

铜冶炼行业清洁生产评价指标体系

(征求意见稿)

编制说明

《铜冶炼行业清洁生产评价指标体系》编制课题组

二零二二年七月

目 录

1 项目背景.....	1
2 行业现状、存在的问题和标准编制意义.....	1
3 适用范围.....	10
4 编制依据和参考资料.....	10
5 编制方法和技术路线.....	11
6 指标确定说明.....	16
7 评价指标体系实施的可行性分析.....	22
附件一 山东阳谷祥光铜业有限公司试填表.....	23
附件二 征求意见处理情况.....	36
附件三 标准报批审议会专家征求意见汇总.....	40
附件四 部委征求意见情况汇总处理表.....	42

1 项目背景

1.1 项目来源

为落实科学发展观、构建和谐社会与环境友好型社会，提高资源与能源利用效率，进一步减少环境污染，不断提高铜冶炼业清洁生产水平。2011年9月，国务院颁布的《“十二五”节能减排综合性工作方案》明确提出要“大幅度提高能源利用效率，显著减少污染物排放”，并重点推动有色金属等行业的节能减排工作实施，全面推行清洁生产，推进资源综合利用，加快节能减排技术攻关、示范及推广应用。2013年2月出台的《有色金属工业“十二五”发展规划》要求“十二五”期间，有色金属工业结构调整和产业转型升级取得明显进展，工业增加值年均增长10%以上，产业发展质量和效益明显改善。

基于以上相关政策的知道思想，根据《国家发展改革委办公厅关于征集清洁生产评价指标体系第二批编制计划的通知》（发改办环资[2015]2325号）的相关要求，制定《铜冶炼行业清洁生产评价指标体系》。本标准制订承担单位：湖南有色金属研究院有限责任公司、中国环境科学研究院、浩美安全环保科技有限公司。

1.2 编制过程

（1）开题报告

2015年10月，湖南有色金属研究院有限责任公司、中国环境科学研究院、浩美安全环保科技有限公司成立了铜冶炼清洁生产评价指标体系编制课题小组，开始进入了标准编制的准备阶段。而后根据《清洁生产评价指标体系编制通则》（试行稿），制定了铜冶炼业清洁生产评价指标体系编制的工作计划。按照工作计划，课题小组先后完成了铜冶炼业生产相关资料的收集，国家相关产业政策和环保法律法规与标准等文件的研究，并于2015年12月25日前编制完成了《铜冶炼业清洁生产评价指标体系》的开题报告。

（2）征求意见稿及编制说明

在2016年2月~2016年8月，课题小组按工作计划进行了铜冶炼业清洁生产评价指标体系起草阶段的工作，先后完成制定铜冶炼业清洁生产评价指标体系编制原则、编制清洁生产评价指标体系的框架和清洁生产评价指标体系分级表、编写清洁生产评价指标体系正文与编制说明等文字内容，期间对江西铜业集团贵溪冶炼厂、五矿铜业（湖南）有限公司进行了实地调研和表格调研，并2次召开专家咨询会，邀请行业内知名专家到会指导，就各项指标征求了行业专家的意见，根据专家意见对标准的初稿进行了认真修改，在此基础上形成《铜冶炼业清洁生产评价指标体系》初稿及编制说明。

2 行业现状、存在的问题和标准编制意义

2.1 我国铜冶炼行业发展现状

2.1.1 行业发展现状

铜冶炼行业是国民经济中的基础性行业，特别是我国正处于工业化阶段，对铜的需求保持高速增长，铜冶炼行业在国民经济中的地位将不断提高。铜是国民经济发展的重要原材料，特别是在电气工业方面应用更是广泛。对于中国铜工业来说，大力发展中国铜工业是全球经

济一体化下的迫切需求。目前，我国是全球铜消费量位居首位的国家，同时也是铜加工工业大国，受到了社会各界的高度关注，

几十年来，我国铜冶炼行业生产集中度大幅提升，逐步向规模化、专业化方向发展，技术装备水平和产品质量有了较大提高。目前铜冶炼行业进入新一轮的产业升级期，铜冶炼行业日趋集团化、专业化、大型化和国际化；行业技术进步加快，铜冶炼工艺设备日益向大型、高速、连续、自动、精密、节能和环保型方向发展；铜冶炼产品的低成本、高精尖、高效化发展趋势日渐明显。铜冶炼技术不断提高，精铜含铜可达到 99.99%，能耗不断降低，环保不断加强，铜冶炼综合能耗已降到 394 千克标煤/吨，铜冶炼总回收率保持在 96% 以上，粗铜冶炼回收率保持在 97% 以上，属于国际先进水平。硫的利用率达到 96% 以上。

我国铜冶炼业属于资源、能源密集型行业，高速发展的生产能力与我国铜矿产资源缺乏极不协调；虽然生产集中度较高，14 家大型铜冶炼企业生产全国 83.2% 精铜冶炼，但仍有 16.8% 的产品是为数众多的小冶炼企业所生产。

2019 年，我国铜精矿金属含量 163 万吨，同比增长 4.1%，精炼铜、铜材产量分别为 978 万吨、2017 万吨，分别同比增长 10.2%、12.6%。铜材产量最高，较上一年增长了约 300 万吨，增幅明显。

铜原料结构方面，2019 年我国铜材产量占比达到 64%，占比超过一半，精炼铜产量占比达 31%，其次铜精矿仍然较少，占比仅达到 5%。

随着我国铜冶炼行业技术不断优化，铜冶炼要求日趋严格，我国铜冶炼过程中主要指标持续优化，铜冶炼智能化成为趋势。据工信部数据显示，铜冶炼总回收率 98.6%，同比提高 0.1 个百分点，铜冶炼综合能耗 226 千克标煤/吨，同比下降 2%。

由于我国铜矿资源有限，而且铜冶炼又是高耗能的生产过程，铜冶炼产量、产能的过快增长已造成了部分地区矿石、电力供应紧张，甚至影响到企业的正常生产；要警惕铜冶炼过剩的风险，国际贸易环境复杂多变，转型升级任务仍然较为艰巨，未来铜冶炼将加快智能化、绿色化改造进程。

2.1.2 生产工艺技术进展

(1) 传统铜冶炼工艺

火法铜冶炼是当今生产铜的主要方法，世界上 80% 以上的铜是用火法从硫化铜精矿中提取的。火法铜冶炼最突出的优点是适应性强，冶炼速度快，能充分利用硫化矿中的硫，能耗低，生产效率高，特别适于处理硫化铜矿和富氧化矿。

火法冶炼一般是先将含铜百分之几或千分之几的原矿石，通过选矿提高到 20~30%，作为铜精矿，在密闭鼓风炉、反射炉、电炉或闪速炉进行造锍熔炼，产出的熔锍(冰铜)接着送入转炉进行吹炼成粗铜。粗铜经电解精炼后得到高纯度的电解铜。

火法处理铜精矿提取铜的原则工艺流程如图 1。

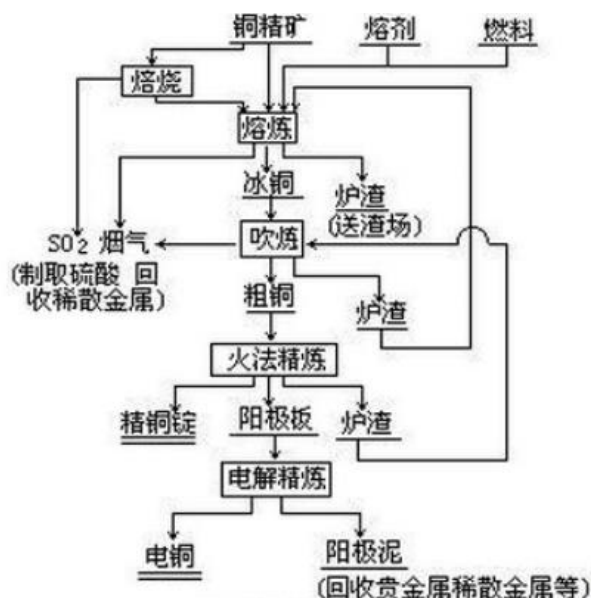


图 1 铜冶炼原则工艺流程图

(2) 冰铜熔炼技术

冰铜熔炼是铜冶炼过程中的重要环节，也最容易造成环境污染，近期国内几个大型铜冶炼企业的技术改造和新上马的大型铜冶炼企业都将熔炼系统的技术方案作为重点，选择适合自己特点的先进熔炼技术和设备。

① 闪速熔炼技术

闪速熔炼以其技术成熟可靠、热强度高、单炉处理量大、炉子寿命长、环保效果好的特点受到国内外大、中型铜冶炼厂的普遍重视，目前是世界冰铜熔炼的主流工艺技术，且日臻成熟。

在精矿喷嘴结构不断更新完善，操作控制上采用“高富氧浓度、高冰铜品位、高操作温度、高热强度”及炉体冷却系统改进后，闪速熔炼单台炉子的处理能力大大提高，达到高生产能力。如江铜集团贵溪冶炼厂三期工程采用的技术改造方案是通过提高精矿品位，加大精矿处理能力，增加炉体冷却元件，提高热强度等措施挖潜改造，使单台炉子的产铜量由原一期的 9 万 t/a 提高到 30 万 t/a。闪速炉的精矿喷嘴由原来的 4 个文丘里式喷嘴改为中央扩散型喷嘴，发展到现在的风量连续可调型喷嘴。喷嘴的改进使入炉的物料和空气、氧等混合更加均匀、冶金反应进行得更彻底，炉况得到进一步改善，避免了下生料，降低了炉渣含铜。

闪速熔炼近年发展的新技术新设备有：

a、精矿蒸汽干燥。芬兰的奥托昆普公司将食品公司的蒸汽干燥设备移植到铜精矿的干燥。经过改进，实现了圆筒外壳与蒸汽盘管的同步旋转，减少了盘管的磨损。用低压蒸汽法（ $7\sim 10 \times 10^5 \text{Pa}$ （由冶炼余热锅炉产生）取代了传统的三段干燥法，使干燥设备规模大为缩减，不需要电收尘和大烟囱，精矿输送高度大幅减少，干燥能源取消了重油和煤，仅使用低品位级的冶炼余热。因此，该设备堪称为环保节能的绿色干燥设备。

b、干矿的浓相气流输送。浓相气流输送的气固比为 10: 1，管内气流速度仅为 2~3m/s，管道的磨损速率大为减少。

c、闪速给料计量装置。闪速炉的给料速率是稳定闪速炉生产的重要参数。芬兰的奥托昆普公司将食品工业的失重计量装置移植到闪速炉给料速率计量上。其计量控制通过排料和装料两个周期完成，测定计量装置的失重量（螺旋机的单位时间排矿量），即闪速炉的给料

速率。借助于系统的前馈和反馈控制，可以将闪速炉的投矿速率控制在一个相当准确的水平上，误差小于 1%。

d、密集型干矿仓和 Stamet 给料器。美国的圣·玛纽尔（Sam Manuel）冶炼厂于 1999 年采用 Stamet 多盘给料器，并配以密集型料仓，克服了料仓内的给料流态化现象，保证了闪速炉的高效稳定运行。

e、新型精矿喷嘴。闪速炉精矿喷嘴的性能直接左右着闪速炉的发展进程。奥托昆普公司最新研制的精矿喷嘴生产内外环改为调风锥，能比较平稳地调节工艺风喷出速度，精矿处理量可达 3000t/d 以上。

f、闪速炉炉体。相同炉体尺寸，采用新精矿喷嘴，可允许更大的投矿量。由于热强度的增加，相应的炉体冷却系统进行强化，改喷淋式冷却为立体水套冷却，增加水套数量，冷却元件的形式改原来的预埋铜管的捣打料方式为倒 F 型水套。

g、上升烟道。通过控制焦粉用量和喷枪的使用频率，可使上升烟道的结瘤控制在一定厚度，既不给排烟带来较大的阻力，也不使结瘤太薄而损伤耐火材料。

h、余热锅炉防粘结技术。采用烟尘的硫酸盐化技术和弹簧锤振打技术，提高除尘效果，防止余热锅炉粘结。

i、烟气制酸和二氧化硫排放。采用动力波烟气净化技术、高二氧化硫浓度的转化技术、硫酸吸收工序回收蒸汽技术，使用 AP（阳极保护）冷却器、板式换热器和铂触媒，促进了制酸技术的发展，有效地保护了生态环境。

②氧气顶吹熔炼技术

氧气顶吹熔炼技术包括艾萨法和澳斯麦特法。氧气顶吹铜冶炼技术的优点是熔炼速度快，生产率高；建设投资少，生产费用低；原料的适用性强；与已有的设备配套灵活、方便；操作简单，自动化程度高；燃料适用范围广；有良好的劳动卫生条件。

