

团 体 标 准

T/CIECCPA 132—2026

特钢复吹电炉全废钢冶炼工艺操作规程

Operating Procedures for Smelting Process of Full Scrap Steel in Special
Steel Combined Blowing Electric Arc Furnace

2026 - 03 - 23 发布

2026 - 03 - 27 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CLECCRA

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 2

 4.1 对原料的基本要求 2

 4.2 生产准备 3

 4.3 装料 3

 4.4 供电 3

 4.5 供氧喷粉 3

 4.6 底吹 4

 4.7 造渣 4

 4.8 出钢 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并归口。

本文件主要起草单位：中冶赛迪工程技术股份有限公司、成都先进金属材料产业技术研究院股份有限公司、四川冶控集团有限公司、衡阳华菱钢管有限公司、天津重型装备工程研究有限公司、中国重型机械研究院股份公司、江苏沙钢钢铁有限公司、甘肃酒钢集团宏兴钢铁股份有限公司、首钢股份公司迁安钢铁公司、北京首钢国际工程技术有限公司、本钢板材股份有限公司、鞍钢集团北京研究院有限公司、北京绿碳循环信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：吴学涛、肖宇、张健、蒋世川、彭可雕、林成、牛亮、周吉安、杨建春、柯飞飞、赵腾、余嘉、王耀、马建超、杜昕、陈得贵、杨俊峰、王佳力、武国平、邓向辉、李永忠、张万发、赵超群、王庆、干明、黄涵锐、杨宝宏、李伟峰、李会强、张文婷、梁晓苏、李成功。

特钢复吹电炉全废钢冶炼工艺操作规程

1 范围

本文件规定了炼钢车间全废钢电弧炉冶炼特钢的技术要求。

本文件适用于炼钢车间全废钢电弧炉冶炼特钢过程。

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 4223 废钢铁

GB/T 10067.21 电热装置基本技术条件 第 21 部分：大型交流电弧炉

GB 21256 粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额

GB/T 30839.2 工业电热装置能耗分等 第 2 部分：三相炼钢电弧炉

GB 32050 电弧炉冶炼单位产品能源消耗限额

GB/T 39733 再生钢铁原料

GB/T 50632 钢铁企业节能设计标准

AQ 2001 炼钢安全规程

HJ/T 428 清洁生产标准 钢铁行业（炼钢）

NB/T 41007 交流电弧炉供电技术导则 供电设计

NB/T 41010 交流电弧炉供电技术导则 电能质量控制

YB/T 042 冶金石灰

YB/T 061 冶金渣罐技术条件

YB/T 4090 超高功率石墨电极

YB/T 4440 转炉和电炉用透气砖

YB/T 4737 炼钢铁素炉料（废钢铁）加工利用技术条件

YB/T 5279 冶金用石灰石

YB/T 6068 电弧炉炼钢供氧技术规范

3 术语和定义

GB/T 4223、NB/T 41010、NB/T 41007、YB/T 6068界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全废钢 full scrap

是指以废钢、生铁和直接还原铁（DRI）为主要原料结构，其中，生铁和直接还原铁的配加总重量比例不大于10%。

3.2

特钢 special steel

是指通过特殊的冶炼工艺、加工技术和热处理手段，使其具有特殊的化学成分、微观组织、优异的力学性能、物理性能或化学性能，从而能够满足特定使用环境下苛刻需求的钢铁材料。

3.3

复吹电炉 combined blowing electric arc furnace

是指采用炉门供氧、炉壁供氧、EBT供氧、碳粉喷吹、石灰粉喷吹、底吹等多种喷吹工艺技术形式组合的电弧炉。

3.4

氧化法 oxidation method

是指通过向电炉熔池中吹氧，使钢液中碳、硅、锰、磷、硫等元素氧化，生成一氧化碳气体和氧化物夹杂，一氧化碳逸出造成钢水、炉渣的沸腾，使钢中气体析出，氧化物夹杂随之进入渣，从而得到洁净钢水的冶炼方法。

