

教育部、财政部首批特色专业建设(TS2307)教材
矿产(能源)资源勘查工程国家级教学团队建设基金资助教材

煤田地质学

MEITIAN DIZHIXUE
JIANMING JIAOCHENG

简明教程

主 编 王 华 严德天



教育部、财政部首批特色专业建设(TS2307)教材
矿产(能源)资源勘查工程国家级教学团队建设基金资助教材

煤田地质学简明教程

主 编 王 华 严德天
编 者 焦养泉 庄新国 李绍虎
甘华军 王小明 吴立群
汪小妹 李 晶 荣 辉
黄传炎 陈 思 刘恩涛

内 容 简 介

我国的能源结构中,煤占重要的位置,成为我国现代化建设的物质基础。当代煤炭工业突飞猛进,有力地推进了煤田地质学的新发展。煤田地质学是研究煤的成因及其在地壳中聚集分布规律的科学,它是在吸收世界各国煤田地质工作科学成就和实践地质成果的基础上形成和发展起来的。

全书共分10章,系统阐述了聚煤盆地构造与含煤沉积古地理、含煤岩系沉积学与煤(泥炭)的堆积作用、煤岩学、煤地球化学、含煤岩系变形作用与煤田构造、聚煤盆地热演化与煤的变质作用以及煤资源勘查技术与方法等内容,并概述了全球煤炭资源分布以及含煤岩系共伴生矿产的一般特征。同时,扼要反映了国内外煤田地质学领域的新知识和理论。本书可作为高等院校煤田地质相关专业的教学参考书,也适合于从事煤田地质学科研与教学的科技人员和煤田地质工作者学习参考。我们希望本书在促进我国煤田地质工作和培养技术人才方面起到积极的作用。

图书在版编目(CIP)数据

煤田地质学简明教程 / 王华, 严德天主编. — 武汉: 中国地质大学出版社, 2015.9

ISBN 978-7-5625-3716-8

I. ①煤…

II. ①王… ②严…

III. ①煤田地质—高等学校—教材

IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 222760 号

煤田地质学简明教程

王 华 严德天 主编

责任编辑: 陈 琪 张晓红

选题策划: 毕克成

责任校对: 张咏梅

出版发行: 中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码: 430074

电话: (027) 67883511

传真: 67883580

E-mail: cbb@cug.cn

经 销: 全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字数: 448千字 印张: 17.5

版 次: 2015年9月第1版

印次: 2015年9月第1次印刷

印 刷: 武汉籍缘印刷厂

印数: 1—1000册

ISBN 978-7-5625-3716-8

定价: 45.00元

<<<<< 前言

我国煤炭资源丰富,已探明的煤炭资源储量高达 $13\,412 \times 10^8 \text{t}$ 。2013年我国煤炭产量和消费量分别为 $37 \times 10^8 \text{t}$ 和 $36.1 \times 10^8 \text{t}$,是世界第一大产煤国和消费国。煤炭工业的发展依赖于煤田地质科学的进步。现在的煤田地质研究工作是全方位的,既服务于勘探,又服务于煤的合理利用和环境保护。一方面要继续寻找隐伏煤田,为经济的可持续发展提供后备储量,另一方面又要解决煤的合理利用和由此引起的环境污染问题。因此,煤田地质技术人员掌握扎实的地质理论基础和相应的专业技能,在能源勘探与环境保护中发挥指导作用,是非常必要的。

自20世纪50年代我国高等院校建立煤田地质专业以来,煤田地质学一直密切地联系着煤炭生产的需要。经过几代煤田地质工作者在生产、科研、教学中长期的努力,形成了我们现有的学科体系和丰富的学科内容及特有的研究方法。

本书系统阐述了成煤作用、含煤岩系沉积学、煤岩学、煤地球化学、煤田构造和煤资源勘查技术等内容,并介绍了煤炭资源分布和含煤岩系共生矿产的一般特征。编者根据教学需要,在大量资料的基础上删繁就简,系统阐明了煤田地质学的基础理论和基本研究方法。本书章节设置目的明确,着眼于使学生具有扎实的理论基础,具有解决问题的能力,同时反映了煤地质领域的最新成果。本书编写过程中广泛收集了同行意见,进行了有关内容的补充、修改和完善。

本书由王华、严德天担任主编。编写分工是:前言由王华编写;第一章由王华、严德天、刘恩涛编写;第二章由王华、黄传炎、陈思编写;第三章由焦养泉、吴立群编写;第四章由李绍虎编写;第五章由甘华军、庄新国编写;第六章由王小明编写;第七章由甘华军、严德天编写;第八章由王小明、严德天编写;第九章由庄新国、李晶编写;第十章由焦养泉、汪小妹、荣辉编写。全书由王华、严德天统稿。

本书编写过程中大量应用了编写组近期的研究成果,同时参考了原武汉地质学院煤田教研室编写的《煤田地质学》、杨起院士主编的《煤地质学进展》、李增学教授主编的《煤地质学》等众多著作,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中遗漏和不足在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2015年9月

<<<<< 目 录

第一章 绪 论

- 第一节 煤田地质学发展简史..... 1
- 第二节 煤田地质学的研究领域..... 3
- 第三节 煤田地质学研究进展..... 3
- 第四节 煤的使用范围..... 7
- 第五节 煤田地质学学科框架体系..... 8

