

现代钢铁 工业技术

烧 · 结 · 点 · 火 · 炉

魏 景 禹 编

冶金工业出版社

现代国际 工业技术

现代国际工业技术

现代国际工业技术

现代钢铁工业技术

烧 结 点 火 炉

魏景禹 编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书围绕点火过程对烧结矿质量和产量的影响,介绍了点火炉的结构,适于点火炉使用的各种燃料的燃烧技术,各种常用燃烧器的结构及特性,炉衬结构及所用的耐火材料,施工技术,点火炉的调整与控制方法等,此外还介绍了点火炉设计的计算方法。

本书可供从事炼铁和烧结的科技人员、工人以及大专院校有关专业的师生参考,也可供工业炉专业的工作者参考。

现代钢铁工业技术
烧 结 点 火 炉
魏景禹 编
(内部发行)

冶金工业出版社出版发行
(北京北河沿大街嵩祝院北巷35号)
河北省阜城印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 12 3/4 字数 303 千字
1987年3月第一版 1987年3月第一次印刷
印数00,001~2,000册
统一书号: 15062·4534 定价2.90元

出版说明

几年来冶金工业部引进了不少先进技术和设备，并且在消化和吸收这些先进技术、先进设备方面做出了成绩。

为了使冶金系统广大工程技术人员、工人更全面更系统地了解我国引进的先进技术和设备性能，在消化和吸收这些新技术新设备过程中有所提高，有所创新，加速我国钢铁工业的技术改造，提高我国的冶金科技水平，冶金工业部组织编写了《现代钢铁工业技术》丛书，准备分册陆续出版，由我社内部发行。这套丛书包括《烧结》*、《烧结点火炉》、《炼焦与煤气精制》*、《炼焦化学产品的精制》、《炼铁》*、《转炉炼钢》、《小方坯连铸》*、《连轧钢管》、《热连轧机自动控制》、《水处理设施》（上*、下册）、《计算机》、《仪表控制》、《电气工程》等。

本书是这套丛书中的一种，它结合引进的先进技术，介绍了烧结点火炉的结构、附属设备及其对烧结生产的影响，并对所取得的革新改造成果进行了总结。

带*号的书已出版发行。

一九八六年四月

前言

近年来,我国烧结点火技术随着烧结工艺技术的发展也相应得到提高,如点火质量改善,点火炉使用寿命延长,点火燃料和烧结燃料降低等。几年来的经验告诉我们,对老式点火炉进行更新和改造,所费资金不多,而综合经济效益却较大。同时,随着生产的发展和技术的进步,烧结机点火炉的更新换代已是大势所趋,势在必行。本书结合引进技术,对近几年烧结机点火炉的革新改造成果进行了比较系统的总结,希望对烧结厂的技术改造和更好地使用点火炉能有所帮助。

本书除对点火炉的关键设备——燃烧器(其中包括作者和有关同志花了几年时间研制的混合型煤气烧嘴系列)作了重点介绍外,还介绍了不定形耐火材料的炉衬结构及施工技术,希望对工业炉工作者也有参考作用。宝钢烧结厂安装有我国最大的 450m^2 烧结机,它具有七十年代世界先进技术水平,本书在编写过程中,结合各章内容,对此作了介绍。

本书在编写过程中,曾得到各方面的支持。唐先觉高级工程师,江芝瑞和宁德乙同志分别对本书各章作了技术审阅,李希超高级工程师对全书进行了统一审定,张忠兰同志协助进行了全书图表的收集和整理工作,在此谨向他们致以谢意。

由于水平有限,经验不足,书中错误与不当之处请广大读者批评指正。

魏景禹

1986年3月

目 录

第一章 烧结混合料的点火	1
第一节 点火对烧结生产的影响.....	1
第二节 点火对烧结能耗的影响.....	9
第二章 点火炉的型式和结构	29
第一节 点火炉型式的发展.....	29
第二节 点火炉的类型、性能 and 特点.....	30
第三节 点火炉的一般结构.....	47
第四节 管道及附件.....	55
第三章 点火燃料的燃烧和燃烧器	62
第一节 点火燃料的选用.....	62
第二节 燃料的燃烧技术.....	69
第三节 燃烧计算.....	85
第四节 燃烧器.....	93
第四章 耐火炉衬材料、结构及施工	130
第一节 概述.....	130
第二节 常用耐火材料.....	130
第三节 常用隔热材料.....	146
第四节 不定形耐火材料的炉衬结构.....	141
第五节 耐火炉衬的施工.....	147
第五章 点火炉的操作与控制	156
第一节 点火炉的生产准备与投产.....	156
第二节 点火炉的控制和调节.....	161
第三节 点火炉的降温、停炉和修炉.....	168
第六章 点火炉的设计计算	171
第一节 设计方案的确定.....	171
第二节 炉体主要尺寸的计算.....	175
第三节 空气和燃料消耗量的计算.....	177
第四节 管道阻力计算及风机选择.....	180
第五节 耐火炉衬的传热计算.....	184
第六节 炉体钢结构的计算.....	187
参考文献	197

