

中国煤炭资源潜力评价丛书



中国煤田构造格局与构造控煤作用

曹代勇 宁树正 郭爱军 李焕同 等/著
陈利敏 刘 亢 谭节庆

Tectonic Framework of Coalfields and Tectonic
Control of Coalseams in China



科学出版社

中国煤炭资源潜力评价丛书

中国煤田构造格局与构造控煤作用

Tectonic Framework of Coalfields and Tectonic
Control of Coalseams in China

曹代勇 宁树正 郭爱军 李焕同 陈利敏 刘 亢 谭节庆 等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以地球动力学为指导,对中国煤田构造发育规律开展系统、深入的研究。分析中国煤田构造发育的区域地质背景,提出赋煤构造单元的概念,划分全国范围的二级赋煤构造单元,阐明主要赋煤构造单元的煤田构造特征和煤系赋存规律,建立控煤构造样式分类方案,强调构造变形和构造形态对煤系现今赋存状态的控制作用,总结中国煤田构造格局与构造演化规律,将其归纳为两类基本组合、三条构造分带、四大演化阶段。

本书内容丰富、资料翔实,集中体现了中国煤田构造研究领域的最新成果,从整体上深化了对中国煤田构造格局和构造控煤作用的认识,在指导全国煤炭资源潜力评价和资源勘查方面,发挥了巨大的作用。

本书可供煤田地质和构造地质领域的科技人员和大专院校师生参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国煤田构造格局与构造控煤作用 = Tectonic Framework of Coalfields and Tectonic Control of Coal seams in China / 曹代勇等著. — 北京: 科学出版社, 2018

(中国煤炭资源潜力评价丛书)

ISBN 978-7-03-054888-7

I. ①中… II. ①曹… III. ①煤田构造—构造控制—研究—中国
IV. ①P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 255977 号

责任编辑: 吴凡洁 冯晓利 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 26 3/4

字数: 615 000

定价: 298.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“中国煤炭资源潜力评价丛书”编委会

丛 书 总 编：孙升林

副 总 编：程爱国 曹代勇 袁同兴 邵龙义
郑柏平 唐跃刚 马施民

本书编委会

本 书 主 编：曹代勇

主要编写成员：宁树正 郭爱军 李焕同 陈利敏 刘 亢
谭节庆 张路锁 王 佟 魏迎春 宋时雨
林中月 张继坤 郑志红 占文锋 刘 登
李小明 李 建 陶志刚 李 恒 张 森
石显耀 孙红波 孙军飞 魏永超 刘恩奇
张品刚 林 亮 马志凯 姚 征 袁 远
林燕华 高科飞

前 言

中国大陆是由若干个稳定地块和活动带镶嵌而成的复合大陆，稳定地块规模小、刚性程度低、沉积盖层变形强烈，与发育于单式大陆的北美、欧洲煤田相比，中国煤盆地经历的地质演化历史要复杂得多。中国煤田地质的基本特点是成煤盆地类型多样、煤系后期改造强烈、煤层赋存条件复杂，中国煤田构造的显著时空差异性导致煤炭资源赋存的复杂性，在很大程度上决定了找煤方向和煤炭资源开发利用价值。因此，煤田构造研究是煤炭资源评价和勘查开发的一项基础性工作和关键环节。

“中国煤田构造格局与构造控煤作用研究”专题属于地质调查重点项目“全国煤炭资源潜力评价”的“中国煤炭资源赋存规律研究”课题下设的四个专题之一，其目的和任务是：以板块构造和大陆动力学理论为指导，运用构造学和煤田地质学研究方法；以省级煤炭资源潜力评价项目煤田构造研究成果为基础，在全国层面上进行深化提高。从构造形态和展布规律入手，加强构造成因和构造演化分析，揭示区域构造背景对煤炭资源赋存状况的控制机理，系统总结中国煤田构造的时空发育规律，划分赋煤构造单元，恢复煤盆地构造演化历史，完善控煤构造样式划分方案，建立构造控煤模式，为煤炭资源潜力评价提供科学依据。

该专题与“全国煤炭资源潜力评价”项目同步进行，在指导和参加各省（自治区、直辖市）煤炭资源潜力评价构造研究的基础上，2011年组建了煤田构造专题汇总组，开展全国层面的煤田构造研究。经过两年多的工作，全面完成计划任务，于2013年8月提交《中国煤田构造格局与构造控煤作用研究》专题报告1份、“中国煤田构造纲要图”（1:250万）1幅、主要成煤期古构造图（1:500万）8幅、区域性煤田构造剖面图（1:150万）12幅。

