

煤炭行业应用型本科教育核心教材

Meitan Hangye Yingyongxing Benke Jiaoyu Hexin Jiaocai

*Meikuang Dizhixue Xinbian*

# 煤矿地质学新编

中国矿业大学应用技术学院组织编写

谭海樵 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

煤炭行业应用型本科教育核心教材

# 煤矿地质学新编

主 编 谭海樵  
副主编 奚砚涛 赵成喜

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书以煤的前世今生为主线,以成煤、找煤、探煤、采煤、运煤、用煤为切入点,全面讲述从地球诞生到生物进化,从成煤植物的演变到全球气候的变迁所涉及的各种宇宙过程、地质作用,力求培养学生对地质学基本理论的认识能力以及面向煤矿生产实际“认石头、分先后、讲故事”的基本技能。

本教材既可用于采矿、安全等非地质专业的地质学基础课教学,也可用作地质专业学生的参考用书以及现场地质技术人员的培训教材或工程技术人员的地质学实用手册。

### 图书在版编目(CIP)数据

煤矿地质学新编/谭海樵主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2015.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2842 - 0

I. ①煤… II. ①谭… III. ①煤田地质—高等学校—教材 IV. ①P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 218071 号

书 名 煤矿地质学新编  
主 编 谭海樵  
责任编辑 潘俊成  
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)  
营销热线 (0516)83885307 83884995  
出版服务 (0516)83885767 83884920  
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com  
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司  
开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 394 千字  
版次印次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷  
定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

# 煤炭行业应用型本科教育核心教材 编写委员会

主任 孙 智

副主任 王长生

编 委 (排名不分先后)

曾 勇 付慧生 韩可琦 苏晓龙

黄嘉兴 谭海樵 陈松立 张三芝

戴恩辉

主 编 谭海樵

## 序

中国矿业大学应用技术学院以培养高素质应用型技术人才为主要目标,突出应用能力培养,强化实践性教学环节和职业技能训练,培养专业基础理论、专业口径、岗位的适应面更厚、更宽的适应煤炭行业技术密集产业发展要求的高技术应用型人才。几年来,在培养目标、培养方案、培养过程、培养质量等多个方面进行深入改革,突出和贯穿“能力培养”和学生的“全面发展”,形成了“知识、能力和素质”协同、有机融合的全面素质培养和发展的培养模式。构建了“科学基础能力、技术基础能力、专业技术能力和技术拓展能力”四个模块的课程体系,以及独立的实践和科技创新训练体系,突出能力培养。几年来,培养的学生全部在煤炭企业就业,而且受到了企业的欢迎,为企业的发展做出了贡献。

一套针对性强、行之有效的配套教材是实现学生能力素质全方位培养目标的基础保障。学院于2004年成立了“煤炭行业应用型本科教育核心教材编写委员会”,组织教师针对四个课程模块,编写了多套适用的教材。现已出版《采矿工程案例》、《采掘设备使用维护与故障诊断》、《煤矿矿井设计》、《煤化学实验》、《井巷设计与施工技术》等教材16种。这些教材和参考书在培养学生的应用能力和实践技能、全面提高教学质量方面发挥了重要作用。

主持和参与教材编写的教师都是我校学识渊博、教学和实践经验丰富的教学科研骨干。他们为了培养适用煤炭科技发展要求的高水平应用型技术人才,进行了大量的艰苦探索,这些教材就是他们不遗余力辛勤工作的结晶。

党的“十八大”为我们规划了新时期高等职业教育的新常态,习近平总书记提出了“能源生产与消费革命”的新要求。希望广大教师积极参与到发展我国煤炭高水平应用型人才培养的事业中来,为培养更多的适应能源革命新要求、适应煤炭科技发展需要的高水平应用型人才而努力。

中国矿业大学应用技术学院院长  
2014年12月



## 编者的话

作为在中国矿业大学应用技术学院立项的《煤矿地质学》教材建设项目，其预期目标就是适应煤炭行业发展面临的新形势，编写面向采矿、安全等非地质工程专业学生的地质学基础教材。之所以将此教材定名《煤矿地质学新编》，不仅仅是为了兼顾教学课时的限制以及煤炭行业应用型人才对地质学的基本理论和基本技能的实际需求，而且要将地球科学的各项最新进展融入本教材。

