

高等学校教学用书

● 李增学 魏久传 刘 莹 编著

煤地质学

MEI DI ZHI XUE

地质出版社

煤地质学

李增学 魏久传 刘莹 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统阐述了煤地质学的基本理论和方法, 主要包括: 成煤作用; 煤化作用与煤的变质作用类型; 煤岩学基础和研究方法, 以及煤的工业分类; 煤层及成煤沉积体系; 聚煤盆地与煤聚积规律; 煤的共伴生矿产特别是煤层气的地质理论; 并对中国煤田地质特征做了概述。全书注意了微观与宏观地质研究的结合, 注意了地质领域新理论新概念在煤地质学中的应用, 反映了煤地质学领域的最新成果和进展。

本书可作为高校能源地质, 以及勘探开发专业大学高年级的教材, 也可作为有关院校地质专业学生、研究生及生产单位工作人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

煤地质学/李增学等编著. —北京: 地质出版社,
2005. 1

ISBN 7-116-04400-0

I. 煤... II. 李... III. 煤田地质
IV. P618. 110. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 024815 号

责任编辑: 孙亚芸

责任校对: 李红

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324573 (编辑室)

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

网 址: <http://www.gph.com.cn>

印 刷: 北京长宁印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$

印 张: 16.75

字 数: 400 千字

印 数: 1—1500 册

版 次: 2005 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 28.00 元

ISBN 7-116-04400-0/P · 2568

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

序

中国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一，成煤期多，储量大，分布广，煤种齐全。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。即使到 2050 年，煤炭在我国能源构成中的比重仍将占 50% 以上。在相当长的时期内，煤炭在我国能源消费构成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工作仍是一项光荣而伟大的工作，煤炭作为中国第一能源矿产在我国经济建设和能源安全中所起的作用在今后相当长的时间内不会改变和动摇，煤炭在国民经济和国家经济及能源战略安全中仍然具有重要地位。

自 20 世纪 80 年代后期以来，煤田地质研究领域的层序地层研究出现了勃勃生机。盆地分析与层序地层学为煤地质学提供了新的研究方法。现代煤地质学不断吸收盆地分析和层序地层的分析方法，如聚煤盆地的整体分析、含煤地层的精细对比等，使得煤地质学领域出现了新的景象。煤地质研究已经与沉积学、地层学、层序地层学等研究融为一体，新的聚煤模式不断涌现。煤层气地质理论的形成与发展，应该看作是煤地质学的重要组成部分。

煤地质学是一个既古老又崭新的学科，它仍然是一门发展的学科。自 20 世纪 50 年代以来，我国与煤炭和地质有关的院校先后设立了煤田地质与勘探专业，煤地质学的内容一直密切地与我国煤炭生产与建设的需要相联系，经过了几代人的努力，煤地质学已经形成了比较完整的学科体系和丰富的学科内容，以及特有的研究方法体系。本书系统阐述了煤地质学的基本理论、成煤作用模式、煤岩学、煤层沉积学、成煤沉积体系、聚煤盆地、煤化作用及煤的变质作用类型、煤成气与煤层气地质的基本理论，概略地介绍了我国成煤期及聚煤盆地的一般特征。本书在前人总结的煤地质学系统学科理论与研究方法的基础上，特别在以下几个方面增加了新的内容：成煤作用理论的扩展与完善，介绍了新的成煤作用模式如海侵过程

成煤、海侵体系域成煤、海侵事件成煤等；及时把我国新的煤的分类标准编入书中，使本书更具实用性；介绍了近年来发展的煤成气和煤层气理论。这本书不仅认真总结了前人煤地质学教学改革的经验，同时还收入了编著者多年来从事煤地质学教学与研究的成果，是一本具有前瞻性、创新性和实用性的高校教材。

本书内容充实，理论和方法体系完整，是一本以崭新面貌出现的高校教材，它一定会在煤地质工作人才的培养、煤地质研究和煤田地质勘探，以及煤及其共存共生矿产的开发等方面发挥重要的作用。

地学在发展，新的理论不断涌现，煤地质学作为地学中的一个分支学科，也在不断发展和完善之中。相信本书的出版对从事煤地质研究的人员是一个鼓舞和帮助，也将对煤地质事业的发展做出贡献。

