原料场

宝钢提高混匀矿堆积质量实践

张慧峰
(宝山钢铁股份有限公司,上海 200941)

摘 要:混匀矿工艺是烧结高质、高产的重要保证,混匀矿质量的好坏直接影响烧结矿及高炉铁水的质量。针对宝钢原料分厂混匀料场在一期混匀矿投产初期,存在粒度偏析和成分波动较大等问题,宝钢原料分厂采取往返变速平铺布料和端部延时堆积技术改善混匀矿堆积质量,取得了较好效果。本文主要介绍了这两种技术,以供同行参考。

关键词:混匀矿;粒度偏析;成分波动;变速平铺;延时堆积
中图分类号:TF086 文献标识码:B 文章编号:1000-8764(2016)05-0043-05
doi:10.13403/j.sjqt.2016.05.063

Practice of improving stacking quality of blended ores in Baosteel

Zhang Huifeng
(*Baoshan Iron & Steel Co.*, *Ltd.*, *Shanghai* 200941)

Abstract The ore blending process is important guarantee for sinter quality and high yield, and the blended ore quality directly affects the quality of sinter and blast furnace iron. During the initial period of phase 1 blended ore commissioning of the blending stockyard of Baosteel raw material branch, such problems as the size segregation and component fluctuation etc. occurred, in view of this, round trip variable speed bedded (layered) feeding and end delay stacking technology were adopted to improve the pile quality of Baosteel raw material branch, and good results were achieved. These two kinds of technologies were introduced in this paper for reference in the same industry.

Key words blended ores; size segregation; component fluctuation; variable speed layered feeding; delayed stacking

1 前 言

烧结矿占高炉炼铁原料的85%左右,其物理(粒度分布、强度)、化学(MgO、SiO_2、CaO、Al_2O_3)品质均匀,能起到稳定高炉操作,提高生产率的作用,而混匀矿是烧结矿的主要原料,其质量的好坏将直接影响烧结矿及高炉铁水的质量[1]。

宝钢原料分厂混匀料场采用混匀智能堆积系统,从堆积计划接受、配槽计划编制、CFW等硅切出速率计算到报表制作输出等有一整套堆积质量控制体系,但由于受来料质量、匀矿堆积水平等因素的影响,在一期混匀矿投产初期,仍存在粒度偏析和成分波动较大等问题,造成混匀矿质量水平下降,混匀矿的质量指标SiO_2标准偏差平均值为0.255(见图1)。

通过对匀矿堆积过程进行分析,采用往返变速平铺布料和端部延时堆积等相应改进技术,有效地减少了混匀矿粒度偏析和成分波动等问题。

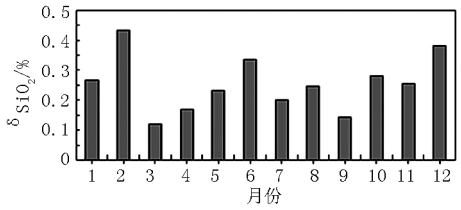


图1 宝钢原料分厂一期混匀矿1991年δ_{SiO_2}月统计图

2 提高混匀矿堆积质量技术

通过现场调研发现,匀矿堆积过程中导致

收稿日期:2016-02-17
作者简介:张慧峰(1979-),男,主任工程师,主要负责原料分厂日常生产组织安排工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粒度偏析较大的原因主要有两方面。一是堆积过程中随着料堆不断加高，表面积增大，层厚不一致；二是匀矿在堆积过程中产生了大量的端部料和尾部料。从这两方面出发，本文主要介绍了宝钢原料场提高混匀矿堆积质量所采用的往返平铺布料与端部延时堆积等相关技术。

