

 系列成果之二

变形煤的结构演化机理及其地质意义

姜 波 秦 勇 著

〔国家自然科学基金资助项目〕

中国矿业大学出版社

P619.12.4
J-186

● 系列成果之二

变形煤的结构演化机理及其地质意义

姜 波 秦 勇 著

〔国家自然科学基金资助项目〕

中国矿业大学出版社

Series achievement 2

EVOLUTION MECHANISM OF STRUCTURES OF DEFORMED COALS AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Jiang Bo Qin Yong

The Project Supported by National Natural Science Foundation of China

China University of Mining and Technology Press

内 容 提 要

本书是国家自然科学基金和煤炭科学基金资助项目的部分研究成果。作者在肥煤—无烟煤系列样品高温高压变形实验的基础上,采集了正常煤化系列气煤—无烟煤以及我国煤田构造和岩浆活动较为典型地区的构造煤样品,系统进行了不同系列——高温高压系列、构造煤系列和正常煤化系列煤显微变形构造、超微构造、镜质组反射率光性组构、X射线衍射、电子顺磁共振和核磁共振分析。深入探讨了不同应变环境、不同应力作用下煤结构演化的微观机理及其影响因素,揭示了煤化学结构的演化对镜质组反射率的深刻影响。阐明了在影响煤变形的诸多因素中定向压力(构造应力)是促使煤结构有序畴增大和分子定向性增强的最为重要的因素,为变形煤在构造地质中的应用奠定了理论和实验基础,同时对于煤层气和矿井瓦斯地质研究也有很好的借鉴意义。

本书内容丰富、观点新颖、结论可信,为变形煤结构演化的研究提供了全新的思维方式和技术路线,可供从事煤田地质学、构造地质学和煤岩学的教学、科研和生产人员及高等院校的本科生和研究生参考阅读。

变形煤的结构演化机理及其地质意义

姜波、秦勇 著

出版人 解京选

责任编辑 宋党育 王景华

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 8.25 字数 200 千字

1998年9月第1版 1998年9月第1次印刷

印数 1~500 册



ISBN 7 - 81040 - 889 - 5

P·45

定价:28.00 元

序

《变形煤的结构演化机理及其地质意义》一书,针对目前国际上变形煤研究领域存在的煤变形实验研究与地质实际严重脱节、变形煤化学结构的演化对镜质组反射率光性组构的微观控制作用了解甚少以及过去的高温高压实验仅限于少量煤级煤等的主要问题,在对我国分布广泛且具有重要意义的中—高煤级煤等高温高压实验的基础上,深入探讨了不同应变环境中、不同应力作用下煤化学结构演化的微观机理及其影响因素,揭示了煤化学结构的变化对镜质组反射率的深刻影响,取得了一系列的重要研究成果。

作者首次将高温高压实验、构造煤和正常煤化三套系列煤样的变形和结构演化等特征进行综合对比研究,不仅探讨了不同系列样品的机械变形(碎裂及揉皱)、光性变异(镜质组反射率各向异性)等物理变形的特征、演化及其影响因素,而且通过透射电子显微镜(TEM)、X射线衍射(XRD)、电子顺磁共振(EPR)和核磁共振(NMR)等先进的测试和研究方法的应用,深入研究了变形煤变形构造形成的微观机理、煤分子结构有序畴增大的途径以及化学结构的演化对镜质组反射率的深刻影响和相互关系。作者通过变形煤的超显微构造研究,查明了高温高压和差异应力作用导致煤结构由无序向有序方向转化以及大分子结构局部定向化发展的特征,认为这种机理促使芳香层片在有利方位上重新定向和择优成核生长,致使煤的光性变异,最终促使镜质组反射率各向异性增强及反射率椭球发生“变形”。该书的另一个重要贡献,是证实了变形煤基本结构单元的重要参数,如面网间距(d_{002})、单元堆砌度(L_c)和单元延展度(L_a)等的演化与 $R_{o,max}$ 具有很好的相关关系,构造煤、高温高压实验样品和正常煤化系列样品的 L_c 和 L_a 具有相近的演化趋势。研究表明,变形煤的电子顺磁共振(EPR)和核磁共振(NMR)的结构参数与正常煤化系列的演化规律极其相近,即随 $R_{o,max}$ 的增大,具有阶段性、波状性和跳跃式的规律性演化,揭示了煤化学结构的演化对镜质组反射率的深刻影响以及不同煤级煤在变形、变质过程中气体的产生和释放条件。该书是作者煤结构演化研究的系列专著之一,是变形煤结构演化机理方面的第一部学术著作,是煤结构演化理论在构造地质中应用的重要研究成果,为煤田构造研究领域新的生长点的形成做出了积极的贡献。该书第一手资料翔实,应用的技术手段先进,变形煤与正常煤化系列煤之间对比研究的思路新颖;不仅理论成果丰富且具有创造性,而且对煤层气的研究和矿井瓦斯防治也有重要的借鉴和指导意义。该书为构造煤及其变形机制的研究探索了一套全新的研究思路和技术方法。

