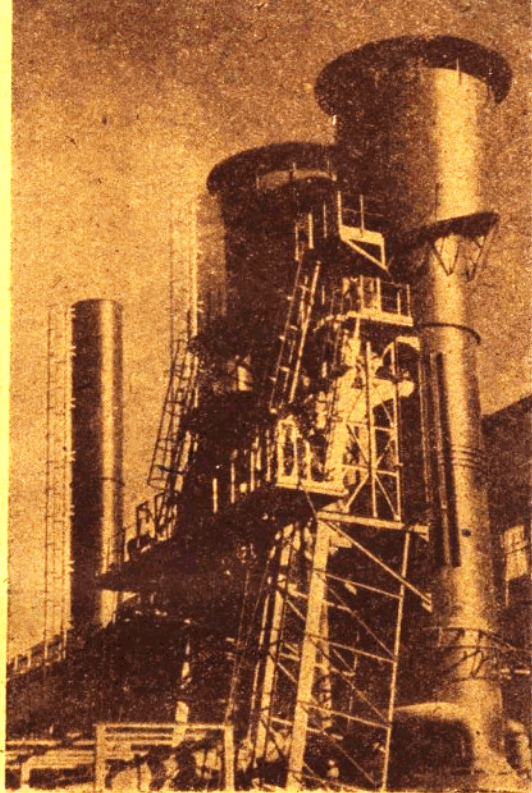


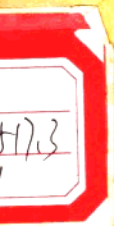
鋼鐵工業叢書



加熱爐固體燃料操作基本知識

張伯侯編

科技衛生出版社



內 容 提 要

在我国目前情况下，加热炉采用固体燃料——煤比較普遍，因此加热炉工人了解一些有关固体燃料操作方面的基本知識，对加热炉发挥更高的效率，将会起一定的作用。本書就是根据上鋼三厂的培訓講义，加以整理而成的。

本書对加热炉固体燃料操作基本知識，作了比較全面的介紹，特点是結合实际，文字比較通俗，是一本加热炉工人的实用讀物。

加热炉固体燃料操作基本知識

張 伯 侯 編

科 技 卫 生 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所总經售

开本 787×1092 1/32 印張 7/8 字數 19,000

1958年12月第1版 1958年12月第1次印刷

印數 1—15,000

統一書号：T 15119·1108

定价：(七) 0.09 元

目 录

第一章 对燃料的一般認識.....	1
燃料簡介	1
燃料分类	1
燃料組成	2
煤的性质	3
煤中四种成分对燃燒的作用	5
煤的分类	7
第二章 固体燃料燃燒 原 理	10
固体燃料燃燒过程	10
煤在煤层中燃燒的原理	11
第三章 操作上調整的基本原理和实驗 数 据	19
煤量	19
空气量	23
煤层厚度	23
加煤間隔時間	25
廢气量的排除	25
上下热量的分配比	26
清理煤渣	28

第一章 对燃料的一般認識

燃 料 簡 介

我們要掌握燃料的燃燒，必須对燃燒的原料的性能和特点，作一明确的了解。这里我們首先要了解什么叫做燃料。

某种物質，例如煤、木柴、油、焦炭、煤气、紙等。它們能在空气中或者在氧气中燃燒，放出大量的热量。这些可燃物質，我們就叫它做“燃料”。

不論在工业、农业或者家庭生活上，我們都离不掉燃料，既然燃料在人类日常生活中占着这样重要的地位，所以我們对燃料的資源充分、合理使用，是一个非常重要的問題。要使燃料合理的使用，必須对采用何种燃料进行詳細的选擇和比較。当我們新建一座工厂的时候，首先要根据使用的目的来考虑燃料的各种条件：(1)燃料在供应量方面是否有困难；(2)燃料的質量如何；(3)运输有沒有問題；(4)燃料的价格如何。然后再决定使用那一种燃料比較合适。