中国科学院院士

刘宝珺
2005年元月10日

绪 论

中国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一，成煤期多，储量大，分布广，煤种齐全，开发条件较好。各省区按煤炭资源总储量排序依次为：新疆、内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、贵州、河北、河南、山东等省区，均各自拥有全国资源总量的2%以上，其中，新疆、内蒙古、山西三省区约占70%。这种地理分布的不均衡性是制定资源勘探和开发战略布局的地质依据。我国的煤种从褐煤、烟煤到无烟煤均有广泛分布，不同煤种在资源总量中所占比例为：烟煤83%、无烟煤9%、褐煤8%，其中炼焦用煤约占资源总量的1/5。

截至2002年初，全国保有煤炭储量/资源量10201.50亿吨，其中储量1891.22亿吨，基础储量3340.88亿吨，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。我国煤类齐全，褐煤到无烟煤均有分布：褐煤占12.69%，低变质烟煤占42.46%，中变质烟煤占27.59%，无烟煤占14.31%。炼焦用煤占14.70%，相对缺乏。我国尚未利用的资源量中，特低灰、低灰煤占21.6%，低中灰煤占43.9%，中灰煤占32.7%，中高灰以上的煤占1.8%。在我国，特低硫煤和低硫煤占尚未利用资源量的50.4%，低中硫煤、中硫煤占尚未利用资源量的34.2%，硫分大于2.0%的煤占15.5%。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。即使到2050年，煤炭在我国能源构成中的比重仍占50%以上。在相当长的时期内，煤炭在我国能源消费构成中的主导地位不会发生根本改变。因此，从事煤田地质学的研究和勘探开发仍是一项光荣而伟大的工作。

一、煤田地质学简史

煤地质学是研究煤炭资源地质的基础科学。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，相应发展了专门的地质科学。伴随着煤炭资源地质工作的萌发，提出了许多有争议的煤田地质问题，煤的起源是早期争论的最突出也是最持久的问题，如当时有煤的有机成因和无机成因说。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，也在煤田地质学的萌发时期推动了学科的进展。

19世纪末叶到20世纪初，由于电力被应用于工业社会，冶金技术飞速提高，钢铁生产急剧增加，有机合成工业开始发展，世界铁路交通迅速扩大，这些都促使对煤炭资源的需求急剧增加。当时世界上几个发达国家相继开始了对鲁尔、西里西亚、南威尔士、顿巴斯、宾夕法尼亚等几个大煤田的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（R. Thiessen）、怀特（D. White）等发表了《煤的成因》一书；1919年英国的M. C. 斯托普斯（Stopes）划分了4种煤岩成分，并论述了它们的特征与性质之间的区别；1924年德国的H. 波多涅（Potonié）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；木质素成煤说与纤维素成煤说的争论，深化了煤的成因学说。此时煤田地质学除了偏重于研究煤的成因、性质、煤层变化等问题以外，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。随着煤炭利用的深化，初步建立了煤的工业分类、化学分类、煤的岩石分类和成因分类，围绕着含煤岩系的旋回结构层序，初步深化了煤系沉积学的研究。

我国的煤地质学萌芽时期大致始自鸦片战争到中国地质学会成立的这段时期，即1840~1920年。自鸦片战争以后，随着外国资本主义势力的入侵，当时资本主义国家的地质学家纷纷来华从事地质调查，如维里士、庞培里、李希霍芬等。我国富有爱国热忱的学者发愤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述被翻译介绍到我国，如1872年华蘅芳翻译了莱伊尔著的《地质学原理》，成了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、王竹泉等地质学者集体调查西山地质，完成了北京西山1:100000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、髫髻山系定为侏罗纪，并论述了煤田分布与向斜构造的关系，1920年出版了这一专著，成为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的阶段。

1922年中国地质学会的正式成立，标志着地质科学发展进入了新的阶段。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，主要

有李四光、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线，为含煤地层的划分及对比提供了科学依据；冯景兰、乐森珥研究了广西罗城煤田，建立了早石炭世“寺门煤系”（韦宪期早期含煤沉积）；袁复礼研究了甘肃西北部早石炭世地层，创立了“臭牛沟系”；丁文江、俞建章研究南方贵州独山地区早石炭世地层，创建了“丰宁系”；斯行建研究含煤地层植物化石，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1:1000000地质图，并论述了古生界、中生界和新生界煤炭资源及第四系泥炭分布。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，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油浸镜下观察方法引入我国，提出了对江西乐平煤的新见解。