考虑到本课程教学大纲的要求和在“采矿学”与“地质学”之间搭建学科桥梁的功能定位，本教材首先突破了大多数同名教材的二元结构编排模式，以煤的前世今生作为本课程的教学主线，具体地讲，就是分别以成煤、找煤、探煤、采煤、运煤、用煤作为教学的切入点，全面讲述从地球诞生到生物进化，从成煤植物的演变到全球气候的变迁所涉及的各种宇宙过程、地质作用，培养学生对地质学基本理论的认知能力。在教学内容上，强调从含煤岩系入手，把包括板块构造、沉积学、岩石学、矿物学在内的地球科学的最新研究成果整合到煤矿地质学的教学过程之中，力求使学生逐步认识并掌握地质学“认石头、分先后、讲故事”的基本技能，以及应用所学地质学知识解决煤矿生产实际问题的能力。此外，编者基于近年来在应用学院的教学实践，倾向于在教材和教学中尽可能使用通俗易懂的科普语言，使学生更易于接受并进而掌握所学内容。

根据教材立项时的具体分工，谭海樵负责本教材第一章至第七章的编写，奚砚涛负责第八章的编写，赵成喜负责实习指导书部分以及第二、三章中相关内容的编写。全书由谭海樵负责统稿。为便于教材使用者在编辑课件时的实际需要，教材中的主要彩色图件均以图版形式作为附件印出，可以在中国矿业大学出版社网站([www.cumtp.com](http://www.cumtp.com))下载。

值本教材即将出版之际，特向中国矿业大学应用技术学院以及中国矿业大学出版社表示感谢。

对教材中难免出现的疏漏之处，谨表歉意。读者若发现不当之处请及时与出版社进行沟通，以利于该书在教学实践中不断完善。

编者

2015年7月

## 目 录

引言 煤与煤矿 .....	1
本章思考题 .....	5
本章参考文献 .....	5
第一章 煤与地球 .....	7
第一节 地球是宇宙过程的产物 .....	7
第二节 地球的化学成分与物理特性 .....	17
第三节 含煤岩系与地球演化 .....	20
本章思考题 .....	26
本章参考文献 .....	26
第二章 煤系与地质作用 .....	28
第一节 煤系中的岩性组合 .....	28
第二节 岩石的概念与分类 .....	29
第三节 矿物——组成岩石的基本单元 .....	42
第四节 地质构造——煤系的产出形态 .....	49
第五节 地质作用——煤系的变形机理 .....	52
本章思考题 .....	70
本章参考文献 .....	71
第三章 岩层记录中的地球历史 .....	73
第一节 岩层——地球历史的记录 .....	73
第二节 化石——地球历史的见证 .....	77
第二节 地质年代——历史演化的时间标尺 .....	81
本章思考题 .....	85
本章参考文献 .....	85
第四章 成煤作用与含煤盆地的变迁 .....	86
第一节 成煤作用 .....	86
第二节 聚煤盆地 .....	91
第三节 中国聚煤盆地 .....	95
第四节 找煤新发现 .....	105

本章思考题	106
本章参考文献	106
<b>第五章 含煤岩系地质数据的获取与更新</b>	108
第一节 获取地质数据的工作流程	108
第二节 获取地质数据的主要技术手段	117
第三节 矿井生产中的三量管理	123
本章思考题	124
本章参考文献	125
<b>第六章 煤矿生产的地质保障</b>	126
第一节 设计与建井阶段可能遇到的地质问题	126
第二节 采掘过程中遇到的构造地质问题	139
第三节 岩浆侵入体对煤矿生产的影响	149
第四节 煤矿开采中的地下水问题	153
第五节 煤层瓦斯与煤矿生产	166
第六节 煤矿生产中的其他地质问题	170
本章思考题	171
本章参考文献	171
<b>第七章 煤矿与地质环境</b>	173
第一节 地质环境的内涵	174
第二节 采煤与地质环境	177
第三节 煤矿生产与地质环境	181
本章思考题	189
本章参考文献	190
<b>第八章 计算机技术的应用</b>	192
第一节 地质数据库	192
第二节 煤矿地质信息可视化	195
第三节 采煤塌陷区动态监测	202
第四节 多元地学信息复合技术	204
第五节 地学模拟	206
本章思考题	209
本章参考文献	210
<b>实验部分</b>	212
实验一 矿物	212
实验二 常见岩浆岩	214



