

ICS XXXXXX
CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

大型低碳铁矿石球团带式焙烧工艺技术 及智能化装备技术规范

Technical specifications for large-scale low-carbon iron ore pellet belt
roasting process and intelligent equipment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	1
4.1 原料要求	1
4.2 工艺技术要求	2
5 设备智能化要求	3
5.1 智能化架构	3
5.2 智能控制	4
5.3 设备智能化	4
5.4 智能运维	4
5.5 能耗管控	4

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出归口。

本文件起草单位：中冶南方武汉钢铁设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：李志鹏。

大型低碳铁矿石球团带式焙烧工艺技术及智能化装备技术规范

1 范围

本文件规定了大型低碳铁矿石带式焙烧球团的技术要求及设备智能化要求。

本文件适用于采用带式焙烧机进行大规模（年产 200 万吨及以上）铁矿石球团生产线的设计、建设、运行、维护及智能化改造。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20973 膨润土

GB 28662 钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准

GB/T 33445-2016 煤制天然气质量

GB T 34191-2017 钢铁行业带式焙烧机焙烧球团热平衡测试

GB/T 50491 铁矿球团工程设计标准

YB/T 4309-2015 钢铁行业链篦机-回转窑焙烧球团系统热平衡测试与计算方法

YB/T 6078-2022 球团用带式焙烧机

YB/T 6308-2024 铁矿球团带式焙烧工艺节能技术规范

ASME B31.8:2020 输气管道系统标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1

生球 green ball

铁精矿粉、粘结剂、熔剂等混合料在造球机中加水滚动成型，未经热处理的球状物料。

3.2

带式焙烧机 straight grate

一种由连续移动的台车组成，集干燥、预热、焙烧、均热和冷却等工序于一体的，冶金工业中用于铁矿球团焙烧的核心工艺设备，采用耐高温合金钢材质，并配备分段风箱、复合风流系统及上部炉罩结构；

3.3

低碳球团 low carbon pellets

生产过程中，通过优化原料结构、采用节能工艺、提高能源效率等方式，实现全生命周期碳排放强度较低的铁矿石球团。

4 技术要求

4.1 原料要求

4.1.1 原料

磁铁精矿、赤铁矿及含铁粉尘等复杂矿种；
原料粒径小于 0.074mm 占比高于 80%。

4.1.2 黏结剂与添加剂

黏结剂使用膨润土，用量为 0.8%-1.2%，成分需符合 GB/T 20973 规定，添加量根据生球强度动态调整。

制备碱性/熔剂性球团时，添加剂选用石灰石、白云石等碱性熔剂或含镁熔剂，熔剂成分指标满足 GB/T 50491 要求。

4.1.3 燃料

优先采用天然气、焦炉煤气等气体燃料，也可使用重油、煤焦油等液体燃料，鼓励采用“氢气+天然气”混合燃料（氢占比 30-50%），或优先使用钢厂副产低热值煤气

燃烧过程应控制气体燃料燃烧时过剩空气系数控制在 1.1-1.2，煤气 CO 含量 30-40%、H₂ 含量 ≤10%，采用低 NO_x 燃烧技术减少污染物生成。

4.2 工艺技术要求

4.2.1 核心工序参数

4.2.1.1 干燥温度

干燥温度 120-150℃，水分降至 ≤5%；预热温度 300-350℃；焙烧温度控制在 1250℃左右，避免过烧；冷却后成品温度 ≤50℃。

4.2.1.2 料层与风量控制

合理提高料层厚度增强蓄热，降低料层阻力；干燥、预热、冷却段风量按需动态调整，热风循环系统减少漏风，提高热交换率。

4.2.1.3 焙烧制度

建立热平衡与风平衡系统，优化温度梯度和炉罩压力平衡；布料需均匀，料层厚度稳定，避免球团粘结或滚动偏析。

4.2.2 造球工艺

4.2.2.1 水分控制

严格水分含量需严格控制，过低不利于成球，过高则降低生球抗压强度并增加干燥能耗。最佳水分含量应通过试验确定，通常在 8.0%左右。

4.2.2.2 生球质量

合格的生球应粒度均匀（通常为 8-16 mm），并具有足够的抗压强度和落下强度（0.5m 落下次数 ≥5 次），以承受运输和布料过程中的机械应力。

4.2.3 带式焙烧机焙烧工艺

4.2.3.1 布料阶段

应设置铺底料和铺边料，以保护台车篦条和减少边缘效应。铺底料通常采用 8-16 mm 的成品球团，厚度宜为 80-100 mm。

生球料层厚度（不含铺底料）应均匀。提高料层厚度可增加产量并降低单位能耗，但需与风机能力相匹配，保证料层透气性。

4.2.3.2 干燥阶段

此阶段升温速率不宜过快，以防生球因内部水蒸气压力急剧升高而产生裂纹或爆裂。

通常分为鼓风干燥和抽风干燥两段。鼓风干燥段热源可采用冷却二段的回收热风（约 150-350℃），抽风干燥段可利用预热段或焙烧段的循环热风（约 350-450℃）。

