



冶金操作岗位培训丛书

YEJIN CAOZUO GANGWEI PEIXUN CONGSHU

烧 结 工

SHAOJIE GONG

贾 艳 齐素慈 主编



化学工业出版社



冶金操作岗位培训丛书

YEJIN CAOZUO GANGWEI PEIXUN CONGSHU

烧 结 工

SHAOJIE GONG



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求,内容涵盖烧结工所必须掌握的基本知识和技能;烧结矿质量要求及检验方法,烧结原料及使用要求,烧结岗位生产操作与事故处理,各类烧结设备的维护与检修技巧等。理论联系实际,知识全面,工艺特点突出,具有很强的实用性和指导性。

本书可作为烧结工的培训教材,也可供冶金专业技术人员、企业技术工人提高专业知识和工作技能参考,还可供职业院校冶金专业学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

烧结工/贾艳,齐素慈主编.—北京:化学工业出版社,2011.5

(冶金操作岗位培训丛书)

ISBN 978-7-122-10690-2

I. 烧… II. ①贾…②齐… III. 烧结-岗位培训-教材 IV. TF046

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第035497号

责任编辑:刘丽宏

文字编辑:余纪军

责任校对:周梦华

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张7¼ 字数205千字 2011年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00元

版权所有 违者必究

前言

随着钢铁工业的迅速发展,要求日益扩大对贫矿和多种金属共生复合矿的利用。这些矿石经选矿处理后得到的铁精矿粉,以及富矿在破碎过程中产生的富矿粉,都需要经过烧结处理,才能入高炉冶炼。因此,烧结矿的质量对高炉冶炼影响极大,改善烧结矿质量是高炉“精料”的主要内容。随着高炉大型化、自动化以及要求最大限度地降低燃料比,对高炉炉料的质量和炉料质量的检验方法越来越重视,各钢铁企业,为提高生铁产量和质量,对烧结矿的质量越来越重视。而培养一批训练有素、经验丰富的操作人员来处理和掌握烧结工艺技术是提高烧结矿质量的关键所在。本书就是为适应上述要求而编写的。

本书参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求,内容涵盖烧结工所必须掌握的基本知识和技能、烧结工艺、设备的维护与检修技巧、烧结操作及事故处理、质量检验等。全书在内容编排上努力做到基本概念清晰,强调实践,突出技能。语言上力求深入浅出,通俗易懂。同时,书中也注意反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。本书可作为烧结工的培训教材,也可供冶金专业技术人员、企业技术工人提高专业知识和工作技能参考,还可供职业院校冶金专业学生阅读。

本书由河北工业职业技术学院贾艳、齐素慈主编,副主编为河北工业职业技术学院刘燕霞、陈敏,参编人员有邯郸钢铁公司李洪春、刘卫国、崔彦立、李洪亮,石家庄钢铁公司陈文印,河北工业职业技术学院张士宪、张欣杰、黄伟青等,全书由邯郸钢铁公司李庆升主审。

由于水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 烧结生产概述	1
1.1 烧结生产的作用	1
1.2 烧结生产工作过程	2
1.3 烧结生产基本原理	2
1.4 烧结生产技术经济指标	6
第 2 章 烧结矿质量评价及检验	8
2.1 烧结矿质量标准	8
2.2 烧结矿质量检验方法	9
2.2.1 烧结矿转鼓指数的检验方法	9
2.2.2 烧结矿还原性能的检验方法	10
2.2.3 烧结矿低温还原粉化性能的检验方法	12
2.2.4 烧结矿高温软化与溶滴性能的检验方法	13
第 3 章 烧结原料及使用要求	14
3.1 原料基础知识	14
3.1.1 矿物	14
3.1.2 矿物的形态	14
3.1.3 矿物的物理性质	15
3.2 含铁原料及使用要求	17
3.2.1 含铁原料的种类及性质	17
3.2.2 烧结对含铁原料的质量要求	21
3.3 熔剂	23

3.3.1	熔剂的种类及性能	23
3.3.2	烧结对熔剂的质量要求	24
3.4	燃料	25
3.4.1	燃料的种类及性质	25
3.4.2	烧结对燃料的质量要求	26

