

涟钢新建封闭式C型料场设计特点与生产实践

曹国祥¹, 周建同², 刘志华², 李文林¹, 邹忠明¹, 陈 鹏¹

(1. 中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410205; 2. 湖南华菱涟源钢铁有限公司, 湖南 娄底 417000)

摘要:为同步解决涟钢原料保供与超低排放双重需求, 本文从工艺、设备、除尘技术及智能控制4个方面对其设计特点进行详尽分析。结果表明: 该项目建成后, 主体工程各项性能指标表现优异。料场进料系统运载能力每条线均达2 000 t/h; 输出系统、配料系统及直拨料输出系统运载能力每条线均达1 500 t/h; 环境除尘器粉尘排放指标小于10 mg/Nm³; 配料后SiO₂质量分数波动范围为±0.15%的平均稳定率达93.99%。本文成果可为同级别钢铁企业料场“绿色+智能”升级提供量化参数和可复制模板, 对推动钢铁行业实现“双碳”目标具有现实示范意义。

关键词:封闭式C型料场; 超低排放; 设计特点; 绿色+智能

中图分类号: TF319

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2026)01-0015-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2026.01.003

Design features and production practices of the new closed type-C stockyard of Hunan Valin Lianyuan Iron & Steel Co., Ltd.

CAO Guoxiang¹, ZHOU Jiantong², LIU Zhihua², LI Wenlin¹, ZOU Zhongming¹, CHEN Peng¹

(1. Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China;

2. Hunan Valin Liangang Iron&Steel Co., Ltd., Loudi 417000, Hunan, China)

Abstract: In order to simultaneously address the dual demands of raw material supply and ultra-low emissions at Hunan Valin Lianyuan Iron & Steel Co., Ltd., the design features are analyzed in detail from four aspects including process, equipment, dust removal technology, and intelligent control. The results show that after the project's completion, all performance indicators of the main works performed excellently. The conveying capacity of the feeding system of the stockyard reached 2 000 t/h per line; the conveying capacities of the output system, proportioning system, and direct-transfer output system each reached 1 500 t/h per line; the dust emission index of the environmental dust collectors was <10 mg/Nm³; and the average stability rate of SiO₂ content fluctuation within ±0.15% after proportioning reached 93.99%. The findings of this study can provide quantitative parameters and a replicable model for the “green + intelligent” upgrading of stockyards in similar-scale iron and steel enterprises, offering practical demonstration significance for advancing the “carbon peaking and carbon neutrality” goals in iron and steel industry.

Key words: enclosed Type-C stockyard; ultra-low emissions; design features; green + intelligent

近年来, 国家连续出台《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》、《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》等政策, 明确提出“全面加

强物料储存、输送及生产工艺过程无组织排放控制, 在保障生产安全的前提下, 采取密闭、封闭等有效措施”、“开展钢铁行业智能制造行动计划,

收稿日期: 2025-07-24

作者简介: 曹国祥(1993—), 男, 工程师, 从事烧结、球团、料场及钢铁冶金节能环保方面的研究工作。

通信作者: 刘志华(1985—), 男, 高级工程师, 从事烧结、球团、料场及钢铁冶金节能环保方面的研究、管理工作。

推进 5G、工业互联网、人工智能、商用密码、数字孪生等技术在钢铁行业的应用”。受此推动,钢铁企业原料系统由此进入“封闭化+智能化”双约束时代。传统敞开式料场的“大风起尘、小雨成泥”环保短板日益突出,已成为钢铁企业无组织排放的主要源头^[1-2]。与此同时,5G、3D 激光扫描、格雷母线高精度定位等技术的成熟,使“堆取料无人化-混匀配料智能化-物流调度一体化”成为可能,料场建造逐步由“露天”走向“封闭+智慧”^[3-5]。

