

煤地质学进展

杨 起 主编

科学出版社

煤地质学进展

杨 起 主编

科学出版社

1987

内 容 简 介

我国煤资源丰富,煤质多种多样,是我国能源的主要构成部分。但我国煤资源的勘探和综合利用还相当落后,尚需加强煤的聚积规律和从成因上探讨煤质的研究工作。本书比较系统地介绍了国内外煤地质学近十几年来的进展,对于加速上述几方面的科研工作及煤田地质工作将会提供有用的线索和参考资料。

全书共分七章,前四章系统地讨论了关系到煤质研究的泥炭与泥炭沼泽、煤岩学、煤化作用和煤中无机组分地球化学的进展;后三章则从含煤岩系的沉积环境与煤的沉积模式、聚煤盆地的构造演化以及煤炭资源与煤聚积的演化这几方面反映聚煤规律的研究成果。本书可供从事煤地质学科研究与教学的科技人员、研究生、大学生及煤田地质工作者参考,也可作为高等院校有关专业的教学参考书。

煤 地 质 学 进 展

杨 起 主编

责任编辑:周明鉴 吴寅泰

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1987年8月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:0001—1,850 字数:468,000

统一书号:13031·3613

本社书号:4626·13-14

定价 5.20元

前 言

能源是工业革命的动力，是发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活的重要物质基础。能源问题解决得好坏，直接影响到国民经济的发展速度。

在二十世纪前25年内，煤在能源中占有主导地位。例如，1925年，煤提供了世界能源需要量的83%。随后，由于石油和天然气的大量使用，导致煤在能源中所占的比重逐渐下降，到1970年，已降到全世界能源消耗量的29%。但是，从七十年代初期所谓的“石油危机”发生以来，大力勘探和开发煤炭资源，提高煤的利用效益，发展煤的热解、液化、气化、合成等煤的综合利用工业，成为世界各国解决能源问题的共同趋势。

国际应用系统分析研究所（IIASA）1981年认为，由于能源本身的技术革新需要较长的时间，能源换代约需100年左右。预测从1981年开始到2030年的50年内，世界能源仍将以矿物燃料为主，煤的需要量将大幅度增加，而对液体燃料的需求将超过石油的生产能力，其差额的弥补也须依赖于煤的液化和合成。煤将成为通向未来可再生能源的桥梁。

我国煤炭资源极为丰富，煤质多种多样，在我国能源结构中占有很大的比例，可以预见在未来相当长的一段时期内，煤仍将是我国能源的主要组成部分。虽然我国煤的储量和产量都居世界的第三位，可是在 7×10^{11} t探明储量中，由于C₂级储量所占的比重较大，可供建井的比例并不高，还不能适应国民经济日益增长的需要。

根据色谱分析，煤中的组分多达四百多种。有人计算过，若以煤直接燃烧所产生的价值作为1，那末，经过干馏获得的焦油其价值就可达到10，制成合成燃料其价值就能增加到300以上，制成合成纤维其产生的价值就可达到1000以上。可是在我国，目前很大一部分煤是不考虑其工艺特点就用于直接燃烧。正如李四光教授生前指出的：“象煤炭这种由大量丰富多彩的物质集中构成的原料，不管青红皂白，一概当作燃料烧掉，这是无可弥补的损失”。因此，我们应该强调煤的合理利用和综合利用。

为了能使我国煤的产量到2000年时翻一番，满足我国一个较长时期内的需要，并且对煤加以综合利用，制取液体燃料和化工原料，就必须探明在煤质上能符合四化建设需要的、更多储量的煤。因此，加强聚煤规律和煤质的研究已是煤田地质工作的当务之急。本书着重从这两个方面，分为七章，介绍煤地质科学的近期进展，供从事煤田地质工作的科研、生产和教学人员参考。

第一章介绍的是泥炭和泥炭沼泽的研究近况。根据Singleton 1979年估算，全世界的泥炭储量约为 2.46×10^{11} t（水分含量为10%）。这是一种不容忽视的资源，因此从七十年代开始，国外出版了一系列有关泥炭和泥炭沼泽的著作。对于泥炭和泥炭沼泽的研究不只是为了更好地了解和利用泥炭，而且还在于这是探讨成煤作用一系列问题的重要途径。本章着重介绍了沼泽植物的分解作用、泥炭沼泽的介质特点、泥炭化过程中的微生物活动、泥炭的堆积和搬运，以及泥炭的物质组成与植被、堆积环境的关系等近期

研究成果。

第二章介绍的是煤地质学领域中近年来取得进展最多的学科——煤岩学。其进展主要表现在：煤的显微组分、显微岩石类型和岩石类型划分的国际方案已基本拟定，分类和命名的标准化奠定了现代煤岩学的基础；证明了煤的光性常数（反射率、折射率、吸收系数）是煤的发生和演变的精确反映，从而不断地为煤岩学应用研究开辟新领域；煤岩分析方法实现了标准化，并向自动化方向发展；不断地采用一些新的研究方法（如荧光显微镜法、干涉显微镜法、漫射测定法等）；近期应用煤岩学解决地质理论问题和油气勘探，以及作为煤炭加工利用工业中的测试手段所取得的成就。

