

附件 3

**《钢铁工业烧结废气超低排放治理  
工程技术规范（征求意见稿）》  
编制说明**

**《钢铁工业烧结废气超低排放治理工程技术规范》项目组**

**2023 年 12 月**

# 目 录

<b>1 项目背景</b> .....	<b>1</b>
1.1 任务来源 .....	1
1.2 工作过程 .....	1
<b>2 标准制订必要性</b> .....	<b>2</b>
2.1 支撑国家环境管理的相关要求 .....	2
2.2 国家产业政策及行业发展规划的环保要求 .....	2
2.3 部分超低排放治理工程亟待规范 .....	3
<b>3 国内外相关标准研究</b> .....	<b>4</b>
3.1 国外相关标准研究 .....	4
3.2 国内相关标准研究 .....	4
<b>4 钢铁工业烧结废气治理工程现状调研</b> .....	<b>4</b>
4.1 烧结工序源头清洁生产技术应用现状 .....	4
4.2 行业烧结工序末端治理技术应用现状 .....	4
<b>5 标准制修订的基本原则和技术路线</b> .....	<b>5</b>
5.1 基本原则 .....	5
5.2 技术路线 .....	6
5.3 工作方法 .....	7
<b>6 主要技术内容及说明</b> .....	<b>7</b>
6.1 污染物与污染负荷 .....	7
6.2 工艺设计 .....	7
6.3 主要工艺设备和材料 .....	12
6.4 检测与过程控制 .....	13
6.5 主要辅助工程 .....	14
6.6 施工与验收 .....	14
6.7 运行与维护 .....	14
<b>7 标准实施的环境效益与经济技术分析</b> .....	<b>14</b>
<b>8 标准的实施建议</b> .....	<b>15</b>

# 1 项目背景

## 1.1 任务来源

2022 年，生态环境部办公厅印发《关于开展 2022 年度第二批国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2022〕205 号），下达了编制《钢铁工业（烧结）超低排放治理工程技术规范》的任务，由冶金工业规划研究院承担，生态环境部环境工程评估中心为协作单位。项目统一编号：2022-28。

## 1.2 工作过程

2022 年 6 月，项目组在已有工作基础上，对钢铁烧结工序超低排放治理工程启动了广泛调研。根据调研情况，综合考虑工程实施资质、超低排放业绩等因素，依托中冶北方工程技术有限公司、中钢集团天澄环保科技股份有限公司、山东国舜建设集团有限公司、南京泽众环保科技有限公司、广州市华滤环保设备有限公司等单位组建了标准编制技术支撑团队。

2022 年 7 月，生态环境部大气环境司下达了标准制修订项目任务书。

2022 年 8 至 2023 年 2 月，项目组查阅了大量国内外相关文献、标准、超低项目初步设计等资料，筛选出满足超低排放要求的典型技术，梳理重点工艺参数，编制完成标准开题论证报告与草案。

2023 年 4 月 17 日，生态环境部大气环境司在北京组织召开了标准开题论证会，专家组听取了项目组的汇报，经质询、讨论后，一致同意通过本标准的开题论证。专家组认为本标准的制定可为钢铁行业烧结废气超低排放治理工程提供重要的技术支撑，标准材料符合生态环境标准编制要求，内容定位准确，技术路线基本可行；建议进一步明确标准适用范围，梳理标准技术内容，细化相关技术要求，并补充超低排放工程案例。

2023 年 5 至 9 月，项目组开展了针对性地现场补充调研、组织内部专家讨论，完成了标准文本和编制说明征求意见稿初稿。9 月 18 日，项目组召开了标准征求意见稿初稿的专家研讨会，专家组及管理部门参会代表对标准文本及编制说明内容进行了研讨，建议对照《环境工程技术规范制订技术导则》进一步完善文本内容。