目前,国内主流封闭料场主要可分为 B 型、C 型、D 型、E 型等类型,其中 C 型料场因封闭空间小、占地面积少、单位面积贮量高及自动化程度高等优点备受青睐。2011 年,国内冶金行业首座 C 型环保封闭料场在攀钢西昌基地建成投产。随着封闭料场改造探索的深入,其结构设计及自动化水平得到进一步优化提升。白静等^[6]通过对管桁架结构与钢网架结构两种结构形式的整体分析与计算,阐述了钢网壳结构相较于管桁架结构在受力性能与经济性上的优势,为今后大跨度封闭堆场设计提供了相应依据。同时,众多专家学者^[7-9]致力于提升料场自动化水平,通过无线通信、5G 网络、格雷母线定位、3D 扫描和视频信号智能分析等先进技术,实现了堆取料机无人化作业,并构建了基于源头自动识别的全流程“一键式”智慧操控模式,显著提升了料场智能化水平与运营效率。孟凡光等^[10]利用三维模型实现料场盘库,采用欧式聚类分割、深度学习等算法对料堆进行分割处理。吉孟扬等^[11]提出的取料速度控制方法,可替代人工调节刮板机取料速度,减少设备作业故障,提高生产效率,有效提升设备无人化与智能化水平,为各种刮板机取料速度控制与作业稳定性控制提供参考。

本文针对湖南华菱涟源钢铁有限公司(以下简称“涟钢”)原料保供与超低排放的双重需求,结合其封闭式 C 型料场工程实践,从“工艺、设备、除尘技术及智能控制”4 个维度展开设计与研究,形成一套适用于“老厂局促用地、生产与建设并行”场景的封闭料场改造技术体系,为同类级别的钢铁企业料场“绿色+智能”升级提供量化设

计参数与可复制模板,对推动钢铁行业实现“双碳”目标具有现实示范意义。

1 工程概况与设计需求

1.1 工程概况

涟钢现有综合原料场建于 1990 年,一次料场与二次料场均采用露天布置。两料场合计物料年损耗率约为年受卸量的 0.2%~0.6%,既造成大量原料损耗,又难以满足现行环保要求。同时,涟钢基于自身发展需要,计划利用现有综合料场场地,新建一条大规模烧结机生产线。因此,需在新烧结生产线建设前,新建一座封闭式 C 型料场替代现有综合原料场,以同步解决原料保供与超低排放双重需求。

新建 C 型料场受料设施主要由铁路受料系统和汽车受料系统组成,年受料量约为 900 万吨(湿量)。其中,铁路受料系统负责接收铁路进厂输送的粉矿及精矿,年受料量约为 790 万吨(湿量);汽车受料系统负责接收汽车输入的利废杂料及粉矿,年受料量约为 110 万吨(湿量)。混匀矿年处理量达 900 万吨(湿基),可满足现有 3 台烧结机(1 台 130 m²、1 台 180 m²、1 台 280 m²)的含铁原料需求,后续将满足两台烧结机(1 台 280 m²、1 台新建)的需求。

1.2 设计难度

厂区红线内可建设用地呈碎片化分布(图 1),且物料输送系统工况复杂,需在既有车间、管廊及道路切割形成的异形地块内布置 45 万吨级封闭式 C 型料场、汽车矿及利废堆棚、预配料系统及相关转运设施。由此导致部分新建(构)筑物外边线与既有车间、道路净距不足 5 m,桩基施工空间与物流通道存在重叠。此外,料场所有接口需在“生产-建设并行、生产不停”的条件下完成设计与施工,同时还需为后续新建烧结工程争取工期,进一步加剧了场地与时间的双重约束。



图 1 三维鸟瞰图

2 工艺系统设计

2.1 总图布置

项目选址位于涟钢磷肥厂区，新建封闭式 C 型料场 1 座；同时在既有混匀料场新建预配料室、汽车矿堆棚及利废堆棚各 1 座。新建 C 型料场用地呈北窄南宽的带状楔形，东西向宽度约为 110 ~ 200 m，南北向长度约为 620 m；场地现状标高约为 94 ~ 106 m，整体为西高东低的缓坡。预配料室、汽车受矿及利废堆棚布置于帽形不规则区域的西侧，用地呈梯形，南北向长度约为 140 ~ 340 m，东西向宽度约为 140 m，现状标高约为 102 m。

