

## 自动造球技术在球团生产中的应用

李志远 赵玉敏 杜艳北

北京首钢股份有限公司, 河北 唐山 064404

**[摘要]**造球工序是球团生产工艺流程中的一个重要环节, 生球质量和产量直接影响成品球团矿的质量、产量及能耗水平。目前造球盘加水使用手动加水方式, 调节精度差、响应时间慢, 已经无法满足球团厂的自动化生产需求, 现在迫切需要开发一套自动造球系统, 实现造球盘的自动控制。

**[关键词]**自动造球技术; 球团生产; 应用

DOI: 10.33142/ec.v6i5.8237

中图分类号: TQ1

文献标识码: A

### Application of Automatic Balling Technology in Pellet Production

LI Zhiyuan, ZHAO Yumin, DU Yanbei

Beijing Shougang Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 064404, China

**Abstract:** The pelletizing process is an important part of the pellet production process, and the quality and output of green pellet directly affect the quality, output, and energy consumption level of the finished pellet ore. At present, the manual water adding method is used to add water to the ball making pellet, which has poor adjustment accuracy and slow response time, and is no longer able to meet the automation production needs of the football team factory. There is an urgent need to develop an automatic ball making system to achieve automatic control of the ball making pellet.

**Keywords:** automatic balling technology; pellet production; application

#### 引言

现阶段, 烧结技术已经获得了明显提升, 大型烧结成套设备设计逐渐完善, 使烧结设备水平逐渐得到改善。钢铁企业在精料方面认识也产生了较大的提高, 使原料厂条件不断改善, 为原料质量提供了有效保障。但是球团发展过程中还存在较多的问题, 需要钢铁企业及时采取措施解决, 推动钢铁企业持续性发展。

#### 1 概述

造球是球团生产过程中的一个重要工序, 生球的质量和成球率直接影响球团生产的产量和成本, 影响生球的质量和成球率的主要因素包括岗位操作水平、经验、责任心和精力等主观因素和原料配比变化、水分变化、造球盘角度和转速变化等客观因素, 目前有效的调控手段是通过人工观察, 预估生球粒度的大小, 然后再决定加减水量或加减造球盘转速或加减加料量。由于人的精力、责任心和经验差异导致成球率和生球质量不稳定。随着图像处理技术的不断成熟和在球团粒度识别领域中的应用, 通过造球盘上的数字图像采集、处理、识别并对粒度范围进行统计分析, 及时提供粒度区间百分比, 为自动造球提供快速、准确的信息, 模拟人工操作过程, 实现全自动造球。与此同时, 增加造球过程在线水分检测和自动加水控制, 与生球粒度分析系统形成闭环。目的是实现造球过程混合料水分在线检测和精准的水分控制, 确保生球的水分适宜, 提高生球质量和成球率, 节约能源消耗, 同时减轻工人劳动强度避免人工调整的滞后性, 提高生产及时性、稳定性, 从

而实现提高产品品质, 增加经济效益<sup>[1]</sup>。

#### 2 自动造球系统改造内容

##### 2.1 补水阀门改造

把以前的人工现场手动控制补水量开关大小的 DN50 阀门改为电动调节阀远程自动控制。

##### 2.2 加装电磁流量计

增加补水电磁流量计, 实时监测补水量的变化趋势, 实现水量精准控制。

##### 2.3 供配料皮带控制改造

供配料皮带带速控制由现场机旁箱操作引入计算机控制造球盘料流的大小。

##### 2.4 造球盘控制改造

造球盘转速工频控制增加变频器进电脑变频控制, 加减频率控制造球盘转速以此来保证成品球的粒度等。

##### 2.5 加装视频分析监控系统

增加视频监控及配套分析软件, 通过视频监控及配套分析软件经过反复多次比对校验, 来实现软件实时分析成品球粒度大小情况, 并反馈给造球控制系统, 造球控制系统根据成品球的粒度、强度变化趋势等来自动控制调节下一环节<sup>[2]</sup>。

#### 3 球团生产现状

##### 3.1 造球盘刮刀使用现状

刮刀是维持圆盘造球机稳定工作的关键设备, 其作用是清理黏结在盘底和盘边的积料, 提高造球盘的生产率, 改善生球质量。球团生产线原采用旋转式活动刮刀, 通过

与造球盘保持适当转速比,使得刮刀运行轨迹覆盖整个盘面,从而起到清料作用。但在生产过程中发现,旋转刮刀的转速与造球盘转速难以做到完美匹配,当前仅凭人工调控加大了转速匹配的难度,导致盘面出现清理“盲区”,会在盘面形成较厚的黏结料块,影响料流的运行状态,且大体积料块随盘滚动会破坏生球结构,对造球过程产生不利影响。此外,旋转刮刀设备结构相对复杂,使用故障率高,更换难度大且耗时较长。