第三章介绍的是煤化作用研究的近期进展。主要反映在：对镜质组反射率特点的研究，并以类脂组荧光性补充镜质组反射率在低煤化阶段作为参数的不足，使煤化参数更趋于完善；对煤化作用的实质有了更进一步的认识，如煤化作用过程中的四次跃变和沥青化作用等；煤化作用研究在地层、构造、古地温、再造古地理史和构造史以及油气勘探等研究工作中得到广泛的应用，等等。

第四章介绍的是煤中无机组分的地球化学方面的进展。由于对煤质评价、选煤工艺、煤中稀有元素的利用、煤的气化、液化过程中无机组分的作用、煤的综合利用以及煤矸石、煤渣处理、环境保护等问题日益受到重视，促使人们对煤中无机组分进行更多的研究，主要在煤中的矿物、无机组分主要元素和次要元素的分布、煤灰的成因分类、稀有元素的赋存形态和富集途径等方面取得了新的进展

第五章介绍的是含煤岩系的沉积环境和煤的沉积模式方面的进展。近年来由于吸取、运用沉积学中迅速发展的岩石成因标志、垂直层序、砂体形态、古水流和沉积环境模式等方面的成就，在研究含煤岩系的沉积环境和聚煤模式，尤其是三角洲、障壁岛-潟湖、河流、冲积扇环境下的聚煤模式方面，取得了较明显的进展。

第六章介绍的是聚煤盆地的构造演化，这是沉积学近年来发展的一个新的领域。它以盆地作为整体，从盆地发育的背景出发，构造与建造相结合，来分析沉积环境、古构造条件和演化历史；它从盆地的成因及其发育过程来研究含煤岩系和煤层的堆积与分布。

第七章介绍的是煤炭资源和煤聚集的演化，基于近期研究成果，叙述了各地质时代、各大洲以及各个国家和地区的煤炭资源，并从植物演化、构造和气候条件出发，阐述聚煤作用在地史上的演变，探讨了各地质时期聚煤带的分布及其原因，并介绍了含煤建造（煤田）的成因类型。

本书由杨起主编，各章由以下七位同志分别编译：任德贻（第一章）、顾寿昌（第二章）、杨起（第三章）、李河名（第四章）、陈钟惠（第五章）、李思田（第六章）、赵隆业（第七章）。全书由李濂清编辑。

本书中出现的一些计量单位与法定计量单位的换算关系为：1ft(英尺)=0.3048m, 1cal=4.1868J, 1inch(英寸)=0.0254m, 1lb(磅)=0.4536kg, 1mile(英里)=1.609km。

主编 杨 起
编译 任德贻 李河名 李思田
陈钟惠 杨 起 赵隆业
顾寿昌
编辑 李濂清

目 录

前言	(i)
第一章 泥炭和泥炭沼泽	(1)
一、世界泥炭资源	(1)
二、关于泥炭化作用的若干问题	(4)
三、泥炭和腐泥的积聚速度	(7)
四、成煤植物的堆积方式	(9)
五、泥炭的岩石学研究	(10)
六、成煤植物、泥炭沼泽聚积环境与泥炭硫含量的关系	(14)
第二章 煤岩学	(19)
一、分类和命名的标准化	(19)
二、煤的光性研究	(35)
三、煤岩分析方法的标准化和自动化	(64)
四、新的煤岩研究方法	(82)
五、煤岩学的实际应用	(107)
第三章 煤化作用	(156)
一、煤化作用参数	(156)
二、煤化作用因素	(164)
三、煤化作用的实质	(178)
四、煤化作用研究的应用	(183)
第四章 煤的无机组分地球化学	(196)
一、煤中的矿物	(196)
二、煤灰	(208)
三、煤中的次要元素和微量元素	(216)
四、煤中的稀有元素	(218)
五、成煤环境的地球化学指标	(226)
第五章 含煤岩系的沉积环境和煤的沉积模式	(235)
一、冲积扇环境	(235)
二、河流环境	(243)
三、三角洲环境	(254)
四、障壁岛-潟湖环境	(265)
第六章 聚煤盆地的构造演化	(274)
一、聚煤盆地的构造演化和大地构造背景	(274)
二、控制煤聚积的同沉积构造和同沉积构造运动	(286)
三、聚煤盆地构造演化的研究方法	(292)

四、规划与展望.....	(293)
第七章 煤炭资源和煤聚积的演化.....	(296)
一、世界煤炭资源.....	(296)
二、煤聚积的历史演化.....	(300)
三、煤聚积和分布的气候带条件.....	(303)
四、煤聚积的大地构造基础.....	(305)
五、煤盆地的成因和成因类型.....	(310)

第一章 泥炭和泥炭沼泽

一、世界泥炭资源

泥炭是世界上分布很广泛的一种资源。对泥炭资源的开发和综合利用正日益受到重视。

各位作者对世界泥炭地的总面积和泥炭总储量的估计,存在相当大的差别。

在1980年召开的第六届国际泥炭会议上,国际泥炭学会主席E. Kivinen和P. Parkarinen根据15个国家寄回的泥炭地面积的调查资料及近期的文献资料,估计全世界泥炭地(指泥炭层厚度大于30cm的)总面积超过 $4.2 \times 10^6 \text{ km}^2$ (表1-1)。考虑到资料中缺少非洲国家、一些南美和中美洲国家,特别是智利、巴西、玻利维亚、牙买加等国家,以及越南、孟加拉等东南亚国家的数据,作者认为,全世界泥炭地的总面积很可能达到甚至超过 $5 \times 10^6 \text{ km}^2$,占陆地面积的3.3%。

