

高炉原料筛分工艺改进与节能分析

梁波

河南钢铁集团安阳钢铁股份有限公司炼铁作业部高炉作业一区

DOI:10.32629/btr.v8i10.5043

[摘要] 高炉原料的粒度组成直接影响料柱透气性、煤气利用率及燃料消耗。筛分作为控制入炉粒度的关键环节,其工艺水平不仅决定了粉末入炉率,还关联着筛分过程的电耗与设备维护成本。本文从筛分效率、设备配置及工艺参数控制等角度,分析了当前筛分环节存在的共性问题,提出了基于分级筛分、筛网结构优化与动态负荷匹配的改进方向,并对节能效果进行了定性及机理层面的分析,从而减少过粉碎、降低筛上物回流比、实现筛分能力与实际来料的匹配,在保障入炉原料质量的前提下,降低单位筛分电耗,达到节能目的。

[关键词] 高炉; 原料; 筛分; 工艺改进; 节能

中图分类号: TF321 文献标识码: A

Improvement and Energy-Saving Analysis of Blast Furnace Raw Material Screening Process

Bo Liang

Blast Furnace Operation Area I, Ironmaking Operation Department, Anyang Iron and Steel Co., Ltd., Henan Iron and Steel Group

[Abstract] The particle size distribution of blast furnace raw materials directly affects burden permeability, gas utilization efficiency, and fuel consumption. As a key process for controlling the particle size of materials charged into the furnace, the screening process not only determines the proportion of fine particles entering the furnace but is also closely related to power consumption and equipment maintenance costs. This paper analyzes the common problems existing in the current screening process from the perspectives of screening efficiency, equipment configuration, and process parameter control. Improvement measures based on graded screening, optimization of screen structure, and dynamic load matching are proposed. In addition, the energy-saving effects are analyzed qualitatively and from a mechanism perspective. These measures can reduce excessive crushing, lower the recirculation ratio of oversize materials, and achieve better matching between screening capacity and actual material feed. On the premise of ensuring the quality of blast furnace raw materials, they help reduce unit power consumption in the screening process and achieve energy-saving objectives.

[Key words] Blast Furnace; Raw Materials; Screening; Process Improvement; Energy Saving.

引言

高炉炼铁工序的能耗在钢铁联合企业中占比极高,降低燃料比一直是技术追求的核心目标。原料条件,尤其是入炉矿石和焦炭的粒度组成,对高炉顺行和能耗的影响十分明显^[1]。大块矿石难还原,过多粉末则堵塞气流通,两者都会导致煤气利用率下降、焦比升高。筛分环节的作用正是在原料入炉前将不合格粒级分离出去,同时尽可能避免合格粒级在筛分过程中被破坏。但是筛分本身是一个高电耗、高设备磨损的过程^[2]。许多企业在追求低粉末入炉率时,倾向于采用大功率振动筛、多层筛网或延长筛分时间,虽然降低入炉粉末,但会导致筛分系统能耗过

高、合格粒级过粉碎以及筛网寿命缩短等问题。如何在保证筛分质量的前提下降低筛分系统自身能耗,成为当前工艺改进需要平衡的问题。

1 高炉原料筛分工艺现状与共性问题

1.1 筛分流程配置的局限性

多数高炉的原料筛分采用单级振动筛直接对入炉料进行筛分的模式。焦炭与烧结矿、球团矿往往分别设置筛分线,但每条线的筛分流程相对固定。物料从贮矿仓经闸门给到振动筛,筛下物作为返矿或焦粉进入下一道工序,筛上物直接落入称量斗后入炉。在进行单级筛分流程时会出现一台筛子要同时完成对大

块、中块和粉末的分离的局限,导致筛面负荷极不均匀。来料中粉末含量较高时,筛面前半段很快被细粒覆盖,后半段的有效筛分面积被浪费;而来料中大块比例偏高时,筛面受冲击严重,细粒来不及透筛便被裹挟着越过筛面。这种一刀切的配置导致筛分效率受来料波动影响极大,工艺操作上往往只能通过加大激振力或延长给料时间来弥补,直接推高了电耗。

1.2 筛网结构与筛分效率的矛盾

筛网的孔径、开孔率、材质会直接影响筛分效果和使用寿命。部分企业为了追求较高的筛分效率,筛机会采用较小孔径的筛网,但这会导致筛孔易被潮湿粉末堵塞,有效开孔率迅速下降,筛分能力衰减,筛机被迫在高负荷下长时间运行。筛网材质耐磨性与开孔率之间也存在制约,高耐磨的筛网往往厚度较大,开孔率偏低;薄型筛网开孔率高但寿命短,更换频繁,停机损失和备件成本增加。

