

烧结工艺综合节能与环保的现状与意义

金永龙 张军红 徐南平 邬士英 苍大强
(鞍山科技大学) (北京科技大学)

摘要 阐述了烧结工艺的能耗及环保的现状,并介绍了目前常用的一些节能与环保技术,突出了节能、环保在现代烧结工艺中的重要地位。

关键词 烧结 节能 环保

THE STATUS AND IMPORTANT PURPORT OF MULTI ENERGY SAVING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN SINTERING PROCESS

Jin Yonglong Zhang Junhong Xu Nanping Wu Shiyang
(Anshan Science and Technology University)
Cang Daqiang
(University of Science and Technology Beijing)

Abstract The status of energy consumption and environment at protection, some technologies of energy saving and environmental protection in sintering process are introduced in this paper. Their important situation in modern sintering plants is emphasized.

Key words sintering process energy saving environmental protection

1 烧结过程节能^[1~5]

我国是以烧结矿为高炉主要炉料的国家之一。80年代以来我国烧结矿的产量呈上升趋势,1985年的产量大约为67.73Mt,1993年达到了112.61Mt,而1996年为142Mt,居世界第一位。烧结能耗占钢铁工业总能耗的比例大约为10%~15%。烧结能量消耗主要是固体燃料消耗、点火燃料消耗、电耗等,它们占烧结总能耗的大致比例为:固体燃料75%~80%,点火热耗5%~10%,电力消耗13%~20%;根据资料统计,我国能耗是逐年递减的,但目前和日本、德国等先进国家比较,高出的固体燃料消耗为10.9~11.7kgce/t,点火

燃料高2.69~3.26kgce/t,电耗高3.8~3.9kgce/t,总燃耗高17.4~18.86kgce/t。根据目前的年生产量计算,如果我国烧结的能耗和日本一样,那么每年应当可以节约2.47~2.68Mtce,数量是相当大的,所以进一步降低烧结能耗是当务之急!另外,由于国内各钢铁企业烧结装备水平的差异,各烧结厂的能耗相差十分悬殊。

烧结节能包括降低固体燃料消耗、点火燃料消耗、电耗及热废气回收等几个方面,下面作一些简单的介绍。

(1) 降低固体燃料消耗

降低固体燃耗的措施有很多,主要的有如下几种:

厚料层操作。由于烧结过程的自蓄热作用,厚料层有利于降低固体燃耗。目前,大型

收稿日期:2002-04-10

金永龙(1969~),博士/副教授;114002 辽宁省鞍山市。

烧结机烧结料层的厚度大多达到 500mm 以上, 并还有增高的趋势。如宝钢的烧结料层从 500mm 增加到 600mm 时, 固体燃料降低 1.04kg/t。目前宝钢 3DL 的料层高度达到了 670mm 以上。

回收利用部分含碳粉尘。钢铁企业产生大量的含铁、碳粉尘, 其中 FeO、C 含量较高, 可以通过混匀矿、小球烧结等技术措施加以利用。不仅有利于“废物”资源的合理利用、有利于环保, 而且可以回收部分铁、碳, 如宝钢的实践表明, 由于粉尘含碳, 相当于替代了 2.4kg/t 的焦粉。但是, 粉尘的利用应当注意其有害杂质 (Zn、K、Na) 的控制, 以免对高炉冶炼产生不利的影 响。

改善固体燃料的燃烧性能和燃烧效果。固体燃料的燃烧特性和效果, 决定了烧结过程燃烧的产物比例、残碳量等。如固体燃料的不完全燃烧, 是固体燃料热量损失的重要原因之一, 碳的不完全燃烧和完全燃烧相比, 相当于损失了 2/3 的热量。改善固体燃料的燃烧特性主要包括控制燃料粒度和粒度分布, 即控制合理的烧结过程传热和燃烧速度; 选择合理的燃料结构; 合理选择燃料加入方法, 改善固体燃料的燃烧条件; 研究行之有效的催化助燃剂, 使固体燃料燃烧充分, 从而降低残碳量等。