我愿将该书推荐给广大的煤田地质、构造地质和瓦斯地质工作者,诚挚地期望能有更多的有识之士投入到这一具有十分重要意义的研究工作中来,为煤田构造地质理论的完善和提高而共同努力。

王桂梁

1998年9月于徐州

前 言

随着地质科学的不断发展和研究的深入,构造地质学已从定性分析发展到定量研究阶段。Ramsay 的变形几何学理论是进行三维应变和变形量分析的基础,进行变形量分析所应用的应变标志主要有:化石、岩脉、砾石、鲕粒、布丁、捕虏体、石英几何体和石英、方解石颗粒等。煤田构造一般发育于地壳的浅部,属于脆性变形域,缺少塑性变形的应变标志物,因而极大限制了煤田构造的定量化研究,从而使得岩石有限应变分析这一现代构造地质学研究的理论和方法在煤田构造领域中的应用难以深入开展。80 年代以来,国内外学者发现,构造煤的镜质组反射率具有随应力作用而出现规律性变化的特点,即随着应力作用和变形程度的增强,镜质组最大反射率逐渐向与最大主应力相垂直的方向、镜质组最小反射率向与最大主应力相平行的方向偏转的演化趋势。这一规律性认识已逐渐被大量的煤田构造地质事实所证实,从而在煤田构造的应力作用和应力场分析中发挥了重要作用。近年来,人们开始将煤镜质组反射率光率体类比作于变形岩石中的应变椭球体,进行煤田构造的有限应变分析,尽管还有一些问题尚未彻底解决,但毕竟为煤田构造的研究增添了新的研究内容,开了煤田构造有限应变分析研究的先河,遂使煤田构造的定量化研究成为可能。

在构造煤镜质组反射率随应力变化的机理方面,国内外学者都进行了不断的探索和研究,尤其是煤的高温高压实验研究的开展,使自然界中的规律性现象在实验室的模拟条件下得以再现。随着研究的深入和实验设备与条件的改进,人们不仅可以模拟单向挤压条件下的煤变形,而且对剪切应力作用下煤光性组构的变异也进行了有益的探讨。

笔者自 80 年代末开始进行变形煤的光性组构研究,而煤的高温高压实验研究则是从 1992 年在煤炭科学基金资助下开始的。笔者先后完成了包括气煤至无烟煤的 5 个样品在内的共 21 个试样的高温高压变形实验,并对实验结果进行了微观构造和光性组构变异分析。值得庆幸的是,笔者于 1994 年和 1998 年分别获得国家自然科学基金的资助,使这一研究工作得以更加深入和系统进行。在高温高压实验的基础上,笔者在河北兴隆、京西、江苏徐州、湖南涟源和福建天湖山等煤田构造和岩浆活动较为典型的地区选择了构造煤样品 32 个以及河南、山西等地的和高温高压实验原始样品的 9 个正常煤化系列气煤—无烟煤样品,系统进行了 3 个不同演化系列——高温高压实验系列、构造煤系列和正常煤化系列煤样的显微变形构造、超微构造、煤镜质组反射率光性组构、X 射线衍射(XRD)、电子顺磁共振(EPR)和核磁共振(NMR)等分析和实验。笔者深入探讨了不同应变环境中、不同应力作用下煤化学结构演化的微观机理及其影响因素;揭示了煤化学结构的变化对镜质组反射率的深刻影响,以及不同煤级煤和不同实验条件下变形煤中气体的产生和释放条件及其对煤微观结构的深刻影响。这一成果对于煤层气和矿井瓦斯地质研究具有很好的借鉴意义。