2.1 往返变速平铺布料技术

混匀堆料机的运转操作工艺是连续走形往返布料（即称为平铺），平铺作业要求混匀堆料机保持相同的平铺料层厚度，以一期混匀BA匀矿大堆[2]为例（见图2）。

图中：v 为进料主胶带机速度，m/min；v_1 为顺向行驶速度，m/min；v_2 为逆向行驶速度，m/min。

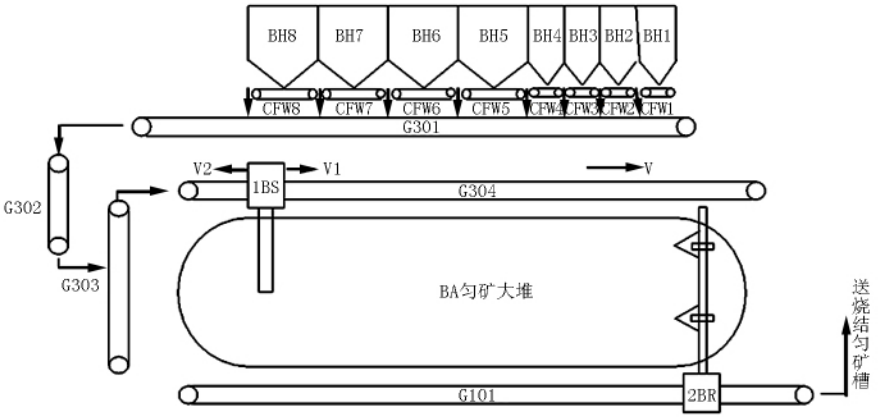


图2 混匀矿堆积工艺示意图

由图2可知，当1BS停止时，单位时间 Δt 的堆料能力：

$$Q=\rho Sv\Delta t \tag{1}$$

式中：Q 为单位时间堆料能力，t；S 为进料胶带机物料截面积，m^2；ρ 为物料密度，t/m^3。

当1BS顺向行驶时，单位时间 Δt 的堆料能力：

$$Q_1=\rho S(v-v_1)\Delta t \tag{2}$$

料层厚度：$$H_1=\rho S(v-v_1)\Delta t/v_1 \tag{3}$$

当1BS逆向行驶时，单位时间 Δt 的堆料能力：

$$Q_2=\rho S(v+v_2)\Delta t \tag{4}$$

料层厚度：$$H_2=\rho S(v+v_2)\Delta t/v_2 \tag{5}$$

为了混匀均匀，单位长度料层厚度应保持一致，即 $H_1=H_2$。由(2)～(5)式得：

$$\frac{v}{v_1}-\frac{v}{v_2}=2 \tag{6}$$

原料分厂一期混匀堆料机（1BS/2BS）初期顺向行驶速度和逆向行驶速度相等，均为20 m/min。通过分析可知，若要堆积匀矿单位料层厚度一致，堆料机顺逆方向行驶速度不应保持一致，通过改变大车行驶速度，从而达到混匀均匀的效果。若进料主胶带机速度为120 m/min，匀矿堆料机顺向行驶速度为20 m/min，按上式计算则逆向行驶速度应为30 m/min，从而使顺、逆行驶时的单位长度布料量符合理论值。通过采用往返变速平铺布料作业，使堆积层厚基本保持不变，便于匀矿堆积质量均匀稳定。

2.2 端部延时堆积技术

混匀矿堆的两端，由于未经很好地平铺切取作业，该部分原料成份波动较大，在实际生产中需将混匀料堆端部料取出，返回副原料场堆存，供下次混匀时配入。理论上，端部料的返回量为总大堆堆积量的2%～3%（现大堆堆积总量在23万t，端部料取出约7 000 t左右）。通过采用端部延时堆积技术—6段9折返点（简称6段9点）堆积管理模式（如图3所示），有效地减少了端部成分偏析，从而减少了端部料的取出量，提高了堆料能力。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

