



钢铁厂技术培训参考丛书

烧 结

冶金工业出版社

TD927.4

4
3

TD927.4

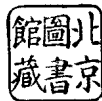
4
3

钢铁厂技术培训参考丛书

烧 结

邓守强 译

6X161-3



冶金工业出版社

A677753

内 容 提 要

本书是《钢铁厂技术培训参考丛书》之一,属专业部分。

本书以烧结矿生产工艺为中心,分三章较深入地讲述了烧结法的基础理论、烧结法操作和烧结矿的质量。介绍了烧结法的发展简史、烧结原理、燃烧理论、烧结矿在烧结过程中发生的理化变化和矿物组成;叙述了烧结生产用的原燃料的要求和生产管理以及对烧结矿质量的控制。书中尽量以图表形式对基础理论和生产实践加以说明。本书适于现场操作工人阅读,亦可供有关技术人员参考。

钢铁厂技术培训参考丛书

烧 结

邓守强 编

冶金工业出版社出版发行

(北京东黄城根74号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 6 1/2 字数 123 千字

1982年1月第一版 1982年1月第一次印刷

印数00,001~3,200册

统一书号: 6952·3567 定价0.62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,深入浅出地介绍了理论知识;配有大量的设备结构图,简明易懂;在工艺方面,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 烧结法的基础理论 1	(3) 烧结原料的预处理.....29
1. 烧结法的简史与发展..... 1	2. 烧结过程.....31
(1) 烧结法的简史..... 1	(1) 烧结过程概论.....31
(2) 烧结矿生产能力的变迁..... 2	(2) 矿石的配合.....31
2. 烧结法的基本化学反应..... 3	(3) 矿石的混合和造粒.....34
(1) 化学反应..... 3	(4) 装料.....36
3. 燃烧..... 3	(5) 点火和抽风烧结.....39
(1) 热..... 3	(6) 冷却和整粒筛分.....41
(2) 脱水..... 5	(7) 热平衡和需要的热量.....44
(3) 燃烧..... 6	(8) 烧结操作的自动控制.....44
4. 烧结矿的矿物组织..... 9	3. 生产管理.....47
(1) 烧结矿的矿物组织..... 9	(1) 烧结生产过程.....47
(2) 矿物组织的实例和它的性能..... 9	(2) 烧结生产率.....49
(3) 实际的矿物组织例子与性能的关系.....14	(3) 烧结层中透气性与燃料燃烧量的关系.....51
(4) 相律的应用.....15	(4) 燃料消耗.....54
5. 烧结原理.....19	(5) 提高生产量的措施.....55
(1) 烧结法概论.....19	第3章 烧结矿的质量57
(2) 烧结过程中的热变化.....19	1. 烧结矿的化学性质.....57
(3) 结合.....21	(1) 烧结矿的化学成分和高炉操作.....57
(4) 化学反应.....21	(2) 烧结矿的化学成分和性质.....57
(5) 透气性.....25	(3) 烧结矿的还原性.....59
第2章 烧结操作28	(4) 成分管理.....60
1. 烧结原料.....28	2. 烧结矿的物理性质.....61
(1) 主要的铁矿石.....28	(1) 烧结矿的物理性质和高炉操作.....61
(2) 高炉用矿石的预处理方法.....28	(2) 烧结矿的粒度和强度.....61

教学指导书

第1章 烧结法的理论基础69	1-5 空隙度.....72
1. 学习目的.....69	1-6 真粒度和表现粒度.....74
2. 术语的解释和补充说明.....69	1-7 饱和水分.....74
1-1 日本烧结机一览表.....69	第2章 烧结操作74
1-2 烧结杯试验法.....70	1. 学习目的.....74
1-3 主抽风机和料层厚度.....71	2. 术语的解释和补充说明.....74
(1) 风机容量的考虑.....71	2-1 平均粒度计算式.....74
(2) 料层厚度和生产率.....71	2-2 过剩空气率.....74
1-4 层流和紊流.....71	2-3 空筒速度.....75

第3章 烧结矿的质量75	(3) 落下强度试验法.....77
1. 学习目的.....75	(4) 热还原转鼓强度试验法.....77
2. 术语的解释和补充说明.....76	(5) 低温还原粉化试验.....78
3-1 质量检验方法.....76	(6) 荷重软化试验.....78
(1) 粒度试验法.....76	(7) 还原度测定法.....79
(2) 转鼓强度试验法.....76	
附：《钢铁厂技术培训参考丛书》书目80	