第一章 烧结混合料的点火

第一节 点火对烧结生产的影响

一、点火与烧结生产的关系

点火的首要任务，是将烧结混合料中的固体燃料点燃，并使烧结过程得以进行。因而，点火设备所供给的热量，除了使固体燃料达到着火点以外，还要额外供给表层混合料一定的热量，使之达到一定的温度，以使烧结过程能够进行。

从烧结过程的时间—温度曲线可以看出（见图1-1），点火温度太低，如 $T_0 = 1100\text{K}$ （830℃），表层混合料积蓄的热量太少，不足以给下层料创造充分点火的条件，料层的最高温度不能逐渐上升，无法使料层达到烧结温度，表明烧结过程不能进行。在将点火温度提高50℃后，即 $T_0 = 1150\text{K}$ （880℃），料层的最高温度沿着料层厚度方向上升，直至达到烧结温度，这表明烧结过程能够进行。如果点火时间不足，那么点火温度还要提高，以确

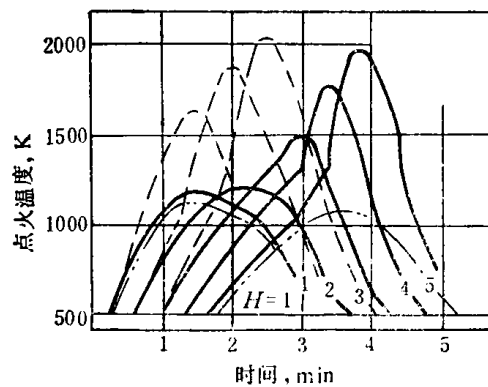


图 1-1 点火温度对料层温度的影响

---1100K, —1150K, ---1300K, H —料层厚度, cm

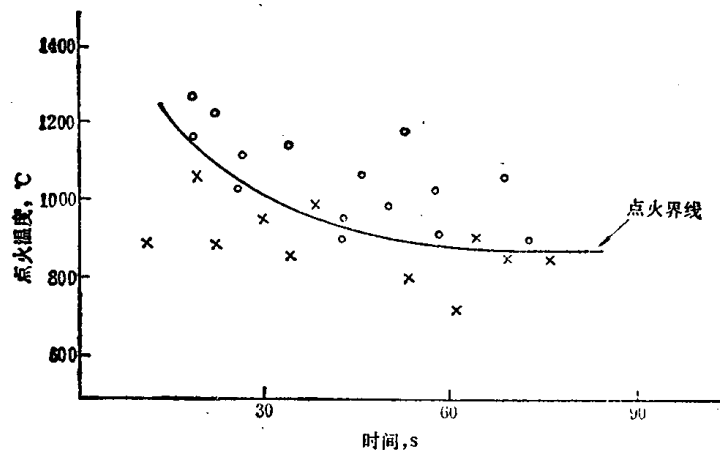


图 1-2 点火温度和点火时间的关系

○—烧结过程能进行的点火条件；×—烧结过程不能进行的点火条件

保表层混合料能够积蓄一定的热量。图1-2示出了点火设备中点火温度与点火时间的关系，图中曲线是点火界限，在此界限以下，烧结过程是无法进行的，只有在此界限以上，烧结过程才能得以进行。

但是，实现上述条件只是达到了起码的点火界限，不能认为是全部完成了点火任务。因为在那种条件下，表层烧结矿的质量很差，它缺乏足够的热量，不能使表层混合料达到烧结温度。为了使混合料温度提高到所需要的烧结温度，需要大量的热量。即使达到规定的烧结温度后，也还要维持一定的时间，以使矿物的再结晶能充分地进行。

自六十年代以来，发展了广义的点火观念，即多段热工过程。它不满足于仅仅将燃料点燃或使表层混合料达到烧结温度，而是要全面地考虑产量、质量、能耗，使点火过程更为完善。六十年代以前的点火过程之所以不够完善是由于：第一，在烧结混合料达到较高的温度后，如果使冷却速度过快，烧结矿中玻璃相的成分将大大增加，使脆性随之增加。根据国内有关研究单位的测定，点火后对料层进行快速冷却时，表层烧结矿中的玻璃相成分高达20~21%，这样，质量合格率将大大下降。第二，在烧结过程中，由于料层的自动蓄热作用，而出现上层混合料热量不足，下层混合料热量过剩的现象。这当然会影响烧结矿的质量和固体燃料的有效利用。为了使点火过程更为完善，日本钢铁厂首先改革了点火工艺，提出了保温处理的概念，即在原来的点火制度的基础上，又增加了保温处理制度。点火后经过保温处理的烧结料层，烧结矿质量不仅得到改善，而且单位烧结矿总的耗热量下降。