这些数据与Tibbetts (1969)在第三届国际泥炭会议上所估计的 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,以及Moore和Bellamy (1974)估计的 $2.3 \times 10^6 \text{ km}^2$,都有很大的出入。造成这种差异的重要原因之一是,各国在确定泥炭地时所采用的泥炭层厚度的下限很不一致。例如,按加拿大土壤分类法,规定厚度大于60cm的纤维状泥炭产地,厚度大于40cm的中等分解程度及高分解程度的泥炭产地,才算作泥炭地。这样,在加拿大分布很广的有机土(organic terrain)就不能列入泥炭地。而按国际泥炭学会(IPS)的规定,泥炭层厚度大于30cm的,不论其分解程度如何,都可算作泥炭地。现代估计加拿大的泥炭地面积由 $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Moore和Bellamy, 1974; Rennie, 1977)到 $1.7 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Zotlaj, 1979)。又如,以往经常引用的苏联泥炭地面积为 $7.15 \times 10^5 \text{ km}^2$ (Оленин, 1963, 1968),指的是泥炭层厚度大于1m的泥炭地。据Нейштадт (1977),仅西西伯利亚地区就有 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 泥炭地。另一方面,在不少国家和地区(如印度尼西亚、美国的阿拉斯加、苏联的西西伯利亚等)的深入研究,也增加了泥炭地的面积。我国泥炭地面积的数据亦首次统计入全世界的总面积之中。

对世界泥炭总储量的估计,也由于不同作者所采用的计算基准不同,而有相当大的出入。如Farnham (1979)按泥炭含水分35%计算,全世界总储量为 $5.42 \times 10^{11} \text{ t}$; Singleton (1979)按泥炭含水分10%计算,全世界储量为 $2.46 \times 10^{11} \text{ t}$;而Mickelson (1975)按空气干燥样计算,则全世界泥炭储量为 $1.9 \times 10^{11} \text{ t}$ (Fuchsman, 1980)。

世界上泥炭资源的分布是不均衡的。据Оленин (1980),95%的资源集中在北半球温带地区。泥炭资源丰富的国家大多是曾被第四纪冰川覆盖的地域,如苏联、加拿大、美国、芬兰、英国、联邦德国、民主德国、瑞典、波兰、挪威等。潮湿的亚热带和热带地区在世界泥炭资源中所占的比例很小,当然,也可能由于这些地区的研究程度较低而使储量数值偏低(图1-1)。

表 1 - 1 世界各国 (地区) 泥炭地总面积的估计
(E. Kivinen 和 P. Pakarinen, 1980)

国 别 (地区)	泥炭地面积 (10^3 km^2) (泥炭层厚度 大于30cm)	资 料 来 源	国 别 (地区)	泥炭地面积 (10^3 km^2) (泥炭层厚度 大于30cm)	资 料 来 源
加 拿 大	1700	Zoltai, 1979	古 巴	4.50	Schneider, 1976
苏 联	1500	Heikutaainen, 1971	荷 兰	2.50	Goodwillie, 1979
美国 (阿拉斯加)	300	Kivinen, 1979	日 本	2.00	Schneider, 1976
美国 (阿拉斯加 以外地区)	102.4	美国农业部, 1967	新 西 兰	1.50	IPS, 1979
印度尼西亚	260	Driessen 等, 1979	丹 麦	1.20	IPS, 1979
芬 兰	104	Kivinen, 1979	意大利	1.20	Goodwillie, 1979
瑞 典	70	Goodwillie, 1979	匈牙利	1.00	Schneider, 1976
中 国	34.8	国际泥炭学会 (IPS), 1979	南斯拉夫	1.00	Kurtovic, 1973
挪 威	30	Tibbetts, 1969	乌拉圭	1.00	Schneider, 1976
马来西亚	(23.6)		法 国	0.90	IPS, 1979
沙捞越 + 文莱*	15.6	Anderson, 1973	瑞 士	0.55	IPS, 1979
马来西亚西部	8	Coulter, 1957	阿根廷	0.45	Schneider, 1976
英 国	15.8	Taylor, 1976	捷克斯洛伐克	0.31	IPS, 1979
			奥地利	0.22	Schneider, 1976
波 兰	13.5	IPS, 1979	比利时	0.18	Goodwillie, 1979
爱尔兰	11.8	IPS, 1979	澳大利亚		
		Hammond, 1979	(昆士兰)	0.15	Haveraaen, 1977
联邦德国	11.1	IPS, 1979	罗马尼亚	0.07	Tibbetts, 1969
冰 岛	10	Bjarnason, 1968	西班牙	0.06	Schneider, 1976
民主德国	5.50	IPS, 1979	以色列	0.05	Tibbetts, 1969
			希 腊	0.05	Schneider, 1976
			保加利亚	0.01	Schneider, 1976

*原文资料如此。——编者注

Македонов等 (1970) 按大地构造条件, 把现代泥炭田分为地台区的、地槽区的和造山区 (年轻褶皱山区) 的三类。他们认为, 大规模的泥炭田都与活动性弱的较古老地台上的继承性拗陷有关, 如苏联的西西伯利亚泥炭田、美国的大西洋海岸泥炭田和大湖区泥炭田等。

Матвеев等 (1984) 指出, 现代泥炭田的面积可与古代的煤田相比, 通古斯煤田和西西伯利亚泥炭田的面积都近 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 莫斯科煤田和皮亚特河附近的泥炭田的面积约 $1.0 \times 10^5 - 1.2 \times 10^5 \text{ km}^2$, 顿涅茨煤田和波罗的海附近的泥炭田约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

