冶炼烟气制酸低温位余热回收技术规范—编制说明（报批稿）

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牵头起草，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、河南豫光金铅股份有限公司、云南驰宏锌锗股份有限公司、云南铜业股份有限公司西南铜业分公司共同参与起草。

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、云南驰宏锌锗股份有限公司、云南铜业股份有限公司西南铜业分公司共同参与起草。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，建成了单系列最大低温热回收系统并成功应用。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 | 王翔、章健、钱庆长、汪满清、胡生杰、王贤、汪彬、张劲松 | 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 | 覃焕章 | 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、俞阳 | 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 | 梁高喜、朱兴荣 | 资料收集，使用情况调研 |
| 河南豫光金铅股份有限公司 | 赵喜、王麦堆 | 资料收集，使用情况调研 |
| 云南驰宏锌锗股份有限公司 | 丁雁波、张春 | 资料收集，使用情况调研 |
| 云南铜业股份有限公司西南铜业分公司 | 夏丽优、邓戈 | 资料收集，使用情况调研 |

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

2023年3月28日~29日，全国有色金属标准化委员会于湖南省衡阳市召开第一次工作会议，项目组向委员会提交（征求意见1稿）。会议对《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见1稿）的标准草案及编制说明进行了讨论。会议提出，该技术规范标准草案中涉及理论性表述较多，需要根据技术规范的要求，添加更多实际性的内容。根据会议意见，项目组对《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见1稿）进行修改，并于8月1日召开项目组内部讨论会，论证相关内容，形成《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见2稿）。

2023年8月23~24日，全国有色金属标准化委员会于贵州省贵阳市召开第二次工作会议，项目组向委员会提交（征求意见2稿）。会议对《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见2稿）的标准草案及编制说明进行了讨论。会议提出，标准草案中部分引用标准需核实最新的规范名称，并就相关技术条款内容描述进行调整。本项目组参会企业及相关同行对技术条款中的具体技术参数提出了指导性意见。根据会议及相关专家意见，项目组对《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见2稿）进行修改。

2023年12月4日，铜陵有色金属集团股份有限公司质量检验中心于铜陵市，组织集团内部专家对《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见2稿）的标准草案及编制说明进行了讨论。会议提出，标准草案中部分名词及语言描述需按冶金、化工专业名词及规范要求修改，部分技术条款涉及内容因最新技术变革需进行调整。根据相关专家意见，项目组对《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见2稿）进行修改。

1.4.4征求意见阶段

2023年12月5日，项目组通过微信、邮件等形式将《冶炼烟气制酸低温余热回收技术规范》（征求意见稿）发低温位余热回收装置相关的用户、研发制造单位、设计院共计10家。项目组共收到10家单位回函，其中，用户6家、研发制造单位3家，设计院1家，共收到13条修改意见。项目组成员企业在线上对这13条意见进行逐条分析与研究，最终采纳7条意见，未采纳其中6条意见。详细内容见《标准征求意见稿意见处理汇总表》。