随着烧结技术的不断革新和发展，近年来料层厚度有了明显的变化，薄料层烧结逐渐向厚料层烧结发展。目前，在个别国家烧结机的料层厚度甚至已达到750mm以上，相当于薄料层料厚的三倍以上。厚料层烧结对于改善烧结矿质量和降低燃料消耗都有明显的好处。

大幅度提高料层厚度，无疑降低了表层烧结矿层在整个烧结矿层中的比重。同时，由于厚料层烧结提高了烧结矿的强度，返矿量明显减少。这样，延长点火，增加保温等对改善表层矿质量的努力就显得不那么重要了。另一方面，由于保温处理不仅要额外地多消耗一部分点火燃料，而且给提高烧结矿产量带来了不利的影响，因而在某些国家，对已经由点火器发展了的点火保温炉，先后出现了关闭保温后段，以至于全部关闭保温段的现象。这样做，当然使表层烧结矿的质量有某些降低。但是从厚料层的整体来看，并没有产生很大的影响。因此，某些焦炉煤气非常紧缺，价格又十分昂贵的国家，不得不在某种程度上，牺牲表层烧结矿的质量，以达到节约点火煤气的目的。

此外，烧结氧化锰矿物时，出现了不同于铁矿物烧结的特殊现象，即当采用适合于铁矿物的点火制度时，在点火区内出现严重的爆裂飞溅现象。这不仅严重影响料层的透气性，而且使点火炉内结瘤。如不及时清除点火炉上的这些粘附物，则将使点火过程难以进行。例如国内某厂，在进行锰矿烧结时，当点火温度控制在1470~1520K (1200~1250℃) 时，结瘤周期仅25~35天。产生爆裂的原因，是由于锰的氧化物 MnO_2 与 Mn_2O_3 在氧势图中的位置比铁的氧化物 Fe_2O_3 高得多，因此具有强烈的分解趋势；在烧结点火范围内，锰的氧化物均能产生剧烈分解，使表层混合料发生爆裂飞溅现象。从台车飞溅出的锰矿混合料细粉，与炽热的点火炉内衬接触后发生粘附现象，并形成低熔点的化合物。随着细粉的不断飞溅，粘附物愈来愈厚，形成钟乳状，影响正常的点火。这样就必须根据锰矿的特点，

采用先预热，后点火的工艺制度。其他含有结晶水的矿物，在点火时，也大都产生不同程度的爆裂现象。因而也都应根据矿物的特点，制订合适的点火工艺制度。

前面已经提到，点火时除了给料层供给一定的热量，还要供给足够的氧量，以使料层中的固体燃料能充分地燃烧。供热和供氧，都是通过燃烧烟气作为媒介物来实现的。如果烟气中的氧含量不足，将推迟固体燃料的燃烧以至不能完全燃烧。这不仅浪费能量，而且由于表层混合料得不到充足的热量，使烧结矿强度受到影响，同时 FeO 含量将有可能增高。为了正确地判断燃烧烟气中是否有足够的氧含量，卡佩尔提出了炉区氧指数概念，其数学表达式为：

$$\text{氧指数 } S = \frac{\text{点火烟气中的含氧量}}{\text{表层固体燃料燃烧所需氧量}}$$

氧指数大小主要与混合料中的固体燃料量和点火烟气的发热量有关，为了满足固体燃料燃烧的要求，氧指数应当等于或者大于 1；当氧指数小于 1 时，说明烟气中的含氧量不足，应提高点火煤气的发热量；或者提高风箱的真空度，以增加点火区单位面积料层的通风量，亦即使点火燃烧烟气量增加，从而使烟气中的氧总量增多。图 1-3 表示了氧含量与煤气发热量及混合料中固体燃料量的关系。

