

《国家工业节能降碳技术应用指南与案例（2024 年版）》之二：有色金属行业节能降碳技术

（一）磁致聚合燃烧加速器

1.技术适用范围

适用于有色金属行业以天然气为主要燃料的工业炉窑。

2.技术原理及工艺

采用磁螺旋增进装置，对进入阳极焙烧炉燃烧室的天然气甲烷分子团施加梯度磁场。甲烷分子团在大磁场强度梯度段被排斥及磁化后，其逆磁性质量磁化率大幅提升，减少天然气与氧气磁化率的绝对值差值。该装置使甲烷分子更易与在燃烧室内带顺磁性的氧气分子结合燃烧，燃烧过程更充分，温度场更均匀。系统安装示意如图 1 所示。

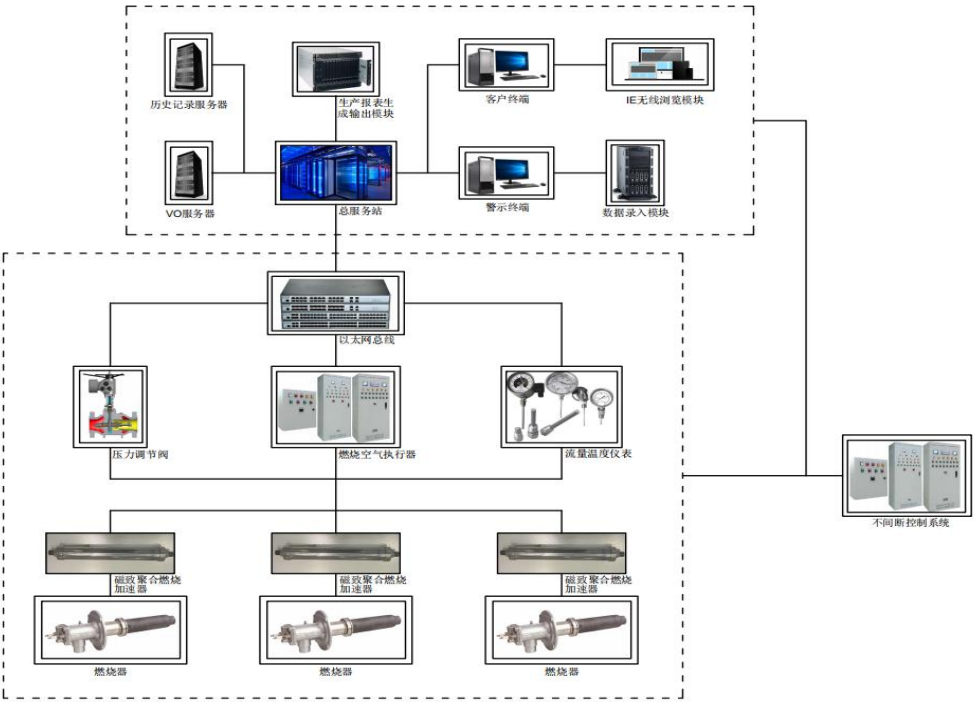


图1 系统安装示意图

3.技术功能特性及指标

(1) 采用磁化燃烧，甲烷与空气中氧气燃烧充分，产品单耗下降 4%；

(2) 精准控制火焰长度和燃烧参数，降低燃烧过程一氧化碳排放 $\geq 20\%$ 。

4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为武汉富世达能源科技股份有限公司，应用单位为信发集团山东中兴碳素有限责任公司。改造前采用焙烧炉生产炭素制品，主要耗能种类为天然气，年产阳极 41 万吨，单位产品天然气耗为 54 立方米/吨。

(2) 主要技术改造内容：

在焙烧车间安装磁致聚合燃烧加速器，配套现有的燃烧系统和控制系统。2022 年 7 月实施节能改造，实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位产品天然气耗降低至 51 立方米/吨，节约天然气 123 万立方米/年，实现节能量 1635 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 4349 吨/年。投资额为 400 万，投资回收期为 10 个月。

（二）智能光电选矿技术

1.技术适用范围

适用于有色金属行业预选矿工艺。

2.技术原理及工艺

原矿在通过皮带传输或进入环形入料口自由落体时采集多种光线进行穿透照射成像。图像进入计算机人工智能系统分析识别，识别数据用于精准捕捉矿石位置和控制喷阀打击矿石，使其落入相应区域，以完成分选过程。整个分选过程只需几毫秒，每秒可处理 3000~10000 颗矿石的全自动分选。装备原理如图 2 所示。

