钢铁工业含锌尘泥回转窑处置技术的应用进展

沈维民[1a]，叶恒棣[1]，张志波[1a]，倪桂虎[2]，李 谦[1b]

（1. 中冶长天国际工程有限责任公司 a. 湖南中冶长天节能环保技术有限公司；b. 工程技术研究中心，湖南 长沙 410205；2. 山东钢铁集团永锋临港有限公司，山东 临沂 276624）

摘要：钢铁冶炼过程（炼铁、炼钢）会产生大量的含锌尘泥，该尘泥不宜直接返回炼铁工序，一般以厂内长期堆存或外委等方式进行处理。随着我国钢铁企业“固废不出厂”“循环经济”“绿色制造”等新理念的深入推进，在钢铁厂内部采用新型回转窑技术直接处置含锌尘泥成为大势所趋。本文介绍了传统回转窑处置含锌尘泥技术的工艺流程，从原料、生产过程和产品特点等方面分析其不足，提出采用原料造球、多喷孔分级进风等创新技术的新型回转窑处置技术，该技术明显提高了回转窑处置能力，缓解了回转窑结圈，已相继在永锋钢铁、八一钢铁、诚钰环保等钢铁企业和环保公司稳定运行，产生了良好的经济与社会效益。该技术在多固废协同处置、热渣干式冷却等方面具备应用前景。

关键词：钢铁企业；含锌固废；回转窑；资源循环

中图分类号：TF089；X705 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－8764（2024）01－0011－07

doi：10. 13403/j. sjqt. 2024. 01. 002

Progress in application of disposal technology for zinc-containing dust sludge rotary kiln in iron and steel industry

SHEN Weimin[1a], YE Hengdi[1], ZHANG Zhibo[1a], NI Guihu[2], LI Qian[1b]

（1. Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd. a. Hunan Zhongye Changtian Energy Conservation and Environmental Protection Technology Co., Ltd.; b. Engineering Technology Research Center, Changsha 410205, Hunan, China; 2. Yongfeng Lingang Co., Ltd., Shandong Iron & Steel Group Co., Ltd., Linyi 276624, Shandong, China）

Abstract: A large amount of zinc-containing dust sludge will be produced during the iron and steel smelting process (iron-making, steel-making), which is not suitable for direct return to the iron-making process, and is generally treated by long-term storage in the plant or outsourcing. With the in-depth promotion of new concepts such as “no solid waste leaving the factory”, “circular economy” and “green manufacturing” in China’s iron and steel enterprises, it has become an inevitable trend to adopt new rotary kiln technology to directly dispose of zinc-containing dust sludge in iron and steel plants. The process flow of the traditional rotary kiln to dispose of zinc-containing dust sludge is introduced, and its shortcomings are analyzed from such aspects as raw materials, production process and product characteristics, and a new rotary kiln disposal technology, using such innovative technologies as raw material pelleting and multi-nozzle grading air intake, is proposed, which significantly improves the disposal capacity of the rotary kiln and alleviates the ring forming of the rotary kiln, followed by stable operation in Yongfeng iron and steel, Bayi iron and steel, Chengyu environmental protection, and other iron and steel enterprises and environmental protection companies, as well as good economic and social benefits. This technology has application prospect in the co-disposal of multiple solid wastes and dry cooling of hot slag.

Key words: iron and steel enterprises; zinc-containing solid waste; rotary kiln; resource recycling

收稿日期：2022－09－07；**修回日期**：2022－10－25

基金项目：中国科协青年人才托举工程项目（2022QNRC001）；湖南省科技人才托举工程项目（2022TJ-N02）

作者简介：沈维民（1969—），男，正高级工程师，从事冶金能源环境治理工艺及装备方面的研究工作。

通信作者：李 谦（1991—），男，博士，高级工程师，从事冶金固废资源化领域的研究工作。

钢铁冶炼铁矿原料中含有少量的锌，该物质具有易还原、沸点低等特性，极易在高炉炼铁、转炉炼钢等工序的烟尘中富集，并形成含锌尘泥。如果将这些含锌尘泥直接回用至烧结工序，后续产品的锌含量会提高，同时也会在高温设备的喷口及耐火材料的内表面富集，形成结瘤，对耐火材料形成侵蚀，降低其使用寿命，亦可能造成局部堵塞，危害炉窑设备(尤其是高炉)的顺行[1]。由于缺乏有效的处置方法和设施，目前钢铁企业对含锌尘泥主要采用厂内长期堆存或外委等方式进行处理。而外委企业一般参照有色化工行业的火法次氧化锌回转窑工艺(本文称为传统回转窑处置技术)来对含锌尘泥进行处置[2-3]，该工艺的能源消耗水平较高，智能化水平和对固废的资源化利用水平较低，在处置钢铁企业铁含量较高的含锌尘泥时存在易结圈的问题。