3.5

返回法 return method

指的是使用返回废钢，并在冶炼过程中用氧气进行稍许的氧化沸腾的冶炼方法，既可有利于回收贵重的合金元素，又能降低钢中氢、氮及其他杂质的含量。

3.6

五害元素 five-harmful elements

指的是钢中的铅（Pb）、锡（Sn）、砷（As）、锑（Sb）、铋（Bi）元素。

3.7

电炉辅原料 electric arc furnace auxiliary materials

指的是电炉冶炼过程中，需要向炉内添加的辅助原料，用于造渣脱磷、改善，包括石灰、白云石、镁球、碳粉等。

3.8

杂质 inclusion

指进入电炉的废钢中夹带的其他物质，如油、脂、泥沙、炉渣等非金属异物。

4 技术要求

4.1 对原料的基本要求

4.1.1 应使用满足要求的废钢，废钢种类、单块废钢尺寸和重量应满足 GB/T 4223 和 GB/T 39733 的技术要求。

4.1.2 应对废钢进行分拣处理，对废钢中杂质、铜、镍、钼、铬和五害元素进行严格的监控和控制，参照《炼钢铁素炉料（废钢铁）加工利用技术条件》（YB/T 4737-2019），有机物（油、脂、塑料等）质量百分比 $\leq 0.8\%$ ，否则易导致冶炼过程产生超标烟气；金属元素质量百分比 $> 92.5\%$ ，脉石（泥沙、矿渣、耐材等）质量百分比 $\leq 1.5\%$ ，以降低炉衬侵蚀风险，保证最终钢水收得率。如对化学成分有特殊要求，可另进行明确约定。

4.1.3 所有合金和辅原料的成分应符合相应产品标准或企业入炉原辅料要求。粒度必须符合下列规定：

a) 当合金或辅原料采用自动上料加入电炉和钢包时，粒度应为 $5\sim 50\text{mm}$ （允许有小于 5mm 和 $50\sim 60\text{mm}$ 的粒度，但不合格粒度的质量不得超过所用批次重量的 15% ）；

b) 当合金料或辅原料采用起重机或人工装入电炉和钢包时，粒度应为 $5\sim 50\text{mm}$ （小于 5mm 粒度的重量占比不超过 15% ）；

c) 增碳剂的粒度应为 $2\sim 15\text{mm}$ ，当通过原料进料桶加入电炉或钢包时， $2\sim 15\text{mm}$ 粒径的重量占比不小于 80% ，最大允许粒度为 20mm ；

d) 碳粉材料的粒度为 $1\sim 5\text{mm}$ ，用于通过碳氧模块吹气（ $1\sim 5\text{mm}$ 的主要粒度重量占比应不小于 90% ，最大允许颗粒尺寸为 6mm ）。

4.1.4 电炉用石灰应用冶金用活性石灰，成分应符合 YB/T042 的要求，电炉用石灰石应用冶金用石灰石，成分应符合 YB/T 5279 要求。粒度应为 $20\sim 100\text{mm}$ （不合格粒度质量不超过所用批次重量的 15% ）。

4.1.5 电炉加入炉料和废钢融化时，水分不得超过 5%；放入钢包和电炉中用于金属和熔渣脱氧的材料中的水分质量分数不得超过 3%，通过碳氧枪吹炼的碳粉中的水分质量分数不得超过 3%。

4.1.6 生产特定钢种所需的合金和添加剂的类型应在操作作业指导书中注明。

4.2 生产准备

4.2.1 电炉生产前，应该满足 AQ 2001 规定的安全性要求。

4.2.2 冶炼出钢完成后，需对出钢口进行清理和修复，用混有焦炭的含 MgO 的粉末进行封闭，应保证在整个熔化过程中金属和熔渣不会自发流出。

4.2.3 冶炼出钢完成后，需清除炉门炉渣和金属残留物，并使用耐火喷涂料粉末填充到炉门的炉门槛处至目标高度。

4.2.4 对于电炉炉衬侵蚀较为严重的区域，需进行耐材喷补。

4.2.5 渣罐应符合 YB/T 061 规定的质量要求，禁止使用罐内带石灰砂浆、水、雪或冰的渣罐。

4.3 装料

4.3.1 按所炼钢种，冶炼方法及生产计划，采用废钢配料模型，确定废钢配料方案，保证特殊元素和残余元素满足钢种要求，废钢的堆密度不应小于 0.7t/m^3 ，轻、中、重废钢应合理搭配，不得混入有毒有害挥发物、爆炸物、密封容器和放射性废物等。

