冶炼烟气制酸低温位余热回收技术规范—编制说明

一、工作简况

1.1任务来源

全国有色金属标准化委员会下达《关于转化2023年第一批有色金属国家、行业、协会标准制（修）订项目计划的通知》【有色标委[2023] 22 号】。其中，《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（计划号：2023-005-T/CNIA）获得立项，计划2024年2月完成。

本标准由铜陵有色金属集团股份有限公司金冠铜业分公司牵头，广西金川有色金属有限公司、广西南国铜业有限责任公司、河南中原黄金冶炼厂有限责任公司、大冶有色金属集团控股有限公司、豫光金铅股份有限公司、河南豫光锌业有限公司共同参与起草。

1.2立项目的和意义

为应对全球气候变化，2021年两会上，碳达峰、碳中和被首次写入政府工作报告，作为重点工作推进。我国承诺二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。在新发展阶段，做好碳达峰碳中和工作，加快[经济](http://www.china-cer.com.cn/" \t "http://www.china-cer.com.cn/shuangtan/_blank)社会发展全面绿色转型，对我国实现高质量发展、全面建设社会主义现代化强国具有重大意义。我国作为“世界工厂”，产业链日渐完善，国产制造加工能力与日俱增，同时碳排放量也在加速攀升。但我国油气资源相对匮乏，发展低碳经济，重塑能源体系具有重要安全意义。

对于企业来说，实现碳达峰碳中和这一目标，重点是在节能降耗及清洁能源开发利用方面进行攻关。就冶炼烟气制酸生产企业来说，中高温位余热约为55~65%，已得到有效回收利用。但是，在SO3吸收过程中产生的低温位余热约占25%。在传统生产工艺里，这部分热量在干吸工序中通过循环冷却水移走而白白浪费。低温热回收技术应用后，这部分热量可以回收并产出约1.0 MPa的低压蒸汽，从而有效实现热能回收及利用，降低硫酸生产中的综合能耗，获得可观的经济效益。

1.3主要参加单位和工作成员所作的工作

本标准由铜陵有色金属集团股份有限公司金冠铜业分公司牵头，广西金川有色金属有限公司、广西南国铜业有限责任公司、河南中原黄金冶炼厂有限责任公司、大冶有色金属集团控股有限公司、豫光金铅股份有限公司、河南豫光锌业有限公司共同参与起草。所参与的企业在有色金属行业均属有色金属冶炼行业先进单位，其工艺特点、技术均为行业内先进典范。特别是在低温位余热回收技术应用方面，在行业里迈出了坚实的一步，积累了丰富的经验。广西金川有色金属有限公司最早从国外引入该项技术，使用时间长达十年，一直致力于工艺优化与设备改进。河南中原黄金冶炼厂有限责任公司随后引入该项技术，并成功应用。广西南国铜业有限责任公司与国内专业厂家合作，首先在铜冶炼烟气制酸装置上实现了该项技术国产化与应用，取得了突出性的成果。豫光金铅首次在铅冶炼烟气制酸装置上实现低温热回收技术的应用，并一直致力于锌冶炼烟气制酸装置上的应用探索。铜陵有色金属集团股份有限公司金冠铜业分公司、大冶有色金属集团控股有限公司则立足于国内现有的技术，致力于技术难点攻关，用创新驱动技术革新，打通技术堵点，以后来者居上的赶潮儿姿态，先后建成了低温热回收成套装置，并一次性开车成功并稳定运行，在能源回收率上更是迈上了一个新台阶，也为这项技术在行业内的推广使用，探索出了一套成熟的方法与模式。

表1 项目组单位主要工作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准项目编制单位 | 起草人 | 主要工作 |
| 铜陵有色金属集团股份有限公司金冠铜业分公司 | 王翔、章健、钱庆长、汪满清、张劲松、张志国、胡生杰、汪彬、施章铨、王贤、周天达、雷振 | 方案制定，工艺及参数收集分析及确定，标准条款编写 |
| 广西金川有色金属有限公司 | 张涛、谭河山 | 资料收集，使用情况调研，技术参数的确定 |
| 广西南国铜业有限责任公司 | 覃健林 | 资料收集，技术参数的确定 |
| 大冶有色金属集团控股有限公司 | 陆海 | 资料收集，使用情况调研 |
| 河南中原黄金冶炼厂有限责任公司 | 肖凯 | 资料收集 |
| 豫光金铅股份有限公司 | 王麦堆 | 资料收集 |
| 河南豫光锌业有限公司 |  | 资料收集 |