“中国煤田构造格局与构造控煤作用研究”专题组在前人众多研究成果的基础上，综合分析、归纳总结和提升，力图从整体上把握对中国煤田构造发育规律的认识，深入揭示地质构造对煤系煤层赋存的控制作用，更好地服务于找煤预测和煤炭资源勘查与开发。专题成果可以视为21世纪以来中国煤田构造研究的阶段性总结，其研究进展主要体现在以下方面。

（1）提出赋煤构造单元的概念，完成全国三级赋煤单元区划，从整体上深化对中国煤田构造格局空间展布规律的认识。建立了赋煤构造区—赋煤构造亚区—赋煤构造带—赋煤构造盆地（拗陷、隆起）—赋煤块段（凹陷、凸起）五级赋煤构造单元区划，确定了赋煤构造单元的“地理名称+构造属性”的二重命名原则。将中国赋煤构造单元格局划分为东北、华北、华南、西北、滇藏5大赋煤构造区，16个赋煤构造亚区，81个赋煤构造带，系统总结了各赋煤构造区的煤田构造特征。

(2) 从煤系变形控制因素角度, 归纳总结中国煤田构造格局的分区分带特征。中国煤田构造格局可以划分为: ①以贺兰山-龙门山南北向一级构造带分划的两大构造区域: 东部煤田构造区域、西部煤田构造区域; ②两条东西向一级构造带(阴山-燕山复合造山带、昆仑-秦岭复合造山带)与南北向一级构造带组合分划的五大赋煤构造区: 东北赋煤构造区、华北赋煤构造区、西北赋煤构造区、华南赋煤构造区、滇藏赋煤构造区; ③北北东向重力梯度带表征的大兴安岭-太行山-武陵山构造带与贺兰山-龙门山南北向构造带分划的三大煤系变形带: 东部复合变形带、中部过渡变形带、西部挤压变形带。

(3) 划分煤盆地构造类型, 总结煤田构造格局形成和演化的阶段性。从煤盆地基底属性、盆地形态、盆地规模、地球动力学环境、成煤作用、盆地演化和煤系变形等角度, 提出煤盆地构造类型划分方案, 划分了五大赋煤区主要成煤盆地的构造类型, 研究了主要成煤期古构造格局及其对成煤盆地发育的控制作用。提出成煤盆地—构造变动—赋煤单元的观点, 从原型成煤盆地经历多旋回构造变动、分解破坏、反转叠合, 形成不同级别赋煤构造单元的思路, 恢复煤田构造演化历程, 揭示煤田构造成因机制。

(4) 采用当前构造样式研究的主流方案——地球动力学分类, 在综合省级煤炭资源潜力评价成果的基础上, 建立和完善控煤构造样式划分方案, 包括伸展构造样式、压缩构造样式、剪切和旋转构造样式、反转构造样式、滑动构造样式、同沉积构造样式六大类。总结了各赋煤构造区的控煤构造样式类型与分布特征, 结合典型实例, 分析了煤田构造样式对煤炭资源赋存状况的控制作用。

本书是在“中国煤田构造格局与构造控煤作用研究”专题成果基础上加工凝练而成。曹代勇担任主编, 各章节的撰写分工如下: 前言由曹代勇撰写, 第一章由曹代勇、宁树正、魏迎春撰写, 第二章由曹代勇、宁树正、郭爱军、李焕同撰写, 第三章由郭爱军、刘恩奇、李恒、姚征、袁远、林燕华、魏永超撰写, 第四章由刘亢、张路锁、林中月、张继坤、郑志红、张品刚撰写, 第五章由陈利敏、王佟、占文锋、孙红波、孙军飞撰写, 第六章由李焕同、刘登、李小明、李建、张森、陶志刚、林亮撰写, 第七章由谭节庆、宋时雨、石显耀、马志凯、高科飞撰写, 第八章由曹代勇、郭爱军、李焕同、魏迎春撰写。刘德民博士、王信国博士、李靖博士, 徐浩和王安民博士研究生, 王林杰硕士、李友飞硕士、夏永翊硕士、邓觉梅硕士、蒋艾林硕士、朱利岗硕士, 本科生豆旭谦、朱学申、赵冠楠、刘经纬、夏加国、黄赛鹏、秦思伟、蔡飞飞、周肖贝、俞方楠、成亮、侯阳、刘新超、万红军、李根林等参加了课题研究工作, 研究生杨承伟、彭扬文和贾煦清绘了部分图件。

“中国煤田构造格局与构造控煤作用研究”专题成果是在全国各省(自治区、直辖市)煤炭资源潜力评价工作基础上完成的, 是参加煤炭资源潜力评价数百名技术人员的共同工作成果, 更是半个多世纪以来我国几代煤田地质工作者长期实践的体现。专题研究得到全国煤炭资源潜力评价项目负责单位中国煤炭地质总局及各省(自治区、直辖市)承担单位领导和技术人员的支持, 项目负责人程爱国教授级高级工程师和项目办公