4.3.2 采用氧化法冶炼时，炉料中的配碳量应能保证氧化期脱碳量的要求。采用返回法冶炼时，配加合金元素不得超过钢种规定上限。

4.3.3 对于料篮装料电弧炉，各料层配入量应根据冶炼品种及废钢库存情况进行大小块度合理搭配，尽量减少装料次数。加料过程中，废钢不能高于料篮上口边沿，加料完成后，废钢高度不超过炉盖下沿。

4.3.4 对于连续加料电弧炉，废钢应进行预热，废钢进料速度与供电升温速度要相匹配，以炉内钢水温度稳定控制在 $1500\sim 1650^\circ\text{C}$ 且泡沫渣稳定为准。

4.3.5 炉料必须准确称量，需根据生产计划配好料，料单上需准备注明料型和炉料重量。

4.4 供电

4.4.1 供电系统应满足 NB/T 41010 和 NB/T 41007 的相关要求，应选用交流高阻抗或直流供电技术。

4.4.2 应采用计算机+自动化两级控制系统，合理选择供电制度，电流和电压的比配合理，以保证较高的功率因数和电能利用效率。

4.4.3 应使用电极自动调节系统，如果熔化模式出现偏差（电弧长度不稳定或中断、金属温度相对于设计温度不足或过高等），可以切换到手动操作模式。

4.4.4 熔化期可采用最大功率供电，快速熔化炉料，宜以每吨金属电耗 $180\sim 250\text{ kWh}$ 的耗电量进行熔化。熔清后视温度和泡沫渣情况决定送电功率选择，冶炼过程中全程保持泡沫渣操作，提高电弧的利用效率，熔清阶段功率因数宜 ≥ 0.85 。

4.4.5 在非泡沫渣埋弧操作的情况下（如返回法）宜采用较高电压、较大电流的较大有功功率供电。

4.4.6 供电过程应关注炉壁水冷块温差，在温差超限后，应提高对应区域碳粉喷吹速度，或减少电弧长度，减少耐火材料的损耗，防止水冷块漏水。

4.4.7 应采用的超高功率石墨电极，电极尺寸和电流密度应符合 YB/T 4090 相关要求。

4.5 供氧喷粉

4.5.1 设计应符合 YB/T 6068 中的相关规定。

4.5.2 电炉宜配置炉壁集束射流氧枪和喷碳枪等吹氧、喷碳设施，其供氧与喷碳能力应满足冶炼强度与泡沫渣埋弧冶炼的要求。

4.5.3 电炉冶炼采用炉壁氧燃助熔、二次燃烧氧枪时，宜使用伸缩式氧枪，燃烧天然气或净化后的煤气

等清洁能源。

4.5.4 在生产准备期间，氧枪应设置为“待机”运行模式。熔炼时，氧枪应根据设定控制模式和燃烧运行模型自动运行，如果吹氧模式出现偏差（炉渣状况较差，熔池温度与设计温度差别较大等），可以切换到手动操作模式。

4.5.5 在电炉熔化期与熔清初期，应中高氧快速熔化，并促进炉内温度与氧含量均匀。氧化期尽量将单支氧枪的供氧强度达到设定最大值，以提高氧气射流穿透力，根据具体情况控制氧枪开启支数，并交替开启氧枪，以保证熔池搅拌效果良好，避免局部温度不均而造成大沸腾。

4.5.6 在电炉熔化炉料金属的过程中，宜采用泡沫渣埋弧冶炼，在向熔池吹入氧气的同时，利用碳粉喷枪将含碳材料吹入熔池，防止弧光暴露，提高升温速度，流量为 15 至 50kg/min。

4.5.7 电弧炉一次除尘风机频率宜与冶炼阶段和供氧强度进行联锁，减少系统能源消耗。在出钢、生产准备、装料、等待和低强度供氧阶段，一次除尘风机宜采用低频运行；在中高氧快速熔化，一次除尘风机宜采用高频运行。

