

钕铁硼废粉回收装置关键技术的优化与创新研究

黄子福 杜国宏
东阳市瑟达磁业有限公司

【摘要】本文聚焦于钕铁硼废粉回收装置关键技术的优化与创新。通过系统的优化与创新策略，有效地提升了钕铁硼废粉的回收效率与产品质量，为稀土资源的高效循环利用打下了一定的技术基础。同时在研究过程中对破碎、分离、提纯等关键技术环节进行优化，并从智能化控制与结构设计两方面进行创新，后经过性能测试验证了优化和创新的有效性。并且，实验表明，优化后的装置能高效回收钕铁硼废粉中的稀土元素，且回收产品纯度较高，为钕铁硼废料的资源化利用提供了新途径。

【关键词】钕铁硼废粉；回收；关键技术

Research on optimization and innovation of key technologies for NdFeB waste powder recovery device

Huang Zifu Du Guohong

Dongyang Seda Magnetic Industry Co., LTD

【Abstract】 This paper focuses on the optimization and innovation of key technologies for neodymium-iron-boron waste powder recycling equipment. Through systematic optimization and innovative strategies, the recovery efficiency and product quality of neodymium-iron-boron waste powder have been effectively improved, laying a solid technical foundation for the efficient recycling and utilization of rare earth resources. During the research process, key technical links such as crushing, separation, and purification were optimized, and innovations were made in intelligent control and structural design. Subsequently, performance tests verified the effectiveness of these optimizations and innovations. Moreover, experiments show that the optimized equipment can efficiently recover rare earth elements from neodymium-iron-boron waste powder, with high purity of the recovered products, providing a new approach for the resourceful utilization of neodymium-iron-boron waste materials.

【Key words】 neodymium iron boron waste powder; recovery; key technology

引言

在现代工业技术中，由于钕铁硼永磁材料优异的磁性，使其应用于各个领域成为了不可或缺的关键基础材料；但随着其大量且广泛的应用，也带来了大量的钕铁硼废粉；钕铁硼永磁材料的核心构成在于稀土元素，而这些稀土元素不仅珍贵且不可再生。因此，高效回收利用废料中的稀土元素，成为了缓解稀土资源匮乏状况及减轻环境污染问题的有效途径。而现有的钕铁硼废粉回收装置在技术层面存在难关，还需要通过创新来实现突破与升级。

一、钕铁硼废粉回收装置现状分析

1.1 装置构成与工作原理

1.1.1 破碎系统

在钕铁硼废粉回收装置中，破碎系统常配备如颚式破碎机和锤式破碎机等设备。它们的工作原理基于机械力的作用，对大块的废粉物料施加挤压、冲击及研磨，以此逐步减小物料的粒度。具体来说，颚式破碎机依靠动颚与静颚之间的相对活动，对物料实施挤压式破碎；锤式破碎机则是通过高速旋转的锤头对物料进行冲击破碎，从而为后续的分选和提纯工序提供粒度适宜的原料。

1.1.2 分离系统

分离系统主要利用磁选和浮选等技术手段，依据磁性物质与非磁性杂质在物理性质上的显著差异，实现两者的有效分离。磁选是基于钕铁硼材料具有强磁性的特点，当物料通过磁场时，磁性物质会被磁场吸引，从而与非磁性杂质分离。浮选则是通过添加特定的浮选药剂，使非磁性杂质表面具有疏水性，在充气搅拌的矿浆中，非磁性杂质附着在气泡上，上浮至泡沫层，进而与磁性物质分离。

1.1.3 提纯系统

提纯系统主要运用化学或物理手段，深入清除残留的杂质，以获得高纯度的稀土制品。其中，化学沉淀法是一种广受欢迎的方法，它通过在含有杂质的溶液中加入特定的化学药剂，促使杂质离子凝结成不易溶解的沉淀物，随后利用过滤等方式将这些沉淀物清除，最终实现提纯的目标。