本书的研究内容主要包括三个方面:第一方面是煤的高温高压实验,阐明了影响煤变形的因素主要有温度、压力、应力和应变速率以及煤本身的物理和化学性质,并通过煤的超微

变形结构和X射线衍射研究,深刻说明了应力作用是煤结构有序畴增大和分子定向性增强的最主要的因素;第二方面是通过电子顺磁共振和核磁共振手段,深入探讨了变形煤微观化学结构的演化规律及其与煤光性组构变异的内在联系,说明煤镜质组反射率光性变异是煤微观结构演化在光性性质方面的深刻反映;第三方面是通过几个煤田构造的典型实例,深入剖析了煤镜质组反射率光性组构在煤田构造研究中的作用和意义。

本书是国家自然科学基金资助项目“高煤级煤基本结构单元的拼叠作用及其地质机理”(编号:49472125)和“高煤级煤储层物性特征及其控气地质机理”(编号:49772131)研究成果的系列学术专著之二。第一部专著为《高煤级煤结构演化及拼叠作用地质机理》,第三部专著为《中国煤层气成藏理论与实践》,均将陆续出版。通过系列成果的出版,力图使煤结构演化理论应用于构造地质、煤层气地质、矿井瓦斯地质等研究领域,使相关学科之间有效地交叉融合以形成新的生长点,并在科学技术转化为生产力方面实现新的突破。

研究工作得到了王桂梁教授的悉心指导并欣然为本书作序,还得到了韩德馨院士、何锡麟教授、邵震杰教授、张大顺教授、任文忠教授、刘焕杰教授、陈家良教授和彭思生教授的指导和帮助。同时,还就工作中的有关问题有幸与周建勋博士、徐志斌教授、范炳恒博士和张有生博士进行了讨论并深受启发。朱开永副教授、周强副教授、杨永国博士和宋现锋博士在计算机数据处理方面给予笔者以很大帮助。十分感谢金法礼工程师在样品的制作和测试方面给予的大力帮助。样品的处理工作还得到了郑孟林博士和宋党育硕士的帮助,李素琴高工在样品测试工作中也给予了大力帮助。王文侠博士和刘登桃硕士提供了部分构造煤样品。野外地质工作得到了河北省煤田物测队、承德市煤田地质队、兴隆矿务局及其所属各矿、承德地区地方煤矿、盐城矿务局及其所属各矿的大力支持和协助。中南工业大学地质系构造实验室、中国矿业大学资源与环境科学学院显微光度计室和测试中心、北京理化分析测试中心、中国科学院生物物理研究所和中国科学院武汉数学物理研究所等单位在样品测试工作中也给予了大力支持和帮助。

刘天泉院士、徐嘉炜教授、何锡麟教授、卢华复教授、孙岩教授、王绳祖教授、任文忠教授和彭苏萍教授审阅了本书初稿,并提出了许多建设性意见。研究工作还得到了煤炭科学基金(91地10105)和中关村分析测试基金的资助。

在本著作与读者见面之际,谨向以上给予笔者以指导和帮助的单位和个人致以衷心的感谢!

作 者

1998年9月

Abstract

Based on the deformation experiment of 20 different rank coal samples ($R_{o,max}=0.77\%\sim 4.26\%$) of 5 groups under high temperature and confining pressure, 32 tectonic coal samples ($R_{o,max}=1.96\%\sim 10.58\%$) collected from Xinglong of Hebei Province, West of Beijing, Xuzhou of Jiangsu Province, Lianyuan of Hunan Province and Tianhushan of Fujian Province where the coalfield detachment and magmatic activity were very strong, and 9 coal samples from gas coal to anthracite ($R_{o,max}=0.87\%\sim 6.23\%$) of normal coalification are selected. Analysis of deformation of microstructure, super-microstructure, optical fabric of vitrinite reflectance, X-ray diffraction(XRD), electron paramagnetic resonance (EPR) and nuclear magnetic resonance (NMR) are used to study different series of coals systematically. The evolution mechanism of coal microstructures and their influence factors in different environments and actions of stress is inquired in depth. The profoundly influence of evolution of coal chemical structure onto vitrinite reflectance has been revealed.

