

# 炼焦化学基础

上册

鞍山钢铁学院编

炼焦化学编辑部

81.601

# 炼焦化学基础

库咸照 姚昭章 刘述祺编

上册

炼焦化学编辑部

一九八七年四月

81.601  
4

# 炼焦化学基础

库咸照 姚昭章 刘述祺编

下册

炼焦化学编辑部

一九八七年四月

## 再 版 前 言

“炼焦化学基础”于1976年第一次出版，由鞍山钢铁学院（原为鞍山钢铁大学）编写，“炼焦化学”编辑部编辑出版。该书发行后，受到了广大焦化工作者的欢迎。多年来，我们曾收到许多单位来函要求订购，但由于各种原因，未能及时再版，为了满足广大焦化工作者的要求，我院决定于今年再版。为了反映近十年来焦化工业方面的新成就，增加了补充篇。

该书原版共四篇二十五章，介绍了炼焦用煤及准备、炼焦原理、焦炭生产、炼焦化学产品回收、粗苯精制、焦油及其馏分加工、焦化厂生产水及含酚、氰污水的处理等全部工艺过程、理论基础、操作方法及工艺数据等，对工艺过程和主要设备的计算方法及设计要点均做了必要说明。

本书再版时，分上、下两册发行，上册为炼焦用煤及炼焦生产部分，包括原书的第一~十一章及补充篇（一）；下册为炼焦化学产品回收与精制部分，包括原书的第十二~二十五章及补充篇（二）。

本书由库咸熙、姚昭章、刘述祺编写，其中第一~四章及补充篇（一）由刘述祺编写；第五~十一章由姚昭章编写；第十二~二十五章及补充篇（二）由库咸熙编写，于兴安参加了十三章的部分编写工作。

“炼焦化学”编辑部的同志曾为该书的出版做了大量工作，仅在此表示谢意。

本书再版时，对原文中的勘误及个别词句进行了修正，而原书的内容顺序未予变动，仅以补充篇的形式加以简要介绍，其中包括近十年来炼焦工业在节能、环保及其它方面的新技术。由于篇幅所限，补充篇仅能做一简要介绍，请读者谅解。

对该书不当之处，望批评指正。

编者

1987 . 4

# 目 录

## 第一篇 炼焦用煤及其准备

第一章	焦炭及其性质 .....	( 1 )
第二章	煤的组成、性质与分类 .....	( 5 )
第三章	结焦原理 .....	( 16 )
第四章	炼焦用煤的准备 .....	( 19 )
第一节	备煤工艺过程 .....	( 20 )
第二节	煤的接受与贮存 .....	( 24 )
第三节	炼焦用煤的配合 .....	( 36 )
第四节	煤焦用煤的粉碎与混合 .....	( 44 )
第五节	影响煤料细度和堆比重的因素 .....	( 50 )
第六节	贮煤塔 .....	( 52 )
第七节	备煤系统的联锁控制 .....	( 54 )
第八节	皮带运输机 .....	( 56 )

## 第二篇 焦炭生产

第五章	炼焦炉 .....	( 63 )
第一节	概述 .....	( 63 )
第二节	现代焦炉炉体的基本部分 .....	( 68 )
第三节	我国的几种现代焦炉 .....	( 75 )
第六章	焦炉护炉铁件及煤气设备 .....	( 86 )
第一节	护炉铁件的作用 .....	( 86 )
第二节	保护板 .....	( 86 )
第三节	炉柱 (钢柱) .....	( 87 )
第四节	弹簧 .....	( 90 )
第五节	拉条 .....	( 91 )
第六节	炉门框及炉门 .....	( 91 )
第七节	焦炉加热煤气设备 .....	( 93 )
第八节	交换设备 .....	( 97 )

第九节	荒煤气导出设备	(102)
<b>第七章</b>	<b>焦炉机械和出炉操作</b>	(105)
第一节	焦炉机械	(105)
第二节	出炉操作	(111)
第三节	熄焦与筛焦	(116)
<b>第八章</b>	<b>焦炉加热用燃料与燃烧</b>	(118)
第一节	焦炉用燃料	(118)
第二节	空气过剩系数	(124)
第三节	燃烧温度	(125)
第四节	燃烧过程	(130)
<b>第九章</b>	<b>焦炉气体流动原理</b>	(133)
第一节	焦炉内气体流动的基本公式	(133)
第二节	压力、阻力和浮力	(137)
第三节	流量变化的通道内压力的计算	(142)
第四节	烟囱与烟囱计算	(146)
第五节	阻力、压力差与流量的关系	(149)
第六节	废气循环原理	(151)
<b>第十章</b>	<b>炼焦炉的传热</b>	(157)
第一节	焦炉传热概述	(157)
第二节	火道向炉墙的传热	(160)
第三节	炉墙的传热	(164)
第四节	炭化室煤料的传热	(169)
第五节	蓄热室的传热	(172)
第六节	炼焦炉的热功效率和炼焦耗热量	(177)
<b>第十一章</b>	<b>炼焦炉的烘炉、开工与加热调节</b>	(184)
第一节	炼焦炉的烘炉	(184)
第二节	炼焦炉的开工	(188)
第三节	炼焦炉的加热调节	(188)
<b>补 充 篇 (一)</b>		
第一节	炼焦车间的能耗状况与治理措施	( 1 )
第二节	炼焦车间的环境污染与治理措施	( 6 )
第三节	炼焦车间其它新技术	( 10 )