燃 料 分 类

按照物理形态，燃料可以划分为固体燃料、气体燃料、液体燃料三种。这三种燃料又可以分为天然出产和人工煉制两大类。現分类列表如一

表 1

燃 料 分 类

燃料的种类	天 然 的	人 工 炼 制 的
固体燃料	煤、木柴	焦炭、木炭、粉煤、煤饼(也称煤球)
液体燃料	石 油	原油、焦油、胶质燃料
气体燃料	天 然 气	发生炉煤气、水煤气、高炉煤气、炼焦炉煤气、乙炔气、混合煤气、城市煤气

燃 料 組 成

一、固体燃料是由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)和水分(W)、灰分(A)组成的。所有这些成分互相结合，形成了一个组织体。固体燃料的成分，通常用重量的百分率来表示，例如在100公斤煤中有60公斤是碳(C)，有5公斤是氢(H)，那么碳的含量是60%，氢的含量是5%，其它成分依次类推。

二、液体燃料和固体燃料一样，也是由碳、氢、氧、氮、硫等元素组成的，只是在物理性质上(一个是固体，一个是液体)和化学成分的数量上有些差别(就是各种元素的含量多少)。液体燃料的组成也是用重量百分率来表示的。

三、气体燃料的组成，是由若干种单体所组成的混合物，在气体燃料中含有一氧化碳(CO)、氢(H₂)、甲烷(CH₄)、氧(O₂)、氮(N₂)、二氧化碳(CO₂)和少量的重碳氢化合物。气体燃料的组成是用容积百分率来表示的(就是体积)，例如在100立方公尺的煤气中，有60立方公尺是一氧化碳，10立方公尺的甲烷，那么一氧化碳的含量是60%，甲烷的含量是10%，气体的单位是用立方公尺(符号是M³)来表示的。

以上是把燃料的分类作了一般性的介绍，下面我们就来事

題討論一下固体燃料“煤”。

煤 的 性 質

在了解煤的性質之前，必須先了解一下煤是怎样形成的。古时候的情况和現在的完全不同，那时候陆地上到处是大森林，树木非常高大，这些树木，不断生長，不断死亡，堆积在一起，時間一長就堆积成很厚的树木层。过了許多年，树木层上面复盖了一层流水带来的泥沙。經過无数微生物的作用，植物发生腐烂和分解，放出大量水分和气体，变成泥炭。泥炭不是眞正的煤，它保存着植物枝干的形态并含有大量的水。后来又經過地层的变迁，泥炭埋到地下，在沒有空气供給的情况下，受到了高温、高压的作用，逐渐变成黑色如石的煤。或者树木經過地层的变动，直接埋在地下，也会变成煤。树木在地层里埋藏的时间越長，煤中的含碳量就越多，煤的顏色就越黑。

煤的性質可以从物理和化学等方面来介紹：

一、煤的物理性質可以分为煤色、光泽、断面、比重、膨胀性、結焦性和发热量等項目。

(1) 煤色——各种不同的煤有不同的煤色，普通碳化程度較低，含碳量較少的煤是褐色的。隨着碳化程度增加，煤色逐渐变黑。但是不完全这样，无烟煤的碳化程度最高，反而是灰色的，所以单根据煤色不一定能判断出煤的质量，只能作一般的估計。

(2) 光泽——煤的光泽有原光与假光二种，原光是煤本身具有的光泽，含碳量极少的煤种，它的光泽接近土赭色，揮发物較多；碳化程度居中的煤，有脂肪光泽；碳化程度最高、揮

发物较少的煤种，具有金属光泽。煤在开采之后，经过运输、搬送等过程，它的表面往往被粘土等杂质附着，看不出原光，这叫做假光。所以我们在鉴别时要注意，必须把煤打碎之后再进行鉴别。

(3) 断口——由于煤种不同，煤的断口形状有的象贝壳，有的象锯齿，也有平滑的断口形状，这些都可以作为鉴定的资料。

(4) 粘结性和结焦性——将煤粉碎，在隔绝空气一定的条件下加热时，它能够粘结在一起，形成一种坚实的固体——焦炭。这种性能叫做粘结性。在工业炼焦的条件下，煤能够单独粘结或者和其它煤混在一起粘结的性质叫做结焦性。