---

实验三	常见沉积岩和变质岩·····	216
实验四	煤的肉眼鉴定·····	218
实验五	读图方法及读倾斜岩层地区地质图并作剖面·····	219
实验六	读褶皱地区地质图并作剖面·····	219
实验七	编制勘探线剖面图·····	221
实验八	利用剖面法编制煤层底板等高线图·····	224
实验九	编制断煤交线图 and 水平切面图·····	226
图版说明·····		228

## 引言 煤与煤矿

从距今 6800~7200 年作为煤精装饰品的原材料,到今天被视为雾霾的元凶之一,不论人类对煤的褒贬程度发生多大的变化,煤作为一种“可燃的”石头的功能定位并无本质的改变。在公元前 315 年古希腊学者、亚里士多德的继承人——Theophrastus 撰写的《论石头》中,就论述了煤的性质和产地,并提到古代的中国人借助燃煤来烧制陶器。时至今日,煤炭依然被作为性价比占优势的燃料,是社会经济发展不可或缺的重要能源。在工业革命的发源地英国,采煤业曾是 2011 年第四大最赚钱行业<sup>①</sup>;在美国也一度出现过“煤的回归”,美国政府估计 131000 户家庭在使用煤来取暖,还有 8 万多户将煤用于家庭的替代能源<sup>②</sup> 2012 年,联合国教科文组织(UNESCO)曾对澳大利亚昆士兰州新一轮的煤炭开发计划可能对世界自然遗产地大堡礁的影响表示“极度关切”。直到 2014 年,昆士兰州政府斥资 100 亿澳元在大堡礁附近扩建运煤码头的计划因为煤价问题而被搁置。在《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书中,仍处于工业化上升阶段的中国几经向全世界明确承诺,到 2020 年,单位国内生产总值温室气体排放要比 2005 年下降 40%~45%。根据 2013 年国务院发布的《大气污染防治计划》,到 2017 年,煤炭占能源消费总量比重降低到 65%以下,京津冀、长三角、珠三角等区域力争实现煤炭消费总量负增长。

尽管如此,中国社会经济发展对煤炭消费的依赖难以从根本上改变。依照 2014 年 3 月 4 日举办的“煤炭峰值预测与应对 2014 高层论坛”透露的信息,中国煤炭消费量将在 2020 年达到峰值 41 亿 t(折 28 亿 t 标煤),占能源消费总量的 58.5%。在低碳经济、节能减排的大背景下,中国煤炭产量增幅已由前十年年均增加两亿多吨降到 5000 万 t 左右;煤炭消费增幅也由前十年年均增长 9%左右下降到 2.6%左右。有学者预计,在 2020 年之后的十年里,煤炭消费量年均降幅 0.33%,2030 年降至 39 亿 t(折 27 亿 t 标煤),比重降至 50%以下。也就是说,与经合组织(OECD)国家的化石能源消费呈负增长相比,在近十几年内,中国对以煤炭为主体的化石能源的需求将呈缓慢上升的态势,减少的只是增幅(图0-1)。

### 一、煤是大自然的恩赐

既然对煤的需求有增无减,以煤层为主要开采对象的煤矿就首先要正确认识煤在地球系统中的定位。与其他工业企业生产的产品不同,煤矿出产的煤可以说是“纯天然的”,没有人为刻意加工的痕迹,更不含任何添加剂。作为一种可燃的有机沉积岩,煤是特定地质过程的产物,是地球系统的一部分。早在人类取得“球籍”之前,煤就已经在地球上存在了数百万年乃至数亿年。煤的“球龄”远远高过人类的“球龄”。除非含煤地层经历过火山喷发、地震之类的地质事件,在被找到、被开采之前,煤层在地球系统中的赋存状况是相对固定、难以改

① 英国《卫报》2011.1.1.

② Laura Pedrick for The New York Times, 2010.