第二章 聚煤古构造、古地理背景及其与富煤带的关系

- 第一节 聚煤盆地..... 10
- 第二节 聚煤盆地构造..... 14
- 第三节 含煤沉积古地理..... 22
- 第四节 聚煤规律研究..... 26

第三章 含煤岩系沉积学及煤（泥炭）的堆积作用

- 第一节 含煤岩系概述..... 29
- 第二节 成煤的原始物质..... 32
- 第三节 煤（泥炭）的堆积环境..... 35

第四章 煤岩学基础

- 第一节 煤岩学概述..... 49
- 第二节 煤及成煤作用..... 50
- 第三节 煤的显微组分..... 50
- 第四节 腐植煤的岩石类型..... 65

● 第五节 煤的若干物理性质·····	70
● 第六节 煤的结构构造·····	77

第五章 煤地球化学

● 第一节 煤地球化学概述·····	79
● 第二节 煤中主要有机质地球化学特征·····	82
● 第三节 煤成气地球化学·····	94
● 第四节 煤中微量元素地球化学·····	106

第六章 含煤岩系变形作用和煤田构造

● 第一节 含煤岩系赋存的构造特征·····	118
● 第二节 构造体系对含煤岩系变形和赋存的控制作用·····	126
● 第三节 煤层形变·····	131

第七章 聚煤盆地热演化与煤的变质作用

● 第一节 聚煤盆地热特征及热演化·····	139
● 第二节 煤化作用·····	146

第八章 煤资源勘查技术与方法

● 第一节 煤炭资源勘查常用技术·····	159
● 第二节 煤炭资源勘查的煤层对比方法·····	162

第九章 全球和我国煤炭资源概述

● 第一节 全球的煤炭资源概述	189
● 第二节 我国煤炭资源概述	194
● 第三节 中国石炭纪—二叠纪聚煤作用	196
● 第四节 中国中生代聚煤作用	210
● 第五节 中国新生代聚煤作用	226

第十章 含煤岩系共伴生矿产

● 第一节 概 述	233
● 第二节 锗 煤	235
● 第三节 油页岩	237
● 第四节 煤层气	242
● 第五节 页岩气	246
● 第六节 含煤岩系高岭岩(土)矿床	249
● 第七节 铝土矿	251

图版	254
----	-----

主要参考文献	260
--------	-----

第一章 绪论

中国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一,储量大,分布广,煤种齐全,开发条件好。截至2010年底,全国煤炭保有查明资源储量 $13\,412\times 10^8\text{t}$ 。煤炭资源量占化石能源的95%以上,探明煤炭资源量占化石能源的90%以上;我国煤炭资源的潜在价值是石油和天然气潜在价值总和的60倍。几十年来,煤炭在我国能源消费构成中一直占70%以上的比重。在相当长的时期内,煤炭在我国能源消费结构中的主导地位不会发生根本改变。因此,从事煤地质研究和勘探开发是一项光荣而伟大的工作。

第一节 煤田地质学发展简史

煤田地质学是研究煤炭资源地质的科学。它是在18世纪以后,伴随着工业化的变革及能源利用的第一次变革发展起来的。18世纪后半叶,蒸汽机的广泛应用带来了工业革命,促进了煤炭资源需求的增加。为了寻找煤炭及其他各种矿产资源,欧洲的许多先进国家相继成立了地质调查机构,发展了专门的地质科学。伴随着煤炭资源地质工作的发展,学者们对煤田地质的许多问题产生了争论,煤的起源是早期争论得最突出也是最持久的问题,如当时有煤的有机成因说和无机成因说。显微镜的出现带来了地球科学的深刻变化,促进了煤田地质学的发展。1830—1846年,古植物学家尝试将煤制成薄片,在镜下观察,才逐渐肯定了有机成因说的地位。1854年英国发生所谓“炭质油页岩”审判案,对它是否属于煤发生了争论,持续了20年,由于显微镜的应用才取得了科学认识。此外,煤的原地与异地形成说的争论,也都在煤田地质学的萌发时期推动了学科的进展。

19世纪末到20世纪初,由于将电力引入工业社会,冶金技术飞速提高,钢铁生产急剧增加,有机合成工业开始萌芽,世界铁路交通迅速发展,这些都促使社会对煤炭资源的需求急剧增加。当时世界几个发达国家相继开始对鲁尔、南威尔士、顿巴斯、宾夕法尼亚等几个大煤田开展大规模的地质调查与研究,从而加速了煤田地质学的发展。那时煤田地质学家人才辈出,发表了许多有影响的学术成果。例如,1913年西逊(Thiessen)、怀特(White)等发表了《煤的成因》一书;1919年英国的斯托普斯(Stops)划分了4种煤岩成分,并论述了它们之间特征与性质的

区别;1924年德国的波多涅(Potonie)发表了《普通煤岩学概论》,深化了煤田地质学的研究领域,开辟了煤微观研究的独立分支。此时煤田地质学除了偏重于研究煤的成因、性质、煤层变化等问题,还涉及到煤的自然演化、煤层堆积条件、煤变质作用中的希尔特定律等。随着对煤炭研究的深入,初步建立了煤的工业分类、化学分类、岩石分类和成因分类,围绕着含煤岩系的旋回结构层序,深化了煤系沉积学的研究。