2.2 工艺流程设计

该料场主要工艺系统由受料系统、一次料场系统、预配料系统、送料系统及辅助设施组成，核心功能为完成原料的“受卸 - 储存 - 加工 - 输送”全流程处理，具体流程如下。

(1) 原料通过铁路、公路两种方式运输入场，分类进行受卸与储存。铁路运输入场的铁矿粉，经带式输送机转运至封闭式 C 型料场堆存；该料场配置两台环保堆料机与 4 台半门架式刮板取料机，系统同时具备不进入 C 型料场直接输送至预配料室的功能。公路运输入场的汽车矿、块矿筛下粉及回收物质，转运至汽车矿及利废堆棚临时堆存。

(2) C 型料场取出的铁矿粉经刮板取料机转运至带式输送机，直接输送至预配料室；利废堆棚物料则通过汽车翻卸至地面，由抓斗起重机造堆并抓取后，经料槽、圆盘给料机、电子皮带秤完成配料，最终转运至预配料室。

(3) 预配料室矿仓下的圆盘给料机与电子皮带秤协同作用，将配好的原料加工为混匀矿，最终输送至 130、180、280 m² 烧结机及后续新建烧

结机，满足多规格烧结生产需求。

2.3 关键工艺参数

该项目关键工艺控制参数：1) 料场进料系统单条输送能力达 2 000 t/h；2) C 型料场输出系统、配料系统及直拨料输出系统单条线输送能力达 1 500 t/h；3) 环境除尘器粉尘排放指标 < 10 mg/Nm³；4) 配料后 SiO₂ 质量分数波动控制在 ±0.15% 以内的平均稳定率达 80% 以上；5) 自动化控制方面，可根据不同生产指令实现一键智能堆料、智能平料、智能取料等作业，智能盘库准确性体积误差 ≤ 5%。

3 主要设备选型及配置

3.1 半门架式刮板取料机

封闭式 C 型料场配置 4 台半门架式刮板取料机，单台独立运行。其结构由刮板取料机构、刮板俯仰机构、门架、整机行走机构、卸料装置、钢结构、检修平台、扶梯及栏杆，司机操作室、电动智能润滑装置、电缆卷盘及配套电缆、全套电气供电及控制系统等组成。设备采用室内布置，工作环境潮湿且扬尘量大，因此针对各部件的防尘、防水、防腐、耐高温、防磨损及防粘料性能进行专项设计，并通过控制设备最高运转温度，有效延长使用寿命。

4 台半门架式刮板取料机的控制系统采用 PLC 集中控制管理，可实现中控室远程手动/自动控制及机上自动/半自动操作。车体上安装有工业电视监控点，信号传输至料场中控室，实现取料过程的智能化监控。走行机构具备不同步检测功能，设有纠偏机制，超限时自动停车；同时采用变频电机驱动，支持连续变频调速，并配置输入电抗器、制动电阻和制动单元，可满足频繁启制动要求。刮板取料机的设备规格参数如表 1 所示。

表 1 刮板取料机设备规格参数

取料能力/(t·h ⁻¹)	悬臂提升角度/(°)	大车运行速度/(m·min ⁻¹)		运行距离/m	通讯方式	操作方式	走行定位方式
		调车	取料				
1 500 (含铁矿粉)	- 10 ~ 45	~ 20	~ 4.1	~ 410	光纤 (以 太 网) + 无线通信 (以太网)	中控室 远 程 手 动 / 自 动 控 制、机 上 自 动 / 半 自 动	微波雷达、编 码 器 + RFID 检 验

3.2 环保堆料机

封闭式 C 型料场配置两台环保堆料机, 对称布置于料场车间上层平台, 其尾车爬升角度为 14°。堆料机结构主要由小车行走机构、驱动平台、水平悬臂式带式输送机(双向堆料皮带)、夹轨器、压带轮、清扫装置、智能润滑系统及全套电气供电与控制系统等组成。