顶吹浸灭熔炼技术将是实现连续吹炼颇有吸引力的技术，吹炼产生的二氧化硫烟气量连续稳定，不影响制酸，可控制污染。

③诺兰达熔池熔炼

诺兰达熔池熔炼作为一种先进的铜冶炼工艺，具有以下特点：床能力高；备料工艺简单，对原料、燃料适应性强；脱硫率高，铜硫品位高；过程简单，操作简便可靠，反应易于控制。

④白银铜冶炼法

白银铜冶炼法是我国具有自主知识产权的先进铜冶炼法，经历了空气熔炼、富氧熔炼、富氧自热熔炼三个阶段。具有以下特点：熔炼炉料的利用率高；能耗较低；白银炉熔池中设置隔墙，将整个炉子分隔成熔炼区和沉降区两个区；炉渣含四氧化三铁少，渣含铜量较低；烟尘率较低，为 3% 左右；对原料的制备要求简单；转炉渣可返白银炉进行贫化处理；铜硫品位可容易地通过氧料比在较大的范围内调整；对原料的适应性强，有利于共生复杂矿的综合利用；燃料适应性强，可使用粉煤、重油、天然气等多种燃料；烟气中二氧化硫浓度较高，且成分和浓度较稳定，有利于制酸。

(3)冰铜吹炼技术

①转炉吹炼

随产能的扩大，转炉的结构尺寸大型化，成功地实现高品位冰铜（63%）的吹炼和富氧吹炼（25%）；采用伞齿传动，避免启动过载；增加水冷烟罩的密封性能，使漏风率由 100% 降至 50%。但仍然存在间断操作引起烟气量波动、炉口漏风、烟气二氧化硫浓度低、吊车频繁作业、烟气无组织排放引起低空污染的问题。

②闪速吹炼

闪速吹炼具有以下特点：建设投资低；生产成本低、劳动生产率高；环保好；对熔炼炉没有特殊要求，可与熔炼炉异地建设。但存在粗铜含硫高（0.3~0.5%）的问题。

1995年美国犹他冶炼厂建成世界上第一个闪速熔炼—闪速吹炼的铜冶炼厂，改变了传统的铜硫的液态吹炼方式。被认为是世界上最清洁的冶炼厂。全厂硫的捕收率达99.9%，吨铜二氧化硫的逸散率小于2.0kg/t；铜硫品位适中时，吹炼过程可实现自热；耗水量减少3/4。

采用一台闪速炉直接生产粗铜的工艺是铜冶炼的重点发展方向，这样其投资费用和运行费用减少，是最经济、最理想的方法，现在正在研究中。

③奥斯麦特炉吹炼

奥斯麦特顶吹浸灭吹炼是在顶吹浸灭熔炼基础上发展而成的，原理和炉型一样。中条山奥斯麦特炉吹炼炉是世界上第一座工业化生产炉，目前也是唯一一家。从投产情况看，不甚理想，尚未达到设计能力和要求。

④三菱法吹炼炉吹炼

三菱连续铜冶炼工艺由熔炼炉、电炉和吹炼炉组成。熔炼炉产出的高品位冰铜和炉渣混合物连续地流入电炉澄清分离，分离出的炉渣连续地流出水淬，冰铜连续地流入吹炼炉，吹炼炉产出的粗铜连续地流出，少量吹炼渣连续地水淬返回熔炼炉。需要对各炉子进行严格的工艺控制，保证各炉子之间熔体连续地流入流出，炉渣连续地水淬，必须确保熔体的流量。三菱法中的熔炼炉的三菱形冰铜虹吸口或底流堰结构确保了流入吹炼炉的冰铜流量是相当均匀的。

用三菱吹炼炉与其它熔炼炉（闪速炉、诺兰达炉、艾萨炉等）配套进行吹炼，由于熔炼炉放渣是间断进行的，造成吹炼炉吹炼作业困难。

（4）粗铜精炼技术

①大型的阳极炉以及采用固体燃料和还原剂的回转式阳极炉

阳极炉朝机械化程度高、炉体密闭、易操作的大型回转式阳极炉发展，处理能力达350t。在少油地区实现以粉煤代替重油作燃料，采用固体还原剂。

②阳极板浇铸机

阳极浇铸机大型化，其浇铸能力已达100t/h。在定量浇铸系统的结构、浇铸机的传动方式、控制系统及喷涂、取板等方面又不断更新，浇铸机的可靠性和精度得到进一步的保证。

（5）电解精炼先进技术

火法精炼产出的阳极铜中铜的品位一般为99.2%~99.7%，其中还含有0.3%~0.8%的杂质，杂质主要为砷、锑、铋、镍、钴、铁、锌、铅、氧、硫和金、银、硒、碲等。有些杂质含量虽不多，但能使铜的使用性能或加工性能变坏。有些杂质，其本身具有回收价值，如金、银、硒等，而火法精炼时难以回收。铜电解精炼的目的就是把火法精炼铜中的有害杂质进一步除去，得到既易加工、又具有良好使用性能的电解铜；同时回收金、银、硒等有价值金属。

铜电解精炼工艺自1869年在伯明翰的一家工厂应用至今已有一百多年的历史，电解技术的各个工艺单元都有了较大的发展变化。主要体现在：阳极规格大型化及浇铸定量化、阴极材料永久化、阴阳极处理机械及自动化、聚合物混凝土电解槽普遍化、电解液过滤精细化、添加剂控制自动化等方面。

铜的电解精炼工艺一般分为传统始极片法和永久性阴极法。

永久性阴极法和传统始极片法生产基本原理是一样的，是在 $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 电解液中铜阳极和金属阴极之间的电势差引起的化学变化：

①、阳极铜由于电化学作用溶入电解液中形成 Cu^{2+} 离子和电子：



②、反应公式 2-1 产生的电子在外界电压的作用下朝阴极运动。

③、铜阳离子依靠扩散和对流的方式进行迁移。

④、在阴极表面，铜离子得到电子生成铜单质。



将公式 2-1 和公式 2-2 进行合并，可得到电解铜的总反应式：



公式 2-3 理论电势为零。

传统始极片法是通过在金属钛或者不锈钢制成的阴极(种板)上经过反应产出物理外形尺寸、化学成分符合电解具体工艺要求的纯铜薄片(始极片)，铜薄片经校平、穿棒等加工、制作后，作为生产系统的阴极使用，在生产过程中，铜离子在由铜薄片制成的阴极上得到电子后不断沉积、析出，达到一定重量后得到产品阴极铜。

永久性阴极法是采用不锈钢制作的阴极，铜离子在不锈钢阴极板上析出，直接产出最终产品阴极铜，阴极铜需从不锈钢板上剥离，不锈钢阴极在寿命周期内反复使用，因此废除了种板系统和始极片的加工、制作过程，大大简化了生产工序。由于不锈钢阴极有很好的平直度，电力线分布均匀，可以在相对较高的电流密度下进行生产，阴极铜质量稳定。在采用了阳极机组、阴极剥离机组、自动化专用吊车后，机械化、自动化水平高。

(6) 湿法炼铜技术

传统的湿法炼铜工艺主要用来处理低品位的氧化铜矿。有氧化铜矿直接酸浸和氨浸(或还原焙烧后氨浸)等法；酸浸应用较广，氨浸限于处理含钙镁较高的结合性氧化矿。处理硫化矿多用硫酸化焙烧-浸出或者直接用氨或氯盐溶液浸出等方法。①硫酸化焙烧-浸出法是将精矿中的铜转变为可溶性硫酸铜溶出；②氨液浸出法是将铜转变为铜氨络合物溶出，浸出液在高压釜内用氢还原，制成铜粉，或者用溶剂萃取-电积法制取电铜；氯盐浸出法是将铜转变为铜氯络合物进入溶液，然后进行隔膜电解得电铜。

氧化铜矿一般不易用选矿法富集，多用稀硫酸溶液直接浸出，所得溶液含铜一般为 $1\sim 5\text{g/L}$ ，可用硫化沉淀、中和水解、铁屑置换以及溶剂萃取-电积等方法提取铜。近年来，萃取-电积法发展较快。其主要过程包括：①用对铜有选择性的肟类螯合萃取剂(LiX-64N, N-510, N-530等)的煤油溶液萃取铜，铜进入有机相而与铁、锌等杂质分离。②用浓度较高的硫酸溶液反萃铜，得到含铜约 50g/L 的溶液。反萃后的有机溶剂，经洗涤后，返回萃取过程使用。③电积硫酸铜溶液得电铜，电解后液返回用作反萃剂。江西铜业公司德兴铜矿采用堆浸-萃取-电积工艺从废矿石中回收铜资源。生产实践表明，采用该工艺回收铜，投资少，见效快，而且能减轻酸性废水对环境的污染。

近年来湿法炼铜技术有了很多发展，生物堆浸技术作为一股新兴技术获得了迅速的发展。这主要是因为采用生物堆浸技术完全可以处理高品位的次生硫化铜矿，并且已经达到了很大的生产规模和很高的机械化程度，已经成为一种成熟的炼铜方法；采用加压浸出技术和生物搅拌技术处理复杂铜精矿也正在进入工业化应用阶段。

(7) 炉渣贫化技术

炉渣贫化主要有铜炉渣磨浮法和电炉贫化法两种方法。

铜炉渣磨浮法比电炉贫化法更能适应强化熔炼的发展需要，具有以下优点：

①电炉贫化法铜回收率为 77%，弃渣含铜量为 0.5%~0.7%，而磨浮法铜回收率高达 90% 以上，浮选尾砂含铜量可降到 0.3%，同时夹杂在铜铈中的贵金属也提高了回收率。另外对强化熔炼过程而言，采用磨浮法，可选择较高的 Fe/SiO₂ 渣型，吨铜产渣量相对较低，弃渣带走的铜损失总量也相对较少。

②磨浮法电耗少，为 60~80 kW·h/t·渣，而电炉贫化法为 70~150 kW·h/t·渣。

③电炉贫化时排放的烟气二氧化硫含量 < 0.5%，难以利用，排放时污染环境。磨浮法产生的污水，比较容易处理，可循环利用。

但是磨浮法工艺流程复杂，厂房地面面积大，设备多，基建投资大，并且不适宜处理含镍钴较高的炉渣，也不适宜处理三菱法炉渣。

(8) 烟气制酸技术

①动力波烟气净化洗涤技术

动力波技术具有洗涤效率高，烟气波动适应能力强，不堵塞，运行可靠，基本无维修等优点，但系统阻力损失偏大。

②低位高效干吸技术

低位高效干吸系统配套较多分酸点的管槽式分酸器和高效纤维除雾器，空塔气速为传统干吸塔的 1.5 倍，填料高度为传统干吸塔的一半左右，相应干吸塔及循环槽规格缩小，简化了配置，自控回路也相应减少。

③高浓度二氧化硫转化技术

我国在低浓度二氧化硫（4.5%~5.5%）两转两吸制酸技术方面已达世界先进水平。近几年，我国又在高浓度二氧化硫转化方面取得了进步，目前贵冶、金隆烟气二氧化硫浓度在 12% 时，转化率达 99.7%~99.8%，尾气不用处理，可达标排放。在转化器结构方面，高效、简化的不锈钢转化器和新型触媒的应用进一步提高了转化率，减少了运行费用。

2.2 铜行业存在的主要问题

2.2.1 资源能源消耗

从 20 世纪 80 年代以来，我国铜矿年探明资源/储量呈现快速下降趋势。据作者统计，我国铜矿年探明资源/储量，20 世纪 80 年代初的“六五”期间达到 150 万吨，“七五”和“八五”期间为 77.5 万吨，到“九五”和“十五”下降到 50 万吨左右。到 2003 年底，我国查明铜矿产地 994 处，其中查明铜资源储量 6708.73 万吨。包括基础储量 3302.98 万吨。据国土资源部发布的《2014 年中国国土资源公报》显示，截至 2014 年中国铜矿查明资源储量为 9553.8 金属万吨。铜产地集中在华东地区，占全国总产量的 51.84%，其中安徽、江西两省产量约占 30%，云南、内蒙古也是主要产区。目前全国不少铜矿老矿山资源面临枯竭危机，铜矿后备开发基地告急。

一、我国铜供需矛盾突出，铜原料供应缺口继续扩大。

中国是全球电解铜第一大生产与消费国，但中国铜资源极度匮乏，自给率不足 30%，且呈现逐年扩大之势，目前我国的铜矿山采选能力仅为铜冶炼能力的 47.5%。矿山生产远不能满足冶炼生产的需要，铜产量的一半以上需进口原料，是第一铜进口国，传统进口大多来自南美、蒙古、非洲和澳大利亚等地。