我国的煤田地质学萌芽时期大致始自鸦片战争到中国地质学会的成立,即1840—1920年。鸦片战争以后,随着外国资本主义势力的入侵,资本主义国家的地质学家纷纷来华从事地质调查工作,如维里士、庞培里、李希霍芬等。我国富有爱国热忱的学者发奋图强学习西方先进科学。19世纪中叶,若干西方的自然科学著作被翻译介绍到我国,如1872年华蘅芳翻译了莱伊尔著的《地质学原理》,成为近代地质学传入我国的先声。我国著名学者鲁迅与顾琅合编(1906)的《中国矿产志》论述了矿产和矿业问题,并论述了煤炭资源;1910年邝荣光所编绘的《直隶地质图》,首次描绘了石炭纪和侏罗纪含煤地层的分布;1916年叶良辅、刘季晨、谢家荣等地质学者集体调查西山地质,完成了北京西山1:100 000地质图,将石炭纪地层命名为“杨家屯煤系”,将中生代门头沟煤系、九龙山系、髻髻山系定为侏罗系,并在《北京西山地质志》中论述了煤田分布与向斜构造的关系,1920年他们的《北京西山地质志》出版,这是我国第一部区域地质专著;1916年丁文江发表了《论中国煤炭资源》报告。

自20世纪30年代以后,随着煤炭资源作为主要能源的演变,随着地球科学进入现代科学的发展时期,煤田地质学进入了系统发展和成熟阶段。

1922年,中国地质学会的正式成立,标志着地质科学发展进入新的里程碑。首先开展广泛研究的领域是含煤地层的划分、对比及化石种群的研究。李四光、赵亚曾对华北含煤地层的研究,根据纺锤虫和腕足类化石划分了太原系,并确定了本溪系和太原系的界限,为含煤地层的划分及对比提供了科学依据;冯景兰研究了广西罗城煤田,建立了早石炭世“寺门煤系”;袁复礼研究了甘肃西北部早石炭世地层,创立“臭牛沟系”;丁文江、俞建章研究了南方贵州独山地区下石炭世地层,创建了“丰宁系”;斯行健研究了含煤地层植物化石,阐述了各地质时代植物的演进及其环境;潘钟祥研究了陕北中生代植物化石及油页岩地质。

1924年,谭锡畴编绘了北京—济南幅1:1 000 000地质图,并论述了古生代、中生代和新生代煤炭资源及第四纪泥炭分布。许多地质学者纷纷研究我国各地煤田地质,其中翁文灏、谢家荣、侯德封还专门讨论了我国煤田分布规律,并绘制了中国煤田分布图。为研究我国煤田分布规律,不断发现新的煤炭资源,我国地质学者又开拓了煤田地质研究的领域。1936年,翁文灏、金开英提出“加水燃率”指标的煤炭分类法;1929年,谢家荣将德国煤岩研究的观察方法引入我国,提出了对江西乐平煤的新见解。

新中国成立以后开展了大规模的煤田地质工作和区域地质研究,不仅在实践上发现了许多新的煤炭资源产地,而且推动了我国煤田地质学步入蓬勃发展的新阶段。特别是我国开展的两次煤田预测工作,开辟了举国规模的煤田地质研究与实践,使煤田地质学的研究水平进入了近代科学的行列。这一时期区域煤田地质学的研究有了发展,相继出版了《山西煤田地质》(1960)、《辽宁煤田地质》(1962)、《黑龙江煤田地质》(1962)、《陕西省煤田地质图册》(1963)、《湖南省煤田资料汇编》(1974)等许多区域煤田地质著述和文献。在广泛的煤田地质工作实践的基础上,我国曾两次组织高等院校、生产部门、科研单位集体编著了《中国煤田地质学》(1961),系统、全面地阐述了立足于我国实践的煤田地质基础理论和中国煤田地质的基本规律。

第二节 煤田地质学的研究领域

概括地说,煤田地质学是研究煤、煤层及含煤岩系的成因、性质、形成与演化,以及它们在地壳中分布聚集规律的科学。随着地球科学的现代化,煤田地质学的研究领域不断完善和开拓,各个研究方向日益深化,逐渐形成了系统完整的研究体系,具体包括以下研究领域。

1. 煤物理组成和性质研究

根据研究的属性和手段的差别,可分为两个方面:一是将煤作为一种岩石,运用岩石学的研究方法,通过各种物理属性(如不同光性特征等),研究煤的物理组成和类型;另一种是借助化学属性,运用化学分析的方法,研究煤的有机和无机组分的化学工艺特征与组成,研究煤质特征及工业利用评价等,从而逐渐形成若干独立的学科,如煤岩学、煤化学、煤工艺学、煤质学、煤地球化学等。这一领域的研究,正在开拓着充分地利用煤炭资源的新途径。

2. 煤形成作用研究

主要研究由植物转变成煤的成煤作用,研究这一复杂作用不同阶段的特征、条件、影响因素及演变过程,阐明煤形成演变的原因,以及不同成因的煤、不同煤种和煤质的变化规律,为煤质评价和煤种、煤质预测提供科学依据,为探寻和开发煤炭资源新用途服务。

3. 煤层及煤系沉积学研究

煤作为沉积成因的固体可燃有机矿产,首先受到沉积学规律的控制。因此,研究煤、煤层、煤系堆积时的沉积作用、沉积体系特征,阐明不同沉积体系的形成演化对煤的物质组成、煤层和煤系的形成及分布的控制,形成了含煤性预测的基础。