### 3.2 球团返料现状

返料是球团生产过程中产生的粒度不均、成分复杂的物料,由干返料和湿返料组成。返料会随着料流在生产过程中反复循环并参与生产,由于循环返料中夹杂有干球和不合格生球,造成返料粒度波动,不利于造球工艺的稳定。长久以来,返料问题都是球团生产技术攻关的重要课题。业内技术人员曾先后尝试从优化返料配加方式、改变返料用途等方面开展研究,但都收效甚微。

### 3.3 生球辊筛使用现状

在球团生产工艺中,辊筛作为筛取合格生球的筛分工具,设置于生球皮带和链算机布料端之间,按照筛除对象分为大球辊筛和小球辊筛。球团两条生产线分别采用“生球皮带—大球辊筛—梭式布料器—宽皮带—小球辊筛—链算机”、“生球皮带—摆头皮带—大球辊筛—小球辊筛—链算机”两种工艺模式,均能较好完成合格粒级生球的筛分工作。在长期生产过程中发现,随着矿种结构调整、造球原料水分及成球性的变化、大小球辊筛磨损程度的不同,会对筛分效率产生不同程度的影响。粒级差异大、湿度不同的生球料流在辊面会出现流速不均的现象,筛面经常出现“空区”,无法均匀过筛的生球会在辊面团聚,破坏生球结构。过筛效果不佳会导致链算机布料不平,截面方向高低差异大,空料部分的算板易烧损,影响耐热设备的使用寿命,也对生球在链算机内的热工过程有不利影响<sup>[3]</sup>。

## 4 自动造球技术在球团生产中的应用

### 4.1 自动造球系统原理

造球是球团制造中的关键工艺,将铁精矿粉末与其他含铁粉原料加入少量的添加剂混匀后,在加水润湿的条件下,通过造球机的造球盘旋转,将混合物料转动为球形,并经干燥焙烧,最后固结形成有确定硬度和冶金特性的球形含铁原料。膨润土和水用作胶黏剂,控制添加用量则是非常重要的,添加用量的多少有助于提高成球性能,增加生球硬度和炸裂温度能够确保生球在皮带运输过程中而不会损坏。

### 4.2 自动化系统框架

成球粒度分析系统基于机器视觉技术,该部分在现场设置高速高清摄像头分别监视出球区左右两个区域,实现全覆盖。高性能微型工控机安装于现场仪表箱内,用于对出球区成球的图像采集、识别、分析与模型运行、数据处

理分析,获取的结果数据写入数据库服务器。原水管上只有若干个手动闸阀,不能用于自动调节,因此每台造球机新增一路加水管,管道上分别设置高精度电磁流量计、小流量高精度比例流量阀、电动切断阀,用于给水量的检测、调节与切断,该部分设置信号均接入现场控制箱内的新增 PLC,再统一与应用服务器进行数据交换。新增水管与原有水管互为备用,项目施工时不影响造球机生产。给料皮带秤用于调节给料量,圆盘转速调节机构设置变频器,用于调节造球机转速,相关检测与控制信号均已接入原有的西门子 S7-400PLC 系统,利旧即可。其中给料皮带秤用于根据产量与成球粒度需要进行料量控制,转速调节用于特殊情况时成球粒度控制,一般情况下维持稳定转速不变。在主控室和造球现场控制室各设置一台造球专用操作站,用于造球机生产监视及操作。所有带有以太网接口的设备最终都接入核心交换机进行数据交换,相关通信协议或规范根据需要进行,保证稳定高效。

### 4.3 设备装置

在全自动造球系统的优化改造当中,系统中的主要设备装置包括在线微波水分仪、粒度分析仪、加水喷头、管道执行设备、控制端、工程师站以及操作终端。第一,在线微波水分仪有三套,分别安装于干燥前、干燥后、生球输送带上。干燥前在线水分检测用于超前控制调整干燥机内热能煤气输入量,确保物料干燥水分略低于造球适宜目标水分。干燥后在线水分检测用于反馈控制调整干燥机内热能煤气输入量,以及超前指导调整造球盘加水量和物料给定量,确保造球盘生产稳定性与生产效率。生球在线水分检测用于指导判断生球爆裂温度和其他性能,为后续的干燥、预热、焙烧工序提供控制依据,同时反馈指导造球生产加水、给料及其他参数在阈值内进行微调。第二,粒度分析仪在每一个造球盘上都安装一套专业系统,用于检测粒径范围比例含量控制滴水与雾化水,给出信号指导调整料量、圆盘转速以及倾角。第三,加水喷头则需要在造球盘上确保滴水喷头、雾化水喷头设备和位置正常完好,否则需要完善好,原则上保障滴水成球、雾水长大、无水紧密。第四,管道执行设备的主要作用就是增加电动调节阀门或变频泵、电磁流量计、电动切断阀、手动阀门等,供自动调节加水量使用。确保供水管道压力稳定。第四,控制端就是 PLC 集成控制系统。第五,工程师站包括服务器与终端软件。第六,操作终端包括工控机、上位软件、界面以及粒度显示。