The research results show that influence factors of coal deformation mainly are temperature, confining pressure, stress and strain and physical and chemical characteristics of coal itself. But action of each factor is not the same under different conditions. There are different evolutions of structural ordering in different rank coals under different conditions of temperature and confining pressure and action of differential stress. Through increase of ordering domain is slow in lower rank coals, extension degree increases quickly and orientation enhances obviously with increase of temperature and confining pressure. When coal ranks are higher, the basis structural units are more concentrated and the ordering develop very quickly; and not only emerge vermiform basis structural units, but orientation is also more obviously. Not only intensity and rate of stress action effect strain rate of coal very much, but the strain rate produces deep impact to evolution of coal structural parameters, especially to extension and stacking degrees (L_a and L_c). Lower strain rate is beneficial for increase of both L_c and L_a . It has been expounded that though temperature and confining pressure are important influence factors of coalification, directional pressure (or tectonic stress) is more important element to increase ordering domain of coal structure and orientation of coal molecules through the research on chemical structure, microstructure and super-microstructure of deformed coals.

The research results also indicate that all kinds of parameters of coal samples of different series, which display coal chemical structures, have a characteristic of stage, wavy and jumpy evolution. There are sudden change and abrupt turn of coal structural evolution at $R_{o,max}=2\%, 4\%, 6\%$ and 8% . Particularly after $R_{o,max}=6\%$, main parameters of XRD, EPR and NMR all occur sudden change consistently, which show that ordering domain of basis structural units and number of average aromatic rings in a cluster increase very quickly. It marks

the turn of evolution mechanism of coal structure, namely, action of ring condensation decreases gradually and making-up takes an important position. There exists a very similar evolution law of chemical structural parameters of coals between samples of high temperature and confining pressure experiment, samples of tectonic coal and samples of normal coalification coal. It fully illustrated that stress action in different deformation conditions may not only raise vitrinite reflectance of coal, but coal chemical structures may also appear evolution of regularity with increase of $R_{o,max}$. Therefore, the vitrinite reflectance equally is a deep reflection of chemical microstructure of deformed coal in physical character. The vitrinite reflectance really recorded features of stress action, stress intensity, strain environment, strain rate and so on in history of structural deformation. It is an important indicator of palaeo-structural stress and strain environment and an important sign that may be used in research on coalfield structure.

目 录

序	王桂梁
前 言	1
第一章 绪 论	1
第一节 研究现状和存在的主要问题	1
一 研究现状	1
二 存在的主要问题	2
第二节 研究思路	2
第三节 研究内容	3
第二章 煤的高温高压变形实验	5
第一节 实验方法	5
一 实验装置	5
二 实验样品	7
三 样品的制备及安装	7
四 实验步骤	7
五 实验条件的选择	8
第二节 应力—应变曲线特征及其影响因素	11
一 应力—应变曲线特征	11
二 影响因素	12
第三章 显微和超显微变形构造	16
第一节 显微变形构造	16
一 高温高压实验煤样的显微变形特征	17
二 构造煤的微观变形特征	20
第二节 超显微变形构造	25
一 高温高压实验煤样的超显微变形构造特征	25
二 构造煤的超显微变形构造	27
第四章 煤镜质组反射率光性组构	31
第一节 煤镜质组反射率的光性特征	31

一	镜质组反射率光率体模式	31
二	反射率各向异性的成因	33
第二节	高温高压实验煤样的光性组构特征	33
一	反射率测定	33
二	有限应变椭球拟合	33
三	应变椭球参数分析	35
第三节	镜质组反射率光性组构在煤田构造中的应用	37
一	兴隆复式叠瓦扇构造	37
二	徐州—宿州逆冲推覆构造外缘(利国煤矿)	39
第五章	变形煤的X射线衍射结构的演化	43
第一节	样品的选择和实验方法	45
一	样品的选择	45
二	样品制作	45
三	测试条件	45
第二节	XRD 结构参数特征	45
第三节	变形煤的结构演化特征	47
一	构造煤的结构演化	47
二	高温高压实验煤样的结构演化	51
第六章	变形煤的电子顺磁共振结构的演化	57
第一节	电子顺磁共振分析原理及参数计算	58
一	基本原理	58
二	参数计算	58
第二节	样品的选择和实验方法	59
第三节	变形煤的EPR 参数演化特征	59
一	构造煤EPR 参数的演化特征	59
二	高温高压实验煤样EPR 参数的演化特征	63
第七章	变形煤的核磁共振结构的演化	68
第一节	NMR 的基本原理	70
一	核自旋量子数和核磁矩	70
二	核磁共振	70
三	弛豫	70
四	化学位移	70
第二节	样品的选择和实验方法	71
第三节	变形煤的 ¹³ C NMR 谱特征和结构参数	72
一	谱的拟合与峰的解叠	72
二	带质子碳与桥头碳的定量	74

