

高等学校规划教材

煤田地质学

邵震杰 任文忠 陈家良 编

煤炭工业出版社

ISBN 7-5020-0749-0/TD·692

书号: 3516 定价: 4.35元

第 3516 号

社

高等学校规划教材

煤 田 地 质 学

邵震杰 任文忠 陈家良 编

煤炭工业出版社

758980

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书系统地阐述了煤田地质学科领域的各种地质问题,其主要内容包括:成煤作用;煤岩学基础和研究方法;煤层、煤系及成煤沉积体系;聚煤盆地构造;煤化作用与煤的变质类型;中国的聚煤盆地等。书中对煤和与其有关的可燃矿产资源在地壳中的聚集分布规律作了分析。全书注意了微观与宏观地质研究结合,理论与方法并重,较充分地反映了该学科领域的最新成果及进展。

本书是煤炭高等院校煤田地质勘查专业的教材,也可作有关大专、职工专业培训的教学用书,供从事煤及可燃矿产地质研究和勘探工作的技术人员参考。

高等学校规划教材

煤 田 地 质 学

邵震杰 任文忠 陈家良 编

责任编辑:宋德淑

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆,印张16¹/₁₆,插页4

字数382千字 印数 1—4,615

1993年3月第1版 1993年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0749-0/TD·692

书号 3516 A 0205 定价 4.35元

序

在我国的能源结构中，煤占重要的位置，成为我国现代化建设的物质基础。由于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。自50年代初，我国煤炭高等院校中建立了煤田地质专业以来，煤田地质学一直密切地联系着煤炭生产建设的需要，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理论、煤岩学、煤层地质、成煤沉积体系、煤盆地构造、煤化作用和各类煤变质作用等，并概括了我国煤盆地的一般特征。同时，扼要反映了国内外煤田地质学领域的新知识和理论。编者根据教学需要，在大量材料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的研究方法。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，又有解决问题的能力，注意了理论与实际应用结合、宏观地质与微观地质研究相结合，以及本学科与相关学科的分工和配合。这本书不仅总结了前人的经验，同时也凝聚了编者多年教学科研的结晶。

这本内容充实的新教材的出版，令人由衷的欣慰，它一定会在未来的煤田地质领域中，发挥重要的作用。

新的努力、新的开拓，一定会使煤田地质学在未来进入新的境界。

韩德馨
1992年7月

前 言

煤田地质学是地学领域中较早兴起的学科之一，伴随着现代地学的拓展和深化，它的面貌也在日新月异地更新。自1980年出版《中国煤田地质学》以来，适用于高等院校煤田地质勘查专业的专业课教材一直没有正式版本问世。为适应世界和我国煤地质科学的发展及高等学校教育改革的需要，我们依据多年教学实践撰写了这本《煤田地质学》教材。

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，它是在吸取我国和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，我们希望本书在发展学科理论、促进我国煤田地质工作和培养技术人才方面起到应有的作用。

本书是按当前煤炭高等院校教学计划中80~100学时的教学要求编写的。撰写的章节内容，均是基础性的理论。为了有助于读者深化某些内容，书后列出了主要参考著述。

本书由中国矿业大学邵震杰教授（绪论、第一、五、七、八章）、任文忠副教授（第四、六、九章）、陈家良副教授（第二、三章）编写。全书由邵震杰主编。

本书编写中，得到许多同志的关心帮助，广泛地利用了许多作者的著述及科研成果，在此致以衷心地感谢。

由于编者水平所限，书中不足之处敬请读者批评指正。

编 者

1992年6月

目 录

绪 论	1
第一章 成煤作用	5
第一节 成煤植物及其组成	5
第二节 植物的破坏与分解—泥炭的形成	11
第三节 泥炭沼泽	16
第四节 泥炭的主要组成及性质	22
第五节 腐泥化作用	24
第二章 煤岩学基础	26
第一节 宏观煤岩组成及煤的物理性质	26
第二节 煤的显微组成	36
第三节 残植煤、腐泥煤和腐植腐泥煤	54
第三章 煤岩学的研究方法及应用	58
第一节 煤岩学的研究方法	58
第二节 煤岩学在煤和油、气地质勘探工作中的应用	87
第四章 煤层	91
第一节 煤层的形成和煤层的特征	91
第二节 煤层厚度、煤层形态及其控制因素	94
第五章 煤系及成煤沉积体系	107
第一节 含煤岩系概述	107
第二节 冲积扇成煤沉积体系	109
第三节 河流成煤沉积体系	114
第四节 湖泊成煤沉积体系	120
第五节 三角洲成煤沉积体系	124
第六节 滨岸带成煤沉积体系	131
第六章 聚煤盆地构造	135
第一节 聚煤盆地	135
第二节 聚煤盆地基底先存构造及成盆期同沉积构造	140
第三节 聚煤盆地的形成与演化	149
第四节 聚煤盆地形成的地球动力模式研究	158
第七章 煤化作用及煤的变质类型	162
第一节 煤化作用的阶段及特征	162
第二节 煤化作用的因素	169
第三节 煤化程度指标	171
第四节 煤的变质类型	174
第八章 与煤有关的其它可燃矿产及煤中的微量元素	181
第一节 油页岩	181