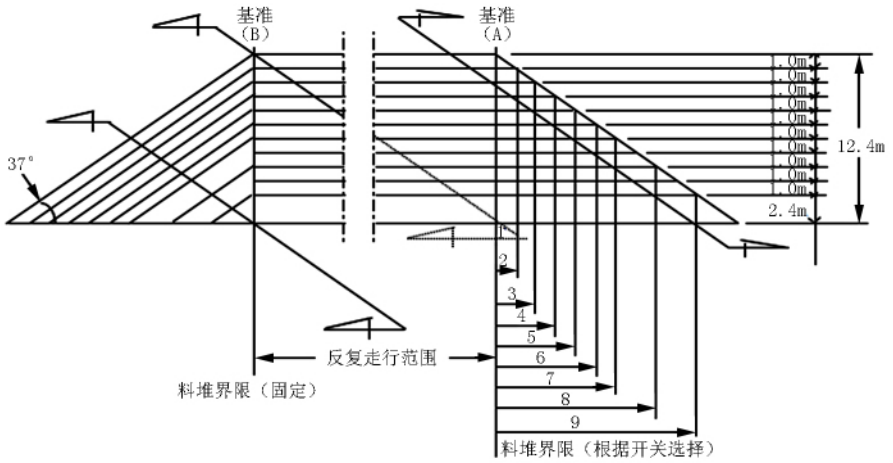


图 3　6 段 9 折返点堆积模式

“6 段 9 点”就是尽可能减少端部料的产生，其原理是将混匀矿料堆的 12.4 m 高度分为 6 段，其中第 1 段为 2.4 m，其余各段均为 2 m，根据混匀矿的自然堆角为 37°，计算得到水平的 9 段距离和延时，从而精确确定每段延时时间和距离。料堆两端点中，一端为固定点，BS 走形到此点就返回，另一端为移动点，由定时器控制的经延时后返回的 9 个折返点。堆积时要求每段延时的物料落点正好与混匀矿自然堆角保持一致，即堆积的走行起点根据料堆的堆角和料层高度变化而变化。

考虑到操作因素，并为了保证延时时间为整数，宝钢混匀矿六段延时相关参数见表 1。

表 1　宝钢炼铁厂混匀矿六段延时制动参数

参数	六段		五段		四段		三段	二段	一段
段高度值/m	10.4 ~ 12.4		8.4 ~ 10.4		6.4 ~ 8.4		4.4 ~ 6.4	2.4 ~ 4.4	0 ~ 2.4
点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
延时时间/s	0	3	5	8	11	13	16	22	27

采用“6 段 9 点”堆积技术，理论上，堆料机堆料的边角与料堆的自然堆角完全一致时，混匀大堆将不产生端部料。但在实际编程及机器运行中难以达到，并且在工业生产中，成本也非最优。

通过对宝钢“6 段 9 点”匀矿堆积过程进行分析（匀矿大堆堆积示意图及相关参数见图 4），可知采取该技术后匀矿大堆两端产生的偏析物料明显减少。

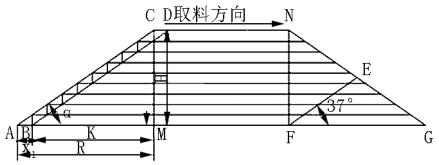


图 4　匀矿大堆示意图

由图 4 可得：$x_1 + (n-1)x = R$　　(7)

$$h_1 + (n-1)h = H \quad (8)$$

$$h = x\mathrm{tg}\alpha \quad (9)$$

$$H = R\mathrm{tg}\alpha \quad (10)$$

其中，R 为料堆半径，m；H 为料堆高度，m；α 为料堆安息角，°；x 为折返点变化时折返缩回的小段距离，m；h 为混匀堆料机每段变化起点折返点时要求段内料堆的高度，m；n 为混匀堆料机变化起点折返点的段数；x_1 为混匀堆料机走行起点第一个折返点与料堆端部最外点的距离，m；h_1 为混匀堆料机第一段铺料时悬臂落料点的高度，m。

通过对匀矿端部料建立模型（如图 5 所示），利用此模型，可将端部料分为三个几何体。第一部分以 CDE 平面为底，CG 线为高的三棱锥体；第二部分以弓形 AFB 平面为底，H 为高的锥体；第三部分以 ABED 平面为底，C 为顶点的四