(5) 发热量——发热量是判断煤的品质好坏及其性质的重要条件之一，所以发热量大小，在工业上是具有很大意义的。煤的发热量是随着煤的碳化程度而异，煤的碳化程度越高，发热量就越大。煤的发热量是以大卡来表示的(就是大卡/公斤)，一般烟煤的标准发热量为7000大卡/公斤。

二、煤的化学性质及其成分的测定：煤主要是由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)五种元素组成的。其中碳分是煤中的主要燃烧元素；它与氧化合反应后生成CO和CO₂，放出大量热量。煤的化学成分的测定，在工业上通常采用工业分析法，主要是分析煤中的碳分、水分、挥发物、灰分的含量，分析过程如下：

(1) 先测定煤中所含的水分，方法是把煤放在坩埚里加热，使水分蒸发掉，损失的重量，就是煤中水分的含量。

(2) 测定煤中所含的挥发物，方法是把煤在坩埚里去掉水

分之后，把坩埚的温度再升高到 900°C ，保持几分鐘（一般是 ~ 10 分鐘），这样煤中所含有的揮发物全部被干馏掉，剩余在坩埚里的黑色固体就是焦炭，这个再度損失的重量就是揮发物的含量。

(3) 測定煤中所含的碳量，方法是把在坩埚里所剩余下来的焦炭，放在空气中燃燒，到燃烬为止，剩余下来的是白色或紅棕色的灰分，这里損失的重量就是固定碳的含量。

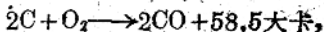
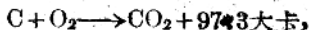
(4) 測定煤中所含的灰分，焦炭燃燒之后所剩余下来的灰分的重量，就是灰分的含量。

以上四种成分含量的測定，都是以百分率来表示的。

例如：固定碳% = $100\% - (\text{水分}\% + \text{揮发物}\% + \text{灰分}\%)$

煤中四种成分对燃燒的作用

一、碳分——煤能够燃燒的主要成分是碳分，所以煤中含碳量越多，价值就越大。碳和氧化学反应之后就生成二氧化碳 (CO_2) 和一氧化碳 (CO)，这种反应是放热反应，所以碳和氧产生化学反应之后，能够发放出大量的热量。碳和氧的化学反应方程式如下：



二、揮发物——含揮发物較多的煤，儲存时要特別注意防止自燃，以免引起火灾。因为揮发物中含有硫，很容易自燃，所以在儲存时應該注意堆煤的温度，一般不准超过 $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。为了防止自燃，一般堆煤高度不能超过 1.5 公尺，而且要在煤

堆中間放上通空氣孔，來降低煤堆中間的溫度。煤中揮發物的含量也是煤的主要燃燒成分。揮發物是由 CH_4 、 H_2 、 O_2 、 S 以及重碳氫化合物所組成的。總稱揮發物。它們在燃燒時都能放出大量熱量，揮發物含量越多的煤，它在燃燒時火燄就越長，煤的燃燒速度也快。所以採用揮發物含量較多的煤作燃料時，燃燒室要進行改進，使揮發物能夠充分地、完全地燃燒。

三、灰分——煤中的灰分是煤中的廢物，所以要求含量越少越好，但在一定的範圍內是有好處的。一般在加熱爐或鍋爐上所使用的灰分要求保留在 5% 的含量左右。因為這樣可以保養爐篦（屬稱爐排或爐柵）的使用壽命。含量過多了會影響燃燒的正常進行。另外對操作的勞動強度也帶來了許多問題。所以在採用灰分含量較多的煤作燃料時，必須要採用自動出灰的設備，來保證燃燒的正常進行和改善操作的勞動強度。

灰分由於其成分的組成不同，它的熔點也不同，一般煤中的灰分組成是三氧化二鋁、 (Al_2O_3) 、二氧化矽 (SiO_2) 、三氧化二鐵 (Fe_2O_3) 和氧化鈣 (CaO) 等組成的，在灰分中所含的 Al_2O_3 和 SiO_2 的含量越多，灰分的熔點就越高，而 Fe_2O_3 和 CaO 的含量越多，熔點就越低。灰分的熔點在 1200°C 以上稱硬性，在 1000°C 以下稱軟性。軟性的灰分在爐篦上溫度一高就會熔化，而粘結成大塊的熔渣，阻礙燃燒的正常進行。所以遇到軟性的灰分時，必須要採取降低煤层溫度的措施，使灰分不致產生熔化現象，從而使燃燒正常地進行燃燒。