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，上报至中国有色金属工业协会审批、发布。

二、编制原则

本标准依据 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》的要求编制。

在标准制定过程中遵循了以下几个原则：

（1）以绿色、科学、发展的理念为指导，保证标准的先进性和实用性；

（2）低温位热回收技术的工艺流程、技术指标、设备选型等应符合科学、现有的法律、法规、标准及规定；

（3）鼓励低温热回收技术进一步在冶炼烟气制酸装置上推广应用。

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

3.1标准范围

3.2规范性引用文件

3.3 术语和定义

3.4 总体技术要求的确定

3.4.1关键参数调研

项目组企业低温余热回收装置关键参数调研结果见表1：

**表1 各企业低温热回收装置运行参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 企业 | 进转化系统烟气中SO2浓度/% | 设计净化后烟气温度/℃ | 高温吸收塔回酸温度/℃ | 混合烟道底部温度/℃ | 高温吸收塔出口烟气温度/℃ | 产汽压力/MPa | 系统吨酸产汽率/t/t |
| 金冠铜业 | 15.5~16.5 | 37 | ＜210 | 270~295 | 65~70 | 0.92 | 0.53 |
| 广西金川 | 13~16 | 39 | ＜200 | ＜310 | 65~75 | 0.8~0.9 | 0.49 |
| 广西南国 | 13~14 | 34.5 | ＜220 | 290~300 | 65~75 | 0.79 | 0.58 |
| 中原黄金 | 22~23 | 39 | ＜220 | 275~295 | 60~65 | 0.8~0.9 | 0.50 |
| 湖北大冶 | 15~16.5 | 37 | ＜210 | 270~295 | 65~70 | 0.8 | 0.50 |
| 豫光金铅 | 9~11 | 38 | ＜210 | 无 | 65~70 | 0.7 | 0.35 |
| 云南驰宏 | 7~8.5 | 33 | ＜210 | 无 | 70~75 | 0.33~0.60 | 0.41 |
| 西南铜业 | 12~14 | ＜40 | ＜210 | 270~295 | ＜75 | 0.95 | 0.45 |

3.4.2总体技术要求确定依据

针对标准文稿的总体技术要求，

a）低温热回收系统同其他化工生产系统一样，应符合安全与职业健康各项标准规定，生产工序设置生产控制、运行管理所需的检测仪器仪表，实时在线显示运行工况，所有工艺参数均有对应计量工具。

冶炼烟气制酸装置中，硫酸产品为98%。意味着低温热回收系统需加入更多的水，得到更多的硫酸稀释热，可以提高低温热回收系统产汽率，获得更好的经济效益。

进转化系统中的冶炼烟气SO2浓度越低，意味着低温热回收系统所需的水分更少。冶炼烟气经过净化系统后，水分达到饱和状态，且系统内需补入一定量空气来维持转化系统所需要的O2。这意味着大部分水在烟气和空气中带入干吸系统，整个系统的额外补水量将更低。在维持生产正常的情况下，低温热回收系统需额外向系统外输出更多的高温浓硫酸来维持整个干吸系统的水平衡，这造成系统热回收率下降，影响经济收益。当硫酸装置转化系统的烟气中SO2气体浓度低于7 %时，低温热回收系统需要的水量与烟气中带入水量基本一致。意味着系统内酸浓无法稳定调节，进一步导致系统崩溃，这是企业难以接受的。如果通过降低烟气温度，以减少烟气中的水分的方式来维持低温热回收系统与干吸系统串酸平衡。这必然对烟气净化系统换热装置能力有更好的要求，也造成系统的建设成本高企。因此，企业决策时则会更为谨慎。

假设烟气中SO2浓度为8.5 %，进干燥塔的烟气温度为38 ℃，净化烟气带入的水分约4176 kg/h。整个干吸系统需要水量为5023 kg/h，在二吸循环酸不加水的情况下，低温热回收系统额外加水量仅847 kg/h，系统可维持酸浓调节所需要的基本条件。对于本项目组企业。如：铜陵有色金属集团股份有限公司金冠铜业分公司、广西金川有色金属有限公司、河南中原黄金冶炼厂有限责任公司等企业制酸装置净化后烟气温度低于40 ℃，系统可以较好地运转。

冶炼系统烟气量与SO2浓度波动，意味着低温热回收系统负荷存在波动。这对于低温热回收系统的酸浓调节极为不利，一但出现酸浓过低的工况，会进一步造成设备设施发生不可逆的腐蚀。因此，该技术的使用，应建立在冶炼系统正常生产时，气浓与气量均相对稳定前提下。特别是避免存在转炉的系统，且转炉烟气进入低温热回收系统。

针对标准文稿第五节第一小节：

硫酸生产装置两转两吸工艺中，主要低温热为一次转化后的含SO3烟气在吸收过程中产生，包括烟气显热、SO3吸收热、硫酸稀释热。低温热回收系统的原理就是提高循环酸温度，回收这部分低温热产出低压蒸汽，从而实现了能源回收利用。