### 第三篇 炼焦化学产品的回收

<b>第十二章 炼焦化学产品</b> .....	(205)
第一节 炼焦化学产品的生成、组成和产率 .....	(205)
第二节 各种因素对化学产品产率的影响 .....	(206)
第三节 回收炼焦化学产品的目的和意义 .....	(209)
<b>第十三章 煤气的冷却和焦油氨水的冷凝</b> .....	(209)
第一节 煤气在集气管内的冷却 .....	(214)
第二节 集气管的物料平衡和热平衡 .....	(215)
第三节 炼焦煤气间接初冷的流程和设备 .....	(217)
第四节 炼焦煤气直接初冷的流程和设备 .....	(225)
第五节 冷凝工段附属设备 .....	(226)
第六节 煤气初冷操作分析及改进途径 .....	(228)
<b>第十四章 煤气输送及焦油雾清除</b> .....	(233)
第一节 煤气的输送系统 .....	(233)
第二节 煤气输送管道 .....	(233)
第三节 鼓风机及其操作性能 .....	(236)
第四节 炼焦煤气中焦油雾的清除 .....	(242)
<b>第十五章 硫酸铵的生产</b> .....	(248)
第一节 硫铵的性质及质量要求 .....	(248)
第二节 焦化厂生产硫铵的方法 .....	(250)
第三节 饱和器内硫铵结晶的基本原理 .....	(254)
第四节 饱和器的物料平衡和热平衡 .....	(255)
第五节 硫铵工段的主要设备 .....	(261)
第六节 影响硫铵质量的因素 .....	(268)
第七节 硫铵的接受与贮存 .....	(273)
<b>第十六章 剩余氨水的加工和轻吡啶盐基的生产</b> .....	(276)
第一节 剩余氨水的组成及其加工工艺流程 .....	(276)
第二节 主要设备及其计算 .....	(278)
第三节 轻吡啶盐基的生产 .....	(285)
<b>第十七章 水洗氨和浓氨水的生产</b> .....	(293)
第一节 生产工艺流程及操作 .....	(293)

第二节	气体吸收原理	(296)
第三节	油洗萘及洗萘富油脱萘	(301)
第四节	水洗氨及洗氨塔的计算	(305)
第五节	富氨水的蒸馏	(313)
<b>第十八章</b>	<b>粗苯的回收和制取</b>	<b>(317)</b>
第一节	粗苯的组成、性质及回收方法	(317)
第二节	用洗油回收苯族烃	(319)
第三节	煤气的最终冷却及洗萘	(326)
第四节	回收苯族烃的工艺流程及设备	(330)
第五节	蒸汽加热的脱苯工艺流程	(338)
第六节	脱苯蒸馏主要设备的构造及计算分析	(342)
第七节	管式炉加热的脱苯工艺流程及设备	(350)
<b>第十九章</b>	<b>焦炉煤气中硫化氢的清除</b>	<b>(355)</b>
第一节	煤气中硫化氢的生成、含量及其清除的意义	(355)
第二节	煤气的干法脱硫	(355)
第三节	砷碱法脱硫	(357)
第四节	改良蒽醌二磺酸钠(改良A.D.A)法脱硫	(359)

## 第四篇 炼焦化学产品的精制

<b>第二十章</b>	<b>粗苯的精制</b>	<b>(366)</b>
第一节	粗苯的组成及其主要组份的性质和应用	(366)
第二节	不饱和化合物及硫化物的清除	(373)
第三节	用间歇精馏法精制粗苯	(385)
第四节	连续精馏法精制粗苯	(388)
第五节	主要设备的构造及计算	(396)
第六节	初馏份的处理	(402)
第七节	古马隆-茚树脂的生产	(405)
<b>第二十一章</b>	<b>煤焦油的蒸馏</b>	<b>(409)</b>
第一节	煤焦油的组成、性质及主要产品的用途	(409)
第二节	焦油加工前的准备	(414)
第三节	间歇式焦油蒸馏	(418)
第四节	连续式焦油蒸馏	(420)
第五节	管式炉焦油蒸馏系统的主要设备及计算	(429)



第六节 沥青的冷却及高温沥青的生产.....(441)

## 第二十二章 焦油馏份的初步加工 .....(444)

第一节 萘油馏份的结晶及压榨萘的制取.....(444)

第二节 蒽油馏份的结晶及粗蒽的制取.....(447)

第三节 酚类及吡啶碱类的提取.....(450)

第四节 酚盐的净化、分解与中性硫酸吡啶的分解.....(456)

## √ 第二十三章 工业萘及精萘的生产 .....(461)

第一节 生产工业萘的原料与产品质量.....(461)

第二节 生产工艺流程及操作.....(463)

第三节 主要设备构造及计算.....(471)

第四节 精萘的生产.....(480)

## 第二十四章 粗酚、粗吡啶及粗蒽的精制 .....(483)

第一节 粗酚的精制.....(483)

第二节 粗吡啶盐基的精制.....(491)

第三节 粗蒽的精制.....(495)