干燥出口烟气温度应高于露点，防止设备和管道腐蚀。

4.2.3.3 预热阶段

预热温度通常控制在 950-1100℃。对于磁铁矿球团，此阶段是其氧化的关键时期。对于含镁高炉球团，适宜的预热温度为 950-975℃。

4.2.3.4 焙烧阶段

应严格控制该阶段焙烧温度：酸性球团焙烧温度通常在 1250-1300℃，碱性球团的焙烧温度根据碱度和原料特性有所调整，通常略低，对于含镁高炉球团，适宜的焙烧温度为 1250-1275℃。

焙烧气氛需严格控制。氧化性气氛（氧含量约 20%），以促进磁铁矿氧化为活性更高的次生赤铁矿，并利于赤铁矿再结晶，从而提高球团强度。

4.2.3.5 均热阶段

在焙烧后应维持一段时间的高温，使球团内外温度和结构更均匀，确保焙烧反应充分完成。

4.2.3.6 冷却阶段

将高温球团冷却至适宜出料的温度（平均不高于 80℃，最高不大于 120℃）。

冷却过程产生的热风应高效回收利用。一冷段（高温段）的热风循环至焙烧和预热段，二冷段（中温段）的热风用于鼓风干燥，实现热量梯级利用，高温球团矿显热利用率不应小于 90%。

4.2.4 成品球团矿质量要求

4.2.4.1 抗压强度

是衡量球团在运输和炉内承受静态负荷能力的重要指标。应符合 ISO 4700 标准进行检测。高炉球团抗压强度通常要求不低于 2500 N/个，直接还原球团要求更高，需达 3000 N/个以上。

4.2.4.2 转鼓指数

是衡量球团抗冲击和耐磨损能力的指标，应符合 ISO 3271 标准进行检测。+6.3mm 的转鼓指数通常要求不低于 94%。

4.2.4.3 粒度组成

粒径在 9-16mm 范围内的比例应大于 94%，小于 6.3mm 的粉末比例小于 2.5%。

5 设备智能化要求

5.1 智能化架构

5.1.1 智能感知与数据采集

5.1.1.1 原料系统

配料仓应安装称重传感器，相对误差不大于 0.5%。

混合与造球工序应安装在线水分仪，测量绝对误差不大于 0.2%，实现对原料水分的精确监控。

5.1.1.2 造球系统

应采用基于机器视觉的生球粒径在线检测系统，对出球区和稳定区的生球粒径分布进行实时、高精度分析，建立加水量、给料量、球盘转速与成球效果之间的关联模型。

优化控制技术，根据粒径分布变化趋势，动态调整目标加水量。根据不合格球（过大或过小）的比例变化，自动调整球盘转速和给料速度，应对原料波动等异常工况。

5.1.1.3 焙烧系统

应在各工艺段（干燥、预热、焙烧、冷却）的风箱、管道和炉罩内，设置温度、压力、流量、气体成分（O₂, CO, SO₂）等传感器，实现对热工参数的全面监控。

通过实时监测各干燥区烟气的湿度和风量，自动调整循环风机转速、热风温度等参数，实现干燥过程的闭环控制；结合 PID、模型预测控制等，对各段烧嘴燃料量、助燃风量及循环风量进行联动优化调节；通过对热平衡的在线计算分析，优化带式焙烧机热工参数、主引风机与回热风机转速匹配，降低燃料消耗。

5.1.1.4 设备健康管理

对主抽风机、台车、燃烧器等关键设备进行状态监测和故障预警，实现预测性维护，提高设备运行可靠性。

5.1.1.5 污染物排放控制

对球团生产过程产生的烟气进行有效治理，确保污染物的排放浓度满足或优于 GB 28662 及地方超低排放标准的要求。

采用“源头控制、过程削减、末端治理”相结合的综合控制策略。使用低硫燃料，采用烟气再循环、高效环保生产工艺；排污口应安装烟气排放连续监测系统（CEMS），对 SO₂、NO_x、颗粒物等污染物的排放浓度和总量进行实时监测，并与环保部门联网。

5.2 智能控制

配置智能配料系统，实现多目标优化；造球工序采用图像识别粒径分析技术，自动调整转速与喷水量；焙烧段搭建温度模糊控制模型，动态优化各区域温度，实现自动点火、熄火保护。

5.3 设备智能化

采用大风箱降低漏风率，配套翅片式换热器回收余热；关键设备（风机、电机）配置变频装置与预测性维护系统，通过图像识别实现焙烧机台车生命周期管理。

5.4 智能运维

构建全流程数字孪生模型，模拟工艺参数影响；料仓采用无人化自动换仓控制技术；设备故障通过主动感知技术推送预警信息，实现远程诊断与快速处置。

5.5 能耗管控

建立能源管控平台，实时监测工序能耗，通过燃烧自动寻优控制、余热回收等技术实现低碳运行。