我国目前正在生产的铜矿山大多是建国初期建成的,经过 50 年的开采,资源大幅减少,有的已近枯竭。在全国 36 个骨干铜矿山中,将近 22 个面临资源枯竭而关闭的局面,约消失 3~5 万吨铜金属产能。加上我国铜冶炼能力的不断扩张,精铜矿产量增长缓慢,使国内铜原料的供应缺口不断增加,对国外铜原料进口的依赖程度逐年加深。每年铜产品的进口额占有色金属产品进口总额的 50% 以上。

我国铜消费一直保持高速增长。2001 年精铜消费量为 221 万吨,2012 年中国铜总消费量增加到 884 万吨,人均铜消费量 0.5kg,11 年间年平均增长率为 13.5%。结合未来中国经济、人口增长趋势,中国铜需求峰值将在 2025 年前后到来,届时,需求总量将达到 1400 万~1600 万吨。

由此可见,庞大的原料供应缺口只能依赖进口解决。近年风起云涌的行业内并购浪潮将进一步加剧寡头垄断的局面,而以冶炼和加工为主的中国铜企不仅个体的产量低、行业集中度不高,且基本上都需要外购原料,铜原料领域受制于人的局面在未来相当长的时间内都将难以扭转。

二、我国铜资源形势严峻

据统计,2017 年我国完全探明的铜资源储量总量为 10607.75 万吨(铜含量,下同)。但是我国铜矿自然禀赋不佳,未发现优质矿床。在已发现的矿床中,大多数矿体复杂、品位低、开采成本高以及开采难度大,探明的矿体中相当一部分是“呆矿”。铜矿的平均品位只有 0.87%。品位大于 1% 的储量只占资源储量总量的 35%;我国斑岩型铜矿的平均品位为 0.5%,低于智利、秘鲁的 1%~2%;砂岩型铜矿的平均品位为 0.5%~1%,低于非洲刚果和赞比亚的 2%~5%。因此适合采用浸出-萃取-电积工艺的斑岩型铜矿床少,生产成本难于降低。在已开发利用的矿山中,大型和特大型的矿山少,小型矿居多。据国土资源部《全国矿产资源评价(铁铜铝)》,截至 2007 年,全国共查明铜矿区 1248 个,其中大型矿区 37 个。著名的大型铜矿是西藏玉龙铜矿、驱龙铜矿、江西德兴铜矿及近年来新发现的云南普朗铜矿。在剩余的储量中,规模大、品位高的矿床多处于边远地区,外部条件差,在目前的经济条件下,多数难于开发利用。

由于我国铜资源条件的限制,使得我国铜矿山的发展受到严重制约,一批铜矿山因开采不经济或资源枯竭而关闭,导致我国铜工业发展所需原料供应不足。因此,我国铜资源条件限制了我国铜工业的发展,并使得我国要长期面对铜原料对进口的依赖。

2.2.2 环境污染

有色冶金工业是资源、能源密集型产业,其特点是产业规模较大、生产工艺流程复杂,根据矿种的不同衍生出多条工艺路线。以火法铜冶炼为例,从矿石开采到产品的最终加工,需要经过采选、熔炼、吹炼、精炼、电解精炼等很多生产工序,其中的一些主体工序资源、能源消耗量都很大,污染物排放量也相当可观。有色行业是污染物排放的大户,也是“十二五”节能减排的重点行业之一。

近年来,随着经济的高速增长,我国有色金属工业进入了高速发展阶段。2012 年我国精铜冶炼的产量为 605.7 万吨,2013 年为 683.90 万吨,2014 年产量达到 796 万吨。按铜冶炼过程二氧化硫的排污系数 44.8Kg/t 铜计,2012 年铜冶炼二氧化硫排污量为 27.14 万吨,2013 年为 30.64 万吨。约占全国二氧化硫排放总量(2013 年全国二氧化硫排放总量为 2043.9 万吨)的 1.5%。

铜冶炼过程中产生的主要污染包括:大气污染、水污染和固体废弃物污染。

(1) 大气污染

铜冶炼过程中产生的废气主要来源于：备料过程产生的含尘废气、工业炉窑烟气、环保通风烟气、电解槽等散发的硫酸雾、氯化处理工段产生的含氯尾气、制酸尾气等。

(2) 水污染

铜冶炼过程中产生的废水主要来源于二氧化硫烟气净化排出的废酸，清洗阴极板产生的废水、电解槽清洗水、湿法冶炼中的阳极泥工段和中心化验室排出的含酸废水，车间地面冲洗水，工业冷却循环水的排污水，余热锅炉排污水，锅炉化学水处理车间排出的酸碱废水。其中烟气净化排出的废酸中含重金属离子等有毒有害物质，对环境的污染最严重。

(3) 固体废物污染

铜冶炼排放的固体废物主要有：冶炼水淬渣、电解阳极泥、黑铜泥、渣选矿尾矿、浸出渣、制酸系统铅渣、污酸污水处理渣、脱硫副产物等。

由于铜冶炼可以采用不同的冶炼工艺，特别熔炼工序阶段，国内适用的工艺各异，所以工艺不同，生产过程中对原料的要求也不同，因而根据不同的加工工艺生产过程中所产生的“三废”也不同。如表 3 所示，闪速熔炼过程的生产加工过程中产生的废水、重金属及固体废物较少，而熔池熔炼过程中生产过程中产生的废气比较少，鼓风炉熔炼技术较为落后，“三废”排放量最大。

表 1 各种铜冶炼工艺系统产污系数

污染物指标	单位	闪速熔炼工艺产污系数	熔池熔炼工艺产污系数	鼓风炉熔炼工艺产污系数
工业废水量	t/t-产品	24.65	29.56	80.2
化学需氧量	g/t-产品	5,456	1,259	6272
工业废气量	标m ³ /t-产品	22,820	20,450	25930
烟尘	kg/t-产品	327.8	82.61	146.8
工业粉尘	kg/t-产品	21.56	10.47	14.01
二氧化硫	kg/t-产品	2,124	1,888	1969
工业固体废物	t/t-产品	1.988	3.116	3.282
危险废物	t/t-产品	0.022	0.035	0.286

注：数据来源第一次全国铜冶炼业污染源普查

2.3 清洁生产评价指标体系编制的必要性

(1) 引导铜冶炼行业健康持续发展的必然要求

中国是铜冶炼历史最悠久的国家，在新中国成立前铜工业发展缓慢。随改革开放后中国国民经济的快速发展，中国铜工业进入飞速发展阶段，2006 年我国精铜冶炼的生产量和消费量分别为 293 万 t 和 340 万 t，分别位居全球的第二位和第一位。全国约有 60 多家大小铜冶炼企业，估计到 2007 年底其产能在 370 万 t/a。随着中国铜工业的高速增长，中国的铜冶炼技术水平也取得了长足的进步。

由于我国铜矿资源有限，而且铜冶炼又是高耗能的生产过程，铜冶炼产量、产能的过快增长已造成了部分地区矿石、电力供应紧张，甚至影响到企业的正常生产；低水平重复建设

的现象导致企业技术水平、生产管理滞后，产品质量在国际上缺乏竞争力。世界铜产品价格波动较大，企业的盈亏也波动较大，影响了企业可持续发展力。

目前中国铜冶炼行业的现状是处于多层次、不同生产结构，不同生产技术水平共同发展的阶段。编制本评价指标体系，从节能、降耗、减污、增效等清洁生产角度对铜冶炼工艺进行评估，引导铜冶炼行业健康持续发展是十分必要的。

(2) 为铜冶炼行业管理提供技术支持

我国铜冶炼的生产量和消耗量都居全球前列，国内的铜冶炼企业规模不一，生产技术高低不平，给行业管理带来一些不便。本评价指标体系从生产工艺与装备、能源消耗、水资源消耗、原/辅料消耗、资源综合利用、污染物产生与排放、温室气体排放、产品特征、清洁生产管理共九个方面对铜冶炼行业进行评价和规范，可更好的指导行业开展清洁生产工作，提高企业清洁生产水平。

(3) 优化产业结构，促进行业技术升级

近几年随国内铜消费市场阶段性需求的快速增长，我国铜冶炼行业发展迅速，产能不断扩张，同时也出现了违规建设、盲目发展的势头，有些地方甚至出现土法上马，尽管规模不大，但工艺落后，能耗高、环境污染严重。鉴于此现象，2005年11月3日国务院办公厅同意并转发了发改委、财政部、国土资源部、人民银行和环保总局《关于制止铜冶炼行业盲目投资的若干意见》；2006年7月1日国家发展和改革委员会出台了《铜冶炼行业准入条件》，对新上的铜冶炼项目进行清理整顿，规范铜冶炼行业的投资行为。从调整产业结构，促进行业技术升级的角度，制订铜冶炼行业清洁生产评价指标体系具有一定现实意义。

3 适用范围

本指标体系适用于粗铜冶炼、粗铜精炼、铜电解、湿法炼铜企业的清洁生产审核、清洁生产潜力与机会的判断、清洁生产绩效评定和清洁生产绩效公告，环境影响评价、排污许可证、环保领跑者等管理制度。不适用于铜矿采选、再生铜冶炼企业。

4 编制依据和参考资料

4.1 制定本评价指标体系的依据

根据发展改革委、环境保护部、工业与信息化部 2016 年发布的 8 号公告“清洁生产评价指标体系制（修）订计划（第二批）”，以及《清洁生产评价指标体系编制通则》（试行稿）（国家发展改革委、环境保护部、工业和信息化部 2013 年第 33 号公告）编制该评价指标体系。

4.2 制定本评价指标体系的主要参考资料

- GB 7475 水质 铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光度法
- GB 7470 水质 铅的测定 双硫脲分光光度法
- GB 7485 水质 总砷的测定 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB 21248 铜冶炼企业单位产品能源消耗限额

GB 24789 用水单位水计量器具配备和管理通则
GB 25467 铜、镍、钴工业污染物排放标准
GB/T 467 阴极铜
GB/T 534 工业硫酸
GB/T 2589 综合能耗计算通则
GB/T 7471 水质 镉的测定 双硫脲分光光度法
GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染源采样方法
GB/T 23331 能源管理体系要求
GB/T 24001 环境管理体系要求及使用指南
YS/T 70 粗铜
YS/T 318 铜精矿质量标准及铜精粉质量标准
YS/T 1083 阳极铜
HJ/T 57 固定污染源 二氧化硫测定 定电位电解法
HJ 629 固定污染源 二氧化硫测定 非分散红外吸收法
HJ 657 空气和废气颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法
HJ 693 固定污染源 氮氧化物测定 定电位电解法
HJ 694 水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法
HJ 700 水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法
HJ 863.3 排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业——铜冶炼
HJ 1132 固定污染源 氮氧化物测定 便携式紫外吸收法

《危险化学品安全管理条例》（国务院令 591 号）

《关于修改《产业结构调整指导目录（2011 年本）》有关条款的决定》（国家发展和改革委员会令 2013 年第 21 号）

《清洁生产评价指标体系编制通则》（试行稿）（国家发展改革委、环境保护部、工业和信息化部 2013 年第 33 号公告）

《污染源自动监控管理办法》（国家环境保护总局令 28 号）

《国家涉重金属重点行业清洁生产先进适用技术推荐目录》（工业和信息化部 2017 年第 45 号公告）

《关于加强涉重金属行业污染防控的意见》（环境生态部 环土壤[2018]22 号）

《铜冶炼行业规范条件》（工业和信息化部 2019 年第 35 号公告）

《工业炉窑大气污染综合治理方案》（生态环境部 环大气[2019]56 号）

5 编制方法和技术路线

5.1 评价指标体系的使用目的

本体系遵循“科学、合理、易操作”的原则进行编制。标准的编制体现了产品生命周期分析、生产全过程预防控制和源头削减的思想。本标准框架及定量、定性指标内容的确定，参考了现行的相关政策及标准，并充分考虑了国内外已有的清洁生产技术成果和成功的清洁生产管理经验、铜冶炼行业未来的发展趋势等信息内容。标准中指标的选取考虑了铜生产特点和指标的典型性、代表性、统计指标数据容易获得等因素，使编制的体系具有可操作性。

5.2 指导原则

制订清洁生产评价指标体系的基本原则是依据“清洁生产标准”要符合产品生命周期分析理论的要求，充分体现全过程污染预防思想，覆盖生产全过程和污染物的处理处置各个环节。

本标准主要围绕铜冶炼的生命周期而展开。针对铜冶炼行业的特点，综合考虑粗铜冶炼、铜电解、湿法炼铜生产企业生产实际，按照清洁生产评价指标体系的指标要求，采用定性、定量相结合的方式。