## 第二十五章 焦化厂生产水及含酚、氰污水的处理 .....(499)

第一节 焦化厂生产用水的水质及其处理.....(499)

第二节 循环水的冷却.....(509)

第三节 焦化厂含酚、氰污水的来源、性质及其处理方法.....(512)

第四节 蒸汽循环法脱酚.....(515)

第五节 溶剂萃取法脱酚.....(519)

第六节 终冷污水的脱氰.....(526)

第七节 含酚、氰污水的生化处理.....(528)

## 补 充 篇 (二)

第一节 间冷直冷结合的煤气初冷..... (1)

第二节 焦油氨水的高效分离..... (2)

第三节 无水氨的制取..... (3)

第四节 氨型塔卡哈克斯 (Takahax) 法脱硫..... (5)

第五节 酚水的深度处理..... (9)

第六节 改质沥青的制取..... (11)

第七节 区域熔融法制取精萘..... (14)

# 炼焦化学基础

鞍山钢铁大学编

## 第一篇 炼焦用煤及其准备

### 第一章 焦炭及其性质

#### 一、高炉生产原理及焦炭作用

焦炭主要用于高炉冶炼，其次供铸造、气化、有色金属生产和炼制电石，它们对焦炭有不同要求，但以高炉炼铁用焦（冶金焦）的质量要求为最高。为此首先应了解高炉生产原理及焦炭在其中的作用。

高炉是竖形炉子，从上到下分炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸五段。原料包括铁矿石（或烧结矿）、焦炭和石灰石（熔剂）交替地由炉顶通过料罐（或料车）装入炉内，在炉喉处原料被预热、脱水，同时上升的煤气被冷却。由炉缸风口处鼓进的热风与焦炭不完全燃烧生成一氧化碳，并放出热量，其反应式为：



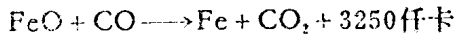
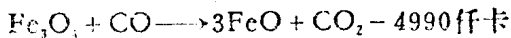
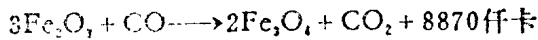
反应生成的一氧化碳是炉内主要的还原剂，放出的热量是高炉冶炼过程热量的主要来源。炉料因其自重焦炭于风口处烧掉后形成空间的情况下不断下降，并受炽热的上升煤气流作用，发生了分解、还原、软化、造渣、脱硫等一系列反应，最终变成铁水和炉渣从炉缸铁口、渣口放出。铁矿石中绝大多数是各种铁的氧化物，在与还原性气体良好接触条件下，发生如下还原反应：

---

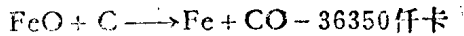
《炼焦化学基础》是以鞍山钢铁大学新编焦化专业教材为基础而编写的。书中炼焦用煤及其准备、焦炭生产、炼焦化学产品的回收等三篇曾在《炼焦化学》杂志上连载。刊登后，受到广大读者的热烈欢迎，纷纷要求出单行本。为了满足需要，现汇编出版。

在汇编时，对杂志刊登过的三篇，仅对其中个别部分进行了修改；书中粗苯精制及煤焦油加工两部分是新加入的。全书比较系统的介绍了焦化生产的基本原理、工艺流程、主要设备选择及生产操作指标，并做了某些必要的计算。本书可供从事焦化工作的工人、干部、技术人员及大专院校师生参考。

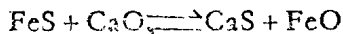
由于时间仓促，加之我们水平有限，经验不足，书中错误之处，恳请批评指正。



在高炉下部，由于温度较高（1100°C以上），并有大量碳素存在，还发生如下直接还原反应。



除此以外，硅、锰、磷、硫等氧化物也被还原进入生铁内。加入石灰石的目的，在于使氧化钙与矿石、焦炭中的高熔点酸性氧化物主要在炉腹处形成熔点较低、比重较小的炉渣与铁水分离，从炉缸中放出。硫是钢铁中的有害杂质。具有足够碱度（CaO/SiO<sub>2</sub>）和良好流动性的炉渣还可以加强生铁脱硫反应，使硫进入炉渣。



适宜的炉渣成分对硅、锰的还原也起一定的控制作用。

上述反应都是在炉料不断下降和煤气不断上升的相对运动中所进行的一系列传热传质过程，为使反应完全，要求炉内参与反应的物质相互均匀接触，为此炉料应分布均匀、透气性好，从炉喉到炉缸整个途径中，只有焦炭保持固体状态，因此焦块的大小、耐磨、抗碎强度及均匀程度将直接影响炉料透气性的好坏。当炉料透气性变坏时，不仅高炉内反应过程恶化，还使气体通过阻力大大增加，使炉料向下的压力与煤气流向上压力间的差减少，造成炉料下降缓慢，甚至挂料、崩料等高炉不顺行现象。

以上说明，焦炭在高炉冶炼过程中起着还原剂、热源、支承物三大作用，为此对焦炭的要求是：（1）固定碳含量高；（2）灰份和挥发份含量低；有害杂质硫和磷含量少；（3）水份稳定；（4）耐磨和抗碎强度高，块度均匀。这样才能保证高炉有效容积利用系数（每1米<sup>3</sup>有效容积、每昼夜生产的生铁吨数）高，冶炼强度（每1米<sup>3</sup>有效容积、每昼夜燃烧的焦炭吨数）高，焦比（生产1吨生铁需用的焦炭吨数）低，并制得合格的生铁。