1.4 主要工作过程

1.4.1预研阶段

本标准的酝酿阶段自2022年9月份开始。彼时，铜陵有色金属集团股份有限公司金冠铜业分公司烟气制酸系统低温热回收装置投用不久并稳定运行，其制酸系统综合能耗首次实现由正转负，完成由耗能工序向产能工序的转变。低温位热回收技术给冶炼烟气制酸系统带来的效益是革命性的，展现了巨大的生命力和广阔前景。金冠铜业分公司在了解了广西金川有色金属有限公司与广西南国铜业有限责任公司该项技术的使用进展、工艺配置及运行参数，将眼光投向有色金属行业，决定制定一项关于低温位热回收技术的协会标准。

在与同行企业沟通交流、工艺参数及运行数据对比后，特别是原有制酸装置改造配置低温热回收技术装置的制酸综合能耗变化后。本项目组着眼于配置低温热回收技术后的制酸能耗标杆值，并在内部评审通过。但根据标委会的建议，以及硫酸协会正在酝酿的硫酸生产能源消耗限额的行标数据。项目组再次分析论证低温位热回收技术的使用后，制酸综合能耗与未来即将采用的硫酸生产能源消耗限额之间的数据对比，决定编写标准草案《配置低温热回收技术的冶炼烟气制酸单位产品能源能耗限额》，并再次集体论证通过。标准草案进一步突出低温热回收技术的应用给制酸综合能耗带来的巨大变化，以及对国家碳达峰碳中和政策的意义。

1.4.2标准立项

2022年10月16日，本项目组将《配置低温热回收技术的冶炼烟气制酸单位产品能源能耗限额》立项报告、标准草案、协会标准项目申报书报送全国有色金属标准化技术委员会。10月31日，有色标委会于厦门召开论证会议。11月27日的公布《2022全国有色金属标准化技术委员会论证会重金属分标委会议》结论，《配置低温热回收技术的冶炼烟气制酸单位产品能源能耗限额》拟获立项。根据标委会会议意见，本项目组宜申报技术规范的标准。

11月25日，项目组向有色标委会提交《硫酸生产装置低温热回收技术规范》标准项目建议书及草案。12月22日，根据有色标委会意见，项目组再次编制审核完成《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》项目申报建议书记草案，并提交至有色标委会。

2023年2月20日，全国有色金属标准化委员会下达《关于转化2023年第一批有色金属国家、行业、协会标准制（修）订项目计划的通知》【有色标委[2023] 22 号】。其中，《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（计划号：2023-005-T/CNIA）获得立项。

1.4.3起草阶段

召开工作会议（草案讨论会、预审会均成为工作会议，按第一次工作会议、第二次工作会议的方式描述，对应标准稿统称为征求意见1稿、征求意见2稿）的时间、地点和会议情况。

【最终形成了征求意见稿】

1.4.4征求意见阶段

征求意见稿发送（包括工作会议发送和函送、电话、微信等）的单位（需阐述发放单位总数、回函情况及其中的用户、科研、其他单位所占比例）。详细内容见《标准征求意见稿意见处理汇总表》。

送审稿完成日期【不应早于征求意见汇总处理表填表日期，迟于审定会日期】

【征求意见的通用写法】

编制组根据意见，对标准进行修改和完善，形成了标准《送审稿》及《编制说明》。

1.4.5审查阶段

1. 技术专家审查

2022年X月XX～XX日在XX省XX市，由全国有色金属标准化技术委员会主持，召开了《XXX》标准审定会，共有xx个单位的xx名专家（详见有色金属标准审定会专家签名表）参加了会议。

与会专家对 《XXXX》标准的送审稿进行了认真审定，提出了xx条修改意见，编制小组会后按照专家的修改意见进行了修改，完善了《送审稿》及《送审稿编制说明》。

1. 委员审查

20xx年xx月xx日，全国有色金属标准化技术委员会在XX省XX市召开了全体委员会议。全国有色金属标准化技术委员会重金属分技术委员会（SAC/TC243/SC2）全体委员共计 66名，实际参与投票工作 XX名。会议经过认真的讨论，对《xxxx》标准制修订程序、征求意见的过程以及技术内容的确定等多方面进行了仔细审查。与会XX名委员全体投票通过，同意该标准《送审稿》及和《送审稿编制说明》通过审查，无修改意见，表决通过率为100%。