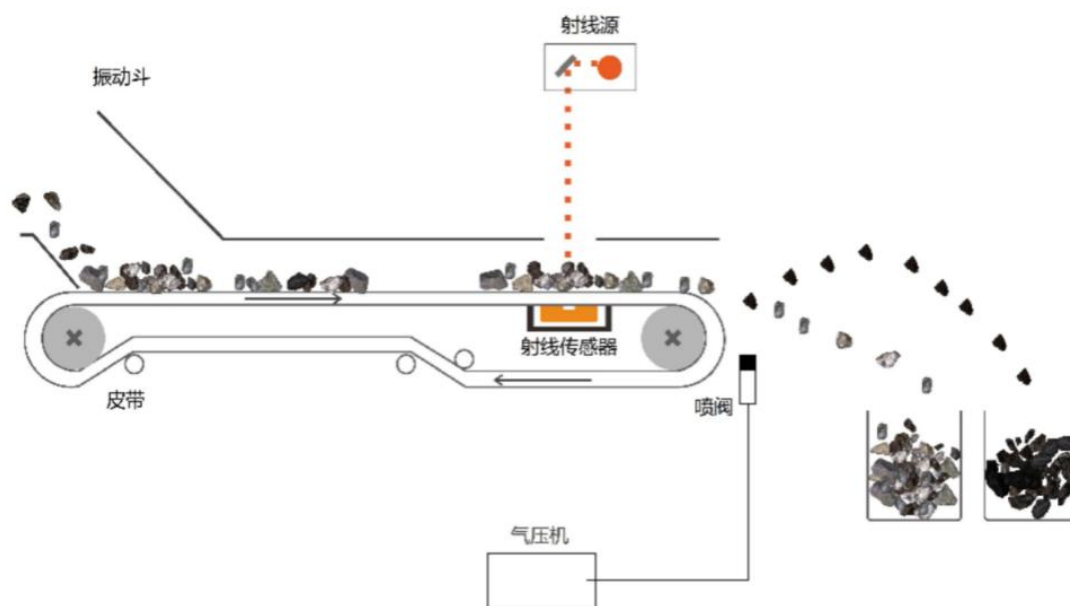


图2 装备原理图

3.技术功能特性及指标

（1）采用环形结构空中成像技术，处理量最高可实现 350 吨/小时，探测精度 0.1 毫米；

（2）研发图像采集装置，图像数据处理量超过 3 千兆字节/秒，采集的准确度达 99%以上；

(3) 智能分选矿石，处理一吨原矿减少耗水量 2~4 吨。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为赣州好朋友科技有限公司，应用单位为中金岭南凡口铅锌矿。改造前选矿厂全模全选，年处理量约 150 万吨，主要耗能种类为电力，选矿环节耗电量为 8452.5 万千瓦时/年。

(2) 主要技术改造内容:

利用原有矿仓及破碎系统（颚式破碎机、圆锥破碎机、棒磨机）进行破碎，新安装智能光电选矿设备、跳汰机、立式冲击式破碎机、震动脱水筛及辅助设备设施。2019 年 6 月实施节能改造，实施周期 2 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，减少选厂废石量 8.5 万吨/年，减少用电量 479 万千瓦时/年，实现节能量 1485 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 3950 吨/年。投资额为 6200 万元，投资回收期为 2 年。

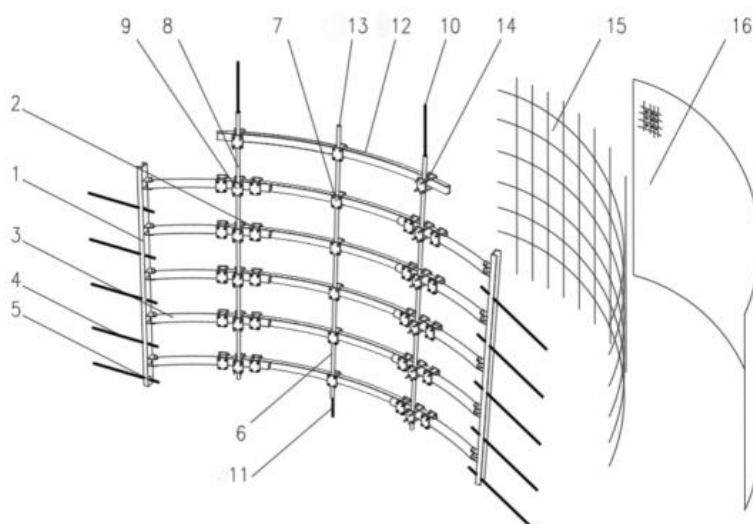
（三）金属构件装配式充填挡墙及其高效封闭技术

1.技术适用范围

适用于有色矿山井下充填工序。

2.技术原理及工艺

采用弧形墙体结构，主体包括内凸式弧形装配式骨架、钢筋网层和土工织物脱水封闭层 3 层。利用拱结构原理，构建弧形钢骨架作为主要受力单元。弧形钢梁可以适应微小变形，将所受载荷传导至两侧岩体，充分发挥结构自承载能力，有效提高墙体整体稳定性。弧形钢梁能够完全替代钢筋混凝土挡墙，降低水泥用量。充填挡墙结构如图 3 所示。