## 二、焦炭的化学性质

焦炭的化学性质由固定碳、挥发份、水份、灰份、硫份和磷份来体现。

1. 固定碳和挥发份：固定碳是焦炭的主要成分，将焦炭再次加热到850°C以上，即从中析出挥发物，剩余部分系固定碳和灰份。挥发物含量通常以干基挥发份V<sup>s</sup>（%）表示，它是焦炭成熟度的重要标志，正常成熟度的冶金焦，V<sup>s</sup>为0.9~1.2%，若高于1.5%表示焦生，挥发份过低则焦炭过火。生焦耐磨性差，使高炉透气不好，并能引起挂料、增加吹损、破坏高炉操作制度等恶果。过火焦易碎，容易落入熔渣中，造成排渣困难、风口烧坏等现象。

2. 灰份：焦炭燃烧后的残余物为灰份，通常以干基灰份A<sup>s</sup>（%）表示，它是焦炭中的有害杂质，其中主要是二氧化硅等酸性氧化物，灰份含量增高，在高炉冶炼过程中，为造渣所消耗的石灰石和热量将增加，高炉利用系数降低，焦比增加。由实践表明，灰份每增加1%，高炉产量降低2.2%，焦比增加1.7%，石灰石用量增加2.5%。因煤在炼焦过程中灰份全部转入焦炭，故焦炭灰份直接决定于煤的灰份，焦炭灰份越低，对高炉生产越有利。

3. 水份：焦炭在102~105°C的烘箱内干燥到恒重后的损失量为水份，通常以湿基水份W<sup>s</sup>（%）表示，冶金焦水份一般为3~7%，25毫米以下的小焦块水份可达11~18%，因其单位重量的表面积大，吸附水份也多，焦炭水份力求稳定，因高炉生产一般以湿焦计量，焦炭水份波动，对高炉操作不利。

4. 硫份：焦炭含硫占高炉配料中硫来源的80%以上，硫进入生铁后使其变脆，为除去这部分硫，需增加熔剂和焦炭，熔渣含硫过高会增加粘度，易粘着粉焦，影响操作。经验表明，焦炭硫份每增加0.1%，熔剂和焦炭将分别增加2%，高炉生产能力降低2~2.5%。煤在炼焦过程中硫份的70~90%转入焦炭，故焦炭硫份直接决定于煤的硫份，一般冶金焦的干基硫份  $S^d(\%)$  不大于1%。

5. 磷份：焦炭中的磷份在炼铁时大部分转入铁中，生铁含磷使其冷脆性变大，用于转炉炼钢时，因采用酸性熔渣，磷难以除掉，生铁含磷应低于0.01~0.015%，用于平炉炼钢时，因系碱性熔渣，磷可作燃料烧掉，对生铁含磷没有要求。煤炼焦时磷份全部转入焦炭，若要求低磷焦，必须控制配煤含磷。

### 三、焦炭的物理机械性质

根据高炉生产对焦炭的要求，应该是块度均匀，耐磨性和抗碎性强，焦炭的这些物理机械性质主要由筛分组成和转鼓试验来评定。

1. 筛分组成：为使高炉透气性好，焦炭块度要均匀，因此焦炉生产的焦炭通常分为>40毫米，25~40毫米的冶金焦，10~25毫米的小块焦和<10毫米粉焦四级，全焦中冶金焦产率通常为93%左右，中块焦为2~3%，粉焦为4~5%。为鉴定焦炭块度的均匀性可用筛孔为110×110、80×80、60×60、40×40、25×25和10×10毫米的一套筛子进行筛分试验。冶金焦块度的均匀性可用下式表示：

$$K = \frac{(40 \sim 80)}{(>80) + (25 \sim 40)}$$

式中(40~80)、(>80)、(25~40)为该等级焦炭占冶金焦的重量百分数，K值愈大，焦炭均匀性愈好。高炉最适宜的焦炭粒度，应视高炉容积、原料情况而定，但不管多大高炉，均要求焦炭均匀。

2. 转鼓试验：为了试验焦炭的耐磨性和抗碎性，通常采用转鼓试验，我国各焦化厂目前采用的有两种方法，一种是大转鼓（松格林转鼓），另一种是小转鼓（米库姆转鼓）。

大转鼓直径为2米，鼓的圆周上装有直径25毫米、长800毫米的钢棍，棍间缝隙为25毫米，鼓由马达带动，装入>25毫米焦炭试样410公斤，以每分钟10转速度转动15分钟。旋转过程中，因磨擦、撞击使部分焦炭磨损或碎裂，<25毫米的由棍间缝隙从鼓内落下，以鼓内残留量的公斤数表示焦炭的抗碎指标，以鼓外<10毫米的公斤数表示耐磨指标。大高炉用冶金焦要求鼓内为320公斤左右，鼓外<10毫米的<40公斤，中小型高炉鼓内值可适当降低些。