具体原则如下：

- (1) 依据清洁生产相关法律、法规、标准进行编制；
- (2) 满足政府主管部门评判铜企业清洁生产水平，引导和推动铜企业实施清洁生产，鼓励先进企业，淘汰落后企业的要求；
- (3) 满足政府环保主管部门对铜企业新扩改建项目环评审批的要求；
- (4) 满足政府环保主管部门对铜企业实施排污许可证管理要求的要求；
- (5) 满足政府主管部门对铜企业开展自愿与强制清洁生产审核的管理要求；
- (6) 满足政府主管部门对铜企业实施市场准入、环境准入管理要求；
- (7) 反映铜行业特点；
- (8) 促进铜行业清洁生产和技术进步。
- (9) 标准值设定时应考虑国内外的现有技术水准和管理水平，并要有一定的激励作用，同时考虑到今后进行企业清洁生产绩效评定和公告制度，本标准将技术要求划分为三级：

一级指标：

清洁生产先进（标杆）水平。此项指标主要作为清洁生产审核时的参考，以通过比较差距，寻找清洁生产机会。其指标值采用公开报道的国际先进水平或者国内领先水平。

二级指标：

清洁生产准入水平。该级指标采用公开报道的国内先进水平数据，并参考有关的统计数据结合前期清洁生产审核活动的成果综合形成。

三级指标：

清洁生产一般水平，即基本要求。根据近年我国铜冶炼行业实际情况及其有关的统计数据制订此项指标，是生产全过程采取污染预防措施所应达到的水平指标。

5.3 评价指标体系制定技术路线

本评价指标体系的制订严格按照《清洁生产评价指标体系编制通则》（试行稿），遵循生命周期分析的方法确定九个方面的指标，即：生产工艺与装备、能源消耗、水资源消耗、原/辅料消耗、资源综合利用、污染物产生与排放、温室气体排放、产品特征、清洁生产管理。立足行业特征和企业实际，根据国家颁布的清洁生产促进法、环境保护法等法律法规，以及有关清洁生产、环境保护的标准和规范，参照国内外先进经验，将行业发展和环保法规有机地结合，通过对企业生产环节提出要求，实现环境保护和可持续发展的协调统一。评价指标体系编制技术路线见图 2。

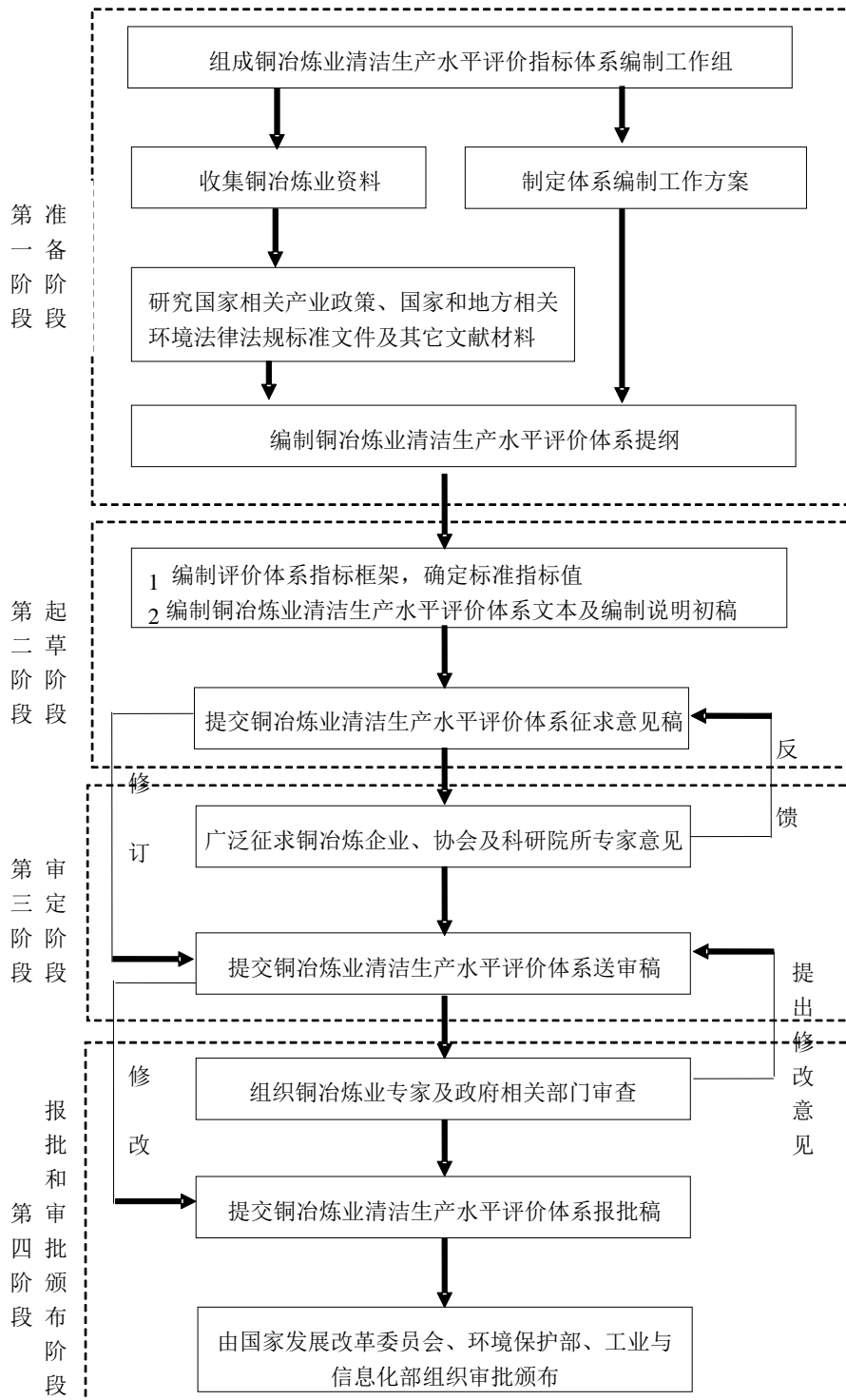


图 2 评价指标体系制订的技术路线

5.4 评价指标体系的指标分类

根据清洁生产的原则要求, 结合铜行业特点, 铜行业清洁生产指标涵盖粗铜冶炼、铜精炼和湿法炼铜的生产, 分为生产工艺及装备、能源消耗、水资源消耗、原/辅料消耗、资源综合利用、污染物产生与排放、温室气体排放、产品特征、清洁生产管理共九项指标。

本评价指标体系分为定性评价和定量评价两大部分,凡能量化的指标尽可能采用定量评价,以减少人为的评价差异。

定性评价指标主要根据国家有关推行清洁生产的产业政策选取,包括产业发展和技术进步、资源利用和环境保护、行业发展规划等,用于定性评价企业对国家、行业政策法规的符合性及清洁生产实施程度。

定量评价指标选取了具有共同性、代表性的能反映“节约能源、降低消耗、减轻污染、增加效益”等有关清洁生产最终目标的指标,量化评价企业实施清洁生产的状况和水平。

定性评价指标和定量评价指标分为两个层次。第一层次指标为普遍性、概括性的指标,包括生产工艺及装备、能源消耗、水资源消耗、原/辅料消耗、资源综合利用、污染物产生与排放、温室气体排放、产品特征、清洁生产管理共九项指标。第二层次指标为反映粗铜冶炼、铜精炼和湿法炼铜生产企业清洁生产特点的、具有代表性的、易于评价和考核的指标。第二层次指标分为三级,一级代表清洁生产先进(标杆)水平;二级代表清洁生产准入水平;三级代表清洁生产一般水平。指标构成见表2。

表2 指标构成表

第一层次指标	第二层次指标		
	阳极铜(粗铜)冶炼	电解铜	湿法炼铜
生产工艺及装备	熔炼工艺	电解槽材质	湿法炼铜工艺
	吹炼工艺	压滤设备	浸出工艺
	阳极铜生产工艺	酸雾的收集与处理	萃取工艺
	火法精炼设备	防腐防渗措施	酸雾的收集与处理
	浇铸设备		防腐防渗措施
	制酸工艺		
	*生产规模(单系统)		
	*余热利用装置		
	粉状物料仓储和输送		
	废气的收集与处理		
能源消耗	*单位产品综合能耗	*单位产品综合能耗	单位产品电耗
		单位产品直流电耗	
		电流效率	
水资源消耗	*单位产品新鲜水耗	单位产品新鲜水耗	*单位产品新鲜水耗
	*工业用水循环利用率	*工业用水循环利用率	*工业用水循环利用率
原/辅料消耗	单位产品耐火材料消耗		单位产品酸耗
			单位产品萃取剂耗
			铜浸出率
资源综合利用	铜冶炼综合回收率	铜冶炼综合回收率	
	*总硫利用率	阳极泥综合利用率	铜冶炼综合回收率
	一般工业固体废物综合利用率	电解液循环利用率	一般工业固体废物综合利用率
			浸出液循环利用率
			萃取液循环利用率
			电积母液循环利用率
污染物产生与	单位产品废水产生量	酸雾产生浓度	单位产品电解废液产生量

排放	单位产品废水排放量	酸雾排放浓度	浸出渣中含铜
	*单位产品化学需氧量产生量		单位产品阳极泥产生量
	*单位产品化学需氧量排放量		酸雾产生浓度
	*单位产品氨氮产生量		酸雾排放浓度
	*单位产品氨氮排放量		单位产品废水产生量
	单位产品砷产生量		单位产品废水排放量
	单位产品砷排放量		*单位产品化学需氧量产生量 (废水)
	单位产品铅产生量		*单位产品化学需氧量排放量 (废水)
	单位产品铅排放量		单位产品砷产生量 (废水)
	单位产品镉产生量		单位产品砷排放量 (废水)
	单位产品镉排放量		单位产品铅产生量 (废水)
	单位产品铜产生量		单位产品铅排放量 (废水)
	单位产品铜排放量		单位产品镉产生量 (废水)
	*单位产品二氧化硫产生量 (制酸后)		单位产品镉排放量 (废水)
	*单位产品二氧化硫排放量 (制酸后)		单位产品铜产生量 (废水)
	*单位产品氮氧化物排放量		单位产品铜排放量 (废水)
	*单位产品氮氧化物排放量		
	*单位产品颗粒物产生量		
	*单位产品颗粒物排放量		
	单位产品砷产生量		
	单位产品砷排放量		
	单位产品铅产生量		
	单位产品铅排放量		
	单位产品汞产生量		
单位产品汞排放量			
单位产品一般工业固体废物产生量			
单位产品危险废物产生量			
温室气体排放	单位产品二氧化碳排放量		
产品特征	铜精矿	阴极铜	阴极铜
	粗铜	残极率	
	阳极铜		
	硫酸		
清洁生产管理	*环保法律法规执行情况		
	*产业政策符合性		
	清洁生产管理		
	清洁生产审核		
	节能管理		

	污染物排放监测
	*危险化学品管理
	计量器具配备情况
	*固体废物处理处置
	土壤污染隐患排查
	运输方式

6 指标确定说明

根据《清洁生产评价指标体系编制通则》（试行稿）编制该评价指标体系。一级指标分别是生产工艺及装备、能源消耗、水资源消耗、原/辅料消耗、资源综合利用、污染物产生与排放、温室气体排放、产品特征、清洁生产管理共 9 类。

考核基准值的选取，既要考虑一定的驱动性，也要考虑当前的实际情况。因此，在选取考核基准值时，根据建立体系的指导思想，按照国家现行产业发展、环境保护政策和行业发展规划的要求，选取部分有代表性的条目，如“执行国家要求淘汰的落后生产能力、工艺设备和产品的符合性”、“环境管理体系建设”、“贯彻执行环境保护法规的符合性”作为定性考核的三个方面，其下再选择若干二级指标，具体技术的选择主要考虑是否具有节能、降耗、减污和增效的综合效果。以考核企业有关政策、法规的符合性。此外，对于国家或行业等有关管理部门目前已有明确要求的，应按国家或行业等的具体要求值选取；对于国家或行业等目前尚无具体要求的，综合考虑企业现状后适当选取，这些数值既考虑具有足够的激励性，又考虑实现指标的可操作性。

还应说明的是，清洁生产是一个相对概念，它将随着经济发展和技术更新而不断完善，达到新的更高、更先进的水平。因此清洁生产评价指标的考核基准值，也应视行业技术进步趋势和省内企业情况进行不定期调整。

限定性指标为对节能减排有重大影响的指标，或者法律法规明确规定严格执行的指标。原则上，限定性指标主要包括但不限于单位产品能耗限额、单位产品新鲜水耗、有毒有害物质限量，行业特征污染物，行业准入性指标，以及废水量、化学需氧量、烟尘、二氧化硫、氮氧化物等常规污染物的产生量，因行业性质不同可根据具体情况适当调整。