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

棱锥。分别计算其体积[3]，相加后总体积即为匀矿大堆端部料体积。

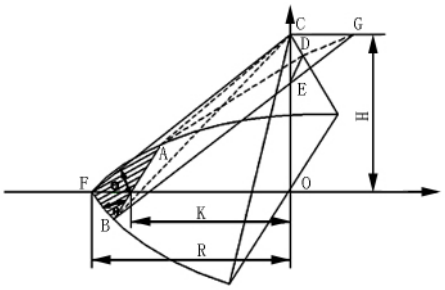


图5 端部料模型

其第一部分体积为:

$$S_1=(R-k)\left(H-\frac{Hk}{R}\right)=\frac{H}{R}(R-k)^2 \quad (11)$$

$$h_1=R-k \quad (12)$$

可得: $$v_1=\frac{1}{3}S_1h_1=\frac{H}{3R}(R-k)^3 \quad (13)$$

第二部分体积为:

$$S_2=\frac{1}{2}R^2\theta-\frac{1}{2}\overline{ab}\left(\sqrt{R^2-\left(\frac{\overline{ab}}{2}\right)^2}\right)=\frac{1}{2}R^2\arccos\frac{k}{R}-k\sqrt{R^2-k^2} \quad (14)$$

$$h_2=H \quad (15)$$

其中: $\overline{ab}$为线段 AB 长度，θ 为弧 AFB 度数。

可得: $$V_2=\frac{1}{3}S_2h_2=\frac{H}{3}\left(\frac{1}{2}R^2\arccos\frac{k}{R}-k\sqrt{R^2-k^2}\right) \quad (16)$$

利用投影法可得第三部分:

$$S_3=\frac{2H}{3R\sin\alpha}[(R+k)\sqrt{R^2-k^2}-(R-k)^2] \quad (17)$$

$$h_3=\frac{H}{R}(R-k)\cos\alpha \quad (18)$$

$$V_3=\frac{1}{3}S_3h_3=\frac{2H}{3R}[(R^2-k^2)^{\frac{3}{2}}-(R-k)^3] \quad (19)$$

以上三部分体积相加，最终可得:

$$V_{端}=V_1+V_2+V_3=\frac{H}{3R}[(R^2-k^2)^{\frac{3}{2}}-(R-k)^3]+\frac{H}{3}\left(\frac{1}{2}R^2\arccos\frac{k}{R}-k\sqrt{R^2-k^2}\right) \quad (20)$$

宝钢一期匀矿堆密度基准值为 2.21 t/m^3，代入数据可得: $T=276.69\times2.21\approx611$ t

定终点堆积的尾部料是以一个与 XOY 坐标面成 α 角并通过 X 轴料耙平面切出底圆半径 R(料堆半径)，高度为 H(料堆高度)的半圆锥的一部份体积，如尾部料模型(见图6)所示。采用积分法[3]可直接推导出尾部料的计算公式。

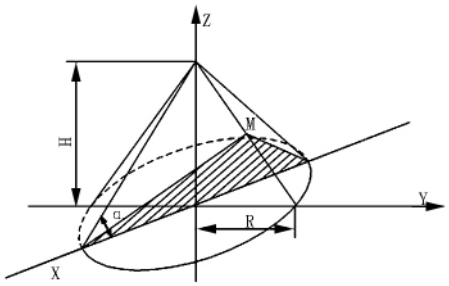


图6 尾部料模型

①建立方程:

料耙平面方程: $$y=\frac{R}{H}z \quad (21)$$

圆锥曲面方程: $$x^2+y^2=\left[\frac{R}{H}(H-z)\right]^2 \quad (22)$$

联立(21)、(22)式即为料耙平面从圆锥曲面上切出的界面方程，

②确定积分上下限:

首先对 Y 轴积分，对 Y 的积分是从料耙平面上的 y_1 积到圆锥面上的 y_2

$$y_1=\frac{R}{H}z \quad (23)$$

$$y_2=\sqrt{\left[\frac{R}{H}(H-z)\right]^2-y^2} \quad (24)$$

其次对 Z 轴进行积分，对 Z 轴的积分是从

$$Z_1=0 \quad (25)$$

到 $$Z_2=\frac{H}{2R^2}(R^2-X^2) \quad (26)$$

最后是对 X 轴积分，从 $x_1=0$ 到 $x_2=R$

积分后可得: $$V_{尾}=\int\int\int dv=\frac{3\pi-4}{18}R^2H \quad (27)$$

代入数据可得: $T=1/2\times1\ 016.5\times2.21\approx1\ 123$ t。

实际生产中，由于端部料不可能完全和理论值相同，且要考虑后续生产检修、物流平衡等因素，故可以根据生产需要适当调整。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过“6 段 9 点”端部延时技术，在堆积中精确定位端部，采取控制堆积的走行起点，优化混匀矿端部堆积过程，减少端部料的产生，从而减少成分偏析，提高整个料堆的混匀矿堆积质量。

