ICS 点击此处添加ICS号

点击此处添加中国标准文献分类号



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|       |

铜冶炼行业循环经济实践技术指南

Practical guide for circular economy of copper smelting industry

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

|  |
| --- |
|  |
| （本稿完成日期：） |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施



目  次

[前言 II](#_Toc519080521)

[引言 III](#_Toc519080522)

[1 范围 1](#_Toc519080523)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc519080524)

[3 术语和定义 1](#_Toc519080525)

[4 基本要求 1](#_Toc519080527)

[5 生产工艺及循环经济要素分析 2](#_Toc519080528)

[5.1 火法炼铜工艺 2](#_Toc519080529)

[5.2 循环经济要素 3](#_Toc519080530)

[6 铜冶炼行业循环经济途径 5](#_Toc519080531)

[6.1 能源及资源减量化途径 5](#_Toc519080532)

[6.2 资源化及再利用途径 5](#_Toc519080533)

[附　录　A （资料性附录） 铜冶炼行业循环经济产业链图 8](#_Toc519080534)

[附　录　B （资料性附录） 铜冶炼行业循环经济生产实践技术 9](#_Toc519080535)

前  言

为贯彻执行《中华人民共和国循环经济促进法》，加快铜冶炼工业循环经济技术管理体系，确保循环经济大力推广的技术可行性，增强行业循环经济决策的科学性，提供行业循环经济政策规划和实施的技术依据，引导传统产业健康可持续发展。本指南可作为铜冶炼行业技术改造、运营管理等提供技术依据，是供企业使用的指导性技术文件。

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由全国产品回收利用基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC415）提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

引  言

为贯彻落实《循环经济促进法》，推动铜冶炼行业循环经济发展，开展铜冶炼行业龙头企业循环经济先进技术、实践经验和典型模式研究，向中小企业推广先进经验模式的循环经济实践技术，特制订《铜冶炼行业循环经济实践技术指南》。本标准可作为铜冶炼企业降低能耗、减少污染物排放、提高废弃物综合利用水平的技术依据，是铜冶炼企业发展循环经济的指导性技术文件。

铜冶炼行业循环经济实践技术指南

1. 范围

本标准规定了铜冶炼行业发展循环经济的基本要求、生产工艺、循环经济要素、循环利用途径以及先进实践技术等。

本标准适用于火法冶炼铜生产企业（不包含以废旧铜为主要原料的再生铜冶炼企业以及采用湿法冶炼的企业）开展循环经济建设。

1. 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，仅所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。

HJ 558 清洁生产标准 铜冶炼业

HJ 559 清洁生产标准 铜电解业

GB/T 50050 工业循环冷却水处理设计规范

1. 术语和定义
	1.

**循环经济实践技术 Practice of circular linkage**

是针对生活、生产过程中产生的各种环境问题，为减少资源浪费、减少污染物的排放、提高循环利用率，为实现企业可持续健康发展所采用的与某一时期的技术、经济发展水平和环境管理要求相适应、适宜向中小企业推广应用的、适用于不同应用条件的一项或多项先进、可行的循环经济工艺和技术。

1. 基本要求
2. 国家和地方有关法律、法规、制度及各项政策得到了有效的贯彻执行，近三年内未发生重大污染事故或重大生态破坏事件；
3. 企业的环境质量达到国家或地方规定的环境质量标准，污染物排放达标，各类重点污染物排放总量均不得超过国家或地方的总量控制要求；
4. 以循环经济和工业生态学理论为指导，按照物质、能量、信息流动的生态规律，通过废物资源综合利用、物质闭合循环、减物质化以及能源效率最大化等措施来构建铜冶炼行业发展循环经济的模式与结构；
5. 在企业内部实施清洁生产，通过减少资源和能源的消耗、实现生产过程资源循环利用、降低废物排放量和实现废物资源化利用等途径，实现资源、能源利用效率最大化；
6. 优化生产工艺流程和工序间的衔接配合，优化配置工艺系数，取消或减少高耗能工序，减少资源浪费，减轻铜冶炼企业的环境负荷；
7. 加强对能源、原材料、水等资源消耗管理, 实现能量的梯级利用、资源的高效利用和循环利用，提高资源的产出效益；
8. 在不同的生产单元之间通过产品流和废物流经济，对资源能源加以整合，构建物质和能量循环，实现行业内部资源能源利用效率最大化；
9. 通过铜冶炼工业的发展拉动其他产业和周边地区的发展，促进周边的产业结构调整和提升，使区域环境得到持续改善，资源得到充分利用。
10. 生产工艺及循环经济要素分析
	1. 火法炼铜工艺

