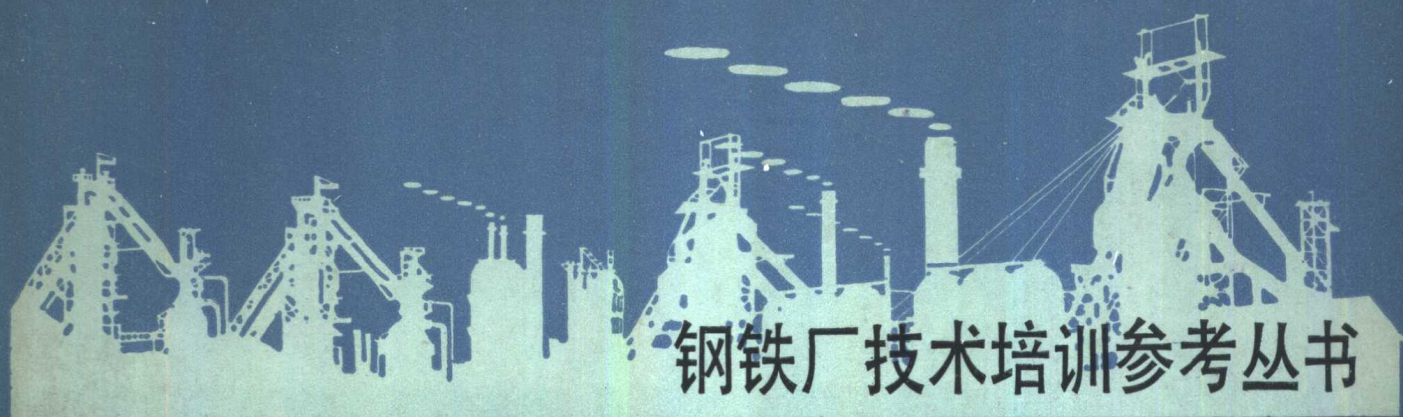




钢铁厂技术培训参考丛书

炼焦

冶金工业出版社

22.1/
L

钢铁厂技术培训参考丛书

炼焦

梁宁元 译

刘颂古 校

江苏工业学院图书馆
藏书章

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是《钢铁厂技术培训参考丛书》之一。全书共分四章，其主要内容是炼焦原料煤概述、煤的处理方法及配煤、焦炉操作及煤气精制、炼焦新技术介绍以及有关炼焦生产的一些计算方法。为了便于读者学习和查阅，本书附有教学指导书。

本书可供钢铁厂工人及干部阅读，也可供技工学校和中等专业学校炼焦专业师生参考。

钢铁厂技术培训参考丛书

炼 焦

梁宁元 译 刘颂古 校

冶金工业出版社出版发行

(北京灯市口74号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 8 3/4 字数 201 千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷

印数00,001~2,000册

统一书号: 15062·3871 定价0.95元

出版说明

《钢铁厂技术培训参考丛书》(以下简称《丛书》)是为了适应我国钢铁企业开展职工技术培训工作的需要,由我社组织翻译的一套日本的技术培训教材,拟分册陆续出版,由我社内部发行,供钢铁企业开展技术培训时参考,也可以供具有初中以上文化程度的职工自学技术时参考。

这套《丛书》包括技术基础知识11本,专业概论8本,冶炼和轧钢专业知识46本(冶炼专业13本,轧钢专业33本),共计65本(具体书名见书末的《钢铁厂技术培训参考丛书》书目)。

这套《丛书》所介绍的工艺、设备和管理知识,取材都比较新,反映了日本钢铁工业的技术水平和管理水平。这套书在编写时,对理论方面的知识,作了深入浅出的表达;对设备方面的知识,配有大量的结构图,简明易懂;对工艺方面的知识,给出了较多的操作工艺参数,具体明确。这套《丛书》的编写特点可以概括为:新、广、浅,即所介绍的知识比较新,所涉及的知识面比较广,内容的深度比较浅。

为了便于教和学,书的每章都附有练习题,概括了该章的主要内容;每本书的后面都附教学指导书,既有技术内容的补充深化和技术名词的解释,又有练习题的答案。

根据我们了解,日本对这套书的使用方法是:技术基础知识部分和专业概论部分是所有参加培训学员的共同课程;冶炼和轧钢专业知识部分是供专业教学用的。由此可以看出,日本的职工技术培训,主要强调的是扩大知识面,强调现代钢铁厂的工人,应该具有广博的科技知识。这一点,对我们今后制订技工学校和职工技术培训的教学计划,是会有参考意义的。

我们认为这套《丛书》不仅适合钢铁企业技工学校和工人技术培训作教学或自学参考书,也可作中等专业学校编写教材的参考书,其中的技术基础知识部分和专业概论部分也可作各级企业管理干部的技术培训或自学参考书。

在翻译和编辑过程中,对原书中与技术无关的部分内容我们作了删节。另外,对于原书中某些在我国尚无通用术语相对应的技术名词,我们有的作为新词引进了;有的虽然译成了中文,但可能不尽妥当,希望读者在使用过程中进一步研讨。

参加这套《丛书》翻译、审校工作的有上海宝山钢铁厂、东北工学院、鞍山钢铁公司、北京钢铁学院、武汉钢铁公司、冶金部情报研究总所等单位的有关同志。现借这套《丛书》出版的机会,向上述单位和参加工作的同志表示感谢。

整套《丛书》的书目较多,篇幅较大,而翻译、出版时间又较仓促,书中错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