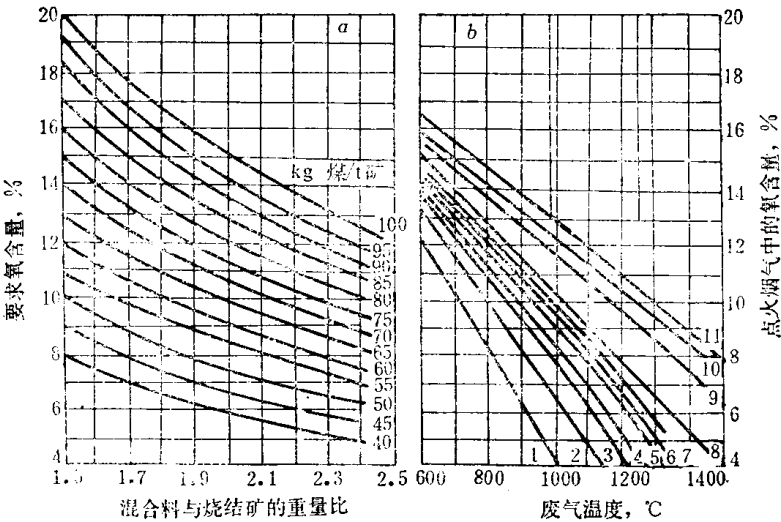


图 1-3 氧含量与煤气发热量、混合料中固体燃料量的关系

a—在全抽风的情况下，要求点火烟气中的最小氧含量；b—点火烟气的氧含量 $Q_{DW}^y =$ 低发热值， kcal/m^3 (kg)；H—高炉煤气；K—焦炉煤气；E—天然气
 1— $Q_{DW}^y = 692$ (H)；2— $Q_{DW}^y = 834$ (H)；3— $Q_{DW}^y = 1100$ (E+H)；4— $Q_{DW}^y = 1200$ (E+H)；5— $Q_{DW}^y = 1500$ (E+H)；6— $Q_{DW}^y = 1500$ (K+H)；7— $Q_{DW}^y = 2000$ (E+H)；8— $Q_{DW}^y = 2000$ (K+H)；9— $Q_{DW}^y = 4265$ (K)；10— $Q_{DW}^y = 7537$ (E)；11— $Q_{DW}^y = 9680$ (重油)

例如混合料与烧结矿的重量比为 1.8 时，固体燃料消耗为 50 kg (干煤)/t (烧结矿)，要求点火烟气的氧含量应为 8.5%，当点火温度在 1200℃ (1473K) 时，则要求点火煤气的发热量在 3373 kJ/m³ (2000 kcal/m³) 以上。

要实施合理的点火工艺，就必须有完善的点火设备。由于点火炉长期在高温下工作，当点火炉结构不合理，或炉衬材料选择不当时，就容易损坏。点火炉在烧结机定期检修期限以内提前损坏的情况，是经常发生的，以致不得不停止生产来修复点火炉。这不但减少了烧结机生产作业时间，降低了烧结矿产量，还使炼铁厂的正常生产受到一定影响。点火炉的使用寿命短，这一问题已经引起我国烧结工作者的很大关注。

二、点火对烧结矿产量的影响

烧结过程包含燃料燃烧和气体传热两个相关的过程。增加料层的通风量可加快燃料的燃烧速度和气体的传热速度，因而能加快烧结过程。在点火阶段，为了避免点火燃料消耗过多，往往减小风箱的真真空度，以降低料层中的通风量，这样料层的传热过程同时受到抑制，而使烧结速度在点火区受到影响，也就是说烧结面积的有效利用受到影响。这个关系我们可以从一般的铁矿粉烧结过程的温度和时间曲线（图1-4）看出：在1min左右的点火

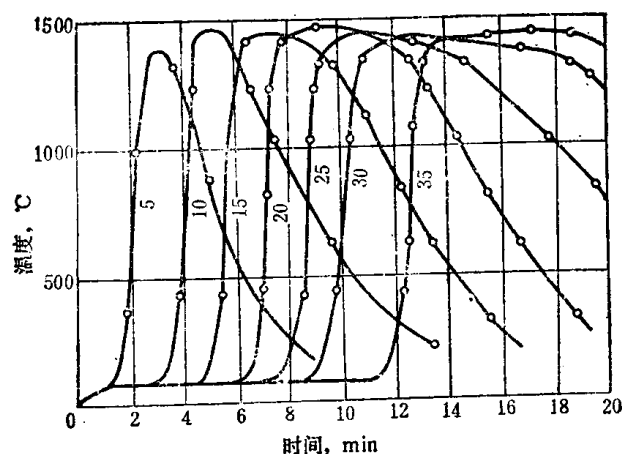


图 1-4 烧结过程的温度—时间曲线
(曲线旁数字为测点，即在表面以下的深度，cm)
(返矿40%，焦粉6.5%，料层厚度400mm)

区间内，混合料层的温度上升缓慢，因此在满足点火要求的前提下，点火区的面积不应任意扩大，应把点火面积和烧结面积的比例控制在一个合适的范围内。

保温区对于改善烧结矿表层质量，降低烧结过程的总热耗，有重要的作用。但由于保温区的供热，使得上部料层的高温区扩大，料层的熔化区增宽。这样，增大了料层的阻力，降低了料层的透气性。从表1-1可以看出，在料层各带中，熔化带的阻力最大。