火法炼铜是利用高温从铜精矿提取金属铜或其化合物的过程，主要工艺流程有备料、熔炼、吹炼、火法精炼、电解精炼等，最终产品为阴极铜。配套工序有阳极泥处理、余热回收、烟气收尘、烟气制酸等。

火法炼铜典型工艺流程详见图1。



**注：精炼炉氧化期产生的烟气送烟气制酸系统，其余时段送脱硫系统。**

1. 典型工艺流程图
	1. 循环经济要素

铜冶炼过程中主要产生工业废气、工业废水、固体废物和噪音，其中工业废气、工业废水和固体废物造成了主要环境污染问题。应按照清洁生产要求，结合循环经济的3R原则，合理充分利用原料和能源，对废气、废水和固体废物进行高效循环利用，使铜冶炼活动对自然环境的影响控制在尽可能小的程度。

* + 1. 可循环利用废气种类及来源

铜冶炼过程中可循环利用的废气主要是含硫废气，具体种类、来源及去向见表1。

1. 废气种类、来源及去向

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **废气种类** | **废气来源** | **废气去向** |
| SO2 | 熔炼炉 | 烟气制酸 |
| 吹炼炉 | 烟气制酸 |
| 制酸尾气 | 回收制酸或其他硫产品 |

* + 1. 可循环利用废水种类及来源

火法炼铜可循环利用的废水主要包括酸性污水、冷却水排污水、车间排污水等，具体种类、来源及去向见表2。

1. 废水种类、来源及去向

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **废水种类** | **废水来源** | **废水去向** |
| 酸性污水 | 制酸系统污酸 | 处理后循环使用 |
| 制酸系统含酸污水 | 处理后循环使用 |
| 硫酸场地初期雨水 | 处理后循环使用 |
| 生产厂区其他场地初期雨水 | 处理后循环使用 |
| 冶金炉水套冷却水排污水 | 工业炉窑汽化水套或水冷水套 | 冷却后循环使用，少量排污水可经废水深度处理后回用。 |
| 余热锅炉排污水、化学水处理车间排污水 | 余热锅炉房  | 锅炉排污水可用于渣缓冷淋水或用于冲渣；含酸碱污水中和后可用于渣缓冷淋水或用于冲渣。 |
| 金属铸锭或产品熔铸冷却水排水 | 圆盘浇铸机、直线浇铸机等 | 沉淀、冷却后循环使用 |
| 冲渣水和直接冷却水 | 水淬装置等 | 沉淀、冷却后循环使用 |
| 湿式除尘循环水系统 | 精矿干燥烟气湿式除尘废水 | 沉淀、冷却后循环使用 |
| 电解、净液、阳极泥湿法处理车间排水 | 电解槽、极板清洗水 | 返回电解系统 |
| 真空蒸发器冷凝水 | 返回工艺系统 |
| 银粉洗涤水 | 返回电解系统 |
| 车间地面冲洗水、压滤机滤布清洗水 | 返回电解系统 |

* + 1. 可循环利用固体废物种类及来源

火法炼铜可循环利用的固体废物主要包括各类冶炼废渣（包括冶炼水淬渣、渣选矿尾矿等）、各类泥状物（包括砷滤饼、铅滤饼等酸泥产物），以及随烟气一起排出并被除尘器收集的烟尘等工业废渣。