### 4.4 粒度分析系统

#### 4.4.1 硬件设计

造球盘产出的生球进入辊筛,辊筛的前部小球落下,中部合格球落下,大球从滚筛末端落下,因此检测中部辊筛被生球覆盖的面积变化能分析出生球粒度的变化。在辊筛中部安装相机拍摄照片,由于单台相机拍摄面积有限,

在辊筛上并列安装两台相机，与辊筛垂直。

#### 4.4.2 图像分析和计算

用机器视觉系统对采集的图像进行分析，对比球粒度偏大、偏小、合格时数据的变化规律。当球粒度偏大时，辊筛露面积较小；当球粒度偏小时，辊筛露面积较大；当球粒度合适时，辊筛露面积适中。将面积像素过大和长宽比过大的定义为异常图形，其余的是正常图形，利用此数据计算得出滚筛覆盖比例。

滚筛覆盖比例计算公式：

$$\Delta S = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (e_0 + e_1 + \dots + e_n)}{\sum_{i=1}^n (S_0 + S_1 + \dots + S_n)} \right] \times 100\%$$

式中： $\Delta S$  为滚筛覆盖比例； $e$  为异常图形面积和； $S$  为总有效图像面积和。由于操作盘甩出生球在波动，因此将分析周期内所有照片的  $e$  和  $S$  进行累加得出滚筛覆盖比例平均值<sup>[4]</sup>。

#### 4.5 加水方式及过程控制

##### 4.5.1 控制思路

生球的性能主要包括生球水分、粒度组成、抗压强度、生球落下强度以及生球的破裂温度。与生球性能直接相关的有物料结构、物料粒度、物料配比以及水分含量对自动造球起决定性作用，除此之外在生产过程中原料水分的干燥、造球加水、给料量调整、造球时间（圆盘转速和倾角）决定生产合格率和生产效率的关键因素。因此，该自动造球系统基本方针是稳水稳料。在生产过程中，原料供应要保持稳定的水分，及时为造球提供原料水分数据；在造球过程中根据来料水分情况，做到给料、加水的稳定，通过粒度分析仪和生球水分实时检测、反馈给控制系统，对给料、加水作进一步微调，以保证出球率的稳定。在原料稳定、给料稳定、水分以及加水稳定的前提下，根据各项参数进一步优化控制微调在阈值内的造球盘转速和倾角，让生产合格率和生产效率达到最佳效果，否责先不宜调节其他生产设备参数。

##### 4.5.2 方式及时程

结合当前的实际物料条件，通常采用的造球方式为烘干→润磨→加水。其中，在影响生球强度、粒度、含粉量以及水分的众多因素当中，雾水与滴水的加水状态、位置以及加水调控是否精细是最主要的因素。在本次全自动造球系统改造之前，加水系统当中主要有以下几点缺陷：首先，就是滴水在分布上呈现出不均匀的状态，在对水量进行调控过程中这种不均匀表现往往更加明显，这最终会直接导致母球形成的均匀程度不足。其次，就是雾水在覆盖范围上有明显误差，当这个误差超过了生产工艺基本所需标准时，雾水将直接对生球是否密实造成影响。最后，就是雾水在调控性上有明显不足，在结合实际需求进行减水

操作时，雾水的雾化情况会随之发生变化，而在减水过程中，由于水压变化较大，导致滴水现象时有发生，最终直接影响到生球的整体成长过程，造成生球质量低下。其控制流程主要有：①干燥前在线水分检测作为前馈调节干燥机内热能煤气输入量，确保水分最短时间内达到目标水分。②干燥后在线水分检测反馈叠加调节干燥机内热能煤气，实现干燥后原料水分精准控制。③建立干燥水分数据模型，根据原料配比量、原始水分建立数据模型与在线水分检测共同完成控制调节。④自动联锁，调取原料配比重量、干燥前皮带启停信号和干燥机启停信号联锁实现干燥水分自动控制。⑤干燥后水分检测、料仓存量数据建模作为前馈，粒度检测作为反馈自动调节给料量，如物料水分在生产工艺阈值内且粒度范围比例正常不进行给料量调节，如原料水分与阈值偏差较大且粒度范围合格率差适量进行给料量调节。⑥干燥后水分检测与给料量建模作为前馈，快速调节造球加水量。⑦造球盘上粒度检测与生球水分建模作为反馈，实时、稳定调节造球盘上滴水与雾化水加水量。⑧粒度与水分都属正向逻辑关系，低加、高减，每个检测设备的信号可进行叠加控制，根据现场工序时间建立数据叠加模型。⑨前馈模型、反馈模型都作为一级调节，加水流量检测作为二级与一级进行串级调整，确保加水快速、稳定、准确。⑩造球加水自动联锁，取圆盘给料启停信号、圆盘启停信号以及顺序延时信息进行联锁，控制电动切断阀实现快速开启或关停电动切断阀，防止错加或遗漏加水。

