

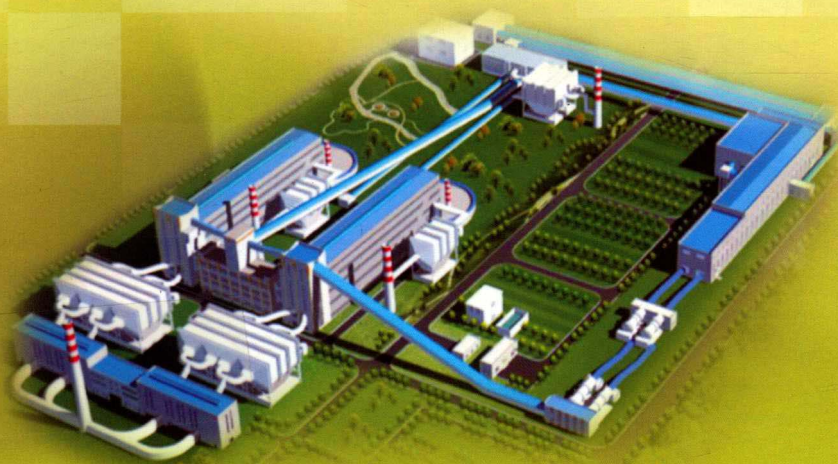


普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

现代烧结造块 理论与工艺

主编 陈铁军



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



主要内容

普通高等教育“十三五”规划教材

现代烧结造块理论与工艺

主 编 陈铁军

副主编 周仙霖 罗艳红 康兴东

进入 21 世纪后，世界钢铁工业竞争不断加剧，发达国家把钢铁造块的发展重点已由早期追求产量和质量，转变到稳定产量和降低能耗和清洁生产上来。我国目前烧结产量已居世界第一，达到国内总产量的 60% 以上，但整体技术水平与国际先进水平相比仍存在差距，其中能耗和环境方面的差距尤为显著。

为了适应工程应用型技术人才对造块工程基础理论及冶金行业基本原则工艺技术的要求，本书

由冶金工业出版社出版，本书可作为冶金工程、冶金物理化学、冶金机械、冶金材料、冶金能源、冶金环境、冶金安全、冶金管理等专业的教材，也可供从事冶金工作的工程技术人员参考。

冶金工业出版社

2018

本书由武汉科技大学陈铁军担任主编，周仙霖、罗艳红和康兴东

前 言

铁矿烧结造块担负着为高炉冶炼提供优质炉料的任务。由于全球范围内高品位块矿稀缺，绝大部分的含铁物料需经加工后才能进行冶炼，使得矿物加工成为现代钢铁联合企业中的重要生产工序。传统的铁矿烧结造块是将细粒铁矿粉制备成供高炉炼铁使用的块状炉料的过程。随着冶金科学技术的进步、优质铁矿资源的不断减少和人类对自身生存环境的关切，现代铁矿造块已不限于制备成块状物料，还要求造块产品具有良好的机械强度、适宜的粒度组成、理想的化学成分和优良的冶金性能。

进入 21 世纪后，世界钢铁工业竞争不断加剧，发达国家铁矿烧结造块的发展重点已由早期追求产量和质量，转变到稳定产量和质量、降低能耗和清洁生产上来。我国目前铁矿烧结造块总产量已达约 10 亿吨，占世界总产量 60% 以上，但整体技术水平与国际先进水平相比仍存在差距，其中能耗和环境方面的差距尤为显著。

为了适应烧结造块行业的快速发展和技术进步，培养高素质的矿物加工工程应用型技术人才，编者结合多年的教学实践经验编写了本书。本书对烧结造块过程基础理论进行了梳理和增补，增加了铁矿石烧结基础特性、烧结成矿铁酸钙理论等新知识，并侧重基本原理与工艺技术相结合；同时本书紧密联系烧结及冶金行业的发展动态，结合我国烧结工艺技术的重大进展，在基本原理和原则工艺技术基础上介绍了最新的铁矿烧结技术及烧结造块方法在锰矿粉、红土镍矿等特殊矿粉造块工艺上的应用。基于目前我国节能减排新形势，本书增加了烧结过程节能、烧结过程除尘及烧结过程减排等章节，对烧结造块过程中节能减排新方法和新技术进行了详细的介绍。

本书由武汉科技大学陈铁军担任主编，周仙霖、罗艳红和康兴东（中冶东

方工程技术有限公司)担任副主编。宝武集团武钢股份公司杨志高级工程师,中冶南方工程技术有限公司罗浩高级工程师,武汉科技大学庄骏、冯杨、万军营、崔进兵等参与了编写及校阅工作。