第二节	煤层气	183
第三节	与煤伴生的微量元素	189
第四节	碳沥青	194
第九章	中国的聚煤盆地	196
第一节	聚煤盆地形成、演化的地质背景	196
第二节	晚古生代聚煤盆地	206
第三节	中生代聚煤盆地	225
第四节	新生代聚煤盆地	240
参考文献	247
图版		

绪 论

一、煤炭资源的重要性

能源是人类社会发展的物质基础，它关系到社会经济的发展，影响到人类物质文化生活的改善。

能源的发展一直与社会的发展紧密相关，在人类的社会发展史中，能源利用的演变起着极为突出的作用。人类社会的早期直到18世纪工业革命以前，在漫长的历史中，只会利用柴草资源维持着很低的生产水平和生活水平。煤炭资源的利用，促进了能源的第一次变革，带来了工业大发展，尤其在19世纪末，电力进入人类社会，从根本上改变了社会的面貌。当时煤炭资源在能源构成中几乎处于垄断地位，如1900年为94.5%。19世纪中，石油资源的开发和利用，开拓了能源利用的又一次变革，极大地促进了人类社会的繁荣和进步。当代经济发达国家的能源消费结构大多以油气资源为主，如1986年油气资源几乎占58%，煤炭资源仅占30%。

70年代以来，在世界的能源结构中，正经历着又一次大转变，从油气资源为主转向以可再生能源为基础的持久能源系统。在这个漫长的转变中，煤炭资源将重新成为世界各国的主要能源，将成为通向未来能源系统的桥梁。

能源消费量的不断增长是建设现代化国家的重要条件。近20~30年来，世界能源消费飞速增长。如1960~1975年期间，15年的能源消费量，相当于1900~1960年间60年的能源消费量；1978年世界能源消费量与1950年相比，为其3.5倍。正是这个时期，发达国家的经济有了极大的增长。

能源是实现我国四个现代化的物质基础，我国的工业化过程也就是以消费能源的机器代替劳力的过程，农业现代化也是以能源代替人力、畜力及天然肥料的过程，国防和科技的现代化更需要投入更多的能源。

我国自建国以来，随着国民经济的发展，能源消费量迅速增加。目前能源消费总量仅次于美、原苏联两国，居于世界第三位。

我国的能源消费构成中，始终以煤炭资源为主，这是我国能源消费不同于世界主要工业国家的特点之一。煤炭是我国工业的燃料动力基础，工业部门使用的能源几乎占2/3，如1986年74%的煤炭总消费量用于工业生产、电力、钢铁、建材和化工；农村生产和生活中使用的能源也大约有75%来自煤炭。煤炭占民用能源的几乎90%。根据我国能源资源和开发情况及经济技术发展水平，可以预见未来一个相当时期内，煤炭将始终是我国的主要能源。随着社会生产的发展煤炭资源加工利用的进步，煤作为各种工业原料也将日趋发挥着极为重要的作用。

二、煤炭的早期开发和利用

我国是当今世界产煤的大国，又是煤炭资源总量最多的国家之一，并且也是世界上最早发现和使用煤炭的国家。

在我国新石器时代的晚期遗物和周朝的墓葬里，曾发现过用煤精制成的工艺品。公元

前 720 年开始的春秋战国时期，已较多地使用煤炭，当时称之为“石涅”或“涅石”。在汉代的冶铁遗址中曾发现过有加工的煤饼。三国时期“石涅”、“石墨”并称，魏晋时期则称“石墨”、“石炭”，直到明朝才有“煤”的称呼。《本草纲目》中记载：“石炭即乌金石，上古以书字，谓之石墨，今俗呼为煤炭，煤墨音相近也”。