本文通过分析传统回转窑处置含锌尘泥技术存在的不足，提出采用“强混 + 造球”、高炉煤气辅助供热、多喷孔分级进风等新型回转窑处置技术，并介绍该技术在几个典型钢铁企业和环保公司的应用情况，提出该技术的未来发展方向，为降低回转窑处置含锌尘泥的能耗与碳排放水平，提升窑渣和次氧化锌产品的质量，并为含锌尘泥的高价资源化利用提供一种新的技术思路。

1 回转窑处置技术对比

1.1 传统回转窑处置技术

1.1.1 工艺流程

传统回转窑处置含锌尘泥技术的工艺流程如图 1 所示。由图 1 可知：焦炭作为还原剂与含锌物料混匀后，由圆盘给料机送入回转窑进行还原反应，含锌物料中的 Zn 氧化物被还原后挥发，其在烟气中重新被氧化，最终以 ZnO 粉尘的形式进入烟气处理系统；该 ZnO 粉尘被布袋除尘器收集成为富锌的氧化锌产品，其品位与入窑原料的含锌品位有关，可进一步生产次氧化锌(Zn_2O)、硫酸锌($ZnSO_4$)、锌锭(单质 Zn)等产品。回转窑内的含铁物质则留在渣中，经回转窑排出后进行冷却。该窑渣的铁品位过低，难以直接返回钢铁企业被重新利用，其主要去向为水泥等建材行业，作为原料使用。

传统回转窑处置技术在处理有色金属行业的铅锌湿法冶炼渣、化工行业的重金属固体废物具备一定的效果[4-5]。在有色化工行业，该工艺处理的原料通常为颗粒状、高熔点、低铁含量的物料。而在钢铁行业，该工艺的原料变为含铁量为 30%~50% 的粉状除尘灰，导致回转窑非常容易结圈，很难稳定运行[6-7]。目前，外委企业处理钢铁行业含锌尘泥基本只处置低铁含量的物料，并需大量添加其他高熔点的含锌渣，处置成本较高、运行效率较低。

1.1.2 技术特点

(1) 原料特点。传统回转窑的入窑原料为高锌、高碳、低铁的除尘灰，需添加含锌量高的酸

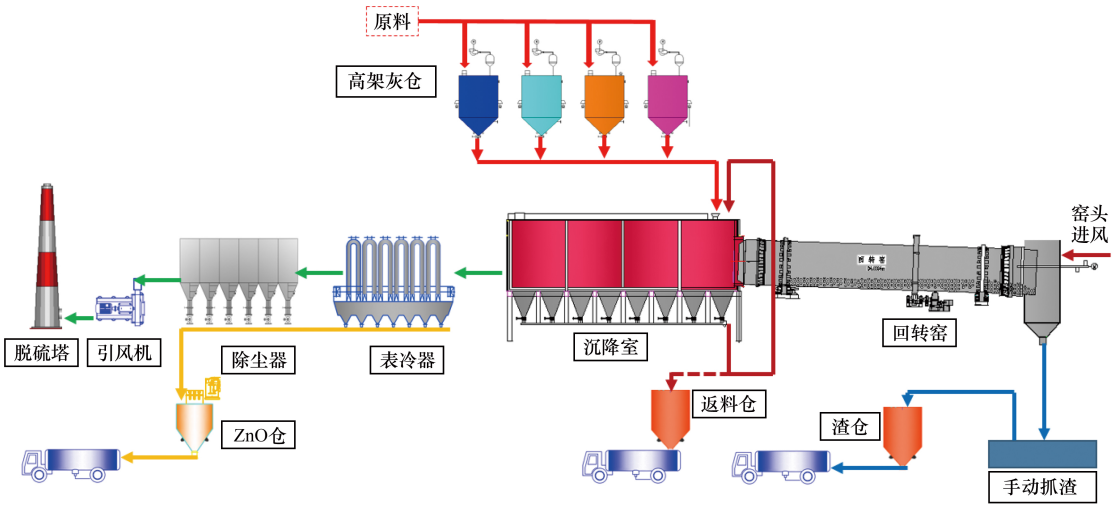


图 1 传统回转窑处置技术的工艺流程

Fig. 1 Flow diagram of traditional rotary kiln disposal technology

性红泥。该技术的几种典型原料的主要化学成分和配比如表 1 所示。由表 1 可知：高炉灰的含锌量为 7.96%，但是含铁量高达 50.55%，其在回转窑内单独还原容易造成回转窑结圈，因此常常配入高锌、低铁的硫酸锌泥，降低物料的平均含铁量；瓦斯泥的锌和铁含量都比较低，但是含碳量达到 31.93%，可以为锌铁还原提供一部分能量和还原剂，减少焦炭的使用。