大转鼓试验焦炭试样用量多，有时不足以表明焦炭的抗碎性变化，且设备庞大，故近年来不少焦化厂已采用小转鼓试验。小转鼓是直径和宽度均为1000毫米的密闭转鼓，鼓内焊接四根100×50×10毫米规格的角钢，互成90°，角钢100毫米的一侧指向圆心，鼓内无通心轴。取经圆孔筛筛分后大于60毫米的焦炭50公斤，装入鼓内以每分钟25转速度转动4分钟，然后取出焦炭于孔径40毫米和10毫米的圆孔筛上过筛，以>40毫米和<10毫米的重量各占试样总重量的百分数为指标，前者以  $M_{40}$  表示抗碎指标，后者以  $M_{10}$  表示耐磨指标。小转鼓要做两次平行试验，以误差  $M_{40} < 3\%$ ， $M_{10} < 1\%$  为准。焦炭在小转鼓内因角钢阻挡及转速提高，故受冲击力大，能较好反映焦炭的抗碎性。

我国某些焦化厂大、小转鼓对比数值如表1—1。

焦炭的物理机械性质还可用落下试验强度表示。此外，为评定焦炭的反应能力还可测定焦炭

大、小转鼓指标对比值

表1-1

厂 别	高炉类型,米 <sup>3</sup>	小转鼓指标, %		大转鼓指标, 公斤		测定时期,年、月
		M <sub>10</sub>	M <sub>25</sub>	鼓内>25毫米	鼓外<10毫米	
本 钢 一 焦	中 型	75.7	8.0	322	38	64~66
本 钢 二 焦	大 型	75.9	7.5	331	35	65~66
鞍 钢 二 炼 焦	大 型	70.5	9.2	328	39	63.11
鞍 钢 三 炼 焦	大 型	77.7	8.6	329	42	63.11
鞍 钢 四 炼 焦	大 型	75.0	8.8	326	46	63.11
鞍 钢 五 炼 焦	大 型	75.1	9.8	322	49	63.9~10
直 钢 焦 化 厂	中 型	79.9	7.6	325	36	65.6~12
首 钢 焦 化 厂	大 型	78.6	8.2	323	37	67

的真、假比重, 气孔率, 燃烧性和反应性等, 因焦化厂不常采用, 均不作介绍。

## 四、焦炭的质量指标

我国各类工业用焦的质量指标已由冶金部、一机部等颁定, 见表1-2、1-3、1-4。

高炉用冶金焦技术条件(YB287-64)

表1-2

焦炭种类	牌 号	灰份(A%), %	硫份(S%), %			机械强度, 公斤				挥发份(V <sub>w</sub> ), %	水份(W <sub>w</sub> ), %	焦*末含量, %
			I 类	II 类	III 类	一 级		二 级				
						鼓内>25	鼓外<10	鼓内>25	鼓外<10			
>40, 毫米	I	<12.0										
	II	12.1~13.5	<0.6	0.7~0.8	0.9~1.0	>325	<40	310~324	41~50	<1.2	3~5	<4
	III	13.6~15.0										
>25, 毫米	I	<12.0										
	II	12.1~13.5	<0.6	0.7~0.8	0.9~1.0	>310	<40	295~309	41~50	<1.2	3~7	<5
	III	13.6~15.0										
25~40, 毫米	I	<12.0										
	II	12.1~13.5	<0.6	0.7~0.8	0.9~1.0	—	—	—	—	—	<12	<12
	III	13.6~15.0										

\* 焦末含量指25毫米以下含量部分, 以湿基计算。

氮肥工业用焦炭指标 表1-3

项 目	指 标
块 度, 毫米	>25
转鼓指标, 公斤	>270
灰 份, %	<15
原料耗量, 吨/吨氨	1.4~1.6

铸造用焦炭分级质量指标(JB/Z71-64) 表1-4

指 标 名 称	焦 炭 级 别			
	ZJ-1	ZJ-2	ZJ-3	
1. 水份, %	不大于	4.0	4.0	4.0
2. 灰份, %	平均值	8	10	14
	极限值	10	12	16
3. 硫份, %	平均值	0.45	0.8	1.0
	极限值	0.6	1.0	1.2
4. 挥发份, %	不大于	1.5	1.5	1.5
	平均值	310	310	310
5. 机械强度(鼓内), 公斤	平均值	310	310	310
	极限值	280	280	280
6. 焦粉含量<50毫米, %	极限值	4	4	4
7. 焦炭气孔率, %	不大于	35	42	45

注: 上述三级焦炭按块度分成下列三类: >50, >80, >120毫米。

小转鼓强度指标 表1-5

级 别	M <sub>10</sub> , %	M <sub>25</sub> , %
1	>76	<8
2	75.9~72	<9
3	71.9~67	<10

小转鼓还没有列为部颁标准，各厂指标尚不统一，有待进一步实践，据小转鼓试验座谈会推荐如下标准（表1—5）。

## 第二章 煤的组成、性质与分类

煤是由古代死亡植物在缺氧和厌氧细菌作用下的生物化学作用（也叫泥炭化作用）和在埋藏封闭条件下由温度、压力的地质化学作用（也叫变质作用）逐步演变过来的。因此煤的组成、性质与成煤植物、泥炭化作用条件和变质作用深浅有密切关系。根据成煤植物不同，有高等植物演变来的腐植煤和低等植物演变来的腐泥煤之分；根据泥炭化作用条件的不同会形成各种类型的岩相组成；根据变质作用的深浅，腐植煤又有泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤之分。烟煤由于工业上应用广泛又有长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤之分。