第1章 烧结法的基础理论

1. 烧结法的简史与发展

(1) **烧结法的简史** 烧结法用来作为粉矿或其他细粉原料的造块方法，最初使用于铜、铅、锌矿石，应用于铁矿石是后来的事。

近年来，不仅有天然产生的矿粉，而且也有在破碎处理低品位矿石时得到的矿粉，作为烧结矿装入高炉使用的。

十九世纪中叶，在英国的铜矿山建了一系列的小型烧结锅。此外，德国的铅冶炼公司在弗赖德伯格(萨克森州)建设了两台吹风的烧结锅。

美国矿业技师J·W·尼尔于1892年利用铁矿石进行了首次烧结矿工业生产。他经过10年试验，在宾厄姆坎约科罗拉多州建了两台烧结锅。

近年来，日本钢铁工业得到迅速的发展。主要原因之一，是由于烧结法使入炉原料质量得到了改善，特别是加入石灰石的自熔性烧结矿的使用，大大地提高了高炉操作的各项指标。现在，根据高炉内烧结矿的配比，生产碱度为1.2~2.0的烧结矿。

烧结反应是将烧结料加入百分之几的燃料（主要是焦粉等）点着火，抽入空气而进行的。烧结法根据通入空气的方向分为，吹风烧结和抽风烧结两种类型。吹风烧结法历史较久，但最近已日趋衰落，而抽风烧结法已成为主要的生产方法。

a. 吹风烧结 亨廷顿—赫伯莱茵锅烧结法

这个烧结法于1905年由美国熔炼与精炼公司发明，并获取专利权。特征尺寸为274.32厘米×335.28厘米×38.10—91.40厘米，为了防止漏风，接缝处或有关部分使用石棉进行填充。此外，在瑞典也发明了札韦尔斯贝格法(Sauersberg Process)，夫拉托里巴蒙大拿州电热连续式竖炉蒸馏铅公司的两个实例，是排列着18个直径为259.08厘米，深为137.14厘米的烧结锅，虽然原料的混合已用机械，可是給料仍用人工进行。图1-1为该法的示意图，还有其它各种吹风烧结法，这种方法多数能够在造块的同时除去矿石中的硫。

吹风烧结法有下列缺点：①排气系统与給料、卸矿同一方向进行；②矿石损失多，操作现场烟尘多；③操作费、修理费高；④点火困难。

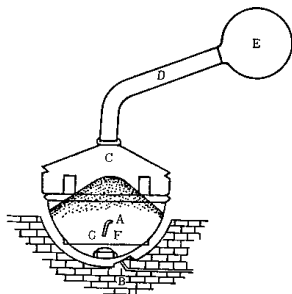


图 1-1 亨廷顿—赫伯莱茵烧结锅
A—铸铁锅；B—砌砖；C—可移动炉盖；
D—排气管道；E—烟道；F—空心格子；
G—空气分配器

b. 连续抽风烧结 烧结锅的缺点，直到20世纪初期由于德怀特和劳埃德发明了连

续式烧结机才得以克服。通常称为D.L式烧结机。

卡那尼亚联合公司曾进行了试验，于1908年由德怀特发表了详细试验情况。日本采用的主要有环式和带式烧结机，即D.L式烧结机。其外径457.2厘米，内径243.84厘米，总面积10.67米²，抽风面积4.63米²，有固定的点火炉和给料装置，烧结矿借助刮板刮落。

利用此种烧结机的有美国熔炼与精炼公司和S.D.法斯克矿山公司，在日本作为炼铁用的有矢作制铁株式会社。小容量的环式烧结机多用于铜、铅矿石烧结。另一方面，带式烧结机能够建设大容量的，点火炉、给料装置固定，借助于呈带状连接的台车的转动，使烧结矿自然落下。

c. 间歇式抽风烧结 格里纳瓦尔特法

间歇式抽风烧结机是在德怀特和劳埃德发明的几个月前，由格里纳瓦尔特所发明。最初设计了426.72~609.60厘米×243.84厘米的烧结机。漏风少是其特点，锅底是炉篦条或者