在本书的编写过程中,编者参考了诸多同行的研究工作和成果,得到了各方面的支持和帮助,在此深表感谢。

本书配套教学课件读者可在冶金工业出版社官网(<http://www.cnmp.com.cn>)输入书名搜索资源并下载。

由于作者的学识及水平所限,书中不妥之处,恳请读者不吝赐教,并提出宝贵的建议或意见。

编者
2017年10月于武汉

习题	6
1 烧结过程概述	1
1.1 烧结的作用与发展	1
1.1.1 烧结的作用	1
1.1.2 烧结的发展	1
1.2 烧结生产工艺流程	3
1.3 带式抽风烧结过程概述	4
习题	6
2 烧结过程燃烧与热量传输规律	7
2.1 烧结料层燃料燃烧基本原理	7
2.1.1 气体燃料燃烧热力学	7
2.1.2 固体燃料燃烧热力学	8
2.1.3 气体燃料燃烧动力学	9
2.1.4 固体燃料燃烧动力学	13
2.2 烧结料层中燃烧带的特性分析	14
2.2.1 烧结过程燃烧带厚度的计算	14
2.2.2 燃烧带特性与燃烧废气组成	16
2.3 固体燃料特性及用量对烧结过程的影响	19
2.3.1 固体燃料的粒度	19
2.3.2 固体燃料的种类	20
2.3.3 固体燃烧的用量	20
2.3.4 燃烧催化剂	21
2.4 烧结料层中的温度分布及蓄热	23
2.4.1 烧结料层中的温度分布特点	23
2.4.2 燃料用量对料层温度分布规律的影响	23
2.4.3 物料粒度对料层最高温度的影响	25
2.4.4 烧结过程的蓄热计算	26
2.5 烧结过程传热规律及应用	30
2.5.1 烧结过程传热现象	30
2.5.2 烧结过程传热规律	32
2.5.3 传热规律在烧结中的应用	35
习题	35

3 烧结过程物理化学原理	36
3.1 水分在烧结过程中的行为与作用.....	36
3.1.1 水分在烧结过程中的作用.....	36
3.1.2 水分的蒸发.....	37
3.1.3 水分的冷凝.....	40
3.1.4 消除烧结料过湿带的主要措施.....	42
3.2 烧结过程中固体物料的分解.....	44
3.2.1 结晶水的分解.....	44
3.2.2 混合料中碳酸盐的分解.....	45
3.2.3 氧化物的分解.....	49
3.3 烧结过程中氧化物的还原及氧化.....	52
3.3.1 铁氧化物的还原.....	52
3.3.2 烧结过程中低价铁氧化物的再氧化.....	54
3.3.3 影响烧结矿 FeO 含量的因素.....	55
3.3.4 氧化—还原规律在烧结生产中的应用.....	57
3.4 烧结过程中元素的脱除.....	60
3.4.1 硫.....	61
3.4.2 砷.....	63
3.4.3 氟.....	64
3.4.4 铅、锌、铜和钾、钠.....	65
习题.....	65
4 烧结料层内气体运动规律	67
4.1 烧结料层结构的物性参数.....	67
4.1.1 混合料的平均粒径.....	67
4.1.2 料粒的形状系数.....	68
4.1.3 料层的空隙率.....	69
4.1.4 烧结料层结构物性参数的变化.....	71
4.2 烧结料层的透气性.....	72
4.2.1 透气性概念.....	72
4.2.2 透气性与烧结矿产量的关系.....	72
4.3 气流在烧结料层中的阻力损失.....	73
4.3.1 气体通过散料层的阻力损失计算.....	73
4.3.2 沃伊斯公式的实际应用.....	77
4.4 烧结过程透气性变化规律.....	78
4.5 改善烧结料层透气性的措施.....	80
4.5.1 改进混合料粒度和粒度组成.....	80
4.5.2 加强烧结料的准备.....	82