2023 年 11 月 2 日，生态环境部大气环境司在北京组织召开了标准征求意见稿技术审查会。会议通过了标准的征求意见稿技术审查，专家组一致认为标准提供的材料齐全、内容完整，符合生态环境标准编制规则，同时建议将标准名称调整为《钢铁工业烧结废气超低排放治理工程

技术规范》，并进一步规范标准文本和编制说明。会后，项目组完成了《钢铁工业烧结废气超低排放治理工程技术规范》（征求意见稿）标准文本和编制说明。

## 2 标准制订必要性

### 2.1 支撑国家环境管理的相关要求

2019年4月，生态环境部等五部委联合印发了《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号，以下简称《意见》），鼓励钢铁企业分阶段分区域完成全厂超低排放改造，提出到2020年底前，重点区域钢铁企业超低排放改造取得明显进展，力争60%左右产能完成改造；到2025年底前，重点区域钢铁企业超低排放改造基本完成，全国力争80%以上产能完成改造。烧结工序作为钢铁企业产排污强度最大的节点，颗粒物、二氧化硫和氮氧化物排放总量可占到全厂总量的45%、65%与60%，是钢铁全流程超低排放的关键环节。

当前，钢铁行业超低排放工作将逐步由重点区域向全国全面展开，与重点区域相比，其他区域企业的情况更加复杂，基础更加薄弱。如何因地制宜选择超低排放可行工艺技术，如何确保超低排放工程的质量将是未来钢铁行业超低排放改造的重点与难点问题。尤其是产排污环节占比最重的烧结工序，迫切需要通过超低排放治理工程技术规范的出台，为企业提供工艺参数可行、达标能力有保障、次生污染控制好的技术支撑，确保我国钢铁烧结工序超低排放工程质量，提升整体排放绩效水平，同时对二噁英类、氟化物等特征污染因子进行高效协同脱除，以高水平超低排放技术支撑国家持续改善生态环境现状的战略布局。

### 2.2 国家产业政策及行业发展规划的环保要求

《产业结构调整指导目录（2019年本）》明确将180平方米以下烧结机（铁合金烧结机、铸造用生铁烧结机除外）作为限制类装备。目前通过全国排污许可证管理平台统计的钢铁行业烧结机数量为580台，处于300平方米以上领先水平的烧结机装备共计154台，占比26.55%；处于180~299平方米先进水平的烧结机装备共计289台，占比49.83%；处于90~179平方米一般水平的烧结机装备共计137台，占比23.62%。根据产业政策，上述180平方米以下的限制类烧结机均需汰小上大，且随着钢铁工业的提质增效，300平米以下的烧结机未来也将逐步置换升级。根据国家《“十四五”原材料工业发展规划》，新建钢铁项目需满足超低排放标准，因此，未来将有超过一半产能的烧结机置换升级项目需要同步配套超低排放治理工程，工程的实施需要本标准作为指导。

## 2.3 部分超低排放治理工程亟待规范

### 2.3.1 污染物源强及设计参数确定不当

部分环保工程公司过分夸大其治理技术的污染物去除效率，未对企业污染物负荷等设计参数的合理性充分调研，导致工程设计参数取值较小，“小马拉大车”，存在无法长期稳定超低排放的风险，特别是当原燃料配比与生产负荷发生较大波动时，污染治理设施去除效率的设计裕度无法满足要求，个别企业采取临时加大脱硫剂、脱硝剂投加量应付检查，甚至出现监测数据造假等严重问题。

### 2.3.2 部分工程缺乏源头控制和系统统筹

钢铁企业在实施超低排放改造工程时，往往忽视了烧结机机头静电除尘器等上游关键环节提标改造，再加上烧结配料回配钾、钠等碱金属除尘灰以及含油污泥较多，导致出现具有粘结性的碱金属富集、烧结“糊篦条”、烧结矿质量下降、脱硝催化剂寿命缩短、机头烟气中 VOCs 和二噁英类物质的生成量增加、二噁英类物质和重金属等有毒有害物质进入脱硫副产物等问题。