者是开孔铁板，给料装置和点火器是移动式，烧结矿放在抽风装置之上的烧结锅内。借助于烧结锅的转动，烧结矿自然落下。其他还有A.I.B法等，这些方法不宜于大量生产，所以在日本没有采用。

(2) 烧结矿生产能力的变迁 近年来烧结矿的生产能力有了飞跃的增长。最初，烧结法的意义在于去除粉状原料的有害成分，并进行造块，作为高炉原料加以利用。但是近年来，它具有积极改善高炉操作指标的作用。烧结矿价值提高的原因之一，在于自熔性烧结矿的生产。由于使含有CaO、MgO或分的原料，预先加入到烧结矿中，所以使用自熔性烧结矿时，高炉可不加熔剂。作为烧结熔剂有石灰石、白云石、石英砂等。

由于自熔性烧结矿的使用，高炉的生产率得到极大提高，焦比下降。这是由于使用渣化了的自熔性烧结矿，熔融过程进行得容易的结果。另一方面烧结矿的生产设备的规模也不断增大，一台烧结机的抽风面积就有550米²。

此外，由于烧结原料预处理的强化，烧结矿的生产率也大幅度地提高。也就是说，为了改善作为烧结原料的粉矿石等的透气性，而大力进行破碎、整粒、混合、造球，使原料混合造粒的混料机等设备的能力得到增强。烧结机的规格，参照教学指导书1-1。

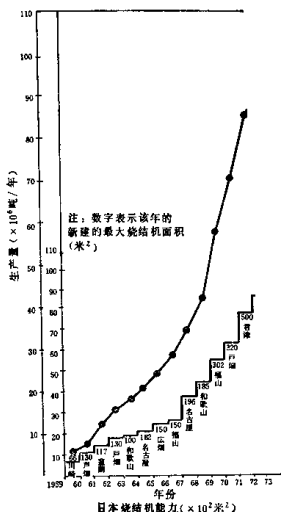


图 1-2 烧结机能力和生产量的变迁

2. 烧结法的基本化学反应

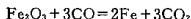
(1) 化学反应

a. 化学反应式 用元素的化学符号表示物质的组成,称为化学式,其代表为分子式,表示一个分子中的原子比例。

当物质改变了其化学结构的时候,称为发生了化学反应。用化学式说明发生化学反应的状态,称为化学方程式,方程式的左侧表示反应物的分子式,右侧表示反应生成物的分子式。

按照质量守恒定律,构成反应物和生成物的原子数不变。

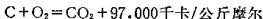
例



b. 放热反应与吸热反应 化学反应通常伴随产生热或吸收热,前者称为放热反应,后者称为吸热反应。

在反应式后边经常写出发热量,这个热量称为反应热。

例



c. 氧化反应与还原反应 这两者的狭义解释是,某化合物与氧化合称为氧化,失掉氧称为还原。

例



d. 热分解反应 适当的化合物若加热就分解。这个反应称为热分解或热解离。热分解反应是吸热反应的一种,它的反应热称为分解热。

例



3. 燃烧

(1) 热

a. 热 温度表示冷热的程度。物体冷热的差别,是因为在物体内含的热量不一样。

在工业上使用的热量单位用千卡表示。一千卡是在标准大气压下一公斤纯水从14.5°C升高到15.5°C所需的热量。

给物体增加热量时,不言而喻,温度的升高是随所加热量的多少和物体的重量不同而不同,可是同时也随物体的种类和状态而异。也就是说单位重量的物体,升高1°C所需的热量,是随物体的种类不同而不同。这一所需的热量,称为该物体的比热。比热的单位通常是千卡/公斤·°C。

使某物体改变本身的温度所需的热量称为显热,当温度保持不变,而物体的状态发生变化时,吸收(或放出)的热量称为潜热。相应各种状态变化的潜热称为蒸发热、熔化热、升华热。

状态变化决定于温度和压力。

热的单位间有下式的关系。

$$Q = C - M(T_1 - T_2)$$

Q——显热,卡;

C——比热, 卡/克·°C;

M——质量, 克;

T——温度, °C;

b. 热传导 当在一个物体内, 或相接触的两个或两个以上的物体间有温度差时, 引起从物体内的一部分向另一部分, 或从一个物体向另一个物体的热移动。当各部分的温度相同时, 热移动就停止。