1-边立柱;2-第一连接组件;3-横向弧形梁;4-主锚固件;5-限位组件;6-中心立杆;7-第二连接组件;8-辅助立杆;9-第三连接组件;10-第一辅锚固件;11-第二辅锚固件;12-辅助梁组;13-第四连接组件;14-第五连接组件;15-支撑层;16-透水层。

图3 充填挡墙结构图

3.技术功能特性及指标

（1）构建弧形钢骨架作为承载单元，有效将所受载荷传导至两侧岩体，骨架极限承载能力 ≥ 50 千帕；

(2) 弧形承载单元可伸缩，适应巷道尺寸变化，骨架最大允许变形量 50 毫米。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为矿冶科技集团有限公司，应用单位为铜陵有色金属集团股份有限公司安庆铜矿。改造前矿山采用混凝土挡墙进行充填采场，主要消耗原材料为水泥，铜矿规模约为 110 万吨（铜）原矿，年需混凝土挡墙 600 架次，单架次挡墙消耗水泥 8 吨。

(2) 主要技术改造内容:

完成矿山充填采场挡墙受力力学建模，设计并现场安装金属构件装配式挡墙，替换混凝土充填挡墙。2022 年 6 月实施节能改造，实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单架次挡墙节约水泥 8 吨，实现节能量 956 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 2544 吨/年。投资额为 300 万元，投资回收期为 1 年。

（四）电解铝预焙阳极纳米陶瓷基高温防氧化涂层

1.技术适用范围

适用于电解铝行业。

2.技术原理及工艺

将纳米陶瓷基高温防氧化涂层材料喷涂在铝电解槽的阳极炭块侧表面，加热到 400 °C 时，涂层材料晶粒收缩，晶粒间隙小于气体分子直径，形成坚固致密的陶瓷基隔绝层，可阻止周围的高温空气、二氧化碳和电解质蒸汽对阳极炭块的氧化侵蚀，实现炭块的隔绝保护。在恒定的电流强度下，与无涂层阳极相比，涂层阳极的使用寿命延长 1~1.5 天。工艺流程如图 4 所示。

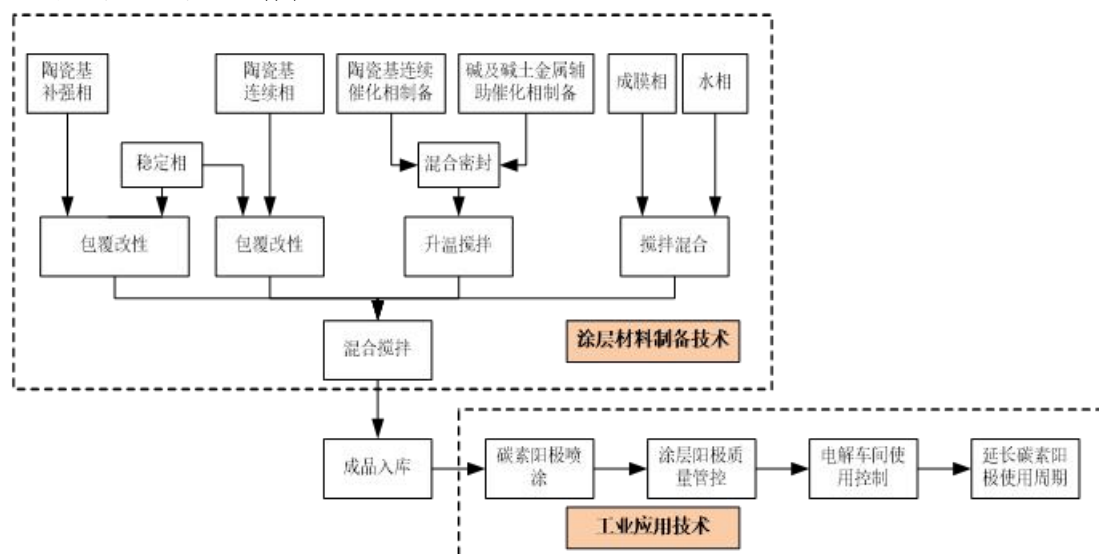


图4 工艺流程图

3.技术功能特性及指标

（1）碳素阳极抗氧化性能高，空气环境 900 °C 高温煅烧 72 小时后的重量损失率 ≤ 1.0%；

(2) 延长阳极更换周期 1~1.5 天，降低吨铝炭耗 13~16 千克。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为湖南博溥立材料科技有限公司，应用单位为广西华磊新材料有限公司。改造前铝电解车间使用无涂层阳极，主要耗能种类为电力，主要消耗原材料为碳素阳极，年生产电解铝 40 万吨，单位产品碳素阳极消耗为 469.8 千克/吨铝。