一九八〇年二月

目 录

第1章 原料煤	1	(1) 配煤的概要	34
1. 煤炭概论	1	6. 炉料煤的粒度控制	35
(1) 煤炭概述	1	(1) 粉碎作业	35
(2) 煤炭的成分	2	(2) 对用邦德(Bond)的粉碎规则的分析	37
(3) 煤的分类	6	(3) 实际操作的调查结果	38
(4) 煤的性质	7	(4) 粒度管理	39
2. 原料煤的特性	13	7. 煤的预处理	42
(1) 粘结现象	13	(1) 节约强粘结煤的炼焦法	42
(2) 粘结性的测定	13	(2) 预处理方法的实例	43
(3) 粘结机理	16	第3章 炼焦炉操作法	52
(4) 配煤原则	16	1. 炼焦炉操作	52
(5) 干馏机理	21	(1) 炼焦法的历史	52
3. 焦炭特性	22	(2) 煤的干馏	53
(1) 焦炭特性概论	22	(3) 干馏温度和生成物	58
(2) 生产条件和焦炭特性	22	(4) 加热条件和焦炭质量	61
(3) 焦炭特性和高炉操作	23	(5) 炼焦炉的热管理	65
第2章 煤处理法	25	(6) 炼焦炉的热衡算	77
1. 原料煤堆放场(贮煤场)的管理	25	2. 焦炉煤气的精制	80
(1) 贮煤场能力	25	(1) 煤气排送	80
(2) 煤炭适当库存量及贮煤场需用 量计算方法	25	(2) 副产回收	86
2. 原料煤堆煤场的进煤作业管理	28	(3) 煤气精制	88
(1) 贮煤计划	28	(4) 活性污泥法	90
(2) 进煤作业的管理	29	第4章 炼焦法的新技术	92
3. 贮煤温度的上升和煤自燃	30	1. 概论	92
(1) 贮煤中煤质的变化	30	2. 成型焦制造法	92
(2) 煤的风化机理	31	(1) 目的和效果	92
(3) 贮煤管理	31	(2) 成型煤的焦化机构	93
4. 付货作业的管理	34	(3) 成型焦的制造过程	93
(1) 进货作业的制约	34	(4) 成型焦的质量	94
(2) 严守付货的指定场地	34	(5) 今后的研究课题	95
(3) 前后工序和付煤程序	34	3. 配有成型煤的炼焦法	95
(4) 掌握付煤系列的最佳付煤效率	34	(1) 目的	95
(5) 使用粉碎机的情况	34	(2) 原理	95
(6) 保证付煤质量	34	(3) 工艺过程	95
(7) 修配的重点实施	34	(4) 效果	96
5. 配煤作业	34	(5) 实际应用中的关键问题	96
		4. 干燥煤装煤法	97

(1) 目的和效果.....	97	(1) 目的.....	100
(2) 关键问题.....	98	(2) 工艺过程.....	101
(3) 干燥煤的工艺过程.....	98	(3) 效果.....	101
5. 干式消火法.....	100		

教 学 指 导 书

第1章 原料煤	102	(5)煤的流动性.....	107
1. 学习目的.....	102	(6)煤的成分.....	108
2. 术语解释和补充说明.....	102	(7)煤灰分的成分.....	108
1—1 炉料煤挥发分测定法.....	102	(8)炉料煤的挥发分.....	108
1—2 芳香族.....	102	(9)炉料煤的粒度.....	108
1—3 全硫定量法.....	102	第3章 炼焦炉操作法	108
(1)埃施卡法.....	102	1. 学习目的.....	108
(2)燃烧容量法.....	102	2. 术语解释和补充说明	109
1—4 不燃性硫定量法.....	103	3—1 有关炼焦炉的术语解释.....	109
(1)重量法.....	103	(1)炼焦炉设备名称.....	109
(2)燃烧容量法.....	103	(2)氨水喷雾.....	109
1—5 氮的定量法.....	103	(3)出焦侧.....	109
(1)基尔达法.....	103	(4)推焦侧.....	109
(2)半微量基尔达法.....	103	(5)温度梯度.....	109
1—6 焦炭强度试验法.....	103	(6)石墨.....	110
(1)宏观试验法.....	103	(7)炉温.....	110
(2)碎裂强度试验法.....	103	(8)气体分析.....	110
(3)转鼓试验法.....	104	(9)二分火道式和双联火道式.....	110
(4)米库姆(Micum)试验法.....	104	(10)旁喷式.....	110
(5)落下强度试验法.....	104	(11)下喷式.....	110
(6)苏联焦炭强度试验法.....	105	(12)均匀加热.....	110
(7)BS试验法	105	(13)循环系统.....	110
(8)焦炭强度相互间的计算式.....	105	(14)垂直火道式.....	111
(9)JIS法、ASTM法和DIN法的圆筒比较.....	106	(15)水平火道.....	111
第2章 煤处理法	106	(16)炉底烟道.....	111
1. 学习目的.....	106	(17)火道.....	111
2. 术语解释和补充说明.....	106	(18)换向阀.....	111
2—1 哈德格罗夫粉碎指数.....	106	(19)焦缩.....	111
2—2 邦德(Bond)功指数.....	107	(20)切缘.....	111
2—3 有关煤炭处理的术语.....	107	(21)放置时间.....	111
(1)掺油.....	107	(22)困难推焦.....	111
(2)称量具.....	107	(23)碎焦机.....	112
(3)称量给料机.....	107	(24)煤的推力.....	112
(4)固定碳.....	107	(25)蓄热室.....	112
		(26)换向与调整旋塞.....	112