1.2 技术问题分析

1.2.1 回收效率

在实际的物料传输过程中，由于钕铁硼废粉的物理性质较为特殊，其粘性和湿度易受环境因素的影响。当湿度较高或粘性较大时，废粉容易黏附在管道内壁，造成管道堵塞，严重影响回收流程的连续性，进而大幅降低回收效率；同时现有的磁选分离设备，其磁场强度和梯度分布不够理想，无法精准分离磁性相近的物质。这使得在分离过程中，部分有

用的磁性物质与非磁性杂质难以有效分离,导致部分有用物质流失,使得回收效率难以得到显著提升。

1.2.2 产品质量

现有的杂质去除工艺,在对一些微量杂质或与稀土元素化学性质相近的杂质进行去杂时,很难实现高效去除,杂质的残留会影响回收产品的纯度,使回收产品不能满足低含量杂质要求的产品质量。例如在电子器件制造中,对稀土产品中某些杂质的含量要求低于百万分之一,而现有工艺生产的回收产品杂质含量往往高于这一标准,限制了其在高端领域的应用。

1.2.3 能耗与环保

钕铁硼废粉回收装置在运行过程中,各个系统,尤其是破碎和提纯系统,需要消耗大量的能源。破碎系统需要强大的机械力来破碎物料,提纯系统则需要通过化学反应或物理分离过程来去除杂质,这些过程均伴随着较高的能源消耗;在回收过程中,由于工艺不完善或处理不当,可能会产生废气(如酸雾、粉尘等)、废水(含有重金属离子等污染物)等。如果这些污染物未经妥善处理便直接排放,它们将对周边环境构成重大污染威胁,破坏生态平衡并危害人类健康。举例来说,酸雾的排放会加剧大气污染,进而可能引发酸雨等环境难题;含有重金属离子的废水排放会污染土壤和水源,影响周边农作物生长和居民用水安全。

二、钕铁硼废粉回收装置关键技术优化

2.1 分离技术优化

在钕铁硼废粉回收过程中,分离技术的优劣直接影响回收效率与产品质量。传统磁选技术虽能对钕铁硼废粉进行初步分离,但在处理复杂成分和细粒度废粉时,存在效率低、精度差等问题。新型磁选技术的研发成为提升回收效率的关键方向。

高梯度磁选技术(HGMS)通过在普通磁选机的磁场里加入导磁介质,创造出一个高强度的磁场梯度,这样一来,就能大幅提升对细小颗粒及弱磁性钕铁硼废粉的捕捉效率。当废粉通过高梯度磁场区域时,微小的磁性颗粒能够被更有效地吸附在介质表面,从而实现与非磁性杂质的高效分离。研究表明,在处理粒度小于0.074mm的钕铁硼废粉时,高梯度磁选技术的回收率可比传统磁选技术提高20%~30%。

超导磁选技术凭借超导材料释放出的极致强大磁场,极大地增强了磁选的分选效能。超导磁体所能产生的稳定磁场强度可达数特斯拉,这一强度远超传统磁体,实现了磁场强度的数倍提升。这使得超导磁选设备在处理低品位、复杂矿相的钕铁硼废粉时具有独特优势,可有效提高磁性物质的回收率和纯度。有实验数据显示,采用超导磁选技术处理含有多种杂质的钕铁硼废粉,钕铁硼的回收率可达95%以上,产品纯度提升至98%。

2.2 工艺流程优化

优化并精简回收工艺流程是提升钕铁硼废粉回收效率的关键手段。传统回收工艺流程往往较为繁琐,包含多个中

间环节,这不仅增加了设备投资和运行成本,还容易导致物料损失和回收效率降低。通过对工艺流程的深入分析和优化,减少不必要的中间环节,实现各环节的高效衔接,能够显著提升整体回收效率。

在钕铁硼废粉回收的预处理阶段,传统工艺通常需要经过多次破碎、筛分和除杂等操作,步骤繁琐且耗时较长。优化后的工艺采用先进的联合破碎设备,将多种破碎功能集成于一体,能够一次性将废粉破碎至合适粒度,减少了破碎设备的数量和占地面积。同时,引入高效的除杂技术,如采用电磁除铁器和涡电流分选机相结合的方式,能够在短时间内有效去除废粉中的铁磁性和非铁磁性杂质,简化了预处理流程,提高了处理效率。