四、水分——煤中的水分可以分為二種，一種是結合水（就是結晶水），它是和煤混合在一起的，隨着煤種不同，含水量也不同。另一種是隨着儲存條件和運輸等條件而影響其含水量的。

煤中的含水量虽然在燃燒蒸发过程中需要損失一定的热量，但是一定的含水量，大約在5~7%左右，对燃料的燃燒是有好处的。不但可以挽回更多的热量，而且可以帮助燃料正常进行燃燒。加水之后所起的作用概括如下：

(1) 可以使細碎的粉煤与块煤或互相之間粘結在一起，减低炉膛內焦末的損失(屬称飞焦)。

(2) 由于延長了进入炉膛初期干燥的时间，可以延緩揮发物的急剧蒸发(或称干餾)，揮发物含量多的煤特別需要，这样可以防止蒸发阶段空气量不足的现象，并且能使燃燒稳定。

(3) 水蒸气是属于三原子气体，三原子以上的气体叫多原子气体，多原子气体的輻射能量最大，所以对增强炉气的輻射能量能起一定的作用。

(4) 可以疏松煤层，通风暢通。因为水分蒸发后即留出一一定的空隙，使炉篦下面的空气容易透入煤层各个部分，因而能使燃燒良好地进行，这个效果对使用粉煤或煤屑的炉子來說，尤为显著。

(5) 灰分熔点低的煤，加了水之后，可以降低煤层的温度，防止結渣现象。

煤 的 分 类

由于煤在地层里所受到的碳化程度不同，使煤中的含碳量也有高低，根据碳化程度的不同，一般把煤划分为四类：(1)泥煤；(2)褐煤；(3)烟煤；(4)无烟煤。碳化程度是由泥煤起，依次逐漸增高，到无烟煤最高。

(1) 泥煤——碳化程度最低，含水量达80~90%，潮湿的

煤层更高。当然，含这么多水分是不能作燃料的，所以开采之后，需要放在露天进行自然干燥，干燥时间大约需要45~75天。泥煤不采用人工干燥，因为这样做要消费许多燃料。泥煤的发热量大约在2000~3000大卡/公斤，使用价值较小，但也有它的优点：1) 干燥之后容易着火，而且燃烧稳定；2) 分布面普遍，并且容易开采；3) 比木柴发热量大。

(2) 褐煤——从碳化程度来看，褐煤比泥煤是进了一步，它与泥煤不同的地方是颜色较深黑，密度较大。褐煤的成分如下：

表 2

褐 煤 成 分

碳	氢	氧加氮	水 分	灰 分	发 热 量
57~75%	5~6%	21~30%	20~50%	10~30%	3500~5500大卡/公斤

(3) 烟煤——是经过充分碳化的，所以含碳量较高，氢和氧的含量即减少。在现代工业中应用最广的要算是烟煤。根据烟煤燃烧时火簇的长短，以及碳、氢、氧等含量为基础，可以将烟煤划分成以下四类。

第一种叫长焰瘦煤(长焰煤)。含碳量在75~80%，含氧在15%左右，燃烧时火簇长，经过干馏后，可以得到30%煤气，剩下的少量焦炭，可供制造煤气用。

第二种叫做长焰肥煤(属于瓦斯煤或煤气煤)。含碳在80~85%，含氧10~14%，燃烧时火簇长而发光，最适宜于制造煤气。

第三种是真正肥煤，火簇较前二种为短。含碳量在84~89%，干燥时挥发物较少，剩留焦炭比较多，可供锅炉等应用，

也可以煉焦。

第四種是短焰肥煤，又叫煉焦煤。含碳量在90%左右，火焰很短，最宜于煉焦。

(4) 无烟煤——是一種碳化程度最高的煤，它的含碳量在92~97%，黑色，或者稍帶黑色，有金屬光澤，燃點較高，不容易氧化，燃燒時火焰極短，結焦性極小，適合于家庭使用，也可以代替冶金焦炭。