阻力增大使垂直烧结速度降低，产量也会受到影响；随着保温时间的延长和保温温度

烧结料层中的各带阻力

表 1-1

燃 烧 带 名 称	阻力, Pa/mm料层 (mmH ₂ O/mm料层)
原始料层	5.39 (0.55)
过湿带 (<100℃)	9.02 (0.92)
干燥预热带(100~800℃)	21.57 (2.2)
熔化带 (>800℃)	43.64 (4.45)
冷却带 (<1100℃)	2.45 (0.25)
抽风量, m ³ /m ² ·s	0.41~0.68

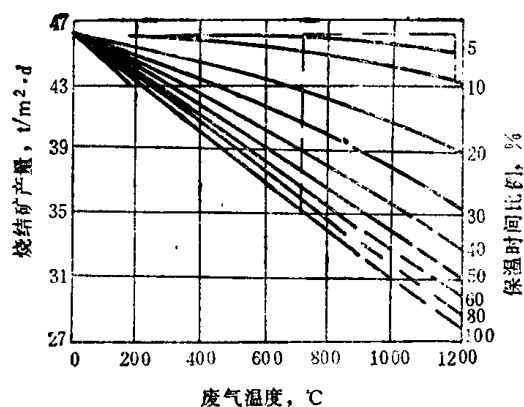


图 1-5 保温制度对烧结矿产量的影响
(虚线为不可靠范围)

的提高, 这种影响也愈大。图1-5给出了保温工艺制度与烧结矿产量的关系。

点火对产量的影响还表现在烧结矿的成品率方面。点火对表层矿质量的影响深度约为40毫米左右, 点火制度的合理和完善, 将大大改善表层烧结矿的质量, 使成品率上升, 产量也会相应增加, 这一点对于薄料层烧结来说, 意义就更大。

三、点火对烧结矿质量的影响

为了提高烧结矿的强度, 就应保证烧结过程中粘结相结晶充分进行。如前所述, 这就要求给予料层一定的热量, 使其达到一定的温度, 以利于混合料固结成饼并使强度提高。点火温度过高或过低, 点火时间或长或短, 以及燃烧烟气的含氧量, 都会影响烧结矿的质量。下面分别加以阐述。

1. 点火温度的影响

表1-2给出了不同铁矿物在烧结过程中所需要的温度范围。

铁矿粉烧结时的熔化温度范围

表 1-2

体 系 组 成	反 应 生 成 物	熔 化 温 度 K (°C)
FeO—SiO ₂	铁橄榄石	1478 (1205)
FeO—Fe ₂ O ₃	浮氏体固溶体	1473 (1200)
Fe ₂ SiO ₄ —FeO—SiO ₂	低熔点共晶化合物	1450 (1177)
CaO—Fe ₂ O ₃	铁酸钙	1478~1489 (1205~1216)
FeO—SiO ₂ —CaO	钙铁橄榄石	1353~1423 (1080~1150)
FeO—SiO ₂ —CaO—Al ₂ O ₃	铁钙铝硅酸盐	1303~1323 (1030~1050)

由表1-2可见, 大部分铁矿物的点火温度应在1370~1520K (1100~1250°C) 的范围内选择。只有个别的矿物体系组成, 才需要将点火温度提高到1570K (1300°C) 以上和降低到1370K (1100°C) 以下。

表1-3列出了不同点火温度对表层烧结矿质量的影响。由表1-3可见, 点火时间不变, 随着点火温度的提高, 点火深度加厚, 表层矿的转鼓强度提高。如果点火温度高于1573K (1300°C), 虽然转鼓强度会继续提高, 但由于温度过高, 表层烧结矿易过熔, 因而烧结矿中的FeO含量增高, 还原性能变坏。相反, 如果点火温度低于1373K (1100°C), 表层

点火温度对表层烧结矿质量的影响

表 1-3

点 火 温 度 K (°C)	点 火 时 间 s	点火后表层烧结深度 mm	点火后表层烧结矿转鼓 指 数 (>5mm), %	表层烧结矿FeO含量 %
1593 (1320)	56	35~40	62	25.4
1553 (1280)	55	30~32	53	13.8
1453 (1180)	53	28~30	40.5	16.2
1353 (1080)	59	20~25	21	10.8

点火时间与表层烧结矿强度的关系

表 1-4

点 火 时 间 s	表层烧结矿转鼓后筛分组成, %				
	>20mm	20~15mm	15~10mm	10~5mm	<5mm
43	0.37	1.38	5.68	46.88	45.96
88	0.7	2.75	11.66	48.18	36.71

矿的转鼓强度则为21%，这表明很大一部分混合料未能结饼，强度太差。

2. 点火时间的影响

表1-4列出了点火时间对表层烧结矿强度的影响。从表1-4可见，点火时间少于1min时，转鼓后筛分的粒度组成恶化，小于5mm的粉末高达46%。当点火温度不变，点火时间