1.4.6报批阶段

标准编制组对标准文本和编制说明进行完善，形成标准报批稿报送至全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）秘书处，上报至国家标准化管理委员会【行标为：工业和信息化部、团标为：中国有色金属工业协会】审批、发布。

二、编制原则

本标准对低温位热回收技术的关键指标进行了明确。明确了该项技术应用的条件、范围与工艺类型，包括硫酸生产企业类型、烟气条件。规定了低温热回收的技术路线，典型设备，材料选型。

三、标准主要技术内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

针对标准文稿第四节第一小节：

所有类型的硫酸生产企业，SO2气浓均需高于8%，烟气经干燥后气体温度在40℃以下。在传统的“两转两吸”制酸系统内，干吸工序三塔通过串酸来维持系统内酸浓平衡。基于低温热回收装置的特点，烟气干燥酸酸浓约95%，二吸酸浓98.3~98.5%，这两部分酸需串入低温热回收系统，来维持整个酸浓处于平衡状态。低温热回收系统内用于吸收含SO3烟气循环酸酸浓需达到99%，在吸收SO3烟气后，酸浓上涨。因此，在串酸外，额外加水来维持酸浓稳定。如果烟气经干燥后温度高，表明原净化工序的烟气含水量高，吸收大量水分的95%硫酸需串入低温热回收系统，依靠99%硫酸进入干燥塔来维持干燥酸的浓度。当SO2气浓均值低于8%，同时烟气经干燥塔前温度高于40℃时，干燥酸带来过多的水分，打破整个系统的水平衡，导致低温热回收系统内酸浓低于99%，整个系统将无法维持稳定运行。SO2气浓均值需高于8%也考虑到回收的热能与设备投资间的关系，更高的气浓，意味着投资收益年限更短。

针对标准文稿第四节第二小结：

SO3吸收是放热过程，来自转化系统的含SO3烟气约180~190℃，在低温热回收装置高温吸收塔内，吸收热和烟气显热会传递至浓酸，吸收酸酸温会上涨至200℃。高温浓酸再与除盐水通过换热，即可产生低压蒸汽。

针对标准文稿第四节第三小结：

低温热回收装置内，高温浓硫酸对SO3吸收效率仅能达到95%，而且气液接触不可避免存在酸雾夹带，且近200℃的高温浓硫酸本身也存在发烟现象。这就需要设计出具备更高吸收效果的塔，来保障烟气中的SO3与夹带的酸雾得到充分吸收。

传统的浓酸换热装置内介质均为98.3%的浓硫酸，且酸温不超过120℃。对于低温热回收装置内酸浓达到99%，酸温高达200℃，腐蚀性均成倍上涨。设备使用工况极其严苛，设备必须采用更可靠的结构形式，且应进一步提高施工质量及精度，采取可靠有力的检验措施。

低温热回收装置的吸收循环酸需保持在99.0±0.1%范围内波动，酸浓偏高则造成吸收效率下降，系统产生过多酸雾对下游设备设施造成严重腐蚀。反之酸浓偏低，则加剧低温热回收的不锈钢材料的腐蚀，酿成更大的设备灾难。因此，采取更为行之有效酸浓控制技术及监测仪表设施。

针对第五节第一小节：

浓硫酸吸收烟气中的SO3系放热过程，连通烟气显热一并转移至浓硫酸中，低温位热回收技术原理在于回收这部分高温酸中的热量。高温浓硫酸温度可达200℃，更适宜用于产低压蒸汽。因此，在工艺配置中，高温吸收塔下塔酸首先经过蒸发器，用来产生蒸汽。出蒸发器的酸通过加水等降低酸浓，再返回高温吸收塔，实现蒸汽的持续产出。因低温热回收系统外有干燥酸与二吸酸串入，所有低温热回收系统会持续向外串出高温酸。这部分高温酸温度高达180℃，需要进行冷热物流匹配，来最大限度充分利用这部分热量。一般按经过三次换热器后，高温浓酸串出系统，每经过一级换热器酸温下降约20℃来确定换热器的参数。

传统两转两吸制酸系统进入转化气浓上限为12%，高于此浓度时，称之为高浓度转化。当进转化气浓高于12~13 %时，经过转化后，烟气SO3含量超出高温吸收塔的吸收能力。如果，放大高温吸收塔性能，会导致设备投资成倍上涨。因此，进高温吸收塔前需配置混合烟道，喷吹低压饱和蒸汽，预先将部分SO3转化为硫酸，提高高温吸收塔的吸收效率。