4.5.3 强化烧结操作	87
习题	90
5 烧结过程的成矿机理	92
5.1 烧结过程的固相反应	92
5.1.1 固相反应理论	92
5.1.2 烧结过程的固相反应历程与作用	94
5.1.3 烧结过程主要固相反应类型	97
5.2 烧结过程液相的结晶和冷却	99
5.2.1 液相的形成	100
5.2.2 液相的冷凝	104
5.3 铁矿石烧结基础特性	106
5.3.1 铁矿石烧结特性的研究现状	106
5.3.2 铁矿石的烧结基础特性概念	107
5.3.3 矿石烧结基础特性研究的应用前景	108
5.4 烧结矿的成矿过程及其相图分析	109
5.4.1 铁—氧体系	110
5.4.2 硅酸铁体系 (FeO-SiO_2)	111
5.4.3 硅酸钙体系 (CaO-SiO_2)	112
5.4.4 铁酸钙体系 ($\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$)	114
5.4.5 $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 体系	115
5.4.6 钙铁橄榄石体系 (CaO-FeO-SiO_2)	115
5.4.7 钙镁橄榄石体系 (CaO-MgO-SiO_2)	116
5.4.8 $\text{CaO-SiO}_2\text{-TiO}_2$ 体系	117
5.4.9 MnO-SiO_2 和 MnO-FeO-SiO_2 体系	118
习题	119
6 烧结矿的矿物组成与结构	120
6.1 烧结矿的常见矿物组成及其性质	120
6.2 烧结矿的常见矿物结构及其性质	121
6.2.1 宏观结构	122
6.2.2 微观结构	123
6.3 影响烧结矿矿物组成和结构的因素	124
6.3.1 烧结料配碳量的影响	124
6.3.2 烧结矿碱度的影响	125
6.3.3 烧结料化学成分的影响	125
6.3.4 操作工艺制度的影响	127
6.4 烧结矿矿物组成和结构对烧结矿质量的影响	128
6.4.1 烧结矿中不同矿物组成、结构对其强度的影响	128

6.4.2 烧结矿的矿物组成、结构对其还原性的影响	130
习题	131
7 烧结原料及其特性	132
7.1 含铁原料	132
7.1.1 天然铁矿石	132
7.1.2 二次含铁原料	135
7.1.3 国内外铁矿石资源概况	137
7.1.4 铁矿石的评价	139
7.2 熔剂	140
7.2.1 熔剂的种类	140
7.2.2 烧结料中加入熔剂的作用	142
7.2.3 碱性熔剂的质量要求	144
7.3 烧结燃料	145
7.3.1 固体燃料	145
7.3.2 烧结对固体燃料的要求	146
7.3.3 气体燃料的种类与特性	146
7.3.4 液体燃料	147
习题	148
8 烧结原料的准备与加工	149
8.1 原料场技术	149
8.1.1 原料场发展	149
8.1.2 原料场类型及现状	150
8.1.3 原料场发展趋势及特点	151
8.1.4 原料场技术进步	152
8.2 原料的接受与贮存	154
8.2.1 原料的受卸	154
8.2.2 贮料场设施	156
8.3 原料的中和混匀	157
8.3.1 混匀的一般方法	157
8.3.2 混匀配料设施	158
8.3.3 混匀工艺流程及主要设备	158
8.3.4 混匀矿质量评价	159
8.4 原料的破碎与筛分	161
8.4.1 熔剂的破碎与筛分	161
8.4.2 燃料的破碎与筛分	162
8.5 配料工艺及计算	163
8.5.1 配料的目的是和意义	163

8.5.2 配料方法	164
8.5.3 配料计算	165
8.6 烧结料的混合与制粒	165
8.6.1 混合的目的与方法	165
8.6.2 混合与制粒效果的评价	167
8.6.3 影响混匀和制粒的因素	168
习题	171
9 混合料的烧结	172
9.1 布料	172
9.1.1 铺底料	172
9.1.2 烧结料的布料	173
9.2 烧节点火与保温	175
9.2.1 点火目的与要求	175
9.2.2 影响点火过程的主要因素	175
9.2.3 点火技术的改进	177
9.2.4 保温	178
9.3 烧结主要工艺参数选择	178
9.3.1 烧结风量与负压的选择	179
9.3.2 烧结料层厚度的选择	179
9.3.3 返矿平衡的控制	180
9.3.4 烧结过程的控制	180
习题	182
10 烧结矿的处理	183
10.1 烧结矿的破碎筛分	183
10.2 烧结矿的冷却	184
10.3 烧结矿的整粒	186
习题	187
11 烧结矿质量评价	188
11.1 化学成分及其稳定性	188
11.2 粒度组成与筛分指数	188
11.3 转鼓强度	189
11.4 落下强度	190
11.5 还原性	191
11.6 低温还原粉化性	193
11.7 还原软化—熔融特性	195
习题	196