强化制粒过程, 保证烧结过程的透气性, 从而保证烧结产量的稳定和提高。我国用于烧结生产的大部分国产精矿, 由于品位较低需要磨得很细, 才能选出合格品位的精矿。所以在烧结过程中必须强调强化制粒, 否则将使烧结过程的透气性变差或气体偏流, 导致产量降低、能耗增加。

利用外界显热。在混合料燃烧前利用外部供热, 如利用热返矿、使用生石灰、在圆筒混合机通入蒸汽、热风烧结等, 使烧结料温度提高。由于该部分显热可部分代替固体燃料的燃烧热, 因而可降低固体燃料的消耗。

(2) 降低点火能耗

点火能耗大约占烧结总能耗的 5% ~ 10%, 是烧结节能的一个重要方面。降低点火能耗主要包括:

节能型点火炉的研究应用。节能型点火炉是 80 年代烧结工艺的一项重要节能技术。在此之前, 一般使用套管式烧嘴和涡流式烧嘴, 特点是高、大、笨, 点火能耗高, 普遍大于 0.180G/t。另外, 套管式烧嘴在宽度方向温度是不均匀的, 两烧嘴之间温度较低, 势必要消耗过多的煤气以保证料面温度都达到点火要求的水平 (如 1200)。80 年代以来, 日本相继开发成功了一系列节能型点火炉, 其中线型烧嘴、多缝式烧嘴及面燃式烧嘴是日本应用最为成功的节能型烧嘴。

我国在节能型点火炉的研究和应用方面也取得了巨大的成绩。如长沙黑色冶金矿山设计院、马鞍山钢铁冶金设计研究院、鞍山黑色冶金矿山设计院等在引进、吸收和发展国外先进点火技术的基础上, 相继推出了自己的节能型烧嘴。但在深层次的基础理论方面作的研究还不够, 如烧嘴火焰分布状态、点火炉温度场分布等还需做更系统研究。

预热助燃空气。利用热废气作为点火炉的助燃空气或作为热源预热助燃空气, 可以提高点火炉燃烧的温度, 降低点火能耗。根据文献, 如果将助燃空气预热到 300 , 理论上可以节约焦炉煤气 24%。预热混合料使混合料预热到露点温度以上, 可以改善烧结料层的透气性 (过湿层消失), 从而提高烧结机的烧结速度, 提高烧结矿产量。

(3) 降低电耗

烧结过程的电能消耗占烧结工序能耗的 20% 以上, 而绝大部分是抽风机的消耗。烧 结节电的关键措施, 是减少漏风和实现低风量操作。日本烧 结的电耗低, 主要原因就是低漏风率和低风量烧结相结合达到的。

(4) 热废气的回收利用

从热支出可以看出, 冷却废气热及废气显

热占烧结总热收入的 50% 左右, 而靠近烧结终点风箱的废气及冷却废气的温度可达 160 ~ 500 , 平均温度也可达 200 以上, 所以如何回收这部分热量也是烧结节能的重要工作。

余热锅炉的应用。利用烧结系统产生废气的余热, 采用热交换器发生蒸汽 (200 左右), 然后利用蒸汽发电、供热等, 可以回收大量的余热。日本的许多烧结机安装了废热锅炉余热回收利用。

热废气烧结技术。热废气烧结技术可以充分利用烧结过程废气及冷却机废气带走的热量, 这部分热量占烧结总热量的 50% 左右。热风烧结可使烧结料层温度分布较均匀, 尤其是降低表面温降速度, 克服普通烧结过程表层温度不足、烧结矿强度低、粉末多。同时, 降低固体燃料消耗, 降低烧结矿 FeO 含量, 改善烧结矿质量。因此国内外都开展了这方面的研究。

2 烧结过程环保^[6~12]