铜冶炼过程中主要固废种类及来源见表3。

1. 固体废物种类、来源及去向

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **固废种类** | **固废来源** | **固废去向** |
| 冶炼水淬渣 | 贫化电炉 | 生产建筑材料等 |
| 渣选矿尾矿 | 渣选矿 | 生产建筑材料等 |
| 烟尘 | 除尘器收尘 | 返回熔炼或吹炼或综合回收其中有价元素 |
| 白烟尘 | 除尘器收尘 | 综合回收其中有价元素或委托有资质企业处置 |
| 阳极泥 | 电解精炼沉积 | 综合回收其中有价元素或委托有资质企业处置 |
| 黑铜粉 | 电解液净化 | 返回火法精炼 |
| 石膏渣 | 废水处理 | 生产建筑材料等 |
| 酸泥（砷滤饼、铅滤饼） | 废酸处理 | 综合回收利用或委托有资质企业处置 |
| 废水处理污泥（中和渣） | 废水处理 | 综合回收其中有价元素或委托有资质企业处置 |

1. 铜冶炼行业循环经济途径
	1. 能源及资源减量化途径
		1. 水资源
			1. 生产环节实现节约用水，新水消耗量最小化。
			2. 采用不用水或少用水的工艺及大型设备，实现源头用水减量化。
			3. 在供水量理论上按照分级、分质供水原则，采用清污分流、循环供水、串级供水等技术。
			4. 不断提高水的重复利用率以减少废水产生量，工业用水重复利用率不应低于HJ 558和 HJ 559的规定。
		2. 能源
			1. 应优先选用先进的节能工艺。
			2. 应合理分配和使用烟气进行余热利用。
			3. 采用节能、节电设备及自动控制系统。
			4. 宜优先使用可再生能源或者低碳清洁的新能源。
			5. 建立能源管理控制中心，制定用能和节能发展规划。
	2. 资源化及再利用途径
		1. 废气
			1. 锍熔炼、铜锍吹炼过程中产生的烟气应净化后回收生产硫酸或其他硫产品。
			2. 对制酸尾气或炉窑低浓度SO2烟气宜回收并生产硫酸或其他硫产品。
		2. 废水
			1. 制酸系统污酸及酸性废水中的金属离子、砷、酸应优先进行回收和综合利用。
			2. 制酸系统污酸及酸性废水经处理达标后可循环使用。
			3. 硫酸场地初期雨水及生产厂区其他场所初期雨水宜优先处理回用。
			4. 冶金炉水套冷却水排污水经冷却后可循环使用，少量排污水可经废水深度处理后回用。
			5. 余热锅炉排污水可用于渣缓冷淋水或用于冲渣，含酸碱污水中和后可用于渣缓冷淋水或用于冲渣。
			6. 金属铸锭或产品熔铸冷却水排水经沉淀、冷却后可循环使用。
			7. 冲渣水和直接冷却水经沉淀、冷却后可循环使用。
			8. 湿式除尘循环水经沉淀、冷却后可循环使用。
			9. 清洗阴极板产生的废水和电解槽清洗水经处理后可返回电解系统。
			10. 真空蒸发器冷凝水经处理后可返回工艺系统。
			11. 银粉洗涤水经处理后可返回电解系统。
			12. 车间地面冲洗水、压滤机滤布清洗水等车间排污水经处理后可返回电解系统。
		3. 固体废物
			1. 冶炼水淬渣、渣选矿尾矿等冶炼废渣，可用于生产建筑材料等。
			2. 酸泥（砷滤饼、铅滤饼）应综合回收利用或委托有资质企业处置。
			3. 经除尘器收得的烟尘可返回工艺系统或回收有价元素。
			4. 白烟尘含有较高的 Pb 等有价金属，应综合回收利用或委托有资质企业处置。
			5. 阳极泥中含有Au、 Ag、 Se、 Te、 Cu等有价金属，应综合回收利用或委托有资质企业处置。
			6. 黑铜粉中因含有Pb、 As等重金属，应返回火法精炼处理。
			7. 废水处理污泥宜回收其中的有价金属。
			8. 石膏渣可作为生产水泥的添加剂。
		4. 余热余能
			1. 锍熔炼、铜锍吹炼及火法精炼产生的高温烟气在进入除尘系统前，应合理回收余热。
			2. 制酸中温位（转化）和低温位（吸收）余热宜回收利用。
			3. 利用余热锅炉产生的蒸汽作为对炉料蒸汽干燥的热源。
			4. 利用余热产生的蒸汽供采暖或余热发电系统使用。
			5. 利用余热产生的蒸汽作为电解液保温的热源。
2. （资料性附录）
铜冶炼行业循环经济产业链图
	1. 铜冶炼循环经济产业链图

