

HUODIANCHANG RANLIAO JIANCE
GANGWEI PEIXUN JIAOCAI

火电厂燃料检测

岗位培训教材

张宏亮 苏伟 李薇 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



HUODIANCHANG RANLIAO JIANCE
GANGWEI PEIXUN JIAOCAI

火电厂燃料检测

岗位培训教材

张宏亮 苏 伟 李 薇 编著
林木松 陈 刚 付殿峥

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

燃料是火电厂的“食粮”，燃料检验人员是电厂中重要的技术人员，不断提高燃料检验人员的技术能力对于保证电厂安全、经济运行具有重要意义。本书以电厂燃料技术利用为主线，配套《火电厂燃料管理岗位培训教材》，系统化建立了现代燃料管理体系，详细介绍了煤质检测的化学分析基础、燃料商品煤采样、煤炭人工制样、煤炭分析、煤炭抽检和验收、煤炭的数量验收方法等，重点阐述了燃料燃烧理论知识，并结合燃料科学利用对燃料掺烧进行了全面介绍。

本书可供从事和关心动力燃料特别是电力燃料的工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂燃料检测岗位培训教材 / 张宏亮等编著. —北京: 中国电力出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-5198-1233-1

I. ①火… II. ①张… III. ①火电厂—燃料—质量检验—岗位培训—教材 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 250676 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 郑艳蓉 (010-63412379) 马雪倩

责任校对: 王晓鹏

装帧设计: 王红柳 赵姗姗

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2018 年 1 月第一版

印 次: 2018 年 1 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 30.5

字 数: 752 千字

印 数: 0001—1500 册

定 价: 98.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前言

我国电力能源供应分为火力发电、水力发电、风力发电、核能发电、光伏发电、生物质能发电等，其中火力发电是最主要的电力能源来源，截至 2016 年，全国装机容量 16.4 亿 kW，燃煤（含煤矸石）火力发电装机容量 9.4 亿 kW，这和我 国资源状况紧密相关，并且可以预见的是在今后相当长的一段时期内，火力发电仍将占据电力能源市场的重要位置。

燃料是火力发电厂的“食粮”，燃料成本已经占到电厂发电成本的 70% 以上。对入厂燃料的准确检验可以保证电厂采购到优质燃料，入炉燃料检验结果则关系到正平衡计算煤耗的准确性，可以说燃料检验工作不仅关系到电厂经济效益，同时也对电厂锅炉稳定燃烧提供重要基础数据。从中可以看出燃料检验人员工作的重要性，这就要求燃料检验人员具备深厚的理论功底和精湛的分析测试能力，这也是本书编写的目的，希望本书的出版能为电厂燃料检验人员提供一本良好的培训教材。

本书分为三大部分，第一部分煤炭的基本知识，并介绍了煤炭基本知识和燃料燃烧的基本理论。第二部分详细介绍了煤炭质量检验，包括煤质检测的数理统计方法，煤质检测的化学分析基础，燃料商品煤采样，煤炭人工制样，煤炭分析，煤炭抽检和验收，煤炭的数量验收方法等。第三部分阐述了煤炭掺烧，对煤炭掺烧基础理论，煤炭掺配优化设计及生产工艺，煤炭掺烧设备系统的运行，煤炭掺烧质量控制与安全管理等方面进行了详细讲解。

本书特点鲜明，重点突出，深浅适度，理论与实践相结合，不仅介绍了燃料检验的分析测试技术，同时拓展到燃料的应用——掺烧，这是因为现代电厂燃料检验从业人员的工作要求不断提高，燃料应用是燃料的最终使命，如何更好地燃用燃料是燃料检验人员的本职工作之一，燃料掺烧和燃料检验专业的有机结合将有利于燃料在电厂的高效、清洁利用，这也是燃料检验专业的发展方向。本书旨在为从事燃料相关领域的工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校相关专业师生提供一些有益帮助和参考。

本书由广东电网有限责任公司电力科学研究院张宏亮高级工程师和华北电力大学李薇教授等编著，其中陈刚、林木松负责第一、二章，苏伟负责第三、四章，张宏亮负责第五~第九章，李薇教授负责第十~第十二章，付殿峥负责第十三章。全书由张宏亮统稿，李薇负责审核。在本书的编写过程中，华北电力大学研究生汤烨、焦阔、龚旻彰提供了很多的支持和帮助，在此表示感谢。