2.1 烧结过程主要污染物分析

传统钢铁冶金工业工序多, 工艺流程长, 和化工、轻工等并称为环境污染的“大户”, 而铁前系统的能源消耗大约占 58% 左右。另外, 铁前系统一般使用的是一次能源或以一次能源为原料 (如煤炭), 因此 SO₂、NO_x 等污染物主要产生在铁前系统。根据资料计算得出在我国钢铁工业 SO₂ 排放量中, 焦化工序所占比例最大, 占 34.4%; 其次为烧结工序 33.26%, 两项之和为 67.66%。

烧结废气中硫的来源主要是铁矿石中的 FeS₂ 或 FeS、燃料中的 S (有机硫、FeS₂ 或 FeS) 与氧反应, 生成的 SO₂ 在烧结过程中可能与料中的 CaO、MgO 反应, 尤其是 CaO 有强烈的吸硫作用。据有关资料报道, 燃煤锅炉中 CaO 脱硫的最佳温度是 800 ~ 850 (有的实验结果是 1050), 当温度大于 1200 时, 已生成的 CaSO₄ 会分解成 SO₂。在实际生产中、1000 时, 当 CaO 加入量与 SO₂ 克分子

数比为 1 ~ 4 时, 脱 SO₂ 率可以从 40% 左右上升到近 80%。而在烧结过程, 一般认为 S 生成 SO₂ 的比率可以达到 85% ~ 95%。

烧结废气中 NO_x 来自燃料或空气中的氧与氮的反应, 其中, 空气中的氮气在高温下氧化而生成的叫热力型 NO_x; 燃料中含有的氮化合物在燃烧过程中热分解而又接着氧化而成的是燃料型 NO_x; 燃烧时空气中的氮和燃料中的碳氢离子团 (如 CH) 等反应生成快速型 NO_x。同时如果存在还原性气氛及适当的催化剂作用, 有的 NO_x 可能被还原成 N₂ 或低价的 NO_x。

二恶英 (Dioxin) 污染: 二恶英属于氯化环芳烃类化合物 (氯化苯并二恶英和氯化二苯并呋喃), 是目前已知化合物中毒性最大的物质之一, 进入人体后不能降解和排出。不仅是致癌物质, 而且具有生物毒性、免疫毒性和内分泌毒性。一般二恶英的含量为痕量, 检测十分困难。如英钢联对 5 个烧结厂废气中的二恶英进行了测试, 废气总毒当量为 0.4 ~ 4.4ng/m³, 平均值为 1.3ng/m³。废气中粉尘所含二恶英的总毒当量在 0.004 ~ 0.06ng/m³, 其平均值为 0.023ng/m³。研究发现二恶英是在烧结料层中产生的, 反应温度大约在 250 ~ 450 ; 而且与原料中碳氢化合物含量有关, 碳氢化合物含量高, 则废气中有机碳 VOC (Volatile Organic Carbon) 含量高, 生成的二恶英也增加; 与烧结返矿有关。在烧结过程中采用废气循环、改善料层条件 (如加抑制剂) 等都能降低二恶英的产生。

2.2 烧结过程污染治理的现状

(1) 烧结废气的除尘

烧结废气中粉尘处理的主要方法如: 旋风除尘器、文氏管煤气洗涤器、布袋除尘器、电除尘和砾石床过滤器等, 其中布袋除尘和电除尘使用较多。

(2) SO₂ 的去除

对 SO₂ 去除的基础研究和工业应用的报

道较多,目前日本等发达国家的绝大部分烧结厂都装备了各种脱硫装置。如石灰-石膏法、氢氧化镁法、氨-硫酸铵法、海水净化法、再生活性焦炭吸收法等。其中石灰-石膏法的应用最早、最广,其脱硫效率达到 90% 以上,并可以回收利用石膏。对于烧结过程的 SO_2 去除,一般不宜采用在高温下的带反应的方法,最好是在烧结废气温度条件下的净化方法,否则需要消耗额外的加热能耗。另外,降低废气中 SO_2 还应该从工艺过程出发,如降低原燃料的硫含量、利用工艺过程的硫容量将硫固化等。