### 一、煤的有机组成和无机组成

自然界中各种煤，尽管其成煤植物和变质作用不同，终究主要是由碳、氢、氧三个主要元素构成的有机化合物，此外煤中还含有水份、矿物质等无机组成，这些组成与成煤过程有关。

1. 碳：是煤中有机质的主要成分，一公斤纯炭完全燃烧放热8100仟卡，煤的含碳量随变质程度加深而有规律地增加，故含碳量的多少可以代表煤的变质程度。

2. 氢：也是构成煤有机质的主要元素，燃烧热很高，一公斤氢完全燃烧放热34188仟卡，煤的含氢量随变质程度加深而减少。

3. 氧：氧在燃烧过程中并不放出热量，含氧多的煤热值较低。由于煤在变质过程中不断脱出二氧化碳和水，故煤中含氧随变质程度加深而迅速降低，从泥炭到无烟煤，氧含量由30~40%逐渐降到5%左右。

4. 氮：是构成有机物的次要元素，煤中含氮较少，约1~3%且变化不大。氮在燃烧时常以游离状态分解出来，炼焦时因高温作用氮转化为氨和其它含氮化合物。

5. 水份：煤中水份有内在水份和外在水份之别，内在水份系煤风干后，加热至102~105°C时逸出的水份，是依靠吸附力保持在煤粒内部气孔的水份，它与煤质、变质程度有关，随变质程度加深水份减少。外在水份系煤开采、运输、洗选过程中以浸润作用保持在煤粒表面和煤粒之间的水滴，风干时即可除掉。两者之和即总水份（ $W_0$ ）水份使煤在贮运过程中易使煤碎裂、加速氧化、增加运输费用，燃烧过程中水份气化吸热而降低发热量，筛分、粉碎时使操作恶化、堵塞设备，炼焦时增加耗热量和焦化厂的污水处理量，因此通常要求保持水份在较低值。

6. 矿物质：煤中矿物质组成十分复杂，含量变化也很大，主要由铁、铝、钙、镁等以碳酸盐、硅酸盐、硫酸盐及硫化物等型式存在，煤的矿物质含量和成分与成煤过程有关，通常由以下三部分组成：

（1）母体矿物质：指含于植物体内的矿物质，它是植物生长过程中从土壤吸收的，多数为碱性氧化物，含量很低，约1~2%，这种矿物质无法除掉。

（2）内在矿物质：是泥炭化作用阶段混入的，譬如死亡植物堆积后由风或水流带进的细粘土、砂粒（氧化铝、二氧化硅）和硫化铁等，这些矿物质以原来的形态存在于煤中，如果这些矿物质的颗粒较大，在煤中分布又不均匀，比重与煤差别也大，则通过将煤粉碎再洗选，可以除去一部分，若属细分散的矿物质，则就很难除去。

（3）外在矿物质：是开采过程中混入的，如顶板（煤的上部岩层）、底板（煤的下部岩层）或煤夹层中的矸石，其数量因开采条件而异，这部分矿物质的主要成分是二氧化硅、氧化

铝、碳酸钙、硫酸钙、黄铁矿等，它们比重较大，用洗选方法大部分可以除掉。

煤在燃烧过程中，矿物质发生一系列变化，如碳酸盐放出二氧化碳、黄铁矿生成二氧化硫和氧化铁、硫酸盐失去结晶水或发生分解等，燃烧后的残留物叫灰份，因此灰份与矿物质略有不同，但有密切关系，煤的灰份在数量上稍低于矿物质含量，一般灰份含量可以反映出矿物质的大致含量，因此有时把矿物质笼统的叫做灰份。对工业用煤讲，灰份是有害的东西，在炼焦过程中灰份全部转入焦炭，不但降低焦炭强度，也降低焦炭的固定碳含量。灰份高的煤发热量都比较低，因此灰份是鉴定煤质的一个重要指标。

7. 硫：煤中硫以两种形式存在，在有机质中存在的称有机硫，在矿物质中存在的称无机硫，两者之和称全硫。全硫中可以燃烧生成二氧化硫的称可燃硫，它包括有机硫和无机硫中的硫化物。矿物质中以硫酸盐存在的硫为不可燃硫。煤中全硫大约在0.1~10%间，因不同矿区、不同煤层差别很大，煤中无机硫在洗选过程中可随矿物质除去一部分。硫是煤中有害成分，在煤储存过程中，因黄铁矿氧化放热而加速了煤的氧化变质；在炼焦时产生的硫化物气体对设备腐蚀很厉害，残留在焦炭中的硫则使焦炭质量变坏。

8. 磷：存在于矿物质中，一般含量很低，最高不超过1%，但它的危害却很大，炼焦时全部转入焦炭，炼铁时又转入生铁使其变脆。炼焦用煤要求含磷低于0.03%。我国各矿区的煤大多含磷较低，能满足炼焦要求。