12 烧结新工艺与新技术	197
12.1 低温烧结技术与应用	197
12.1.1 低温烧结法的实质与要求	197
12.1.2 实现低温烧结生产的措施	198
12.1.3 低温烧结技术的应用	198
12.2 小球团烧结法	199
12.2.1 小球团烧结法的原理	199
12.2.2 生产工艺流程和特点	199
12.2.3 小球团烧结法的工业应用	201
12.3 富氧烧结与双层烧结技术	201
12.3.1 富氧烧结法	201
12.3.2 双层烧结法	202
12.4 热风烧结法	203
12.4.1 热风烧结法原理	203
12.4.2 热风烧结工艺因素分析	204
12.4.3 热风烧结技术的应用	206
12.5 废气循环烧结法	207
12.5.1 废气循环烧结的基础	207
12.5.2 废气循环烧结模式及分析	208
12.5.3 废气循环烧结典型工艺	209
12.6 复合造块法	212
12.6.1 复合造块工艺流程与技术特点	213
12.6.2 复合造块法的作用与优势	215
12.6.3 复合造块法的工业实践	216
习题	217
13 其他矿物的烧结	218
13.1 锰矿粉的烧结	218
13.1.1 锰矿石的烧结特性	218
13.1.2 强化锰矿石烧结的主要措施	220
13.2 红土镍矿的烧结	220
13.2.1 红土镍矿的烧结特性	221
13.2.2 强化红土镍矿烧结的主要措施	221
13.3 铬铁矿的烧结	221
13.3.1 铬铁矿的烧结特点	222
13.3.2 强化铬铁矿烧结的主要措施	222
13.4 钒钛磁铁矿的烧结	223
13.4.1 钒钛磁铁矿的烧结特点	223

13.4.2 强化钒钛磁铁矿烧结的主要措施	224
习题	225
14 烧结过程节能	226
14.1 降低烧结能源消耗的措施	226
14.1.1 工艺节能	226
14.1.2 设备节能	227
14.2 烧结过程余热利用	227
14.2.1 烧结余热的产生	228
14.2.2 余热利用技术	228
14.2.3 我国余热利用发展趋势	232
习题	233
15 烧结过程除尘	234
15.1 烧结烟气粉尘特性	234
15.2 烧结除尘技术	235
15.2.1 除尘技术的发展	235
15.2.2 烧结原料准备系统除尘	235
15.2.3 烧结机烟气除尘	236
15.2.4 烧结机尾烟气除尘	236
15.2.5 整粒系统除尘	237
15.2.6 配料室除尘	237
15.3 烧结粉尘资源化应用	237
15.3.1 烧结除尘灰中铁的利用	238
15.3.2 制备肥料	238
15.3.3 制取氯化铅	238
习题	238
16 烧结过程减排	239
16.1 烧结过程脱硫	239
16.1.1 烧结过程 SO_2 的排放	239
16.1.2 SO_2 控制技术	240
16.2 烧结过程脱硝	245
16.2.1 烧结过程 NO_x 的排放	245
16.2.2 NO_x 控制技术	246
16.3 烧结过程二噁英排放及控制	250
16.3.1 烧结过程二噁英的排放	251
16.3.2 二噁英控制技术	251
16.4 烧结烟气污染物协同处理一体化技术	253

1

烧结过程概述

1.1 烧结的作用与发展

1.1.1 烧结的作用

烧结工业是整个钢铁工业生产中的一个不可缺少的重要环节，其生产好坏对钢铁生产关系极大。随着工业的发展，能直接用于高炉冶炼的富矿越来越少，使得人们不得不开采贫矿（含铁品位 25%~40%）。但贫矿直接入炉冶炼是不经济的，所以，仍需经过选矿处理，要选矿，必须对矿石进行破碎研磨，选矿后的矿粉，品位提高了，但其粒度不符合高炉冶炼要求，因此，对于开采和筛选出来的矿粉都必须经过造块后方可用于冶炼。

烧结生产的主要任务是将铁矿粉进行造块，为高炉冶炼提供优质的人造富矿。烧结过程的基本原理是将有用矿物粉末（含铁原料、熔剂、燃料及返矿等）按一定配比进行配料，并配以适当的水分，经混匀制粒后铺到烧结机的台车上，烧结料经表面点火后，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、化学变化，并产生一定的液相，随着料层温度降低冷却，液相将矿粉颗粒固结成块，这个过程称为烧结。

烧结矿是人工制造的矿石，它与天然矿石相比有许多优点，通常含铁量高，粒度组成均匀，气孔率大，成分稳定，还原性能好；含碱性熔剂，造渣性能好，具有良好的冶金性能；烧结过程可除去 80%~90% 的有害杂质如硫（S）、磷（P）和砷（As）等。高炉使用人造富矿（烧结矿、球团矿），可提高产量，降低燃料消耗。另外，通过造块过程，可以利用工业生产中的副产品，如高炉灰、转炉尘、铁屑、轧钢皮、硫酸渣等，合理利用资源，节约生产成本。