新中国成立以后，大规模的煤田地质工作和区域地质研究，不仅发现了许多新的煤炭资源产地，而且大大地促进了我国煤田地质学的蓬勃发展。特别是我国两次开展的煤田预测工作，开始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跨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》、《辽宁煤田地质》、《黑龙江煤田地质》、《陕西省煤田地质图册》、《湖南省煤田资料汇编》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》，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。

二、煤地质学的研究领域

概括地说，煤田地质学是研究煤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，主要包括以下研究领域。

1. 煤的物理组成和性质的研究

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和组成，研究煤质特征及工业利用评价等，因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，正在开拓着充分合理地利用煤炭资源的新途径，以及许多现代技术的研究方法。

2. 成煤作用的研究

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,阐明煤的形成演变的原因,以及不同成因的煤、不同煤种、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规律,形成了含煤性预测的基础。

4. 聚煤盆地的研究

煤层、煤系形成时和形成后的演变,特别是构造控制的研究(即影响煤形成的古构造和影响煤形变的后期构造),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。在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。这些已日益成为煤田地质学的重要研究内容。

5. 煤聚积与分布规律的研究

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。

三、地学新理论新方法对煤地质学的促进与影响

沉积体系分析和层序地层学等新概念、新学科的提出和发展给煤地质学带来了新的思路和方法。当代地球科学的发展明显地表现出全球性和综合性的特点。它要求应用各种现代科学技术的最新成果,并使各门学科紧密地结合起来。层序地层学在煤田地质研究领域的应用和发展就是当代煤地质沉积学、地层学及相近学科理论和方法的综合运用。层序地层学给煤地质学研究带来了新的思路和方法技术,自20世纪80年代后期以来,煤田地质领域的层序地层研究出现勃勃生机。

沉积体系分析的理论与方法,给古老的煤地质学带来了新的思路和方法。沉积体系的系统论和从三维空间追踪沉积体的思路,使得人们将煤层作为一种特殊沉积体来研究,其在一个沉积体系中的三维分布及对其受整体水动力控制机制的分析有了全新的概念。煤层的发育在整个沉积体系中成为关键,在分析煤聚积和聚煤盆地充填规律时,煤层或煤的聚积过程已经成为对比的

钥匙。

煤地质学的成煤作用理论一直以陆相成煤作为煤形成的经典理论，即以往大多数研究者认为成煤作用发生在水退期。前人总结出了海（水）退成煤模式或“陆相成煤”模式。海退成煤作用一般发生在盆地演化某一阶段的后期，泥炭堆积的终结表明这一演化阶段的结束。所以，以往人们习惯于把煤层顶层面作为一个沉积旋回的顶界面，进行旋回划分与对比。随着沉积学的进展，泥炭的堆积过程成为地学工作者不懈探索的课题，从而发现某些煤层不是在海退期间形成，而是在海侵过程中形成的。这就使得成煤作用理论出现了质的飞跃。

盆地分析与层序地层学为煤地质学提供了新的研究方法。现代煤地质学不断吸收盆地分析和层序地层的分析方法，如聚煤盆地的整体分析、含煤地层的精细对比等，使得煤地质学领域出现了新的景象。煤地质研究已经与沉积学、地层学、层序地层学等研究融为一体，新的聚煤模式不断涌现。