3—2 热管理.....	113	(3)焦炭灰分.....	127
(1)有关燃烧的反应式.....	113	(4)焦炭的硫.....	127
(2)耗热量.....	113	(5)焦炭的水分.....	127
(3)耐火砖的加热膨胀曲线.....	113	(6)焦炭的气孔率.....	127
(4)耐火砖的荷重软化曲线.....	113	(7)焦炭收率.....	127
3—3 焦化成熟判断法.....	113	(8)焦炭粒度.....	128
(1)各公司的焦化成熟判断法.....	113	(9)焦比.....	128
(2)各公司的炉温测定法.....	113	(10)焦炭挥发分.....	128
3—4 热平衡计算.....	114	(11)焦炭的反应性.....	128
(1)有关热的术语.....	114	(12)微强度指数.....	128
(2)有关量的表达和意义.....	115	(13)落下试验.....	129
(3)热平衡计算的测定方法.....	118	(14)米库姆强度.....	129
(4)热平衡计算的前提条件.....	118	3—6 有关焦化产品的术语解释.....	129
(5)热平衡的计算方法.....	118	(1)煤气液.....	129
3—5 有关焦炭质量的术语解释.....	127	(2)蒸馏.....	129
(1)碎裂强度.....	127	(3)深冷分离.....	129
(2)转鼓试验.....	127	第4章 炼焦的新技术	130
附：《钢铁厂技术培训参考丛书》书目	131		

第1章 原料 煤

1. 煤炭概论

(1) **煤炭概述** 煤是由一定地质年代生长的繁茂的植物，在适宜的地质环境中，经过漫长地质年代的天然煤化作用而成，为工业上有利用价值的可燃性岩石状物质。

煤炭的性质，因原植物的种类、产地的地质条件等的不同而千差万别。欧美的烟煤煤矿主要是在石炭纪时代生成，以隐花植物为主而生成的。但是日本的煤炭，除古生代、中生代生成的一部分无烟煤外，大部分是属于第三纪的、年代比较近，主要是以针叶树、阔叶树等显花植物为主（表1-1）。

表 1-1 地 质 时 代 和 生 物

		代、纪、世 开始年代	纪、世开始时的北 纬40°~90°大气变 化平均温度，℃	生 物	
				动 物	植 物
新 生 代	第 四 纪	全新世（冲积世）	0.8~1万年前	人类、哺乳类、昆虫	被子植物，裸子植物
		更新世（洪积世）	60~100		
	第 三 纪	上新世	1500	哺乳类、鸟类、鱼类	被子植物（草木类棕
		中新世	3500	的全盛时代	榈类及其他树类），裸子
		渐新世	5000		植物（大稀桧、紫杉等）
		始新世	7000		
中 生 代	白 垩 纪	（阿尔卑斯造山	1 亿2000	菊石、箭石、爬虫类	被子植物（苏铁、银
		侏 罗 纪	1 亿5000	减少	杏、针叶树）
		三 叠 纪	1 亿9000	哺乳类、鸟类的始祖	苏铁、银杏、针叶树
	三 叠 纪	（华利西造山		爬虫类、两栖类、腕足	羊齿、苏铁、针叶树
				类的全盛时代	
				甲壳类、低级爬虫类	羊齿、苏铁、初期的
古 生 代	三 叠 纪	（华利西造山	2 亿2000	初级哺乳类	针叶树（松、枞）羊齿
				节足动物（昆虫）水	植物、木贼类（芦木）
	石 炭 纪	（加里东造山	2 亿8000	陆两栖动物（硬骨类、	石松类（封印木）藻
				肺鱼的出现）	类、菌类、藓苔类
	泥 盆 纪	（加里东造山	3 亿2000	腕足类（菊石、石燕）	低级羊齿植物（裸蕨）
				脊椎动物（最初的鱼	分裂植物、变形菌
远 古 代	志 留 纪	（加里东造山	3 亿5000	类）	
				原生动物（放散虫、	
	奥 陶 纪		4 亿	有孔虫）	
				腔肠动物（低级水母）	绿藻植物、海藻类
	寒 武 纪		5 亿	节足动物（三叶虫）	
				海绵状生物、石灰藻、菌类	
太 古 代	造 山 运 动	张 夏（チャーン） 基 拉 耐（キラネ） 卡 累 利 阿（カレリ ヤ）	8 亿5000	开始出现O ₂ （根据绿藻类的同 化作用）	同化CO ₂ ，利用无机物的生物（排放H ₂ S）
				CO ₂ 、N ₂ 、H ₂ S增加 （根据厌氧性菌的 作用）	同化CO ₂ ，利用排放硫酸盐的生物有机物的 生物（脂肪酸型的发酵）
	造 山 运 动	劳 伦 斯 大 熊 湖 白 海 曼 尼 托 巴	26 亿以上	原始大气 NH ₃ 、CH ₄ 、H ₂ O、 H ₂ （少量的H ₂ S）	无生物时代 （无机物合成有机物）
	造 山 运 动				

一般煤炭是根据炭化程度分类的，即：

泥煤；褐煤（包括柴煤）；烟煤；无烟煤；石墨。但是，在日本称为煤炭的习惯上是指褐煤、烟煤、无烟煤以烟煤为主。

（2）煤炭的成分 由于煤炭的成分非常复杂，不可能象简单的化合物那样用一定的化学式来表示。

了解煤炭的性质，利用各种方法进行研究，从而确定煤炭的各种成分。

为了解煤炭的性质，使用了一些分析法和试验法，如工业分析、元素分析、定性分析以及外观观察（组织成分分析）、热分解，使用化学试剂进行溶剂萃取。此外，作为物理方法，还有X射线衍射、红外线吸收光谱等。

a. 工业分析的成分 煤炭的工业分析，根据JIS（日本标准）M8812的规定，分为水分、灰分、挥发分和固定碳四种成分，但是为了在工业上使用方便起见，通常还加上全硫量和发热值的分析。

（a）水分 由粒度在60网目以下并经混合后的试样中，抽取恒湿试样1克，以其在 $107\pm 2^{\circ}\text{C}$ 加热干燥1小时后的减量作为水分（%）的含量。这是表示煤炭的吸湿性。也称为