1.3 激振参数与物料特性的匹配不足

振动筛的振幅、频率和振动方向角等激振参数,决定了物料在筛面上的运动状态和透筛概率。实际生产中,这些参数往往按照设计值固定设置,极少根据原料条件变化进行调整。矿石来源变化、水分波动、粒度分布偏移等因素都会改变物料的松散密度和摩擦特性,固定的激振参数难以在所有工况下保持最佳筛分状态。参数设置偏高时,物料抛射强烈,虽然分层迅速,但合格粒级在筛面上跳动幅度过大,来不及透筛即被抛出,同时物料与筛网的撞击加剧了颗粒破碎和筛网磨损。参数偏低时,物料在筛面上移动缓慢,料层过厚,细粒难以沉降到筛面,筛分效率下降,处理量受限,单位产品电耗上升。实际应用中采用“一种参数应对所有工况”的运行方式,会造成能量浪费和筛分质量波动^[3]。

1.4 系统联锁与控制方式粗放

筛分系统通常与上料皮带、贮矿仓闸门及称量斗构成联锁控制,但多数系统的控制逻辑较为简单,以料位检测和启停顺序为主。筛机的启停及给料量的调节缺乏对筛分效率的实时反馈。例如,当来料中粉末含量突然增加时,筛下物排出量增大,但筛机激振参数和给料速度不作调整,筛面很快被细料堵塞,筛分效率急剧下降,大量本来可以透筛的细粒混入筛上物入炉,或者需要二次筛分,增加了重复处理量。此外,多台筛机并行配置时,往往采用均匀分配负荷的方式,未考虑各筛机自身状态和实际筛分能力的差异,部分筛机满负荷甚至过负荷运行,另一部分则处于低效区,系统总体能耗并非最优。

2 筛分工艺改进方向与措施

2.1 推行分级筛分流程

分级筛分是将原来由单一筛机完成的筛分任务分解为两段或多段,根据物料粒级的不同特点分别进行处理。其思路是:第一段采用较大孔径、较高强度的筛面,将来料中的大块与中小块及粉末预先分离。大块直接进入称量斗或破碎工序,仅含有少量粘附粉末,不再经过细筛面,大幅减轻了第二段筛面的负荷。第二段筛分专门处理含有粉末的中小块物料,由于大块已被移除,该段筛面的料层变薄,细粒透筛概率显著提高,可以在较小的激

振力下完成精细筛分。这种分段处理方式的节能逻辑在于避免了“大块压粉、粉末裹块”造成的筛分效率损失。粗筛段只需克服大块物料的冲击和移动阻力,细筛段只需处理相对均质的中小块料,两者均可采用与其物料特性相匹配的激振参数,总能耗低于一台全粒级筛机长时间高负荷运行的能耗。同时,粗筛段筛网因孔大、厚实,寿命较长;细筛段筛网因来料中不再有大块冲击,寿命也得到延长,减少了停机更换次数带来的隐性能耗。

2.2 优化筛网结构与分级布置

在单段筛分暂时无法改为分级筛分的条件下,优化同一筛面上的筛网分段布置同样具有重要意义。可以将整块筛网按照物料运动方向分为不同孔径区段,入料端采用稍大孔径,出料端采用标准孔径。物料刚接触筛面时料层厚、粉末含量高,较大孔径有利于粉末迅速沉降并透筛,减少粉末在筛面上的堆积和对后续筛孔的堵塞。随着物料向出料端移动,料层变薄,粉末含量下降,此时标准孔径完成最终的精细分离。这种变孔径设计能够更充分地利用整块筛面的有效筛分面积,使粉末透筛行为在筛面上分布更均匀,避免前段堵孔、后段空振的现象。在节能上,筛面分区优化能够在保持同等筛分效果的前提下,提高单位时间处理量,从而缩短筛机运行时间或降低激振强度,减少电耗。此外,推广使用自清理型筛网,如具有弹性变形的琴弦式筛网或聚氨酯弹性筛网,在振动过程中筛孔发生微小幅度的弹性变形,可有效减少潮湿粉末的粘附堵塞,维持较高的开孔率,减少因堵孔导致的筛分效率衰减和额外能耗。

2.3 激振参数的分区设定与动态匹配

针对物料在筛面不同阶段的运动需求,可以考虑在长型筛机上实施分区激振,或者在不同筛机之间实现参数差异化设定。入料区段需要较强的抛掷运动来快速分层,使大块上浮、细粒下沉,因此可采用较大振幅;中间区段需要适中的运动强度以促进透筛;排料区段则采用较弱的振动,减少合格粒级的过粉碎和被抛离筛面的机会。如果设备条件不具备分区激振功能,至少应建立激振参数随原料条件变化的调节机制。当来料粉末含量高、水分较高时,适当提高频率、减小振幅,增强筛孔的自清理能力;当来料干燥、粉末含量低时,降低激振强度,在保证筛分效率的前提下节约电能。这种调节需要结合经验判断和定期取样观察,建立一套与常用原料种类相对应的参数库,实现从“固定运行”到“按需调节”的转变。

2.4 改进给料方式与负荷均衡控制

给料的均匀性和连续性对筛分效率和能耗影响显著。偏流给料会导致筛面宽度方向上负荷差异悬殊,一侧物料堆积、筛分不透,另一侧料层过薄、筛面空振,整机效率被局部最差状态所拖累。改进给料溜槽的结构,增加布料导向板或多点落料装置,使物料在进入筛机前尽可能沿筛宽方向均匀分布,能够充分利用筛面宽度,提高处理能力。在负荷控制上,建立多台筛机间的协调分配策略,以各筛机的电流、振幅衰减程度或筛下物比例作为负荷状态的间接判断依据,优先将物料分配给筛分状态良好的筛机,适当降低接近堵孔或磨损严重筛机的进料量,让其有自