环保堆料机支持走行与定点堆料两种模式, 启动、制动及运行过程平稳可靠。每台环保堆料机上设置 1 套干雾抑尘系统, 用于抑制堆料时的扬尘; 该系统自带控制系统, 可将运行状态及故障信号实时传输至中控系统。此外, 堆料机供电电缆、供水水管及供气气管均集成于 1 套拖链系统中, 实现管线的同步有序移动。环保堆料机的设备规格参数如表 2 所示。

3.3 脉冲袋式除尘器

根据粉尘性质、产尘点分布及工作制度等因素, 本项目配置除尘系统, 包括 C1 袋式除尘系统和预配料室袋式除尘系统两部分。

(1) C1 袋式除尘系统负责大块筛分室及 C1 ~ C5 转运站等区域的除尘任务。净化达标后的废气通过 D 式离心风机经高排气筒排入大气; 除尘器收集的粉尘通过气力输送至汽车矿及利废堆棚旁的粉尘仓回收利用。

(2) 预配料室袋式除尘系统负责预配料室、C6、Y1 及 Y2 转运站等区域的除尘任务。净化达标后的废气通过双吸双支撑离心风机经高排气筒排入大气; 除尘器收集的粉尘通过气力输送至汽

车矿及利废堆棚旁的粉尘仓回收利用。

各袋式除尘系统除尘器的技术参数如表 3 所示。

3.4 螺旋清堵机

针对高黏性物料在配料仓壁黏结引发的断料问题及人工清仓的安全风险, 在易黏仓段设置螺旋清堵机^[12]。设备采用旋转体与轴承滚道分离技术, 旋转体与清堵机的传动系统完全独立, 可避免仓体内物料及外部粉尘侵入轴承滚道。螺旋清堵机配备的控制箱支持就地手动、远程手动及远程自动控制 3 种模式, 并与皮带秤信号联锁。当皮带秤发出断料信号时, 清堵机自动启动螺旋清堵装置, 实现高效在线清堵。

3.5 应对斜交带式输送机防止堵料的新型溜槽

受项目场地分散、外部接口众多及来料系统复杂等因素影响, 大量上游下料带式输送机与下游受料带式输送机呈斜交布置。为解决此类布置中传统漏斗因急收口堵料问题, 在受限空间内采用“顶部扩大入口-逐级缓慢收口-转接斗调向”三段式策略, 研发一种应对斜交带式输送机防止堵料的新型溜槽。该设计使底部卸料口尺寸仍可按《DTII(A)手册》的标准参数选取, 同时有效规避了传统漏斗因底部收口过急而引发的堵料风险。

4 除尘系统设计及应用

4.1 设计原则与措施

为加强环境保护、改善生产作业环境, 除尘系统设计针对各产尘点、产尘设备及转运环节制定全面综合的防尘和除尘措施, 有效控制粉尘扩散和外逸。

表 2 环保堆料机设备规格参数

额定堆料能力/(t·h ⁻¹)	带宽/mm	供电方式	大车运行速度/(m·min ⁻¹)		运行距离/m	除尘方式	操作方式	走行定位方式
			调车	运行				
2 000 (含铁矿粉)	B1400	拖链	~ 25	~ 15	~ 420	自带干雾抑尘系统	中控室 远程手动/自动控制、机上自动/半自动	微波雷达、编码器 + RFID 检验

表 3 袋式除尘系统除尘器主要技术参数

袋式除尘系统除尘器种类	处理风量/(m ³ ·h ⁻¹)	布袋除尘器过滤面积/m ²	布袋净过滤风速/(m·min ⁻¹)	滤袋规格/mm	滤袋数量/条	出口含尘质量浓度/(mg·Nm ⁻³)	漏风率/%
C1 袋式	212 000	6 120	<0.7	∅130×6 000	2 496	<10	<2
预配料袋式	501 500	13 170	<0.7	∅130×6 000	5 376	<10	<2