3　效果对比

一期匀矿堆积系统采用上述两种技术后，混匀矿质量得到了较大的提高，2013 年一期混匀矿的质量指标 SiO_2 标准偏差平均值为 0.128，达到国内领先水平（如图 7 所示）。此外，匀矿端部料的取出量由原先的 7 000 多 t 减为 1 700 t 左右，为生产能力的提高也提供有力的保证。

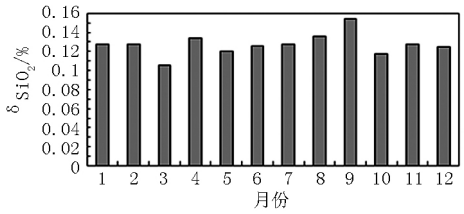


图 7　原料分厂一期混匀矿 2013 年 δ_{SiO_2} 月统计图

4　结　论

提高混匀矿堆积质量是降低烧结矿原料成本的重要途径，采取往返变速平铺布料和端部延时堆积技术可提高混匀矿的堆积质量，从而得到粒度、成分比较均匀稳定的混匀矿，具有一定降本增效的作用。本文重点对这两种技术进行了阐述，以供同行参考。

参考文献

[1] 王建平，刘跃湘，张全新，等. 韶钢原料场改进混匀矿配料的实践[J]. 烧结球团，2009，34(5)：56－58.

[2] 张青，陈明. 宝钢原料场混匀堆积技术创新与实践[J]. 炼铁，2005，(24)：117－121.

[3] 同济大学数学系. 高等数学(下册)[M]. 北京：高等教育出版社，2007.

(上接第 18 页)

5　结　论

1) 本文采用铁矿粉高温性能特征数来衡量铁矿粉的同化性和流动性，该指标综合了烧结过程的各个因素，操作过程简单，可以科学准确地对铁矿粉的同化性和流动性进行评价。

2) 通过对铁矿粉进行两两组合、三三组合、四四组合的实验发现，混合矿的高温性能特征数与单种铁矿粉之间具有线性相关性。可以根据单种铁矿粉的高温性能特征数预测出混合矿的高温性能特征数，这对于烧结优化理论的丰富具有重要的意义。

3) 基于高温性能特征数具有的线性配合关系，可以很方便的获得混合矿的高温性能参数。以此进行配矿研究，可以节省配矿实验成本，具有很强的实际生产意义。

参考文献

[1] 吴胜利，刘宇，杜建新，等. 铁矿粉与 CaO 同化能力的试验研究[J]. 北京科技大学学报，2002，24(3)：258－261.

[2] 吴胜利，杜建新，马洪斌，等. 铁矿粉烧结液相流动特性[J]. 北京科技大学学报，2005，27(3)：291.

[3] 吴铿，王梦，赵勇，等. 测定铁矿粉同化特性新方法的探索[J]. 东北大学学报：自然科学版，2013，34(7)：961－965.

[4] 吴铿，申威，杜瑞岭，等. 铁矿粉烧结液相流动性能的特征数方程的建立[J]. 重庆大学学报，2015，38(05)：26－31.

[5] 裴元东. 铁矿粉的烧结配合性及其应用技术研究[D]. 北京：北京科技大学，2008.

[6] 阎丽娟，吴胜利，尤艺，等. 各种铁矿粉的同化性及其互补配矿方法[J]. 北京科技大学学报，2010，32(3)：298－305.

[7] 刘淋. 多目标线性规划的若干解法及 Lingo 实现[J]. 襄阳职业技术学院学报，2011，10(6)：20.

[8] 刘麟. 基于粒子群算法的多目标函数优化问题研究[D]. 武汉：武汉理工大学，2005.

[9] 黄晓贤. 铁矿烧结优化配矿数学模型的研究[D]. 长沙：中南大学，2013.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net