然而这种热移动的方向, 通常从高温部分向低温部分进行。当物体自然放置时, 绝不发生逆方向的热移动。

传热的方式有热传导、对流、热辐射三种。

传导状态一般又分为稳定态和不稳定态。所谓稳定态传热是指传热状态不随时间而变化; 不稳定态传热是指传热量随时间的增加或减少, 或者增加减少交替进行的场合而言。因为不稳定态传热复杂, 所以加以省略, 仅研究稳定态传热。

(a) 热传导是热从物体的一部分传导到另一部分的现象, 纯粹的热传导仅限于发生在固体的场合。

(b) 对流是流体所特有的现象。在气体或液体内部, 不仅由于传导传热, 而且因为各部分温度差所引起的密度差而产生的循环流动也传热。通过流体流动而进行传热称为热对流。

(c) 辐射。太阳的热传到地球, 并不加热途中的空气, 从第一个高温物体向第二个高温物体传热, 并不加热介于两物体之间的空气, 称为热辐射。

在实际情况中, 多数是传导、对流、辐射同时进行。

根据热传导理论, 各传热量间可用下式计算。

[传导]

$$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot (T_1 - T_2)}{b}$$

Q——传热量, 卡;

λ ——导热系数, 卡/厘米·分·°C;

A——面积, 厘米²;

T——温度, °C;

b——厚度, 厘米。

[对流]

$$Q = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

h——传热系数, 卡/厘米²·分·°C

[辐射]

$$Q = \varepsilon \cdot C \cdot A \cdot \left\{ \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right\}$$

T——绝对温度, °K;

C——有效辐射系数, 卡/厘米²·分·100°K⁴;

ε ——黑度。

(2) 脱水

a. 脱水 脱水是作为物理反应进行, 也有作为化学反应而进行的。

在这里就蒸发、干燥、结晶水分解叙述如下:

蒸发是加热溶液把溶液变成气体的操作, 而借助蒸发除去固体中所含水分的操作称为干燥。必须除去的水分多时称为蒸发。蒸发与干燥没有严格的区别。

结晶水就是与化合物结合变成结晶形, 也就是与附着水不同的某种结合。

b. 干燥 干燥机理, 虽然是蒸发潜热的供给与产生的水蒸气转入空气之中, 可是还必须考虑固体内部的水分向表面移动的过程, 所以是比较复杂的。

(a) 材料预热阶段 (准备干燥阶段) 如考虑十分潮湿的材料表面为水膜所覆盖, 将它置于某种干燥条件下, 材料达到与干燥条件保持动平衡的某一温度。

(b) 恒速干燥阶段 水膜于表面存在, 限定材料温度一定, 而且当热量流入速度也一定时, 流入的热量全部消耗于水分的蒸发, 这时水分的蒸发速度也一定。

恒速干燥速度 (R , 公斤/公斤干燥固体·时) 可表示为:

$$R = K_H \cdot A (H_w - H) = \frac{h}{\lambda_w} \cdot A (t - t_w)$$

K_H ——水蒸气的界膜传质系数, 公斤/米²·时·(公斤/公斤);

h ——传热系数, 千卡/米²·时·°C;

λ_w ——在温度 t_w 下的水的蒸发潜热, 千卡/公斤;

t_w ——空气的湿球温度, °C;

t ——空气的温度, °C;

H_w ——与温度 t_w 对应的饱和湿度, 公斤/公斤;

H ——湿度, 公斤/公斤;

A ——固体的表面积, 米²/公斤干燥固体。

为了使 R 增大, 增大固体的表面积, 提高空气的温度, 降低湿度和加强通风是有效的。

(c) 减速干燥阶段 若水分从材料内部向表面的移动赶不上水分从表面的蒸发速度, 表面的水膜就发生中断变干, 接着全表面的水膜消失, 蒸发面向材料内部转移。因此引起