4. 聚煤盆地构造研究

煤层、煤系形成时和形成后的演变,特别是构造控制的研究(即影响形成的古构造和影响形变的后期构造),这些都是含煤性最终预测及评价煤炭资源开发利用的重要问题。聚煤盆地的形成与演化的控制因素中,大地构造因素起主导作用。为了阐明煤在地壳中的聚集分布规律,就必须研究聚煤盆地的特征、类型及其与大地构造的关系,必须对煤层的赋存变化进行构造预测。这些已成为煤田地质学的重要研究内容。

5. 煤在地壳中聚集分布规律研究

聚煤规律研究是当今煤田地质学指导煤炭资源寻找和预测的基础,它运用多学科手段,在区域地质研究的基础上,借助煤盆地分析方法和原理,研究煤在特定地壳中的聚集和分布规律,从而为有效地开展煤田地质工作,对煤炭资源及其开发利用条件的科学预测提供科学依据。

目前,煤田地质学正随着整个地学的变革和发展在改变着自己的面貌。

第三节 煤田地质学研究进展

一、成煤作用的研究进展

1. 陆相成煤作用

传统的成煤作用理论或以往大多数煤地质研究者认为,成煤作用发生在一个水进水退旋回

中的水退期,这一成煤模式的核心思想是聚煤盆地演化具有阶段性,在这一阶段的后期,沉积体系中活动碎屑系统废弃而使盆地范围内大部分或全部沼泽化,进而泥炭沼泽化,在泥炭堆积适宜的区域发生成煤作用且地壳沉降区得以保存的情况下形成煤。可以说,世界上很多煤层都是在水退过程中或者是在近海成煤环境下形成的,海退条件下形成的煤系要求盆地沉降不能停止(Diessel, 1992),而且,要在整个泥炭生成范围内发生沉降,甚至向盆地方向沉降幅度更大。因此,这将导致滨海平原洼地的形成,而且泥炭堆积速率与沉降容纳速率保持平衡。除非有突发性洪水事件导致泥炭发育中止,正常情况下,在整个海退期泥炭聚积作用将持续进行,直到盆地演化的下一阶段活动碎屑体系(如冲积体系发育)复活而使泥炭沼泽发育中止。

“陆相成煤模式”更能说明煤是在陆相条件下或者是在盆地水域退却的情况下,由泥炭沼泽发育而成。在煤田地质学理论体系中,成煤作用理论是最重要的组成部分。对于泥炭沼泽的定位,既不是水域也不是陆地,沼泽是水域与陆地的过渡环境。在成煤作用过程中,这样的过渡环境是非常关键的。但问题是这个过渡环境在成煤作用发生和盆地演化过程中能够持续多长时间。因此,水域体制是成煤作用理论中最重要的一个因素。对于盆地的水域体系,以往煤田地质学的理论是很少涉及的,这样就限制了成煤理论的进一步发展。

2. 幕式成煤作用

幕式成煤作用(episodic coal accumulation)是中国矿业大学张鹏飞先生与邵龙义教授(1992)研究中国南方石炭系—二叠系时在海侵过程成煤理论的基础上提出来的,他们注意到海陆交互环境中的一些厚煤层横跨不同相区且呈大面积分布(数百至数千平方千米),同时也注意到有些大面积连续展布的煤层的形成环境与煤层下伏沉积物的沉积环境并没有必然的联系,他们用幕式成煤作用理论表示这种横跨不同相区的大面积的聚煤作用。由于海侵过程成煤的聚煤作用主要发生于海平面上升阶段,且此时区域基准面随着海平面的上升而上升,从而提供有利于成煤的可容空间,使得厚煤层得以聚集。因此,可以证明在海泛期可能形成一个沉积旋回中分布最广泛的煤层,而且在最大海泛期可能形成沉积旋回中最厚的煤层或灰岩层。这种大范围的聚煤作用是由区域性的甚至全球性的海平面(基准面)变化引起的,它可以跨越不同的亚环境、不同的沉积相带甚至不同的盆地。这一理论强调海平面幕式上升期间滨岸平原环境的聚煤作用和幕式成煤作用的同期性。

3. 事件成煤作用

鉴于在不少地区发现海侵组合与煤层具有密切关系,而不少海侵沉积被认为是事件海侵沉积,李增学等(1995)提出了海侵事件成煤作用的观点。这个观点的基本内容是:海相沉积与煤层的组合受海平面变化周期的控制,海侵开始之初,可能导致在原有暴露的土壤基础上发育泥炭沼泽;这种泥炭沼泽是在陆表海盆地海水退出一个时期后,由于暴露土壤化,或者海水退出不是十分彻底,而使盆地处于个别浅水但不是一种典型水域的环境,这实际上是一种特殊的沼泽环境;由于这种环境持续相当长的时间,植物生长蔓延,泥炭沼泽进一步发展;这种泥炭沼泽不同于大陆上的泥炭沼泽,时常受到海水的侵扰;泥炭在后来大规模的海侵发生后被保存。据李增学等(2001, 2002, 2003, 2004)研究认为,煤层与海侵层有下列组合关系:在低级别的海平面变化周期中形成薄层海相灰岩/较厚煤层的组合,高级别的海平面变化周期中则多形成厚层海相沉积/薄煤层组合。在层序地层格架中,海侵体系域的煤层位于体系域的底部,而海退成因的煤层则位于高位体系域的顶部。可以说,煤层的发育都与海平面升降变化中的转折期有关,而