表 1　传统回转窑处置技术几种典型原料的主要化学成分和配比（质量分数）

Table 1　Main chemical composition and raw material ratio of typical materials in traditional rotary kiln　　%

原料名称	TFe	Zn	C	H_2O	配比
高炉灰	50.55	7.960	1.26	0.54	40
瓦斯泥	13.35	0.072	31.93	16.85	20
硫酸锌泥	13.24	8.400	0.36	34.94	20

（2）生产特点。① 通常建设在钢铁企业周边，不仅从钢铁企业收购含有一定锌品位的高炉布袋除尘灰、转炉除尘灰、电炉除尘灰等物料，也从有色行业的湿法冶炼企业收购大量含锌量较高（8%~20%）酸性红泥等高熔点泥；② 生产所需的还原剂量及热量完全依赖原料中的自有固定碳及额外添加的焦炭或煤粉，为确保回转窑的高温环境以及物料具备较好的还原性，使脱锌工艺取得良好的脱锌率，要求原料中固定碳配比在 20% 左右，甚至更高；③ 周边通常不具备天燃气供应条件；④ 需要专业团队进行投资、建设及运营，但是投资金额普遍较低，生产线自动化水平不高、环保设施不健全；⑤ 通常采用粉料直接入窑方式，由于除尘灰粒径小、比表面积大，极易产生扬尘；⑥ 为减少除尘灰被高温烟气直接带走，造成后段烟道堵塞，次氧化锌杂质含量过高，在除尘灰入窑过程中需要加湿，加湿量甚至超过 30%[8]。大量水加入，导致能源消耗增大，烟气中水蒸气含量升高。

（3）产品特点。氧化锌回收企业的主要盈利点为提取氧化锌，锌品位越高、数量越多，则效益越好，因而企业要求除尘灰的含锌品位越高越好。由于红泥（主要为 $ZnSO_4$）具有含锌高、含铁低、熔点高等特点，掺入后可提高次氧化锌产品的品位及数量，显著提升回收企业的经济效益，同时还能改善窑况，延长结圈周期。因而，大部分企业都会在原料中掺入红泥，掺入比甚至高达 30%。红泥的掺入，也造成了窑渣的铁品位降低、含硫量升高，其更难被钢铁企业利用，只能作为建筑材料的原料加以利用。

1.2　新型回转窑处置技术

1.2.1　工艺流程

新型回转窑处置技术的工艺流程如图 2 所示。由图 2 可知：新型回转窑处置技术采用强力混合机→造球机→回转窑（还原）→沉降室或余热锅炉→表面式冷却器→布袋除尘器→湿法脱酸系统等工序。与传统回转窑工艺不同的是，所有物料在进入回转窑之前，先经过强力混匀机充分混匀，然后经圆盘造球机或者其它造粒机进行造粒，将粉料制成 3~8 mm 的小球；小球送入回转窑中进行还原，氧化锌随烟尘进入烟气中；烟气经由沉降室或余热锅炉，除去一部分大颗粒粉尘，然后经表面式冷却器冷却之后，由布袋除尘器进行收集；除尘后的烟气采用湿法脱酸系统除去大部分的 SO_2 后排放大气。窑渣经过冷却之后先经过选铁工序得到富铁渣，这部分富铁渣可以作为烧结原料返回钢铁流程，选后的尾渣则作为建筑材料的原料使用。

新型回转窑处置除尘灰技术，将传统以单一氧化锌产品为主要盈利点，改变为以提高窑渣铁品位及金属化率，使固废中铁元素得到有效再利用为前提的循环经济模式，可以极大提升回收项目的经济性。

1.2.2　技术改进

针对传统型回转窑处置技术中易结圈、智能化水平不高的问题，本文对现有回转窑技术进行以下技术改进。

（1）增加物料强力混合、造球等预处理措施。改变传统的散料入窑方式，原料经过强力混合机 + 造球机工艺制成规则的小球，以球团形式进入回转窑。与散料入窑相比，小球在回转窑内翻滚将会大幅度减少进入烟气的扬尘，明显降低高温烟管出现堵塞的现象，使得次氧化锌产品的杂质减少、锌品位提升。