6.1 生产工艺及设备指标的确定

铜冶炼技术的发展经历了漫长的过程，但至今铜的冶炼仍以火法冶炼为主，其产量约占世界铜总产量的 85%。

1)火法冶炼一般是先将含铜百分之几或千分之几的原矿石，通过选矿提高到 20~30%，作为铜精矿，在密闭鼓风炉、反射炉、电炉或闪速炉进行造锍熔炼，产出的熔锍(冰铜)接着送入转炉进行吹炼成粗铜，再在另一种反射炉内经过氧化精炼脱杂，或铸成阳极板进行电解，获得品位高达 99.9%的电解铜。该流程简短、适应性强，铜的回收率可达 95%，但因矿石中的硫在造锍和吹炼两阶段作为二氧化硫废气排出，不易回收，易造成污染。近年来出现如白银法、诺兰达法等熔池熔炼以及日本的三菱法等、火法冶炼逐渐向连续化、自动化发展。

2)现代湿法冶炼有硫酸化焙烧—浸出—电积，浸出—萃取—电积，细菌浸出等法，适于低品位复杂矿、氧化铜矿、含铜废矿石的堆浸、槽浸选用或就地浸出。湿法冶炼技术正在逐步推广，湿法冶炼的推出使铜的冶炼成本大大降低。

(1) 阳极铜冶炼工序

依据新发布的《铜冶炼行业规范》，新建和改造利用铜精矿的铜冶炼项目，须采用生产效率高、工艺先进、能耗低、环保达标、资源综合利用好的先进工艺，如闪速熔炼、富氧底吹、富氧侧吹、富氧顶吹、白银炉熔炼、合成炉熔炼、旋浮铜冶炼等富氧熔炼工艺，以及其它先进铜冶炼工艺技术，生产规模单系统铜熔炼能力 10 万吨及以上。

目前我国粗铜火法精炼基本采用阳极炉精炼，传统固定式精炼炉正逐步被机械化程度高、炉体密闭、易操作的回转式阳极炉所替代。转炉的大型化必然使阳极炉和浇铸机也趋向于大型化。

必须配置烟气制酸、资源综合利用、节能等设施。烟气制酸须采用稀酸洗涤净化、双转双吸(或三转三吸)工艺，烟气净化严禁采用水洗或热浓酸洗涤工艺，硫酸尾气需设治理设施。设计选用的冶炼尾气余热回收、收尘工艺及设备必须满足国家《节约能源法》、《清洁生产促进法》、《环境保护法》、《清洁生产标准铜冶炼业》和《清洁生产标准 铜电解业》等要求。

由于铜冶炼熔炼炉二氧化硫浓度较高，要求烟气制酸并达标排放。达到清洁生产二级指标及以上要求的企业应采用二转二吸以上的制酸工艺，制酸转化率应在 99.6% 以上，且不需增加尾吸设施即能做到制酸尾气达标排放；达到三级指标要求的企业应采用二转二吸或其他符合国家产业政策的工艺，尾气应达标排放。

(2) 电解工序

对于铜电解业来说，采用机械自动化操作和先进的压滤装置，不仅可提高生产效率，还可满足环保要求；电解生产作业面和废水管道、废水集池等，经常受到酸、碱和各种化学溶液腐蚀，受腐蚀破坏的地面和废水系统，可造成有毒化学物渗入地下，污染土壤和地下水源，故要求电解生产作业地面和废水系统应具备可靠的防腐、防渗漏性能。同时电解过程中产生的酸雾必须配备酸雾吸收装置。对于达到清洁生产一级指标的企业，要求浇铸及阴极铜剥离采用全自动化控制。

(3) 湿法炼铜

湿法炼铜工艺主要用来处理低品位铜矿，具有工艺过程简单、成本低、污染小等优点。

湿法炼铜工艺一般分为两个过程，首先是借助容积的作用，使矿石中的铜及其化合物溶解并转入溶液中；其次是用萃取-电积、置换-电积、氢还原等方法将溶液中的铜提取出来。

浸出可分为直接浸出和焙烧后浸出，只有直接浸出才是完全的湿法炼铜，其工艺也更为环保。直接浸出可优先选择搅拌浸出，该工艺目前有配位浸出、氧化浸出、生物浸出等先进技术正在不断成熟和发展。

常用的萃取设备有萃取塔、离心萃取器、混合澄清萃取箱等。其中以结构简单、投资少、操作方便、效率高的浅池式混合澄清萃取箱应用最广。

浸出及电积过程中有酸雾的产生，必须配备酸雾吸收装置。

6.2 资源能源消耗指标的确定

资源能源消耗指标选择了铜冶炼生产最常用的经济技术指标，常规的包括水耗、电耗、综合能耗，特殊消耗物包括：耐火材料、硫酸、萃取剂等。

《铜冶炼行业规范条件（2014）》中要求：新建利用铜精矿的铜冶炼企业粗铜冶炼工艺综合能耗在 180 千克标准煤/吨及以下，电解工序(含电解液净化)综合能耗在 100 千克标准煤

/吨及以下。现有铜冶炼企业粗铜冶炼工艺综合能耗在 300 千克标准煤/吨及以下，吨铜新水消耗应在 20 吨以下。

《清洁生产标准 铜冶炼业》中对耐火材料单耗要求为，一级指标 $\leq 10\text{kg/t}$ 阳极铜，二级指标 $\leq 15\text{kg/t}$ 阳极铜，三级指标 $\leq 50\text{kg/t}$ 阳极铜。

根据《清洁生产标准 铜电解业》中的标准，电耗三级指标分别为：220kW·h/t 阴极铜、240kW·h/t 阴极铜、280kW·h/t 阴极铜，电流效率三级指标分别为：98%、95%、93%，残极率三级指标分别为：16%、16%、18%。本指标体系本着持续发展的观念，在以上指标的基础上略微有所提高。确定铜电解过程单位产品直流电耗为，一级指标 $\leq 320\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 阴极铜，二级指标 $\leq 380\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 阴极铜，三级指标 $\leq 500\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 阴极铜，残极率三级指标分别为：14%、15%、18%。

湿法炼铜的相关指标基本采用的《铜冶炼设计手册》的数据，根据计算单位产品的电耗三级指标分别为：1800kW·h/t 阴极铜、2500kW·h/t 阴极铜、3000 kW·h/t 阴极铜，硫酸消耗指标分别为：1.0t/t 阴极铜、1.2t/t 阴极铜、1.6t/t 阴极铜，萃取剂消耗指标分别为：3kg/t 阴极铜、5kg/t 阴极铜、8kg/t 阴极铜，单位产品新鲜水耗指标分别为：4m³/t 阴极铜、10 m³/t 阴极铜、16 m³/t 阴极铜。铜的浸出率跟所采用的工艺以及铜精矿的种类有很大关系，一般来讲，硫化铜焙烧之后的进出率要高于氧化铜矿的直接浸出，根据《铜冶炼工艺(第二版)》，氧化铜堆浸的铜浸出率一般为 85%，硫化铜焙烧后的浸出率可达 94% 以上，因此设定铜浸出率三级指标分别为：98%、92%、85%。

6.3 资源综合利用指标的确定

根据《铜冶炼行业规范条件(2014)》规定：新建铜冶炼企业水循环利用率应达到 97.5% 以上，铜冶炼硫的总捕集率须达到 99% 以上，硫的回收率须达到 97.5% 以上。现有企业水循环利用率应达到 97% 以上，铜冶炼硫的总捕集率须达到 98.5% 以上，硫的回收率须达到 97% 以上。

根据以上规定，本指标体系设定指标如下：阳极铜冶炼铜总回收率三级指标分别为：98.5%、98%、97%，总硫利用率三级指标分别为：98%、92%、85%，工业用水重复利用率指标均为：一级 $\geq 98.5\%$ 、二级 $\geq 98\%$ 、三级 $\geq 97.5\%$ 。

根据《大宗工业固体废物综合利用“十二五”规划》要求，2015 年冶炼渣综合利用率达到 75%。因此各工段工业固废综合利用率均为：一级 $\geq 80\%$ ，二级 $\geq 70\%$ ，三级 $\geq 60\%$ 。

铜精炼过程电解液的循环利用率均应达到 99.5%。

根据《铜冶金设计手册》，将湿法炼铜工艺中，铜的冶炼综合回收率指标为：一级 $\geq 95\%$ ，二级 $\geq 90\%$ ，三级 $\geq 84\%$ ，浸出液和萃取液循环利用率指标均为：一级 $\geq 98\%$ ，二级 $\geq 95\%$ ，三级 $\geq 95\%$ ，电积母液需要定期进行净化，因此设定循环利用率指标为：一级 $\geq 98\%$ ，二级 $\geq 96\%$ ，三级 $\geq 94\%$ 。

6.4 污染物控制指标的确定

本指标体系中污染物产生指标，指的是末端处理之前的各种污染物的产生量。

各种污染物产生指标的确定主要参照《铜、镍、钴工业污染物排放标准》GB25467-2010 中的相关数据，并根据实际情况中铜冶炼企业的污染物排放情况进行细微的调整，最终得到本指标体系污染物产生指标。

(1) 阳极铜(粗铜)冶炼

粗铜火法冶炼过程中产生的污染物主要为废气和废渣，以及少量废水。本指标体系中对粗铜火法冶炼“三废”中的常规污染物和主要的重金属砷、铅进行了详细的规定。

单位产品废水产生量指标（m³/t 阳极铜）：一级≤8，二级≤10，三级≤12；

单位产品废水排放量指标（m³/t 阳极铜）：一级≤0.1，二级≤0.2，三级≤0.35；

单位产品化学需氧量的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤700，二级≤900，三级≤1200；

单位产品化学需氧量的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤7，二级≤15，三级≤30；

单位产品氨氮的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤24，二级≤28，三级≤32；

单位产品氨氮的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤0.5，二级≤0.8，三级≤1.2；

单位产品废水中砷的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤8，二级≤10，三级≤12；

单位产品废水中砷的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤0.02，二级≤0.04，三级≤0.08；

单位产品废水中铅的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤5，二级≤8，三级≤10；

单位产品废水中铅的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤0.02，二级≤0.04，三级≤0.08；

单位产品废水中镉的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤1.5，二级≤2.5，三级≤3.5

单位产品废水中镉的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤0.005，二级≤0.01，三级≤0.03

单位产品废水中铜的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤10，二级≤15，三级≤22

单位产品废水中铜的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤0.02，二级≤0.04，三级≤0.08

单位产品二氧化硫的产生量（制酸后）（kg/t 阳极铜）：一级≤12，二级≤14，三级≤16；

单位产品二氧化硫的排放量（制酸后）（kg/t 阳极铜）：一级≤1.8，二级≤2.0，三级≤2.3；

单位产品氮氧化物的产生量（kg/t 阳极铜）：一级≤1.2，二级≤1.4，三级≤2；

单位产品氮氧化物的排放量（kg/t 阳极铜）：一级≤0.8，二级≤1.0，三级≤1.3；

单位产品颗粒物的产生量（kg/t 阳极铜）：一级≤8，二级≤12，三级≤20；

单位产品颗粒物的排放量（kg/t 阳极铜）：一级≤1.1，二级≤1.4，三级≤1.8；

单位产品废气中砷的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤35，二级≤50，三级≤70；

单位产品废气中砷的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤3.0，二级≤5.0，三级≤7.0；

单位产品废气中铅的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤100，二级≤130，三级≤160；

单位产品废气中铅的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤8，二级≤12，三级≤16；

单位产品废气中汞的产生量指标（g/t 阳极铜）：一级≤2.0，二级≤2.4，三级≤2.8；

单位产品废气中汞的排放量指标（g/t 阳极铜）：一级≤0.15，二级≤0.2，三级≤0.28；

单位产品废渣的产生量指标（t/t 阳极铜）：一级≤3.5，二级≤4，三级≤5；

单位产品危险废物的产生量（t/t 阳极铜）：一级≤0.08，二级≤0.1，三级≤0.14

单位产品废气中二氧化碳的产生量指标（t/t 阳极铜）：一级≤0.346，二级≤0.416，三级≤0.592；

根据生态环境部应对气候变化司的意见要求，需在污染物产生指标中新增单位产品二氧化碳排放量的指标。本指标体系中单位产品二氧化碳排放量指标仅包含单位产品化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，采用单位产品综合能耗指标进行折算确定。

单位产品化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量按照下式计算：

$$E_{\text{燃烧}} = A \times 0.0293 \times \eta \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \quad (6-1)$$

其中：

$E_{\text{燃烧}}$ —单位产品化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为 tCO₂/t；

A —行业清洁生产指标体系综合能耗指标的各级基准值，单位为 kgce/t 产品；

0.0293—根据《GB/T 2589-2020 综合能耗计算通则》的规定，1 千克标准煤的低位热值为 29307.6 千焦=0.0293GJ/kgce；

η —行业清洁生产指标体系综合能耗指标的各级基准值中化石燃料一次能源的占比，单位为%；

CC_i —该行业企业主要使用的化石燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳/百万千焦（tC/GJ），参考《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》附录二表 2.1 选取；