第4章 烧结生产基本原理 28

4.1	烧结过程燃料的燃烧和传热	28
4.1.1	烧结料层中燃料燃烧的特点	28
4.1.2	烧结过程中的传热	29
4.2	烧结过程中水的蒸发、冷凝和分解	34
4.2.1	烧结料中水分的来源和作用	34
4.2.2	水分的蒸发和冷凝	35
4.2.3	防止过湿层出现的措施	36
4.2.4	水分的分解	37
4.3	碳酸盐的分解及 CaO 的矿化作用	37
4.3.1	碳酸盐的分解	38
4.3.2	CaO 的矿化作用	38
4.4	烧结过程中铁、锰氧化物的分解、还原和氧化	39
4.4.1	铁氧化物的分解	39
4.4.2	铁氧化物的还原	41
4.4.3	铁氧化物的氧化	42
4.4.4	锰氧化物的分解和还原	42
4.5	烧结过程中硫及其他有害杂质的去除	43
4.5.1	硫的去除	43
4.5.2	其他有害杂质的去除	49
4.6	烧结过程中的固相反应	50
4.6.1	固相反应机理	50
4.6.2	固相反应的条件和特点	51
4.6.3	烧结料中常见的固相反应及产物	54

4.7 烧结过程中液相的生成与冷却结晶	56
4.7.1 液相在烧结中的作用	56
4.7.2 影响液相生成量的因素	57
4.7.3 烧结过程中的液相	57
4.7.4 液相冷却结晶	62
4.8 烧结过程中的气流运动	63
4.8.1 透气性的表示方法	63
4.8.2 透气性的变化	63
4.8.3 改善透气性的主要方法	65
4.9 烧结矿的矿物组成、结构及对烧结矿质量的影响	69
4.9.1 烧结矿的矿物组成及对质量的影响	69
4.9.2 烧结矿的结构及对质量的影响	72
4.10 烧结新技术	73
4.10.1 低温烧结	74
4.10.2 小球烧结	75
4.10.3 余热利用	76
4.10.4 烧结废气脱硫	76

第5章 烧结生产设备及维护 79

5.1 原燃料准备设备	79
5.1.1 料场设备	79
5.1.2 燃料破碎设备	86
5.2 配料设备	89
5.2.1 配料设备组成及结构	89
5.2.2 配料设备点检及维护	96
5.3 混合设备	98
5.3.1 混合设备结构及工作原理	98
5.3.2 混合设备点检及维护	101
5.4 布料、点火、烧结设备	104
5.4.1 布料设备	104

5.4.2	点火设备	106
5.4.3	烧结机	110
5.5	烧结矿破碎、冷却、筛分设备	124
5.5.1	单辊破碎机	124
5.5.2	冷却设备	125
5.5.3	整粒设备	135
5.6	主抽风机和除尘设备	136
5.6.1	主抽风机	137
5.6.2	除尘设备	142

第 6 章 烧结生产操作..... 157

6.1	配料操作	157
6.1.1	配料目的	157
6.1.2	配料方法	157
6.1.3	配料操作	158
6.2	混料操作	178
6.2.1	配合料混合的目的与要求	178
6.2.2	混料操作	179
6.3	布料、点火、烧结操作	182
6.3.1	布料操作	182
6.3.2	点火操作	184
6.3.3	烧结作业	188
6.4	卸下的烧结矿处理操作	197
6.4.1	烧结矿的破碎	198
6.4.2	烧结矿的冷却	198
6.4.3	烧结矿的整粒	201