海侵成煤成为陆表海盆地成煤的重要特色。在低级别的海平面变化周期内,适合泥炭沼泽发育的时间持续相对较长,尽管海平面波动对泥炭堆积产生重要影响,但泥炭堆积得以较稳定地进行且最终成煤。海侵事件成煤的等时性也从华北大型陆表海盆地海相沉积和煤层中的生物组合、地球化学特征、地球物理数据等时对比得到证实。

二、成煤系统分析

随着国际能源需求的增长,世界主要产煤国都在致力于不同地质时段、不同聚煤区和不同沉积盆地的聚煤规律研究。在煤田地质基础理论研究方面,我国学者提出了聚煤作用系统(coal accumulation system)论;美国学者 Milici 等(2005)提出了成煤系统(coal system,也称煤系统,或含煤系统)的概念。按照 Milici 等(2005)的意见,成煤系统是指形成史相同或相近的几个煤层或煤层群。划分或定义成煤系统的标志主要有:①古泥炭堆积的原始特征;②煤系的地层格架;③主要地层组的煤层丰度;④与古泥炭堆积的地质和古气候条件相关的煤中硫含量及其差异性;⑤煤的变质程度或煤级。煤是原始泥炭经历一系列既复杂又互相关联的地质过程的产物。一般来说,煤层可用其煤级(褐煤到无烟煤)、厚度、空间展布、几何形态、煤岩与煤化学特征、生成生物气与热成因气以及液态烃的潜力等特征来描述。成煤系统分析与建立成煤系统模型不仅将煤的形成、煤质及其环境效应和煤作为烃源岩的认识水平提高到一个新的境界,也为煤炭资源和煤层气资源评价提供了系统理论基础。

成煤系统理论一方面把煤地质学的各个分支学科置于统一的研究框架之下,从而弥补了煤田地质学家通常仅对有限的煤地质领域(如含煤岩系的地层学和沉积学)感兴趣,导致研究系统性和完整性不足的缺陷;另一方面,成煤系统分析方法也是组织、集成煤盆地(煤田)各种地质信息的工具。

三、深层煤矿床赋存规律与探测体系

受资源地质条件和煤炭消费市场的限制,我国的大型骨干煤矿区主要位于秦岭以北、贺兰山—六盘山以东的华北和东北地区。经过 50 多年的大规模开发,一些大型煤矿区的浅部煤炭资源已经枯竭。据预测,到 2020 年,40%的国有重点煤矿和 60%的国有地方煤矿将因浅部煤炭资源枯竭而面临关闭。如何解决未来的煤炭供应缺口、保证国家能源安全是煤炭工业面临的一个严重挑战,煤田地质学者肩负重任。深部和浅部煤炭资源赋存规律、勘查和开采环境存在重大差异。为此,国家科学技术部组织相关专家经 3 轮详细论证,于 2006 年实施了国家重点基础研究发展计划项目——“深部煤炭资源赋存规律、开采技术条件与精细探测基础研究”(虎维岳、何满朝,2008)。这项研究主要围绕深部煤矿床形成演化与赋存规律,深部高应力场、高地温场、高承压水体和瓦斯渗流场特征及其多场综合效应或成灾机制与评价,深部煤岩体的流体来源、运移赋存规律和多相介质的耦合作用,深层煤矿床关键地质体和多相介质的地球物理响应与综合勘查理论等关键科学问题,对华北东部深层煤矿床的赋存与分布、开采地质条件(应力、地温、岩溶水、瓦斯)和探测体系进行了综合研究。这是中国煤田地质学结合国家目标的重大研究命题。

四、煤层气(煤矿瓦斯)赋存与富集机理

美国是率先开展煤层气地质研究和勘探开发成功的国家。美国的煤层气理论体系最初是

建立在 San Juan、Black Warrior、Powder River 等落基山前陆盆地相对简单的煤地质条件和特定环境基础之上的。中国煤盆地的地质背景远比美国复杂。由于成煤条件的多样性、成煤时代的多期性、构造的复杂性及改造的多幕性和不均一性,使得我国已勘探的主要煤储层具有低压、低渗、不饱和、构造煤发育和高煤级煤产气的特点。美国的煤层气地质理论并不完全适用于我国。国家重点基础研究发展计划项目“中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究”已于 2008 年完成煤层气地质理论以及勘探开发试验的总结工作,其主要进展有:①通过典型盆地或煤田的煤层气成藏动力学系统及其成藏机制(叶建平等,2002;张泓等,2005)的研究,深化了对煤层气富集规律及其控制因素复杂性的理解,指导了煤层气开发有利区块优选;②提出了煤层气富集单元概念,建立了富集单元序列(张新民等,2005),在完善资源分类系统的基础上,提出了煤层气可采资源量计算方法。

瓦斯地质和煤层气地质是一个问题的两个方面,它们均以煤层中自生自储的甲烷气体及其相关地质问题作为研究对象。不过,瓦斯地质是结合煤矿采掘工程,从保障煤矿安全生产角度研究煤层瓦斯赋存、涌出和煤与瓦斯突出自然规律的。正在实施的国家自然科学基金重点项目“煤矿瓦斯构造控制机理研究”和国家重点基础研究发展计划项目“预防煤矿瓦斯动力灾害的基础研究”,在特定地质条件下瓦斯的赋存、运移规律,煤与瓦斯突出机理,煤层瓦斯含量、瓦斯涌出量和瓦斯突出危险性的预测,瓦斯突出危险区的地球物理辨识体系等方面,都取得了重要进展。应该特别指出的是,传统的瓦斯地质研究属灾害地质学范畴。近年来,由于对洁净能源的需求以及煤层气地质和瓦斯地质的协同研究,人们对煤矿瓦斯的认识已经发生了由灾害到资源的转化;有关建立煤层气地面与煤矿井下一体化抽采系统、煤矿井下煤—气共采体系等问题,已引起我国相关部门和学者的高度重视。