针对第五节第二小节：

低温热回收工序循环酸酸温高达200℃，浓度高达99%，传统不锈钢材料无法耐受这种状态的浓硫酸。需从含硅不锈钢、铁镍基耐腐蚀合金和镍基耐腐蚀合金中选择，此类合金耐受高温，特别是在硫酸浓度接近100%时，年腐蚀率大大降低，作为低温热回收设备材料的首选。

针对第五节第三小节：

耐高温浓酸腐蚀合金工作温度需保持在220℃以下。否则，长时间使用后，材料会急剧腐蚀，造成整个系统用崩溃。考虑到操作温度应远离红线，保障设备安全，因此，酸温宜选择200℃。该温度下的高温浓酸经过蒸发器后，温度下降约20℃，与1.0MPa的低压蒸汽温度吻合。因此，产汽压力上限设定为1.0MPa。同时，基于产出低压蒸汽经济效益，以及大部分发电机要求蒸汽压力高于0.5MPa。因此，产蒸汽压力下限设定为0.6MPa。

综合本项目组企业，配备低温热回收技术后，在上述压力范围内，产汽率基本0.45~0.6 t/t酸。因此，产汽率选定这个范围，也有利于引入该项技术时进行经济效益分析。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

1. 预期达到的社会效益等情况
2. 项目的必要性阐述

根据《有色金属行业碳达峰实施方案》规划，“十四五”期间(2021-2025年)，低碳技术研发和应用将取得显著进展，再生金属占全国有色金属供应总量的24%以上。在“十五五”期间( 2026-2030年)，该行业将建立以绿色、低碳和循环发展为特色的工业体系，将努力调整该行业的产业结构，推进节能低碳技术，推广使用清洁能源替代品，构建绿色制造体系。冶炼烟气制酸低温余热回收技术契合此范畴，该技术采用高温99%浓硫酸吸收烟气中的三氧化硫，将酸温提高至180~200℃，然后在系统中用蒸汽发生器替代传统的循环酸冷却器，将高温硫酸的热量传递给蒸汽发生器中的除盐水产生低压蒸汽。每产一吨酸可副产1.0 MPa低压蒸汽约0.5t，折制酸综合能耗约减少64 kgce/t酸，利用蒸汽进行发电，可进一步降低企业对电力资源的消耗。有利于缓解国内用电紧张的局面。HRS系统的投入应用，使得金冠铜业分公司制酸综合能耗迈入有色金属冶炼行业先进值，成为行业标杆，为整个行业树立先进典范，提供具体可行的措施。同时，蒸汽发电减少对煤电的依赖，有助于改善我国能源结构中，一次能源的占比。

目前，现有的冶炼烟气制酸低温热回收装置建成投产并运行1年以上，尚不足行业的10%，还有广阔的推广空间。国标GB 29141—2012《工业硫酸单位产品能源消耗限额》，仅对现有及新建工业硫酸装置的准入值、先进值做出规定，但针对具体一类行业企业，并未给出进一步降低能源消耗的措施与具体方法。硫酸行业内关于低温热回收技术尚无统一规范，对于该项技术应用的前提条件、工况尚未明确，限制了这一技术的进一步推广应用，特别是原有企业改造。

1. 项目的可行性阐述

——企业技术储备与技术水平、产业化情况、满足用户需求情况、市场规模；

硫磺制酸装置温热回收技术已得到广泛推广，总产能70%以上装置已应用该技术。炼烟酸制酸低温热回收装置目前建成投产并稳定运行1年以上的超过6套，装置产能占冶炼气制酸装置总产能不足10%，具有广阔的推广空间。行业内的人才储备、技术水平完全可以满足该项技术的推广及该项标准的施行。

以本项目组企业为例，广西金川有色金属有限公司应该该项技术已超过10年，积累了丰富的运营经验。广西南国铜业有限责任公司、豫光金铅股份有限公司的低温热回收装置投运也超过5年。在冶炼烟气制酸低温热回收装置运营技术人才的储备方面，本项目组企业做出了诸多贡献。

——拟要解决的主要问题，相关标准情况，存在的问题，研制标准的意义。

目前相关标准存在的问题：

国标GB 29141—2012《工业硫酸单位产品能源消耗限额》，仅对现有及新建工业硫酸装置的准入值、先进值做出规定，但针对具体一类行业企业，并未给出进一步降低能源消耗的措施与具体方法。硫酸行业内关于低温热回收技术尚无统一规范，对于该项技术应用的前提条件、工况尚未明确，限制了这一技术的进一步推广应用，特别是原有企业改造。

