}$;在 $R_{\text{omax}} > 8.0\%$ 之后, L_a 显著增大,进入石墨阶段($R_{\text{omax}} \geq 11.0\%$)之后, L_a 发生阶跃,突增至 $800 \text{ \AA}$ 以上,石墨化程度越高, L_a 上升速率越大。

平均堆砌度(L_c)演化的总趋势是由小变大,但这种增大过程是非线性的,呈现出增大 $\rightarrow$ 减小 $\rightarrow$ 再度增大的波动式演化规律(表2),由此将堆砌度的演化历程分为三个阶段。第一阶段, $R_{\text{omax}} < 4.0\%$,以 L_c 缓慢增大为特征,增幅在 $2 \text{ \AA}$ 左右;第二阶段, $R_{\text{omax}} 4.0\% \sim 6.0\%$, L_c 缓慢减小,降幅同样在 $2 \text{ \AA}$ 左右;第三阶段, $R_{\text{omax}} > 6.0\%$, L_c 重新增大,并且随 R_{omax} 加大其增速提高,这种趋势在 $R_{\text{omax}} > 8.0\%$ 后尤为明显。

3.2 基本结构单元碳网的层间距及堆砌层数

根据测试结果(表2),可得出如下基本认识:

第一,在高煤级煤演化历程中,碳网层间距(d)的平均值呈减小趋势,其中 d_{002} 的规律性最为明显。 d_{002} 的减小速率是不均恒的:在 $R_{\text{omax}} < 6.0\%$ 的阶段,减小速率极大;在 $R_{\text{omax}} > 8.0\%$ 之后,已接近或等于石墨的 d_{002} ($3.36 \sim 3.39 \text{ \AA}$);在石墨阶段($R_{\text{omax}} \geq 11.0\%$),则基本上保持恒定。用半石墨化度($I_{50}^{(7)}$)来衡量 d 值的演化,此规律性更为显著。

第二,平均堆砌层数(M_c)的演化与平均堆砌度相似,均呈现出波动式演化规律。但在 $R_{\text{omax}} > 8.0\%$ 之后, M_c 急剧增大;至石墨阶段, M_c 稳定在12层左右。

3.3 基本结构单元的形态

纵观整个高煤级阶段,单个BSU的形态在垂直于002碳网法线方向上呈不规则的圆状、似圆状,在平行于002碳网法线方向上呈弯曲线状(TEM高倍像,略)。因此,从定性角度来看,BSU单体的三维形状是扁圆柱状,其延展度总是大于堆砌度。

为了定量描述BSU的形状,笔者提出了BSU的三个形态参数,即线度差($\Delta L = L_a - L_c$)、形态指数($BM = \Delta L / L_a \times 100$)和线径比($LR = L_c / L_a$)。由定量结果(表2)可知:第一,在整个高煤级阶段,各形态参数均呈正值,其中 LR 远大于1, ΔL 随 R_{omax} 增高而增大;第二, BM 和 LR 演化的阶段性与线度的阶段性一致,在不同的演化阶段,各形态参数的增大速率差异明显;第三,在 $R_{\text{omax}} 10\% \sim 11\%$ 之间,各形态参数的值剧增, BM 接近于极限值100,暗示着“石墨化作用”的发生具有突然性。

4 基本结构单元秩理性的发展及模式

4.1 基本结构单元秩理性的衡量标志

在透射电子显微镜下,主要根据以下特定标志衡量BSU秩理化的程度:

- (1)BSU空间排列的周期性(图1)及BSU优势排列方向的夹角;
- (2)BSU三维空间排列的一致性程度;
- (3)BSU的聚团程度,可在暗场像中直接观测统计;
- (4)SAD花样中散射环的清晰度和分化度。

4.2 基本结构单元秩理性的发展

在高煤级煤初期阶段($R_{\text{omax}} 2.0\% \sim 4.0\%$),BSU在三维空间呈双周期性排列,在 c 轴方向上两相邻BSU单元的夹角在 30° 以上,最大可达 60° 。同一视域 d_{002} 散射环相差 90° 旋转