三	变形煤的结构参数	74
第四节	变形煤的结构成分及其演化	77
一	芳族碳的结构演化特征	77
二	脂族碳的结构演化特征	83
三	芳族平均芳环数的演化特征	85
第八章	结论和讨论	88
一	煤的变形受多种因素的综合影响	88
二	镜质组反射率光性组构是古构造应力的指示计	89
三	变形煤的 XRD 结构参数演化与 $R_{o,max}$ 密切相关	89
四	变形煤的 EPR 结构参数演化与 $R_{o,max}$ 密切相关	90
五	$R_{o,max}$ 深刻反映煤结构成分的演化	91
六	$R_{o,max}$ 是正确反映煤级的重要参数之一	91
七	变形煤的 XRD、EPR 和 NMR 结构参数均具有波折状和阶跃式演化	91
参考文献		93
图版说明与图版		101

CONTENTS

PREFACE	Wang Guiliang
Forward	1
Chapter 1 Introduction	1
1.1 The present research and major problems	1
1.1.1 The present research	1
1.1.2 The major problems	2
1.2 Thinking of the research	2
1.3 Contents of the research	3
Chapter 2 Experiment of deformed coals under high temperature and confining pressure	5
2.1 Experimental method	5
2.1.1 Installation of the experiment	5
2.1.2 Samples of the experiment	7
2.1.3 Making and installing of samples	7
2.1.4 Experimental steps	7
2.1.5 Selection of experimental conditions	8
2.2 Characteristics of stress and strain curves and their effecting factors	11
2.2.1 Characteristics of stress and strain curves	11
2.2.2 Effecting factors	12
Chapter 3 Deformed microstructures and super-microstructures	16
3.1 Deformed microstructures	16
3.1.1 Characteristics of deformed microstructures of experimental coal samples	17
3.1.2 Characteristics of deformed microstructures of tectonic coals	20
3.2 Deformed super-microstructures	25
3.2.1 Characteristics of deformed super-microstructures of experimental coal samples	25
3.2.2 Characteristics of deformed super-microstructures of tectonic coals	27

Chapter 4 Optical fabric of vitrinite reflectance of coal	31
4.1 Optical characteristics of vitrinite reflectance of coal	31
4.1.1 Model of optical indicatrix of vitrinite reflectance	31
4.1.2 Genesis of reflectance anisotropic	33
4.2 Characteristics of optical fabric of experimental coal samples	33
4.2.1 Determination of vitrinite reflectance	33
4.2.2 Fitting of ellipsoid of finite strain	33
4.2.3 Parameter analysis of strain ellipsoid	35
4.3 Application of optical fabric of vitrinite reflectance in coalfield structures	37
4.3.1 Structure of Xinglong double imbricate fan	37
4.3.2 Peripheral zone (Liguo coal mine) of Xuzhou-Suzhou thrust structure	39
Chapter 5 Structural evolution of X-ray diffraction of deformed coals	43
5.1 Selection of samples and method of the experiment	45
5.1.1 Selection of samples	45
5.1.2 Making of samples	45
5.1.3 Conditions of determination	45
5.2 Characteristics of structural parameters of XRD	45
5.3 Evolution characteristics of structures of deformed coals	47
5.3.1 Structural evolution of tectonic coals	47
5.3.2 Structural evolution of experimental coal samples	51
Chapter 6 Structural evolution of electron paramagnetic resonance of deformed coals	57
6.1 Analysis principle and parameters calculation of electron paramagnetic resonance	58
6.1.1 Basic principle	58
6.1.2 Calculation of EPR parameters	58
6.2 Selection of samples and method of the experiment	59
6.3 Evolution characteristics of EPR parameters of deformed coals	59
6.3.1 Evolution characteristics of EPR parameters of tectonic coals	59
6.3.2 Evolution characteristics of EPR parameters of experimental coal samples	63
Chapter 7 Structural evolution of nuclear magnetic resonance of deformed coals	68
7.1 Basic principle of nuclear magnetic resonance	70
7.1.1 Quantum number of nuclear and nuclear magnetic moment	70
7.1.2 Nuclear magnetic resonance	70