保温炉气体温度对表层烧结矿质量的影响

表 1-5

点 火	时 间, min	1	1	1	2	2	2
	供 热 量, MJ/t (10 ³ kcal/t)	114 (27.23)	116 (27.71)	112 (26.75)	203 (48.49)	203 (48.49)	201 (48.01)
保温炉 气体	温 度, K (°C)	293 (20)	908 (635)	1123 (850)	293 (20)	973 (700)	1143 (870)
	时 间 比, %	—	41.8	40.2	—	13.6	13.1
	供 热 量, MJ/t (10 ³ kcal/t)	—	280 (66.88)	345 (82.40)	—	97 (23.17)	119 (28.42)
	生 产 率, t/m ² ·d	32.0	29.5	29.5	31.0	30.0	29.5
燃 料 消 耗 (干), kg/t		63.5	56.2	50.9	52.0	45.5	43.0
替 换 比		—	0.79	1.11	—	2.04	2.30
烧结矿 质量	平均粒度, mm	16	25	29	19	23	25
	转鼓指数 (>6.3mm), %	64.6	68.6	70.7	67.8	67.8	67.7
	还原度, %	47.0	50.8	51.6	—	—	—
	还原强度, %	2.2	3.5	4.8	4.4	—	—
	FeO, %	9.7	7.1	5.9	5.8	—	—

注：本表摘自法国冶金研究所在1981年第三届国际造块会议上提出的论文。试验条件：料层厚400mm，真空度14700Pa (1500mmH₂O)，返矿400kg/t。

保温时间对表层层烧结矿质量的影响 表 1-6

试 验 条 件	混 合 料 I (料 层 高 400mm)					混 合 料 I (料层高300mm)					混 合 料 II				
	203	201	202	196	196	251	253	246	213	212	211	213	212	211	
炉 火	供 热 量, (10 ³ kcal/t)	48.49	48.01	48.25	46.81	46.31	60.43	58.76	50.87	50.64	50.40	50.87	50.64	50.40	
保 温	供热时间比率, %	13.1	23.3	35.4	49.1	19.1	34.5	14.4	28.6						
	供 热 量, (10 ³ kcal/t)	119	228	331	451	292	439	134	279	134	279	134	279	134	
		28.42	54.46	79.06	107.72	69.74	104.85	32.01	66.64	32.01	66.64	32.01	66.64	32.01	
生 产 率, t/m ² .d	31.0	29.5	27.8	28.0	25.7										
燃 料 消 耗 (干), kg/t	52.0	43.0	42.2	42.0	42.0										
总 供 热 量, MJ/t (燃料 + 点火 + 保温) (10 ³ kcal/t)	1781	1627	1713	1784	1924	2105	2035	2135	1725	1693	1812	1725	1693	1812	
	426.1	388.6	409.1	426.1	459.5	502.8	486.1	509.9	412.0	404.4	432.8	412.0	404.4	432.8	
替 换 比		2.30	1.31	0.98	0.67		1.25	0.92		1.23	0.68		1.23	0.68	
烧 结 矿 质 量	平均粒度, mm	19.0	25.0	32.0	30.0	37.0	21.5	24.0	16.0	18.5	20.5	16.0	18.5	20.5	
	转鼓指数 (>6.3mm), %	67.8	67.7	68.0	69.6	70.5	67.3	68.5	74.3	75.3	76.0	74.3	75.3	76.0	
	还原度, %	62.7	58.0	58.0	58.0	59.0	58.1	54.0	68.0	71.0	68.0	68.0	71.0	68.0	
	还原后强度, %	4.4	4.6	4.6	4.7	6.3	5.5	5.0	7.0	6.9	6.7	7.0	6.9	6.7	
	FeO含量, %	5.8	3.9	3.8	4.3	4.1	4.7	4.5	4.6	3.4	3.1	4.6	3.4	3.1	

注: 本表来源同表1-5。

延长时，粒度组成改善。说明料层上部的热量供给比较充足，对提高表层烧结矿强度有利。

3. 保温温度的影响

表1-5列出了保温炉气体温度对表层烧结矿质量的影响。从表1-5可见，保温温度提高，表层烧结矿在得到充足热量的基础上缓慢地冷却，烧结矿质量得到改善，平均粒度明显增加，转鼓指数也相应提高。另一方面，表层矿增加供热量，混合料中的固体燃料配入量可以减少，烧结矿的FeO含量明显降低，还原性能得到改善。值得注意的是，保温温度的提高会导致熔化区域扩大，使料层透气性变坏，烧结矿生产率相应降低。

4. 保温时间的影响

表1-6列出了保温时间对表层烧结矿质量的影响。从表1-6可见，随着保温时间的增加，强度值增加的幅度较大，即平均粒度变化较大。但是保温时间太长时，供给上层矿的过多热量仅用于保持同样水平的烧结温度，而下层仍需一定量的燃料配比。这样，不但质量未发生明显的改善，而且固体燃料的消耗量也不再减少。