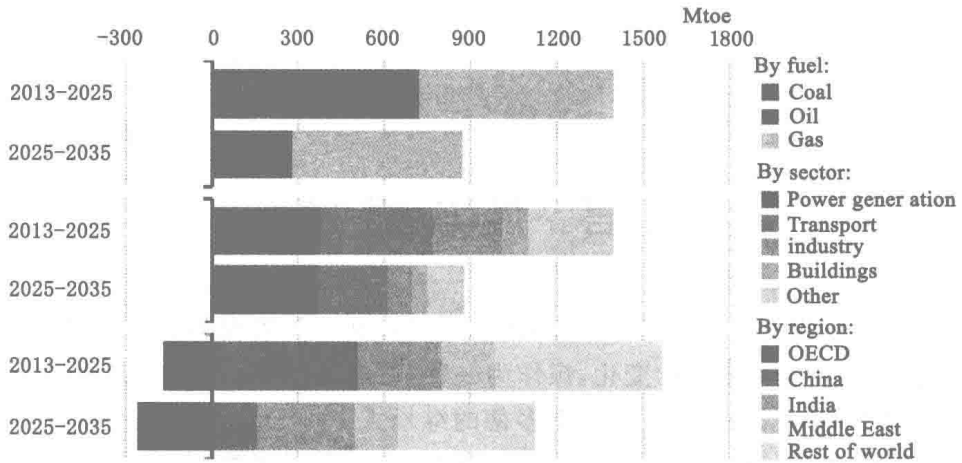


图 0-1 应对全球暖化政策背景下, 世界各国 2013-2035 年对化石能源的需求增长 (据 IEA, 世界能源展望, 2014)

变的。

从地质学的角度来讲, 成煤离不开三大要素: 成煤植物、沉积盆地和足够的温度、压力与时间。成煤植物是煤中以碳为主的有机组分的物质来源; 沉积盆地是成煤植物(或菌藻类)残核得以保存并形成泥炭(或腐泥)的堆积场所; 而温度、压力和时间则是决定煤层及煤质的关键所在。实际上, 陆生植物中以碳为主的有机组分是通过光合作用才得以保存的, 所以, 煤层里储存的实际上就是地球历史中某个特定时期的太阳能(图 0-2)。

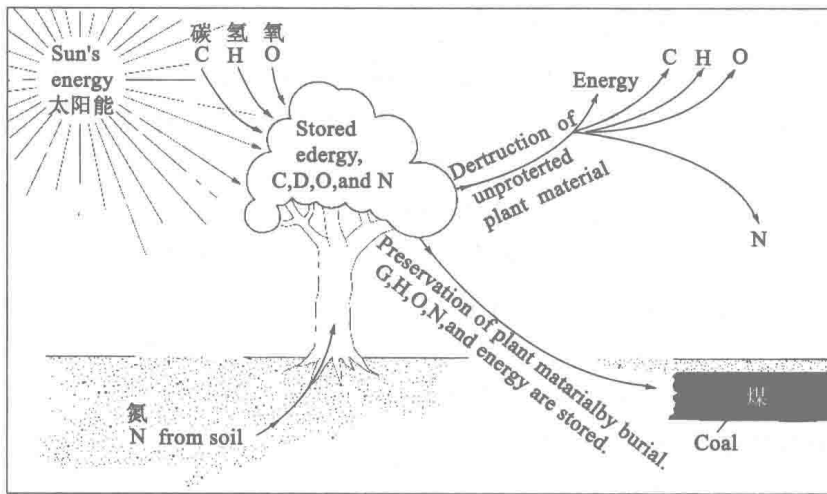


图 0-2 煤层储存的实际上是经由植物的光合作用转换的太阳能(据 W. E. Edmunds, 2002)

## 二、煤矿是人地交互系统

如前所述, 作为大自然的恩赐, 早在人类出现之前煤就已经赋存在人类赖以生存的地球系统之中。只是经历过漫长的探索与认知过程, 人类才逐步完成对煤的生命周期的全面认识。现在“去煤”、“减煤”正在逐步成为人们的共识。在以“成煤”——“找煤”——“探煤”——“采煤”——“选煤”——“运煤”——“用煤”为主线的生命周期中, 不同尺度的各类人工系统无时无刻不在影响着地球系统中的岩石圈、水圈、大气圈和生物圈, 直至影响到全球环境。无论规模大