铜冶炼循环经济产业链示意图见图A.1。



* 1. 铜冶炼循环经济产业链示意图
1. （资料性附录）
铜冶炼行业循环经济生产实践技术
	1. 能源及资源减量化
		1. 能源
			1. 非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术

非稳态余热经余热锅炉产生蒸汽进入储热器，稳态蒸汽进入汽轮机做功后成为凝结水，经除氧后返回余热锅炉开始下一个循环。非稳态余热资源转化为电能高效利用。适用对于电炉或转炉等尾部烟气的流量和温度周期性变化的余热资源的回收。

* + - 1. 氧气底吹熔炼技术

采用氧气底吹熔炼技术取代铅烧结鼓风炉工艺，实现自热熔炼，大幅度提高冶炼强度，显著降低能耗。环保条件好，产品单耗低，节能效果明显。

适用于铜及其它硫化矿物的提取冶金企业。

* + - 1. 氧气侧吹熔池熔炼技术

集物料干燥和熔炼于一身，熔炼强度大，充分利用原料自身的化学反应热，产生的烟气通过余热锅炉回收余热后进行发电，有效降低了能耗。

* + - 1. 双侧吹竖炉熔池熔炼技术

采取双侧、多风道、吹渣熔体与新进物料的混合层。采用特殊的炉体结构和不粘结烟道。炉墙关键部位采用水冷铜水套挂渣技术。采用不锈钢水冷铜水套复合风嘴。

适用于各个地区的10-20万吨规模的铜火法冶炼之熔炼工序。

* + - 1. 粗铜自氧化还原精炼技术

鼓入惰性气体搅拌粗铜液，直接利用粗铜液中自身氧和杂质反应，达到一步脱杂除氧目的，取消了传统火法炼铜的氧化还原作业过程，实现了节能减排。

适用于各种传统火法精炼炉。

* + - 1. 双炉粗铜连续吹炼节能技术

将铜精矿冶炼吹炼工序由传统间歇式P-S转炉吹炼在一个吹炼空间分先后间断进行，改为分置到两个独立固定的吹炼空间（造渣炉和造铜炉），在充分利用了熔炼炉所产冰铜显热的同时，避免了转炉吹炼需等料而导致鼓风机空吹带来的无用电力消耗；同时还可设置中压余热锅炉，回收余热生产中压饱和蒸汽进行余热发电，实现节能。

适用于铜精矿冶炼吹炼工序。

* + - 1. 节能高效强化电解平行流技术

电解液以高速在靠近阴极板侧下部强制平行喷射进入阴阳极板间，电解液在阴极和阳极之间形成“内循环”，消除浓差极化和阳极钝化，实现高电流密度工业生产。高电流转化的热能可满足电解液热平衡，极大降低加热蒸汽消耗量，实现节能。

适用于电解精炼工序。

* 1. 资源化及再利用化
		1. 废水
			1. 砷铜混合有色冶炼废水处理技术

该技术可使重有色金属冶炼产生的含砷废水资源化，其创新点为：二段中和除杂，回收石膏和重金属；可制备亚砷酸铜，并用于铜电解液净化；可制备三氧化二砷产品；亚砷酸铜经 SO2 还原、硫酸氧化浸出回收硫酸铜循环利用，有效去除废水中的砷、铜。

该技术使得产品三氧化二砷纯度可达95%，砷总回收率大于85%。

适用于铜冶炼含砷废水的处理。

* + - 1. 有色金属冶炼废水深度处理技术

该技术采用“节水优化管理-分质处理回用-末端废水处理回用”的集成技术，处理后出水水质可满足GB 50050要求。

适用于废水处理及回收利用。

* + - 1. 冶炼烟气洗涤废酸处理技术

该技术采用硫化剂与烟气洗涤废酸中砷、铜等重金属离子反应，生成难溶的硫化物沉淀，实现砷、铜等重金属离子的脱除。通过对硫化反应进行精确控制，可选择性的回收铜和砷，铜和砷的去除率均大于98%。