(1) 对各产尘点、设备及转运环节实施尘源密闭, 设置抽风罩或密闭罩并通过机械抽风, 确保系统和罩内负压维持状态, 控制粉尘外逸。

(2) 选用高效脉冲袋式除尘器作为净化设备, 保障废气颗粒物排放浓度小于 10 mg/Nm^3 。

(3) 应用除尘管道阻力平衡专利技术^[13-14], 优化系统分支管道阻力, 平衡管道整体阻力, 确保除尘系统在设计风量下长期稳定运行。

(4) C1 袋式除尘系统及预配料室袋式除尘系统收集的粉尘通过气力输送至汽车矿及利废堆棚旁的粉尘仓, 实现资源化回收利用。

(5) 构建智能化集中除尘系统, 将所有除尘器、除尘风机、输灰设备等纳入统一监控平台, 关键运行数据远程传输至料场中控室, 支撑高效管理与维护。

4.2 无组织排放

4.2.1 封(密)闭

粉状物料采用密闭料仓储存, 通过气力输送设备或罐车密闭输送。C 型料场、汽车矿及利废堆棚、预配料室均采取四周全封闭措施; 预配料室仓下受料带式输送机采用全程导料槽, 电子皮带秤、圆盘给料机等设备采用整体封闭结构。所有皮带通廊、转运站、重锤间均采用压型钢制彩板瓦全封闭, 各输送转运节点全封闭; 落料点后端全程设置导料槽, 且沿输送方向设置长度不小于 20 m 的导料槽, 确保无组织粉尘不外逸。

4.2.2 收尘

对固定及连续作业产尘点设置全密闭收尘罩, 所有落料与转运点均配套收尘或抑尘设施; 按“应收尽收”原则确定风量, 在系统管路阀门全开工况下, 确保各收尘罩罩面风速不小于 1.5 m/s 。

4.3 抑尘

4.3.1 封闭料场抑尘

C 型料场内两侧各布置 8 台射程 60 m 的射雾器, 汽车矿及利废料棚两侧各设 6 台射程 40 m 的射雾器, 均实现堆取料作业点喷雾全覆盖。射雾器支持手动、遥控及中控远程 3 种模式, 具备定时、定点、定量喷雾功能。环保堆料机配套干雾抑尘系统, 可在小车卸料时自动启动并与堆料机运行连锁, 显著抑制粉尘外溢, 改善作业区环境。

4.3.2 预配料室仓顶卸料小车抑尘

预配料室仓顶每台重型卸料小车及移动可逆配仓小车均配套干雾抑尘系统, 可在卸料时自动启动, 抑制粉尘外溢并改善作业区环境。

4.3.3 抑尘自动控制

料场工程所有抑尘设施均实现中控室远程控制功能, 并预留与炼铁厂智慧管控中心的接口。

5 智能化控制系统

针对工程规模、工艺流程特点及自动化需求, 构建全面的工艺过程参数检测体系与先进的计算机控制系统。系统融合智能化技术, 旨在提升劳动生产率、优化劳动定员、降低生产成本, 同时减轻操作人员劳动强度, 改善操作环境, 增强企业竞争力。所有仪表检测控制参数及生产设备运行信号均纳入计算机控制系统, 实现生产过程的自动控制、监视、数据处理及生产管理。

在料场区域新建的电气楼中设置料场主控室, 并配置全套控制系统, 实现设备集中操作、实时监视与远程控制。在 C 型料场、预配料室仓顶等关键岗位增设巡检室, 安装客户端及监视屏, 用于关键工艺数据的在线记录与巡检管理。

5.1 L1 系统主要控制功能

L1 系统主要面向生产过程, 完成生产过程的数据采集和初步处理、数据显示和记录、数据设定和生产操作, 执行对生产过程的连续调节控制和逻辑顺序控制。通过人机接口界面进行人机对话、修改过程参数并切换设备运行状态, 对所控制的生产过程实施监视和控制, 实现生产及设备自动化。其主要包括环保堆料机自动作业、半门式刮板取料机自动作业、大机防碰撞管理、设备在线监测、自动配料、电气控制、仪表控制及画面功能等系统。