(3) NO_x 的去除

降低烧结过程的 NO_x 排放首先从点火开始,研究节能型点火炉的同时,有的研究者也对点火炉的 NO_x 排放进行了研究和实测,从各方面的研究结果分析,空气系数、燃烧炉温度、燃料类型、空气预热温度、燃烧空气中的氧含量和炉型等对燃烧废气中 NO_x 含量都有影响。 NO_x 的去除目前已经越来越受到重视,随着环保要求的进一步提高,尤其是对污染物排放总量的要求,烧结过程去除 NO_x 是十分必要的。日本首先安装脱除 NO_x 的装置,脱除效率可达 90%。脱除 NO_x 的另一研究方向主要是对催化剂的研究,催化剂的种类已经从贵金属向非贵金属及其氧化物转换。

对烧结过程控制 NO_x 和 SO_2 的最好方法是能够同时脱除。如日本研究了利用碳质催化

剂-氨同时脱除 NO_x 和 SO_2 的方法,脱除 NO_x 和 SO_2 的效率分别为 80% ~ 90% 和 95%,同时得出最佳烟气气流温度是 220 ;应用移动床作为反应器,一方面可以脱除部分粉尘(脱除率 70% ~ 85%),而且粉尘不会堵塞反应器;催化剂可以再生利用,废气中的硫不会影响催化剂的活性。

(4) EOS (Emission Optimized Sintering) 工艺及其特点

德国的蒂森、日本新日铁及荷兰的霍戈文等烧结厂都有使用 EOS 工艺降低烧结过程 NO_x 和 SO_2 排放的报道。EOS 烧结工艺和传统烧结工艺的比较见图 1。EOS 系统利用部分废气,降低空气漏入量,降低排出气体量,同时降低排放的 NO_x 和 SO_2 量,而对烧结产品质量、产量等没有坏的影响,反而有不同程度的改善。该过程要保证供给燃烧的气体氧含量在 15% 以上。

关于烧结废气中 NO_x 和 SO_2 的去除,有人也提出过将烧结产生的废气直接送入高炉,利用高炉气体的还原性及原料等的催化作用将 NO_x 还原成无害的 N_2 。

3 结语

(1) 环保是新世纪钢铁工业发展的重要任务。钢铁工业被称为“污染大户”,为了改变其不良形象花费了大量的时间和资金,也取得了长足的进步。但是各国环保法对冶金企业的要求越来越严,要想作进一步的工作,其难度