角的两张暗场像中,BSU 亮斑的密度及亮度相差不大。BSU 亮斑呈分散孤立状产出,很少见到聚集成团的现象。SAD 花样中, d_{002} 及 d_{10} 散射环弥散性极大, d_{11} 环仅隐约可见。这些特征表明,该阶段 BSU 的秩序化程度较低。

在高煤级煤中期阶段($R_{\max}$ 4.0%~8.0%),BSU 的双周期组合已基本消失,取而代之的是单周期组合。BSU 的空间排列以两个方向为主,两方向夹角的统计值在 15° 左右。旋转角相差 90° 的两张 d_{002} 暗场像中,BSU 亮斑的密度和亮度出现明显差别,BSU 显著聚团,且随 $R_{\max}$ 增大,斑团的直径增大、密度增加,表明分子局部定向性程度增强(表 2)。SAD 花样中, d_{002} 散射环清晰可见, d_{10} 环亮度变大、弥散性降低,表明 BSU 内各碳网之间及 BSU 单元之间排列的秩序化程度明显增强。

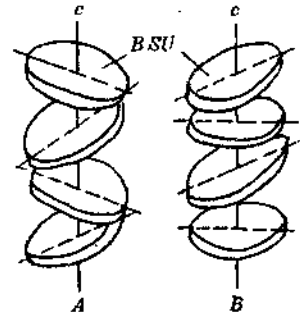


图 1 基本结构单元空间排列的周期性
A—双周期组合;B—单周期组合

在高煤级煤后期阶段($R_{\max}>8.0\%$),BSU 明显聚团,BSU 斑团间及斑团内 BSU 单元的排列方向基本上趋于一致,单周期排列中两组方向的夹角 $<10^\circ$,表明此时 BSU 的秩序化程度已高度发展。但 BSU 的“曲度”却高于前一阶段,这是由位置各异的 BSU 单体拼合所致。SAD 花样与中期阶段无明显差异,只是散射环进一步窄化。这些特征充分表明,尽管该阶段煤样的 $R_{\max}$ 高达 9.69%,已接近于石墨阶段,但其 BSU 仍具典型的煤的性质,与石墨的性质相距甚远。

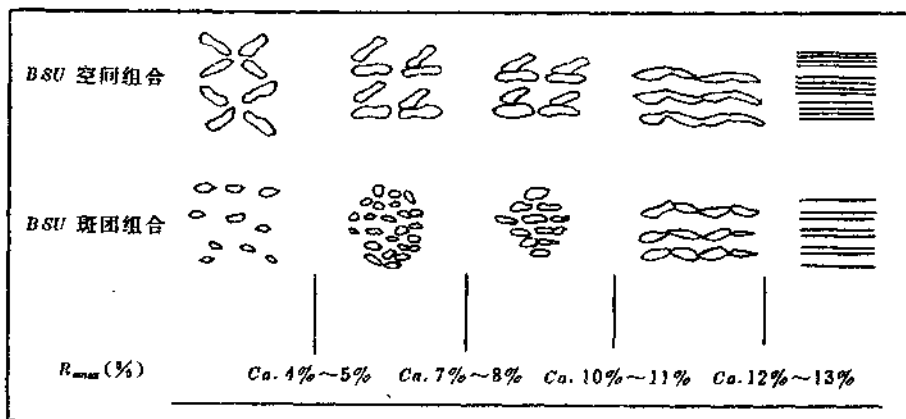


图 2 基本结构单元秩序性演进模式

煤微结构从短程有序向长程有序的转化是突然发生的,过渡阶段非常短暂。进入石墨化阶段之后,各 BSU 单元迅速拼合叠置,使碳网层的延展度极度增大,形成在亚微层次(甚至肉眼)可见的石墨鳞片。SAD 花样中,各散射环解体,由互不连结的斑点组成衍射环,同时进一步分化出 100、101、110、112 等环节,004 环也明显可见。但在石墨化阶段初期,碳网的秩序化程度差异极大,不仅具有延展度极大的平直碳网束(类似 BSU)条纹,而且也大量存在皱层状、微柱状等连续性较差的碳网束。随石墨化程度的增高,碳网束迅速变得平直,延展度急剧增大,出现了典型的石墨单晶及其 SAD 六方衍射斑点。