由于编著者水平所限，书中难免存在不足之处，敬请批评指正。

编者

2017年11月

目 录

第一部分 煤炭的基本知识

第一章 煤炭的基本知识	3
第一节 煤炭基本知识	3
第二节 腐植煤的生成	3
第三节 煤的变质	9
第四节 煤的物理性质和化学性质	11
第五节 煤的分类	15
第二章 燃料燃烧的基本理论	17
第一节 燃料燃烧基本理论	17
第二节 燃料燃烧过程	25
第三节 燃料燃烧的方式	38

第二部分 煤炭质量检验

第三章 煤质检测的数理统计方法	103
第一节 误差的分类及特点	103
第二节 检测精密度	106
第三节 常用的数理统计检测方法	109
第四节 数理统计的应用	113
第四章 煤质检测的化学分析基础	117
第一节 定量分析概述	117
第二节 滴定分析法	119
第三节 酸碱滴定法	126
第四节 沉淀滴定法	131
第五节 络合滴定法	137

第六节 氧化还原法	145
第七节 重量分析法	148
第八节 比色分析法	149
第五章 燃料商品煤采样	153
第一节 人工采样	153
第二节 机械采样	166
第三节 机械采样机设备	178
第四节 机械采样机性能试验	185
第六章 煤炭人工制样	208
第一节 制样原理	208
第二节 样品制备	217
第三节 样品制备设备	222
第七章 煤炭分析	229
第一节 煤中水分及其测定	229
第二节 煤的工业分析	233
第三节 煤热值测定	246
第四节 煤中全硫测定	257
第五节 煤元素分析	271
第六节 煤灰熔融性测定	286
第七节 煤可磨性指数测定方法	295
第八节 煤灰成分分析	299
第八章 煤炭抽检和验收	319
第一节 抽检方法	319
第二节 验收方法	338
第九章 煤炭的数量验收方法	351
第一节 火车运煤计量	351
第二节 汽车运煤计量	357
第三节 煤炭电子皮带计量	360
第四节 船煤水尺计量	362

第三部分 煤 炭 掺 烧

第十章 煤炭掺烧的基础理论	369
第一节 煤炭掺烧的目的及意义	369

第二节	煤炭掺配技术的发展现状及趋势	370
第三节	配煤基本原理	374
第四节	煤炭掺烧的配煤品质指标	377
第十一章	煤炭掺配优化设计及生产工艺	393
第一节	配煤掺配的经典线性规划模型	393
第二节	煤炭掺配的非线性规划模型	400
第三节	煤炭掺配的新式模型	409
第四节	典型煤炭掺配系统运行工艺和设备简介	424
第五节	煤炭掺配问题实例分析	428
第十二章	煤炭掺烧设备系统的运行	432
第一节	掺煤能力估算	432
第二节	煤炭掺烧锅炉系统的燃烧调整	434
第三节	煤炭掺烧锅炉受热面结渣分析	443
第四节	煤炭掺烧制粉系统的运行与调整	454
第五节	煤炭掺配专家管理系统简介	460
第十三章	煤炭掺烧质量控制与安全管理	465
第一节	混煤煤质变化对掺烧锅炉运行的影响	465
第二节	煤源管理	466
第三节	配煤生产管理与质量检测	467
第四节	不同炉型、不同煤种、不同制粉系统掺烧方式的选择	470
第五节	设备运行安全问题分析及解决措施	471
第六节	GB 25960—2010《动力配煤规范》要点与解析	476
参考文献		480

煤炭的基本知识

煤炭的基本知识



煤炭的基本知识

第一节 煤炭基本知识

煤是由古植物经过复杂的生物化学、物理化学和地球化学作用转变而成的固体有机可燃矿岩。经过煤化学、煤田地质学和煤岩学科学家们的辛勤劳动,目前由植物→泥炭(腐泥)→褐煤→烟煤→无烟煤的煤化学序列的成煤理论已经建立,而且基本阐明了成煤的原始物质、沉积环境、介质的化学作用和变质等各种因素对煤性质的影响。古代植物在成煤过程中,通常要经历泥炭化作用与变质作用两个阶段。泥炭化作用是指古代植物由于细菌的作用而发生腐烂与分解,使其内部组织破坏,一部分物质转为气体逸出,残余的物质开始转变成泥炭,该阶段称为泥炭化作用。泥炭受地下不断增高的地层压力及地壳深部的温度影响,逐渐被压紧和硬化,继续排出气体与水分,从而使综合碳比例日趋增大形成了固体有机可燃沉积岩,这一阶段称为煤化阶段。在此阶段中,又包括成岩与变质作用。下面我们就煤的生成、变质和物理化学性质逐一阐述。