### 2.3.3 少数工程技术路线选择不当

一些钢铁企业在选择超低排放治理工艺时，由于缺乏可供参考的指导性技术规范，在采购招标时选择了反应机理不明、减排效果未得到可靠验证的技术路线，从而造成治理工程投运后，无法满足稳定超低排放的要求，项目推倒重建；或者进行二次投资，选择其他工艺串/并联处理，虽然整改后可满足超低限值要求，但多套治理设施并用，能耗物耗增量都不符合当前钢铁行业减污降碳的发展要求。

### 2.3.4 工程主要设备与材料选型不当

由于缺乏指导性的工程技术规范，一些钢铁企业在工程招投标时，难以合理设定主要设备和材料选型要求，导致出现了一些低质低价的工程，工程施工方为降低成本，在关键设计参数、主要设备与材质选型、检测与过程控制等方面减配，投运后出现核心设备频繁损坏、故障率高、运行工况不稳定与数据保存周期短等问题。一些超低排放改造工程在设计施工以及运维过程中未对建构筑物的载荷、有害气体的泄漏检测、设备防腐等相关因素进行重点考虑，留下安全风险隐患。

### 2.3.5 二次污染问题未得到有效重视

烧结机机头烟气湿法脱硫废水未经氧化固硫处理直接用于高炉冲渣或钢渣焖渣，以及半干法脱硫灰未妥善处置均存在二氧化硫再次分解排放的风险；活性炭脱硫脱硝一体化系统也存在

制酸富硫尾气外排等风险；脱硝工艺普遍存在过量喷氨现象，导致出现氨逃逸以及生成铵盐等可凝结颗粒物的问题，需引起高度重视。

### 3 国内外相关标准研究

#### 3.1 国外相关标准研究

美国钢铁企业气体污染物排放（针对颗粒物）的标准非常详细，除有国家排放标准外，各州均对区域内各企业的不同工序、不同排放点制定了排放标准，对于不同钢铁企业的同一类排放点，各州污染物排放标准的差距比较大。欧盟委员会发布了污染综合防治指令，提出建立最佳可用技术体系，设立专门的欧盟综合性污染防治控制局来制定、评估及更新基于行业的最佳可行技术指南；世界银行下属机构国际金融公司制定的《联合炼钢厂环境、健康与安全指南》适用于烧结矿生产过程中产生的废气、废水和固体废料种类识别与防控措施的确立。但由于国外钢铁企业均未执行超低排放，因此也未制定过类似的工程技术规范。

#### 3.2 国内相关标准研究

目前，我国已出台的相关标准有《钢铁工业除尘工程技术规范》（HJ 435-2008）、《钢铁工业烧结机烟气脱硫工程技术规范 湿式石灰石/石灰—石膏法》（HJ 2052-2016）、《烟气循环流化床法脱硫工程通用技术规范》（HJ 178-2018）、《石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程通用技术规范》（HJ 179-2018）。但由于发布时间早于《意见》，部分要求不能满足超低排放工程设计要求。

## 4 钢铁工业烧结废气治理工程现状调研

### 4.1 烧结工序源头清洁生产技术应用现状

目前钢铁行业采用的烧结工序源头清洁生产减排技术主要包括：厚料层烧结技术、漏风率控制技术、燃气喷吹补热技术、烧结烟气循环技术、余热回收技术、料面喷吹蒸汽、富氧烧结等源头污染清洁生产技术。通过源头减排技术的应用，减少污染物排放 30%以上。

### 4.2 行业烧结工序末端治理技术应用现状

#### 4.2.1 烧结机机头烟气治理系统

##### (1) 除尘系统

目前行业中烧结机机头烟气一次除尘以静电除尘为主，占比 99%以上；近年来，也有袋式除尘应用的案例。湿法脱硫系统后的二次除尘一般采用湿式静电除尘，半干法脱硫系统后的二次除尘一般采用袋式除尘。