OF_i —该行业企业主要使用的化石燃料对应的碳氧化率（%），参考《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》附录二表 2.1 选取。

表 3 阳极铜冶炼工序二氧化碳产生量指标各级基准值计算表

单位产品综合能耗基准值 (kgce/t 产品)		行业主要使用的能源名称	该种能源在单位产品综合能耗中的占比 (%)	该种能源对应的单位热值含碳量 CG _i (tC/GJ)	该种燃料对应的碳氧化率 (%)	单位产品二氧化碳排放量 (tCO ₂ /t)
I 级	180	天然气	90%~100%	0.0153	99	0.346
II 级	220	天然气	50%~80%	0.0153	99	0.416
III 级	300	燃料油	50%~70%	0.0211	98	0.592

(2) 铜电解

铜电解过程的污染物排放量要比阳极铜冶炼过程少的多，整个工作环境也较为清洁，废水基本循环利用。本指标体系中对铜精炼过程中的酸雾及二氧化碳产生量进行了详细的规定。

酸雾的产生量 mg/m³：一级≤50，二级≤60、三级≤80；

酸雾的排放量 mg/m³：一级≤20，二级≤30、三级≤40；

单位产品外购电力产生二氧化碳排放量按照下式计算：

$$E_{\text{外购电}} = A \times \alpha \div 0.1229 \div 1000 \times 0.6101 \quad (6-2)$$

其中：

$E_{\text{外购电}}$ —单位产品外购电力产生二氧化碳排放量，单位为 tCO₂/t；

A —行业清洁生产指标体系综合能耗指标的各级基准值，单位为 kgce/t 产品；

α —行业清洁生产指标体系综合能耗指标的各级基准值中外购电的占比，单位为%；

0.1229—根据《GB/T 2589-2020 综合能耗计算通则》的规定，电力（当量值）折标准煤系数为 0.1229kgce/（kW·h）；

0.6101—电网购入电力和自备电厂供电对应的排放因子采用 2015 年全国电网平均排放因子 0.6101tCO₂/MWh。

表 4 铜电解工序二氧化碳产生量指标各级基准值计算表

单位产品综合能耗基准值 (kgce/t 产品)	行业主要使用的能源名称	该种能源在单位产品综合能耗中的占比 (%)	该种能源对应的单位热值含碳量 CGi (tC/GJ)	该种燃料对应的碳氧化率 (%)	单位产品二氧化碳排放量 (tCO ₂ /t)
I 级	电力	40%~50%	/	/	0.296
II 级	电力	40%~50%	/	/	0.331
III 级	电力	40%~50%	/	/	0.428

(3) 湿法炼铜

湿法炼铜相对于火法炼铜较为清洁，产生的污染物主要为废水和废渣。本指标体系对湿法炼铜的浸出渣、废水、电解废液的产生量进行了详细规定。

单位产品电解废液的产生量（m³/t 阴极铜）：一级≤1.8，二级≤2，三级≤2.5；

浸出渣中含铜（%）：一级≤0.5，二级≤0.8，三级≤1.5；

单位产品阳极泥产生量指标（%）：一级≤0.8，二级≤1.0，三级≤1.4。

酸雾的产生量 mg/m³：一级≤50，二级≤60、三级≤80

酸雾的排放量 mg/m³：一级≤20，二级≤30、三级≤40

单位产品废水量（m³/t 阴极铜）：一级≤4，二级≤5，三级≤6；

单位产品排放量（m³/t 阴极铜）：一级≤0.4，二级≤0.7，三级≤1.0；

单位产品化学需氧量的产生量指标（g/t 阴极铜）：一级≤900，二级≤1200，三级≤1500；

单位产品化学需氧量的排放量指标（g/t 阴极铜）：一级≤50，二级≤80，三级≤120；

单位产品废水中砷的产生量指标（g/t 阴极铜）：一级≤10，二级≤14，三级≤18；

单位产品废水中砷的排放量指标（g/t 阴极铜）：一级≤0.12，二级≤0.25，三级≤0.4；

单位产品废水中铅的产生量指标（g/t 阴极铜）：一级≤8，二级≤10，三级≤14

单位产品废水中铅的排放量指标（g/t 阴极铜）：一级≤0.12，二级≤0.25，三级≤0.4

单位产品废水中镉的产生量指标（g/t 阴极铜）：一级≤1.2，二级≤2.0，三级≤2.5

单位产品废水中镉的排放量指标（g/t 阴极铜）：一级≤0.03，二级≤0.05，三级≤0.08

单位产品废水中铜的产生量指标（g/t 阴极铜）：一级≤150，二级≤180，三级≤220

单位产品废水中铜的排放量指标（g/t 阴极铜）：一级≤0.1，二级≤0.2，三级≤0.3

表 5 湿法炼铜工艺二氧化碳产生量指标各级基准值计算表

单位产品综合能耗基准值 (kgce/t 产品)	行业主要使用的能源名称	该种能源在单位产品综合能耗中的占比 (%)	该种能源对应的单位热值含碳量 GGi (tC/GJ)	该种燃料对应的碳氧化率 (%)	单位产品二氧化碳排放量 (tCO ₂ /t)
I 级	电力	100%	/	/	1.098
II 级	电力	100%	/	/	1.525
III 级	电力	100%	/	/	1.83

6.5 原料及产品特征指标的确定

(1) 铜粗炼主要产品是粗铜，要求达到《YS/T 70—2015 粗铜》相应级别要求。副产品硫酸要求达到《GB/T 534 工业硫酸》相应级别要求，阳极铜要求达到《YS/T 1083 阳极铜》相应级别要求，具体指标为：一级产品合格率≥95%，二级产品合格率≥90%，三级产品合格率≥85%。

(2) 铜精炼及铜湿法冶炼的主要产品是阴极铜，要求达到《GB/T 467-2010 阴极铜》相应级别要求，一级产品合格率≥95%，二级产品合格率≥90%，三级产品合格率≥85%。

6.6 环境管理要求

环境管理要求为定性指标，主要根据国家、地方和行业有关法律、法规、规范、产业政策、技术标准要求制定。具体包括：建设项目是否严格执行“三同时”和开展清洁生产审核，是否建立健全专门环保管理机构，是否建立并运行环境管理体系，环保设施是否运行正常，污染物排放达到国家和地方排放标准，满足污染物总量控制和排污许可证管理要求，废物的安全处置及综合利用、是否建立有环境突发事件应急预案并报备等具体要求。

7 评价指标体系实施的可行性分析

铜冶炼业清洁生产指标体系，是结合我国铜冶炼行业的实际情况，从环保的角度出发，立足企业，依据国家针对铜冶炼生产所制定的各种法规、标准和产业政策制定的。

编制组对国内铜冶炼企业做了大量的调研，根据“铜、镍、钴工业污染物排放标准”、“铜冶炼行业规范条件（2014）”，以及各公司环保核查报告提供的监测数据和现场实测数据，结合企业的实际情况，编制了铜冶炼行业的清洁生产指标体系。只要企业经营和管理达到“铜、镍、钴工业污染物排放标准”、“铜冶炼行业规范条件（2014）”，均可达到本指标体系的三级要求。所以，本指标在技术上是可行的。

编制组会继续通过大量的实地调研和监测，来获得通用的数据，更好的完善铜冶炼业清洁生产评价指标体系。

附件一 山东阳谷祥光铜业有限公司试填表

阳谷祥光铜业有限公司坐落在山东省阳谷县，是世界上一次建成的规模最大的铜冶炼厂，是世界上第二座采用闪速熔炼和闪速吹炼-“双闪速炉”工艺的铜冶炼厂，是当今世界上技术最先进、环保、节能、高效的现代化铜冶炼厂。项目总投资 56 亿元，二期工程全部达产后，年生产 60 万吨阴极铜、20 吨黄金、600 吨白银、硫酸 170 万吨、其他稀有金属 1000 吨的目标迈进。在行业内现有产能不变的情况下，祥光铜业生产能力将跃居全国第三名。

附表1 阳极铜（粗铜）火法冶炼企业评价指标项目、权重及基准值

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
1	生产工艺及装备指标	0.3	熔炼工艺*	/	0.1	闪速熔炼或熔池熔炼		富氧鼓风机	I级
2			吹炼工艺	/	0.1	闪速吹炼炉	连吹炉或转炉		I级
3			阳极铜生产工艺	/	0.1	火法精炼直接产精铜，或粗铜经火法精炼后铸成阳极板再行电解。			I级
4			火法精炼设备	/	0.1	回转式或倾动式精炼炉		固定式反射炉	I级
5			浇铸设备	/	0.1	连续浇铸	自动定量浇铸	圆盘浇铸	I级
6			制酸工艺	/	0.1	二转二吸制酸，转化率≥99.8%，低浓度二氧化硫烟气制酸		二转二吸或其他符合国家产业政策的工艺	I级
7			生产规模（单系统）*	万 t	0.1	≥25	≥20	≥15	I级
8			余热利用装置	/	0.1	采用高效的余热换热器，余热用于发电	采用高效的余热换热器，余热用于供给热水或热空气		I级
9			粉状物料仓储和输送	/	0.1	采用封闭式仓储，贮存仓库配通风设施，采用封闭式输送			I级
10			废气的收集与处理	/	0.1	炉体密闭化，具有防止废气逸出措施。在冶炼窑炉的进料口、出渣口、出料口，以及破碎、筛分设备等其他易产生废气无组织排放的位置设有废气收集装置，并配套净化设施			I级

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别	
11	资源能源消耗指标	0.15	单位产品综合能耗*	kgce/t (阳极铜)	0.3	≤190	≤220	≤300	I级	
			单位产品综合能耗*	kgce/t (粗铜)	0.3	≤150	≤180	≤260	/	
12			单位产品耐火材料消耗	kgce/t (阳极铜)	0.2	≤10	≤15	≤50	I级	
13			单位产品新鲜水耗*	m ³ /t (阳极铜)	0.2	≤13	≤15	≤18	I级	
14	资源综合利用指标	0.15	铜冶炼综合回收率	%	0.3	≥98.5	≥98	≥97	I级	
15			总硫利用率*	%	0.3	≥98	≥92	≥85	I级	
16			工业用水循环利用率*	%	0.2	≥98	≥97.5	≥97	I级	
17			一般工业固体废物综合利用率	%	0.2	≥80	≥70	≥60	I级	
20	污染物产生指标	0.15	废水	单位产品废水的产生量	m ³ /t (阳极铜)	0.06	≤9	≤12	≤15	I级
21				单位产品化学需氧量的产生量*	g/t (阳极铜)	0.07	≤700	≤900	≤1200	I级
22				单位产品氨氮的产生量*	g/t (阳极铜)	0.06	≤24	≤28	≤32	I级

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别	
23				单位产品砷的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤8	≤10	≤12	III级
24				单位产品铅的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤5	≤8	≤10	I级
25				单位产品镉的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤1.5	≤2.5	≤3.5	I级
26			废气	单位产品二氧化硫的产生量 (制酸后)*	kg/t (阳极铜)	0.07	≤12	≤14	≤16	I级
27				单位产品氮氧化物的产生量*	kg/t (阳极铜)	0.07	≤1.2	≤1.4	≤2	I级
28				单位产品颗粒物的产生量*	kg/t (阳极铜)	0.07	≤8	≤12	≤20	I级
29				单位产品砷的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤35	≤50	≤70	I级
30				单位产品铅的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤100	≤140	≤180	I级
				单位产品汞的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤2.2	≤2.5	≤2.8	I级

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别	
31			单位产品二氧化碳的产生量	g/t (阳极铜)	0.06	≤38.48	≤46.17	≤59.24	I级	
32			废渣	单位产品废渣的产生量	t/t (阳极铜)	0.06	≤3.5	≤4	≤5	I级
33				单位产品危险废物的产生量	t/t (阳极铜)	0.06	≤0.08	≤0.10	≤0.14	I级
34	原料与产品特征指标	0.05	铜精矿	/	0.3	达到YS/T 318标准二级品要求	达到YS/T 318标准四级品要求	达到YS/T 318标准五级品要求	II级	
35			粗铜	/	0.25	按照YS/T 70的要求,产品合格率≥95%	按照YS/T 70的要求,产品合格率≥90%	按照YS/T 70的要求,产品合格率≥85%	/	
36			阳极铜	/	0.25	按照YS/T 1083的要求,产品合格率≥95%	按照YS/T 1083的要求,产品合格率≥90%	按照YS/T 1083的要求,产品合格率≥85%	I级	
37			硫酸	/	0.2	按照GB/T 534的要求,产品合格率≥95%	按照GB/T 534的要求,产品合格率≥90%	按照GB/T 534的要求,产品合格率≥85%	I级	