在长期的生产生活实践中，我国人民逐步加深了对煤炭资源的认识，用煤的范围日益广泛。我国元朝，意大利人马可波罗（Marco Polo）在中国生活了 24 年回到威尼斯后，才将煤炭的利用带入西欧。在他的旅游记载中曾记述：契丹全境中有一种黑石，采自山中，如同脉络，燃烧与薪无异，其火候较薪为优，盖若夜间燃火，次晨不息，其质优良，致使全境不燃他物……。由此可见，当时我国的采煤业已有相当规模。明朝时，我国已总结出一些有关煤的知识。16 世纪，我国医学家李时珍在《本草纲目》中描述了煤及其产地。宋应星在《天工开物》中已知按粒度及用途对煤进行了初步分类，并论述了不同类别煤炭的利用及产地。

除我国外，世界上其它国家（如希腊和罗马）也是使用煤炭较早的国家。希腊人西奥法斯特斯（Theophrastus）在公元前 300 年左右所著的“石史”中也记载有煤的性质及产地；罗马人已在 2000 年前用煤加热。

三、煤田地质学简史

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才发展起来的。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，为了寻找煤炭及其它各种矿产资源，欧洲的许多先进国家相继成立地质调查机构，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，提出了许多争论的煤田地质问题，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。自 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 世纪末叶到 20 世纪初，由于电力引入工业社会，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开展了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倍出，发表了许多有影响的学术成果。例如，1913 年西逊（R. Thie-ssen）、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。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、髻髻山系定为侏罗纪，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，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限，为含煤地层的划分及对比提供了科学依据；冯景兰、乐森珩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“臭牛沟系”；丁文江、俞建章研究南方贵州独山地区下石炭世地层，创建“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，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，不仅在实践上发现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步入了蓬勃发展的新阶段。特别是我国两次开展的煤田预测工作，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》、《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》，系统地、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。

四、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，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. 煤的形成作用的研究

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，形成了含煤性预测的基础。

4. 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。这些已日益成为煤田地质学的重要研究方面。

5. 煤在地壳中聚集分布规律的研究

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。

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。

第一章 成煤作用

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) 将可燃的有机岩称作可燃有机岩 (Caustobioliths)。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是经过一系列的演变过程, 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予下, 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。泥炭转变为年青褐煤所经受的作用, 称作成岩作用, 从年青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 成煤植物及其组成

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世纪初已有人提出, 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。

一、成煤植物

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。植物界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 (即元古代到早泥盆世) 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, 即裸蕨类植物时期、蕨类种子蕨类植物时期、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。

(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。根的分枝可形成庞大根系, 具有固着和支持植物的茎、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须的。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）和结实器官（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解剖结构研究的对象。

根据高等植物的组织功能和结构的不同，可划分为分生组织、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种组织都是器官形成时由分生组织衍生的细胞发展而成。

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。

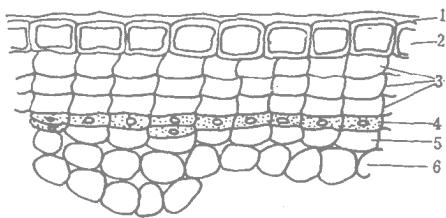


图 1-1 茎周皮切面示意图

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)

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，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。周皮是由木栓形成层、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。

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

地连接起来，其细胞结构特点是：筛管细胞为长形薄壁细胞，当细胞成熟后细胞核消失；各个筛管细胞连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勾通的管胞（图1-2）。

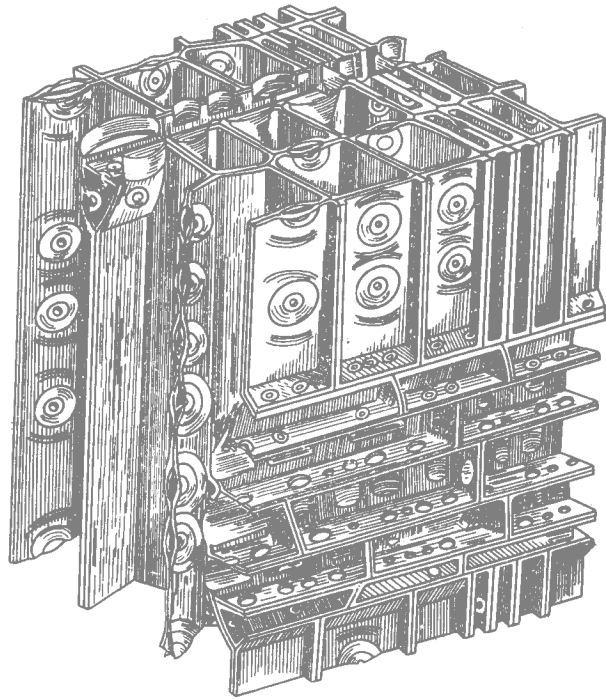


图 1-2 裸子植物松的次生木质部立体结构图
图中：横列细胞为木射线，纵列细胞为管胞，壁上有具缘纹孔
(据高信曾，1978)