第二章 固体燃料燃烧原理

固体燃料燃烧过程

要使固体燃料（煤）燃烧，首先要有二个条件：第一、使燃料的温度达到它的燃点（即发火点），第二、要有适当的氧气。这二个条件是不能少一条的，单有空气而温度没有达到燃料的燃点，那么燃料是不会燃烧的。然而单是温度达到燃料的燃点，如果没有空气，那么燃料仍然不会燃烧，只能蒸发。所以使燃料燃烧，必须要达到燃料的燃点和有适量的空气，为了使燃料更好地燃烧，还必须要有合适的燃烧室。

固体燃料进入加热炉燃烧室之后，它的燃烧过程可以分为三个阶段，第一是水分的蒸发，第二是挥发物的蒸发和燃烧，第三是焦炭的燃烧。最后剩下的是灰分。以上三个阶段的情况是这样的：煤进入燃烧室后，就受到炉温及煤层温度的影响，温度逐步升高。煤的温度达到 100°C 时，所含的水分就被蒸发出来；再继续升高到 370°C 时，所含的挥发物开始蒸发，并且蒸发出来的挥发物立即燃烧，温度再继续升高，焦炭就开始燃烧，燃烧完之后，剩余下来的就是煤中所含的灰分。所以煤的燃烧过程就是煤的温度逐步升高所产生的三个阶段。

煤在煤层中燃燒的原理

一、煤在煤层中燃燒，煤层自然地产生了四种变化，这四种变化都各是固定在一定区域里进行的。这四个区域根据其不同的作用分别称为“灰层”、“氧化层”、“还原层”、“干馏层”（图1）。

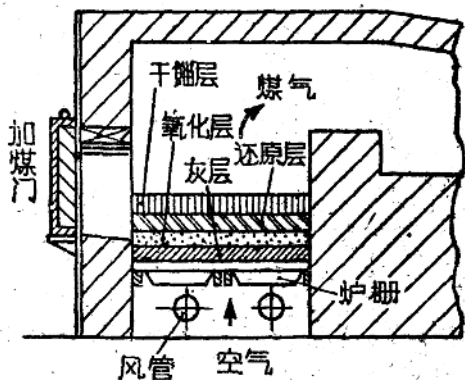


图1 煤层燃燒图

各层对燃燒所起作用如下：

(1) 灰层——在煤层的最下层。这一层在燃燒过程中不发生化学反应，只起物理作用。因为这一层内是没有可燃物质，它仅仅是将炉篦下面送入的空气加以預热，使空气的温度提高，从而帮助提高燃燒速度，而灰层本身被进来的空气进行冷却。因此灰层起的是热交换作用。

(2) 氧化层——在灰层上面。这一层为赤热的碳层，是煤层中温度最高的地方。在这一层中的赤热碳和热空气只要一接

触，马上就产生化学反应(就是燃烧)，碳与氧反应后生成二氧化碳，同时放出大量热量，总括的说这一层起的是燃烧作用。

化学反应方程式 $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 97.3 \text{ 大卡}$

(3) 还原层——在氧化层上面。这一层有大量的赤热碳。在氧化层中所产生的二氧化碳上升到还原层时，二氧化碳和赤热的碳产生化学反应，生成一氧化碳。因为碳是强烈的还原剂，它要夺取二氧化碳中的氧。总括的说，该层起的是还原作用。

化学反应方程式 $C + CO_2 \rightarrow 2CO - 38.8 \text{ 大卡}$

(4) 干馏层——在煤层的最上层。这一层只是煤受到温度后，被蒸发出挥发物来。总的说来，这一层起的是干馏作用。

现把以上四层的作用与反应情况列表如下：

表 3 煤 层 简 表

层 次	作 用	反应方程式
干馏层	煤被干馏成焦炭，放出挥发物	
还原层	CO_2 被赤热C还原成CO	$CO_2 + C \rightarrow 2CO$
氧化层	燃烧放热生成 CO_2	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
灰 层	灰分被进来的空气冷却而空气被灰分预热	