第 7 章 烧结除尘..... 203

7.1	烧结生产中的废物对环境的影响	203
7.2	烧结生产过程中主要污染物的产生地点及排放	

标准	204
7.2.1 烧结主要污染物的产生地点	204
7.2.2 烧结主要污染物的排放标准	204
7.3 烧结主要污染物的控制措施	204
7.3.1 烧结料场扬尘控制措施	204
7.3.2 烧结各工序产生粉尘控制措施	205
7.3.3 烧结废气产生粉尘控制措施	205
第 8 章 烧结岗位常见事故的处理	206
8.1 补算条	206
8.2 双层阀堵料处理	206
8.3 圆辊卡大块处理	207
8.4 台车更换	208
8.5 大烟道内部检查	208
8.6 烧结机点火炉、煤气事故处理预案	210
8.7 突然停水事故处理	210
8.8 全停电事故处理预案	211
第 9 章 烧结物料平衡和热平衡计算	212
9.1 物料平衡计算	212
9.1.1 烧结物料平衡的计算与编制	212
9.1.2 计算实例	214
9.2 热平衡计算	217
附录 1 烧结工理论知识复习题	223
附录 2 烧结工理论知识复习题参考答案	228
附录 3 烧结工实际操作复习题及评分标准	232
参考文献	235

第1章 烧结生产概述

随着钢铁工业的发展，品位高的天然富矿无论从产量和质量上已不能满足高炉生产需要，必须大量使用品位低的贫矿。但贫矿直接入炉会使高炉生产指标恶化，生产成本提高。因此，贫矿必须经过破碎和选矿处理，得到品位高的精矿粉。由于精矿以及富矿破碎产生的粉矿等粒度很细，需造块后才能入炉冶炼。常用的造块方法有烧结、球团等，其中烧结法应用最普遍。

用烧结法生产烧结矿不仅解决了粉矿问题，同时还明显地改善了含铁原料的冶金性能，使高炉生产指标显著改善，经济效益大幅度提高。因此，烧结工艺和设备随着炼铁工业的发展而发展，取得了巨大的进步。

所谓烧结，即是将各种粉状含铁原料，配入一定数量的燃料和熔剂，均匀混合制粒，然后放到烧结设备上点火烧结。在燃料燃烧产生高温和一系列物理化学反应的作用下，混合料中部分易熔物质发生软化、熔化，产生一定数量的液相，并润湿其他未熔化的矿石颗粒。当冷却后，液相将矿粉颗粒粘结成块，这个过程称为烧结，所得的块矿叫烧结矿。

1.1 烧结生产的作用

在高炉炼铁过程中，为了保证料柱的透气性良好，降低高炉焦比，要求炉料含铁品位高、有害杂质少，良好的冶金性能及粒度均匀，粉末少，机械强度高。采用烧结方法后，上述要求几乎能全部达到。

因此，烧结生产是钢铁企业必不可少的环节，其作用为：

① 随着钢铁工业的迅速发展，要求日益扩大对贫矿和多种金属共生复合矿的利用。这些矿石经选矿处理后得到的铁精矿粉，以及富矿在破碎过程中产生的富矿粉，都需要经过烧结处理，才能入高炉冶炼。

② 通过烧结，可以改进物理化学性能，如孔隙率、粒度组成、机械强度，化学成分、还原性、膨胀性，低温还原粉化性、高温还原软化性等。为高炉提供精料，达到强化高炉冶炼的目的。

③ 通过烧结，可以去除原料中的部分有害元素，如硫、氟、钾、钠、铅、锌、砷等，并可回收利用。

④ 通过烧结，可以利用工业生产中的副产品，如高炉炉尘、转炉炉尘、轧钢皮、硫酸渣等，变废为宝，合理利用资源，扩大原料来源，降低生产成本，美化净化环境。

1.2 烧结生产工作过程

烧结生产工艺是指根据原料特性所选择的加工程序和烧结工艺制度。它对烧结生产的产量和质量有着直接而重要的影响。合理的烧结工艺应根据具体的原燃料条件和对产品质量的要求，按照烧结过程的内在规律，确定合适的生产工艺流程和操作制度，并充分利用现代科学技术成果，强化烧结生产过程，以保证在较低的管理费用和正确的操作条件下获得先进的技术经济指标，实现高产、优质、低耗的目的。

烧结生产工艺流程由原料的接受，贮存和中和，熔剂、燃料的破碎、筛分，配料，混合料的制备，布料、点火、烧结，烧结矿的处理以及烧结过程的除尘等环节组成。现代烧结生产流程一般如图1-1所示。