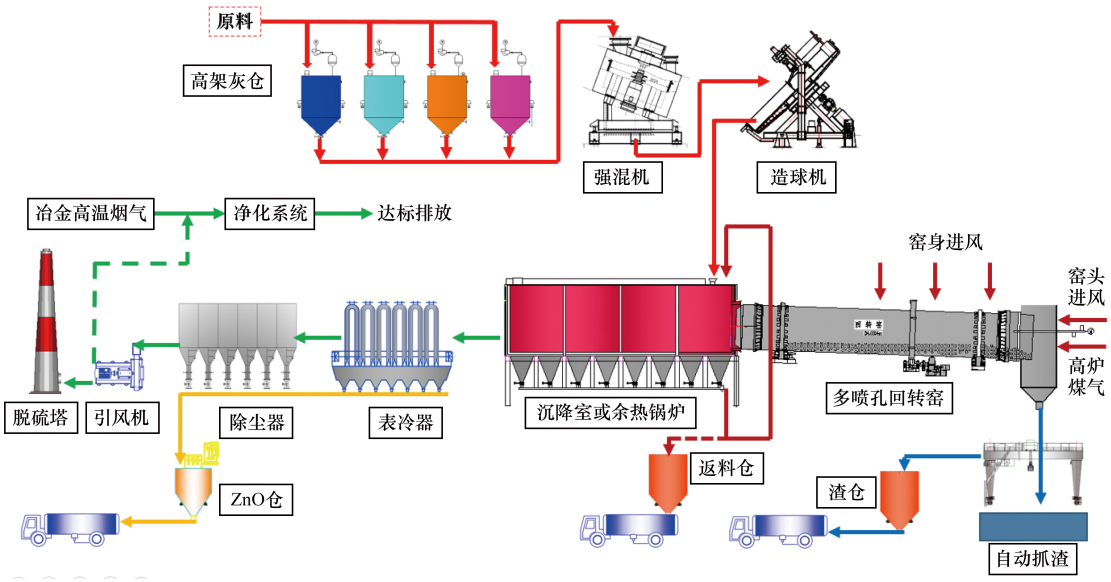


图 2 新型回转窑处置技术的工艺流程

Fig. 2 Flow diagram of new rotary kiln disposal technology

通过反复试验确定造球工艺，该工艺不需要添加黏结剂，也不需要额外干燥，制成的生球直接进入回转窑内依次进行干燥、预热和高温还原。通过对回转窑的转速和倾角进行合理设计以控制物料在回转窑内的行进速度，降低球团爆裂指数，使出窑物料大部分仍保持小球形态。此外，在回转窑的高温区，物料以球状方式与窑内的耐火材料接触，受热更加均匀、稳定，避免了含铁原料与耐火材料的直接接触而发生反应，减少了耐火材料的侵蚀及回转窑结圈现象。原料中的铁、锌及低熔点盐等物质集中在球体内部进行反应，该反应变得更稳定，减少了窑内局部过热。低熔点物质的熔化也主要集中在球体内部，有效减缓了窑内结圈。新技术扩宽了原料的适用范围，使回转窑也适用高铁品位的含锌原料。若入窑原料的铁品位达到 43%，窑渣的铁品位可高达 62% 以上，这使得回收窑渣中的铁成为可能。

（2）采用高炉煤气供热。传统回转窑工艺中，原料必须配入一定量的焦炭以提供回转窑高温和还原所需的能量，导致能源消耗和碳排放量偏高；在回转窑的窑头需要鼓入大量的空气以提供焦炭燃烧所需的氧气。由于窑渣从窑头被排出，这导致高温窑渣中已被还原的金属铁遇到大量的空气再次被氧化，这降低了窑渣的金属化率。

新技术充分利用钢铁厂富余的高炉煤气等低热值气体燃料对回转窑供热，使得原料中的碳元素仅作为金属氧化物的还原剂，大幅降低回转窑所需的碳含量。该技术对原料热值的要求可降低至 3 767. 27 kJ/kg，减碳的同时降低了回转窑的综合能源消耗和运行成本。此外，该技术在窑头用含氧的高温烟气代替传统的高压空气，大大降低了窑口高温区的含氧量，使窑渣再氧化显著减少，金属化率保持较高水平。