第二节 腐植煤的生成

成煤的原始物质是植物。而植物又可分为低等植物和高等植物两大类。属于低等植物的有菌类和藻类。它们没有根、茎、叶的分化,多数生活在水中。高等植物有苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物。它们在形体结构和生理特性上都比低等植物复杂。如裸子植物和被子植物(合称种子植物)就有根、茎、叶、花等器官,并以种子繁殖。由高等植物演变形成的煤叫腐植煤,由低等植物(或更扩大一点,由浮游生物)演变形成的煤叫腐泥煤。如成煤的原始物质中既有高等植物,又有浮游生物,则形成腐植—腐泥煤或腐泥—腐植煤。在世界上储量大,分布广的是腐植煤。在煤的生成方面研究比较深入的也是腐植煤,所以以腐植煤为例讲解煤的生成。

由于近代地质学及生物地层学的发展,人们可以在煤层及其附近岩石中发现大量保存完好,可以鉴定属种的古代植物化石;在煤层中可以发现炭化了的树干;在煤层顶底板的黏土类岩石中可以发现植物根、茎、叶部的印痕和遗迹;如果把煤磨成薄片置于显微镜下观察,还可以看到植物细胞组织的残留痕迹以及孢子、花粉、树脂、角质层等植物残留物。因此,这一切都无可辩驳地证实了腐植煤是由高等植物变来的。

各地质年代植物生长和造煤情况见表 1-1。

表 1-1 各地质年代植物生长和造煤情况

年代	纪	距今年代 (百万年)	植物演进	植物 种类	煤种
始生代		2003	无化石发现	无生物	
原生代		1453	海藻等演化		
古生代	寒武纪	553	石灰藻及其他藻类繁殖，无陆生植物	藻类植物	
	奥陶纪	448	石灰藻遍地，陆生植物仍少见		
	志留纪	381	陆生植物出现，但不如藻类盛		
	泥盆纪	354	陆生植物渐盛（有裸蕨类、石松类）		无烟煤
	石炭纪	309	气候温湿，裸蕨类、石松类、木贼类等，孢子植物繁盛，形体庞大，森林茂密	孢子植物	无烟煤和烟煤
	二叠纪	223	松、柏、银杏等裸子植物繁盛，蕨类植物衰落		
中生代	三叠纪	185	松、柏、银杏、苏铁等遍及全球，蕨类植物中石松消灭，羊齿、木贼等仍有	裸子植物	烟煤
	侏罗纪	157	裸子植物全盛，苏铁更盛		
	白垩纪	125	被子植物勃兴，有花植物传布，如白杨、枫等		烟煤 褐煤
	第三纪			被子植物	褐煤
	第四纪		现代五谷、果类甚盛（主要为双子叶和单子叶植物）		褐煤 泥炭
新生代	现代				泥炭

由植物变成煤经历了数千万年甚至数亿年的漫长岁月，人们无法直接知道成煤的过程，只能对现存的煤进行各方面的、综合的研究，从而推测当时的原始物料、聚集环境、积水情况以及引起煤质变质的各种因素。

一、地质年代及主要成煤期

地质年代就是地壳发展的时间表。它是通过对地层（某地层年代里形成的岩层就称为该地质年代的地层）生成次序的研究编制而成的。在研究了地层生成的先后次序以后，由老到新排成一个地层系统。最先形成的地层代表的时间最老，最后形成的地层代表的时间最新。

划分地层，确定地层生成次序的主要依据是古生物化石。随着地壳历史的发展，生物的进化总是由简单到复杂，由低级到高级，新生的种类不断地代替着消亡了的旧种类。因而在不同地质年代生成的地层，往往含有不同种类的生物化石。也就是说，地层年代是以某些动、植物占优势作为标志来划分的。

根据研究，地质年代与生物种类的关系见表 1-1。

由表 1-1 可见，地球上陆生植物的出现是在距今 4 亿年的志留纪，它改变了大陆上荒山秃岭的景象，同时，也为煤的生成准备了物质条件。根据生物溶化的重要阶段，可以把自寒武纪开始的地球历史划分为三个大时期，分别称为古生代、中生代、新生代，与其相应的地层沉积则称为古生界、中生界、新生界。在代以下进而分为纪；界以下分为系。代一纪和界一系的划分标准是国家通用的。