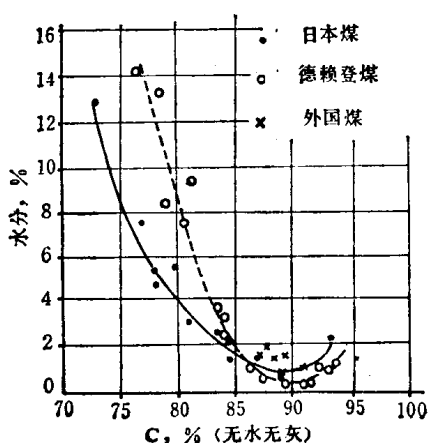


图 1-1 炭化度和水分的关系

吸附水分；另外，由于和煤炭的性质有关，有时也称为固有水分。炭化程度较低的煤（泥煤、柴煤、褐煤）一般为胶态，含有许多活性大的腐殖酸，质地也不致密，故吸湿性大。炭化度和水分的关系如图1-1所示。由图可以看出，一般随炭化程度的增大而水分减少，在含C 90%左右时存在一最小值。此外，所谓湿分是指机械地附着在煤炭上的地下水或雨水。购入的煤炭要用一定的方法及时取样。虽然，湿分与煤炭的性质无直接关系，但因煤炭交易时以无水为基准，所以，在交易时水分即成为问题。

此外，还有一种与煤炭呈化合状态或是在无机物中以结晶水存在的化合物水分，这与炭化度无直接关系，加热至 100°C 左右也不失掉。水分与湿分之和称为全水分。

（b）灰分 将1克左右恒湿试样在30~60分钟内由室温升到 815°C ，直至加热到恒重，并将温度保持在 $815^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，燃烧后所得的残渣作为灰分（%）。煤的灰分在炼焦时残留于其中，而作为原料煤则要求灰分少，因此，在必要时应通过洗煤以减少灰分。对于干馏煤，是灰分含量多少的问题，而气化用煤、加热用煤，则除其灰分含量多少外，还有灰分的熔点问题。

煤灰的成分因煤田不同而异，通常与粘土矿物无大差别，以氧化硅、氧化铝为主，例如：

SiO_2 40~60%、 Al_2O_3 15~35%、 Fe_2O_3 5~25%、 CaO 1~15%、
 MgO 0.5~8%、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 1~4%、 SO_3 1~20%

（c）挥发分、固定碳 将恒湿试样1克放在规定的带盖铂坩埚中，以 $900\pm 5^{\circ}\text{C}$ 加热7分钟，由其减量中减去水分的值就是挥发分的量。挥发分是在煤干馏时作为煤气和焦油而干馏出来的产物，在燃烧时成为火焰。固定碳是在干馏时作为焦炭的主体而残留下来的成

分，在燃烧时形成炭火，是燃烧的成分。可由下式算出：

$$\text{固定碳}(\%) = 100 - [\text{水分}(\%) + \text{灰分}(\%) + \text{挥发分}(\%)]$$

一般随着炭化度的增加，挥发分降低，而相反固定碳增加（图1-2），即使是同样的炭化度，日本煤比其它国家的煤也有挥发分高的特点。

固定碳与挥发分之比称为燃料比，它是炭化度的一个指标，在煤炭分类时作为一项标准。

$$\frac{\text{固定碳}(\%)}{\text{挥发分}(\%)} = \text{燃料比}$$

即炭化度低的煤的挥发分比固定碳多。因此，燃料比小于1，而烟煤、无烟煤则大于1。

一般挥发分多的煤（泥煤、柴煤、褐煤）粘结性小，不能形成坚硬的焦炭；而挥发分少的煤（无烟煤）

粘结性也弱。即粘结性是炭化度在烟煤中所具有的性质，但并非所有的烟煤都能粘结，除有强有弱外，也有完全无粘结性的。此外，通常挥发分多的煤在干馏时，煤气和焦油的收率高，在燃烧时形成长火焰。固定碳多的煤，在干馏时焦炭的收率高。因此，在使用煤炭时这些特征都值得考虑。一般在干馏时，入炉配煤的挥发分大多调整在28~32%之间，煤气发生量、焦炭的成品率，虽然各个炼铁厂多少有些不同，但一般可用下式进行近似的推算（参见指导书表3-6各公司焦炭品位成品率计算式）。

$$\text{焦炭成品率} = 100 - 5/6 \text{挥发分}(\%)$$

$$\text{煤气发生量} = 11 \sim 12 (\text{米}^3) \times \text{挥发分}(\%) / \text{原料煤}(\text{吨})$$

b. 元素分析的成分 元素分析是将煤炭按碳（C）、氢（H）、氧（O）、硫（S）（燃烧性硫）和氮（N）的成分分别开来，以示其组成。此外，有时也进行磷（P）、氯（Cl）等元素的定量分析。

（a）碳、氢 将恒湿试样0.1~0.5克放入试管中燃烧，生成的CO₂、H₂O用吸收管吸收，求其各个吸收量，然后算出碳和氢的含量比率。一般碳含量与炭化度成比例。氢随着炭化度的增进而急剧减小。

（b）氧 氧的定量不是直接进行，而是由下式算出。

$$\begin{aligned} \text{氧}(\%) = 100 - \left[\text{C}(\%) + \text{H}(\%) + \text{燃烧性S}(\%) + \text{N}(\%) \right. \\ \left. + \text{灰分}(\%) \times \frac{100}{100 - \text{水分}(\%)} \right] \end{aligned}$$

元素分析的误差均集中到氧的含量上，因此，氧含量并不是很正确的。

煤炭中的C、H、O等究竟是怎样结合的，其详细情况还不得而知，但大体可认为是以芳香族（参见指导书1-2）结构为主体。

（c）硫 在元素分析中表示的S是用下式算出的燃烧性硫。

$$\text{燃烧性硫}(\%) = \text{全硫}(\%) \times \frac{100}{100 - \text{水分}(\%)} - \text{不燃烧性硫}(\%)$$