小,无论是找煤、采煤还是用煤,都不可避免地涉及人工系统与地球系统的互动。如果说工业革命之前对煤的小规模开采,还只是对地球系统的局域性扰动的话,那么,工业革命后实现的大规模工业化开采,特别是随着世界人口的增加,煤炭的实际需求量急剧增长,给地球系统带来的则是全球性、灾害性的地质环境问题。从这个意义上讲,煤矿面对的已经不仅仅是工业企业自身的经济成本问题,还涉及由地质环境变化导致的社会成本问题。比如煤炭资源省份可能过分依赖煤炭产业而降低其综合抗风险能力。当资源枯竭时,留下的很可能是一个没有资源、没有环境和没有富人的地方,这就是通常比喻的“荷兰病”和“资源诅咒”。煤炭资源省份应该在兴盛时期就着手规划产业的多元化,思考在煤之外还能做些什么。据测算,美国因煤炭的开采、运输、燃烧、发电每年造成的公共开支高达 5000 亿美元。2011 年 7 月美国环保局(EPA)已经出台新的法规(Cross-State Air Pollution Rule),要求大约 900 家燃煤、燃气或燃油的电厂在 2014 年前,NO<sub>x</sub> 的排放量与 2005 年相比减少 54%,CO<sub>2</sub> 的排放量与 2005 年相比减少 73%。

单就煤矿生产而言,与主采煤层相关的地质背景同样是地球系统问题:在未经历过后沉积构造影响的煤层上面、下面都是成层的岩石。比如,紧挨着煤层上部的常常是叫做页岩的泥质岩石,矿上称之为伪顶;伪顶之上,通常是由粗细不等的砂粒胶结而成的砂岩。这层砂岩,对于井下采掘工作面和巷道的支护来说很是重要,矿上称之为顶板。在未开采之前,包括煤层、夹矸及其顶、底板在内的煤系地层就是地球系统中处于相对平衡状态的一个子集。从建井之日起,包括运输、通风等各类煤巷在内的人工系统随时都在干扰乃至破坏煤系地层中原有的应力平衡和水力联系,为此原有系统就必然会做出各种响应,力求取得再平衡。瓦斯、煤尘等所谓矿井“五害”实际上就是再平衡过程中人工系统反应不及时或是反应不得当的结果。这也正是“煤矿地质学”理当关注的重点之一。

### 三、煤矿地质学的任务

地质学诞生以来,人类对地球系统的认识一直在不断深化。现代地质学的定位已经远远超出了以地壳为主要研究对象的传统地质学的认识范围。46 亿年来发生在地球系统中的所有地质过程,包括诸如地球与地外星体之间撞击作用和数百万年来人类活动对地球系统产生的影响,都在地质学的研究范畴之内。概括地讲,地质学就是以研究、理解地球系统,维系地球系统的可持续发展为己任。其核心任务就是从整体上认识地球系统、利用地球系统、保护地球系统。事实上,人类活动本身就是重要的地质营力,同样会影响到地球形貌的变化,有时人类活动对地球系统的影响力速度更快,破坏性更强。全球暖化就是人类活动参与之下地球系统变化的综合结果。

作为面向煤矿开采的应用地质学,煤矿地质学研究的是地球系统中与煤矿相关的自然和人为地质过程。概括地讲,就是认识成煤过程、利用煤炭资源、保护地球环境。无论是露天开采还是地下开采,煤矿在开采煤炭资源的同时不仅仅会造成地球形貌的快速改变,而且会对煤矿所在地区原有的地表水、地下水系统产生不可逆转的影响。其影响幅度和修复难度远远超过矿井水害治理和土地复垦本身。正因为如此,煤矿地质学的责任就是在为煤矿安全生产提供地质保障的同时,高度关注采煤活动对地球系统中各个子系统可能产生的影响,以及面向地球系统可持续发展的采前的综合规划、采中的及时治理和采后的生态修复。既要关注成煤植物进化、泥炭层堆积以及成岩、成煤、变质在内的自然地质过程,也要关注与找煤、探煤、采煤、洗煤、运煤、燃煤、用煤相关的各种人为地质过程。

根据国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局 2013 年年底发布、2014 年 3 月 1 日正式生效的《煤矿地质工作规定》，煤矿地质工作应当本着“综合勘查、科学分析、预测预报、保障安全”的原则，围绕“查明隐蔽致灾地质因素，及时处理煤矿地质灾害，有效预防煤矿事故”这一中心目标，完成以下五项主要任务：① 研究煤矿地层、地质构造、煤层、煤质、瓦斯、水文地质和其他开采地质条件等地质特征及其变化规律，开展地质类型划分。② 查明影响煤矿安全生产的各种隐蔽致灾地质因素，做好相应的预测预报工作。③ 进行地质补充调查与勘探、地质观测、资料编录和综合分析，提供煤矿建设和生产各个阶段所需要的地质资料，解决煤矿安全生产中的各种地质问题。④ 估算和核实煤矿煤炭资源/储量以及煤矿瓦斯(煤层气)资源/储量，掌握资源/储量动态，为合理安排生产提供可靠依据。⑤ 调查、研究煤矿含煤地层中共(伴)生矿产的赋存情况和开采利用价值。