地层和地质年代可以做进一步的划分。不过比纪和系更小的单位并不是国际通用的，它

们反映了不同地区的沉积特点，因而也是更为重要的划分。按顺序，地质年代可以分为代、纪、世、期、时；地层年代相应为界、系、统（群）、阶（组）、段（层）以及代石带。

由表 1-1 可见，植物的发生和发展与气候及地理环境有密切关系，而气候与地理环境的变化又与地球所接受的太阳辐射热的多少及地壳的变化等因素有关。由于自地球形成以来，地壳已变动了很多次，气候和地理环境也变化了很多次。植物和动物在与气候和地理环境的斗争中并没有绝迹，而是旧种灭亡了，新种产生了，不断地进行更完善的、更高级的形式；从无生命到有植物细胞出现；从单细胞生物过渡到多细胞藻类；从水生植物到陆生的裸蕨；从孢子植物到裸子植物；再从裸子植物到被子植物，都是植物同气候和地理环境搏斗的结果。这些植物在相应的地质年代中形成了大量的煤，在整个地质年代中，在全球范围内有三个大的主要成煤期，这三个时期是：

- (1) 古生代的石炭纪和二叠纪，造煤植物主要是孢子植物。主要煤种为烟煤和无烟煤。
- (2) 中生代的侏罗纪和白垩纪，造煤植物主要是裸子植物。主要煤种为褐煤和烟煤。
- (3) 新生代的第三纪，造煤植物主要是被子植物。主要煤种为褐煤。

二、植物的族组成的菌解作用

1. 植物的族组成

植物基本上可分为两大类，即低等植物和高等植物。低等植物大多是形体简单，根、茎、叶不分的单细胞和多细胞植物，低等植物的代表主要是藻类，生长于湖泊、浅海或沼泽中，大多数处于浮游状态，顺水漂流，所以称为浮游生物；高等植物构造复杂，根、茎、叶分明。蕨类植物、种子植物都属于高等植物。

植物都由细胞构成，细胞由细胞壁和原生质（即内含物）组成。细胞壁的主要成分为纤维素、木质素和半纤维素。原生质由蛋白质、脂肪和碳水化合物组成，也常有叶绿素、酵母树脂等一类物质的混合物。高等植物的表皮部由木栓细胞组成，新的枝芽和所有叶子均为角质所包覆。在叶子表层上有茸毛、厚膜等，它由树脂组成。在松树及其他针叶类的木质和树皮中，在特殊的树脂管中含有树脂。

高等植物的细胞中细胞壁物质比原生质多。植物组织越简单，其中的细胞原生质越多。

由上述可见，植物的主要族组成有纤维素、半纤维素、果胶、木质素、蛋白质、脂肪、树脂、树蜡等。

(1) 纤维素、半纤维素和果胶。纤维素和半纤维素是多糖，它们都是植物细胞壁的主要组分（纤维素、半纤维素和木质素共同组成了植物的骨骼）。果胶是糖的衍生物，它主要是存在于树木的绿色部分和新生组织的液汁里。纤维素等容易被微生物破坏而形成甲烷、水、二氧化碳等，但也可能经由缩合的途径变成稳定的化合物，甚至芳香化合物。

(2) 木质素。木质素也是植物细胞壁的主要成分。木质素的存在，可以增强植物组织的机械强度。目前所指的木质素，是指用 72% 浓度的硫酸或 40%~42% 浓度的盐酸处理木质时不被水解的物质。其分子具有芳香族化合物结构。木质素是对各种不同生物化学作用都较稳定的物质。

(3) 蛋白质。细胞中的原生质主要由蛋白质组成。蛋白质是由许多氨基酸组合而成的，结构很复杂。蛋白质在需氧条件下迅速分解为气态氨，也可能生成氨基酸。在乏氧条件下，主要生成氨基酸。氨基酸和糖类的分解产物通过合成途径，可能形成一种稳定的含氮化合物。