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
38	清洁生产管理指标	0.2	*环保法律法规执行情况		0.2	符合国家和地方有关环境法律、法规，符合 GB25467 的污染物排放要求，固体废物处理处置符合国家和地方排放（控制）标准；满足环评批复、环保“三同时”制度、总量控制和排污许可证管理要求。按照《土壤污染防治法》的相关要求，采取有效措施防止土壤污染，建立土壤污染隐患排查制度，制定、实施土壤自行监测方案，并将监测数据报生态环境主管部门。			I级
39			*产业政策符合性	/	0.1	生产规模符合国家和地方相关产业政策，不使用国家和地方明令淘汰的落后工艺和装备。			I级
40			清洁生产管理	/	0.1	按照 GB/T 24001 建立并运行环境管理体系,建有专门负责清洁生产的领导机构，各成员单位及主管人员职责分工明确；有健全的清洁生产管理制度和奖励管理办法，有执行情况检查记录；制定有清洁生产工作规划及年度工作计划，对规划、计划提出的目标、指标、清洁生产方案，认真组织落实；资源、能源、环保设施运行统计台账齐全；建立、制定环境突发性事件应急预案（预案要通过相应环保部门备案）并定期演练。按行业无组织排放监管的相关政策要求，加强对无组织排放的防控措施，减少生产过程无组织排放。			I级

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
41			清洁生产审核	/	0.1	按政府规定要求，制订有清洁生产审核工作计划，对原料及生产全流程生定期开展清洁生产审核活动，中、高费方案实施率≥80%；	按政府规定要求，制订有清洁生产审核工作计划，对原料及生产全流程定期开展清洁生产审核活动，中、高费方案实施率≥60%；	按政府规定要求，制订有清洁生产审核工作计划，原料及生产全流程中部分生产工序定期开展清洁生产审核活动，中、高费方案实	I级
42			节能管理	/	0.1	按国家规定要求，组织开展节能评估与能源审计工作，实施节能改造项目完成率为90%；	按国家规定要求，组织开展节能评估与能源审计工作，实施节能改造项目完成率≥70%；	按国家规定要求，组织开展节能评估与能源审计工作，实施节能改造项目完成率≥50%；	I级
43			资源能源的分级计量	/	0.1	根据《企业能源计量器具配备和管理导则》（GB/T 17167）要求和行业现状三级计量要求。			I级
44			污染物排放监测	/	0.1	按照《污染源自动监控管理办法》的规定，安装污染物排放自动监控设备，与环境保护主管部门的监控设备联网，保证设备正常运行；锅炉废气排放达到国家和地方排放标准；对无组织排放进行控制，并定期监测。			I级
45			*危险化学品管理	/	0.1	符合《危险化学品安全管理条例》相关要求。			I级

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标	指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
46			*固体废物处理处置	/	0.05	按照 GB 18597 和《固体废物污染环境防治法》的要求做好污染防治工作，达到 100%安全处置。交由持有危险废物经营许可证的单位进行处理；制定并向所在地生态环境主管部门备案危险废物管理计划，申报危险废物产生种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。制定意外事故防范措施和应急预案，并向当地生态环境主管部门备案。			I级
47			*一般工业固体废物处理处置	/	0.05	按照 GB 18599 和《固体废物污染环境防治法》的要求做好污染防治工作，做到 100%合理处置。设立固废指示标志，实行源头分类制度。			I级
<p>注：（1）带*的指标为限定性指标。</p> <p>（2）污染物产生指标中废气的相关指标均指废气制酸后的相关指标。</p> <p>（3）单位能耗计算按照 GB 21248 铜冶炼企业单位产品能耗消耗限额第 5 款统计范围、计算方法及计算范围计算。</p>									

附表2 铜精炼企业评价指标项目、权重及基准值

序号	一级指标	一级指标权重值	二级指标		指标单位	二级指标权重值	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
1	生产工艺装备指标	0.3	电解精炼	电解槽材质	/	0.2	无衬聚合物混凝土电解槽	混凝土结构，内衬软聚氯乙烯塑料、玻璃钢或HDPE膜防腐		II级
2				压滤设备	/	0.2	选用能满足企业正常生产的浆泵；高压隔膜压滤机		I级	
4			酸雾的收集与处理	/	0.3	电解车间设有酸雾收集、处理装置		I级		
5			防腐防渗措施	/	0.3	生产车间地面采取防渗、防漏、和防腐措施；污水系统具备防腐防渗措施		I级		
7			资源与能源消耗指标	0.2	单位产品综合能耗*	kgce/t（阴极铜）	0.3	≤90	≤100	≤120
8	单位产品直流电耗	kW·h/t（阴极铜）			0.2	≤320	≤380	≤500	II级	
9	单位产品新鲜水耗	m ³ /t（阴极铜）			0.2	≤2.5	≤3	≤4	I级	
10	电流效率	%			0.2	≥98	≥96	≥94	I级	
11	残极率	%			0.1	≤14	≤15	≤18	I级	
12	资源综合利用指标	0.15	铜冶炼综合回收率*	%	0.3	≥99.7	≥99.6	≥99.4	II级	
13			工业用水重复利用率*	%	0.3	≥98	≥97.5	≥97	I级	

序号	一级指标	一级指标权重	二级指标	指标单位	二级指标权重	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
14			阳极泥综合利用率	%	0.2	100	≥98	≥95	I级
15			电解液循环利用率	%	0.2	≥99.5			I级
16	污染物产生指标	0.1	酸雾的产生量	mg/m ³	0.5	≤45	≤50	≤60	I级
17			单位产品二氧化碳产生量	t/t（阴极铜）	0.5	≤4.62	≤7.7	≤11.29	I级
18	原料与产品特征指标	0.05	阴极铜	/	1.0	按照 GB/T 467 的要求，产品合格率≥95%	按照 GB/T 467 的要求，产品合格率≥90%	按照 GB/T 467 的要求，产品合格率≥85%	I级
19	清洁生产管理指标	0.2	*环保法律法规执行情况	/	0.2	符合国家和地方有关环境法律、法规，符合 GB25467 的污染物排放要求，固体废物处理处置符合国家和地方排放（控制）标准；满足环评批复、环保“三同时”制度、总量控制和排污许可证管理要求。按照《土壤污染防治法》的相关要求，采取有效措施防止土壤污染，建立土壤污染隐患排查制度，制定、实施土壤自行监测方案，并将监测数据报生态环境主管部门。			I级
20			*产业政策符合性	/	0.1	生产规模符合国家和地方相关产业政策，不使用国家和地方明令淘汰的落后工艺和装备。			I级

序号	一级指标	一级指标权重	二级指标	指标单位	二级指标权重	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别
21			清洁生产管理	/	0.1	按照 GB/T 24001 建立并运行环境管理体系,建有专门负责清洁生产的领导机构,各成员单位及主管人员职责分工明确;有健全的清洁生产管理制度和奖励管理办法,有执行情况检查记录;制定有清洁生产工作规划及年度工作计划,对规划、计划提出的目标、指标、清洁生产方案,认真组织落实;资源、能源、环保设施运行统计台账齐全;建立、制定环境突发性事件应急预案(预案要通过相应环保部门备案)并定期演练。按行业无组织排放监管的相关政策要求,加强对无组织排放的防控措施,减少生产过程无组织排放。			I级
22			清洁生产审核	/	0.1	按政府规定要求,制订有清洁生产审核工作计划,对原料及生产全流程生定期开展清洁生产审核活动,中、高费方案实施率≥80%;	按政府规定要求,制订有清洁生产审核工作计划,对原料及生产全流程定期开展清洁生产审核活动,中、高费方案实施率≥60%;	按政府规定要求,制订有清洁生产审核工作计划,原料及生产全流程中部分生产工序定期开展清洁生产审核活动,中、高费方案实施率≥50%;	I级
23			节能管理	/	0.1	按国家规定要求,组织开展节能评估与能源审计工作,实施节能改造项目完成率为90%;	按国家规定要求,组织开展节能评估与能源审计工作,实施节能改造项目完成率≥70%;	按国家规定要求,组织开展节能评估与能源审计工作,实施节能改造项目完成率≥50%;	I级

序号	一级指标	一级指标权重	二级指标	指标单位	二级指标权重	I级基准值	II级基准值	III级基准值	企业所属级别	
24			资源能源的分级计量	/	0.1	根据 GB/T 17167 要求和行业现状三级计量要求。			I 级	
25			污染物排放监测	/	0.1	按照《污染源自动监控管理办法》的规定，安装污染物排放自动监控设备，与环境保护主管部门的监控设备联网，保证设备正常运行；锅炉废气排放达到国家和地方排放标准；对无组织排放进行控制，并定期监测。			I 级	
26			*危险化学品管理	/	0.1	符合《危险化学品安全管理条例》相关要求			I 级	
27			*固体废物处理处置	危险废物	/	0.05	按照 GB 18597 和《固体废物污染环境防治法》的要求做好污染防治工作，达到 100%安全处置。交由持有危险废物经营许可证的单位进行处理；制定并向所在地生态环境主管部门备案危险废物管理计划，申报危险废物产生种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。制定意外事故防范措施和应急预案，并向当地生态环境主管部门			I 级
28				一般工业固体废物	/	0.05	按照 GB 18599 和《固体废物污染环境防治法》的要求做好污染防治工作，做到 100%合理处置。设立固废指示标志，实行源头分类制度。			I 级
<p>注：（1）带*的指标为限定性指标。</p> <p>（2）污染物产生指标中废气的相关指标均指废气制酸后的相关指标。</p> <p>（3）单位能耗计算按照 GB 21248 铜冶炼企业单位产品能耗消耗限额第 5 款统计范围、计算方法及计算范围计算。</p>										

企业清洁生产级别评分：

附表 3 山东阳谷祥光铜业有限公司阳极铜生产线I级指标得分统计表

序号	项目	得分
1	生产工艺及装备指标	$100*0.3=30$
2	资源与能源消耗指标	$100*0.15=15$
3	资源综合利用指标	$100*0.15=15$
4	污染物产生指标	$95*0.15=14.25$
5	原料与产品特征指标	$62.5*0.05=3.125$
6	清洁生产管理指标	$100*0.2=20$
7	合计	97.375

附表 4 山东阳谷祥光铜业有限公司电解铜生产线I级指标得分统计表

序号	项目	得分
1	生产工艺及装备指标	$80*0.3=24$
2	资源与能源消耗指标	$80*0.15=12$
3	资源综合利用指标	$70*0.15=10.5$
4	污染物产生指标	$100*0.15=15$
5	原料与产品特征指标	$100*0.05=5$
6	清洁生产管理指标	$100*0.2=20$
7	合计	86.5

根据企业填表情况统计，山东阳谷祥光铜业有限公司阳极铜生产线的I级指标得分为97.375分，大于85分，属于清洁生产I级，电解铜生产线的I级指标得分为86.5分，大于85分，属于清洁生产I级。因此可判定该企业清洁生产水平为I级。

根据铜冶炼行业的实际情况情况来看，山东阳谷祥光铜业有限公司的生产水平及生产能力在全国的铜冶炼行业中属于国内领先水平，此次该企业试填表情况说明本清洁生产指标体系的设置符合行业实际情况，具有可操作性。

附件二 征求意见处理情况

附表 5 征求意见情况汇总处理表

名称		铜冶炼行业清洁生产评价指标体系		
主编单位		湖南有色金属研究院有限责任公司		
序号	条款编号	意见内容	提出单位	处理意见及理由
一、对评价指标项限定性指标和非限定性指标设置合理性意见汇总				
1	1	适用范围：清洁生产绩效评定改为：审核评估与验收，因为生态环境部办公厅和发展改革委办公厅 2018 年 4 月 12 日联合印发关于印发《清洁生产审核评估与验收指南》的通知环办科技[2018]5 号文件。领跑者，是否？	铜陵有色金属集团控股有限公司	不采纳，清洁生产指标体系的适用范围有固定文字模板。
2	2	2 规范性引用文件中引用的条款较多，应减少，不是主要的直接引用的建议删除。	同上	采纳。
3	2	2 规范性引用文件中：《铜冶炼行业规范条件（2014）》（工业和信息化部 2014 年第 29 号公告）已经由工信部于 2018 年 11 月组织修订，应注意版本更新。	同上	采纳，规范性引用文件中已修改。
4	4.3	术语和定义中少闪速吹炼，表 1 吹炼工艺中少闪速吹炼。	同上	采纳，表 1 中增加闪速吹炼设备。
5	4.3	表 1 表 2 表 3 指标值设置较多，42 个，建议简练，减少到 20 个左右。	同上	不采纳，本标准中的指标值对企业清洁生产水平的提升均有限定性作用。
	4.3	采用长流程的铜冶炼企业，闪速吹炼的粗铜是通过溜槽直接流到阳极炉，会直接生产出阳极铜，粗铜产量不计量也无法计量，所有的生产和环保是一个系统，无法分开审核，建议将阳极铜之前的生产作为一个审核单	阳谷祥光铜业有限公司	采纳，分开表 1 阳极铜（粗铜）火法冶炼企业清洁生产评价指标、权重及基准值表，表 2 电解铜企业清洁生产评价指标、权重及基准值表。