高炉冶炼要取得好的技术经济指标，首要的条件就是要有好的原料和合理的炉料结构，烧结生产的作用就是为高炉制造精良的原料。高炉每生产 1t 生铁约需 1.5~1.8t 铁矿石，其中采用的烧结矿和球团矿所占的比例称做熟料比，目前，国内许多高炉的熟料比已达 80%，随着高炉的大型化，对“精料”的要求越来越高，熟料比还会进一步提高。

1.1.2 烧结的发展

1.1.2.1 烧结设备与生产发展

1897 年，T. Hunting Ton 等申请了硫化铅矿焙烧专利，而后用于生产，主要采用烧结设备完成鼓风间断烧结作业。1905 年，E. J. Savelsberg 首次将烧结锅用于铁矿粉烧结（鼓风）。1909 年，S. Penbaeh 申请用连续环式烧结机烧结铅矿石。1911 年，A. S. Dwight 和

R. L. Lloyd 首次发明抽风连续带式烧结机用于铁矿粉烧结, 即 D-L 型烧结机。1914 年, J. E. Greenwalt 发明抽风间断烧结盘用于铁矿粉烧结, 其称为 G. W 型烧结机。

在 20 世纪初期, 烧结工艺主要循着两个不同的途径发展: 一方面是不不断改进间歇式烧结法, 提高间歇式烧结机的效率, 其中最具代表性的是 Greenwalt 烧结机, 在早期规模相对较小的烧结生产中被应用多年; 另一方面是抽风连续带式 D-L 烧结法的不断完善和发展, 随着钢铁生产规模的不断扩大, D-L 烧结法逐渐演变为主要烧结方法, 在现代大型钢铁企业中几乎是唯一的烧结方法。

带式烧结机因生产能力大而在铁矿石烧结中广泛应用。随着钢铁工业发展, 为达到烧结矿产量要求, 其设备面积也不断增大。例如日本等国将单机最大烧结机面积从 20 世纪 70 年代开始, 已从 400m^2 、 500m^2 扩大到 600m^2 , 台车宽从 4m 增加到 5m。我国 2010 年在太原钢铁公司及随后在其他公司建成投产的 660m^2 烧结机是目前世界上单台面积最大之一。烧结设备大型化是国内外从经济考虑追逐的目标, 因为设备大型化, 使生产量增大, 而设备投资相对降低; 生产经济效益增大, 其相对设备维修和管理费用却大大降低。

目前, 全世界烧结机年生产能力已达到 14 亿~15 亿吨。据统计, 全世界高炉炉料中, 烧结矿平均占 50%, 球团矿占 35%, 块矿占 15%, 其中日本、德国和俄罗斯等国烧结矿入炉比达到 80% 以上, 而美国因球团矿生产量大, 烧结矿入炉比仅 24% 左右。

我国钢铁工业中造块主要靠烧结法, 向高炉供入炉料占 90% 以上。带式烧结机台数 (包括不同大小面积) 2015 年统计共有 1150 台, 重点钢铁企业有 525 台, 总计生产能力约 8 亿吨。

1.1.2.2 烧结科学技术的发展

自 20 世纪 70 年代以来, 在世界造块领域中, 由于追求更大的经济效益, 使烧结科学技术发展进一步深化, 包括以下几个方面:

(1) 加强烧结理论研究。为更好满足冶炼要求, 力求提高烧结矿产品质量, 而强化了烧结理论研究工作。一方面探明和掌握造块工艺规律, 提高单台烧结机产量; 另一方面查明新的条件下造块机理, 为冶炼提供优良烧结矿, 如高碱度烧结矿、低温烧结、料层透气性与质量传递、烧结矿成矿机理、铁矿石烧结基础特性等方面的理论研究。

(2) 改进并寻找新烧结工艺。为实践已研究出的烧结理论, 已被证实利用的工艺有: 改善原料中和 (建立智能封闭式原料场); 改善原料准备工艺 (添加高效烧结添加剂、燃料及熔剂分加、搅拌混合、强化制料等); 改进烧结技术 (厚料层、高负压、高碱度、低能耗、混合料预热、富氧和热风烧结、偏析布料与保温、循环烟气烧结、含氢燃气顶吹); 强化烧结矿产品整粒等。