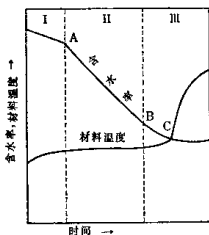


图 1-3 在稳定干燥条件下含水率和材料温度的变化

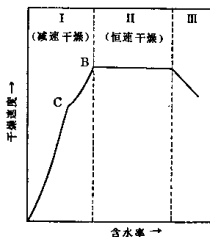


图 1-4 在稳定干燥条件下干燥特性曲线

材料温度升高,使流入物体的热量减少,水分的蒸发速度也降低下来。

要使干燥速度增大,减薄固体的厚度是非常有效的,或者提高温度也有效。

最后,达到与干燥条件相平衡的含水率和材料温度,干燥便停止。

(d) 固体的含水率 用干燥基准含水率 W 来表示固体含有多少水分。

在一公斤湿固体中,若含水量 w [公斤],则其中干燥的固体是 $(1-w)$ [公斤],所以 W 可用下式表示

$$W = \frac{w}{1-w} \text{ [公斤水/公斤干燥固体]}$$

(e) 平衡含水率与自由含水率 若把固体物质放置在具有一定的温度和湿度的空气中,就达到某一含水率变成平衡状态。只要空气的温度湿度不变,固体的含水率也不变。这个数值称为平衡含水率 W ,这时的固体含水量称为平衡水分。空气的温度越高,或空气湿度越小,则平衡含水率越小。在通常的干燥操作下,固体中的水分不能完全除去,因为与那个条件下相平衡的平衡水分,在固体中必然存留下来。所以从含水分的总量中扣除平衡水分是理论上能够除掉的水量,通常将这个值称为自由水,把自由水分的量用含水率的形式表示的值,称为自由含水率。

c. 结晶水分解 结晶水与普通附着水不同,它是与物质结合的,在 100°C 下不能除去。结晶水分解,因化合物不同而异,褐铁矿在 $700^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ 下开始分解除去。

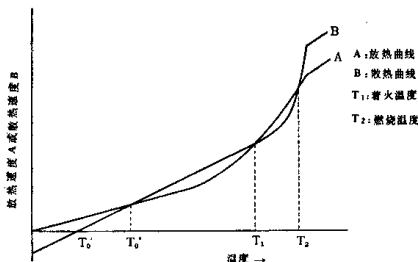


图 1-5 在稳态燃烧下放热与散热的关系

(3) 燃烧

a. 燃烧 燃烧是物质与氧化合,发生激烈的氧化现象,同时伴随放出热和光。为了使燃料开始燃烧,必须首先从外部将燃料加热到一定的温度。当这个加热温度很高时,不从外部加热,只靠燃料自身产生的热也能维持燃烧。不加热燃料维持燃烧的最低温度称为着火点。

在 T_0' (接近常温)以下放热曲线A在散热曲线B之上,在 $T_0' - T_1$ 之间曲线A在曲线B之下,在 $T_1 - T_2$ 之间曲线A在曲线B之上,在 T_2 以上曲线A又一次变为在曲线B之下,也就是说,在常温以下,因为事实上放热速度为0,可不加考虑。若加热的温度为 T ,也就是在 $T_0' < T < T_1$ 的条件下,在温度 T 不断加热的时候,这时燃料在温度 T 相应的温度下继续氧化,可是一旦将热源移去时,将逐渐冷却下降到 T_0' 。

在 $T_1 < T < T_2$ 的条件下,因为放热速度比散热速度大,所以热逐渐积蓄,使温度上升;若上升到温度 T_2 时,由于放热速度与散热速度相等,所以保持在 T_2 温度下进行燃烧,

通常称这类燃烧为稳定态燃烧。

在 $T > T_2$ 的条件下, 因为放热速度比散热速度小, 所以在温度 T 下加热时, 在相应于温度 T 的速度下燃烧, 可是若将热源移去, 燃烧温度将下降到 T_2 度进行稳定态燃烧。

T_1 、 T_2 等温度, 随着燃料种类和环境之不同而异。例如, 若提高周围环境的温度, 散热速度曲线 B 往下移, 结果使着火温度下降, 燃烧温度上升。

燃烧温度决定于燃料的发热量, 燃烧的稳定性, 供给的空气量和温度以及辐射传热等等。在理论空气量下完全燃烧, 且没有辐射热散失时的燃烧温度, 称为理论燃烧温度。燃烧温度可采用高温计测定, 也可根据计算求出。

$$t_g = \frac{\eta H_c (1 - \sigma) + C_f t_f + C_d m L_{ov} t_s}{C_g [G_{ov} + (m - 1) L_{ov}]}$$

H_c ——燃料的低发热值, 千卡/公斤或千卡/标米³;