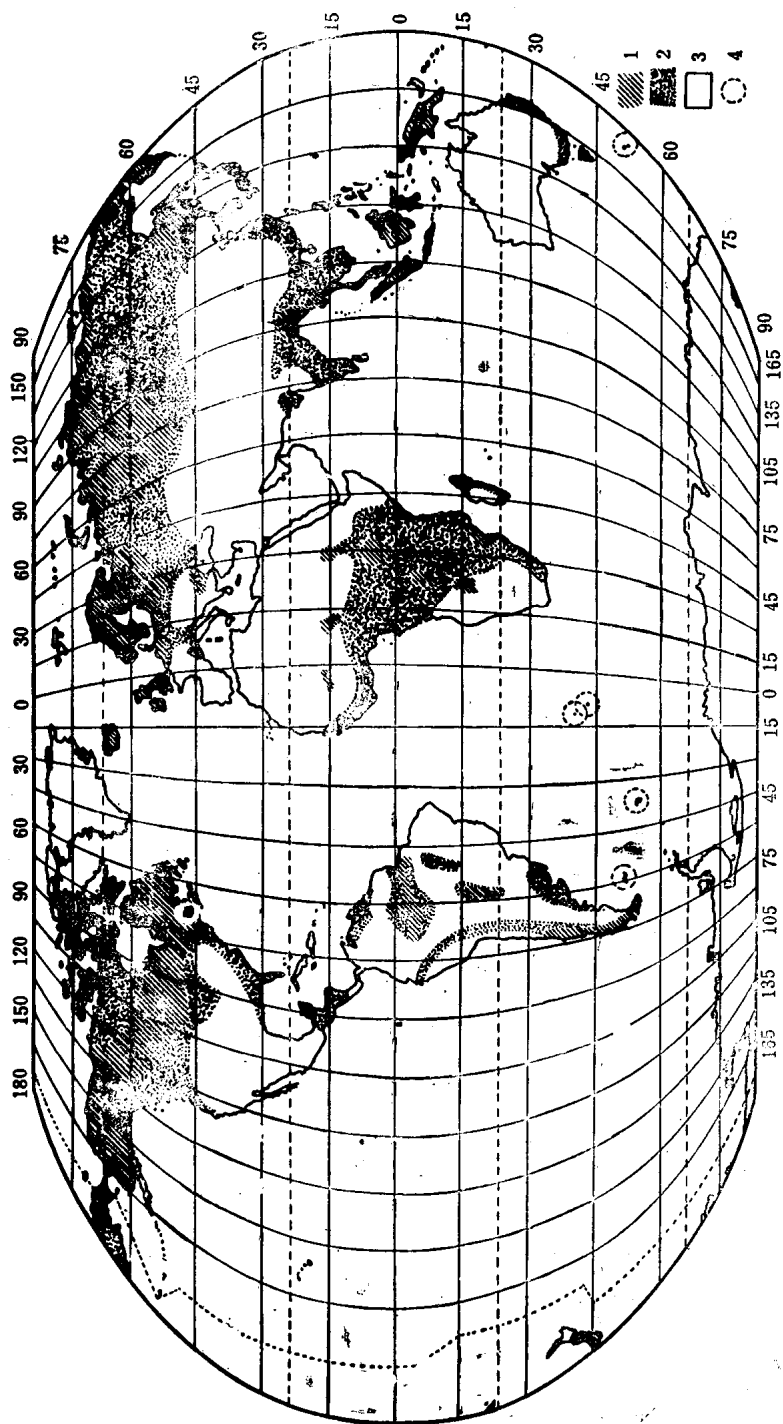


图1-1 世界泥炭沼泽分布示意图

1.泥炭沼泽面积大于10%的地区, 2.泥炭沼泽面积占0.5—10%的地区 3.泥炭沼泽面积小于0.5%的地区 4.有相当多泥炭沼泽的岛屿 (Gore, 1983)

二、关于泥炭化作用的若干问题

七十年代以来,国外出版的一系列专著,涉及到泥炭沼泽、泥炭化作用、沼泽植物的降解作用和微生物活动等方面的内容。如日本阪口丰的《泥炭地地学》(1974),英国P. D. Moore和D. J. Bellamy的《泥炭地》(1974),苏联С. Н. Тюрменов的《泥炭田》(1976),Л. С. Козловская等的《形成泥炭过程中有机质的动态》(1978),М. С. Боч和В. В. Мазинг的《苏联沼泽的生态体系》(1979),Т. В. Аристовская的《形成土壤过程中的微生物学》(1980),英国C. H. Dickinson和G. J. F. Pugh主编的《植物枯枝落叶层降解的生物学》(1974),联邦德国W. E. Krumbein主编的《环境生物地球化学和地球微生物学》(1978),A. J. P. Gore编的《世界生态体系4A及4B,泥炭沼泽》(1983),等等。这些著作中,有的是综述,有些是地区性的泥炭沼泽的专题研究,有些虽然不是专论泥炭化作用的,但其基本观点有助于深入认识泥炭化过程中复杂的生物化学变化。