## （2）脱硫系统

烧结机机头烟气脱硫通常采用石灰/石灰石—石膏湿法脱硫、循环流化床半干法脱硫（旋转喷雾、密相干塔法等其他半干法脱硫）、活性炭一体化干法脱硫工艺技术。其中石灰/石灰石—石膏湿法脱硫占比 47.75%，循环流化床半干法脱硫占比 20.78%，旋转喷雾半干法脱硫占比 10.39%，活性炭法占比 12.87%。

## （3）脱硝系统

烧结机机头烟气脱硝通常采用 SCR 脱硝、活性炭一体化脱硝或两者组合工艺技术。目前行业中 82.25%选择 SCR 技术、15.66%的企业选择活性炭一体化技术。

### 4.2.2 烧结机尾与其他环境除尘治理系统

采用袋式除尘、折叠滤筒除尘、电袋复合除尘工艺技术实现对烧结机尾与配料、环冷、成品、整粒筛分等其他烟气的高效除尘净化。经过对近三年实施的工程案例进行调研，目前三种技术应用企业均能保证上述区域的环境除尘装置出口颗粒物浓度稳定满足  $10 \text{ mg/m}^3$  的超低排放限值要求。其中折叠滤筒除尘适合场地条件受限，无法扩充仓室但仍需通过增大除尘过滤面积，从而降低过滤风速提升除尘效率的现场使用；电袋复合除尘器适合现有企业静电除尘改造，在保留第一或一二电场的条件下，对后续电场进行袋式改造。

### 4.2.3 含湿废气除尘治理系统

采用高效湿式除尘系统或热风混合袋式除尘、湿式静电除尘技术来处理烧结一次与二次混合机、混合料胶带机转运点及梭式布料等含尘湿蒸汽节点的无组织排放控制问题，将对外逸散的含湿粉尘进行集中收集与深度净化。其中热风混合的袋式除尘和湿式静电除尘技术对粉尘的截留脱除效果更强，适宜在入口颗粒物浓度较高的工况场景予以应用。

## 5 标准制修订的基本原则和技术路线

### 5.1 基本原则

#### （1）政策相符原则

本标准符合《中华人民共和国环境保护法》《意见》《减污降碳协同增效实施方案》《“十四五”原材料工业发展规划》等法律法规与政策监管要求。

#### （2）综合防治原则

本标准综合考虑废气污染物超低排放改造不同工段的协同去除效应，及副产物、还原剂等污染因子跨介质转移等。

### (3) 全面覆盖原则

本标准的制订贯穿烧结生产的全过程,所列超低排放治理工艺包含了生产工艺过程源头污染物减量技术、污染物末端治理技术,可达到主要大气污染物超低排放限值要求。

### (4) 客观公正原则

充分借鉴欧盟、美国等发达国家在治理工艺筛选等方面的成功经验,结合我国实际情况,依托已制订的清洁生产、循环经济、节能减排、污染物末端治理等方面的工艺技术要求,遵循科学、客观和公正的原则,制定本工程技术规范。并且本标准中涉及的所有技术名称,全部遵循技术的原理进行命名,不采用任何企业商业性质标识对工艺命名。

### (5) 动态调整原则

本标准将根据国家环境管理工作需要和钢铁行业超低排放治理工艺发展适时修订。

## 5.2 技术路线

参考《环境工程技术规范制订技术导则》(HJ 526-2010)的有关规定,在对国内外资料广泛调研、排污许可与监测数据梳理,以及对具有代表性的钢铁企业现场调研的基础上,编制本标准,技术路线详见图 5-1。本标准将规范钢铁工业烧结废气治理技术的工程设计、施工、运行、维护、管理等方面的技术要求。