4.6 底吹

4.6.1 电炉底吹元件应符合 YB/T 4440 要求。

4.6.2 底吹元件数量、直径应与电炉的吨位大小、熔池深度相匹配，分布方式应以冶炼效果为主要参考因素。

4.6.3 根据电弧炉内的情况调整底吹搅拌系统中吹气的流量及搅拌的强度，冶炼前期碳氧反应强烈时底吹搅拌系统采用小流量搅拌，冶炼中后期碳氧反应强度较低时底吹搅拌系统增加透气搅拌强度。

4.6.4 冶炼过程中的底吹介质和流量应根据不同冶炼阶段工艺需求进行动态调整，供气流量不应影响到电极调节的稳定性。

4.6.5 冶炼过程中底吹介质宜随冶炼阶段动态调整，在冶炼的前期及中期宜采用氮气搅拌，在冶炼的后期及出钢期宜采用氩气或二氧化碳搅拌，减少钢液吸氮。

4.6.6 各供气环节应保持供气压力与气量的稳定，气体流量的调节应遵循供气强度与炉役状况相适应的原则，单支底吹点气体流量不宜超过 200NL/min。

4.7 造渣

4.7.1 造渣料量根据工艺模型计算的值加入，按照工艺要求，通过定量给料和送料的方式向电炉内分批添加，冶炼过程中炉渣碱度建议控制在 1.8~3.0 之间。

4.7.2 对于磷的最大允许质量分数为 0.015% 及以下的钢种，在熔化废钢的过程中，除计算的造渣材料消耗量外，可进行额外的石灰添加进行脱磷，脱磷过程中，炉内金属温度不宜超过 1580℃。

4.7.3 对于返回法冶炼的钢种，在还原前先调整好炉渣的流动性，避免还原增碳。

4.7.4 在造渣结束后，应按照工艺要求进行温度测量和过程取样，取样时，炉内钢液温度应不小于 1540℃。在生产含钼和/或镍合金的钢种时，第一个和最后一个金属样品都要送去进行全面的化学分析。

4.7.5 冶炼终点前，应进行炉门口下渣，进行炉壁喷碳赶渣操作，炉渣厚度增加，渣金实现分离，从炉门口溢出进入渣罐，下渣时，应控制炉内反应速度和流渣速度，不要让金属随炉渣进入渣罐。

4.7.6 除取样、测温、电炉出渣和补炉期间外，炉门口的挡板宜关闭。

4.8 出钢

4.8.1 电炉工序单位产品电耗应满足 GB 32050 要求，单位产品能耗应满足 GB/T 50632 要求，折算系数参照 GB 21256 的规定。

4.8.2 在电炉一次测温取样之后，宜采用电弧炉终点控制工艺模型完成工艺曲线的调整，基于终点目标碳和氧含量，计算到达终点目标所需要的电耗量和氧耗量，结合工艺要求，自动完成氧枪的流量分配和供电工作点的设定，实现电炉终点精准控制。

4.8.3 当钢水温度和成分合格后,到达冶炼终点,进行电炉出钢,对于电炉终点碳含量要求 $<0.06\%$ 钢种,出钢前电炉终点氧含量不宜高于 500ppm,对于电炉终点碳含量要求 $>0.06\%$ 钢种,出钢前电炉终点氧含量不宜高于 300ppm,对无特殊要求的钢种,宜采用偏心炉底出钢及留钢留渣技术。

4.8.4 对于料篮装料电弧炉,为避免底部耐材被破坏,建议采用 10%至 30%留钢操作,对于连续加料电弧炉,为了保证平熔池冶炼,建议采用 50%至 100%留钢操作。

4.8.5 出钢材料加入先后顺序为,以脱氧为目的元素先加,合金化元素后加。

4.8.6 空钢包重量和带渣金属重量由钢包重量决定,自由净空高度和渣层厚度需满足钢种工艺要求。

4.8.7 加入钢包的铁合金总重量不得超过工序规定上限加入量要求。如果计算出的添加剂质量超过规定值,则按规定值添加。