适用于冶炼烟气洗涤废酸中重金属的处理。

* + - 1. 冶炼烟气污酸中重金属处理及铼酸铵富集技术

在冶炼烟气制酸产生的含酸 5%～10%污酸中添加专用络合剂，使重金属离子及砷与药剂在反应器内快速反应后进入板框压滤机固液分离。滤液可返回动力波洗涤系统循环使用，也可用于稀酸补充液。滤饼可回收利用提取有价金属（铼酸铵）或外运处置。

适用于冶炼烟气制酸产生的含酸5%～10%污酸及有色冶炼（采掘、冶炼）酸性废水的处理。

* + 1. 废气
			1. 绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术

绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术是使用稀酸喷淋含 SO2 的烟气，利用绝热蒸发降温增湿及洗涤的作用使杂质从烟气中分离出来，从而达到除尘、除雾、吸收废气、调整烟气温度的目的。

该技术可提高循环酸浓度，减少废酸排放量，降低新水消耗。

适用于所有的铜冶炼制酸烟气的湿式净化。

* + - 1. 低位高效 SO2干燥和 SO3吸收技术

低位高效 SO2 干燥和 SO3 吸收技术是利用浓硫酸等干燥剂吸收 SO2 中的水蒸汽和SO3 ，以净化和干燥制酸烟气。低位高效干吸工艺相对于传统工艺干燥塔和吸收塔操作气速高、填料高度低、喷淋密度大，减小了设备直径及高度，节省了设备投资。干燥塔、吸收塔、泵槽均低位配置，有利于降低泵的能耗。干燥塔采用丝网除沫器、吸收塔采用纤维除雾器，降低了尾气中的酸雾含量。硫酸尾气从吸收塔（或最终吸收塔）排出，尾气 SO2 浓度低于400mg/m3，硫酸雾浓度低于40mg/m3。

适用所有制酸烟气的干燥和 SO3 的吸收。

* + - 1. 湿法硫酸技术

湿法硫酸技术是烟气经过湿式净化后，不经干燥直接进行催化氧化，再经水合、冷却生成液态浓硫酸。

该技术处理低浓度 SO2 烟气，与传统的烟气脱硫工艺相比，没有任何副产品和废物排出，硫资源利用率接近100%。在处理低浓度 SO2 烟气(1.75～3.5%)优势明显，但SO2 浓度低于1.75%时需要消耗额外的能量，经济性较差。

* + - 1. 单接触+尾气脱硫技术

单接触技术是指 SO2 烟气只经一次转化和一次吸收制酸，SO2转化率相对较低，需另外配置尾气脱硫装置联合使用。

该技术冶炼烟气中的 SO2 大部分以硫酸的形式回收，少量再通过烟气脱硫装置以其他化工产品回收，SO2 转化率不低于99%。

适用于 SO2 浓度在3.5～6%之间的烟气制取硫酸。

* + - 1. 双接触技术

双接触技术是 SO2 烟气先进行一次转化，转化生成的 SO3 在吸收塔（中间吸收塔）被吸收生成硫酸，未转化的 SO2 返回转化器再进行二次转化，二次转化后的 SO3 在吸收塔（最终吸收塔）被吸收生成硫酸。通常采用四段转化，根据具体烟气条件和排放要求可选择五段转化。

采用双接触技术，烟气中的SO2以硫酸的形式回收，SO2 转化率不低于99.5%。

适用于 SO2 浓度在5~14%之间的烟气制取硫酸。

* + - 1. 预转化技术

预转化技术是指烟气在未进入正常转化之前，部分烟气先经预转化器转化，转化后烟气与其余的

SO2 烟气合并后进入主转化器。预转化生成的 SO3 进入主转化器后，起到抑制主转化器第一触媒层 SO2转化率的作用，防止触媒层超温，避免损坏触媒和设备。

该技术可提高 SO2总转化率，降低尾气污染物排放浓度及排放量。

适用于 SO2浓度高于14%的烟气制取硫酸。

* + - 1. SO3再循环技术

SO3 再循环技术是将反应后的含 SO3 烟气部分循环到转化器一层入口，起到抑制转化器第一触媒层SO2转化率的作用，从而控制触媒层温度在允许范围内。

该技术 SO2 转化率超过99.9%，可降低尾气污染物排放浓度和排放量。

适用于 SO2 浓度高于14%的烟气制取硫酸。

* + 1. 固废
			1. 加压浸出-氧气顶吹熔炼阳极泥处理技术

加压浸出-氧气顶吹熔炼阳极泥处理技术工艺流程为：阳极泥加压浸出-氧气顶吹（卡尔多）熔炼-金银合金板电解精炼得银；银电解阳极泥水溶液氯化分金-氯化液控制电位还原得金，氯化渣再经浸出、还原后得银粉送入银熔练系统。