## 二、煤的工业分析

煤中上述组成可用元素分析和工业分析等方法测定，一般元素分析测定的项目有碳、氢、氮、氧、硫、磷，但生产中更为广泛采用的是工业分析，测量方法简单，用以评定煤的质量好坏和衡量煤的变质程度，工业分析项目有水份(W)，灰份(A)，挥发份(V)，全硫(S)以及由计算得出的固定碳(C)。

1. 水份：通常用水份占煤的重量百分数表示，工业分析中有应用水份(W')和分析水份(W'')两种。应用水份是指采出的或工业使用的煤的全部水份，包括内在水份和外在水份。分析水份指在实验室条件下风干煤所含水份，基本上是煤的内在水份。

分析方法是取一定量煤样，在102~105°C下干燥达恒重，即水份全体逸出，这时煤样的失重即煤的水份。水份一般以湿煤(含水的煤)为基准，叫湿基，即煤中水份占湿煤重量百分数。应用水份(W')是工业用煤考察含水的指标，分析水份(W'')是分析煤的变质程度和风化程度的参考指标。

2. 灰份：煤完全燃烧后得到的固体残渣——灰占煤的重量百分数表示煤的灰份含量，一般以干煤为基准。灰份是将定量的煤样，一般在815±10°C的马弗炉内完全燃烧，测定剩下的固体残渣重量占干煤的重量百分数，即煤的干基灰份(A<sup>\*</sup>)。它与湿基灰份(A')关系如下：

$$A^* = A' \frac{100}{100 - W'} \% \quad (2-1)$$

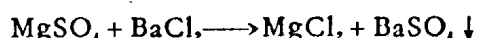
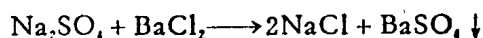
3. 挥发份：在隔绝空气的条件下，将定量煤样在规定温度(900±10°C)下加热一定时间(7分钟)，便有一部分物质以气态形式逸出(即挥发)，最后剩余部分包括灰份及固定碳，把煤样失重减去水份的重量即为挥发物重量，挥发物占煤的重量百分数表示煤的挥发份含量，可采用干煤为基准的干基挥发份(V<sup>\*</sup>)或煤中可燃物为基准的可燃基挥发份(V')。为了比较通常均以可燃基作标准。两者的关系如干式：

$$V' = V^* \frac{100}{100 - A^*} \% \quad (2-2)$$

挥发份是煤的重要指标，与变质程度有关，随着变质程度加深，挥发份有规律地减少。

测定挥发份时，得到的固体残留物即含灰份的焦块，因实验在坩埚内进行，故称坩埚焦，不同类型的煤所得坩埚焦形状和大小也不同，可用它定性分析煤的粘结性和膨胀性，较硬的焦块粘结性较好，粉末的焦渣粘结性较差，焦块体积比煤样大的膨胀性大，反之则小。

4. 全硫：测定全硫的方法很多，焦化厂主要采用标准法（重量法）和快速法（燃烧法）两种，日常检验以快速法为主，标准法仅作校正用。快速法是将定量煤样在1200°C下于氧气流中燃烧，其中硫全部氧化为二氧化硫，并用过氧化氢（ $H_2O_2$ ）吸收生成硫酸，再以碱液滴定来确定煤中全硫。标准法是把煤样与一份碳酸钠、二份氧化镁的混合剂混在一起，在850°C时灼烧，使煤中硫全部变成可溶于水的化合物，主要是亚硫酸盐，这些盐类（ $Na_2SO_3$ ， $MgSO_3$ ）在空气中氧化成硫酸盐，然后用水洗涤使溶于洗液，再以氯化钡使硫酸离子变成硫酸钡沉淀：



用重量法测定所得硫酸钡并计算得全硫（ $S_g$ ）。

煤中全硫通常以干煤为基准。

工业分析中所取基准不同，所得数据也不同，必须注意，它们的关系按式（2—1）、（2—2）换算。

### 三、煤的粘结性和结焦性

将粉碎的煤在隔绝空气下逐渐加热到较高温度，在此过程中由于有机物的分解（约在300~500°C间），析出一部分气体并形成粘稠状胶质体，进一步升高温度（500°C以上），粘稠状胶质体继续分解，一部分分解为气体，其余部分逐渐固化，将碳粒结合在一起成为焦块，煤的这种性质叫粘结性。

粉碎的单种煤或配合煤在炼焦过程中能炼得冶金焦的性质叫结焦性，它与粘结性有密切关系，但又有不同，因粘结性好的煤可能形成的焦块裂纹较多，则其结焦性不一定好，而结焦性好的煤必须有较好的粘结性。