（3）采用多喷孔回转窑技术。多喷孔回转窑技术原理如图 3 所示。传统回转窑中的空气全部从窑头鼓入，这使得窑头部分区域成为高温区，甚至局部过热，造成回转窑窑头易结圈；同时，这部分空气形成高氧势，出窑的高热窑渣在高氧势条件下又重新被氧化，降低了窑渣的金属化率和产品价值。

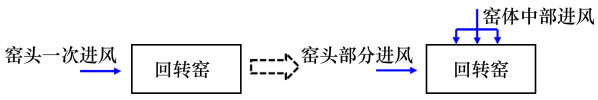


图 3 多喷孔回转窑技术原理

Fig. 3 Principle of multi-injection rotary kiln

新技术将空气从窑头直接鼓入改为从窑身鼓入，并根据窑内温度场控制窑身各点的进风量，实现窑内温度的精准控制。新技术改变了传统的进风方式，降低了窑头的局部高温，同时提高了窑后端的温度，延长了窑内高温区的长度，缓解

了回转窑结圈现象，使回转窑的生产效率得到提高，窑渣产品的金属化率也大幅提高。

（4）全流程智慧生产技术。新技术采用全流程智慧生产技术：① 通过模型自动计算回转窑所需不同原料的质量，实现智能配料及上料；② 采用基于多点热电偶与红外热成像仪的回转窑三维温度场可视化测温技术，利用热电偶修正红外热成像仪，通过焦距可调的红外热成像仪，实现窑内温度的可视化；③ 采用自动抓渣技术，可实现窑渣的无人化生产。

（5）协同处置回转窑烟气。目前我国钢铁企业高温炉窑的规模都很大，其烟气治理系统普遍较完善。相对而言，传统的含锌除尘灰处置回转窑类项目的规模及烟气量都非常小，单独建设烟气治理设施的成本较高；且其烟气的处理要求都较为简单，一般仅需脱酸设施。为了降低烟气治理成本，降低排放量，含锌尘泥处置项目可充分利用周边大型炉窑处置设计的余量，将回转窑尾气与钢铁企业的烧结、球团等工序烟气合并净化，实现烟气协同处置[9]。

（6）采用活性炭吸附干式脱酸技术。如果项目场地与周边钢铁厂的烟气净化设备距离较远，不具备烟气协同处置条件，可在项目现场设置一套活性炭吸附塔装置。该活性炭烟气处理装置将经烧结烟气解析塔解析后的活性炭输送至项目吸附塔对烟气进行吸附，出吸附塔的活性炭再返回至烧结烟气脱硫解析塔进行解析。该做法可确保烟气实现超低排放，亦能有效除去烟气中残余的二噁英及其重金属，且无任何固废、废水排放。

1.3　新型回转窑与传统回转窑技术比较

新型回转窑与传统回转窑的技术比较如表 2 所示。由表 2 可知：新型回转窑处置技术采用了物料强力混合 + 造球的工艺、充分利用低热值的高炉煤气为回转窑供热等创新技术后，能源消耗水平大幅降低，其入窑物料除了传统的低铁物料外，还可以为各类高铁除尘灰，其窑渣和次氧化锌产品的质量大幅提升，实现了窑渣中铁元素的资源化利用，具有良好的经济和社会效益。

2　新型回转窑技术应用及发展方向

2.1　新型回转窑技术应用

近年来，该技术已经先后应用于山东钢铁集团永锋钢铁、新疆八一钢铁、湖南诚钰环保等钢铁企业和环保公司，具体情况如表 3 所示。

（1）山东永锋钢铁回转窑提铁降锌线改造项目。该钢铁公司前期自行将原 60 万吨/年的氧化球团回转窑改造为处置固废的提铁降锌生产线，初期生产非常不顺，回转窑结圈及尾部烟管堵塞现象十分严重，连续作业时间最长不超过 15 d，处理能力不到 150 t/d。在新型回转窑技术支持下（2017 年底完成第二次改造），回转窑异常工况大大减少，目前正常连续作业时间均在 100 d 以上，处置规模达到 10 万吨/年。

表 2　新型回转窑与传统型回转窑的技术比较

Table 2　Technical comparison between new rotary kiln and traditional rotary kiln

项目	传统回转窑处置技术	新型回转窑处置技术
原料	适合高锌、高碳、低铁的除尘灰及添加含锌量高的酸性红泥	适合处置各类含锌除尘灰（包括各类低碳、高铁除尘灰）
入窑方式	散料方式	物料强力混合 + 造球
回转窑供热	依赖原料中自有固定碳及外配焦炭（要求原料中固定碳配比约为 20%，甚至更高[10]）	利用低热值煤气供热，固定碳仅作还原剂（配比可低至 11%）
连续作业时间	需添加酸性红泥，否则连续作业时间通常不超过 15 d	可连续运行超过 180 d
窑渣铁品位	水淬渣的铁品位仅为 30% 左右，且金属化率低	窑渣主要为 5 mm 以下的颗粒料，铁品位可达 62% 以上，金属化率达 50% 以上
窑渣去向	湿磨后选铁 + 用作水泥等建筑材料的原料	主要供烧结原料，高强度窑渣可供高炉，大块、高金属化率窑渣可供炼钢