1. 沼泽植物的分解作用

植物遗体主要是在泥炭沼泽表层——泥炭形成层中分解并逐渐转变成泥炭的。泥炭形成层的厚度一般为几十厘米,而在不同类型沼泽中,形成层的厚度不一,据苏联资料,西西伯利亚低位沼泽的泥炭形成层厚26—95cm,而高位沼泽为16—54cm。泥炭沼泽表层由于湿度大、水流弱,而且植物遗体氧化和分解过程中消耗大量的氧,因而氧含量仍很低,每升仅为0—12mg。

Heal和French (1974)认为,沼泽植物遗体在分解过程中发生三种变化:

(1) 溶于水的部分和易水解的部分被浸析出来,并为微生物所利用,迅速分解,特别是在富氧条件下更是如此。由不同植物、不同植物组织和器官浸析出的有机质的数量不同,浸析速度也不同。如木本植物的木质部能浸析出的部分仅占干重的5%,而草本植物的叶可达30%。又如,云杉和松的针叶需20—25天才能浸析出其水溶性有机质,而赤杨和白桦树叶在7天内即丧失其全部水溶性有机质。(2) 由于微生物和沼泽土壤动物的活动,使有机质分解、转化。(3) 受沼泽土壤动物和各种物理因素的影响而破碎。

沼泽植物的分解速度和特点与其化学组成有关。Козловская等(1978)认为,氮、钙、易水解的碳水化合物和溶于水的有机质含量高的沼泽植物,如睡菜、芝菜、云莓、羊胡子草以及阔叶树叶等,很容易受到微生物的分解。营养质较少,而萜类、酚类、树脂含量高的沼泽植物,如泥炭藓、针叶树、岩高兰等灌木的茎和叶、许多植物的根,其分解作用易受到抑制。有人把形成泥炭的各种植物埋在沼泽土壤里,观察其分解作用。结果发现,经过埋藏390天后,泥炭藓仍能剩余84.0%,松针剩余43.0%,杂草为30.3%,桦树叶仅25.0%。

实际情况要复杂得多。化学分析表明,不同种植物的角质层在有机组成上是有区别的,有时同一种植物不同器官的角质层的组成也还有差别,例如,叶、花等生长速度快的角质层含十六烷酸多,而果实的角质层含C₁₈单体多。不同针叶树针叶的萜烯的组成

不同,可作为其分类的参数。Sangster和Dale把杨、松、香蒲等三个属的花粉放在池塘、湖、沼泽、酸沼等四种不同环境里进行试验,结果发现,各种花粉的保存程度有相当大的差别。松属花粉耐腐解,在不同环境中都保存良好,相反,杨属花粉在各种环境里都已分解,而香蒲花粉仅保存于酸沼环境中。这表明,不同植物花粉的外壳是由不同比例的孢粉素所组成的。

Боч和Мазинг (1979) 指出,除了不同植物的分解程度有很大差别以外,气候条件对沼泽植物的分解亦有影响。同种类植物,在大陆性气候条件下,不论是温带还是寒带,其分解作用都比在海洋性气候条件下快。在不同湿度的地区,以中等潮湿地区分解最好。Кононова认为,对于微生物的发育条件来说,最有利的温度为30℃左右,湿度为60—80%。

据Reader等(1972,转引自Боч等,1979)和Heal等(1976,转引自Боч等,1979)的统计资料,每年积聚的泥炭仅占原始生物量的10—20%,生物质的其余部分分解后,参与了植物、土壤和大气之间的循环,也有一些呈水溶液状态从沼泽中被带走。1978年Пьявченко等(引自Боч等,1979)对苏联卡累利阿地区泥炭沼泽的研究亦表明,积聚的泥炭仅占原始植物生物量的16.5%。特别是位于潮汐带的红树林沼泽和草本盐沼,植物生物质受到潮汐的冲刷,丧失量很大。如美国佐治亚州萨佩洛岛的草本盐沼网茅的生物量的碳为1,575g/m²·a,藻类为131g/m²·a,总的生物量的碳为1,706g/m²·a,而被潮汐运移走的丧失量达586g/m²·a,占34%,加上呼吸作用等,总丧失量近1,500g/m²·a,沉积积聚的只有29g/m²·a,尚不足总生物量中碳的2%。

Штина等(1981)研究了苏联卡累利阿地区沼泽中的藻类后强调指出,藻类是沼泽植物和植物群不可分割的一部分。在沼泽中,特别是在富营养的沼泽中,藻类与高等植物相比,不仅数量多,而且种属亦多。在进行过植物学和生态学研究的苏联沼泽土壤中,共发现592种藻类。由于藻类是喜光的生物,所以主要发育在泥炭土壤层上部几厘米之内。美国特拉华州潮间带草本盐沼的藻类的生物量的碳为80g/m²·a,约等于这种沼泽的被子植物原始产量的三分之一。爱尔兰苔藓沼泽中藻类的生物量的碳为186g/m²·a;而苔藓仅50g/m²·a。根据1976—1977两年对美国威斯康星州门多塔湖以蓝绿藻为主体的浮游植物的生长、分解和堆积过程的观察发现¹⁾,实际上有57—67%的有机碳在沉积过程中由于分解而丧失,其余的在沉积物表层又进一步分解,最后,仅有11%的原始有机质能保存下来。