基于上述，煤矿地质学课程应涵盖以下研究内容：

① 查明煤层赋存特征：包括生产矿井可采煤层的煤质、煤厚、埋深、瓦斯含量和共(伴)生矿产资源等成煤地质过程所形成的地质特征，以及煤层的长度、宽度、厚度、产状及其变化等基础数据，也就是煤层与生俱来的“先天性禀赋”。地勘探部门提供的原始地质资料只能提供满足相应地质勘查精度要求的相关数据。包括煤层的局部增厚、减薄以及分叉、尖灭等成煤地质过程所造成的变化细节，只有凭借煤矿建设生产过程中实施的巷探、钻探之类的工程获取相关的地质数据，才能使之逐步明晰，不断完善。

② 处理采掘工作中遇到的地质问题：包括矿井储量管理和直接影响矿区生产布局、调度的煤系地层、地质构造以及矿井水的来源、涌水通道、涌水量大小及其影响因素与变化规律等矿井地质和水文地质问题，也就是由采动引发的“后天性变化”。力求为煤矿生产的正常接替、煤炭资源的合理利用以及煤矿安全生产和各种矿井地质灾害的合理防治提供充分的地质依据。

③ 监测采煤引起的地质环境变化、编制相应的治理修复规划：包括采煤引起的地面塌陷、地表水及地下水的流量、水质变化等等。基于上述监测数据，适时编制塌陷区及水环境治理规划，并根据相关法规提出合理的矿区地质环境治理及生态修复方案。

#### 四、本课程的学习要点与方法

为完成上述各项任务，就必须认真学习并掌握获取和处理煤矿地质信息的最基本的技能和方法：从认识组成煤系地层的岩石类型(认石头)入手，区分煤系中各层岩石以及断裂构造、岩浆侵入等各类地质事件发生的先后次序(分先后)，进而重建含煤岩系的时空演化历程(讲故事)，为煤矿的可持续安全生产、各类矿井地质灾害的预测预报提供可靠的地质依据。

地球系统不仅仅是煤层的载体，而且是孕育、生成煤系地层的母体。煤的生老病死与地球系统息息相关。基于上述，本课程共计安排了八章学习内容，依次为：① 煤与地球；② 煤系的组成；③ 岩层记录中的地球历史；④ 成煤作用与含煤盆地的变迁；⑤ 含煤岩系的地质勘查与资源评价；⑥ 煤矿生产的地质保障；⑦ 煤的生命周期与地质环境；⑧ 计算机技术的应用。

数、理、化、天、地、生同属自然科学中的基础学科，也是基础性科学研究的六个核心方向。与其他学科不同的是，地质学具有更为明显的系统性、实践性、探索性和不确定性。煤矿生产中遇到的地质问题尤其如此。在这里不妨借用 E. A. Keller(2012) 给出的实例予以说明，假如在海滩上发现一粒砂子，试问砂子来自何方？在这里首先要做的就是对发现砂粒

的海滩进行实地考察和取样分析,查明砂粒的矿物成分,推断能将砂粒搬运至海滩的水系,提出假说“砂粒来自某水系上游的高山”,要证明该假说是否成立,那就要考察水系沉积物及其上游高山上出露那些岩石,看看其中是否含有海滩上发现的砂粒中的矿物。必要时还要根据高山与海滩之间的距离,借助计算机模拟高山岩石中、河道中以及海滩砂粒中矿物的磨圆程度与搬运距离的关系。在这里,验证假说离不开实地考察、重复取样和化验分析。如果原假说不能得到验证,那就只能被推翻。代之以新的假说来说明海滩砂粒的来源,再次实地考察、取样分析,直到假说得到验证变成明确的结论。煤矿中断失煤层的查找、无煤带的圈定等地质认知过程同样如此。