5. 燃烧烟气中氧含量的影响

燃烧烟气中氧含量对烧结矿质量的影响示于图1-6和图1-7。

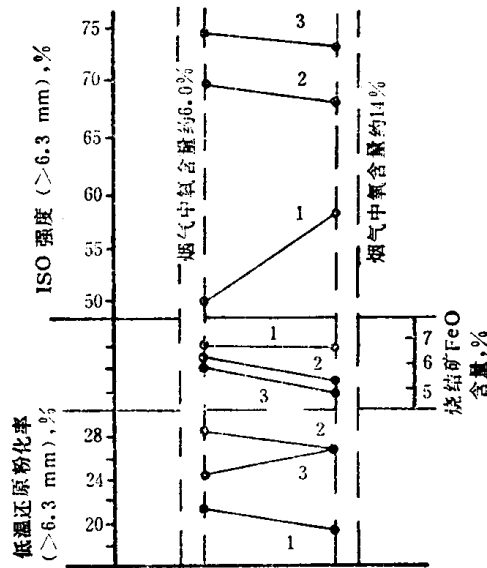


图 1-6 燃烧烟气中的氧含量对烧结矿质量的影响 (一)

1—上部料层；2—中部料层；3—下部料层

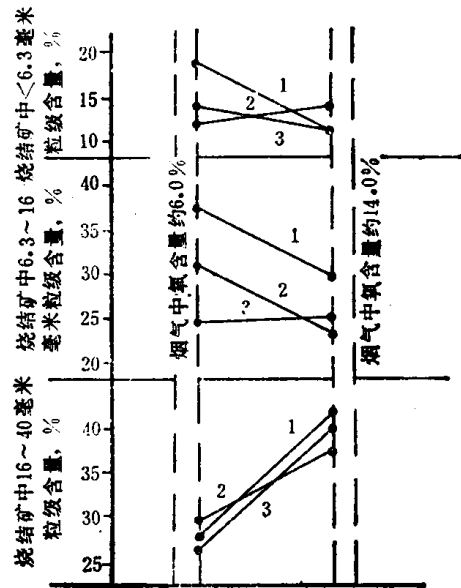


图 1-7 燃烧烟气中的氧含量对烧结矿质量的影响 (二)

1—上部料层；2—中部料层；3—下部料层

当燃烧烟气中氧含量增加时，由于表层混合料中的固体燃料能充分地燃烧，所以上部料层的热量增加，烧结混合料中的固体燃料量有所降低。根据诺伯特等的试验，从图1-6可以看出，上部料层的转鼓强度 (ISO) 明显改善，中部和下部料层则稍有降低，这与减少固体燃料量有关。由于同样的原因，中部和下部料层的FeO含量均有所下降，而上部料层的FeO含量没有明显变化的原因，是由于表层中的固体燃料充分燃烧的结果。低温还原粉化率 (LTB) 与烧结矿中的FeO含量有关，因此它的变化趋势应该和FeO的变化趋势相同。但是这种趋势只保持在中部料层，而上部和下部料层的变化趋势和FeO的变化趋势相

反。目前尚不能提出完满的解释。从图 1-7 可以看出, 全料层的粒度分布有下列三个方面的改善: 1) 上部料层的粉末量 ($<6.3\text{mm}$) 减少, 2) 上中下三层中 $16\sim40\text{mm}$ 粒级的数量均有增加, 3) 在全部料层中, 所有粒度分布的均匀性均有提高。

第二节 点火对烧结能耗的影响

一、烧结工序能耗

我国钢铁工业的能耗占国民经济总能耗的 $16\sim17\%$, 在国家能耗的分配上, 有着举足轻重的影响。烧结工序是钢铁工业生产中的重要环节之一, 据不完全统计, 烧结工序能耗约占钢铁生产总能耗的 $8\sim15\%$, 仅次于炼铁工序能耗, 居第二位。

烧结工序能耗的组成, 主要有以下六项, 即固体燃料 (焦粉和无烟煤), 点火燃料 (煤气、重油、粉煤), 电力、蒸汽、压缩空气和水等。这六项中的前三项之和约占工序能耗的 95% , 是烧结能耗的主要构成部分。国外烧结厂统计的能耗, 主要也是由这三项构成的。