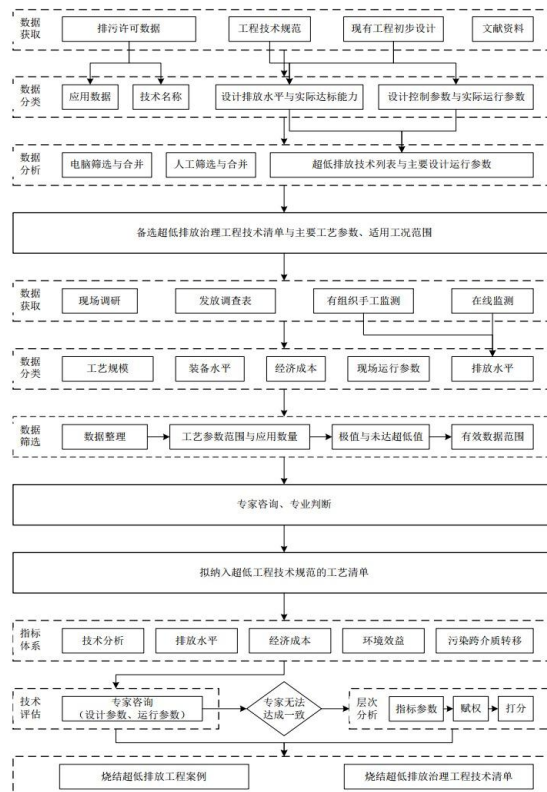


图 5-1 技术路线图



### 5.3 工作方法

#### (1) 资料收集与企业调查

主要通过资料收集、现场调研、发放调查表及从排污许可数据库获取等方式获得钢铁工业烧结工序主要生产装备、污染物类型及产污环节、超低排放改造应用技术现状。调查收集目标企业产、排污节点实际废气污染物排放浓度及运维管理要求的一手数据。现场调研重点考察烧结生产中各类废气的来源、组成、受控污染物、清洁生产与末端治理工艺技术、工艺流程、实际运行状况和处理效果等。

#### (2) 专家咨询与研讨

通过专家咨询与研讨的形式，了解钢铁工业烧结超低排放技术的实际应用概况、废气污染物排放现状、行业发展趋势，确定超低排放工程技术及组合工艺类型及设计、运行等重要参数。

#### (3) 在线数据分析与补充测试

选取典型超低排放技术与组合工艺，分析企业相应在线监测和手工监测数据评估该技术的排放水平，对重要节点的废气污染物排放水平进行验证。

## 6 主要技术内容及说明

### 6.1 污染物与污染负荷

本章节对烧结废气中各工段污染物的产生环节、种类等进行了说明，同时对烧结废气超低排放工程设计所需要的详细参数进行了具体规定，包括所需资料种类及来源、设计裕度选取、相关计算方法、经验值及依据等。

### 6.2 工艺设计

本章节对烧结废气超低排放工艺设计的一般规定、超低排放技术路线选择、除尘工艺设计要求、脱硫工艺设计要求、脱硝工艺设计要求等作出了详细规定。

#### 6.2.1 超低排放技术路线选择

##### 6.2.1.1 烧结机机头烟气超低排放工艺路线

(1) 本章节工艺路线的选取原则兼顾技术的成熟性、工况波动的适应性、协同处理能力与二次污染控制效果，所以在现场方案选择上提供了两大类组合工艺路线，一类是基于 SCR 脱硝的工艺组合技术，一类是活性炭脱硫脱硝一体化技术。

脱硝采用 SCR 工艺时，综合考虑烧结机的生产工况和污染物排放特征，采用工艺一次除尘+SCR 脱硝+脱硫+除尘是能耗最低、氨逃逸和二次污染最少的工艺路线组合，因此新改扩建烧结机宜优先选择。SCR 脱硝前置不仅可减少加热烟气带来的能耗上升问题，亦可通过脱硝

后串接脱硫、除尘设施来对脱硝反应过程中过量的氨以及可凝结颗粒物进行二次吸收；SCR脱硝前置还可协同去除二噁英类物质，避免其进入脱硫副产物。新改扩建烧结机可通过强化工艺一次除尘系统的设计和运维，确保除尘器出口粉尘浓度稳定达设计值，并辅以烟气调质技术来解决前置SCR脱硝工艺可能存在的碱金属粘附堵塞问题。