针对标准文稿第五节第二小节：

综合项目企业配置的低温热回收装置，其基本工艺流程如下：

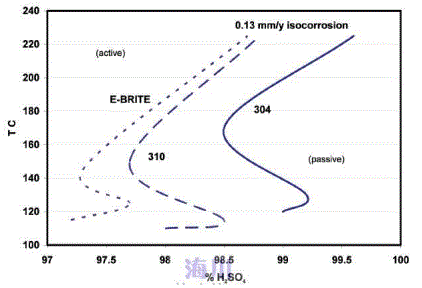
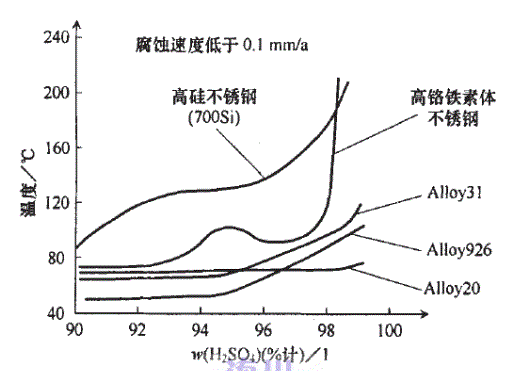
制酸装置一次转化气引入低温热回收装置的热回收塔，热回收塔设上，下两层填料，下层填料喷淋99%的高温浓硫酸，上层填料喷淋98.5%的低温浓硫酸，工艺气体由下而上经过填料，硫酸吸收SO3后出热回收塔回转化系统进冷热换热器，去二次转化。

吸收SO3后的热回收塔下塔高温酸浓约99.5%，经高温循环酸泵送到蒸发器，将高温酸的热量传给蒸发器内的水产生低压蒸汽，出蒸发器的高温浓硫酸，大部分送入混合器加水将酸浓降到99 %左右，再喷入热回收塔下层填料，循环吸热回收塔的SO3气体。蒸发器出口部分高浓硫酸先经过多级脱盐水加热器或脱盐水蒸发除氧器，酸温度降至100 ℃左右至干吸循环槽进行串酸。

当进转化烟气SO2浓度高于13 %时，进热回收塔前需配置混合烟道，喷吹低压饱和蒸汽。高于13 %浓度的烟气时经过一次转化后，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。

针对第六节技术要求中，设备选材要求：

低温热回收技术原理就是将吸收了转化一次气后的99%浓硫酸问题提高至190℃以上，再与除盐水换热产生低压蒸汽。一般来说，随着温度的上升，不锈钢在浓硫酸中的耐腐蚀性会降低。但在高温浓硫酸中，温度对不锈钢的耐腐蚀性的影响无一定的规律性。特别是在酸浓接近100%时，温度高达200℃，部分不锈钢的腐蚀速率很低。

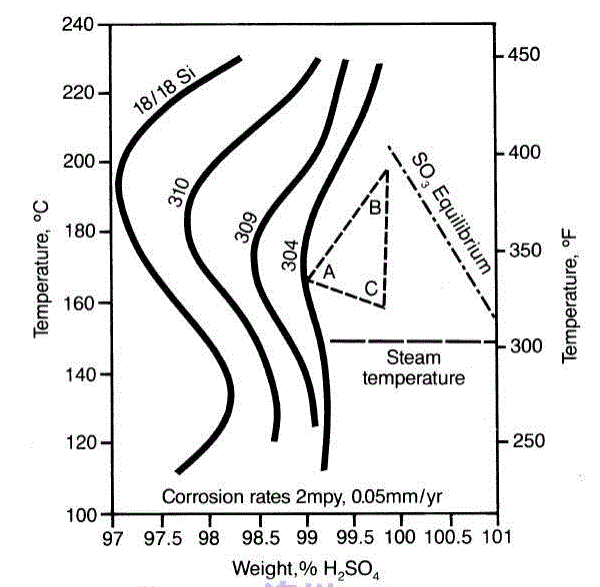
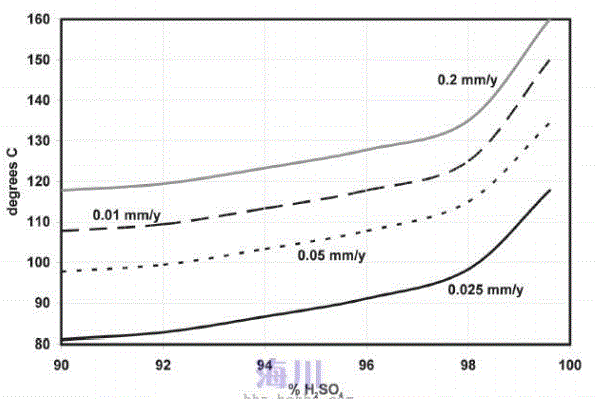