(2) 主要技术改造内容:

在阳极组装车间生产线上不停工完成阳极防氧化涂层喷涂，共改造完成 6 个工区 30 万吨产能的铝电解槽。2019 年 8 月实施节能改造，实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单位产品碳素阳极消耗为 456 千克/吨铝，实现节能量 5714 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 1.52 万吨/年。投资额为 660 万元，投资回收期为 1 个月。

（五）多氧燃烧技术

1.技术适用范围

适用于有色金属行业窑炉设备。

2.技术原理及工艺

设计优化窑炉助燃系统，利用氧气代替空气助燃，通过氧气增压、输送阀门控制器，动态控制一、二次氧输入比例。控制器采用可编程逻辑控制模式，可实现自动点火、燃料和氧气精确配比、燃烧过程可控等功能。火焰长度可调、燃烧充分，且没有氮气参与燃烧造成的热能浪费和氮氧化物排放。设备结构如图 5 所示。

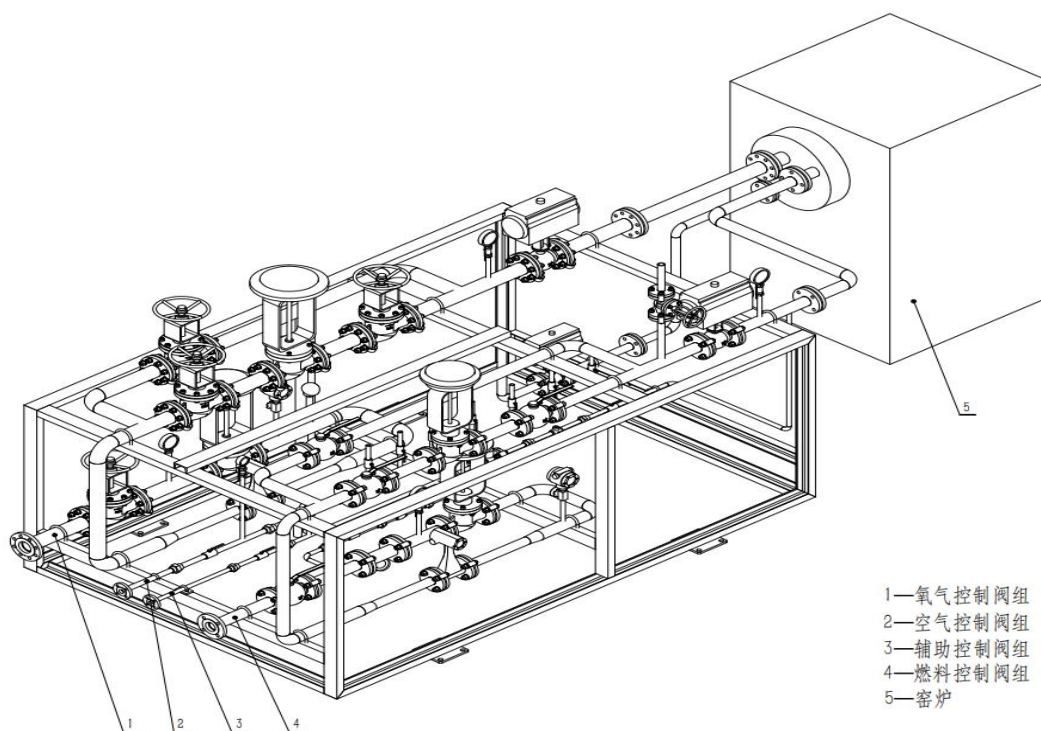


图5 设备结构图

3.技术功能特性及指标

（1）控制一、二次氧比例，燃烧充分，平均节约燃料50%以上；

(2) 采用烟气循环再掺混技术，烟气排放量减少 70%，氮氧化物排放量减少 90%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为北京凯明阳热能技术有限公司，应用单位为金川集团股份有限公司铜冶炼厂。改造前铜冶炼厂 400 吨阳极炉采用空气助燃，主要耗能种类为重油，年产铜 12 万吨，单位铜水能耗为 32.86 千克标准煤/吨。

(2) 主要技术改造内容:

把空气助燃改为多氧助燃，采用 PLC 控制整个燃烧系统，安装氧气阀组和燃油阀组，增设多氧燃烧器（含烧嘴砖、油枪、氧枪）、流量计、切断阀、压力调节阀、流量调节阀、压力变送器、过滤器截止阀等。2012 年 4 月实施节能改造，实施周期 6 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单位铜水能耗降至 14 千克标准煤/吨，实现节能量 2263 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 6020 吨/年。投资额为 128 万元，投资回收期为 2 个月。