活性炭脱硫脱硝一体化技术通过一段脱硫除尘与二段脱硝的组合工艺，同时利用活性炭材料本身的吸附与催化能力，高效去除超低管控的废气污染物与特征污染物。此工艺目前行业中部分案例因为系统工况中颗粒物浓度较高或地方有对企业特殊时段加严管控的原因，增建了袋式除尘器，所以标准文本中将二次除尘作为可选的设施列入此工艺路线中。

对于部分现有烧结机由于工艺一次除尘器老旧，且缺乏有效维护，导致除尘效率较低，对后续SCR脱硝设施影响较大的，或者已建成干式一次除尘和脱硫、二次除尘设施的烧结机只需要增加SCR脱硝设施的，也可采用工艺一次除尘+脱硫+除尘+SCR脱硝的工艺路线组合，提高脱硝设施运行的稳定性，降低工程改造投资。但此种工艺路线因为没有后续工艺可协同处理逃逸的氨和可凝结颗粒物，所以对脱硝段喷氨量要求较高，企业需按合理的氨氮比调整喷氨量，同时应对工艺一次除尘进行提效改造，避免过多的有害成分进入脱硫副产物。

### （2）除尘工艺选择原则

钢铁烧结机机头烟气工艺除尘即一次除尘，目前行业中99%以上均为干式静电除尘器，长期以来出口浓度按 $50\text{ mg/m}^3$ 设计，已远远落后于技术发展水平和环境保护需求，通过提高设计参数，强化末电场的流场设计和电源供电方式等，出口浓度可稳定低于 $30\text{ mg/m}^3$ 。近年来开发的袋式除尘器，其案例除尘效果可满足出口颗粒物排放浓度小于 $10\text{ mg/m}^3$ 的设计要求。

当前应用案例最广的石灰/石灰石-石膏湿法脱硫后一般采用湿式静电除尘器作为含湿烟气二次除尘设施，实现对烟气中原有颗粒物与塔内裹挟的部分循环浆液固体物的深度净化，达到超低排放限值要求；半干法脱硫因出口烟气温度均在露点以上，因此均采用袋式除尘作为二次除尘，用来脱除烟气中原有颗粒物与烟气中裹挟的循环灰；活性炭脱硫脱硝一体化设施通过炭基材料可实现对颗粒物的截留，为进一步减排颗粒物，也可在活性炭脱硫脱硝一体化设施后再增设袋式除尘器。

### （3）脱硫工艺选择原则

钢铁企业根据所在区域、所使用原燃料类型、现有基础条件等因地制宜选择脱硫工艺。一是对于使用含硫率低于0.06%低硫铁精矿的烧结机，机头烟气中 $\text{SO}_2$ 浓度基本在 $1000\text{ mg/m}^3$ 以下，无论是石灰/石灰石湿法脱硫，还是循环流化床、旋转喷雾与密相干塔等半干法脱硫，亦或活性炭脱硫脱硝一体化技术均可实现超低排放；二是对于使用含硫率低于0.1%铁精矿的烧结机， $\text{SO}_2$ 浓度一般不高于 $1500\text{ mg/m}^3$ ，为达超低限值要求，脱硫效率需要高于98%，旋转喷雾与密相干塔等半干法脱硫难以满足要求，宜选用石灰/石灰石湿法脱硫、循环流化床半干法脱硫和活性炭脱硫脱硝一体化干法技术；三是对于主要原料以硫含量较高的铁精粉和高硫煤燃料为主的钢企， $\text{SO}_2$ 浓度在 $1500\sim 3000\text{ mg/m}^3$ ，需要选用石灰/石灰石-石膏湿法脱硫（复

合塔)、活性炭脱硫脱硝一体化干法工艺;四是对于使用特殊高硫矿的烧结机,SO<sub>2</sub>浓度在3000 mg/m<sup>3</sup>以上,宜选用脱硫效率大于99%的石灰/石灰石-石膏湿法脱硫(pH值分区)等高效脱硫工艺。