全硫（参见指导书1-3）是用埃施卡（Eschka）法或燃烧容量法进行定量。不燃性硫（参见指导书1-4）是指在燃烧煤时残存在灰分中的硫，用重量法或燃烧容量法进行定量。

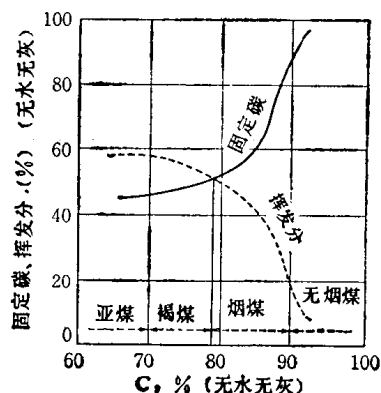


图 1-2 固定碳及挥发分和炭化度

煤炭中的全硫根据其存在状态分类如下：

全硫 { 1. 有机硫 来源于根源植物的蛋白质和煤炭木质，呈化合状态而均匀分布。
2. 无机硫 { 硫化物硫：系黄铁矿、白铁矿，占无机硫的60~80%。
 { 硫酸盐硫：主要是石膏。

(d) 氮 用基耶达法或半微量基耶达法进行定量。

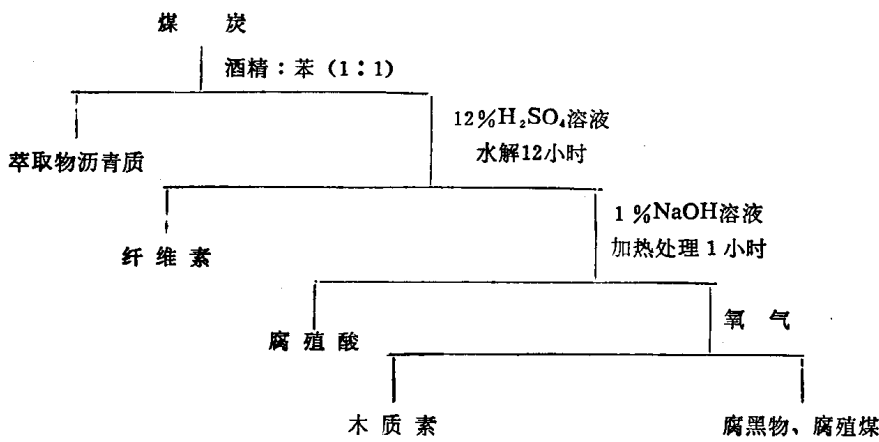
氮在煤炭中约有0.5~2%，其结合状态尚不明确。在燃烧时有氮气排出，干馏时有氮气、氨气、氰酸排在煤气中，作为复杂的吡啶碱存在于焦油中。此外，作为复杂的有机氮化合物残存在焦炭中。煤炭中的氮作为氮资源，特别是作为氨的资源是重要的。

(e) 磷、氯 煤炭中含磷量极少（约0.04%），主要是在灰分中，以五氧化二磷（ P_2O_5 ）的形式存在。钢中含磷超过某一限度时钢会变脆。因此，冶金用焦的含磷量要控制在0.02%以下。

此外，虽然含极少量的氯，可是也会损坏燃烧设备，特别是耐火材料。

c. 示性分析的成分 将煤炭分为沥青质、纤维素、木质素、腐殖酸、腐黑物以及腐殖煤而进行定量的方法称为示性分析。

W. 弗兰茨（英）、F. 菲舍尔（德）曾研究过此法，现将贺田氏进行的方法介绍如下：



根据菲舍尔方法进行的示性分析结果示如表1-2。

表 1-2 煤 炭 的 分 析

成分组成 (%)	木 材	泥 煤	褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
沥青质	—	1.5~13	3~25	0.1~5.6	—
纤维素	33~70	0~15	—	—	—
木质素	23~53	6~40	2~27	—	—
腐殖酸	—	40~60	1.8~98	—	—
腐黑物	—	0~10	2~70	2~3	—
腐殖煤	—	—	0~43	86~97	98~99

以下就主要成分加以说明：

(a) 沥青质 是用有机溶剂萃取出来的物质，煤中的沥青质是非常复杂的化合物，目前只能单独分离出高级的烯烃、环烷系化合物、萜烯系化合物等极少数的物质。

(b) 腐殖酸 它是将煤炭用1~2%苛性钠溶液或4~5N氨水那样稀的碱液处理而浸出，使此浸出液呈酸性时析出深褐色的胶态沉淀，对此进行过很多研究，但仍然难说是十分明确的。

(c) 腐黑物和腐殖煤 腐殖酸进一步排出二氧化碳和水，进行聚合或结合成更为稳定的物质称为腐黑物，再变化则是腐殖煤。

(d) 组织学上的成分 在仔细观察煤的外观时，有比较强光泽的部分形成很宽的层状或形成细的条带，大多夹杂于具有比较弱光泽的层中。与此相反，再进一步炭化的无烟煤，则全部有强的光泽，而炭化度低的褐煤和亚煤等则可以说是几乎无光泽。

英国的R.V.惠勒等人用肉眼或放大镜观察烟煤的外观，将光泽强的部分称为辉煤，光泽弱的部分称为暗煤，木炭状的部分称为煤母。以上是宏观的分类。但其后用显微镜将各成分再分为显微成分，广为进行微观的研究，从而煤的科学研究得到了显著的进步。日本煤的分类对照国际学会分类如表1-3所示。

表 1-3 组织成分分类的对照

肉 眼 的 分 类		显 微 镜 的 分 类		
日 本	英 国	国际学会分类 (1957年)		日本煤分类 (1958年)
辉 煤	镜 煤 亮 煤	镜 煤 亮 煤		镜 煤 亮 煤
暗 煤	暗 煤	暗 煤 暗 煤 E 暗 煤 I		暗 煤 壳质组暗煤 稳定组暗煤 矿物质暗煤
炭 质 页 岩	炭 质 页 岩	炭 质 硅 岩 或炭质页岩		炭 质 页 岩
本 质 炭	乌 煤 (丝炭)	乌 煤		乌 煤