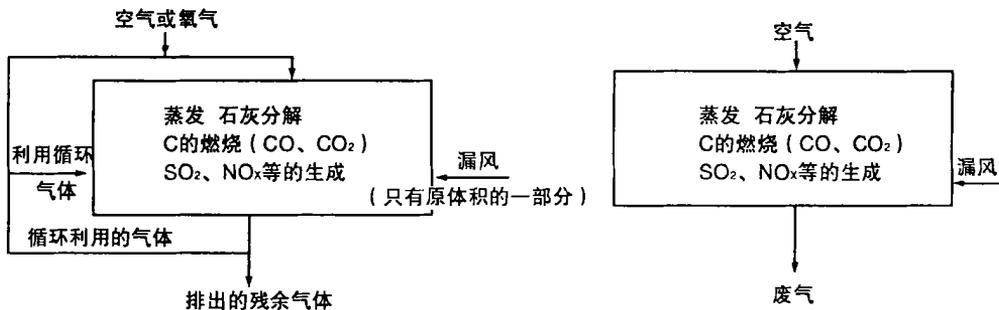


图 1 EOS 流程和传统烧结流程的对比

更大, 任务更艰巨。在我国, 钢铁企业的污染也逐步得到重视, 新世纪的环保将是我国钢铁企业发展的关键。

(2) 节能的环保价值。节能就意味着环保。单位产品的耗能量减少, 直接结果是污染物排放量减少。这就是节能的环保价值。

(3) 环保的经济和社会效益。所谓的污染物包括烟尘、有毒气体 (CO、NO_x、SO₂、Dioxins)、使全球气候变暖的 CO₂ 等, 危害人类健康, 危害人类的生存环境, 危害地球的生态平衡。而且人类历史上, 尤其是近现代工业革命以来的一系列污染事件所造成的巨大危害是耸人听闻的。所以环保的社会效益是人所共识的。环保可以回收一些有益物质, 如通过除尘回收一些有用粉尘, 像钢铁厂的含碳、含铁粉尘, 不仅可以回收有益元素 Fe, 而且可以充分利用 C 的资源, 达到降低能耗的目的。废水的回收利用, 一方面可以缓解地球淡水资源的匮乏, 另一方面可以节约企业水的支出费用。废渣的利用, 可以减少宝贵耕地的被占用或被破坏。

总之, 节能可以获得经济效益, 而环保的要求更需要节能。节能和环保是密不可分的。节能环保型的企业是未来企业的必由之路。而且我们要寻求节能、环保、经济效益和产品质量的综合平衡点, 即谋求企业的可持续化发展。

参 考 文 献

- 1 P. R. Dawson. Recent developments in iron ore sintering. *Ironmaking and Steelmaking*, 1993, 20 (2): 135 ~ 143
- 2 唐先觉. 我国烧结能耗状况及节能途径. *烧结球团*, 1998, 23 (2): 1 ~ 5
- 3 李寿宝, 潘宝巨, 任志国. 降低烧结固体燃料的理论分析及工艺技术. *钢铁*, 1997, 32 (2): 61 ~ 64
- 4 李桂田. 中日钢铁工业节能历程之比较. *中国能源*, 1997, (10): 22 ~ 29
- 5 陈同庆. 宝钢烧结生产的节能技术. *中国冶金*, 1998, (2): 37 ~ 40
- 6 张夏, 郭占成. 我国钢铁工业能耗与大气污染排放量. *钢铁*: 2000, 35 (1): 63 ~ 68
- 7 Fisher R, Fray TAT, Anderson D R. Investigation of the formation of Dioxin in the Sintering Process. 58th Ironmaking Conference Proceedings, Chicago IL, ISS, 1999, 3: 21 ~ 24
- 8 李希超. 日本烧结环保技术的新发展. *烧结球团*, 1994, (6): 18 ~ 23
- 9 E. Keddeman, E. Oosterhuis. Reduction of sinter plant emissions at Hoogovens Ijmuiden. *IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS*. 1992: 95 ~ 100
- 10 M. Hattori, B. Iion, K. Kimura and Y. Matsunaga. Environmental protection in the sintering plant of steel works. *IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS*. 1992: 101 ~ 106
- 11 Susumu Kubo, Takashi Iida, Junichi Sakuragi, and etc. The introduction of Mg (OH)₂ type desulfurizer in the sinter waste gas line and operation results. *IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS*. 1992: 107 ~ 110
- 12 Susumu Kubo, Hajime Ono, Akira Gushima, Masami Fuhimoto, Tadahiro Inazumi, Katsuhiko Stao. Development of a new type of feeding method for homogenization of sintering reaction. *IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS*, 1990, 589 ~ 601
- 13 Joachim Wert, Jurgen Otto. Environmental protection in iron ore sintering by waste gas recirculation. *MPT International*. 1995 (4): 120 ~ 126
- 14 B. Vanderhyden, I. Borlee, J-M. Brouhon. Impact of waste gas recycling on sintering performances and emissions. *IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS*. 1996: 389 ~ 397

罗文泉 编辑