2. 泥炭化作用与微生物活动

植物遗体转化为泥炭,这是在微生物参与下发生的一种非常复杂的生物化学变化过程。

1978年,E. Küster在《泥炭的微生物学》一文(Krumbein, 1978)中指出,泥炭中发现的微生物比早先估计的要多得多,有些微生物还相当活跃。与矿质土壤相比,泥炭中往往只有几种占优势的微生物。真菌中占优势的是青霉菌,此外尚有曲霉、腐霉、叶芽枝霉、头孢霉、木霉等。泥炭中细菌的种属亦很少,据Holding, Latter等的资料

1) 据R.D. Fallon和Th.D. Brock (1980) 报道。

(引自Krumbein, 1978),泥炭中芽孢杆菌占多数;而在另一些样品中,假单胞杆菌占优势。近来,运用电子显微镜在泥炭中发现了带有附器的星状细菌、平坦的有孔细菌等新的形态。未开垦沼泽的酸度大,通气性差,其中放线菌少见,偶见分枝远而细窄的诺卡氏菌菌丝。

在泥炭剖面中,随着深度的增加,细菌的数目并不是直线下降,而往往在100cm深处又开始增加,在150—175cm深处达到最大值。随着深度的增加,厌氧细菌在全部细菌中所占的百分比,由表层的3—5%增加到160—185cm深处的40—50%。

Perry等(1979)研究了澳大利亚昆士兰州红树林沼泽沉积物中的微生物。沼泽沉积物中有机质多,所以在每克干燥沉积物中微生物多达20亿个,其中包括需氧性异养细菌19亿个,厌氧性异养细菌180万个,酵母菌、真菌各2.5万个¹⁾。

Van Geel (1978) 在研究荷兰一个全新世泥炭剖面时发现70种真菌,其遗体主要是分生孢子、子囊孢子和厚壁孢子,也有真菌子实体。某些类型的真菌与一定的植物遗体有机地结合在一起。如一种扁平的子实体常依附于芝菜表皮上;有一种单隔分生孢子生长在桦、松、栎、赤榆等木质部和树皮遗体上;而另一种类型子囊孢子在含炭化木的层位最多,可能反映这类真菌适于干燥的环境。

Christensen和Whittingham (1965) 调查了美国威斯康星州北部的开阔酸沼、美洲落叶松-黑云杉沼泽和白雪松-胶冷杉沼泽的土壤真菌,在每克(干基)土壤中微体真菌的平均密度分别为47,800个,285,000个和403,000个。占优势的真菌分别为子囊菌纲和青霉;酵母和丛霉、毛霉、青霉;酵母和丛霉、青霉、木霉。Kohlmeyer (1979) 指出,许多真菌有特定的寄主,不同盐沼寄主植物的真菌数目不同,网茅*Spartina alterniflora*有29种,灯心草*Juncus roemerianus*只有2种,*Salicornia virginica*也只有2种。红树林沼泽的*Rhizophora mangle*有31种真菌,*Avicennia germinans*有14种。潮汐盐沼的真菌既有腐生的,也有与植物共生的。

植物的脂类化合物的一般化学性质比较稳定,不易受微生物的破坏。不过,在特定的条件下,脂类化合物也能受到微生物的侵袭。近年来,关于真菌对角质的降解作用研究得较多。一些植物病菌和腐生菌可以在角质上生长,并以角质作为碳的唯一来源。叶面的真菌具有角质酶、果胶酶和纤维素酶。真菌一方面把降解角质的异酶分泌到介质中去,另一方面菌丝可以通过空隙,包括叶表皮细胞腔之间的孔,有效地渗入叶片内部。真菌的分布和叶片的降解速度主要取决于湿度。Кац等(1977)提到沉没于水中的叶片上的腐生菌有*Flagellospora penicilloides* Ingold, *Lunulospora curvula* Ingold等。Faure-Raynaud (1975) 指出,某些假单胞杆菌可以降解松、云杉的含油树脂。Козловская等(1978)指出,脂类的水解作用虽然也可以在缺氧环境下进行,不过在有氧的条件下,脂类水解作用进行得更快。能使脂类强烈分解的是非孢子细菌、真菌及泥炭沼泽中少见的某些放线菌。

Goesselink和Kirby (1974) 在研究微生物代谢作用与植物碎屑颗粒大小的关系时发现,当植物颗粒变粗时,从植物转化成微生物生物质的效应降低。Dale (1974) 指出,潮间带沉积物细菌的数量与沉积物粒度成反比,而Лопатин (1982) 注意到,

1) 不同微生物的体积、生物量不同。细菌体积仅1—5 μm^3 , 酵母菌20—50 μm^3 , 而霉菌还要大得多。

在沉积速率快的海岸地带、河口湾、大河的加积三角洲，有机质的微生物降解作用受到限制，细菌生物在有机质中所占的比例不大，而在湖泊淤泥中，微生物群体最密集，其生物在有机质组成中所占的比例可达到25—35%。

微生物不仅积极参与了沼泽植物遗体的分解和转化，而且微生物的生物物质也参与了泥炭的组成。近年来，应用化学分析、同位素测定、结构特征分析等方法所取得的成果，证实了这一点。