各组织成分的一般性质如表1-4所示。

表 1-4 组织成分的一般性质

组 织 成 分	外 观	硬 度	比 重	润 湿 性	挥 发 分	焦 化 性
镜 煤	通常称为辉煤的部分，是煤炭的代表性部分，有黑色光泽，有如玻璃似的均质感	比较脆易于粉化	1.3	强	多	良
亮 煤	通常称为辉煤的部分，虽有光泽，但并无玻璃似的均质感	比 较 脆	1.2~1.3	强	比镜煤多	良
暗 煤	通常称为暗煤的部分，无光泽暗色，呈粒状组织	硬	1.3~1.4	弱	比镜煤少	不 良
乌 煤	木炭状外观	软，易于成粉状	1.4~1.5	弱	最 少	无

关于辉煤、暗煤和炭母的成因问题，经研究得知辉煤主要是以植物的大的树干部分为主，经过漫长的岁月，经过泥煤时代一度形成为均质的腐殖酸的物质。暗煤部分则是变化程度低，或是在其中大量地混入了小枝或叶等部分，而成为非均质物质；或是在泥煤时

代，由于受到空气的氧化作用及同时受到嗜 氧性菌类比较激烈的作用，致使组织松弛。在其中沉积了无机物质，而使煤炭组织变粗，近似暗煤。此外，辉煤和暗煤也可能是在炭化时受到的机械因素的不同而产生的。

关于炭母的成因不明之点尚多，乍看似木炭，硬度很低，用手触时可着黑色。

(3) 煤的分类 关于煤的分类，迄今有多种提案。大多是根据炭化度的差别排列各种煤种，其中有的以数字来进行划分，但其界限均不明显。

分类的基础是根据工业分析或元素分析的各成分组成，或是煤的各种组合，以及发热量和粘结性等。

a. 根据炭化度的分类 最普通的分类是根据炭化度来分为泥煤、亚煤、褐煤、烟煤和无烟煤（表1-5和表1-6）。

表 1-5 日本煤的分类表

分 类		发 热 量 千卡/公斤	燃 料 比	粘 结 性
煤 质	划 分			
无 烟 煤 亚 无 烟 煤	A ₁		>0	非 粘 结 性
	A ₂		>4	
烟 煤	B ₁	>8400	>1.5	强 粘 结 性
	B ₂		>15	
	C ₁	>8100	>1	粘 结 性
	C ₂		<1	弱 粘 结 性
亚 烟 煤	D ₁	>7800	>1	弱 粘 结 性
	D ₂		<1	非 粘 结 性
	E	>7300		非 粘 结 性
褐 煤	F ₁	>6300		非 粘 结 性
	F ₂	>5800		

表 1-6

C, % (无水无灰)	种 类
~70	泥 煤
70~78	褐 煤
78~80	非 粘 结 煤
80~88	弱 粘 结 煤
83~85	粘 结 煤
85~90	强 粘 结 煤
90~	无 烟 煤
	烟 煤

b. 根据煤炭成因的分类 根据根源植物受喜氧性和厌氧性菌类的作用以及因水而进行的生物化学变化过程而分类为残留煤、陆植煤和腐泥煤（表1-7）。

一般的煤大部分是陆植煤，日本岩手久慈的琥珀煤属于残留煤。另外，腐泥煤中英国的烛煤是有名的，灰分多的腐泥煤属于油母页岩。

c. 根据干馏或燃烧时的状况分类 煤高温干馏（制煤气、炼焦）时，当然需要粘结

表 1-7 生物学的分类

根 源 植 物	陆 生 植 物	沼 泽 植 物	水 生 植 物	
变 化 过 程	全部腐朽	半 腐 朽	泥 煤 化	腐 败
水的存在 发生的化学变化	有 湿 气 完全的氧化作用 ↓ 残 留 煤 (琥珀煤)	有 湿 气 初 期 有 湿 气 后 期 浸 没 水 中 炭 化 ↓ 陆 植 煤 (一般的煤)	浸 没 水 中 沥 青 化 消 失 ↓ 腐 泥 煤 (烛 煤)	

性强的煤，但锅炉用煤、气化制煤气用煤以及低温干馏用煤，通常用强粘结性煤但操作不方便。

另外，煤在燃烧时首先引起干馏，先是挥发分构成火焰燃烧，其次固定碳燃烧。挥发分多的煤火焰长，并产生有光辉的火焰（这是因为焦油的蒸气燃烧），挥发分少的则是短焰，并且光辉也弱。年代近的煤虽然含大量挥发分，但同其中多二氧化碳和水蒸气等，所以，不可能发生强光辉的火焰。

煤在锅炉中燃烧时，如果空气量不足，则由于挥发分的不完全燃烧而发生黑煤烟。但是即使挥发分多，在不完全燃烧时，也不一定都发生煤烟。例如，木材、低炭化度的煤虽然挥发分多，但在燃烧时，一般并不发生煤烟。

如上所述，挥发分的量及其特性，以及煤的粘结性等与煤的干馏、气化和加热（锅炉用）是有重要关系的。根据这种观点进行煤的分类，见表1-8。

表 1-8 烟煤和无烟煤的工业分类

种 类	用 途	挥发分含量 (按纯煤计, %)	火 焰 的 状 态	煤烟发生的倾向	粘结性、焦炭的性状 (坩埚试验)
长 焰 煤	炉 用 锅 炉 用	45~50	长而有光辉	中~强	不凝结~凝 结
煤 气 用 长 焰 煤	炉 用 锅 炉 用	40~45	长而有光辉	中~强	不凝结~弱凝结
煤气用煤	制煤气用	30~40	中等程度	强	弱粘结~强粘结
炼焦用煤	炼 焦 用	20~30	短焰、弱光辉	强	强 粘 结
炼 焦 用 短 焰 煤	炼 焦 用 锅 炉 用	15~20	短焰、弱光辉	中	强粘结~凝 结
短 焰 煤	锅 炉 用 家 庭 用	8~15	火焰极短	弱	凝 结~不凝结
无 烟 煤	锅 炉 用 家 庭 用	4~8	无 焰	无	不 凝 结