室袁同兴教授级高级工程师给予了具体指导。与项目汇总组主要成员中国煤炭地质总局第一勘探局的刘占勇教授级高级工程师、宋洪柱高级工程师、王景山高级工程师、罗荣贵高级工程师，中国煤炭地质总局航测遥感局煤航张贵涛工程师，以及“中国煤炭资源赋存规律研究”其他三个专题负责人中国矿业大学（北京）邵龙义教授、唐跃刚教授、马施民副教授的相互配合、密切合作和经常性的研讨，对研究工作的顺利开展起到至关重要的作用。

感谢中国矿业大学王桂梁教授的关心和指导，感谢中国地质大学（北京）张长厚教授和唐书恒教授，中国科学院大学侯泉林教授和琚宜文教授，中国石油大学（北京）周建勋教授和童亨茂教授，中国矿业大学姜波教授，中国石油天然气集团公司（以下简称“中石油”）新疆油田勘探开发研究院郑孟林研究员，中国科学院青藏高原研究所何建坤研究员，中国煤炭地质总局吴国强教授级高级工程师，中联煤层气有限责任公司张守仁高级工程师，中国矿业大学（北京）彭苏萍院士、武强院士、胡社荣教授、孟召平教授、赵峰华教授、刘钦甫教授、罗红玲副教授、方家虎副教授、鲁静副教授等专家学者在专题研究、人才培养、评审验收过程中给予的指导和帮助。

本书参考了大量的各省（区、直辖市）煤炭资源潜力评价资料，在此向全国煤炭资源潜力评价项目及其省级课题有关技术人员表示感谢。

借本书出版之际，作者感谢曾给予支持和帮助的所有单位和个人！

目 录

前言

第一章 煤田构造研究现状与发展趋势	1
第一节 煤田构造研究思路	1
第二节 煤田构造研究简史	3
第三节 我国煤田构造研究取得的主要进展	4
第四节 我国煤田构造研究的发展趋势	7
第二章 中国煤田构造格局	9
第一节 煤田构造的地球动力学背景	9
第二节 中国煤田构造基本特征	18
第三节 赋煤构造单元	25
第四节 控煤构造样式	34
第三章 东北赋煤构造区	36
第一节 大地构造背景与煤盆地构造演化	36
第二节 成煤盆地与赋煤构造单元	55
第三节 典型赋煤构造单元	65
第四章 华北赋煤构造区	95
第一节 大地构造背景与煤盆地构造演化	95
第二节 赋煤构造单元划分	116
第三节 典型赋煤构造单元特征	123
第五章 西北赋煤构造区	160
第一节 大地构造背景	160
第二节 含煤地层与煤盆地构造演化	174
第三节 赋煤构造单元与煤田构造特征	204
第六章 华南赋煤构造区	229
第一节 大地构造背景	229
第二节 煤田构造格局	241
第三节 典型赋煤构造单元煤田构造特征	259
第七章 滇藏赋煤构造区	294
第一节 大地构造背景	294
第二节 煤系分布与煤盆地演化	309
第三节 赋煤带单元及其构造特征	331

第八章 煤田构造演化与构造控煤作用	355
第一节 煤盆地类型及其主要成煤期原型盆地	355
第二节 中国煤田构造格局的形成和演化	368
第三节 构造控煤作用与控煤构造样式	371
参考文献	395

第一章 煤田构造研究现状与发展趋势

第一节 煤田构造研究思路

一、煤炭资源潜力评价与煤田构造研究

煤炭是我国的基础能源,充足、可靠的煤炭资源是煤炭工业可持续发展的基础和前提。我国煤炭资源丰富、分布广泛,但是,煤炭资源现状不容乐观,数量和品种分布不均,经济可采储量少,资源保障程度低,煤田地质工作深度和广度区域性差异明显。

“十一五”期间启动的“全国煤炭资源潜力评价”是国土资源部重大项目“全国矿产资源潜力评价”的主要课题之一,其总体目标是:在摸清我国煤炭资源现状的基础上,充分应用现代矿产资源预测评价的理论方法、以地理信息系统(GIS)评价为核心的多种技术手段、多种地学信息集成研究方法,以聚煤规律和构造控煤作用研究为切入点,对我国煤炭资源潜力开展科学预测,对其勘查开发前景做出综合评价,提出煤炭资源勘查近期及中长期部署建议及方案;为我国煤炭工业乃至能源工业、国民经济的可持续发展宏观决策提供动态的资源数据和科学的依据(程爱国等,2010)。