**图1 高硅不锈钢等在高温浓硫酸中的等腐**

**蚀图**

**图2 304、310S、超纯铁素体不锈钢**

**E-brite在高温浓硫酸中的等腐蚀图**



**图3 Zecor合金在高温浓硫酸中的等腐蚀图**

**图4 几种不锈钢在高温浓硫酸中的等腐蚀图**

**表2 98% H2SO4中XDS在不同温度下的腐蚀速率（mm/a）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度/℃ | 80 | 100 | 120 | 150 | 200 |
| XDS-7-2 | 0.060 | 0.048 | 0.073 | 0.056 | 0.095 |
| XDS-8 | 0.28 | 0.48 | 0.50 | 0.98 | 0.075 |

**表3 SX（瑞典）在高温浓硫酸中的腐蚀速率（mm/a）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度/℃ | 110 | 100 | 100 | 110 | 110 | 130 | 150 |
| 浓度/wt% | 95 | 96 | 96 | 98 | 98+SO2 | 98 | 98 |
| 腐蚀速率 | 0.10 | 0.06a | 0.05b | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.08 |

a、铸态；b、焊缝

根据不锈钢材料在高温浓硫酸介质中的等腐蚀图和腐蚀速率表，含硅不锈钢、铁镍基耐腐蚀合金和镍基耐腐蚀合金等材料在高温浓硫酸中表现优异，在低温热回收系统工况下，腐蚀速率均低于5mpy，且在温度与酸浓一定的波动范围内，均能很好地适应，这奠定了低温热回收技术应用的基础。

Lewmet合金是一种铁-镍基耐腐蚀合金，具有良好的耐腐蚀和抗腐蚀性能。SARAMET合金、SX含硅不锈钢、ZeCor合金、XDS高硅奥氏体不锈钢含硅奥氏体不锈钢广泛用于高温浓酸设备制作，310M作为一种奥氏体铬镍不锈钢，其在310SS基础上对部分元素含量进行了调节，在高温浓硫酸介质中也表现出了优良的耐腐蚀性和耐高温性。

针对第六节技术要求中，各个单元工艺参数和设备结构确认：

1、蒸汽喷射单元

根据本项目组各企业运行的低温热回收装置配置及生产关键参数来看，当进转化烟气SO2浓度高于13 %时，进热回收塔前需配置混合烟道，喷吹低压饱和蒸汽。高于13 %浓度的烟气时经过一次转化后，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。喷吹的蒸汽产汽低温热回收系统的蒸汽发生器或脱盐水蒸发器除氧器，压力位于0.1~1.0 MPa之间。当混合烟气底部温度较低时，产生的硫酸会部分冷凝，造成设备腐蚀，过高的温度又引发设备超温腐蚀。综合本项目组企业，配备有混合烟道的低温热回收装置，混合烟道蒸汽喷射加水量控制在系统总水量的30~50 %，其底部温度均控制在270~310 ℃之间。

2、烟气高温吸收单元

高温吸收塔的选型主要考虑节约场地与投资，采用塔槽一体式的设计，占地面积小。塔槽连接处应设置过滤器，避免碎瓷环夹带进入槽内磨损泵叶轮。本体两段填料，既保障了烟气中SO3的充分吸收，也大大节约投资。全塔采用保温棉覆盖保温，减少热辐射。两级进酸采用管槽式分酸器，分布管采用涨管式连接，既保证了循环酸的喷淋密度，也可保障分布管密封效果，避免单纯焊接式分布管根部腐蚀引发的分酸量波动与分布不均等问题。顶部采用纤维除雾器可进一步去除烟气中的细微酸雾，起到保护下游设备的作用。除雾器排液方式采用液埋式，起到优异的液封作用。