（2）山东钢铁集团永锋临港提铁减锌回转窑项目[图 4(a)]。该钢铁公司新建了一条含锌固废处置生产线，处置规模为 15 万吨/年，原料包含 40% 的高炉干法灰、60% 的炼钢灰。项目采用低热值高炉煤气辅助供热，原料中的固定碳来自高炉除尘灰，无需外配焦炭，生产成本大大降低；同时，该项目采用活性炭烟气净化技术对回转窑烟气与烧结烟气协同处置，实现了烟气超低排放。项目投产后运行稳定，提铁减锌效果良好，原料经造粒后，结圈频率大大降低，烟道粉尘量减少，次氧化锌的品位达到 35% 以上；窑渣中锌的质量分数为 0.3%～0.6%、全铁质量分数大于 60%、金属化率为 50% 以上。

（3）新疆八一钢铁锌尘泥综合利用项目[图 4(b)]。该项目于 2022 年 9 月初开始烘炉投料，2023 年 3 月正式投产。项目处置规模为 16 万吨/年，处理的含铁含锌除尘灰包括消化厂内累积的大量含锌尘泥，以及每年新产生的高炉布袋灰(3.69 万吨)和欧冶炉污泥(6.35 万吨)。项目采用新型回转窑含锌尘泥处置技术，并在智能配料、智慧烧窑、智能抓渣等方面进行迭代升级。

（4）湖南诚钰环保回转窑改造项目[图 4(c)]。改造前该回转窑采用传统技术，原料中含锌酸性泥的配比为 20% 以上，窑渣铁品位不到 30%，金属化率较低，难以直接用于钢铁厂。从 2021 年开始，对该厂的提铁减锌生产线进行全面提质改造：① 对原料系统进行改造，增设了原料混匀、造球工序；② 对传统回转窑进行多喷孔改造，在窑身上设置了多级进风喷孔，并配备回转窑温度在线监测系统。改造后，生产规模提升 10%～20%，窑渣金属化率最高可达 88%，并且不再需要外配含锌酸泥，窑渣的铁品位也大幅提升至 60% 左右。

2.2 新型回转窑技术发展方向

（1）构建多源固废协同处置平台。现有回转窑技术主要处置钢铁厂含锌尘泥，原料来源比较单一，然而，回转窑拥有 1 050～1 200 ℃的高温还原环境，在协同处置其它类型固废方面也有较大的潜力。比如，在利用提铁减锌回转窑的同时协同处置塑料、橡胶、保温棉等一般有机固废及

表 3 部分新型回转窑技术应用项目情况

Table 3 Application of partial new rotary kiln technology

项目地点	处置规模/(万吨·年$^{-1}$)	处理固废类型	采用工艺	项目特点
山东永锋钢铁	10	含锌固废	火法回转窑提锌	由氧化球团回转窑改造而来，含锌固废处置能力由最初不足 150 t/d 提升至现在 300 t/d
山东钢铁集团永锋临港	15	含锌固废(40% 高炉干灰占、60% 炼钢灰)	火法回转窑提锌	采用高炉煤气辅助供热，利用除尘灰自有碳，无需外部供给焦炭；回转窑烟气与烧结烟气协同处置
新疆八一钢铁	16	含锌固废(高炉布袋灰、欧冶泥等)	火法回转窑提锌	除了含锌尘泥之外，还协同处置厂内炼钢污泥，单炉规模世界最大
湖南诚钰环保	6	含锌固废(钢厂含锌除尘灰、有色企业的硫酸锌泥)	火法多喷孔回转窑提锌	国内首台采用多喷孔进风的提铁减锌回转窑，金属化率最高可达 88%



（a）永锋钢铁；（b）八一钢铁；（c）诚钰环保

图 4 新型回转窑处置技术部分项目应用现场

Fig. 4 Partial project site of new rotary kiln technology disposing Zn-containing dust