五、煤田综合勘查体系与煤矿开采地质保障系统

长期以来,我国煤田地质界普遍采用的以钻探为主的勘查方法,保证了浅部煤炭资源勘探开发的需求。但是,煤炭工业的高速发展对煤田地质勘查提出了更高的要求。煤矿三维地震勘探发展迅速,除常规的构造及解释外,煤田地震地层学、煤层的精细描述技术也取得了很大的进展,三维三分量地震勘探技术在裂隙、应力和瓦斯地质评价和预测方面提供了更多的信息。为了快速、准确地查明煤炭资源和煤矿开采地质条件,改变以钻探为主的勘查模式,充分发挥各类勘探手段的技术特长,优化综合勘探方法,建立多手段立体交叉式勘探技术体系,已经成为煤田地质界的共识。

大型现代化煤矿要求预先查明开采前地质体的精细变化,煤矿开采中瓦斯、水、火、顶板、煤尘五大灾害都与煤矿开采地质条件有关。因此,建立煤矿地质保障系统已经成为煤炭高产、高效、安全生产的关键环节。我国煤矿水文地质条件复杂,受水威胁的煤田严重程度属世界之最。近年来,在煤矿突水机理和陷落柱发育规律、保水采煤技术、煤田岩溶水防治技术体系、煤层底板含水层注浆改造可靠性保障技术和水情自动监测等方面都取得了重要进展,保护了一批受水害威胁的煤炭资源。矿井直流电法、矿井音频电穿透、矿井无线电波透视、槽波地震、瑞雷波地震、矿井二维和三维地震、矿井地质雷达等勘察方法为煤矿地质体的精细探测作出了重要贡献,并成为煤矿地质保障系统中综合探测技术的重要部分。

煤田地质勘探是一项庞大的系统工程。计算机技术已广泛应用于煤田地质勘查的各个领域,力图实现数据资源共享和传输过程的信息化。以“3S”技术系统为平台,中国地质调查局发展研

究中心更新和升级了“全国煤炭地质工作程度数据库”,研发并建立了全国煤炭资源地质主流程信息系统,开发地质信息三维可视化技术,建立了勘探区高分辨率地质模型。同时,信息技术正在向矿井地质多元信息集成分析与预报方向发展。实现煤矿高效、安全开采过程中的动态地质保障,是以煤矿生产动态过程中所揭露的实际资料为约束,通过大量矿井多元地质信息的重新处理和精细解释,进行未采区地质条件的实时、动态预报。以工作面小构造预测为目的,在矿井地质多元信息(地质、钻探、物探、采掘)提取、处理的基础上,实现三维地震属性信息与矿井地质动态信息相互融合。

六、含煤地层层序地层研究

层序地层学形成于 20 世纪 80 年代末,是地球科学领域经过 20 多年时间形成和发展起来的一门新兴边缘学科,对地层学及其相关学科产生了深刻的影响。经过国内外地质学家和地球物理学家以及相近学科领域科技工作者的不断努力,层序地层学已经成为地质科学研究中的重要学科,在资源勘探中发挥了重要作用。煤田地质工作者将层序地层学理论和方法应用到煤田地质工作中,为含煤岩系成煤模式和聚煤规律的研究开辟了新的方向和思路,极大地促进了含煤岩系沉积学的发展。

1992 年,Diessel 第一次应用 Exxon 学派层序地层学模型的概念对煤层的形成及保存作了全面、综合性的阐述,提出了海侵—海退煤层的沉积层序模型,含煤岩系层序地层学的研究开始走上正轨。Diessel (1992) 提出大面积分布的以海相石灰岩或含海相化石的泥岩为顶板的含煤旋回层序中,煤层多是在海侵过程中形成的。海平面抬升不仅为泥炭聚集提供可容空间,而且可以降低河流梯度,使携带陆源碎屑的河流收缩到成煤沼泽之外。Bohacs 和 Sute (1997) 详细分析了近海煤系地层成煤作用与可容纳空间的关系,指出与泥炭产率相关的可容纳空间的增长率是控制煤层形成和保存的主要因素,并提出了一个预测煤层厚度和几何形态分布的模型。根据这个模型,大多数重要煤层(基于厚度和区域分布)形成于低位体系域晚期到海侵体系域早期;另外,海侵体系域晚期到高位体系域早中期也有重要的聚煤作用发生。Diessel (2000, 2007) 在广泛调研的基础上绘制了世界上不同时代、不同盆地的成煤作用与沉积层序体系域的关系。世界上绝大多数煤层形成于海侵体系域早期和低位体系域晚期,另一个次级的成煤作用发生在海侵体系域晚期至高位体系域早期,此时可容纳空间的增长速率与泥炭堆积速率大致平衡,从而有利于泥炭的生成和保存。