清理恢复的时间窗口。这种负荷均衡不是简单的平均分配,而是基于筛机实际筛分能力的动态匹配,能够在不增加设备的情况下提升系统总体处理效率,降低单位处理量的平均电耗。

3 高炉节能分析

3.1 直接电耗降低机理

筛分系统的直接电耗与筛机运行功率及运行时间成正比。筛机运行功率主要取决于激振器克服物料惯性力和摩擦阻力所做的功。当筛分效率提高后,为达到相同数量的合格入炉料所需处理的来料总量不变,但筛机无需长时间高负荷运行即可完成分离任务,或者可以在同等运行时间内处理更多物料,从而缩短了系统整体运行时间。分级筛分和筛面优化使得细筛段的物料重量减轻、料层变薄,激振器所提供的激振力降低,电机输出功率下降,这是直接的电耗节约。激振参数的动态匹配使得筛机大部分时间运行在与物料特性相适应的较优工况,避免了大马拉小车式的功率浪费。此外,筛网堵塞程度降低后,筛机负荷趋于平稳,减少了因堵孔导致的超负荷电流尖峰,电机运行效率保持在较优区间。

3.2 间接节能效应

间接节能来自筛分质量提升对高炉冶炼的正面影响。筛分改进后入炉粉末率降低,高炉料柱透气性改善,炉况更趋稳定,煤气利用率提高。这意味着生产每吨铁水所需的焦炭和喷吹煤粉数量可以有所下降。高炉燃料比的降低所节约的能源,远大于筛分系统自身节约的电能。同时,粉末减少使得炉尘吹出量下降,炉顶煤气净化系统的负荷减轻,除尘风机等设备的电耗也相应降低。返矿率下降则减少了返矿再烧结的处理量,烧结工序的燃料消耗和电耗随之减少。这些间接节能虽然不体现在筛分系统的电表上,但从铁前系统全局来看,是筛分工艺改进带来的重要节能效益。

3.3 设备维护与物料损耗层面的能耗节约

筛分工艺改进还体现为设备磨损和物料损耗的降低,而设备和物料背后都蕴含着大量的间接能耗。筛网及筛机本体受到的冲击和摩擦减弱,使得筛网更换频率降低、衬板寿命延长。制作和更换这些耐磨件本身需要消耗钢材和加工能量,寿命延长意味着单位时间内分摊的间接能耗减少。同时,激振参数的合理

化减少了合格粒级在筛分过程中的过粉碎,使得更多的成品块矿和成品焦炭进入高炉,而不是被打碎后变成返矿或焦粉。这些粉料的产生实质上浪费了前端破碎、筛分和运输所消耗的能量。减少过粉碎就是保留了已投入加工能量的价值,从全流程角度看具有明确的节能意义。

3.4 节能实施的条件与限度

上述节能效果的实现依赖于一定的条件。分级筛分需要对原有筛分楼的设备布置和料流走向进行调整,受场地和标高限制,改造成本和施工难度必须与预期节能效益相匹配。筛网变孔径设计及自清理筛网的应用,需要结合本厂原料的粒度分布和水分特性来定制,不可简单套用。激振参数的动态调节依赖操作人员对来料的观察和判断,或者需要投入一定的检测手段,盲目调节反而可能破坏筛分效果。节能存在理论上的最佳点,筛分效率并非越高越节能,追求过高的筛分效率可能使筛机运行在陡峭的能耗上升区,即效率每提高一个百分点,电耗成倍增加。合理的改进应当以全系统能耗最低为目标,而非单一追求筛分效率的极致。从实践经验来看,将关注点从单纯的入炉粉末率指标,转向“筛分效率—筛分电耗—入炉粒度合格率”的综合平衡,往往能以较小的投入获得显著的节能效果。

4 结语

高炉原料筛分工艺的改进,不应只盯着筛子本身,而应将筛分视为连接原料场与高炉的一个能耗节点和质量控制节点。改进方向从实际运行中的共性问题出发,通过推行分级筛分、优化筛网分段配置、建立激振参数与来料特性的动态对应关系、实现给料均匀和负荷均衡。而节能除了要降低筛机自身的电耗,还可以通过改善入炉粒度组成来降低高炉燃料消耗,减少设备磨损和物料过粉碎所带来的间接能量节约。

[参考文献]

- [1]王国华.烧结主抽风机的节能改造与分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2022(1):57-61.
- [2]杨雪婷,张笛,李宗旭,等.包钢1[#]高炉大比例球团矿冶炼节能降碳分析[J].包钢科技,2025,51(1):33-35.
- [3]王新东,鄯亚娜,吕庆,等.高炉喷吹不同富氢介质节能减排潜能的分析与比较[J].钢铁,2023,58(10):34-41.