注：前四种煤有时也称为肥煤。

(4) 煤的性质

a. 煤的物理性质 (见表1-9)

(a) 比重 煤的比重有真比重和视比重。所谓真比重是指煤质本身的比重。但煤为

表 1-9 煤的物理性质

	亚 煤、褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
真 比 重	0.8~1.5	1.2~1.7	1.5~1.8
视 比 重	0.55~0.75	0.75~0.80	—
比 热	0.26~0.28	0.24~0.26	0.22~0.24
导 热 率 (千卡/米 ² /米/小时/℃)	—	0.21~0.29	—
着火点 (℃)	250~300	300~400	400~450
发 热 量 (千卡/纯煤公斤)	5500~7500	7500~8800	8200~8500

多孔性, 如果测定煤块本身的比重, 就是测定了包括进入到气孔中的空气在内的比重, 即视比重。测定真比重时, 应将煤充分粉碎, 尽量消除气孔, 使水进入到气孔之中, 用比重瓶法来进行测量。用下式可计算出煤的气孔率 (体积气孔率)。

$$\text{气孔率}(\%) = \frac{\text{真比重} - \text{视比重}}{\text{真比重}} \times 100$$

煤的真比重是与炭化度和灰分成比例增加。同时, 真比重与煤的内部结构有关。在实用意义上, 视比重是重要的, 此外, 堆积比重 (单位体积所具有的重量) 有时也有意义。

堆比重根据粒度的大小不同而异。

(b) 比热 纯煤的比热一般为0.25卡/克·℃左右, 它随着水分的增加而增加。另外, 挥发分和C/H值增大, 纯煤比热也有增大的趋势。灰分的比热约为0.16卡/克·℃, 因此, 煤的比热随灰分含量的增加而降低。

(c) 导热率 煤的导热率非常小, 约为0.12~0.29卡/米²·米·小时·℃, 与耐火砖的导热率大体相同, 或是它的1/2。煤的导热率随灰分的增加而增加, 随水分的增加而减少。煤的导热率小这一点对煤在工业使用上有很大影响, 如在进行煤干馏时, 炼焦炉的炭化室不能加宽。

(d) 导电性质 煤和石墨不同, 几乎无导电性。

煤的电容率 (介电常数) 约为2, 比水的介电常数 (约为80) 小的多。所以可以利用这一点测定煤的水分 (全水分)。但是还有无机物的影响, 因此也有各种困难。

(e) 反应性 所谓反应性本来是在炼铁用焦中被视为问题的性质, 它是标志在900~950℃时该焦将二氧化碳还原成为一氧化碳的尺度。最近由固体燃料逐渐用于气化时制造煤气, 因此也就开始被理解为它是衡量固体燃料和氧 (空气)、水蒸气或二氧化碳反应时的尺度, 但通常广泛进行的是对空气反应性的大小, 亦对火温度的测定。着火温度是将固体燃料的粉末置于反应管中, 在通空气的同时提高温度, 测定固体燃料层急剧上升的温度。举例如表1-10所示。

由表1-10可以看出, 根据碳的形态 (无定形或结晶形) 以及因粒度、气孔率和无机物的存在是有所影响的。越是年代近的煤, 炭质越疏松, 反应性也越大。随着炭化度的增大, 反应性越来越差。

(f) 燃烧性 煤有不同的反应性, 着火也有难易, 但着火以后的煤其燃烧状态也随煤的不同而有差异。通常衡量这种燃烧速度的尺度称为燃烧性。关于燃烧性的系数很多,

它与固体燃料的表面状态、热分解时挥发分的发生状况以及它的性质等有关。

表 1-10 煤、焦炭的着火温度

煤		焦 炭	
种 类	着火温度, ℃	种 类	着火温度, ℃
亚煤、褐煤	250~300	木 炭	250
烟 煤	300~400	半 焦	395
无 烟 煤	400~450	气化用焦	505
		冶金用焦	640

(g) 发热量 它是指单位煤量在完全燃烧时发生的热量, 有以下两种:

总发热量或高发热量 H_G

净发热量或低发热量 H_N

燃料的发热量通常是指总发热量。在燃料中有氢的成分, 氢在燃烧时生成水, 但是当把它看做是水时, 亦即将水的蒸发潜热也考虑在内的发热量是总发热量。测定发热量时, 为了在测定装置中进行测量, 水蒸气应进行冷凝, 因此, 测定值是指总发热量。但实际在燃料燃烧时水蒸气并不冷凝, 而是从烟囱跑掉。不考虑水蒸气冷凝的称为净发热量。我们利用的就是这种净发热量。总发热量 (H_G) 和净发热量 (H_N) 之间的关系如下:

$$H_N = H_G - 600(W + 9H) \quad (\text{千卡/公斤})$$

式中 W ——水分(%); H ——氢(%).

煤的主体是碳, 其余为氢、氧和灰分。

一般碳的发热量为8100千卡/公斤, 氢的发热量为3400千卡/公斤, 硫为 2500 千卡/公斤, 因此, 由这些成分可以算出。一般常使用杜隆公式, 即:

$$H_G = 8100C + 3400\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2500S \quad (\text{千卡/公斤})$$

式中 C ——碳(%); H ——氢(%); O ——氧(%); S ——燃烧性硫(%).