#### 4.6 设备标准化定型

链篦机-回转窑-环冷机球团生产工艺是球团厂生产中的主要设备，但是在球团设备规格等都没有明确性的规定，导致生产出的球团质量也参差不齐，对于钢铁企业炼铁质量影响较大。球团厂实现设备标准化定型，不仅能够保证球团生产质量，还能够加快生产球团厂生产效率。统一球团和其他主要设备规格，使用型号、质量等信息统一的设备，并定期对设备进行检查维修，延长生产设备的使用寿命。对老旧设备进行改造更新，淘汰运行效率较低、耗能较高的生产设备，加强环保型设备的应用。更换设备的过程中应将配料、混合、烧结等设备作为更新内容，选择统一规则的设备，保证设备符合标准化要求，使设备生产效率和生产质量获得提升。

#### 4.7 造球盘的运行及底料形成状态

在结合实际物料条件对一些主要参数（包括造球盘直径、造球盘转速、造球盘倾角、造球盘边高以及容积充满率等）进行确定之后，底料形成状态将直接对母球的成长速度与运动性质造成影响。除此之外，底料形成状态以及稳定性也会受到造球盘衬板性质的影响。在全自动造球系统改造之前，造球盘的运行及底料形成状态主要有以下缺陷：造球盘衬板的质量是否可靠与性质无法匹配物料条件和产能控制目标，对造球过程产生影响，从而阻碍了生球

质量与造球产能的提高。

#### 4.8 加强环保治理

球团厂在发展过程中,面对全新的发展形势,应加强环保治理工作,降低球团生产过程中对生态环境的影响。球团厂应对冷风机等设备进行更新改造,将传统陈旧的设备更换为环保生产设备,从而达到节约能源、降低环境污染的问题。对厂内现有环保球团设备进行维修、更换,并组织专业人员定期对设备进行检查,确保环保设备的正常运行,从源头上消除污染隐患问题。对于运行效果较差设备进行更新,提高环保设备的使用效率,提高球团厂生产过程中的生态效益<sup>[5]</sup>。

#### 5 结语

综上所述,球团发展过程中存在较多的问题,生产技术、设备落后,生产过程中燃烧消耗较大,对于生态环境污染严重都是球团发展中急需解决的问题,球团厂在发展过程中,应及时更新厂内生产设备的更新,将进口设备更换为国产设备,并落实生产设备标准化建设,为提高生产效率和生产质量奠定基础。降低生产过程中能源消耗以及污染问题,应用全新的球团工艺,加强环境治理措施,提高球团厂自动化水平,降低企业在人力资源中的资金投入,

也降低生产过程中操作失误问题,使球团质量获得提升。

#### [参考文献]

- [1] 邹宗来. 高镁球团生产工艺的技术研究[D]. 天津:天津市新天钢联合特钢有限公司, 2021.
- [2] 周斌, 邱立运, 蒋源铭, 等. 球团厂造球机生产无人化控制技术[J]. 冶金自动化, 2021, 45(6): 46-54.
- [3] 余海钊, 廖继勇, 范晓慧. 带式焙烧机球团技术的应用及研究进展[J]. 烧结球团, 2020, 45(4): 47-54.
- [4] 袁飞. 球团矿生球图像去雾算法研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2020.
- [5] 王能高, 尹礼辉, 汪锐, 等. 我国烧结球团的现状和发展趋势[J]. 中国设备工程, 2018(5): 207-208.

作者简介: 李志远(1987.12-), 男, 邯郸学院, 电气工程及其自动化, 北京首钢股份有限公司, 主控操作, 助理工程师; 赵玉敏(1993.12-), 女, 中国矿业大学徐海学院, 工程管理, 北京首钢股份有限公司, 脱硫脱硝, 助理工程师; 杜艳北(1972.10-), 男, 中共中央党校函授学院, 经济管理专业, 北京首钢股份有限公司, 工人, 机械设备工程师。