以上各层的划分，在整个煤层中是没有明显界限的。因为这一层到那一层是逐渐转变的。但是为了便于研究问题，以后所讲的各煤层的划分线，是作为明确的界限线来看待的。这条线我们称它为“理想线”，或者“假想线”。我们已经了解：煤层中有二层是起化学作用的，另外二层是起物理作用的。我们研究燃料燃烧(主要对煤层而言)，主要就是研究化学作用，所以对灰层、干馏层可以不研究，但是必须指出：干馏层对整个燃烧

过程來說，仍然是燃燒中的重要問題。在煤层非常薄的条件下，干馏层基本上併入还原层，只有在煤层非常厚的条件下（如煤气炉）才是独立存在的。

二、还原层与氧化层之間的关系：还原层和氧化层发生的作用，都属于化学反应。氧化层中的赤热碳，从炉篦下能够得到足够的氧气，二者反应之后就生成二氧化碳。在还原层中的赤热炭，由于得不到氧气，只能从氧化层中产生的二氧化碳中还原掉一部分或全部，反应后生成一氧化碳。如果我们单从表面来观察，由于氧气量不足，还原层得不到氧，只能从氧化层的二氧化碳中去吸收一部分氧，那么要使还原层也能得到足够的氧气，只要增加进入燃燒室的空气量，不就是可以达到目的了吗？其实实践和理論并不是这样简单的，因为碳和氧的化学反应速度要比氧气穿过碳表面的速度快。由于这个原因，所以增加空气量并不能解决还原层中缺少氧气的問題，而只是空气量增加以后，使燃燒速度加快，所以还原层和氧化层二者之間的关系是正常、連續的燃燒条件下，不可能改变燃燒关系的。虽然氧化层和还原层之間的性質是不能改变，但是化学反应量是隨着各种不同的热工制度（就是操作制度）在很大範圍內变动的。

三、如何正确認識煤层的厚薄：煤层分真煤层和假煤层。我們习惯上叫的煤层厚度多是假煤层，因为它是包括灰层在內的。我們已經知道灰层是不参予燃燒的，而且由于出灰等，还会影响煤层的厚度，所以真正的煤层是不包括灰层在內的。我們要研究煤层的厚薄，必須从真煤层着手，不然会使我們迷失方向，产生錯觉的。例如甲厂說他厂的煤层厚度是150公厘，其

中包括50公厘厚的灰层，而乙厂說他厂的煤层厚度是300公厘，其中包括200公厘厚的灰层。这样表面上看起来乙厂是燒的厚煤层，实际上二个厂的煤层是同样厚的。

四、厚煤层和薄煤层对燃燒的关系：我們所說的厚煤层和薄煤层，主要是指还原层的厚度。因为氧化层在一定的风压和一定的温度条件下，是具有一定厚度的，虽然煤层的温度并不是不变的，但是变动的范围很小，我們为了便于研究起見，当它是固定不变的，鼓风机的风压在通常情况下也是不变的，所以煤层的厚薄，主要是还原层的厚薄。还原层是專門使氧化层中产生的 CO_2 还原变成 CO 。但并不是說所有的 CO_2 到了还原层以后，都会全部还原成 CO 。 CO_2 还原成 CO 的数量多少，是由还原层的厚度来决定的，还原层的厚薄决定了 CO_2 在还原层里經過的时间長短，因而影响了 CO_2 的还原量（在一定的燃燒速度条件下）。例如氧化层中产生的 CO_2 ，以每秒40公厘的速度上升时，而还原层的厚度是200公厘，这样， CO_2 經過还原层的时间是 $\frac{200}{40}=5$ 秒。假定50%的 CO_2 被还原掉，生成 CO 。这时候如果把还原层的厚度由200公厘增加到400公厘，因为燃燒速度沒有变，所以产生的 CO_2 量和速度都沒有变，这样， CO_2 經過还原层的时间是 $\frac{400}{40}=10$ 秒，比200公厘增加了一倍时间。由于 CO_2 在还原层中停留的时间增加了一倍，因此 CO_2 被还原掉的量也相应地增加了一倍，达到100%。通过以上的例子，充分地反映出了还原层的厚薄直接影响到炉气的成分，所以我們要控制炉气成分，必須控制还原层的厚度。

五、空气量与煤量配合問題：煤的燃燒必須要有空气，但