中国大陆是由若干个稳定地块和活动带镶嵌而成的复式大陆,稳定地块规模小、刚性程度低、构造演化复杂、盖层变形强烈(马文璞,1992;万天丰,2011;车自成等,2012),与发育于单式大陆的北美、欧洲煤田相比,中国煤盆地经历的地质演化历史要复杂得多。中国煤田构造显著时空差异性造成煤炭资源赋存的复杂性,煤田构造研究就成为煤炭资源潜力评价的基础工作和核心内容之一(Cao et al., 2012; 曹代勇等, 2013)。

二、研究思路

煤炭资源潜力评价(又称为煤田预测)以煤层的现今赋存状态为依据,而后者是煤矿床的聚集作用(成煤作用)与煤矿床的改造作用(构造变形)的综合结果。构造作用是控制煤系和煤层形成、形变和赋存的首要地质因素(Bulter et al., 1988; 黄克兴和夏成玉, 1991; 曹代勇等, 1999; Warwick et al., 2005)。地壳运动形成的构造拗陷为成煤作用提供了适宜的场所;成煤期的区域构造和盆内同沉积构造影响富煤带的展布,构造作用对古气候、古植物和古地理条件的控制决定成煤作用的兴衰;成煤期后的褶皱和断裂作用破坏了煤盆地的完整性,将其分割为大小不等的含煤块段。构造变动对煤矿床的改造,不仅决定了找煤方向,还决定了勘查和开发的难度;在煤炭资源评价和开发工作中,煤田构造研究是一项贯穿始终的重要地质任务。

煤炭资源潜力评价构造专题研究的目的是任务是:以板块构造和大陆动力学理论为指导,运用构造学和煤田地质学研究方法,以省级煤炭资源潜力评价项目煤田构造研究

成果为基础,在全国层面上加以深化提高;从构造形态和展布规律入手,加强构造成因和构造演化分析,通过综合分析和专题编图,揭示区域构造背景对煤炭资源赋存状况的控制机理,系统总结我国煤田构造的时空发育规律,划分赋煤构造单元,恢复煤盆地构造演化历史,完善控煤构造样式划分方案,建立构造控煤模式,为煤炭资源潜力评价提供科学依据。

三、研究内容

(一) 区域地质背景

煤田构造是区域地质格局中的一个有机组成部分,地壳浅部的含煤岩系赋存状况与深部物质运动之间存在密切的内在联系,因此,为了全面、深入认识含煤岩系的形成模式、发展演化和赋存规律,必须加强区域地质背景研究。通过广泛收集和综合分析区域地质、地球物理、遥感资料,有重点地进行野外地质调查,研究区域构造格局、地球物理场及深部构造、构造-热演化史,探讨区域地质条件对煤炭资源赋存的控制。

(二) 构造形态和展布规律

煤炭资源潜力及其勘查开发前景,取决于聚煤环境等原生成煤条件和构造-热演化等后期保存条件综合作用,尤其是煤系和煤层的现今赋存状况。因此,煤炭资源潜力评价中的煤田构造研究的首要任务,是查明煤田构造的形态特征和空间展布规律,划分赋煤构造单元,为预测找煤提供地质依据。具体研究内容包括对煤田构造格局及其分区带特征,控煤断层性质、方向、规模,煤田褶皱形态,褶皱与断裂的关系等开展深入研究,编制煤田构造纲要图、煤田构造剖面图,开展构造要素的统计分析等基础性工作。

(三) 构造成因和构造演化

煤田构造研究要知其然——查清构造形态,还要知其所以然——阐明构造成因;只有在阐明构造成因的基础上,才能更好地认识构造要素的组合规律、形成和演化过程。煤田构造成因的正确解释,依据运动学分析、动力学分析、构造环境分析和发展演化分析等方面,应注重有针对性地采用各种测试分析和模拟实验等先进技术手段。由于我国地质构造格局和构造演化的复杂性,现今保存的绝大多数煤盆地属构造盆地,而非成煤原型盆地。成盆后多期性质、方向、强度不同的构造运动,使不同时期形成的不同类型的成煤盆地遭受不同程度的改造,盆地分解破坏、叠合反转,充填其中的煤系和煤层发生不同程度的变形、变位、变质作用,被分割为大小不一、埋深不等的赋煤块段,即个级赋煤构造单元。煤田构造演化分析的目的就是要重塑煤盆地的形成、破坏、改造过程,为煤系赋存的构造控制分析提供理论依据。

(四) 构造控煤作用

煤田地质构造研究的最终目的,是查明构造格局和构造演化对煤系和煤层现今赋存状态的控制,建立合理的构造模式,进行构造预测,为资源评价勘查和开发服务。广义

的构造控煤研究包括构造作用过程和构造变形结果对煤矿床形成和保存的控制,狭义的构造控煤作用主要指构造形态对煤的聚集和赋存的控制。对找煤靶区选择而言,构造形态对煤层赋存的控制起决定性作用,因此,本部分的主要工作是划分控煤构造样式。控煤构造样式概念的引入,为构造控煤研究提供了可操作途径。