(4) 脂肪、树脂和树蜡。高等植物含脂肪很少，只集中在种子、孢子等个别部分，含量一般仅为1%~2%；菌类和藻类低等植物则含有大量脂肪。高等植物才有树脂，但在健康的植物中含量不大；植物在受伤时，体内即产生大量的树脂，从伤口流出，企图将伤口封住。和脂肪不同，树脂具有芳香族化合物的特性，是高级脂肪酸和一元醇的酯。树脂化学性质十分稳定，因此能很好地保存煤中。树蜡在植物中呈薄层覆盖在茎、叶和果实外皮上，蜡质成分比较复杂、化学性质稳定。在泥炭和褐煤中常常看到树蜡。

综上所述，植物族组成中的纤维素、脂肪、蛋白质等容易腐败分解，而木质素、树脂、树蜡等则对生物化学作用很稳定。在植物转化成煤的过程中，植物的这些族组成可以通过不同的途径参与成煤。其中一些脂肪型的物质在一定的条件下可以形成具有环结构的新物质（由蛋白质形成的氨基酸、脂肪和醌类转化产物的芳构化和环化等），例如形成腐植酸等。

植物的种类不同，其族组成有显著差别，见表1-2。

表 1-2 植物的种类及其族组成

种类	蛋白质 (%)	脂肪、树脂、树蜡 (%)	纤维素 (%)	木质素 (%)
藻类	20~30	20~30	10~20	0
羊齿及木贼类	10~15	3~5	40~50	20~30
针叶及阔叶树等	1~10	1~2	>50	30
草类	5~10	5~10	50	20~30

由表1-2数据可见，高等植物的纤维素含量比低等植物的多，低等植物的木质素少，最低的藻类植物根本不含木质素，而含蛋白质及树脂类较多。

2. 菌解作用

当植物死亡以后，堆积的环境如水位、水质等各不相同，因而植物残骸的腐败分解（即菌解作用）也因之而异。在植物的动物死亡后所形成的有机物残骸，视空气中氧进入量的多少，可以发生下列作用：

(1) 全败作用。全败作用是在空气充足的条件下，植物残骸被完全氧化，分解为二氧化碳和水。此过程不能生成煤，仅留下灰分。

(2) 半败作用。半败作用是在空气不充足的条件下，植物残骸发生不完全的氧化分解过程。例如在阔叶树林里堆积起来的潮湿树叶，由于空气进入困难，于是发生不完全的氧化，形成一层黑色的“腐植土”。这层物质存在的时间不长，或进一步转变为泥，或分解成二氧化碳和水。

(3) 泥炭化作用。这个过程只有在低地沼泽中才能发生。因为在低地沼泽中，充满着水，植物（一般都是高等植物）死亡后，就慢慢地堆积在水中，堆积在最上面的一层植物，因与水面很接近，或露出在水面之上，空气仍可进入，但比较困难，因此就发生半败作用，变成了腐植土。后来由于植物的继续死亡和堆积，它们就完全与空气隔绝，氧气停止进入，这时植物残骸就依靠本身所含的氧，发生去羧基、脱水等作用，放出二氧化碳、水蒸气及甲烷，从而碳含量增加，氢及氧含量则减少。植物残骸经过这些作用后，就部分植物残骸改变了原来的形态和结构，变成了一种新的物质，称为泥炭。

(4) 腐败作用。腐败作用是指生长在静水湖泊中的微生物主要是浮游生物死亡后，在没有空气存在下发生的分解过程。结果生成一种含碳、氢较原来物质多，含氧较原来物质少的

新的物质，称为腐泥。

上述的植物残骸分解过程见表 1-3。

表 1-3 植物残骸的分解过程

原始物质	过程名称	与氧的关系	与水的关系	作用的性质	产物
陆生植物及 沼泽植物 (高等植物)	全败作用	氧气自由进入	有水分存在	完全氧化	没有固体含碳化合物遗留
	半败作用	有少量氧进入		腐植化	固体含碳化合物、腐植土
	泥炭化作用	开始有自由氧进入， 后来没有氧气	开始有水分存在，后来 沉没水中	开始为腐植化作用，后来 为还原作用	固体含碳化合物、泥炭
水中有有机 物（主要是 低等植物）	腐败作用	没有氧气	在死水中	主要为还原作用	固体富氢化合物、腐泥

一般来说，植物残骸的分解有两种典型情况：当植物残骸堆积在地表面时，空气中的氧能进入，则主要发生需氧分解，这种分解与氧化作用相似；当植物残骸浸入水中或进入地下（不深）而与空气隔绝时，则主要发生厌氧分解，这种分解与还原用相似。它们都是生物化学的作用。