煤系地层中关键层序界面的识别对世界上不同类型聚煤盆地、不同时代的巨厚煤层提供了合理的解释。Shearer 等 (1994) 认为绝大多数厚煤层是由若干个古泥炭体复合而成,古泥炭体之间由标志着水位下降事件的界面分隔开。根据这种观点, Banerjee 等 (1996) 认为厚-巨厚煤层可能是内部多个高频层序的复合体。Diessel (2007) 利用煤地球化学参数和煤岩、煤相学参数来反映可容纳空间和成煤环境的垂向变化特征,从而可以对巨厚煤层中的体系域及准层序界面进行识别和划分,为研究区域性分布的厚-巨厚煤层的成因机理找到了突破口。

第四节 煤的使用范围

远在 2000 多年以前,我国劳动人民就首先发现了煤炭并将其用作燃料。但是由于当时科学技术不发达,在一个较长的时期内,煤的利用仅限于较狭窄的范围,如做饭、取暖、打铁器等。

随着近代工业,特别是冶金、有机化学合成工业的发展,煤的需求量也日益增加,用途也越来越广泛。

(1) 动力和民用燃料。近代工业中最主要的动力基础是电能,目前我国虽然在大力兴建水电站,但是大部分的电量仍然是以煤为燃料的火电厂生产的。据统计,每发一度电需标准煤 450 ~ 480g,折合一般原煤约 0.5kg。发电可用各种牌号的煤,对于煤的质量要求不高,原煤、粉煤、石煤、洗中煤、煤泥等都可作发电用。同时,煤又是运输的重要燃料,不仅铁路上的蒸汽机车烧煤,而且水上的轮船也消耗很多煤炭,每千米铁路网每年耗煤 10t 以上。其他各种利用蒸汽的动力、取暖、生活都要消耗大量的煤炭,如果没有煤炭,要发展任何现代工业都是不可想象的。

(2) 气化。气化就是将固体的煤炭在煤气发生炉里进行不完全燃烧和化学反应,得到一氧化碳、甲烷、氢气等可燃气。煤气是极好的工业与民用燃料,同时又是化学原料。使用煤气为燃料比直接烧煤效率要高 1 倍多,而且清洁、简便、热量稳定、易于控制、节省运输力,因此已广泛用于钢材、金属、热处理、窑业化工冶金燃料及民众生活等。水煤气是制合成氨肥料与炸药的主要原料之一,焦炉煤气不但可作合成氨,而且还能作合成纤维用。当用褐煤和烟煤造气时,同时还可回收重要的化工原料——煤焦油。

(3) 炼焦。将有黏结性的煤在炼焦炉中隔绝空气加热,就得到坚固多孔具有化学活性的焦炭,同时得到煤焦油、苯、氨、煤气多种产品。焦炭是冶金工业的重要原料之一,它不但是燃料而且还是还原剂。煤焦油和粗苯氨都是重要的化工原料,它是炸药、肥料、农药、医药、染料、塑料、香料等的主要来源。随着国民经济的发展,炼焦化学工业将迅猛发展并日益显示出其综合利用的广阔前景。

(4) 化学合成(煤-电石-乙炔)。用煤或焦炭与石灰石混合加热到 3 000℃时可制得电石(即碳化钙),电石与水作用,就得到乙炔。乙炔在燃烧时,具有高温,能切割钢板、熔化金属;乙炔又是化学合成的原料气,是人造纤维、合成橡胶、电影软片、不碎玻璃、抗冻剂、醋酸、炭黑、酒精塑料、颜料等的原料,是化学合成工业发展的一个重要方面。

(5) 褐煤、泥煤的综合利用。从泥煤和褐煤中可以提制腐植酸用以制作染料和肥料,还可氧化后制草酸和醋酸。

(6) 石煤的综合利用。石煤与其他煤种相比,虽然含碳量低,杂质也较多,但只要掌握它的特性,采取一定措施,也可以利用。目前,在地方工业和民用上,用石煤作燃料烧饭、烧石灰、炒茶、烘茧、烧陶瓷等;燃烧后的石煤渣可制成碳化砖、瓦、水泥等建筑材料;在工业上,除用作燃料烧锅炉(有沸腾式、喷粉式、搁管式等)制气发电外,还可作化工原料,制合成氨原料——水煤气。此外,石煤还含有镍、钒等稀有元素可以提取。

(7) 其他方面。为了变废为宝,应大力利用煤灰、煤矸石为建筑材料制水泥、砖等,从煤气中回收国防和化工的重要原料硫磺,以及从废渣废气中提炼稀有元素锗等。

总之,煤的用途十分广泛,综合利用大有文章可做。

第五节 煤田地质学学科框架体系

煤田地质学是应用地质学的原理和方法研究煤炭资源成因、性质、赋存、勘查、开发、利用和环境保护等方面的地质学分支学科。随着煤炭资源开发利用程度的提高、全社会环境意识的加

强和可持续发展观念的不断深入,煤炭地质工作已经由大规模找煤、勘查,扩展到煤炭勘查、生产和加工利用全过程,以及相关的资源保护与环境保护工作。因此,煤田地质学不仅要研究煤的形成和聚集规律、赋存状态、资源评价、开采条件等资源勘查、开发和利用中的基本地质问题,还要研究和解决煤炭资源开发利用中不断出现的新问题(肖建新,1998;张鹏飞等,2003),如高产、高效、高安全、高回收率开发的地质保障,煤及其共伴生矿产的综合利用,煤炭开发过程中的废弃物的处理,矿区复垦,碳捕获与碳封存技术等(巢清尘和陈文颖,2006)。