第二节 煤田构造研究简史

一、国际上煤田构造研究

由于美国、苏联、澳大利亚等主要产煤国的煤田构造地质条件相对较简单,相对于成煤古地理和煤系层序地层学取得的巨大进展,国际上煤田构造研究的系统成果不多,20世纪以来具有代表性的进展主要表现在以下几方面。

(1) 成煤作用和煤盆地构造演化的大地构造控制。以苏联煤地质学家为代表,20世纪早、中期开始研究含煤建造与地槽、地台演化的关系,Тимофеев等(1979)的著作《苏联境内煤聚积的演化》较系统总结了苏联煤地质学研究中各学派的成果,提出了基于槽台学说的煤盆地构造成因分类。80年代早期,从板块构造角度对煤盆地的研究主要局限于大陆边缘煤盆地,如Herbert和Helby(1980)对晚古生代冈瓦纳大陆东缘悉尼煤盆地的研究、Weimer(1982)对美国西部中生代煤盆地的研究及相原安津夫(1980)对日本新生代煤田构造和煤盆地的研究(杨起等,1987)。80年代中期以来,从板块构造角度对沉积盆地形成和演化的研究日趋深入,Bulter等(1988)讨论了全球板块格局和板块运动对古气候、古地理及成煤植物分布的控制,从而将全球煤盆地的成因与板块构造体制联系起来。

(2) 成煤期构造和煤盆地构造演化。构造控制煤聚集的重要性日益被人们所认识,20世纪50年代以来,苏联、美国、澳大利亚等主要产煤国的学者在此方面发表了一系列成果(杨起,1987),Lyons和Rice(1986)出版了构造对含煤盆地的控制作用研究专辑,美国学者Warwick等(2005)提出了煤系统(coal system)的概念,把盆地构造作为对煤聚集、保存-埋藏的控制因素之一。

(3) 矿井构造与构造预测。地质构造对煤矿生产的影响也是国外煤地质学家关注的问题之一,德国Adler等(1976)提出的“构造力学解析法”(赵明鹏,1996),苏联学者采用小构造要素和煤质参数数理统计方法对矿井构造的预测,Stone和Cook(1979)、Hower和Davis(1981)、Bustin等(1986)及Levine和Davis(1989)对煤镜质组反射率各向异性与古构造应力场关系的研究,为煤田构造分析提供了一种新手段。

二、我国煤田构造研究历程

我国煤田地质条件的复杂性使煤田构造研究一直是煤田地质学的主要组成部分,早在20世纪上半叶,伴随着我国煤炭地质工作的起步,李四光、黄汲清、谢家荣、王竹泉等老

一辈地质学家都不同程度地涉及煤田地质构造研究工作(中国煤田地质总局, 1993)。

新中国成立以后, 随着国家经济建设的迅速发展, 我国煤田地质勘查队伍从无到有、由小到大, 科学研究也得以全面开展, 该阶段的显著特点是苏联所推崇的槽台学说在我国煤田地质研究中占据主导地位。我国煤田地质工作者引进和学习苏联的地质理论和研究方法, 应用于大规模的找煤勘查实践, 尤其是结合 20 世纪 50 年代后期第一次全国煤田预测, 对我国煤田地质特征开展了全面研究, 主要成果反映在由原北京矿业学院煤田地质系(1961)编写的第一部《中国煤田地质学》中。

地质力学在 20 世纪 60 年代后期至 70 年代达到鼎盛时期, 并在煤田地质工作中得到全面推广应用。地质力学强调以现场研究为基础、野外调查与室内分析相结合等原则, 使煤田构造研究得以直接面向地质勘查和煤矿生产。70 年代中、后期开展的第二次全国煤田预测以地质力学为指导, 初步总结了我国煤田构造的基本特征, 主要成果反映在《中国煤田地质学》(杨起和韩德馨, 1979; 韩德馨和杨起, 1980)和由武汉地质学院煤田地质教研室(1979, 1981)编著的《煤田地质学》(上册、下册)两部专著中。

20 世纪 80 年代以来, 随着改革开放的深入, 我国煤田地质领域空前活跃, 地质力学、地洼学说、多旋回理论、断块学说等我国地质学家创立的构造地质理论在煤田地质领域内广泛实践(王熙真等, 1992; 童玉明等, 1994), 同时, 板块构造学说逐渐成为我国煤田构造理论的主流。我国煤田地质工作者运用活动论思想, 研究各主要成煤期的古构造和成煤盆地演化, 煤田滑脱构造研究、构造控煤概念的发展等重要进展, 逐步深化了对中国煤田地质构造特征的认识(Kao, 1987; 李思田, 1988; 王文杰和王信, 1993; 王仁农等, 1998; 毛节华和许惠龙, 1999)。