7.1.3	Relaxation	70
7.1.4	Chemical shift	70
7.2	Selection of samples and method of experiment	71
7.3	Characteristics of ^{13}C NMR spectrum and structural parameters of deformed coals	72
7.3.1	Fitting and peak-separating of spectrum	72
7.3.2	Quantity of proton substituted carbon and bridge-head substituted carbon	74
7.3.3	Structural parameters of deformed coals	74
7.4	Structural compositions and evolution of deformed coals	77
7.4.1	Characteristics of structural evolution of aromatic carbon	77
7.4.2	Characteristics of structural evolution of aliphatic carbon	83
7.4.3	Evolution characteristics of average aromatic ring number in a cluster	85
Chapter 8	Conclusion and discussion	88
8.1	Many factors comprehensively affect deformation of coal	88
8.2	Optical fabric of vitrinite reflectance is an indicator of palaeo-structural stress	89
8.3	Intimate correlation between evolution of XRD structural parameters and maximum vitrinite reflectance	89
8.4	Intimate correlation between evolution of EPR structural parameters and maximum vitrinite reflectance	90
8.5	Maximum vitrinite reflectance deeply reflected evolution of structural compositions of coal	91
8.6	Wavy and jumpy evolution of maximum vitrinite reflectance is an important parameter correctly reflecting coal ranks	91
8.7	XRD, EPR and NMR structural parameters of deformed coals	91
References		93
Plates and their explanation		101

第一章 绪 论

现代构造地质学已由定性描述发展到定量化研究,实现了一次质的飞跃。定量研究中最重要方法理论是 Ramsay 等(1967)倡导的进行三维应变和变形量分析的变形几何学理论。但是,煤田构造绝大部分是发育于地壳浅部脆性变形域的地质构造,由于缺少塑性变形应变标志物,因而岩石有限应变分析这一现代构造地质学研究的理论和方法在煤田构造领域的应用受到了极大限制。近年来,煤田地质工作者通过不懈努力,发现构造煤镜质组反射率可以作为一种特殊的应变标志物,从而大大推进了煤田构造定量化研究的进程。

第一节 研究现状和存在的主要问题

一 研究现状

大量煤田构造地质研究表明,在不同的构造环境中和不同的构造应力作用下,煤镜质组反射率具有规律性的变化(王文侠,1988 a, 1988 b; 曹代勇,1990; 王桂梁等,1992),一般表现为最大反射率与最小应力方向相一致,而最小反射率则一般代表最大挤压应力方向。这一规律的发现,不仅在煤田构造研究中起到了重要作用,而且可以将煤镜质组反射率光率体类比于有限应变椭球体,使有限应变分析技术在煤田构造研究中的应用成为可能(王文侠,1991; 王桂梁等,1995),也使煤田构造研究的理论和方法得以不断完善和提高。

但是,煤镜质组反射率与应力作用间的这种变化规律,仅仅是根据某些特殊煤田构造地质条件所得到的一般性认识,这种规律性有无普遍意义尚待进一步深入探讨。同时,对于不同应变环境条件下不同煤级煤镜质组反射率光性组构形成的微观机制、形成条件和影响因素及其相互关系,人们还知之甚少。而要进行这方面的深入研究,煤的高温高压实验工作则是一项不容忽视的重要内容。