该技术工艺流程短，生产效率高，可减少污染物排放。

适用于大型铜冶炼电解精炼产生的阳极泥的处理。

* + - 1. 铜阳极泥湿法处理技术

铜阳极泥湿法处理技术工艺流程为：硫酸化焙烧脱硒→稀硫酸浸出→浸出液铜置换银得银粉→银粉经熔炼、电解后得银；浸出渣水溶液氯化分金→氯化液控制电位还原得金，氯化渣再经浸出、还原后得银粉送入银熔练系统。

该技术金属回收率高，无烟尘、废气产生，但对原料适应性差。

适用于铜冶炼电解精炼产生的阳极泥的处理。

* + - 1. 白烟尘处理技术

为综合回收铅、锌、砷等，部分白烟尘（熔炼烟尘、吹炼烟尘）需开路处理。常用的流程是烟尘先经两段浸出，浸出渣外售给铅冶炼厂回收铅。浸出液电积脱铜，电积铜返回熔炼系统。脱铜后液蒸发结晶得粗制硫酸锌，粗制硫酸锌外售给锌冶炼厂回收锌。结晶母液用SO2还原沉砷，得到产品 As2O3 。

适用于对转炉烟气除尘器收集到的 Pb 等重金属含量高的烟尘的回收处理。

* + - 1. 含铜锡等多元素冶炼废渣金属回收技术

采用富氧侧吹炉处理冶炼废渣，回收其中的铜、锡、锌、铅等有价金属。在高温和还原气氛中，熔渣中锌、铅、锡的氧化物被还原成金属蒸汽，与烟尘一并进入收尘系统被收集，铜呈冰铜从炉渣中析出，镍、金、银富集在冰铜中。高温烟气先经余热锅炉降温，再经脱硫处理后达标排放。烟尘送锌精炼厂，采用“浸出-萃取-电积”工艺提取电解锌，浸出渣送电炉还原熔炼提取锡铅合金，熔炼渣用于制建材。

适用于含铜锡等多金属冶炼废渣的资源化处理。

* + - 1. 火法有色冶炼烟尘中砷、铜、铅、锌及稀贵重金属分离去除资源化回收技术

该技术利用脱硫副产品液体 SO2 脱除有色冶炼烟尘中的砷，烟尘脱砷后，再回收有价及稀贵金属。工艺流程：烟尘硫酸浸出→电积脱铜→浓缩结晶粗硫酸锌→液体 SO2 还原沉砷→压滤除砷（砷进一步提纯加工）→母液返浸出。

适用于处理铜冶炼烟尘，回收有价金属。

* + - 1. 铜冶炼烟灰等废弃物湿法处理技术

该技术以铜冶炼过程中产出的铜转炉烟灰、倾动炉高锌烟灰、黑铜渣浸出渣和电解废酸等危险废物为原料，采用三段浸出、萃取、溶液净化、合成、置换等全湿法处理工艺，得到硫酸铜溶液、活性氧化锌、三盐基硫酸铅、精铟和氧化铋等产品，实现了铜冶炼烟灰中铜、锌、铅、铟、铋的回收及砷的无害化处理。

适用于铜冶炼烟灰中重金属的回收和砷的无害化处理。

参 考 文 献

[1] 《2013 年国家鼓励发展的环境保护技术目录》

[2] 《2013 年国家先进污染防治示范技术名录》

[3] 《2015 年国家先进污染防治示范技术名录（水污染治理领域）》

[4] 《国家重点节能低碳技术推广目录》（2017年 节能部分）

[5] 《2017年国家先进污染防治技术目录（固体废物处理处置领域）》

[6] 《铜冶炼污染防治可行技术指南（试行）》

[7] GB 20424 重金属精矿产品中有害元素的限量规范

[8] GB 20664 有色金属矿产品的天然放射性限值

[9] GB 25467 铜、镍、钴工业污染物排放标准

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_