标准执行后的建议：

在旧系统基础上改造建设低温热回收项目受制于空间影响，部分设备过于紧凑，不利于后期点巡检及维修。建议新建该项目时，充分考虑空间布置，进行优化，实现设备布置合理，便于后期点巡检及操作。

由于该系统对酸浓敏感度过高，联锁装置多，稍有不慎便触发联锁跳车，对操作人员技术水平要求高。目前该项技术应用成熟，建议引入智能化控制技术，基于强化充分的仪表及大数据分析，实现精细化控制，及时协助操作人员消除不稳定因素，提高系统稳定性。

地方政府应在政策上给予支持，帮助企业进一步挖掘清洁能源的应用与技术创新。

1. 标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益

标准先进行、创新性：

现行国标GB 29141—2012《工业硫酸单位产品能源消耗限额》中，铜、镍冶炼烟气制酸单位产品综合能耗先进值为≤-30 kgce/t。

对于目前国内冶炼烟气制酸行业中，配置有低温热回收技术的企业，其制酸综合能耗均已迈入一个新的台阶。其中，铜冶炼烟气制酸企业中，南国铜业制酸综合能耗更是已达到-74.8 kgce/t酸！广西金川有色也达到-70.8 kgce/t酸。铜陵有色金冠铜业于2022年7月完成节能改造，随着低温热回收装置的投入使用，其制酸综合能耗由改造前的-16.3 kgce/t酸，降至-72 kgce/t酸，成功迈入第一梯队。三个企业制酸制酸综合能耗均低于-70 kgce/t酸，表明了该项技术标准的推广及技术的使用，吨酸综合能耗比现行标准先进值更为优越。表明了，该项技术标准的先进性。

不同于产品能源消耗限额的标准，该项技术标准针对单项节能技术，做出了详细的技术性条款展示。为该项技术的推广及使用提供了直接参考依据，体现了标准制定的创新性。

经济效益与社会效益：

以铜冶炼烟气制酸装置为例，配备有低温热回收技术后，每产一吨酸可副产1.0 MPa低压蒸汽0.5t，折制酸综合能耗约-64 kgce/t酸。对于年产170万吨（以100%H2SO4计）浓硫酸的冶炼烟气制酸企业来说，每年可产生1.0 MPa低压饱和蒸汽约8.6×105 t/a，折算节约标准煤105694 t/a，可发电10304×104 wkWh/a，每年所产蒸汽的发电效益约5500万元。按循环水温升8℃来计算，每产一吨酸可减少新水消耗约1 t，可节约生产水170万t/a。低温热回收系统技术成熟，设备运行较为稳定，投资回报仅需5.5年（不含建设期一年），经济效益极为可观！

低温热回收技术应用在更大程度上实现了冶炼烟气制酸系统余热的综合利用，达到节能减排的目的。以年产170万吨（以100%H2SO4计）浓硫酸的冶炼烟气制酸企业为例，依据火力发电经验数据，每发一度电，需消耗煤0.35 kg，排放0.872 kgCO2。低温热回收装置投用后，可减少CO2排放8243.2 t/a。利用蒸汽进行发电，进一步降低企业对电力资源的消耗，有利于缓解国内用电紧张的局面。同时，蒸汽发电减少对煤电的依赖，有助于改善我国能源结构中一次能源的占比。通过余热发电，进一步有效促进了CO2减排，是对发展低碳经济的积极响应，是实现碳达峰、碳中和这一目标的重要举措，环境效益显著！

制定该项标准有助于推动现有冶炼烟气制酸企业，对其制酸工序进行节能改造，进一步降低其能耗指标，产出能源，实现硫酸企业成为能源输出企业。同时，为新建冶炼烟气制酸提供节能工艺的标准配置。推动低温热回收技术在整个行业的应用，让硫酸综合能耗指标迈入一个新的台阶，推动行业完成节能降碳改造。

1. 采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准未采用国际或国外先进标准。

1. 与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准符合现行法律、法规的要求，并与其他同类国家标准、国家J用标准、行业标准无冲突、重叠和不协调之处。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

暂无。

九、作为强制性或推荐性国家标准的建议

本标准建议作为团体标准发布。

十、贯彻标准的要求和措施建议

——组织措施

——技术措施

——过度办法【现在一般情况下，国标、团标没有缓冲期了，发布即实施】

十一、废止现行有关标准的建议

无。

十二、其他主要内容的解释和其他需要说明的事项。

无。

《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》编制组

2023年3月13日