煤的粘结性和结焦性与其变质程度和岩相组成有关，测定的方法很多，我国现行的方法中，一般以坩埚焦特性大致鉴定煤的粘结性，用胶质层测定法测定煤的结焦性。

以下主要介绍胶质层测定法（萨保什尼科夫测定法），这种方法是仿照炼焦过程，在实验室内采用胶质层测定仪（图2—1）测定各种单独的烟煤或配煤的结焦性，其主要指标为：

（1）胶质层厚度  $y$ ，以毫米表示；

（2）最终收缩量  $x$ ，以毫米表示；同时得到结焦过程的体积变化曲线和焦块。

胶质层测定仪的核心设备是一个带有可拆卸底的圆型钢杯1，底上有很多小孔，钢杯内径为60毫米（距杯底50毫米处内径为59毫米），杯内按有一支薄壁铁管6，固定在杯底的凹处及杯上的压盖3之间，用来按插热电偶测温。煤料就装在杯内，上面放置石棉板，石棉板上再放上压塞2，压塞上有很多小孔（内径1毫米），压塞和杯底小孔均用作排出煤干馏过程中产生的挥发物，压盖和压塞上还设有测定胶质层厚度的探针5插入孔。钢杯置于耐火砖制成的加热炉4内，煤料装好后，将压塞与杠杆7和重铈8相连接，杠杆上重铈的作用应保证杯内料层上的压力为1公斤/厘米<sup>2</sup>，杠杆的末端设有记录笔11，它可以将试验过程中煤料高度随加热温度的变化，自动记录在特制的转筒10的毫米方格纸上，转筒的转速为每分钟转动1毫米的距离，实验过程煤料用砂炭棒9由杯底加热，加热速度用变压器调节。



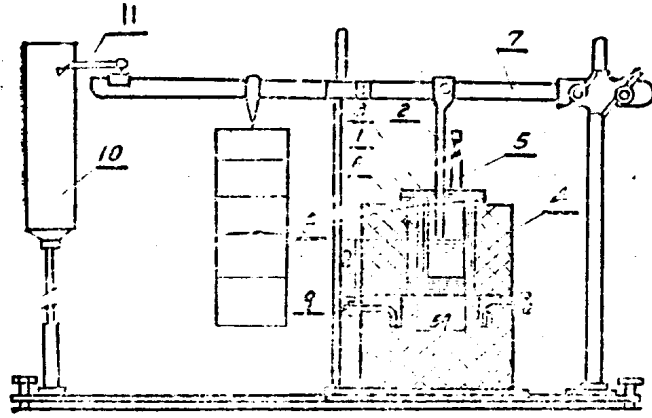


图 2—1 胶质层测定仪

1—钢杯；2—压塞；3—压盖；4—加热炉；5—探针；6—热电偶铁管；7—杠杆；8—重砣；9—砂炭棒；10—记录转筒；11—记录笔。

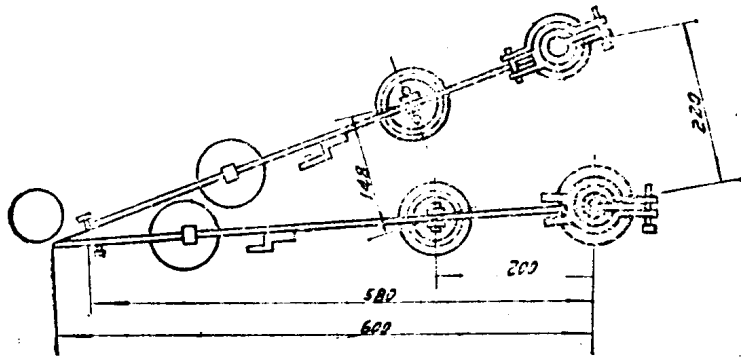


图 2—2 体积曲线和胶质层上部及下部层面曲线

实验过程大致如下：将颗粒小于1.5毫米的煤样100克 ( $W' < 5\%$ )分四次装入钢杯中，仪器安好后，在30分钟内将煤料加热至 $250^{\circ}\text{C}$ ，此时开始记录。以后升温速度为 $30^{\circ}\text{C}/10$ 分钟，从 $350^{\circ}\text{C}$ 起开始用探针测定胶质层厚度，升温到 $650^{\circ}\text{C}$ 为止。为了测量胶质层厚度，须将探针通过压盖和压塞上的孔放入事前安好的纸管内，当探针接触到胶质层上部平面时读出探针上的刻度，再将探针穿过整个胶质层直至接触到硬的半焦，再行读数，两者之差为胶质层厚度，测量胶质层上下层面的时间间隔应以不破坏体积曲线的形状为原则，实验结束时，从自动记录器取下毫米方格纸，取其横坐标为时间和温度，纵坐标为距离（毫米），体积曲线由转筒上直接绘制出，胶质层厚度通过胶质层上部及下部层面曲线间的垂直距离得到，见图 2—2。

胶质层上下层面曲线系实验后按测量数据绘制，即上下层面各点分别以平滑曲线连接而得，并引伸至与横坐标相交，若上部层面成“之”形，则在各点间画中线作为上层曲线。

胶质层厚度取最大值，最终收缩量以体积曲线最后下降点决定，即曲线的最初高度与最后高度之差。不同变质程度的煤，其胶质层厚度，最终收缩量均不同，体积曲线大致类型如

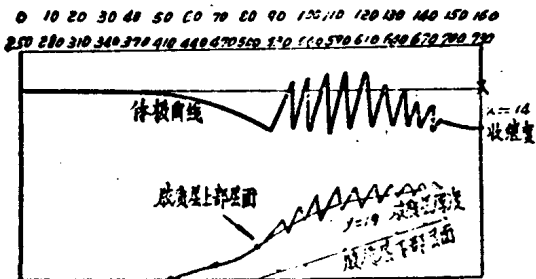


图 2—2 体积曲线和胶质层上部及下部层面曲线