(3) 强调环境保护和重视综合利用。加强烟尘捕集和回收, 重新返回到烧结料中利用, 为此, 对产尘源点皆设置新型收尘设备; 对热源和噪声采用隔离和防护措施; 对烟气中 SO_x 、 NO_x 及二噁英等进行减排与治理; 改善劳动条件等, 其中烧结厂余热利用及烟气治理是当前重要课题。

(4) 提高设备自动化和智能化水平。产品质量的稳定均一, 与生产过程的自控和监控水平有关。国内外已广泛采用了自动配料; 对混合料水分、料层透气性与料层厚度、点火温度、烧结终点、烧结矿 FeO 含量 (导磁性法) 都采用了自动监控装置。

1.2 烧结生产工艺流程

烧结生产工艺流程通常由下列几部分组成:

(1) 原料的堆放和混匀。老式的烧结厂一般都建有铁料仓库、熔剂仓库、消石灰及燃料仓库来接受和贮存物料, 20 世纪 80 年代以后新建的烧结厂一般都建有大型混匀料场, 目前许多新建钢厂, 都开始建设无人值守的全封闭混匀料场。混匀的目的是使原料的化学成分稳定, 波动值控制在一定范围内, 提高高炉产量和降低焦比。

(2) 原料运输。烧结厂的物料运输一般都采用胶带输送机, 这种设备输送量大, 投资省, 易维护。

(3) 燃料和熔剂的破碎和筛分。燃料(无烟煤、焦粉)通常采用对辊(或反击式破碎机)粗破加四辊细破的两段破碎流程; 熔剂(石灰石、白云石)一般采用锤式破碎机破碎和检查筛分的闭路流程。

(4) 配料。根据规定的烧结矿化学成分, 通过计算, 将使用的各种原料按比例进行给料。国内普遍采用重量及验算法配料。现代烧结一般都实行全自动配料, 从而使烧结矿的物理化学指标越来越好, 化学成分的波动范围越来越小。

(5) 一次混合。一次混合的目的主要是加水润湿, 将物料混匀。

(6) 二次混合。二次混合除添加少量的水分继续将物料进行混匀外, 主要目的是造球制粒, 改善混合料在烧结过程中的透气性。

(7) 布料和点火。布料是将铺底料、混合料先后平铺在烧结机台车上。点火的目的是供给混合料表层以足够的热量, 使其中的固体燃料着火燃烧, 同时使表层混合料在点热器内的高温烟气作用下干燥、预热脱碳和烧结。

(8) 烧结。在点火高温的作用下, 产生一系列的物理、化学反应, 并将混合料烧结成合格的烧结矿。

(9) 抽风系统。这一系统包括风箱、降尘管、集气管(大烟道)、除尘器、抽风机、烟囱等, 该系统的作用是为烧结料层内提供足够的空气(即供氧), 抽风烧结过程若没有空气(风量), 燃烧反应则会停止, 料层中则因不能获得必要的高温, 烧结过程将无法进行。为了保证料层中固体燃料迅速而充分的燃烧, 在点火的同时, 自料面吸入足够的空气是必不可少的, 这一任务需借助于抽风机来实现。与此同时, 强大的风力自上而下地穿过烧结料层, 抽风烧结的废气中含有大量的粉尘及有害化学成分(SO_2 、 NO_x 和二噁英等), 因此, 废气必须经过除尘、脱硫脱硝等系统处理后方可排放到大气中。

(10) 烧结矿成品处理系统。该系统包括热破碎、热筛分、冷却、冷破碎、冷筛分及成品运输系统。该工序的作用是对成品烧结矿进行整粒分级, 粒度 5~50mm(或 40mm)为成品烧结矿, 其中分出部分 10~20mm(或 10~25mm)的作为铺底料, 小于 5mm 的为返矿。随着烧结技术的进步, 20 世纪 90 年代新建的烧结厂已取消了热矿筛, 为实现自动配料创造了良好的条件。有的厂还取消了冷破碎, 减少了工艺环节。

(11) 返矿系统。在烧结工艺的各工序中, 物料的运输、装卸的落差、烧结的抽风、冷却的气流作用、成品的整粒等都会产生部分散料和小于 5mm 的物料, 这部分物料通称为返矿。其中大部分实际上是熟料, 且含铁较高, 还可作为造球核粒, 因此必须回收