1.3 烧结生产基本原理

目前烧结厂使用的设备都是带式烧结机，采用抽风式烧结。烧结过程可以概括为：将烧结的混合料（含铁原料、燃料、熔剂等）

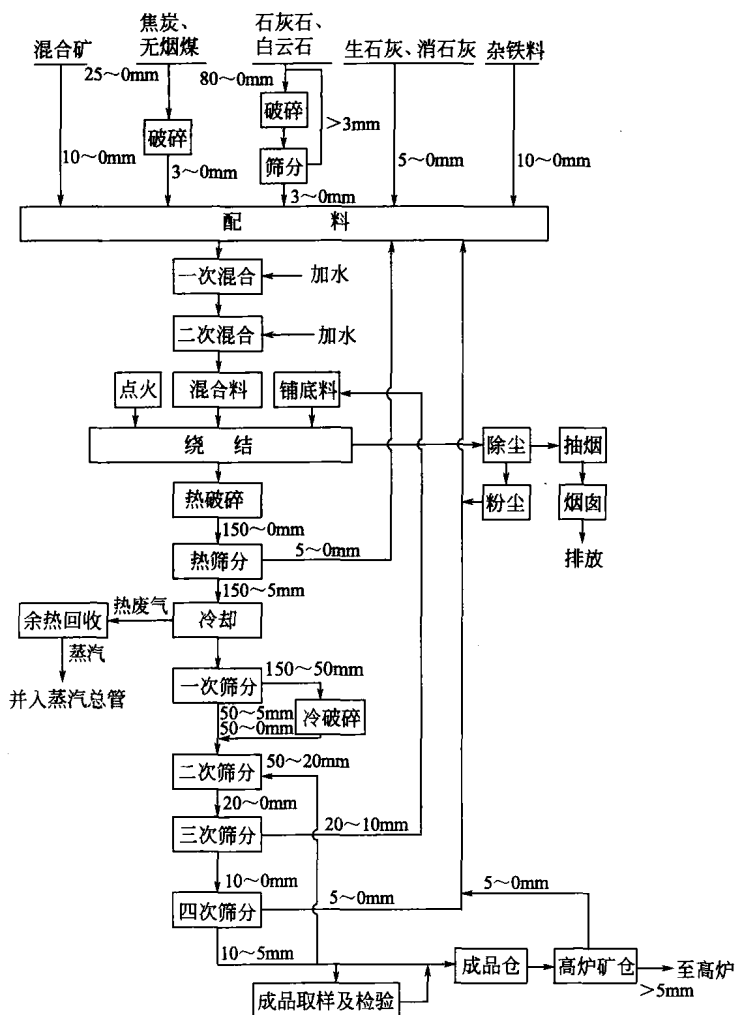


图 1-1 烧结生产工艺流程

配加适量的水分，经均匀制粒后铺到烧结机的台车上，烧结料表面点火后，在下部风箱强制抽风作用下，料层内燃料自上而下燃烧并放热，混合料在高温作用下发生一系列物理化学反应，最终固结成烧结矿。

烧结过程是复杂的物理化学反应的综合过程。在烧结过程中进行着燃料的燃烧和热交换，水分的蒸发和冷凝，碳酸盐和硫化物的分解和挥发，铁矿石的氧化和还原反应，有害杂质的去除，以及粉料的软化熔融和冷却结晶等。得到外观多孔的块状烧结矿。

对正在烧结过程的台车进行解剖，如图 1-2 所示。由于烧结过程由料层表面开始逐渐向下进行，因而沿料层高度方向有明显的分层性。按照烧结料层中温度的变化和烧结过程中所发生的物理化学反应，烧结料层从上到下分为五个带（或五层），即烧结矿层、燃烧层、预热层、干燥层、过湿层，随着烧结过程的发展而逐步下移，在到达炉算后才依次消失，最后全部变为烧结矿层。