煤矿地质学的研究应遵循“实践—认识—再实践—再认识”的认知过程,凭借必要的工程手段,通过不断地探索来进行。一方面要进行大量的实地观测和取样,获得详尽的第一手地质资料;另一方面对已经获得的大量资料不断加以“归纳、分析、研究、判断、推理”,并从地球系统、全球变化的高度将感性知识上升到理性知识,然后再将得到的理性知识去指导进一步的实践,并在实践中加以验证、补充与修改、完善,使之更加符合客观实际。因此,煤矿地质工作者需要通过观测、实验、归纳、总结、去粗取精、去伪存真、由表及里地建立一套完整的地质工作流程。也就是说,对煤矿地质的认识过程是一个永无止境的探索过程。而煤矿地质资料的获取与更新,以及各类矿井地质问题的预测、预报无不有赖于对矿山地质条件认知的不断深化。

## 本章思考题

1. 何谓煤层的“先天性禀赋”与“后天性变化”?
2. 煤矿地质工作的主要任务有哪些?
3. “煤矿地质学”课程涵盖哪些研究内容?
4. “煤矿地质学”的学习和研究方法有何特殊性?

## 本章参考文献

- [1] Caley E R, Richards J F C. Theophrastus on Stones[D]. The Ohio Sate University Columbus, 1956.
- [2] Edmunds W E. Coal in Pennsylvania[R]. Education Series 7, Bureau of Topographic and Geologic Survey, 2002.
- [3] Gibson W. The Geology of coal and Coal-mining [M]. London: Edward Arnold, 1908.
- [4] Grotzinger J, Jordan T H, Press F, et al. Understanding Earth (5th Edition)[J]. W H Freeman & Co, 2007: 661.
- [5] IEA. World Energy Outlook 2014[R]. Released on 12 November 2014.
- [6] Keller E A. Introduction to Environmental Geology (5th Edition)[J]. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ. 2012: 705.
- [7] Ludman A, Marshak S. Laboratory Manual for Introductory Geology[M]. W W

Norton & Company, 2010: 419.

[8] Marshak S. Earth-Portrait of a Planet (3rd Edition)[M]. W W Norton & Company, New York London, 2008: 957.

[9] Thomas L. Coal Geology[M]. John Wiley & Sons, LTD, 2002: 384.

[10] Zharkova V. Solar activity predicted to fall 60% in 2030s, to mini ice age levels: Sun driven by double dynamo[R]. At the National Astronomy Meeting, Royal Astronomical Society (RAS) in Llandudno, 2015.

[11] 曹运江, 蒋建华, 资锋. 煤矿地质学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2014.

[12] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局. 煤矿地质工作规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2013.

[13] 汪啸风, 等. 中国各地质时代地层划分与对比[M]. 北京: 地质出版社, 2005.

[14] 杨孟达. 煤矿地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.

[15] 张子敏. 瓦斯地质学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.

[16] 中国矿业学院煤田地质勘探教研室. 煤矿地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1979.



# 第一章 煤与地球

## 第一节 地球是宇宙过程的产物

1894年,赫胥黎曾在《进化论与伦理学》一书中明确指出,“其实,有肉体、智力和道德观念的人就好像最没有价值的杂草一样,既是自然界的一部分,又纯粹是宇宙过程的产物。”也就是说,人类和赖以生存的地球都是宇宙过程的产物。赋存于地壳之中的煤层又何尝不是如此(T. H. Huxley, 1894)。从宇宙大爆炸到地月系的形成,从包括成煤植物在内的生物进化到地球历史上的五次生物大灭绝,46亿年来发生在地球上的所有地质过程都离不开宇宙过程的控制,赋存于地壳之中的煤层的形成和演化同样如此。

### 一、宇宙中的地球:沧海一粟

地球并非宇宙中的孤家寡人。“众里寻他千百度,蓦然回首,那人却在灯火阑珊处”。用南宋诗人辛弃疾的《青玉案·元夕》中的诗句来形容地球在宇宙中的位置是再恰当不过了。一般认为,地球是太阳系中8大行星之一(图1-1)。距离银河系中心28000光年的地球只不过是银河系中一个亮点而已。往大里说,也就是“沧海一粟”。正因为如此,自诞生之日起,地球的发展演化就与其“左邻右舍”有着千丝万缕的联系,并不可避免地受控于宇宙过程。比如地球气候的冷暖变化就与太阳活动的周期变化密切相关,已有172年历史的太阳活动周期(Solar Cycle)模型认为,每隔11年,太阳活动的“钟摆”就会在平静期和活动期之间摆动一次,从而引起全球气候的冷暖更替。在2015年7月英国皇家天文学会召开的国家天文会议上,瓦伦蒂娜·扎尔科夫教授及其研究团队发布了他们研究的太阳活动周期新模型:靠近太阳表面和深入太阳的对流区的“双发动机模型”,并预测到太阳活动将在2030年左右减少60%,届时地球将很有可能进入“小冰河期”,可能重现公元1645年至1715年间曾经出现过的“蒙德极小期”(Maunder Minimum)。