煤地质学另一重要进展是不再以固体煤作为主要研究对象，而是将煤及其共、伴生矿产均作为主要研究对象。煤层气地质理论的形成与发展，应该看作是煤地质学的重要组成部分。

总之，煤地质学仍然是一门发展中的学科，是一个既古老又崭新的学科。

目 录

序

绪论

第一章 成煤原始物质与堆积环境	(1)
第一节 成煤物质	(1)
第二节 植物遗体的堆积环境	(8)
第三节 泥炭沼泽	(11)
第四节 泥炭的主要组成及性质	(17)
第二章 泥炭化作用和腐泥化作用	(21)
第一节 泥炭化作用	(21)
第二节 残植化作用	(25)
第三节 腐泥化作用	(26)
第四节 造成泥炭成分、性质不同的影响因素	(27)
第五节 煤的成因分类	(29)
第三章 煤化作用及煤的变质作用类型	(31)
第一节 煤化作用的阶段与特征	(32)
第二节 煤化作用的因素	(38)
第三节 煤化程度指标	(41)
第四节 煤的变质作用类型	(44)
第五节 煤的工业分类	(50)
第四章 煤岩学基础与研究方法概述	(84)
第一节 宏观煤岩组成及煤的物理性质	(84)
第二节 煤的显微组成	(95)
第三节 煤岩学在煤和油、气地质勘探工作中的应用	(105)
第四节 煤岩学的研究方法	(108)
第五章 含煤沉积体系	(143)
第一节 概述	(143)
第二节 煤层	(143)
第三节 含煤沉积体系及成煤特征	(160)
第六章 聚煤盆地及煤聚积规律	(176)
第一节 聚煤盆地特征	(176)
第二节 同沉积构造与煤层的形成	(181)
第三节 聚煤盆地的形成与演化	(189)
第四节 煤聚积规律研究	(197)

第五节	成煤作用研究	(200)
第六节	含煤地层的赋存与分布	(210)
第七章	煤的共、伴生矿产	(218)
第一节	油页岩	(218)
第二节	煤成气及煤层气	(220)
第三节	伴生微量元素	(233)
第四节	碳沥青	(237)
第八章	中国煤田地质特征概述	(240)
第一节	我国煤炭资源分布的基本特色	(240)
第二节	聚煤盆地形成和构造演化特点	(241)
第三节	聚煤古地理环境和古气候的演变	(245)
参考文献		(251)

第一章 成煤原始物质与堆积环境

煤是一种固态的可燃有机岩。凡是由动植物残骸等有机质形成的岩石都称作有机岩 (biolith), Potoni'e (1910) 将可燃烧的有机岩称作可燃有机岩 (caustobiolith)。煤是植物残骸经过复杂的生物化学、物理化学以及地球化学变化转变而来的, 由植物死亡、堆积一直到转变为煤经过了一系列的演变过程, 在这个转变过程中所经受的各种作用总称为成煤作用。

成煤作用大致可分为两个阶段: 第一阶段主要发生于地表的泥炭沼泽、湖泊以及浅海滨岸地带, 植物死亡后的遗体在各种微生物的参与下, 不断地分解、化合、聚积, 在这一阶段中起主要作用的是表生的生物地球化学作用, 结果使低等植物转变为腐泥, 高等植物则形成泥炭, 因此成煤作用的第一阶段称为腐泥化阶段或泥炭化阶段; 已形成的泥炭或腐泥, 由于地壳沉降等原因被沉积物覆盖掩埋于地下深处, 成煤作用就进入第二阶段, 即煤化作用阶段。在成煤作用的第二阶段中, 起主导作用的是使煤在温度、压力条件下进一步转化的物理化学作用, 即煤的成岩作用和变质作用。泥炭转变为年轻褐煤所经受的作用, 称作成岩作用, 从年轻褐煤再转变为老褐煤、烟煤、无烟煤所经受的作用, 称为变质作用。

第一节 成煤物质

一、植物演化与成煤作用的关系

成煤的原始物质主要是植物, 这种煤的植物成因观点虽然早在 18 世纪初就有人提出, 但直到 19 世纪 30 年代由于显微镜技术的广泛应用才得到公认。

由于植物是成煤的主要原始物质, 因此植物界的发展、演化, 各类植物的兴、盛、衰、亡必然影响着地史时期成煤特征的演化。植物可分为低等植物和高等植物两大类。属于低等植物的有藻类和菌类, 在地史的早期 (即元古宙到早泥盆世) 它们曾构成了当时植物界的主体, 成为植物发展演化的菌藻类植物时期。它们是由单细胞或多细胞构成的丝状体和叶状体植物, 还不具备各种植物器官的分化, 由柔软的组织形成, 构造简单, 多生活于水体中。随着地史的演化, 相继出现了以高等植物占主导地位的时期, 即早期维管植物时期、蕨类和古老裸子植物时期、裸子植物时期和被子植物时期。高等植物是由一些低等植物历经长期演变而来的, 在形体结构和生理功能特征上都比低等植物更加复杂。如种子植物, 包括裸子植物与被子植物, 有了根、茎、叶、花等器官的分化, 并用种子繁殖。