进入 21 世纪, 随着我国国民经济快速发展, 对煤炭需求高速增长, 煤炭资源地质勘查以前所未有的广度和速度展开。相应地, 我国煤田地质研究开始一个新的历史发展时期(张泓等, 2010), 煤田地质构造研究思路和研究方法体系基本形成(曹代勇, 2006), 煤田构造研究进入稳定发展阶段。尤其是 2007 年以来开展的新一轮煤炭资源潜力评价, 掀起了继 20 世纪 80 年代中期至 90 年代早期以来的又一次煤田构造研究热潮(程爱国等, 2010; Cao et al., 2012)。

第三节 我国煤田构造研究取得的主要进展

一、煤田构造区域地质背景研究广度和深度增加

煤田构造是区域构造格架中的一个有机组成部分, 地壳浅部的构造变形与深部物质运动和结构构造之间存在密切的内在联系, 因此, 为了全面深入认识煤田构造的分布规律、成因机制和演化历史, 必须加强区域构造背景研究, 从大陆动力学和盆-山耦合角度探讨煤盆地的形成和演化进程。

盆-山耦合关系是当前大陆动力学和盆地动力学研究的热点(Liu, 1998; 王桂梁

等, 2007; 琚宜文等, 2008; 李思田, 2015), 将煤盆地放在区域大地构造格架中, 开展盆山在空间上相互依存、在物质上相互转换、盆地沉降与山脉隆升耦合作用对煤层形成和改造的动力学过程研究, 成为当前煤田构造研究的重要内容(王桂梁等, 2007; 琚宜文等, 2008)。板块构造背景作为沉积盆地分类的理论基础(Beaumont et al., 1987; de Celles and Giles, 1996), 取得了巨大的成功, 但许多动力学过程并没有解决, 特别是发生在大陆范围的动力学过程。2007年出版的《中国北部能源盆地构造》(王桂梁等, 2007)是近年来中国煤田构造研究方面最重要的学术专著, 在系统总结中国大陆非稳态特征与动力学机制及中国北部能源盆地叠加、复合和盆-山耦合特征的基础上, 着重论述了中国北部能源盆地的构造背景、特征、形成和演化及盆地构造对化石能源赋存的构造作用, 并进一步讨论了盆地形成的区域动力学背景和深部作用机制。

二、煤田滑脱构造研究取得重大突破

20世纪70年代中期以来, 国际上兴起的逆冲推覆构造研究热潮及80年代的伸展(滑覆)构造的研究(McClay et al., 1981; Wernicke, 1982; 马杏垣和索书田, 1984), 被视为板块构造理论成功应用于大陆地质的标志。滑脱构造泛指地质体沿(近)水平断裂带(滑脱带)运动所形成的构造组合, 这是一个描述性术语, 强调滑脱面上、下变形的差异; 通常包括逆冲推覆、伸展滑覆和重力滑动等构造类型(王桂梁等, 1992)。滑脱构造的基本要素是构成滑脱拆离的低强度、高应变软弱层, 地壳岩石圈内不同层次的物性界面和软弱层位都是发生构造滑脱的有利部位。地壳上部的沉积盖层和含煤岩系具有软硬岩层相间、成层性好的特点, 尤其是其中低强度、高塑性的煤层更是良好的滑脱层位, 沉积盖层和含煤岩系中滑脱构造发育的普遍性已日益被地质工作者所认识。

20世纪80年代中期以来, 以河南省煤田地质勘探公司承担的“河南芦店滑动构造研究”(1985年)和福建省煤田地质勘探公司承担的“闽西南二叠纪含煤区缓倾角断裂研究”(1986年)两课题为开端, 煤田滑脱构造研究工作在太行山—武夷山以东的广大地区大规模展开。由中国煤田地质总局组织, 中国矿业大学和相关省(区)煤田地质局参加, 对中国煤田滑脱构造进行了广泛、深入的研究, 对多样化的煤田滑脱构造进行了系统分类, 建立了包括“推、滑”叠加型滑脱构造在内的若干典型构造模式, 丰富发展了滑脱构造理论和我国煤田构造理论(王桂梁等, 1992; 王文杰和王信, 1993), 在我国东部, 尤其是南方构造复杂区, 开辟了新的找煤方向。

三、煤盆地构造分析研究不断深入

煤盆地构造分析一直是煤田构造研究的核心内容之一。板块构造研究, 尤其是板内构造研究的进展, 促使盆地构造分析上升到新的高度, 得以将煤盆地放到板块构造的统一格局之中, 从大陆动力学角度研究盆地的形成、分布及其演化(李思田等, 1987; 杨起等, 1987; 李思田, 1988, 2015; Bulter et al., 1988)。20世纪80年代后期以来, 深入研究了中国大陆动力作用对煤盆地演化的制约关系和控煤规律, 分别从煤盆地构造