三、腐植煤的生成过程

高等植物的发生、发展是腐植煤生成的首要条件，煤的大量堆积，需要具备一系列的基本条件，主要是：

- (1) 陆地上有均匀的温度和潮湿的气候，适宜于陆生植物一代代繁茂地生长。
- (2) 地形的起伏形成大的沼泽地带，有利于植物群的发展及残骸堆积在水中。
- (3) 地壳的运动保存植物残骸，并转变到沉积状态。

那么，古代植物是怎样变成煤的呢？根据研究，从植物死亡、堆积到转变成煤，是经过一系列演变过程的，大致可以分为两个阶段：泥炭化阶段和煤化阶段。

1. 泥炭化阶段

植物能大量繁殖和聚集的地方，有浅海、湖泊和沼泽，尤其是沼泽，它被水充分润湿着，植物的生长十分茂盛。

植物不断繁殖、生长、死亡，其残骸堆积在水中之后，在细菌的作用下进行分解；堆积在最上面的一层植物，因为与水面很接近，或冒出水面之上，空气仍可以进入，植物残骸发生不完全的氧化分解，但后来由于植物的继续死亡和堆积，它们完全与空气隔绝，氧气停止进入，这时，植物残骸的菌解作用就依靠本身含有的氧，发生氧化分解，即产生厌氧分解，发生去羧基、脱水等作用，放出二氧化碳、水及甲烷，形成一种凝胶状的物质。这种残留物质的碳含量相对增加，而氧和氢含量则趋于减少。植物残骸经过这些变化以后，改变了原来的形态和结构，变成含水分很高的棕褐色物质，这种物质称为泥炭，或称为泥煤。这个复杂的生物化学变化过程就称为泥炭化阶段。

植物残骸如果是在植物生长的地方进行堆积的，称为原地堆积；植物残骸从他处迁移而来堆积的，称为迁移堆积。两者兼有的称为原地迁移堆积。堆积条件的不同，将主要影响煤层的规模及煤质所含矿物质的情况。

在泥炭化阶段中,除去植物残骸中易水解的族组成如醣类、半纤维类、纤维素和木质素等的深度化学分解外,分解产物还可以互相发生作用,合成了植物族组成中原来没有的腐植酸(用碱液处理时能溶解的物质,它是一种有机酸)。腐植酸是泥炭有机质中的重要组分,它是从植物残骸转变为煤的中间产物。泥炭层的分解越深,腐植酸的含量便越多,可达55%~60%,所以腐植酸的出现和积累是泥炭生成的主要特征。在泥炭化阶段中,植物中比较稳定的物质如树脂、树蜡、角质层、孢子壳等变化很少。这些物质形成了泥炭中的沥青(在常压下能溶于中性有机溶剂的物质)。沥青的含量也随泥炭分解程度的加深而增高。此外,腐植酸、醣类、脂肪等的分解产物也有可能参加沥青的合成。根据原始植物组成的不同,泥炭中沥青的含量变化范围很大,某些泥炭中沥青含量可达20%。

由植物分解后形成的泥炭具有下列特征:含有大量的腐植酸和沥青,仍含有单醣、半纤维素、纤维素、木质素等植物族组成;同时残留有植物原有的形态部分如根、茎、叶、树皮等。

2. 煤化阶段

由于地壳的下沉,泥炭层被埋复于地下。当在泥炭层上面形成了岩石顶板后即进入了成煤的第二阶段——煤化阶段。在这一阶段中,根据作用的因素及所发生变化的不同又可分为成岩作用阶段和变质作用阶段。

(1) 成岩作用阶段。如果地壳的下沉速度和植物生长的速度互相配合,将形成很厚的泥炭层,以后就有可能形成很厚的煤层。但是,地壳下沉的速度常常超过植物残骸堆积的速度,于是水层覆盖过厚,影响植物生长,泥炭堆积中断,代之以黏土、沙石的堆积,因而在泥炭层上面形成的岩层,称为顶板。被埋复在顶板下面的泥炭,通常叫埋复泥炭。此时,如果地壳下沉速度逐渐变慢,又形成了植物生长,繁殖及植物残骸堆积的条件,则泥炭层的顶板仅仅变为泥炭内部的矸石夹层,以后将形成含有夹矸层的煤层。由上述可见,泥炭层的厚度决定地壳下沉的速度及植物残骸堆积的速度之间的配合情况,也就是说,原始植物堆积及地壳的运动情况不同,对生成煤层的规模、厚度、煤层层数及灰分情况影响较大。