植物演化与成煤作用具有密切关系, 没有植物的发育地质历史中就不可能有聚煤作用发生。植物演化具有明显的阶段性, 因此, 成煤作用也就具有阶段性。

1. 菌藻类植物时代

早泥盆世以前为低等植物发育时代，还没有高等植物出现。因此不可能有大规模的聚煤作用发生。由低等植物经过一系列变化形成的煤，其灰分很高，有一定的发热量。这类煤称为“石煤”，如产于我国南方寒武系的“石煤”。

2. 早期维管植物时代

晚志留世至早中泥盆世为世界上最古老的陆生植物时代。植物经过漫长的发展演化，逐步从以水生为主发展到陆地生长，这是重要的植物演化飞跃。植物由水生到陆生的转化过程，是植物由低等向高等发展的重要转折时期。早期维管植物以裸蕨类为主，还包括原始的石松类、节蕨类等。裸蕨类植物是地质历史上最早的陆生植物，其特点是高度不足1m，还没有真正的叶、根之分，只在地下有一种假根。因此，裸蕨植物仍然是比较原始的植物。

3. 蕨类和古老裸子植物时代

晚泥盆世至早二叠世早期，是高等植物发育、发展和演化的最重要的时期，以石松类、节蕨类、真蕨类、古羊齿类、种子蕨类及科达类为主。这个时期的气候条件是温暖、潮湿，适合植物生长，在全球范围内比较一致。典型的植物是高大的乔木，其高度达30m以上。石松类植物如鳞木、封印木等，节蕨类植物如芦木等，种子蕨类植物如古羊齿类和大羽羊齿类，此时达发育的鼎盛时期。石炭纪一二叠纪是全世界范围内最重要的聚煤时期，这一时期地势比较平坦，植物繁盛，聚煤作用强，为第一大聚煤时期。

在我国石炭纪一二叠纪是最早和最重要的聚煤时期，形成了分布广泛的聚煤盆地和含煤地层，特别是我国华北和华南地区，含煤地层分布稳定，煤层煤质好，形成了我国重要的煤炭开发基地。如我国著名的鄂尔多斯盆地、华北盆地、华南盆地等，都是大型的石炭纪一二叠纪聚煤盆地。

4. 裸子植物时代

自晚二叠世晚期至中生代，是植物演化又一个非常重要的时代，是裸子植物最为繁盛的时代。由于海西运动和印支运动的影响，陆地面积扩大，地势变化大，地形高差分化明显，气候也随之发生变化。这个时期的主要特点是：地球上干旱气候带扩大，石炭纪一二叠纪的植物群逐渐衰落，由蕨类和古老裸子植物时代进入到裸子植物繁盛时期。

这是地质历史上又一个重要的聚煤期，侏罗纪和早白垩世被认为是世界上第二个重要的聚煤期。在我国，侏罗纪是最为重要的聚煤时期，特别是我国西部地区，侏罗系煤炭储量占我国煤炭总储量的60%左右。

5. 被子植物时代

早白垩世以后至古近纪、新近纪，植物进入到高级发展的重要阶段。这个时期构造活动更加强烈，气候分带也更加明显，被称为世界上第三个重要聚煤时期。

从以上分析可以看出，地质历史时期的聚煤作用是与地质历史中植物演化密不可分的，植物的演化和发展决定了聚煤作用的发生，因此要研究植物的演化特点，将植物演化研究与地质历史发展、盆地聚煤作用研究紧密地结合起来，才能更好地阐明聚煤作用的机制。

二、植物组成

以下主要叙述高等植物的组织。

(一) 高等植物的器官

高等植物的根是植物进化过程中适应陆生条件所形成的一种器官，它具有吸收、支持、合成和贮藏的功能。其主要功能是从土壤中吸收水、二氧化碳和无机盐类（如硫酸盐、硝酸盐、磷酸盐），以及钾、钙、镁等离子而转化为植物生存所必须的物质。根具有合成的能力，可制造某些有机物质，如氨基酸等。根的分支可形成庞大根系，具有固着和支持植物茎、叶的功能并牢固地直立于土地上。此外，根也可以成为贮存物质的场所。

高等植物茎的主要功能是将水分、无机盐类和有机营养物质运送到植物体的各个部分，同时又支持枝、叶、花、果，有利于进行光合作用、开花、传粉及果实和种子的散布，此外，还有贮藏养料的功能。