利用。

(12) 除尘系统。其任务是收集烧结厂各工序扬尘点的废气。依据不同的物料及物料的不同特性，分别采用不同的除尘方式和不同的除尘设备。通常，燃料采用袋式除尘器，其他一般都采用各种规格的电除尘器，含尘的气体经除尘器净化后，废气排入大气，粉尘经加水润湿后返回到该料种的矿槽内，集中参加配料，重新获得利用。

(13) 脱硫脱硝系统。其任务是脱除烧结烟气中的 SO_x 、 NO_x 、二噁英及部分重金属成分。

我国 20 世纪 70 年代以前建的烧结厂，工艺并不完善，且烧结机单台面积较小，一般有 $13.2m^2$ 、 $18m^2$ 、 $24m^2$ 、 $36m^2$ 、 $50m^2$ 、 $75m^2$ 、 $90m^2$ 和 $130m^2$ 8 种规格。70 年代以后建的烧结厂，不仅工艺完善，而且烧结设备趋于大型化。图 1-1、图 1-2 为太钢 $450m^2$ 烧结机工艺流程及设备联系图，除少量设备引进外，绝大部分都由我国自行设计和制造，代表了国内 20 世纪 90 年代以后烧结工艺水平。目前烧结装备水平不断提高，从 $130m^2$ 到 $660m^2$ 各种规格均已实现国产化，但其原则工艺流程变化不大。

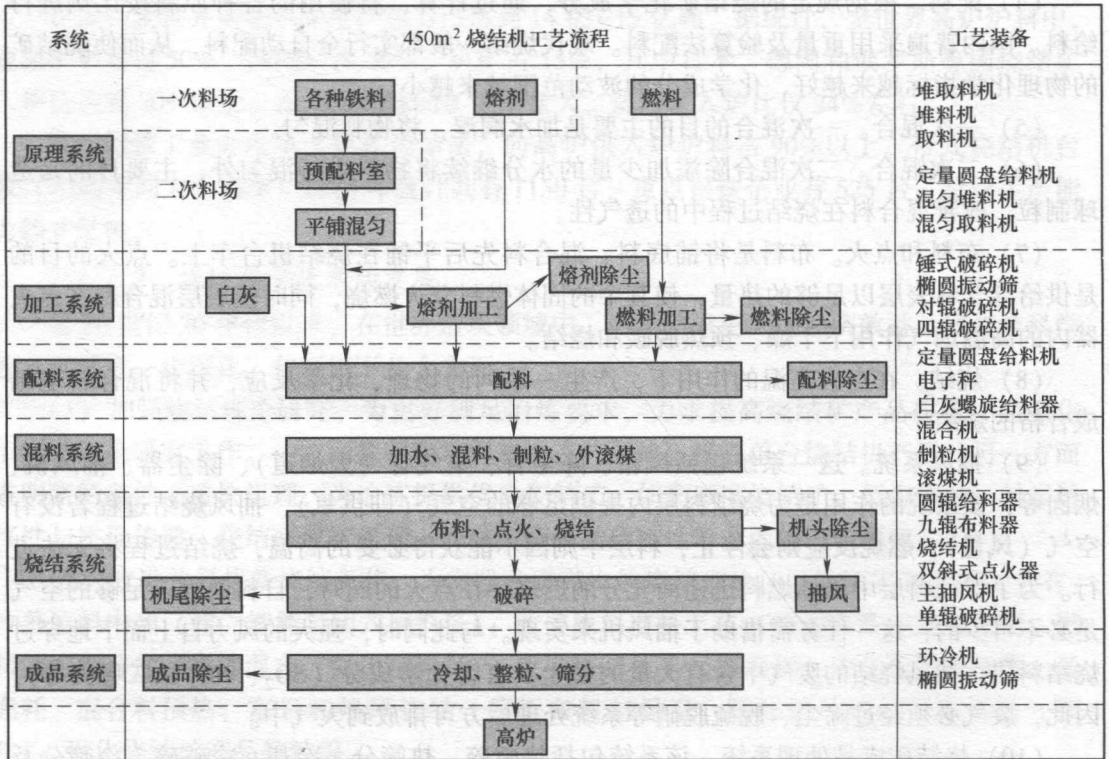


图 1-1 大型烧结机原则工艺流程图

1.3 带式抽风烧结过程概述

烧结是目前国内外钢铁企业最广泛采用的含铁原料造块方法。现在各烧结厂使用的烧结机，几乎都是自下部抽风的带式烧结机。据此，烧结过程可以概括为：将烧结混合料（含铁原料、燃料、熔剂及返矿等）配以适量的水分，经混匀及制粒后铺到烧结机的台车