含油污泥等有机危废，利用有机固废中的挥发性碳提供热源。固定碳作为还原剂，可以节约化石燃料的使用量和降低碳排放量。采用提铁减锌回转窑还原含铬废物，还能实现对含铬废物的解毒。因此，通过回转窑生产线实现多源固废的协同处置，可大幅降低钢铁厂固废的处置成本，助力实现“固废不出厂”目标。

（2）采用惰性气氛干式出渣。现有的高热窑渣从回转窑直接排入水淬池，激起浓厚的水雾，造成出渣口工作环境极差，且高热窑渣的热能完全被浪费。因此，未来应开发新型干式出渣工艺替代传统的水淬池冷却工艺。与传统水冷工艺相比，通过惰性气氛保护窑渣中的金属化铁不被氧化，可提高窑渣的金属化率；而采用合理的余热利用工艺可以实现对窑渣中余热的充分利用。

（3）作为冷压球团迭代升级工艺。针对转炉含锌尘泥的循环利用，不少钢铁企业都已采用了冷压球团工艺[11-12]。该工艺具有投资低、建设周期短、燃气消耗低等优点，但是在实际生产过程中，运行效果并不理想。冷压球团受热温度急剧上升，容易粉化产生扬尘；加上不具备脱锌功能，尘泥含锌会不断富集，致使球团在升温过程中锌还原挥发，导致炉口产生较大浓烟，增大了转炉排烟的收尘压力，甚至损伤引风机。因此，可以将冷压球团工艺与回转窑技术相结合，将冷压球团工艺作为回转窑的前端工艺，压块后的球团进一步在回转窑中加热，既可增加球团的热强度，使其不易受热粉化，也能脱除球团中的大部分锌，同时还能提高球团的金属化率。

3　结　论

（1）新型回转窑技术与传统回转窑处置技术相比，通过采用物料强力混合 + 造球、多喷孔回转窑、多工序烟气协同净化等工艺，各方面性能全面提升，尤其是产品金属化率、脱锌率、次氧化锌品位等均有大幅提高，烟气达到超低排放，回转窑的结圈现象得到极大缓解。

（2）面对钢铁行业整体低碳化、绿色化发展的需求，回转窑处置含锌尘泥工艺仍需要解决湿式冷却带来环境差、余热被浪费的问题，采用“以废代碳”等方式进一步降低处置能源消耗和碳排放量，未来仍有较大的发展潜力。

参考文献：

[1] 叶恒棣,李谦,魏进超,等. 钢铁炉窑协同处置冶金及市政难处理固废技术路线[J]. 钢铁,2021,56(11):141 - 147.
YE Hengdi, LI Qian, WEI Jinchao, et al. Technology route research of metallurgical and urban solid waste co-processing using steel indutrial furnace[J]. Iron and Steel,2021,56(11):141 - 147.

[2] DUTRA A J B, PAIVA P R, TAVARES L M. Alkaline leaching of zinc from electric arc furnace steel dust[J]. Minerals Engineering,2006,19(5):478 - 485.

[3] RUETTEN J, CRITTENDON R. Sustainable recycling of EAF steel mill dust-Waelz process vs. other technologies [J]. Seaisi Quarterly,2012,41(2):10 - 18.

[4] 吕冬瑞. 中国钢铁企业含锌粉尘处理工艺现状及展望[J]. 鞍钢技术,2019,417(3):7 - 10;18.
LÜ Dongrui. Latest developments on treatment process for zinc-bearing dust caused by iron & steel enterprises in China and outlook of the process[J]. Angang Technology, 2019,417(3):7 - 10;18.

[5] 谢泽强,郭宇峰,陈凤,等. 钢铁厂含锌粉尘综合利用现状及展望[J]. 烧结球团,2016,41(5):53 - 56;61.
XIE Zeqiang, GUO Yufeng, CHEN Feng, et al. Research status and prospect of comprehensive utilization of zinc-bearing dust in iron and steel plants[J]. Sintering and Pelletizing,2016,41(5):53 - 56;61.

[6] 熊果,刘欣,周云花,等. 含锌转炉炼钢泥的理化特性分析研究[J]. 烧结球团,2021,46(3):93 - 98.
XIONG Guo, LIU Xin, ZHOU Yunhua, et al. Analytical research on physicochemical property of zinc-containing dust from converter steelmaking process[J]. Sintering and Pelletizing,2021,46(3):93 - 98.

[7] 王天才. 回转窑处理钢铁含锌粉尘关键技术探析[J]. 中国资源综合利用,2019,37(7):181 - 184.
WANG Tiancai. Analysis on key technology of treating steel containing zinc dust in rotary kiln[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(7): 181 - 184.