高等植物的叶，主要功能是光合作用和蒸腾作用，它们都是植物赖以生存所必需的。光合作用是绿色植物的叶片，在阳光下利用二氧化碳和水合成有机物质，并放出氧气的过程，因而形成了大气中碳循环的重要途径。光合作用所贮藏的能量，可供植物本身新陈代谢之用。水分以气体状态从植物叶内散失到大气中的过程，称为蒸腾作用。由于叶片的气孔是吸入空气中的二氧化碳及排出体内水分的通道，所以植物叶片是进行光合作用与蒸腾作用的必要条件。

(二) 高等植物的组织

在植物细胞的分化过程中，逐渐演化成具有相同生理机能和形态结构的细胞群（即各类植物组织），它们分别组成了植物的营养器官（根、茎、叶）和繁殖器官（花、果实、种子）。随着植物转化为煤，各类组织的生理机能因植物死亡而消失，但一些组织的形态结构却可保存下来，构成了煤岩学乃至古植物学研究的对象。

根据高等植物的组织功能和结构的不同，可划分出分生组织、薄壁组织、保护组织、输导组织、机械组织和分泌组织。其中，后5种组织都是在器官形成时由分生组织衍生的细胞发展而成的。

1) 分生组织：具有细胞分裂能力，它处于植物体生长的部位，如根、茎的顶端生长和加粗生长都与分生组织的活动有关。

2) 薄壁组织：在植物体中分布广，是植物体的重要组成部分，因此又叫基本组织，其共同特点是细胞壁薄，有细胞间隙，细胞体积大。

3) 保护组织：多构成暴露在空气中的器官（如茎、叶、花、果实）表面的表皮，一般都是由一层细胞组成的，这层细胞排列紧密，无细胞间隙，而且在与空气接触的纤维素的细胞壁上有角质分布，这些脂肪性的角质填加于纤维素分子的间隙中，可在外壁表面形成一层角质膜（图1-1），防止水分的流失，并具有防止微生物侵入的功能。有些植物在表皮的外壁上具有蜡质，也起保护作用。有些植物的根、茎在生长加粗的过程中破坏了原有的表皮，在表皮下又产生新的保护组织，称为周皮。周皮由木栓形成层、木栓和栓内层共同组成。由于木栓细胞不透水、不透气，而且排列整齐，因而能代替外皮层起保护作用。

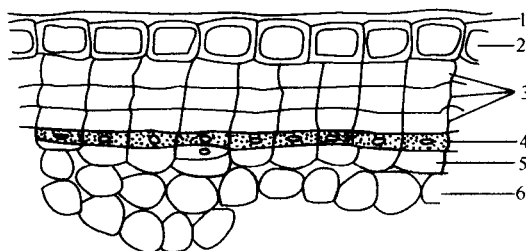


图 1-1 植物茎周皮切面示意图

1—角质膜；2—表皮；3—木栓层；4—木栓形成层；5—栓内层；6—皮层

(据北京林学院, 1961, 转引自邵震杰等, 1993)

4) 输导组织：植物体内输送水分和各种物质的组织，细胞呈长管形，细胞间以不同方式相互联系起来，形成植物体内各器官中的一个连续系统。根据输送物质的不同，输导组织又可划分为两大类：一类是输导营养物质的筛管；另一类为输导水分及溶解于水中的矿物质的导管。筛管是一连串具有输送营养物质能力的细胞的总称，各个单独的筛管细胞顶端对顶端对接的横壁上有许多小的筛孔，聚集呈筛板，因此有利于物质输送；在筛管细胞一侧有着一个或数个相伴生的细胞，称伴胞。输导水分的导管细胞与筛管细胞有类似之处，其本身的特点是：导管细胞为长形，在成熟过程中细胞的次生壁不均匀加厚，成为各种花纹，细胞壁木质化；纵行排列的导管细胞间的横壁，在细胞成熟过程中溶解形成穿孔，从而连通成管子，每一导管的长度可由几厘米到一米左右，导管的口径大小不等，口径大输水效率大。裸子植物中无导管，而具有靠细胞壁上的纹孔相沟通的管胞。

5) 机械组织：在植物体内起支持作用，细胞大多为细长形，其特征是具有加厚的细胞壁，有的在细胞的角隅处细胞壁加厚，由纤维素组成；有的具有次生的加厚细胞壁，大都木质化。