4.3 基本结构单元有序性的演进模式

根据上述 BSU 演化特征,笔者总结出高煤级煤——石墨过程中 BSU 有序性的演进模式(图 2)。

从演进模式中可知:在高煤级阶段,BSU 的空间组合由双周期式向单周期式演化,相邻两 BSU 展布方向的夹角由大变小,BSU 单元由孤立,经松散的莓球状演化为条纹状斑团;石墨化作用是突然发生的,BSU 单元端——端结合使碳网束延展度急剧增大,并经由皱层石墨急剧演进至平直石墨;在透射电子显微镜下,高煤级煤与石墨的界线十分清晰。

参 考 文 献

- 1 Alpern, B. et al. A progress report on the Alpern Coal Classification, *Int. J. Coal Geol.*, 1989; 13: 1—19
- 2 Oberlin, A. et al. Graphitization studies of anthracites by high resolution electron microscopy, *Carbon*, 1975; 13: 367—376
- 3 Bonijoly, M. et al. A possible mechanism for natural graphite formation, *Int. J. Coal Geol.*, 1982; 1: 283—312
- 4 Deurbergue, A. et al. Graphitization of Korean anthracites as studied by transmission electron microscopy and X-ray diffraction, *Int. J. Coal Geol.*, 1987; 8: 375—393
- 5 Buseck, P. R. et al. Conversion of carbonaceous material to graphite during metamorphism, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985; 49: 2003—2016

APPLICATION OF DARK-FIELD TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY TO HIGH-RANK COAL STUDY: ORDERING DEVELOPMENT AND MODEL OF MACROMOLECULAR BASIC STRUCTURAL UNITS

Qin Yong

(China University of Mining and Technology)

Wang Yuping Zhang Xiaoping Gai Xiuzhen

(Laboratory of Electron Microscopy, Beijing University)

Abstract With the technology of dark-field TEM, combining with that of the light-field and the selected-area electron diffraction, the characteristics of the macromolecular basic structural units (BSU) of the sample series from high-rank coals to graphite were studied, and the development and the model of the BSU ordering were explored.

Keywords high-rank coal, transmission electron microscopy, dark-field technology, basic structural unit, ordering development and model

红层岩石微观结构和力学性质的试验研究

隋旺华 冯启言 韩宝平

(中国矿业大学)

摘要 本文采用压汞试验、电镜扫描、X-射线衍射方法研究了鲍店煤矿红层岩石的微观结构,并进行了岩石力学强度的测试,初步探讨了其工程地质特性及影响因素,其结果可作为开采沉陷离层裂隙发育规律研究的依据。

关键词 红层 微观结构 鲍店煤矿 力学性质

作者简介 隋旺华,30岁,博士,讲师,从事水文地质教学及科研工作。

冯启言,30岁,硕士,讲师,从事水文地质教学及科研工作。

1 引言

沉陷离层裂隙注浆减缓地表沉陷是一种很有前途的方法。采用这种方法的关键是研究离层裂隙在空间和时间上的发育规律,以选择合适的注浆层位和注浆时间。开采沉陷覆岩移动破坏规律又与岩体的工程性质及采矿活动密切相关。本文采用一系列新的方法手段研究了鲍店煤矿红层的微观结构、力学特性,作为下一步研究离层裂隙发育规律的基础。

鲍店煤矿红层距该矿主采煤层3号煤顶板9.30~148.14m,是未来注浆减缓地面沉陷的目的层位。该矿侏罗系红层,以紫红色粉细砂岩及中粗砂岩为主,夹紫红色泥岩及砾岩。本次试验岩样采自鲍1观测孔,该处红层厚150.69m,上覆第四系厚度155.60m。取样和测试按有关规程进行。