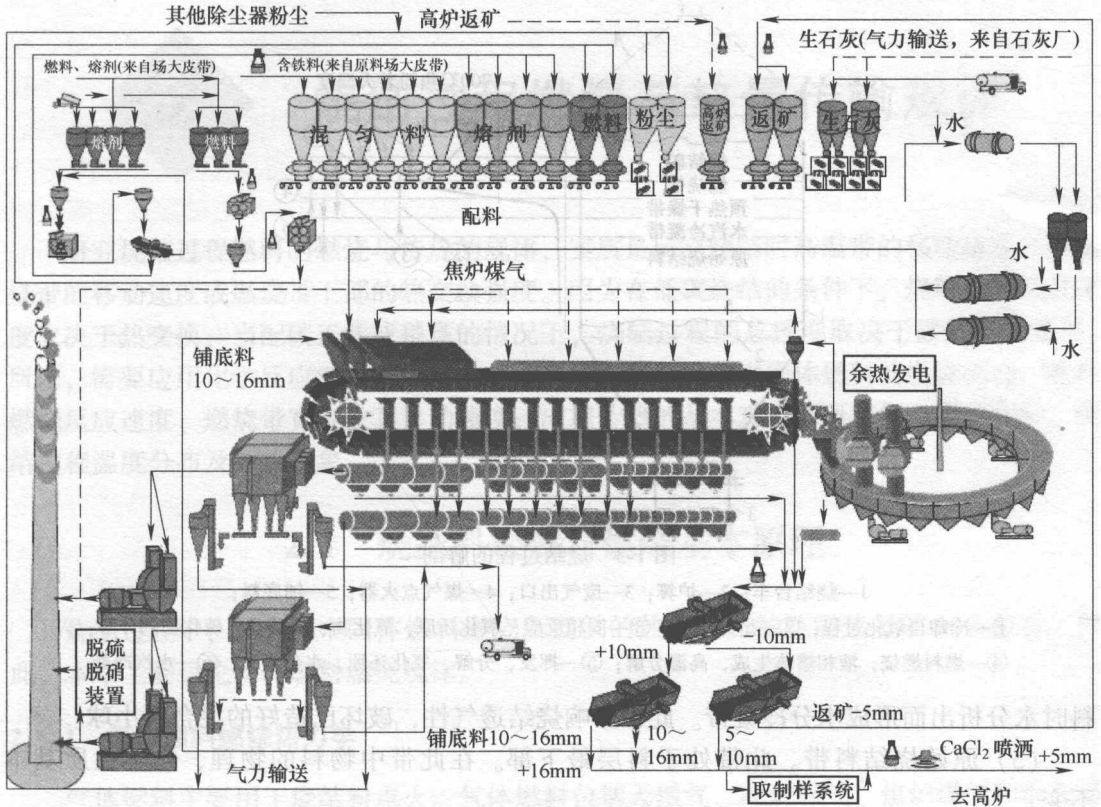


图 1-2 大型烧结机设备联系图

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、化学变化, 最终固结成烧结矿。

对正在烧结过程的台车进行解剖, 结果如图 1-3 所示。根据温度的高低和其中的物理化学变化, 自上而下可以将正在烧结的料层分为 5 个带, 即烧结矿带、燃烧带、干燥预热带、水分冷凝带及原始烧结料带。

(1) 烧结矿带, 即成矿带, 主要反应是液相冷凝、矿物析晶、预热空气。此带表层强度较差, 其原因有: 一是烧结温度低; 二是受空气刷冷作用, 表层矿物来不及析晶, 玻璃质较多, 内应力很大。表层厚度一般为 40~50mm, 只有在烧结机点火器采取保温措施才能改善其表层强度。近年来由于烧结采用高料层作业, 表层所占比例相对减少, 因此它对烧结矿强度总体影响较少。

(2) 燃料带, 又称燃料燃烧带, 温度可达 1100~1500℃。此带中混合料软化、熔融及形成液相。该层厚度 15~20mm, 此带对烧结过程产量及质量影响很大。该带过宽则料层透气性差, 导致产量低; 过窄则烧结温度低, 液相量不足, 烧结矿黏结不好, 强度低。该带的宽窄受燃料粒度、抽风量等因素影响。

(3) 干燥预热带。此带主要反应是水分蒸发, 结晶水及石灰石分解, 矿石的氧化还原以及固相反应等。此带特点是热交换迅速, 由于热交换剧烈, 废气温度很快从 1500℃ 下降到 60~70℃。

(4) 水分冷凝带, 又称过湿带。因为上层高温废气中带入较多的水气, 进入下层冷