最初的煤高温高压实验研究见于曲星武等(1980 a, 1980 b)的报道。他们在合金烧结炉内对泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤进行了高温高压复合实验,并对实验样品的结构进行了 X 射线衍射(XRD)研究。限于当时的仪器设备条件,研究工作进行得并不很深入,但其研究无疑具有开创性意义。较为深入的煤高温高压实验见于 Bustin 等(1986)的研究成果,他们对 $R_{o,max} = 4.9\%$ 的无烟煤样品在不同的实验条件下进行了 4 个试样的变形实验。周建勋(1991)选取 $R_{o,max}$ 分别为 0.67%、3.41% 和 4.90% 的 3 个不同煤级煤的样品进行了高温高压实验。Bustin 等(1995)应用 XRD 和透射电子显微镜(TEM)等技术对高温高压实验样品的石墨化机理进行了探讨。Ross 等(1997)又通过高温高压下的简单剪切实验对煤镜质组各向异性的形成机理进行了研究。这些研究成果对于深入探讨煤变形及其对煤镜质组反射率光性组构的影响,推动变形煤结构演化特征及其与应力—应变环境关系的研究具有极为重要的意义。但迄今为止,有关变形煤的研究仍然存在许多不足之处,值得更深入的探讨。

二 存在的主要问题

综观煤的高温高压实验和煤镜质组反射率光性组构在煤田构造研究中的应用,目前主要存在以下几个较为突出且亟待解决和深入研究的问题。

(1) 煤的高温高压实验仅限于少量煤级,主要集中于低煤化程度的烟煤和无烟煤,而对于在我国广泛分布且具有重要意义的中—高煤化程度的烟煤,目前尚缺少必要的实验研究工作。

(2) 煤的高温高压实验研究与煤田构造地质实际严重脱节,在已有的研究成果中仅对实验样品的微观变形构造、超微构造和镜质组反射率的变化特征进行了探讨,尚缺少实际构造煤样的对比分析和研究,从而限制了研究成果在煤田构造工作中的应用。

(3) 对于变形煤镜质组反射率光性组构形成的微观控制因素,即变形煤微观化学结构的演化特征还很少涉及。因此,对不同变形环境中煤镜质组反射率的演化特征的认识仍然停留在物性描述上,缺少更深层次的探讨和研究,难以揭示变形煤镜质组反射率光性组构形成和演化的实质。

第二节 研究思路

本项工作的研究思路,是在有效借鉴已有研究成果的基础上,针对上述煤的高温高压实验和变形煤研究中存在的问题,选择有代表性的煤样进行高温高压实验工作,尤其是对在我国具有广泛分布而高温高压实验又开展得较少的烟煤系列进行高温高压实验工作。在煤的高温高压实验的基础上,为了进一步探讨不同应变环境中应力作用下煤的变形特征和演化机制,将模拟实验与地质构造实际紧密结合,在我国煤田构造发育和岩浆活动较为强烈的典型地区采集一定数量的构造煤样品,并辅以一定数量的正常煤化系列的煤样,进行系统的煤结构演化特征分析。这一研究思路,是针对目前国际上模拟实验与煤田构造实际严重脱节的情况而提出的,虽然人们对高温高压实验条件下煤的变形以及构造煤的变形特征都分别有了一定的认识,但对它们之间的联系以及结构演化的异同则很少涉及,这不能不说是一个很大的缺陷。

有关煤变形结构的研究,目前仍停留在微观变形、超微结构和光性异常等方面及其影响因素的探讨,而对于煤的这些物理性质变化的微观控制因素及其演化机理还缺少更深入的研究,这不仅极大地限制了人们对变形煤结构特征的认识,也使得构造煤在煤田构造研究中的应用发生了重大分歧(Bustin et al., 1986; 周建勋等, 1993; Ross et al., 1997)。因此,本项研究不仅系统地进行了高温高压实验系列、构造煤系列和正常煤化系列样品的微观和超微观变形构造分析、镜质组反射率的测定和镜质组反射率光率体有限应变分析,而且应用X射线衍射、电子顺磁共振(EPR)和核磁共振(NMR)等方法和技术手段,深入探讨不同系列煤样的微观化学结构及其演化特征。同时,通过不同系列煤样结构演化的对比和分析,深入探讨不同应力—应变环境中应力、应变和应变速率等对不同煤级煤结构演化的影响及其对镜质组反射率演化的制约作用,深刻揭示煤镜质组反射率随应力作用演化的实质,为煤镜质组反射率光性组构在煤田构造研究中的应用奠定了坚实的理论和实验基础,推动煤田构造的定量性研究,进一步完善煤田构造地质理论。