#### (4) 脱硝工艺选择原则

烧结机头烟气由于燃烧温度低,NO<sub>x</sub>主要由燃料型组成。一般使用低挥发分的全焦粉作为燃料的烧结机,在采用低温烧结等清洁生产工艺时,脱硝反应器入口NO<sub>x</sub>浓度可在200 mg/m<sup>3</sup>左右,SCR脱硝系统设计时采用2用1备的催化剂布设形式可满足超低排放要求;对于NO<sub>x</sub>入口值大于200 mg/m<sup>3</sup>的情形,SCR脱硝系统催化剂均应按3用1备来设置。针对活性炭脱硫脱硝一体化工艺,本标准通过调研行业内现有案例,并结合工程项目初步设计进行考量,将烟气空塔停留时间作为影响活性炭脱除NO<sub>x</sub>效率的重要参数,本节中通过划分NO<sub>x</sub>浓度的三个区间,分别给出了达到超低排放需保证的反应器内烟气空塔停留时间。

#### 6.2.1.2 其他含尘废气除尘工艺路线

本章节主要给出了除烧结机机头烟气以外的烧结工序其他环境除尘超低排放工艺路线。通过对已完成超低排放企业开展现场调研,新建烧结机与大部分现有烧结机改造过程中,均将燃料熔剂破碎筛分、烧结机尾、配料、整粒、成品筛分等节点含尘废气配套建设袋式除尘器,可满足超低限值要求。此外,对于一些现场占地紧张,工序内并无空地的老厂改造项目,现场采用将原有静电除尘的部分仓室改造为滤袋的电袋复合除尘器,或直接在增加仓室结构的前提下,改造为折叠滤筒除尘器,利用滤筒单位体积内更大的过滤面积来降低系统过滤风速,提升烟粉尘过滤效果,均可稳定满足超低排放限值要求。

针对烧结混料、梭式布料等含湿废气节点,现有企业在改造中目前主要应用下列三种形式:

(1) 目前绝大多数钢企在超低改造过程中通过高效湿式除尘器的气液界面分离技术实现对废气中颗粒物的有效脱除,可达到10 mg/m<sup>3</sup>的超低限值要求。

(2) 部分企业为了确保超低达标的长效稳定性,采用了粉尘净化效果更佳的湿式静电除尘工艺,在气液分离颗粒物后,通过电场荷电进一步除尘后外排。

(3) 目前部分企业采用200°C~300°C的热风混入含湿废气的形式,并作保温处理,将废气温度提升到露点温度以上进入袋式除尘器。从运行效果看,此工艺也可稳定达超低限值运行。

### 6.2.2 除尘工艺设计要求

#### 6.2.2.1 干式电除尘器

本节对于烧结机机头烟气一次除尘中干式电除尘器的基本要求可直接参照JB/T 5910、JB/T 11267两个标准要求,鉴于烧结机机头烟气中颗粒物比电阻较高,钾、钠等碱金属占比较高,所以本部分对干式电除尘器的比集尘面积、电场烟气流速和同极间距参数均给出了指导性的指标要求,特别是对末电场的电源形式、阳极板形式等方面提出了进一步的规定。

本节还规定了振打清灰系统的自动控制要求,根据工况随时调整振打器的工作时间与各电场仓室的振打顺序,从而保证系统运行过程中长效保持较高的除尘效率。

### 6.2.2.2 湿式静电除尘器

湿法脱硫后用于颗粒物深度治理的湿式静电除尘器一般采用管式,比集尘面积和电场荷电能力是决定湿式静电除尘效果的重要工艺参数,传统的 1 或 2 电场的布设形式较难满足超低排放要求,因此本节对于需要较高除尘效率的节点提出需要设置 2 个以上电场的设计要求,同时每个电场的比集尘面积给出宜大于  $20 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$ 的设计要求。