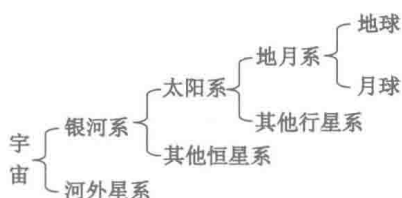


图 1-1 地球在宇宙太阳系中的位置

最新的研究成果表明,在漫无边际的宇宙中,有一个名为兰尼阿契亚(Laniakea)的“超级星系团”(R. B. Tully, et al., 2014, 见图版 1-1 中橙色线所界定的区域),其直径在 5 亿光



年以上。在如此浩瀚的“超级星系团”中,足有多达 10 万个银河系;地球所在的整个银河系只不过是位于该“超级星系团”中的一粒尘埃。

就地球所在的太阳系而言,太阳不仅是各大行星运行轨道的中心,而且是地球上万物生长不可或缺的能源。对成煤植物而言,尤其如此。根据 NASA 提供的数据(表 1-1),太阳发出总能量高达  $6300 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ 。与太阳辐射的能量相比,人类发出的全部电力不过是太阳辐射能量的 1/67000,可谓微乎其微。

表 1-1 每年太阳发出的能量与人类的能源消费(单位: EJ=  $10^{18}$  焦耳,见维基百科)

Yearly Solar fluxes & Human Energy Consumption	
Solar	3850000 EJ
Wind	2250 EJ
Biomass	3000 EJ
Primary energy use(2005)	487 EJ
Electricity(2005)	56.7 EJ

根据 2006 年 8 月国际天文联合会布拉格大会给出的定义,太阳系的行星必须满足以下三个条件:① 围绕太阳运转;② 具有足够的质量,能形成符合流体力学平衡的形态——球体;③ 具有足够的引力而能清除轨道上所有的物质。据此,该会于 2006 年 8 月 24 日通过的决议,太阳系中共有八颗行星,此前被列为第九大行星的冥王星只列为“矮行星”。

太阳系中的八大行星中除水星、金星外,均有卫星绕转:地球卫星 1 颗(月球),火星卫星 2 颗,木星卫星 16 颗,土星卫星 23 颗,天王星卫星 15 颗,海王星卫星 8 颗。

地球与太阳的平均距离约为 1.5 亿 km,被定义为 1 个天文单位 AU(Astronomical Unit)。按照各行星与太阳之间的距离由近而远排列,八大行星依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。其中,水星、金星、地球和火星组成了太阳系的内行星圈(类地行星),而木星、土星、天王星、海王星组成了太阳系的外行星圈(类木行星)。前者距太阳近,体积和质量小,平均密度大,自转速度慢,公转周期短,卫星少或无,具固体外壳,中心有铁核,金属元素含量高;而后者距太阳远,体积和质量大,密度小,自转速度快,公转周期长,卫星较多,物质成分以轻元素为主。位于内、外行星圈之间的是小行星带(图版 1-2,图 1-2)。

根据行星轨道波德法则推算,在木星和火星之间还应有一个行星,但至今未发现,只发现大批小行星(5000 多颗,已编号命名者 3000 颗),估计是由一颗大行星遭撞击后形成的。小行星一般为石质或炭质,体积很小,直径多为几千米到几十千米,体大者一般为球形,但多数形状不规则,表面有陨坑,没有大气,最大者叫谷神星,直径为 770 km。据研究,地球历史上发生在 6500 万年前的恐龙灭绝事件就可能是小行星碰撞造成的。目前,地球面对的是多达百万数量级的近地天体,其中有些还是一旦撞击生就可能毁灭一座城市甚至造成世界末日的危险级别的近地天体。如果要避免这一切的发生,就需要对小行星进行研究,了解这些天体的内部构造。美国宇航局将在 2020 年代实施的“小行星重定向计划”(ARM: Asteroid Redirect Mission)就是要实现在太空识别、捕捉可能威胁地球安全的小行星,并将其引导至稳定的绕月轨道<sup>①</sup>。

① <http://www.nasa.gov/content/what-is-nasa-s-asteroid-redirect-mission/>.