基于以上分析,曹代勇等(2010)构建了由理论基础、技术支撑、研究内容、工作目标4个部分构成的煤炭地质学研究框架体系(图1-1)。这一研究框架强调了煤田地质学应承担的四大任务和目标:①为确保国家能源安全维持充足稳定的资源供应;②为煤炭工业实现高产、高效、高安全、高回收率提供可靠的地质保障;③实现煤炭资源的高效洁净利用;④减少煤炭开发利用全过程的伴生地质灾害,降低环境影响。

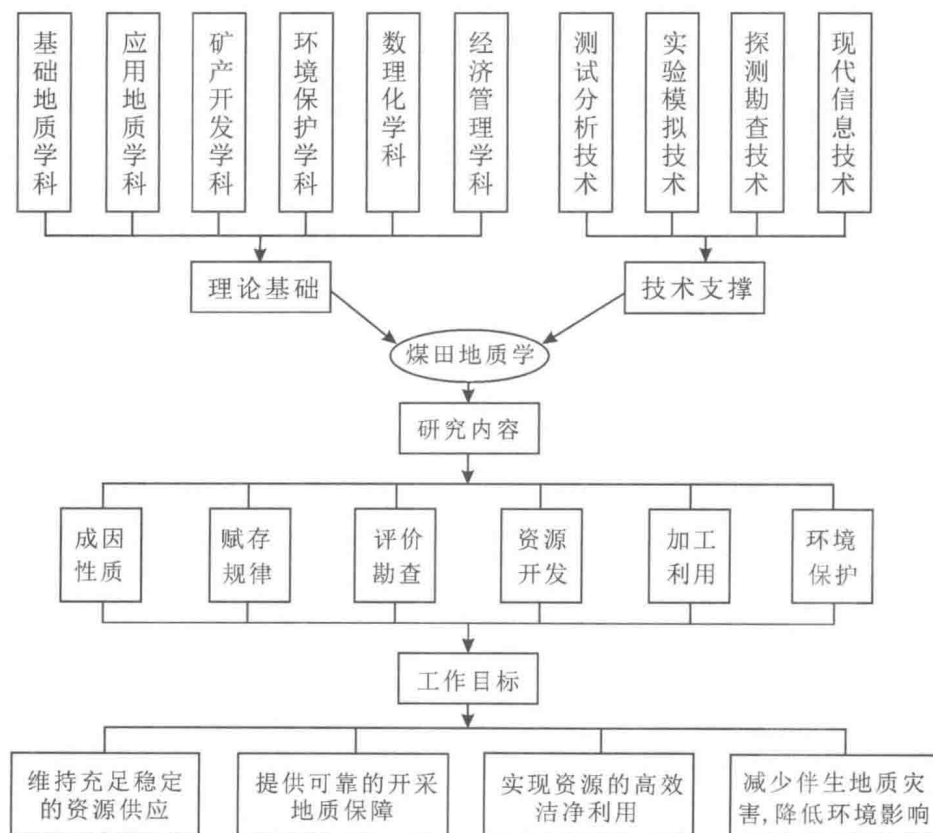


图 1-1 煤田地质学学科框架体系(据曹代勇等,2010 修改)

第二章 聚煤古构造、古地理背景及其与富煤带的关系

第一节 聚煤盆地

聚煤盆地是指原始含煤沉积盆地,聚煤盆地可以保持其原始沉积盆地的基本面貌,但大多数由于后期构造变动和剥蚀作用而被分割为一系列后期构造盆地。煤盆地是国际上较为通用的术语,其含义比较广泛,可以指聚煤盆地,也可以指后期构造盆地。

含煤沉积往往仅出现于沉积盆地演化的一定阶段和一定部位,在时序和空间上可以过渡为含油、气或其他沉积矿产的沉积岩系,组成可燃有机岩沉积序列或沉积矿产序列。聚煤作用有时在整个沉积盆地范围内发生,有时只发育于大型沉积盆地的边缘地带。还常见这种现象,即随着沉积盆地的演化,含煤层段和聚煤带在盆地范围内发生时空迁移,含煤层序和非含煤层序在时间和空间上相互交替,共同构成盆地的地层格架。因此,应当把整个沉积盆地作为一个整体研究,分析煤层聚积、分布和迁移的规律。

一、聚煤盆地的形成条件

聚煤盆地的形成和聚煤作用的发生,是古气候、古植物、古地理和古构造等地质因素综合作用的结果。

植物遗体的大量堆积是聚煤作用发生的物质基础。自从地球上出现了植物,便有了成煤的物质条件。早古生代煤主要是由以滨海—浅海藻菌类为主的低等生物所形成的,是一种高变质的腐泥煤。大约自志留纪末开始了由海洋向陆地的“绿色进军”,在滨海地带由原始陆生植物形成了泥盆纪的腐植煤。自泥盆纪开始,陆生植物不断发展、演化、更替,并由滨海地带逐步扩展到内陆,由原始陆生植物演化为种属繁多的高等植物。为了适应不同的生存环境,植物界逐渐形成不同的植物群落,出现了植物地理分区,为成煤提供了丰富的物质基础。石炭纪、二叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近纪—新近纪成为地史上的几个重要聚煤期。地史期植物的演化表现为突变和渐变两种形式。突变期,在较短的地史时期有大量新旧属种的更替,是植物进化的飞跃阶段;渐变期,植物属种比较单一,但扩展迅速,茂密成林,往往是强盛的聚煤期。地史期的聚煤作用呈波浪式向前推进。