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易成熟与复杂，因而不同地史时期形成的煤各具特征。例如，晚古生代隐花植物具有厚的树皮，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，具有大量树脂的木质部。

二、植物的组成及化学性质

植物主要是由有机物质构成，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。植物的有机组成的差别，直接影响到它的分解和转化，影响到煤的性质和利用。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

表 1-1 植物的主要有机组分百分含量

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 的不同部分	木 质 部	60~75	20~30	1	2~3
	叶	65	20	8	5~8
	木 栓	60	10	2	25~30
	孢 粉 质	5	0	5	90
	原 生 质	20	0	70	10

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是与纤维素相近，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壁的主要成分，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，并和其它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、吡啉等含氮化合物，参予成煤作用，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，这些类型的化合物现分述于下：

1. 脂肪

脂肪属长链脂肪酸的甘油酯。低等植物含脂肪多，藻类中含量可达20%；高等植物含脂肪一般为1%~2%，大多集中于孢子、种子或茎皮、树皮中。在生物化学作用过程中，在酸性、碱性溶液中脂肪能被水解，生成脂肪酸及甘油，脂肪酸参予了成煤作用。在自然条件下，脂肪酸具有一定的稳定性，因此从泥炭、褐煤中提炼出的沥青内可发现脂肪酸。

2. 蜡质

蜡质多呈薄膜覆盖于茎、叶和果实的表皮上，具有防止水分流失和保护植物免遭伤害。蜡质化学成分复杂，但化学性质稳定、不易遭受分解，在泥炭、褐煤中常见有蜡质。

3. 树脂

树脂是植物分泌组织在生长过程中的分泌物，具有保护作用。树脂是单、二、三萜烯类的混合物，其中含有一些萜烯酸，如树脂酸、松香酸等。有人认为1/10的植物都含有树脂体，其中2/3为热带植物，所有针叶树都有树脂。古生代的科达树，在其木质部和薄壁组织中也有与树脂有关的暗色树脂状物质；始新世、渐新世的南美杉树 (*Araucaria*)，能产生极多的树脂。树脂的化学性质极为稳定，不溶于有机酸，微生物及昆虫都不能破坏它，因此可以完好地保存于煤中。在煤化作用中，树脂的主要挥发组分（如单萜烯烃、双萜烯烃等）大部分将消失，少量可以保存下来。

4. 角质与木栓质

角质与木栓质都是植物保护组织产生的物质。角质是构成角质层的主要成分，它是脂肪酸脱水或聚合作用的产物，主要成分各种角质酸。木栓质是构成植物的木栓层的主要成分。角质和木栓质的化学性质稳定，因而由它们形成的植物组织常保存于煤中。

5. 孢粉质

孢粉质是构成植物孢子与花粉外壁的主要有机组分。它具有脂肪族—芳香族碳网结构，化学性质甚为稳定，能耐一定的温度和酸、碱的处理，不溶于有机溶液。古生代煤中常保存有大量孢子。

植物的有机组分中除以上五类外，还有鞣质、色素等成分。鞣质（又称丹宁）是由不同的芳香族化合物，如丹宁酸、五倍子酸、鞣花酸等混合而成，具有酚的特性。鞣质具抗腐蚀性，可浸透老年木质部的细胞壁、种子外壳、树皮，从而增强了抗腐蚀性。色素是植物体内贮存和传递能量的重要组分。

除了上述植物的有机化合物组成外，植物有机质的元素组成也影响着成煤特征和煤的利用。构成植物有机质的元素种类虽少，但含量大，主要由碳、氢、氧、氮4种元素组成（表1-2）。

表 1-2 成煤植物各种物质的元素成分

元素组成, % 成煤植物	C	H	O	N
浮游植物	45.0	7.0	45.0	3.0
细菌	48.0	7.5	32.5	12.0
陆生植物	54.0	6.0	37.0	2.75
纤维素	44.4	6.2	49.4	—
木质素	62.0	6.1	31.9	—
蛋白质	53.0	7.0	23.0	16.0
脂肪	77.5	12.0	10.5	—
蜡质	81.0	13.5	5.5	—
角质	61.5	9.1	29.4	—
树脂	80.0	10.5	9.0	—
孢粉质	59.3	8.2	32.5	—
鞣质	51.3	4.3	44.4	—