(1) 环保堆料机自动作业系统: 通过 3D 扫描仪扫描料堆, 实现自动堆料、定位、料高检测及视频监控显示。系统可驱动环保堆料机自动运转至指定仓位, 完成卸矿车相关参数检测, 相关信号接入 PLC 控制系统, 实现无人值守连续作业。

(2) 半门式刮板取料机自动作业系统: 由中控管理系统和机上控制系统组成, 实现中控远程

操控、自动平料、自动取料及视频监控与显示。

(3) 大机防碰撞管理系统: 通过高精度定位技术及多种防碰撞手段, 获取大机位置及姿态信息, 实现防碰撞功能。

(4) 设备在线监测系统: 对关键设备开展早期健康状态监测, 采集多类工艺参数, 实现集中监控、分析及报警处理。

(5) 自动配料系统: 根据配料单及仓位变化提前预判, 实现自动换仓, 完成配料仓料种及仓位实时管理。

5.2 L2 系统主要功能

L2 系统获取 L1 系统的生产实时数据, 完成生产过程的操作指导、作业管理、数据处理、数据存储及数据报表等。其主要包括数字料库、堆料机自动作业、刮板取料机作业、预配料管控及物料流程管控等系统。该系统通过硬件与软件的紧密结合, 确保整体运行的完整性、稳定性与可靠性。

(1) 数字料库系统: 通过 3D 激光扫描仪生成料场 3D 模型, 实现自动盘库、报表生成及全生命周期管理, 支持多种展示方式, 具备料场信息管理、三维可视化等功能。

(2) 环保堆料机自动作业控制系统: 基于多参数耦合技术, 结合物料轮廓动态建模, 实现自动堆料、料位检测及物料预警等功能。

(3) 半门式刮板取料机作业系统: 基于 3D 扫描、机车定位等技术, 实现无人化取料、平料及盘库操作。

(4) 预配料管控系统: 根据配料计划预测料仓用尽时间, 推荐补仓流程, 保障混匀矿质量; 同时生成配料报表, 避免混料情况发生。

(5) 物料流程控制系统: 针对 C 型原料场特点, 制定受料、预配料、送料等工艺环节的控制策略, 实现流程控制、设备运行状态监控及画面显示操作。

6 生产实践与效果分析

6.1 运行性能

目前涟钢 C 型料场已顺利投产并实现平稳运行。项目建成后, 主体工程各项性能指标表现优

异。料场进料系统(含卸矿功能)的运载能力每条线达 2 000 t/h; C 型料场输出系统、配料系统及直拨料输出系统的单条线能力均达 1 500 t/h, 可持续稳定为 3 座高炉提供原料, 年供料量可达 900 万吨以上。另外, $W(\text{SiO}_2) \pm 0.15\%$ 的配料稳定率参数如图 2 所示。由图 2 可知: 项目投产 12 个月内配料后 SiO_2 质量分数波动范围控制在 $\pm 0.15\%$, 平均稳定率达 93.99%。因此, 料场为烧结生产提供了粒度均匀、化学成分稳定的混匀料, 有效稳定了烧结生产过程, 提升了烧结配料质量和烧结矿综合合格率。

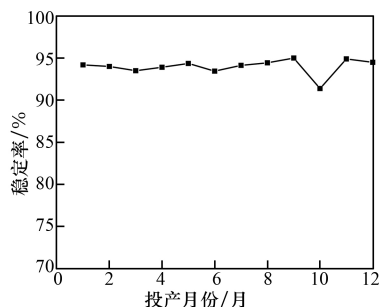


图 2 配料后 $W(\text{SiO}_2) \pm 0.15\%$ 稳定率曲线

6.2 经济效益与社会效益

在经济效益测算方面, 按料场年受卸量为 900 万吨、物料损耗率降幅为 0.2%~0.6% 计算, 项目年可节约含铁原料为 1.8 万~5.4 万吨。按含铁原料为 700 元/t 的价格计算, 对应直接经济效益为 1 260 万~3 780 万元。同时, 涟钢发布的 3 份环境产品声明报告显示, 近年来涟钢大力开展环境治理, 加大超低排放改造与节能降碳项目的投入力度, 以清洁生产、超低排放改造、减污降碳协同、极致能效为重点突破方向, 为构建绿色低碳钢铁产业链贡献力量。随着高炉煤气精脱硫、C 型料场、超低排放一体化平台项目等重点项目投入使用, SO_2 、氮氧化物、颗粒物累计削减量同比分别减少 1 031、562、829 t。涟钢周边环境空气质量大幅改善, 主要污染物 SO_2 、氮氧化物、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均下降 10% 以上。