L_{ov} ——燃烧必需的理论空气量, 标米³/公斤或标米³/标米³;

m ——空气消耗系数;

G_{ov} ——理论燃烧产物量, 标米³/公斤或标米³/标米³;

C_g ——燃烧产物的平均比热, 千卡/标米³·°C;

C_f ——燃料的平均比热, 千卡/公斤·°C或千卡/标米³·°C;

C_d ——空气的平均比热, 千卡/标米³·°C;

σ ——辐射系数, 即辐射传递的热量与总热量之比;

t_g ——燃烧温度, 即燃烧产物的温度, °C;

t_f ——燃料的最初温度, °C;

η ——燃烧效率。

数值范围

$$C_f = 0.22 \sim 0.26 \text{ 千卡/公斤} \cdot ^\circ\text{C} \quad (\text{煤})$$

$$= 0.42 \sim 0.47 \text{ 千卡/公斤} \cdot ^\circ\text{C} \quad (\text{重油})$$

$$= 0.31 \quad \text{千卡/标米}^3 \cdot ^\circ\text{C} \quad (\text{气体燃料})$$

$$\sigma = 0.10 \sim 0.15 \quad \text{全部用耐火砖砌筑的炉子。}$$

理论空气量 (L_{ov})

$$L_{ov} = \frac{1.867C + 5.7H + 0.7S - 0.7O}{0.21} \text{ 标米}^3/\text{公斤}$$

(固体和液体燃料)

$$L_{ov} = \frac{\frac{1}{2} [(H_2)_v + (CO)_v + 2(CH_4)_v + 3(C_2H_4)_v - (O_2)_v]}{0.21}$$

标米³/标米³ (气体燃料)

C 、 H 、 S 、 O 是一公斤燃料中的碳、氢、硫、氧的量 (公斤)

$(H_2)_v$ 、 $(CO_2)_v$ 、 $(CH_4)_v$ 、 $(C_2H_4)_v$ 、 $(O_2)_v$ 是气体燃料一标米³中由这些分子式表示的煤气成分的量 (标米³)

空气消耗系数 (m)

$$m = \frac{L}{L_{0v}}$$

L ：每一公斤燃料（或一标米³）实际需要的空气量 $\eta=1$ ，

$\sigma=0$ ， $m=1$ 时的 t_k 值，理论上认为的最高燃烧温度，称为理论燃烧温度。

b. 燃烧速度 燃料的燃烧就是由于燃料中的可燃物的分子与氧分子发生反应，在着火温度以上燃烧时反应速度非常迅速，所以实际上决定燃烧速度的是可燃物分子与氧分子的接触好坏，因而若两者接触良好就可以迅速地燃烧。对气体燃料，因为可燃分子与燃烧用空气迅速并良好地接触，所以即使过剩空气系数少，也能迅速地进行燃烧。与此相反，对固体燃料的燃烧，因为燃料与空气的接触仅仅是固体表面，所以燃烧速度与接触面积的大小有着密切的关系，因为固体燃料越细，接触面积的比例越大，所以燃烧的速度也越快。

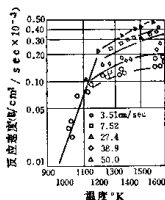


图 1-6 炭粒的燃烧速度

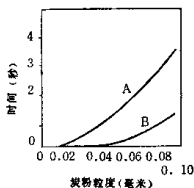


图 1-7 燃料粒度与燃烧时间的关系

图1-6表示温度与风速对 $\phi 2.5$ 厘米的炭粒的燃烧速度的影响，即在某温度以下燃料的燃烧速度决定于温度的高低；在某温度以上燃烧的速度决定于风速的大小。

图1-7表示炭粉燃烧速度与粒度的关系，燃料的粒度越小，燃烧的速度越快。图中的A、B曲线表示不同种类的炭粉燃烧速度的差别。

c. 燃料的燃烧

(a) 气体燃料的燃烧 采用烧嘴燃烧气体燃料时，燃料与一次空气，一般地边混合边喷出；若一次空气量过多，在烧嘴口附近的燃料浓度比着火极限的下限还低，所以使火焰向没有很好混合的方向延伸，伴随着所谓的扩散燃烧。