细菌、真菌等微生物生物物质中有特有的、与高等植物不同的脂肪酸、氨基酸成分。Perry等(1979)指出，红树林植被本身的脂肪酸主要是 C_{18} 多不饱和脂肪酸和二羧脂肪酸，而红树林沼泽沉积物中则含有细菌所特有的脂肪酸，如环丙基17:0和19:0酸、顺-异油酸以及15:1、17:1的 ω_6 和 ω_3 异构体。Schultz和Quinn(1973)发现，分解后呈碎屑状的灯心草与活着的灯心草茎、叶相比，脂肪酸总含量增加，带侧链的十五(烷)酸含量增加，作者认为这与微生物的活动有关。Casagrande和Given(1974)测定了分解的红树叶的氨基酸含量，发现在红树泥炭和枯枝落叶层中有 α ， ϵ -二氨基庚二酸，这是细菌细胞壁主要成分肽聚糖中短肽的一种，表明这种含氮化合物是经过微生物作用的。Thayer等(1977)测定了活着的和分解成碎屑状的大叶藻叶片的组成，结果表明碎屑状大叶藻叶片的甘氨酸含量大大增加，他们认为这种甘氨酸是细菌细胞壁的水解产物。生活在咸水的草本沼泽植物网茅等叶片上的微生物，在代谢过程中从水中吸取氮，从而使部分腐解的叶片含蛋白质比新鲜植物组织多，美国佐治亚州萨佩洛盐沼的新鲜网茅叶含蛋白质10% (无灰基)，而部分腐解的网茅叶碎片的蛋白质含量达24%。

腐殖质的形成与微生物酶的活性有关。一方面，许多担子菌能产生使酚聚合的多酚氧化酶；另一方面，真菌等微生物含黑色素的细胞壁在细胞死去后仍相当稳定，能形成与黑腐酸相似的腐殖质状物质。应用含有 ^{14}C 的微生物进行的多次试验，进一步证实了微生物细胞成分参与了不同腐殖质的组成。例如，放入土壤的氮菌示踪碳参与了黑腐酸和黄腐酸的组成，而黑曲霉的示踪碳参与了腐黑物的组成。

微生物的生物量一般不超过土壤有机质总量的2%，但Аристовская(1980)认为土壤有机质中尚未破坏的微生物细胞所占的比例，根本不能反映微生物参与腐殖质形成的程度，因为微生物繁殖很快，在长期的世代交替过程中，不少微生物遗体已被分解而无法辨认。据M. Witkamp(1974)估计，阔叶林枯枝落叶层中真菌的生物量占干基的3.5—10%。当然，关于这方面的资料还不很多，而且在不同作者之间还存在着相互矛盾的看法。

三、泥炭和腐泥的积聚速度

在研究世界各地的泥炭沼泽和湖泊时，在不少地区都做了泥炭层、腐泥层和藻质软泥层剖面系统样品的 ^{14}C 同位素年龄测定。综合近十年来(1971—1983)发表的资料，可以看出第四纪(主要是全新世)泥炭和腐泥的积聚速度有以下几个特点。

(1) 在世界大部分地区，第四纪泥炭的积聚速度为0.3—1 mm/a，大于1 mm/a的为数甚少。

(2) 世界各地第四纪泥炭的积聚速度有明显的差别。

在北欧的挪威、瑞典、芬兰以及北美的加拿大,泥炭的积聚速度小,平均为0.3 mm/a左右。这些地区纬度高,位于亚寒带,大部分位于古老地盾上。

位于北温带的西欧和中欧各国、苏联欧洲部分及美国内陆的泥炭沼泽的泥炭积聚速度大多大于0.5 mm/a,如美国内陆的泥炭沼泽平均为0.88 mm/a。英国的泥炭沼泽的研究程度较高,泥炭沼泽多为以泥炭藓为主的高位沼泽,其中相当一部分的积累速度大于1 mm/a,最高近2 mm/a。

目前,热带地区的泥炭研究程度较低,¹⁴C数据少,从已有资料来看,积聚速度较快,大多在1.5 mm/a以上。在加里曼丹岛西北部沙捞越的以木本植物为主的高位沼泽中,全新世泥炭层厚达12 m以上,平均速度为2.81 mm/a,而在泥炭层下部可达4 mm/a。加勒比海牙买加岛海岸沼泽的莎草和红树林泥炭层厚达16 m,其积聚速度平均为1.63 mm/a,局部可达2.40 mm/a。大洋洲新喀里多尼亚岛西海岸红树林沼泽的泥炭积聚速度为2.72 mm/a。澳大利亚昆士兰州东北部由热带雨林所形成的泥炭为1.58 mm/a。

由此可见,气温增高有利于植物的生长和植物生物质产量的增加。在亚热带和热带地区,在有利的地貌、地壳运动等条件下,可以形成较厚的泥炭层,并具有较大的泥炭积聚速度。

(3) 巨厚泥炭层的积聚速度。在西班牙南部安达卢西亚山脉北侧格拉纳达省的帕多尔泥炭沼泽中,更新世以来堆积了72 m厚的泥炭和粘土。其上部20 m泥炭的积聚速度在不同地点为0.08—3.17 mm/a,值得注意的是,在积聚速度最大处,近18,000 a堆积的泥炭近20 m厚。

希腊马其顿地区卡瓦拉以西的菲利皮草本沼泽发育于山间盆地中,沼泽第四纪早期以泥炭为主的沉积层厚近200 m,泥炭储量达 $4.3 \times 10^9 \text{ m}^3$,其上部15.8 m是近四万多年来堆积的,积聚速度为0.27—0.33 mm/a。