随炭化度的增大而煤中的碳增多, 氧减少。因此, 发热量随此而增大, 但到烟煤以上时, 由于发热量大的氢的减少, 所以即使是无烟煤, 其发热值也不特殊大。

b. 煤的化学性质

(a) 煤的官能团 煤由其元素分析值可知除 C 、 H 外, 也含有 O 、 N 、 S 等, 但 N 、 S 的含量比较少。

关于氧, 它主要是以酸性和醇性的羟基 (O_{OH})、羧基 (O_{COOH})、羰基 ($O_{C=O}$)、甲氧基 (O_{OCH_3}) 以及醚型氧 (O_{C-O-C}) 的状态存在。日本北海道煤的含氧官能团(%), 工业分析值和元素分析值的一例, 示如表1-11。

氮主要是在环状结构中。

(b) 溶剂萃取 煤用有机溶剂处理的研究早在十八世纪末就已经开始。溶剂处理是溶剂渗透到构成煤的基本结构单位相互间的细微的间隙中, 使其结合变换以至切断。为此, 煤被切断成各种大小的单体, 在溶剂中分散为胶体或形成溶液而被萃取出来。

为了研究煤的结构和性质, 最新的方法有用吡啶萃取或在煤的热解温度附近比较高的温度下用溶剂处理以得到大量萃取物的方法, 及在比较温和的条件下进行萃取的方法。

一般溶剂萃取量, 因炭化度和溶剂的种类的不同而异。为了解煤的结构, 特别是其粘

表 1-11 日本北海道煤的含氧官能团(%)、工业分析值和元素分析值一览表

名 称	工 业 分 析 , %				元素分析, %(无水无灰)					含氧官能团, %(无水无灰)			
	水分	灰分	挥发分	固定碳	C	H	N	S	O(差值)	O _{OH}	C _{C=O}	O _{COOH}	O _{C-O-C} 等
石狩草煤	11.7	5.3	46.3	36.7	60.9	6.0	1.8	0.4	30.9	11.5	2.7	4.6	12.2
十胜亚煤	18.3	11.5	44.6	25.6	61.5	5.7	1.0	0.0	31.8	10.6	—	—	—
宗谷煤	16.7	14.8	38.6	29.0	70.3	5.3	1.2	0.4	22.8	10.1	3.7	2.6	6.4
羽幌煤	13.5	7.1	41.4	38.0	74.6	6.3	0.9	0.0	18.2	8.4	3.6	1.7	4.5
住吉煤	8.1	7.3	38.8	45.8	75.5	6.2	1.2	—	17.1	7.3	3.6	1.1	5.1
太平洋煤	6.3	6.1	47.1	40.5	76.7	6.4	0.7	—	16.2	7.2	2.4	1.0	5.7
尺别煤	8.2	8.7	37.4	45.7	77.6	5.8	1.9	0.6	14.1	7.3	2.4	0.8	3.7
昭和煤	5.7	15.3	51.7	27.3	79.6	6.2	1.8	0.2	12.2	7.0	2.1	0.2	2.9
幌内煤	4.8	7.6	41.1	46.5	79.7	6.2	1.2	0.1	12.8	6.6	—	—	—
美呗煤	4.3	3.8	42.4	49.5	80.7	6.0	1.7	0.1	11.4	6.2	2.2	0	3.0
大和田煤	2.8	10.1	39.4	47.7	81.4	6.2	1.1	0.1	11.2	5.4	—	—	—
夕张煤	1.8	6.5	41.1	50.6	84.0	6.4	0.8	—	8.8	3.0	1.3	0	4.5

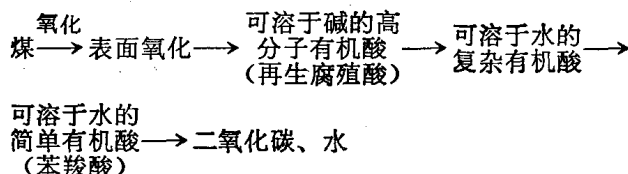
结性,很早就研究了溶剂对煤的作用,其中有用吡啶在沸点下萃取的惠勒法及用苯在高压下萃取的非舍尔法和博恩法等。

(c) 氢化分解 很早以前就开始了研究煤的加氢液化。最早是1869年P.E.M. 贝特罗用碘化氢(HI)进行的,其后是1913年有名的贝吉乌斯法,它是在高温下进行加氢,在工业上成功地从煤中制造了液体燃料。但是近年是处于用石油和天然气制造流体化能源的时代,因此专为煤的结构分析手段进行着大量的研究。特别是为了解煤的化学构造,尽量地用轻度的氢化分解(初压100公斤/厘米², 375°C以下),使煤本来的结构稍加改变,成为低分子量的分子,溶于溶剂中来进行分析。

哈瓦德在煤轻度加氢的情况下,使其80~90%转变为可溶于苯,他研究了煤的各种性质,提出了煤是由平均分子量为300左右的单体聚合而成的学说。

(d) 氧化分解 所谓煤的氧化包括极为广泛的现象,也就是从温和的条件下的风化直到相当激烈条件下的燃烧的各个阶段、通过煤的氧化分解可以得到关于骨架结构的情况和腐殖酸、苯羧酸等化学成分。

煤的氧化反应,一般进行如下的连续变化:



也就是随着氧化的进行,生成酸成为可溶于碱的物质。在此碱溶液上加酸,则沉淀出黑褐色的无定形物质。该物质含有约35~40%的氧,类似于腐殖酸,因此称为再生腐殖酸或乌敏酸。再进一步氧化时,成为可溶于水的有机酸。在氧化过程中溶液的颜色是由褐色、黄色逐渐变淡,最后变得几乎无色。

氧化分解有湿式氧化和干式氧化两种。湿式氧化多数是在酸性或碱性介质中用硝酸、盐酸和高锰酸钾、氧气、氮气等进行。

干式氧化是以空气氧化为主,这种现象就是风化。它除降低发热量和粘结性外,还是