2 试验方法

微观孔隙测试采用了美国产9310型微孔结构分析仪,该仪器工作压力范围0~207MPa,测试孔径0.006~360 μ m,测定时,首先将试样在70~80℃的烘箱中干燥10h,然后装入膨胀仪中抽真空至 $P < 6.67$ Pa,然后压入汞液,根据进汞量和进汞压力,测试不同直径孔隙的比例和总孔隙度。

矿物组成和胶结特征采用扫描电镜和X-射线衍射等方法。对各种类型岩石进行了抗压、抗拉和抗剪强度试验。

3 微观结构

红层岩石中碎屑颗粒主要由石英、长石、云母和岩屑构成,胶结物以泥质、钙质和铁质为主,少量硅质。泥质胶结主要出现在粉砂岩中,扫描电镜下可见颗粒之间充填伊利石、绿泥石等粘土矿物。钙质胶结则主要存在于细砂岩及中粗砂岩中,多以粉晶方解石的形式存在。而铁质胶结在各类岩性中均有,某些砾石间还有铁质球粒。见图1和图2。

不同岩性的岩石其孔隙度、孔隙大小差异很大,而其压汞曲线亦有明显的不同。

(1)泥岩。颗粒直径小于0.01mm,粉粒及粘粒含量大于80%以上,其粘土矿物主要有高



图 1



图 2

岭石、伊利石、绿泥石等。胶结物以泥铁质为主，孔隙度 0.959%~4.476%，孔隙度小，最大孔隙直径 52.6 μm ，60%以上的孔隙直径小于 12.3 μm (图 3a)。

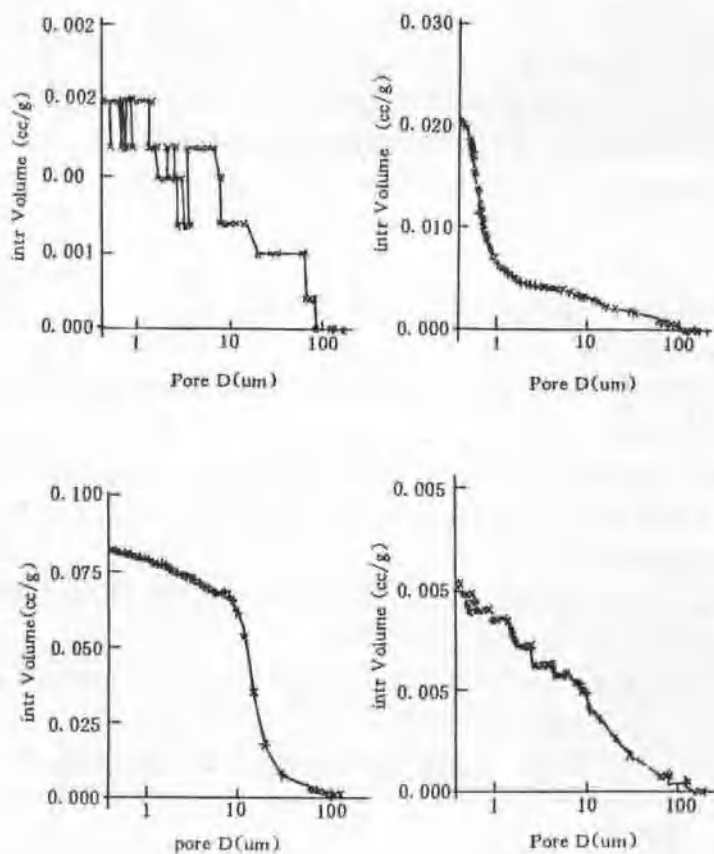


图 3 红层压汞曲线

a—泥岩 b—粉砂岩 c—中粗砂岩 d—砾岩

(2) 粉砂岩。颗粒直径 0.08~0.1mm，颗粒均一，粉粒含量 50%~70%，其孔隙度