演化(王仁农等, 1998)、板块构造格局(莽东鸿等, 1994)和地洼学说(童玉明等, 1994)等角度提出中国煤盆地分类。

盆地构造动力直接控制着盆地各种地质作用的发生和盆地类型及其演化(Ingersoll et al., 1995; 刘池洋, 2004; 刘池洋等, 2015), 进而制约煤矿床赋存状况。我国的煤盆地具有复杂的构造-热演化史, 尤其是东部的晚古生代煤盆地, 经历了不同期次、不同性质构造作用的叠加和改造(莽东鸿等, 1994), 发生不均衡抬升、翘倾、深埋、变形和复合改造(王桂梁等, 2007)。例如, 华北东部晚古生代含煤盆地经受了由挤压向伸展构造体制的转折, 对不同构造体制下煤矿床的改制和就位模式产生重要影响(潘结南等, 2008)。基于中国东部中生代两大构造体制的转换作用及岩石圈减薄机制的研究成果, 探讨不同时期、不同体制下构造作用对煤盆地演化和煤系改造的控制作用, 受到人们的关注。

四、构造控煤作用概念的发展

在我国煤田地质界, “构造控煤”术语的提出和使用由来已久, 但其含义长期并不明确, 这是由当时构造控煤研究水平所决定的。通常, 狭义的构造控煤是指构造形迹或构造变动对煤层形成和赋存的控制作用。我国煤田地质学家早已认识到基底构造对成煤作用的控制、成煤期同沉积构造对富煤带的控制及成煤期后构造变动对煤系和煤层赋存的控制(韩德馨和杨起, 1980)。20世纪80年代以来, 在构造控制煤矿床赋存状况的研究方面取得较大进展, 相继对伸展掀斜、重力滑动、逆冲推覆等控煤构造形式进行了深入研究(高文泰等, 1986; 王桂梁等, 1992; 王文杰和王信, 1993)。黄克兴和夏玉成(1991)认为, 构造控煤的含义较广, 泛指构造作用对煤的聚集和赋存的控制关系。构造控煤研究的主要内容应包括三个方面, 即成煤作用的构造控制、改造作用的构造控制及赋煤状态的构造控制。构造控煤概念的完善大大密切了构造地质学与煤田地质学之间的联系。

从煤炭资源开发利用的角度, 我们尤为重视构造形迹或构造变动对煤系与煤层赋存状况的控制, 新一轮煤炭资源潜力评价工作从预测找煤的需要出发, 提出控煤构造样式概念, 强调构造样式对煤系和煤层的现今赋存状况的控制(曹代勇, 2007)。以地球动力学特征为依据, 建立了控煤构造样式划分方案, 将中国控煤构造样式归纳为伸展构造样式、压缩构造样式、剪切和旋转构造样式、反转构造样式、滑动构造样式和同沉积构造样式六大类。控煤构造样式的厘定, 为构造控煤研究提供了可操作的途径, 对指导煤炭资源评价和煤炭地质勘查实践具有重要意义。

五、我国煤田构造格局的空间差异性广受关注

我国大陆是由若干个稳定地块和活动带镶嵌而成的复合大陆, 稳定地块规模小、刚性程度低、盖层变形强烈。受我国大地构造背景的控制, 我国煤炭资源赋存和煤田构造格局的鲜明特点, 是显著的时空差异性, 具有复杂而有序的分区、分带特征。我国煤田地质工作者历来十分重视对煤炭资源赋存特征的时空差异性研究, 以成煤条件和构造背景为主线, 进行煤炭资源赋存区划(韩德馨和杨起, 1980)。通过长期生产实践和科研

实践,尤其是20世纪70年代后期以来开展的数次全国性的煤田预测,建立了赋煤区、含煤区、煤田或煤产地、勘探区(井田)或预测区四级区划方案,将全国划分五大赋煤区、84个含煤区(毛节华和许惠龙,1999)。上述赋煤区划体现了煤炭资源现今赋存状况,也间接反映了煤田构造格局的空面展布特征。20世纪90年代后期,在第三次全国煤田预测工作基础上,进一步提出煤系变形分区概念,初步总结了五大赋煤区煤系变形的基本特征(曹代勇等,1998,1999)。

新一轮全国煤炭资源潜力评价工作中,在赋煤单元研究成果基础上,提出赋煤构造单元的概念,用以刻画煤田构造的展布规律及其对煤炭资源赋存的控制作用(曹代勇等,2013)。赋煤构造单元概念的提出和应用,在构造单元(大地构造属性)和赋煤单元(煤系分布)之间建立起了桥梁,体现了我国煤炭资源赋存规律的基本特点,可以为煤炭资源潜力评价和勘查开发提供科学依据。