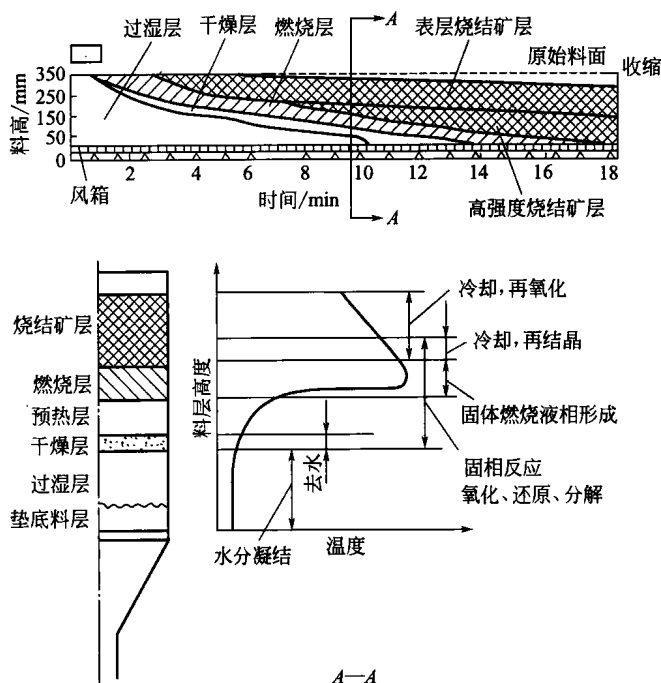


图 1-2 烧结料层分布及主要理化反应

(1) 烧结矿层 该层中燃料燃烧已结束，形成多孔的烧结矿饼。

此层的主要变化是：高温熔融物凝固成烧结矿，伴随着结晶和析出新矿物。同时，抽入的冷空气被预热，烧结矿被冷却，与空气接触的低价氧化物可能被再氧化。

(2) 燃烧层 燃烧层被烧结矿层预热的空气进入此层，与固体碳接触时发生燃烧反应，放出大量的热，产生 $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 的高温，形成一定成分的气相组成。在此条件下，料层中发生一系列复杂的变化，主要有：低熔点物质继续生成并熔化，形成一定数量的液相；部分氧化物分解、还原、氧化，硫化物、硫酸盐、碳酸盐分解等。

由于从固体燃料着火（约 700°C 左右）到燃烧完毕需要一定的时间，故燃烧层有一定厚度，一般为 $15\sim 50\text{mm}$ 。因燃烧层出现液相熔融物，并有很高的温度，故对烧结过程有多方面的影响。其中，影响最大的是料层的透气性。燃烧层透气性很差，对气流的阻力最大，其影响程度与该层厚度和温度水平有关。从改善透气性出发，要求燃烧层薄一些为好。

(3) 预热层 紧邻燃烧层已经干燥的烧结料，受到来自燃烧层产生的高温废气的加热作用，温度很快升高到接近固体燃料着火点，从而形成预热层。由于热交换很剧烈，废气温度很快降低，故此层很薄，其所处的温度约在 $150\sim 700^{\circ}\text{C}$ 之间。该层发生的主要变化有：部分结晶水、碳酸盐的分解，硫化物、高价铁氧化物的分解、氧化，部分铁氧化物的还原以及固相反应等。

(4) 干燥层 从预热层下来的废气将烧结料加热，料层中的游离水迅速蒸发。由于湿料的导热性好，料温很快升高到 100°C 以上，水分完全蒸发需要到 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

由于升温速度太快，干燥层和预热层很难截然分开，故有时又统称干燥预热层，其厚度只有约 $20\sim 40\text{mm}$ 。它们对烧结过程有影响：混合料中料球的热稳定性不好时，会在剧烈升温 and 水分蒸发过程中产生炸裂现象，影响料层透气性。

(5) 过湿层 从干燥层出来的废气中含有大量水汽，若原始料温较低，废气与冷料接触时，其温度降到与之相应的露点以下，则

水蒸气重新凝结下来,使烧结料的含水量超过适宜值而形成过湿层。

水汽冷凝,使得料层的透气性大大的恶化,对烧结过程产生很大的影响。所以,必须采取措施减少或消除过湿层出现。

1.4 烧结生产技术经济指标

烧结厂技术经济指标主要包括产量指标、质量指标、成本指标。其具体内容有:

(1) 烧结机利用系数 是指烧结机每平方米有效抽风面积一小时的产量。它用烧结机台时产量和有效抽风面积的比值来表示:

$$\text{利用系数} = \frac{Q}{F}$$

式中 Q ——烧结机台时产量, $t/(台 \cdot h)$;

F ——烧结机有效抽风面积, m^2 。

烧结机利用系数是衡量烧结机生产效率的指标,它与烧结机有效烧结面积大小无关。

(2) 烧结机台时产量 是指一台烧结机一小时生产的烧结矿产量大小。

$$Q = \frac{Q_{\text{总}}}{t_{\text{总}}}$$

式中 Q ——台时产量, $t/(台 \cdot h)$;

$Q_{\text{总}}$ ——一台烧结机的生产总量, t ;

$t_{\text{总}}$ ——总烧结机运行时间, h 。

烧结机台时产量是体现烧结机生产能力大小的指标,它与烧结机有效烧结面积大小有关。

(3) 成品率

$$\text{成品率} = \frac{Q_{\text{成}}}{Q_{\text{成}} + Q_{\text{返}}}$$

式中 $Q_{\text{成}}$ ——成品烧结矿量, t ;

$Q_{\text{返}}$ ——返矿量, t 。

(4) 烧结机作业率 它是衡量设备工作状态的指标，以设备运转时间占日历时间的百分数计算。

$$\text{作业率} = \frac{\text{运转时间}}{\text{日历时间}} \times 100\%$$

$$\text{日历台时} = \text{台数} \times 24 \times \text{年日历天数}$$

(5) 烧结矿合格率 烧结矿的化学成分和物理性能、冶金性能符合国家标准叫烧结矿的合格品，不符合国家标准的烧结矿叫不合格品。

$$\text{合格率} = \frac{\text{合格品}}{\text{总产量}}$$

(6) 生产成本 指生产每吨烧结矿所需的费用。

由原料费和加工费组成。原料费主要是含铁原料和熔剂的费用。加工费包括辅助材料费（燃料、动力、算条、胶带油脂等），工人工资与附加工资，车间经费（设备折旧、维修、差旅费等）等项。

(7) 工序能耗 指在烧结生产过程中生产一吨烧结矿所消耗的各种能源（煤、焦、煤气、电、水、蒸汽、压缩空气、氧气等）总和折合成标准煤。

第2章 烧结矿质量评价及检验

烧结矿的质量对高炉冶炼影响极大，改善烧结矿质量是高炉“精料”的主要内容。随着高炉大型化、自动化以及要求最大限度地降低燃料比，对高炉炉料的质量和炉料质量的检验方法越来越重视，各钢铁企业，为提高生铁产量和质量，对烧结矿质量越来越重视。

2.1 烧结矿质量标准

评价烧结矿的质量指标主要有：化学成分及其稳定性、转鼓强度、粒度组成与筛分指数、落下强度、还原性、低温还原粉化性、软熔性等。表 2-1、表 2-2 为我国高炉冶炼用铁烧结矿技术标准 YB/T 421—2005。

表 2-1 优质铁烧结矿技术指标 (YB/T 421—2005)

项目 名称	化学成分(质量分数)				物理性能/%			冶金性能/%	
	TFe/%	CaO/SiO ₂	FeO/%	S/%	转股 指数	筛分 指数	抗磨指数 (-0.5mm)	低温还原 粉化率 (RDI) (+3.15mm)	还原 指数 (RI)
允许 波动 范围	±0.40	±0.50	±0.50	—	(+6.3mm)	(-0.5mm)			
指标	≥57.00	≥1.7	≤9.00	≤ 0.030	≥72.00	≤6.00	≤7.00	≥72.00	≥ 78.00

成品烧结矿的化学成分主要检测：TFe，FeO，CaO，SiO₂，MgO，Al₂O₃，MnO，TiO₂，S，P 等。要求有用成分要高，脉石成分要低，有害杂质（如 S、P）要少。