6) 分泌组织：由植物体内能产生特殊物质（如树脂等）的细胞所组成。

随着植物界的发展演变，植物器官及各种植物组织的演化程度将愈益成熟与复杂，因而不同地质时期形成的煤各具特征。例如，晚古生代的鳞木类植物具有厚的树皮，而木质部较薄；中生代的乔木裸子植物则具有薄的树皮和厚的木质部；第三纪的针叶树，含有大量树脂的木质部。

三、植物的组成和化学性质

植物主要是由有机物质构成的，但也含有一定量的无机物质。不论是低等植物还是高等植物，主要都是由碳水化合物（包括纤维素、半纤维素和果胶质等）、木质素、蛋白质和脂类化合物等组成。各类植物以及同一植物的不同部分其有机组成各不相同（表 1-1）。低等植物主要由蛋白质和碳水化合物组成，脂肪含量比较高；高等植物的组成则以纤维素、半纤维素和木质素为主。木本植物的有机组成差别很大，活细胞中的原生质主要是由蛋白质组成，茎和叶以纤维素、木质素为主。植物的角质膜、木栓层、孢子和花粉则含有大量的脂类化合物。植物有机组成的差别，直接影响到它的分解和转化，影响到煤

表 1-1 植物的主要有机组分百分含量 ($w_B/\%$)

植物		碳水化合物	木质素	蛋白质	脂类化合物
细菌		12 ~ 28	0	50 ~ 80	5 ~ 20
绿藻		30 ~ 40	0	40 ~ 50	10 ~ 20
苔藓		30 ~ 50	10	15 ~ 20	8 ~ 10
蕨类		50 ~ 60	20 ~ 30	10 ~ 15	3 ~ 5
草类		50 ~ 70	20 ~ 30	5 ~ 10	5 ~ 10
松柏及阔叶树		60 ~ 70	20 ~ 30	1 ~ 7	1 ~ 3
木本植物	木质部	60 ~ 75	20 ~ 30	1	2 ~ 3
的不	叶	65	20	8	5 ~ 8
同部	木栓	60	10	2	25 ~ 30
分	孢粉质	5	0	5	90
	原生质	20	0	70	10

的性质和利用。现分别简述各种有机组分及其与成煤作用有关的特点。

(一) 碳水化合物

碳水化合物包括纤维素、半纤维素和果胶质等，其中，纤维素是构成植物细胞壁的主要成分。纤维素在溶液中呈胶体，易于水解；在活的植物中它对于微生物的作用很稳定，但当植物死亡后，在氧化条件下容易受喜氧性细菌、霉菌等微生物的作用，分解成为 CO_2 、 CH_4 和水；在泥炭沼泽的酸性介质中，纤维素可分解为纤维二糖和葡萄糖等。半纤维素及果胶质的化学组成和性质与纤维素相近，但比纤维素更易水解为糖类和酸。

(二) 木质素

木质素也是植物细胞键的主要成分，常分布于植物机械组织的细胞壁中。它能增强坚固性，起支持作用。木本植物的木质素含量高，针叶树的木质部中木质素含量比阔叶树多。木质素的单体以不同的链联结成三度空间的大分子，所以比纤维素稳定，不易水解。当植物死亡后较易氧化为芳香酸和脂肪酸。在泥炭沼泽水中，由于水和微生物的作用，木质素发生分解，并和其他化合物生成与腐植酸相似的物质。因此，它是煤的原始物质中重要的有机组分。

(三) 蛋白质

在植物体内，蛋白质含量所占比重不大。由于它是构成植物细胞原生质的主要物质，因此在植物生存过程中起着重要作用。蛋白质是由若干氨基酸按一定键结合而成的复杂结构的高分子化合物，含羧基和羟基，具有酸性和碱性，为一种具强烈亲水性的胶体，低等植物中蛋白质含量高。植物死亡后，如果氧化条件充分，蛋白质可全部分解为气态产物而逸散掉；在泥炭沼泽和湖沼水中，蛋白质可分解并转变为氨基酸、卟啉等含氮化合物，参与成煤作用，煤中的氮、硫可能与成煤植物的蛋白质有关。

(四) 脂类化合物

脂类化合物主要指不溶于水，而溶于醚、苯、氯仿等有机质溶剂的有机化合物，这些类型的化合物分述于下。