		元，电解铜单独做一个审核单元。		
6	4.3	建议在“资源综合利用指标”中分别设置“一般工业固废综合利用率”和“危险废物处置率”。	生态环境部	部分采纳，增设“一般工业固废综合利用率”，危险废物处置率不属于资源综合利用。
7	4.3	（二）建议在“清洁生产管理指标”中分别提出危险废物和一般工业固体废物处理处置的评价要求。“危险废物处理处置”和“一般工业固体废物处理处置”的评价内容和权重，建议按照《固体废物污染环境防治法》的要求，应包含“标识制度、管理计划制度、申报登记制度、源头分类制度、转移联单制度（危险废物流向的合法性）、应急预案备案制度、贮存设施管理、利用处置设施管理”等方面工作内容。	生态环境部	采纳，在清洁生产管理——固体废物处理处置指标中提出要求。
9	4.3	（六）关于烟粉尘无组织排放。对于铜冶炼、铅冶炼、钛冶炼、锡、电解铝等涉及烟粉尘无组织排放的行业，建议从物料储存、转移、运输和生产等工艺全过程的角度，提出和完善无组织排放的措施性控制要求。	生态环境部	采纳，在粉状物料仓储和输送、废气的收集与处理等指标中提出要求。
10	4.3	在清洁生产管理指标中增加土壤污染防治相关内容。	生态环境部	采纳，在二级指标中增加“土壤污染隐患排查”。
11	1	建议将第1页“1.适用范围”第6行中“不包括铜矿采选、以及废杂铜回收企业的项目”修改为“不包括铜矿采选、以及再生铜冶炼企业的项目”。	生态环境部	采纳。
13	4.3	建议在“污染物产生指标”中增加单位废水废气中 Hg 产生量指标。	生态环境部	采纳，表1中污染物产生与排放指标中增加废气中汞的指标。
14	4.3	建议根据火法冶炼和湿法冶炼产生的危废种类，在“污染物产生指标”的二级指标“废渣”中补充增加危险废物种类。火法铜冶炼重点考虑砷滤饼、铅滤饼、白烟尘、黑铜粉、废触媒等。	生态环境部	部分采纳，修改为单位产品危险废物的产生量。
二、对评价指标项权重和数值设定科学性意见汇总				
15	4.3	表1第13行工业用水重复利用率由99.5、98、97.5改为97、96、95。	铜陵有色金属集团控股有限公司	部分采纳，铜行业准入条件中规定了铜冶炼企业的工业用水利用率应达到97%，现修改为98.5、97.5、97
三、对评价指标体系标准术语和文字表达意见汇总				
16	前言	前言：I级为国际清洁生产领先水平；II级为国内清洁生产先进水平；III级为国内清洁生产一般水平。改为：一级代表国际清洁生产先进水平，	铜陵有色金属集团控股有限公司	不采纳，标准有固定格式，不得随意调整。

		二级代表国内清洁生产先进水平，三级国内清洁生产基本水平。		
17	2	2 规范性引用文件标准号应按升序排列，GB、GB/T、YS/T、HJ、HJ/T 应分类排列、不能混排。	同上	采纳
18	4.1	4.1 减排改为减污，政府经信部门公文中均为节能、降耗、减污、增效。	同上	采纳

四、其他

征求意见单位为 12 个；收到回函和书面意见的单位为 3 个，占征求意见单位总数的 25%；征求意见期间未回函单位 9 家，占征求意见单位总数的 75%。征求意见经归纳整理后共为 18 条，其中采纳意见 12 条，占所提意见总数的 66.7%；部分采纳意见有 3 条，占所提意见总数的 16.7%；未采纳意见有 3 条，占所提意见总数的 16.7%。

附表 6 指标修改情况

序号	指标项目	原指标	新指标
1	生产工艺及装备——吹炼工艺	连吹炉或转炉	闪速吹炼炉、连吹炉或转炉
2	生产工艺及装备	粉状物料输送	粉状物料仓储和输送
3	生产工艺及装备——废气的收集与处理	炉体密闭化，具有防止废气逸出措施。在易产生废气无组织排放的位置设有废气收集装置，并配套净化设施。	炉体密闭化，具有防止废气逸出措施。在冶炼窑炉的进料口、出渣口、出料口，以及破碎、筛分设备等其他易产生废气无组织排放的位置设有废气收集装置，并配套净化设施。
4	水资源消耗——工业用水重复利用率	99.5、98、97.5	98.5、98、97.5
5	污染物产生与排放——废水		新增化学需氧量、氨氮指标
6	污染物产生与排放——废气		新增汞指标
7	污染物产生与排放——单位产品危险废物的产生量	0.02、0.03、0.04	0.1、0.15、0.2
8	污染物产生与排放——废水中单位产品化学需氧量的产生量（湿法冶炼）		≤700、≤900、≤1200
9	产品特征——阴极铜	符合 GB/T 467-2010 的质量标准	按照 GB/T 467 要求，产品合格率≥95%， ≥90%，≥85%
10	产品特征——铜精矿	达到 YS/T 318—2007 标准要求	分别达到 YS/T 318 标准二级、四级、五级品要求
11	清洁生产管理——环保法律法规执行情况	生产规模、工艺和装备符合产业政策要求，污染物排放达到排放标准、符合总量控制和排污许可证管理要求，严格执行建设项目环境影响	符合国家和地方有关环境法律、法规，企业污染物排放总量及能源消耗总量满足国家及地方政府相关标准，满足环评批复、环保“三同时”制度、

序号	指标项目	原指标	新指标
		评价制度和建设项目环保“三同时”制度。	总量控制和排污许可证管理要求。
12	清洁生产管理指标——清洁生产审核	按政府规定要求，制订有清洁生产审核工作计划，对铜冶炼全流程（全工序）定期开展清洁生产审核活动。	按政府规定要求，制订有清洁生产审核工作计划，对原料及生产全流程生定期开展清洁生产审核活动，中、高费方案实施率分别为≥80%、≥60%、≥50%；
13	清洁生产管理指标——危险化学品管理指标		新增：符合《危险化学品安全管理条例》相关要求。
14	清洁生产管理指标——固体废物处理处置		<p>新增：危废：按照 GB 18597 和《固体废物污染环境防治法》的要求做好污染防治工作，达到 100%安全处置。交由持有危险废物经营许可证的单位进行处理；制定并向所在地生态环境主管部门备案危险废物管理计划，申报危险废物产生种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。制定意外事故防范措施和应急预案，并向当地生态环境主管部门备案。</p> <p>一般固废：按照 GB 18599 和《固体废物污染环境防治法》的要求做好污染防治工作，做到 100%合理处置。设立固废指示标志，实行源头分类制度。</p>

附件三 标准报批审议会专家征求意见汇总

附表 7 审议会专家意见汇总

名称		铜冶炼行业清洁生产评价指标体系		
主编单位		湖南有色金属研究院有限责任公司		
序号	标准条款编号	意见内容	提出单位	处理意见及理由
1	编制说明	编制说明中建议补充试评价相关内容。	环境生态部评估中心	已补充，见附件一。
2	4.3	部分指标及权重值应斟酌完善，与现行相关标准、政策以及二污普保持一致。		已修改。治理设施中增加“具备尾气治理设施”。污染物产生指标及能源消耗中的相关指标已参照相关政策及二污普进行修改。
3	2	规范引用文件建议简化，术语定义建议只列与清洁生产定义相关的内容。	有色金属产业协会	已修改，删除 17 项监测标准，2 项国家法律。删除 7 项铜生产过程相关工艺的术语解释。 增加 4 项环境生态部和工信部的文件。
4	编制说明	补充说明铜精矿来源，以及对铜行业的制约。		已补充，在 2.2.1 资源能源消耗中阐明了我国铜行业原料领域受制于人的局面在未来相当长的时间内都将难以扭转。
5	4.3	连吹炉工艺建议调整为I级、II级，并限制几连吹。	中国矿业大学	已修改。
6	编制说明	编制说明中补充湿法冶炼相关内容。	有色金属研究总院	已补充。在 2.1.2 中补充湿法冶炼技术及发展情况。
7	4.3	废水产生指标中增加铜指标。	北京科技大学	已补充。在表 1 和表 3 的污染物产生指标中增加“废水中单位产品铜的产生量”。

附表 8 指标修改情况

序号	指标项目	二次修改情况
1	2 规范性引用文件	增加“GB 9078 工业炉窑大气污染物排放标准、《国家涉重金属重点行业清洁生产先进适用技术推荐目录》、《关于加强涉重金属行业污染防控的意见》、《工业炉窑大气污染综合治理方案》”4个标准及政策。
2	3.2.3 铜湿法冶炼企业	去掉“难选氧化”，增加“其中可辅以微生物等其他手段”。
3	3.5 湿法炼铜	修改为：指主要采用液体药剂从铜矿中分离出铜单质的过程。可用于处理氧化铜矿，采用直接酸浸和氨浸（或还原焙烧后氨浸）等法；处理硫化矿多用硫酸化焙烧-浸出或者直接用氨或氯盐溶液浸出等方法。当前生物堆浸处理铜精矿的方法也已开始工业化。
4	表 1 生产工艺及装备	吹炼工艺：连吹炉（二连吹及以上）/闪速吹炼炉/转炉 制酸工艺：双转双吸及以上制酸工艺，转化率 $\geq 99.8\%$ ，具备尾气治理设施/双转双吸或其他符合国家产业政策的工艺。 生产规模（单系统）： ≥ 20 万t / ≥ 10 万t / ≥ 5 万t
5	表 1 单位产品新鲜水耗	≤ 13 ≤ 16 ≤ 20
6	表 1 一般工业固体废物综合利用率	≥ 80 ≥ 70 ≥ 60
7	表 1 污染物产生与排放	调整权重值；增加废水单位产品铜的产生量： ≤ 10 ≤ 15 ≤ 22
8	表 1 产品特征	达到 YS/T 318 标准二级品要求的铜精矿 $\geq 80\%$ / 达到 YS/T 318 标准四级品要求的铜精矿 $\geq 90\%$ / 达到 YS/T 318 标准五级品要求
9	表 2 污染物产生与排放	酸雾产生浓度： ≤ 50 ≤ 60 ≤ 80
10	表 3 生产工艺及装备	浸出工艺：搅拌浸出或原地堆浸
11	表 3 污染物产生与排放	废水中单位产品铅的产生量： ≤ 8 ≤ 10 ≤ 14 废水中单位产品铜的产生量： ≤ 150 ≤ 180 ≤ 220
12	表 3 清洁生产管理	危险废物处理处置：删除“交由持有危险废物经营许可证的单位进行处理。”
13	6.1 指标核算	增加 6.1.7 一般工业固体废物综合利用率。

附件四 部委征求意见情况汇总处理表

附表 9 部委征求意见情况汇总处理表

名称		铜冶炼行业清洁生产评价指标体系		
主编单位		湖南有色金属研究院有限责任公司有限责任公司		
序号	条款编号	意见内容	提出单位	处理意见及理由
一、意见				
1	4.3	建议将大宗货物清洁方式运输（铁路、水路及管道）比例纳入到相关清洁生产评价指标体系，大宗货物年货运量 150 万吨及以上企业铁路运输比例应达到 80%以上。	生态环境部科技与财务司	采纳，已增加该内容。
2	4.3	“” 清洁生产管理指标”中增加二级指标“土壤污染隐患排查”，其基准值内容“参照国家有关技术规范，建立土壤污染隐患排查制度，保证持续有效防止有毒有害物质渗漏、流失、扬散”。	生态环境部科技与财务司	采纳，已增加该内容。
3	6.2.3	建议评价指标体系中“采样和监测”章节的表述方式，采用相应排放标准指定的监测方法标准。	生态环境部科技与财务司	采纳，已采用铜行业排放标准指定的监测方法。
4	6.2.3	铜冶炼业评价指标体系中引用了 GB7470 和 GB7471 两项监测方法标准，此两项标准存在干扰严重、须使用强毒性试剂的问题，不适用于实际监测，建议修改为相同项目的 HJ 方法标准。	生态环境部科技与财务司	采纳，已删除 GB7470 和 GB7471 两项监测方法。
5	4.3	建议在评价指标体系中增加“单位产品二氧化碳排放”指标，并请编制单位研究提出相应的权重及基准值。	生态环境部应对气候变化司	采纳，已增加该内容。