在漫长的地质年代里,埋复泥炭受着顶板和上复岩层的压力作用,发生了变紧、失水、胶体老化、硬结等物理和物理化学变化。与此同时,埋复泥炭的化学组成也发生了相当缓慢地变化。这一切变化使埋复泥炭最后变成了相对密度较大、较致密的黑褐色的褐煤。从无定形的泥炭转变为这种具有岩石特征的过程,称为成岩作用阶段。

在成岩作用阶段中,一般认为离地面不太远,因此温度不很高,估计低于60~70℃。也就是说,压力和时间因素对泥炭变为褐煤的过程具有特别重要的意义。例如在第三纪沉积的煤中,一般只有年轻的褐煤,而在石炭纪和二迭纪以前的古老的沉积层中,才看到典型的和年老的褐煤。

从泥炭过渡到褐煤以后,一般来说,褐煤中不再含有未分解的植物组织和醣类等组成。褐煤中腐植酸的含量,随其煤化度的增加,从少到多然后又趋于减少。同时,腐植酸的元素组成也有很大的变化:碳含量增加,氧、氢含量减少。褐煤的许多特性很大程度上决定腐植酸的特性,如吸水性、褐色、能溶于碱、使碱液和硝酸染色等。

当地壳继续下沉和顶板加厚时,由于地热和顶板压力的提高,使得煤的变化逐渐脱离了成岩作用范畴,而进入变质作用阶段。

(2) 变质作用阶段。变质作用阶段一般是指在褐煤形成以后, 沉降到地壳内很深的地方, 受到高温高压的影响, 改变了原来性质和结构的过程。煤层所受到的压力, 一般可达数千大气压及至数万大气压。地热温度通常按地热梯度 (每下降 100m 所引起的温度的变化) $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 来计算的。目前一般认为, 引起煤质发生变化的温度在 200°C 以下。

从褐煤转变为烟煤、无烟煤的阶段, 是变质作用阶段。由泥炭转变为褐煤, 褐煤转变为烟煤、无烟煤的整个过程又通称为煤化作用阶段。

年轻的褐煤含有大量的腐植酸, 在变质过程中, 腐植酸逐渐缩合成中性的腐植酸了, 这样在烟煤中已不再含有腐植质了。烟煤在物理性质和化学性质上和褐煤有很大的区别, 例如烟煤比较致密, 相对密度较大, 而褐煤则比较疏松, 相对密度较小。

在烟煤中, 根据其变质程度的不同, 又可分为长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤等。烟煤继续变质的结果则变为无烟煤。无烟煤的特点是: 黑色, 有金属光泽, 相对密度大, 硬度大, 着火温度高, 导电性强, 燃烧时火焰短, 不冒烟。无烟煤若经受高级变质, 结果则变成变质程度更高的煤种, 甚至有可能变为石墨。

第三节 煤 的 变 质

根据地质因素作用的性质, 煤的变质作用可以分为以下几种类型: 区域变质、接触变质和动力变质。

一、区域变质

区域变质系指煤层在沉降过程中, 经受地热和上复岩层所造成的压力的影响, 促使煤变质。这种变质作用由于和大规模的地壳升降直接有关, 具有广泛的区域性, 故称为区域变质作用。

在区域变质因素的作用下, 煤的变质往往呈现出一种有规律的变化。首先是煤变质具有垂直分带的规律, 系指在同一煤田内, 随着深度的增加, 煤的挥发分逐渐减少, 变质程度逐渐增高。

二、接触变质

接触变质系指煤层受火山爆发喷出的火成岩浸入到煤层或煤层附近, 提高了温度, 促使煤发生变质作用。火山爆发喷出岩浆的温度高达 1300°C , 喷出地面以前的温度自然更高。这种熔融物质与煤层接触的局部地方, 煤的物理性质和化学性质发生很大的变化, 在作用剧烈时, 可以使煤变为天然焦, 山东省淄博煤田的天然焦就是这样形成的。无烟煤若受到火成岩的热的影响就会变成在性质上和煤完全不同的石墨。这是石墨生成的方式之一。

三、动力变质

动力变质系指在地壳由于皱褶及断裂运动所产生的压力及伴随构造变化所产生的热效应促使煤发生变质作用。

接触变质作用和动力变质作用都只是局部现象, 没有明显的规律性, 影响范围一般都比较小。