六、煤田构造综合研究方法和高精度探测技术推广应用

20世纪90年代以来,我国煤田构造研究方法和技术手段的发展,逐步形成一套完整的技术方法体系(钱光谟等,1994;曹代勇,2006),可概括为:以野外观测和地质制图为基础,宏观与微观相结合、局部与区域相结合、浅部与深部相结合、定性定量相结合、地质与物探相结合,多学科、多尺度、多层次、全方位综合研究。80年代末以来,通过引进千米深钻和高分辨数字地震勘探技术,使我国煤田勘查水平有了很大提高。进入21世纪以来,在三维三分量地震勘探技术、振幅随偏移距变化(AVO)的反演技术研究方面进行了大量探索,推动三维地震勘探技术在全国广泛应用,开拓了煤矿构造精细探测的可行途径。

七、矿井构造预测与定量评价成为煤田构造研究的生长点

随着我国煤炭工业发展,地质工作重点由资源勘查阶段向矿井生产阶段转移,矿井构造研究已成为煤炭地质领域最具活力的生长点之一。采区三维地震勘探技术和井下综合物探技术大大提高了构造定位探测精度。矿井构造规律研究从定性描述逐步发展到定量分析,数理统计、模糊综合评判、灰色系统理论、岩石力学及构造应力场分析等已得到较为广泛的应用,形成了构造要素统计分析、构造形态空间分析和构造复杂程度综合评价的研究思路。地质构造三维建模与可视化、矿井构造定量评价信息系统、FLAC软件等数值模拟等新技术的应用,在研究煤矿构造成因与展布、断裂导水性、煤与瓦斯突出等动力灾害方面发挥越来越重要的作用。

第四节 我国煤田构造研究的发展趋势

一、面临的问题

回顾我国煤田构造地质学的研究,在煤田滑脱构造、煤盆地构造分析、构造控煤样

式、矿井构造定量研究等方面已形成鲜明特色,新技术手段应用等方面也取得显著进展。但是,就学科总体而言,我国煤田构造研究与当代构造地质研究先进水平相比,还存在较大的差距。

(1) 煤田构造基础理论方面的研究较薄弱,自20世纪80~90年代煤田滑脱构造研究取得重大突破以来,我国煤田构造基础理论研究少有实质性进展。

(2) 煤田构造研究与国内外的交流和学科交叉与综合集成研究少,与当代地质科学理论的结合较少,对基础地质研究成果的利用不足。

(3) 现有的大地构造分区方案大都侧重于造山系的划分,对盆地区的构造分区不够详细,难以满足煤炭资源评价和勘查工作的需要。

(4) 煤田构造研究领域自主创新的能力较弱,模仿性研究多,针对我国煤田地质实际的独创性成果少。

(5) 20世纪90年代以来,基层单位技术人才流失严重,科研院校煤田构造研究的高层次专业人才缺少,导致煤田构造研究整体实力有所下降,难出高水平的成果。

(6) 总体说来,当前我国煤田构造理论研究水平和技术手段与生产实践需求尚不相适应,还不能满足煤炭资源评价、勘查和开发保障的要求。

二、发展趋势

我国煤田地质构造的复杂性决定了构造研究在煤炭勘查和开发中的重要作用,在今后若干年内,我国煤田构造研究将紧密追踪当代地质科技进展、围绕国家经济建设需要,调整和拓宽自身研究领域。

(1) 地球系统科学、大陆动力学等当代地学理论为煤田构造研究注入新的活力,运用当代地质科学理论加强煤田构造研究,将逐步完善和发展反映我国地质特色的煤田构造学科体系。

(2) 煤田构造研究领域与基础构造地质、油气盆地构造、矿田构造研究之间的交叉和渗透,促进煤田构造研究领域不断拓展深化。

(3) 先进技术手段为煤田构造研究提供强有力的工具,高分辨遥感技术、高精度物探技术、先进测试分析技术和信息技术的推广应用,将极大提高煤田构造研究的广度和深度。

(4) 煤田构造研究的重点将进一步转向为生产服务,以综合研究为核心的煤田构造研究方法体系将不断完善。

(5) 新一轮煤炭资源潜力评价提出的攻深(东部深层)、找难(赋煤条件复杂)、查新(新区域和新层位)目标,为煤田构造研究开拓了新领域。

(6) 煤层气、页岩气、致密砂岩气等与煤盆地相关的非常规能源矿产,以及煤系矿产资源综合调查评价和开发热潮的兴起,将为煤田构造研究带来新的发展机遇。