7 结论与展望

本文结合涟钢封闭式 C 型料场工程实践, 从工艺、设备、除尘技术及智能控制 4 个维度展开设计与研究, 形成一套适用于“老厂局促用地、生产与建设

并行”场景的封闭料场改造技术体系。该料场建成后,主体工程各项性能指标表现优异。料场进料系统输送能力单条线达 2 000 t/h;输出系统、配料系统及直拨料输出系统的单条线能力均达 1 500 t/h;环境除尘器粉尘排放浓度 $< 10 \text{ mg/Nm}^3$;配料后 SiO_2 质量分数波动范围控制在 $\pm 0.15\%$, 平均稳定率达 93.99%。该料场工程设计理念先进、物流组织顺畅、自动化程度高,集成了多项实用技术,可为同级别钢铁企业料场“绿色+智能”升级改造提供量化参数支撑与可复制实施模板,对推动钢铁行业实现“双碳”目标具有现实示范意义。

后续研究将依托数字孪生技术,构建“物理料场-运营数据-碳排放模型”实时耦合框架,建立涵盖规划设计、建造施工、运维服役直至拆除回收的全生命周期碳排放评价体系;通过孪生体在线演算与预测,实现碳排指标闭环优化,为智能化环保料场建设提供全过程精细化碳管控解决方案。

参考文献:

- [1] 康兴东,冯杨,王帅,等. 智能环保封闭料场发展机遇及重点和难点探讨[C]//2018 建设城市绿色钢厂及钢厂搬迁研讨会论文集. 北京:冶金工业出版社, 2018:118-121.
- [2] 康兴东,邱实,郭鹏,等. 智能环保原料场设计[J]. 工程建设,2019,51(5):68-70.
- [3] 古青,陈伟巍,陈晓霞. 格雷母线在斗轮机高精度定位中的应用研究[J]. 中国设备工程,2025(3):123-124.
- [4] 李悦. 基于 5G 技术的钢铁企业智慧生产管控平台升级方案设计与实施[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院, 2024.
- [5] 陈陆义,邱立运. 混匀料场堆取料机作业精细化控制关键技术研究[J]. 自动化仪表,2025,46(3):122-126.
- [6] 白静,方可. 大跨度封闭式料场结构选型对比分析[J]. 湖南水利水电,2024(2):1-3.
- [7] 吕庆,张巍. C 型料场堆料层动态模拟控制系统及方法技术方案:CN202210011566.9[P]. 2022-04-12.
- [8] 段成银. 钢铁企业原料场中三维数字化料场系统的应用[J]. 山西冶金,2023,46(1):169-171.
- [9] 刘瑞明. 炼铁厂料场智能化升级改造实践[J]. 山西冶金,2024,47(11):216-217;220.
- [10] 孟凡光,高振涛,张利峰. 原料场堆取料机自动盘库系统[J]. 河北冶金,2023(9):67-70.
- [11] 吉孟扬,郭宇,李曦,等. C 型料场刮板机取料速度控制方法与系统开发[J]. 烧结球团,2024,49(5):80-87;116.
- [12] 刘社喜. 一种刮刀旋转面与多面体料仓仓壁平行的清堵机的制作方法:CN202010073470.6[P]. 2020-05-01.
- [13] 李准,黎前程. 全平衡负压除尘系统技术研究及工程应用[J]. 烧结球团,2017,42(3):75-78;85.
- [14] 乐文毅,李准,刘贵云,等. 用于除尘管路的高耐磨阻力平衡器的制造方法:CN201320465840.6[P]. 2014-01-08.