在后续的分离和提纯环节,采用物理与化学方法相结合的联合工艺,能够充分发挥不同方法的优势,实现对钕铁硼废粉的高效回收。例如,先通过磁选初步分离出大部分磁性钕铁硼废粉,再利用浮选进一步提纯,去除磁选后残留的杂质。然后,对浮选精矿进行化学处理,如采用酸浸或碱浸的方法,将钕铁硼中的有价元素溶解出来,再通过沉淀、萃取等工艺进行分离和提纯。这种联合工艺避免了单一方法的局限性,提高了回收效率和产品质量。

采用自动化控制系统对回收工艺流程实施即时监控与调优,是再度提升回收效率的有效策略。该系统能依据废粉特性和处理过程中的即时数据,智能调节设备运作参数,诸如磁选机的磁场力度、浮选机的充气量及药剂添加量等,保障所有设备维持最优作业状态。此外,自动化控制系统还能实现物料的自动化输送与调配,降低人为操作引发的误差及时耗,增强生产流程的连贯性和稳固性。例如,在某钕铁硼废粉回收企业中,引入自动化控制系统后,生产效率提高了30%以上,产品质量也得到了显著提升。

2.3 环保技术优化

在钕铁硼废粉回收过程中,减少废水、废气、废渣的产生是实现环保目标的关键环节。在废水处理方面,对化学溶解环节产生的酸性废水,传统处理方法往往难以达到理想的净化效果。采用新型中和沉淀技术,通过精确控制中和剂的投加量和反应条件,能够有效去除废水中的重金属离子,如钕、铁等。研究显示,在最佳的反应条件下,废水中重金属离子的清除效率能超过95%。

吸附过滤技术也是废水处理的重要手段。利用活性炭、离子交换树脂等吸附材料,能够进一步去除废水中的微量杂质和残留的化学药剂,提高废水的净化程度。通过实验对比,采用活性炭吸附处理后的废水,其化学需氧量(COD)可降低50%以上,达到更严格的排放标准。

针对废气处理,尤其是煅烧时产生的含粉尘及有害气体(如二氧化硫、氮氧化物等)的尾气,我们采用了袋式除尘器与湿式洗涤塔的高效组合处理方案。袋式除尘器凭借其出色的捕集能力,能高效去除尾气中的粉尘颗粒,其除尘效率可轻松超过99%。湿式洗涤塔则通过喷淋碱性溶液,能够去除尾气中的二氧化硫、氮氧化物等酸性有害气体,使其浓度降低至国家排放标准以下。

对于酸浸过程中产生的酸性废气,采用新型的吸附剂进

行吸附处理。例如,利用特制的分子筛吸附剂,其对酸性气体的吸附容量比传统吸附剂提高了30%–40%,能够显著减少酸性废气的排放。

在废渣处理方面,优化沉淀剂的选择和使用,能够减少废渣的产生量。例如,采用新型的有机沉淀剂,与传统沉淀剂相比,在相同的反应条件下,废渣的产生量可减少20%–30%。

将产生的废渣进行资源化再利用,同样是削减污染物排放的关键一环。借助高温熔炼及分离工艺,能够从废渣中提炼出有价值的金属元素,从而达到减少废渣排放并实现其资源转化的目的。研究显示,经过资源化处理后,废渣中的有价金属回收率可达80%以上,有效减少了废渣对环境的潜在危害。

三、钕铁硼废粉回收装置创新设计

3.1 自动化监测系统设计

基于先进的传感器技术,构建一套全面、高精度的自动化监测系统。通过部署包括流量、温度及压力传感器在内的多种传感器,并利用它们将所收集的数据经由高速传输线路即时送至数据处理中心。该中心运用先进的数据处理算法,对接收到的数据进行即时解析与处理,从中提取关键信息,从而为装置的稳定运行提供精准的数据支撑,确保对装置运行过程中的核心参数进行实时监控。

3.2 智能化控制系统开发

采用模糊控制、神经网络控制等前沿算法,构建智能化控制系统。该系统能依据自动化监测系统所反馈的实时数据,借助预设的控制策略,自主调节装置的运行参数,达成装置的智能化操控。