[8] WANG L,LU X,WEI X,et al. Quantitative Zn speciation in zinc-containing steelmaking wastes by X-ray absorption spectroscopy[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2012,27(10):1667 - 1673.

（下转第 55 页）

LING Ziyu, SUN Taoqi, DOU Baofen, et al. Overall utilization scheme of waste heat of large-scale sintering equipment[J]. Metallurgical Energy,2007(4):49 – 51.

[14] 夏世元,申爱民,潘玉斌,等. 热风点火技术在济钢 400 m^2 烧结机的应用[J]. 山东冶金,2013,35(1):46 – 47.
XIA Shiyuan, SHEN Aimin, PAN Yubin, et al. Application of hot air ignition technology in 400 m^2 sintering machine of Jigang[J]. Shandong Metallurgy, 2013,35(1):46 – 47.

[15] 刘京. 采用低负压点火技术提高烧结矿产质量[J]. 江西冶金,2018,38(1):18 – 20.
LIU Jing. Improving the quality of sintered minerals by using low negative pressure ignition technology[J]. Jiangxi Metallurgy,2018,38(1):18 – 20.

[16] 王炜,王珂,周长安,等. 莱钢 265 m^2 烧结机降低煤气消耗的实践[C]//2010 年全国能源环保生产技术会议文集. 九江:中国金属学会,2010:243 – 245.
WANG Wei, WANG Ke, ZHOU Changan, et al. Practice of reducing gas consumption in Laigang 265 m^2 sintering machine[C]// Proceedings of the 2010 National Conference on Energy and Environmental Protection Production Technology. Jiujiang: Chinese Society of Metals,2010:243 – 245.

(上接第 10 页)

[41] 李玉萍,李莉芬,王献科. 液膜分离富集、测定铟[J]. 上海有色金属,2001(1):29 – 33.
LI Yuping, LI Lifen, WANG Xianke. Separation and enrichment of liquid membrane and determination of indium[J]. Shanghai Nonferrous Metals,2001(1):29 – 33.

[42] 毛磊,万静,许利军,等. 用乳状液膜萃取瓦斯灰酸浸液中的铟[J]. 有色金属(冶炼部分),2009(4):23 – 25.
MAO Lei, WAN Jing, XU Lijun, et al. Extraction of indium from gas ash acid leaching solution by emulsion film[J]. Nonferrous Metals(Smelting Part),2009(4):23 – 25.

(上接第 17 页)

[9] 叶恒棣. 钢铁烧结烟气全流程减排技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2019.
YE Hengdi. Flue gas full-process emission reduction technology for sintering of iron and steel[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press,2019.

[10] 佘雪峰,薛庆国,王静松,等. 钢铁厂含锌粉尘综合利用及相关处理工艺比较[J]. 炼铁,2010(4):56 – 62.
SHE Xuefeng, XUE Qingguo, WANG Jingsong, et al. Comparasion of zinc-containing dust utilization technology in iron and steel plant[J]. Ironmaking, 2010 (4): 56 – 62.

[11] 邱伟坚. 铁合金矿粉冷压球团成球机理及固结[J]. 铁合金,2003,34(3):7 – 9.
QIU Weijian. Balling-up machanism and consolidation of cold briquetting from fine ore[J]. Ferro-alloys, 2003, 34(3):7 – 9.

[12] 甘胤,王吉坤,包崇军,等. 冷压球团技术在冶金中的研究进展[J]. 矿产综合利用,2014(1):10 – 15.
GAN Yin, WANG Jikun, BAO Chongjun, et al. Research progress of cold-pressing pelletizing technology in metallurgy[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2014(1):10 – 15.

2023 年度《烧结球团》优秀编委

《烧结球团》编委会是期刊编辑出版的学术指导机构，是期刊核心竞争力的重要组成部分，对期刊发展起着重要的支撑作用。根据 2023 年度编委对期刊的学术指导作用与支持力度，在选题策划、撰稿、组稿、审稿、学术会议等方面作出的贡献，以及编委履行" 编委会章程" 中相关的权利和义务等情况，评选出 22 位优秀编委。

2023 年度《烧结球团》优秀编委名单(按姓氏拼音排序)

陈铁军　储满生　储太山　范晓慧　甘　敏　姜　涛　蒋朝辉　李光辉　李　杰　龙红明　罗果萍
吕学伟　倪桂虎　潘　建　王跃飞　许满兴　魏进超　杨春节　张福明　张海峰　张建良　朱德庆