(b) 液体燃料的燃烧 假如在容易蒸发的燃料的表面点火，就燃烧产生火焰。这种燃烧是燃料的蒸发，即所谓蒸发燃烧。

(c) 固体燃料的燃烧 煤、木柴燃烧时，由于加热产生分解，分解生成物变成混合气燃烧，称为分解燃烧。焦炭和除掉挥发分的煤，难以发生热分解。固体炭是主要成分，炭自身直接与空气接触，在固体炭表面进行燃烧，称为表面燃烧。

燃料全部燃烧，排出的废气中没有未燃物时称为完全燃烧，而有未燃分剩余时称为不完全燃烧。在温度低和氧供给不足时，发生不完全燃烧。

d. 燃料的种类 燃料，不言而喻，作为热源、动力源或者炭的来源是极其重要的。然而煤、石油的埋藏量有限，它们一经消费，就不能重新加以利用，所以煤、石油是人类贵重的资源。另一方面，各个工业部门，使用着各种各样的燃料，其燃料费所占的比例相

当大。因此有效地使用燃料是很重要的。

燃料的种类很多, 根据它们在常温的状态, 一般地可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料三种。

在表1-1中示出天然燃料和人工燃料的分类。

表 1-1 燃料的分类

	天 然 燃 料	人 工 燃 料
固体燃料	泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、木炭	煤球、焦炭、半焦、木炭
液体燃料	原油	汽油、煤油、轻油、重油、甲醇、酒精、苯
气体燃料	天然气	煤气、发生炉煤气、水煤气、高炉煤气、液化石油气

4. 烧结矿的矿物组织

(1) 烧结矿的矿物组织

a. 研究矿物组织的目的 把粉矿烧结成烧结矿是主要目的, 可是现在具有更高的目标, 要求烧结矿具有能满足高炉冶炼需要的良好的冶金性能。

烧结的首要目的, 仍然是为了不使粉矿直接装入高炉, 先进行烧结。但是就“烧固”而言, 是非常定性的说法, 虽然从感觉来说可以感觉出来, 但是作为定量的判断还是很困难的。现在在实际应用方面, 是借用转鼓强度或落下强度来判断。如果仅从首要的目的来讲, 虽然强度值能成为烧结的“烧固”情况的指标, 可是如上所述, 不如说改善冶金性能具有更重要的意义。但是强度与冶金性能未必一致, 多数场合下有相反的关系。矿物组织能够回答, 像这样相矛盾的多种性能的均衡选择什么样指标为好。

不仅限于烧结矿, 任何材料的性能, 都决定于它的材质与微观组织。烧结矿的基本构成要素是由构成矿物的种类和数量以及它们的结构构造所左右。然而全部性能, 要根据矿物组织来统一判定。这就是学习烧结矿矿物组织的意义和目的。

b. 烧结矿的结构特征 烧结反应过程中生成的部分熔融液相, 对形成粘结起着浆糊的作用。这个反应的特征是急热急冷, 因为是在几分钟至十几分钟的短时间内进行的, 所以反应没有达到平衡状态, 多以非平衡状态结束。因而一般呈非常复杂的不均匀组织。

如果热量充足, 不均匀组织就更接近均匀化。因而组织的鉴定方法, 不象金相学那样简单, 而要求有相当熟练的技术。

组织的鉴定, 按下列各项进行: ①气孔的大小, 形状与分布; ②组织的均匀度; ③粗粒原矿石的剩余部分的多少; ④构成矿物的种类与含量和它们的结构构造。

矿物组织若从广义解释, 包括①至④的全部, 而狭义的解释仅仅是④项。

烧结矿矿物组织的研究, 没有金相学那样长的历史, 现在研究工作刚刚处于开创阶段, 且没有经过系统的整理。根据目前所知, 就烧结矿的矿物组织与性能的相互关系, 介绍几个实际烧结矿的矿物组织的实例。