面对装置运行时展现出的非线性、时变性等复杂行为特征,我们引入了模糊控制算法来应对。通过定义模糊子集、制定模糊规则,将传感器采集到的精确数据转化为模糊语言变量进行处理。例如,根据物料流量、温度和压力的变化情况,模糊控制系统能够自动调整破碎机的转速、分离设备的磁场强度以及提纯系统的反应条件,使装置始终处于最佳运行状态。

3.3 工艺流程创新

通过将传统单一的工艺变成多工艺协同集成,即将物理分离、化学处理和材料再生等工艺有机结合。例如,先通过磁选和筛分进行初步物理分离,去除大部分非磁性杂质和粗大颗粒,然后对初步富集的钕铁硼废粉进行化学浸出,进一

步提纯,最后采用电化学沉积等方法将溶液中的钕铁硼金属离子还原为金属,实现材料再生。各工艺环节紧密衔接,减少中间物料转运损耗,提高整体回收效率。

设计连续进料和出料系统,使废粉回收过程不间断进行。通过自动化控制系统,对各工艺阶段的参数(诸如温度、压力、成分等)实施持续监控,并依据预设标准自动调节设备的工作模式。例如,在磁选环节,根据检测到的废粉磁性成分含量,自动调整磁选设备磁场强度;在化学处理环节,根据溶液酸碱度自动添加化学试剂,确保整个回收工艺流程稳定、高效运行。

3.4 关键部件创新

传统磁选设备磁场强度和分布相对固定,难以适应复杂成分的钕铁硼废粉。创新设计的磁选部件采用可调节磁场结构,通过改变线圈匝数、电流大小以及磁体排列方式,实现磁场强度和梯度的灵活调整。例如,开发一种多层磁选辊结构,每层磁选辊的磁场参数可独立调节,能对不同磁性强度的钕铁硼颗粒进行逐步分离,提高磁选精度。

钕铁硼废粉回收前需进行有效粉碎,以暴露内部可回收成分。新型粉碎组件运用了低温粉碎技术,在液氮环境中对废粉实施粉碎作业,借助钕铁硼材料在低温条件下变脆的特点,有效减少了粉碎过程中的能耗,同时也避免了高温粉碎可能引发的氧化问题。此外,该组件还采用了新型耐磨材料来制造粉碎刀具和腔体,从而延长了设备的使用寿命,并降低了维护成本。

若采用化学处理流程,反应釜是关键部件。创新设计的反应釜具备高效的搅拌和传热系统,采用新型搅拌桨叶形状和布局,使化学试剂与废粉充分混合,提高反应效率。同时,在反应釜壁设置高效换热结构,快速传递反应热量,精确控制反应温度,确保反应在最佳条件下进行,提高产品纯度。

结论

本文围绕钕铁硼废粉回收装置关键技术的优化与创新展开深入探讨,旨在解决现有回收技术在回收率、产品纯度、能耗及环保等方面存在的问题,推动钕铁硼废粉回收产业的可持续发展。通过对钕铁硼废粉回收装置关键技术现状的剖析,明确了常见回收装置类型及工作原理,包括物理分离类装置(磁选、筛分、重选、浮选装置)和化学处理类装置(化学溶解、沉淀、萃取、煅烧装置),并指出其在资源回收、成本控制和环保方面虽有一定优势,但在回收率、产品纯度、能耗和环保等方面存在局限性。

参考文献

- [1]曹江平、丁国栋、曹远征等.钕铁硼废料中稀土回收工艺研究进展及展望[J].当代化工研究.2024(24):17–19.
- [2]朱佩鸿.废旧钕铁硼磁粉的绿色高效回收研究[J].北京:北京工业大学.2022
- [3]李世健、崔振杰、李文韬等.钕铁硼废料循环利用技术现状与展望[J].材料导报.2021,35(03):3001–3009.
- [4]刘博文.废弃钕铁硼磁体中稀土金属的回收工艺研究[J].广州:华南理工大学,2019.