1984 年, 我国十六个重点企业的烧结工序能耗平均为 89kg (标准煤) / t (烧结矿), 其中固体燃料消耗约为 69.07kg (标准煤) / t (烧结矿), 点火煤气消耗为 $267.96\text{MJ}/\text{t}$ ($64000\text{kcal}/\text{t}$), 折合标准煤约为 $9.14\text{kg}/\text{t}$, 电力消耗为 $111.08\text{MJ}/\text{t}$ ($30.85\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$), 折合标准煤约为 $10.79\text{kg}/\text{t}$ (见表 1-7)。在所统计的十家日本烧结厂中, 工序能耗的算术平均值约为 59.9kg (标准煤) / t (烧结矿), 其中固体燃料消耗约为 46.52kg (标准煤) / t , 点火煤气消耗为 $48.06\text{MJ}/\text{t}$ ($11480\text{kcal}/\text{t}$), 折合标准煤约为 $1.64\text{kg}/\text{t}$, 电力消耗为 $120.88\text{MJ}/\text{t}$ ($33.58\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$), 折合标准煤约为 $11.75\text{kg}/\text{t}$ (见表 1-8)。两者相比, 我国的烧结工序单位产量的能耗比日本约高 29.1kg 标准煤, 其中固体燃料消耗约高 22.55kg , 点火煤气高 7.5kg , 电力消耗折合标准煤约低 0.96kg 。

二、烧结料层的热交换与蓄热

1. 烧结料层的热交换

烧结料层是具有固定床的散状料层, 可简称为固定料层。固定料层的热交换包括料粒外部的热交换和料粒内部的热交换。传热主要是在散状料粒之间的孔隙中进行的, 热交换方式主要有辐射和对流, 当料粒尺寸较大时, 传导传热也有一定的作用。烧结过程的热交换是一个相当复杂的过程, 影响的因素和变数也较多, 目前还难以做到全面的定量分析, 工程上应用的计算式都是根据理想条件, 将情况简化后得出的计算公式, 然后根据实际情况加以修正。

在研究固定料层的热交换时, 把料层内的料粒视为理想料粒, 即认为其具有无限导热系数。同时还作了如下假设:

- 1) 料粒和气体的热物理性能不因温度而变化;
- 2) 料层中没有化学反应过程;
- 3) 在气体中没有以热传导为手段的传热;
- 4) 由于温度变化而引起的气体及料层的体积变化不大, 因而可以略去不计。

在料层中任一高度取一单元料层 dh (如图 1-8), 气体经过单元料层的时间为 $d\tau$, 气体与料粒的热交换量亦即气体热含量的变化或料层热含量的变化。气体热含量的全部变化 dQ 与时间的变化和气体流向的位置变化有关。写成数学式为:

我国十六个重点烧结厂的能耗 (1984年平均值)

表 1-7

厂 名	烧结机面积 m ²	利用系数 t/(m ² ·h)	料层厚度 mm	燃 料 消 耗		煤气消耗 MJ/t (10 ³ kcal/t)	电力消耗 MJ/t (kW·h/t)	工序能耗 kg(标准煤)/t
				实 耗 kg/t	折合标准煤 kg/t			
鞍钢一烧	50	1.47	291	54	52	247.02 (59)	75.22 (20.89)	64.69
本钢一铁	75	1.46	345	52	47	343.32 (82)	74.89 (20.80)	75
东鞍山烧结	75	1.40	319	89	76	251.21 (60)	10.35 (27.87)	107.76
宣钢一烧	50	1.05	303	86	75	209.34 (50)	191.16 (53.09)	105
梅山烧结	130	1.24	355	63	61	217.71 (52)	110.83 (30.78)	84
武钢一烧	75	1.41	318	76.26	68.47	272.14 (65)	96.39 (26.77)	95.21
天津铁厂	50	1.10	299	89	79	251.21 (60)	150.76 (41.87)	115
湘钢烧结	24	1.55	335	105	—	213.5 (51)	115.47 (32.07)	111
包钢烧结	75	1.14	361	79	71	217.71 (52)	130.42 (36.22)	97.27
首钢一烧	90	1.30	450	44.4	42.42	196.78 (47)	184.93 (51.36)	76.53
马钢一烧	24	1.37	336	65	61	314.01 (75)	98.55 (27.37)	83.27
酒钢烧结	13	0.86	280	90.4	89.42	376.81 (90)	150.69 (41.85)	122
水钢烧结	62.5	1.23	327	94	76	284.70 (68)	131.75 (36.59)	105
太钢烧结	90	1.32	396	60	54	301.45 (72)	93.87 (26.07)	81
重钢烧结	18/27	1.36	305	79	—	347.53 (83)	105.10 (29.19)	119
攀钢烧结	130	1.10	313	78	—	314.01 (75)	114.46 (31.79)	93
重点企业平均	—	1.30	345	70	—	267.96 (64)	111.08 (30.85)	89

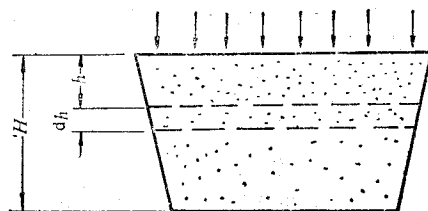


图 1-8 单元料层示意图