(2) 矿物组织的实例和它的性能

a. 烧结矿中发现的矿物种类示于表 1-2 作为矿物来说, 以磁铁矿、赤铁矿、铁酸

钙为主，其它矿物含量甚少。

表 1-2 烧结矿组成矿物

矿物名称	化学式	晶系	生成状态
磁铁矿	Fe_3O_4	立方晶系	主要构成矿物
赤铁矿	Fe_2O_3	六方晶系	主要构成矿物
浮士体	FeO_{1+x}	立方晶系	在加入焦炭极多时，稀少可见
钛铁矿	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	六方晶系	砂铁的残留矿
铁酸钙	$\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$	六方晶系	碱度约1.2以上的高碱度烧结矿的主要构成矿物
黄长石	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 与 $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ 的固溶体	立方晶系	在局部少量可见
硅酸二钙	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	斜方晶系	局部少量可见，个别的与铁酸钙呈共晶组织
铁橄榄石	$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	斜方晶系	碱度在 0.5 以下的酸性烧结矿的主要构成矿物
钙铁橄榄石	$2(\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	斜方晶系	碱度约0.5~1.2的粘结相（胶结矿物）
玻璃质硅酸盐	$2(\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	非晶质	一般由钙铁橄榄石变成的玻璃体
石英	SiO_2	六方晶系	原矿石中的脉石残留物，极少见
橄榄石	$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	斜方晶系	蛇纹石分解生成，少量可见

另外，烧结矿主要单体矿物的性能示于表 1-3。

表 1-3 烧结矿主要矿物的性能

矿物的种类	强度 (公斤/毫米 ²)	还原率 (%)	荷重软化熔融性能
赤铁矿	36.9	49.9	1
磁铁矿	36.9	26.7	
铁酸钙	37.0	40.1	2
铁橄榄石		1.0	3
钙铁橄榄石	23.3	6.6	4
硅酸二钙	4.6	3.1	

注：数字表示软化温度从高到低的顺序，空栏者不详。

例 1 由于烧结矿碱度的改变，生成的矿物种类的变化示于图1-8。

主要矿物是氧化铁（磁铁矿、赤铁矿），可是粘结矿物（胶结矿物）随碱度的变化是明显的。提高碱度；铁酸钙增加，而钙铁橄榄石、玻璃质硅酸铁减少。从表 1-3 的各矿物的性能来看，很容易知道，通常高碱度烧结矿的还原性和强度得到改善的原因，是由于生成叫做铁酸钙的矿物。

判断这类矿物时，将烧结矿浸入树脂，切断，并将断面研磨，利用反射偏光显微镜（有的也使用透射偏光显微镜）进行矿物鉴定。反射力（亮度）随矿物种类不同而不同，依反射力的差别，和由于在偏光镜下是各向同性结晶，还是各向异性结晶，以及在显微镜下使用化学试剂的腐蚀试验等方法来进行矿物的鉴定。如果技术熟练，从反射力的差别和

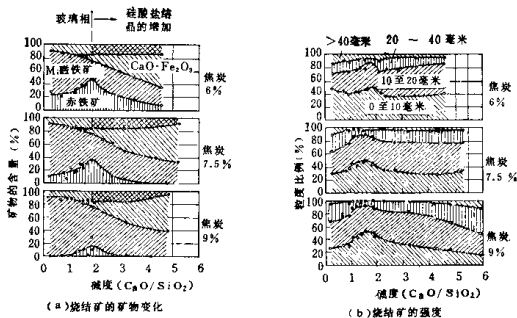


图 1-8 不同碱度烧结矿的矿物相组成与烧结矿性能的变化

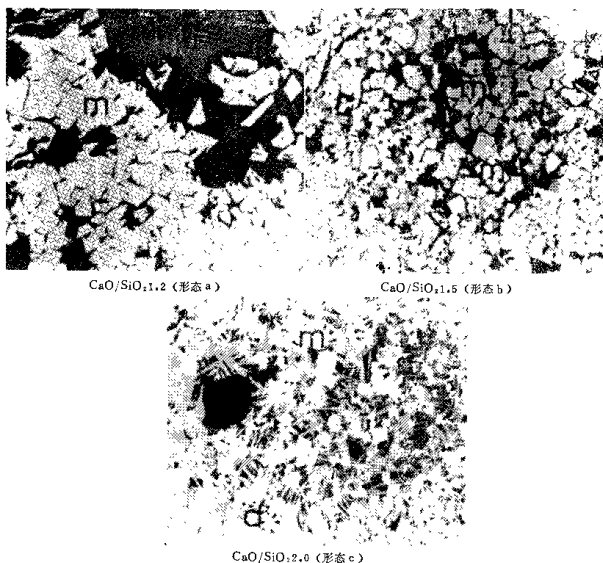


图 1-9 代表性烧结矿矿物组织照片