这两个实例表明,只要该地区长期以沉降为主,沉降速度与积聚速度大致保持均衡,就有可能形成巨厚的泥炭层。

(4) 草本盐沼泥炭的积聚速度。海岸草本盐沼泥炭的积聚速度相当快。如北美东海岸泥炭的积聚速度为1.96—3.71 mm/a,泥炭层厚达4 m以上。路易斯安那州墨西哥湾海岸一些盐沼的增长速度可达7.5—13.5 mm/a。海岸草本盐沼的植被芦苇、网茅、灯心草、菅茅等植物的生物量较高,如美国东海岸北部和墨西哥湾海岸平原都是现代沉降区,沉降速度分别为2—3 mm/a和9.2 mm/a,这些植被对于海岸盐沼草本泥炭的积聚速度都有明显的影响。

值得注意的是,有些草本盐沼的“泥炭”,其有机质含量相当低,严格来说,只能算作是有机质软泥。如1963—1973年间美国康涅狄格州潮坪盐沼的积聚速度达2.0—6.6 mm/a,而有机质含量仅13%,路易斯安那州墨西哥湾海岸草本盐沼沉积物的有机质含量往往也少于20—30%。

(5) 腐泥的积聚速度。近年来,对在不同地区不同环境中形成的腐泥、藻质软泥亦进行了¹⁴C测定。美国明尼苏达、俄亥俄、宾夕法尼亚、马萨诸塞等州,苏联爱沙尼亚、南卡累利阿等地以及加拿大、瑞典等地湖泊、湖沼中藻质软泥、腐泥的积聚速度为0.26—1.71 mm/a,平均为0.65 mm/a。有些厚度较大,如马萨诸塞州贝里池沼全新世藻质软泥厚达5.62 m,积聚速度为0.68 mm/a;苏联南卡累利阿夏莫捷罗湖沼腐泥的

积聚速度为1.71mm/a, 腐泥厚达8.25m。

美国得克萨斯州马德雷湖中腐泥的积聚速度为0.21mm/a。

(6) 沼泽基底的下沉速度与植物遗体的积聚速度的相互平衡, 对沼泽的发育关系很大。美国路易斯安那州西南部微咸水的网茅沼泽湿地的垂向增长率很大, 1954—1978年间平均为8mm/a, 但这些地区海岸的沉降更快, 平均为12mm/a, 显然植物遗体和其它沼泽沉积物不足以补偿。据DeLaune等(1983)的分析, 如果这种欠补偿继续下去, 不到40年, 这片草本沼泽湿地将变成开阔的海湾湖泊环境。

四、成煤植物的堆积方式

大多数煤田地质工作者都认为, 煤层绝大多数是原地生成的, 而异地生成的是很局部的现象。近年来对成煤植物的堆积方式提出了一些新的看法。Stach等(1975)在《煤岩学教程》一书中采用了真正原地生成(truly autochthonous)和亚原地生成(hypoautochthonous)两个术语。真正原地生成是指植物遗体在原来生长过植物的地方就地堆积, 而亚原地生成是指植物遗体或泥炭虽经过一定的搬运, 但仍在生长植物的同一泥炭沼泽范围内堆积。

Волкова(1982)在《苏联煤岩学》一书的有关章节中提出, 严格地说, 大部分原地生成的煤层都是亚原地生成的, 建议把煤按原始植物的堆积方式分为两个相组: 原地生成(包括亚原地生成)相组和异地-原地生成(包括异地-亚原地生成)相组。原地生成相组包括滞水的弱覆水森林沼泽和沼泽化森林相、有周期性水流的覆水的多水洼的森林沼泽相、滞水的覆水森林沼泽和多水洼的森林沼泽相以及滞水的多水洼的强覆水沼泽相, 而异地-原地生成相组包括多水洼的活水的覆水沼泽相、强活水覆水沼泽相、植物丛生的湖泊相(可细分出近岸的介质较停滞的地带和离岸较远的滞水地带两种情况)。

美国Cohen(1970)研究了佛罗里达半岛西南部萨布尔角的、堆积在海滩介壳砂和灰泥上的异地生成泥炭层。这层泥炭厚约15cm, 呈块状, 具粒状结构, 泥炭层上覆有介壳砂。显微镜下观察时, 在垂向切片中可见到, 泥炭由分选良好的红树树叶和树干碎块组成, 碎块大多大于100 μ m。泥炭平行于海滩层面分布, 具水平层理, 碎屑状基质很少。在水平方向切片中, 长条形植物碎块大多相互平行排列, 显示了由古水流作用引起的定向性。这种异地生成的泥炭是由潮水将海岸红树林沼泽中的枯枝落叶层冲走, 带入墨西哥湾, 再由岸流搬运到海滩上再堆积而成的。这种随海水漂流很远的异地生成泥炭的无机组分含量很低(<0.2%), 低于原地生成的红树泥炭(5%以上), 说明无机组分含量高并不是识别异地生成的必要标志。

美国密执安州苏克尔湖三角洲沉积中厚达15m的泥炭层, 是异地生成的又一实例。苏克尔湖现存面积约40,000m², 原有面积为其两倍。一万多年前, 威斯康星期冰盖消退后, 开始填积。苏克尔河从上游植被茂密的泛滥平原带来了大量植物碎屑, 注入湖的北端, 将大部分植物碎屑堆积在湖滨, 长30余米, 宽50—60m, 其底部为碳酸盐和有机质纹泥, 底积层为粉砂级植屑, 向上变为砂粒级植屑, 而顶积层为砾级植屑, 形成小小的吉尔伯特型湖泊三角洲。这种异地生成的泥炭为深棕色, 有机质含量为30—67%, 湖相