根据低温热回收装置采用的耐高温不锈钢的耐腐蚀性能曲线，在系统运行温度下，酸浓控制在接近100%且在很小的范围内变化来说，设备的腐蚀率最低，有利于设备长周期稳定运行。一但酸浓过低，会造成设备的不可逆腐蚀，酸浓过高也会造成酸雾夹带严重，腐蚀下游设备设施。综合本项目组企业，酸浓控制在99.0~99.6%，有利于系统稳定运行。大部分材料的耐温上限均不超过230 ℃，考虑到远离红线控制，本项目组企业均选取高温回酸不超过220 ℃。

高温吸收塔一段SO3吸收率仅95%左右，烟气中尚有大量SO3及夹带的酸雾，二级喷淋酸为98酸，进一步吸收烟气中SO3与酸雾，其浓度在98.2~98.5%之间波动。由于，二段喷淋酸温度较低，综合SO3及酸雾吸收效率与系统产汽率角度。本项目组企业，均控制二级上酸温度为60~75 ℃。

3、蒸汽发生单元

蒸发器是低压除氧水与高温浓硫酸换热产生蒸汽的设备，外部为起到锅炉的作用，高温浓硫酸走内部换热管内。这种结构无传统汽水循环配置的汽包，可进一步降低设备投资。换热管采用整体煨制弯管，可避免焊缝存在的泄漏隐患。酸侧进出口管板设有连接孔板，既起到优良的酸水隔离作用，又起到酸水系统部件的良好连接。

低温位热温度低于200℃，对应最高产汽压力为1.0 MPa。实际运行来看，低温热回收装置产汽压力均不超过1.0 MPa。综合本项目组的企业，配备低温热回收技术后，产汽压力均分布在0.3~1.0 MPa之间。

4、酸浓调节单元

混合器起到高温浓硫酸酸浓调节的目的，干燥酸与脱盐水进入混合器，存在局部酸浓偏低的问题。为保护设备，混合器采用采用不锈钢内衬F4+内置外衬F4钢骨架结构，并在喷射水管道上增加压缩空气或者氮气管，以起到搅拌作用，使水与酸迅速混合。同时，为了干燥酸与水在高温酸中充分混合，进酸向与进水向采用逆向方式。

5、浓酸换热单元

出蒸发器的高温浓酸一部分引出系统与原干吸系统进行串酸来维持酸浓稳定，这部分浓酸温度最高可达180 ℃，具有较高回收利用价值。根据本项目组各企业的实际应用情况来看，各装置均采用换热器与低温介质换热进行回收浓酸中热能，低温介质主要是除氧水、脱盐水或干燥酸，换热设备有除氧水加热器、脱盐水加热器、脱盐水蒸发除氧器以及用于加热干燥酸的酸酸换热器。高温段在管程，低温段在壳程，这种结构仅需重点考虑管程采用耐高温浓硫酸材料，可大大节约设备投资。部分装置配置了脱盐水蒸发除氧器，可以采用这部分热量来加热脱盐水实现除氧的目的。脱盐水蒸发除氧器采用与蒸发器同样的结构形式。在脱盐水蒸发除氧器中，除盐水被加热到104℃，达到除氧目的，压力控制在0.1~0.15 MPa之间即可，产生的蒸汽可用于混合烟道喷射，可避免系统热量流失。

当酸温低于100 ℃时，其热量回收价值相对来说不大。低温热回收系统与干吸系统存在串酸调节，高温循环酸一部分去干燥循环槽及二吸循环槽串酸，从设备投资及热量充分回收的两个角度考虑，建议引出酸温度控制在100 ℃以下。

针对第七节技术指标：

根据本项目组各企业低温热回收装置的运行情况，在蒸发器产汽压力为0.3~1.0 MPa范围内，产汽率为0.35~0.60 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。

补充8、9章。

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50%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8%，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4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 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 kg CO2。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

建议发布6个月后实施。

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12月