此外,湿式静电除尘器的运行温度也直接影响除尘系统的运行效果,因此本部分提出湿式静电除尘装置入口烟气温度宜在  $40^\circ\text{C}\sim 70^\circ\text{C}$ 范围的设计要求,保证除尘系统稳定运行。

### 6.2.2.3 袋式除尘器

本节中对于袋式除尘器的选型要求直接参照燃煤电厂超低排放烟气治理工程技术规范相应章节执行。本部分主要结合调研过程中烧结机机头一次除尘采用布袋除尘器需进行特殊设计的内容,如烧结机机头布袋除尘器需采用顶部垂直进风方式来防止火星迸溅自燃、粗颗粒磨蚀布袋等进行了规定。此外,对于滤筒的骨架和滤料选择,对滤筒的克重、制作工艺要求、褶皱数、骨架抗压与开孔率、使用寿命等都逐一进行了详细的指标要求,以保证项目可满足超低限值要求。

### 6.2.2.4 湿式除尘器

本节主要通过现场实例调研,对烧结混料、梭式布料等含湿烟气处理所用的湿式除尘器进行约束性指标的规定。依靠气液分离除尘的工艺,需保证喷淋过程中适宜的烟气流速与除雾单元的风速值,同时喷淋层覆盖率指标直接影响液滴对废气中颗粒物的截留效果。

### 6.2.2.5 二次污染控制及其他

本节主要对于烧结机头烟气一次除尘灰的分类处置提出明确规定,通过调研发现烧结机头烟气多采用三/四电场静电除尘器,其中一、二电场捕集的大部分为粒径大、比重高的含铁除尘灰,可直接回用,而三、四电场多为高比电阻的富含钾钠碱金属的细除尘灰,直接返回烧结配料再次焙烧,会产生糊台车篦条、粘附下游脱硝催化剂等隐患,不利于生产与环保治理设施的正常运行,因此特别提出上述两类除尘灰应分离碱金属后再返生产利用。

## 6.2.3 脱硫工艺设计要求

### 6.2.3.1 工艺流程

本节给出了可满足超低排放限值要求的湿法、半干法和干法三类烧结机头烟气脱硫形式,其中石灰/石灰石-石膏湿法脱硫与循环流化床半干法脱硫的工艺流程可直接参照 HJ 2053 和 HJ 178。本标准主要对旋转喷雾法和密相干塔法,以及活性炭脱硫脱硝一体化超低排放技术工艺流程进行了图示描述。

### 6.2.3.2 石灰/石灰石-石膏湿法脱硫

烧结机机头烟气石灰/石灰石-石膏湿法脱硫技术应用较为广泛,与燃煤电厂脱硫技术没有本质差别,因此本部分直接引用现有 HJ/T 179、HJ 2052 和 HJ 2053 的设计要求。本章节结合钢铁企业现场脱硫废水难于处理的现状,并结合烟气进入脱硫塔前采用脱硫废水对烟气降温

的案例，提出宜采用脱硫废水喷淋蒸发冷却来降低烟气温度，同时解决湿法脱硫废水问题。

### 6.2.3.3 半干法脱硫工艺

#### (1) 循环流化床法脱硫

对于调研中在行业中超低排放改造应用占比较高的循环流化床半干法脱硫工艺，可参照现有通用技术与燃煤电厂超低改造技术要求，因此本章节直接引用 HJ 178 和 HJ 2053 的规定。

#### (2) 旋转喷雾法和密相干塔半干法脱硫工艺

本部分主要考虑半干法工艺都需喷水降温以及串接布袋二次除尘器进行颗粒物深度净化，因此在脱硫入口烟温上提出需大于 100℃ 的设计要求，确保滤料与骨架不会出现结块、腐蚀等问题。需重点规范的设计参数一是通过给定钙基脱硫剂的粒度保证其反应活性；二是通过规定烟气停留时间和塔内烟气流速来确保机头烟气中 SO<sub>2</sub> 与钙基脱硫剂接触时间；三是通过规定脱硫塔系统压损的基准值，便于用户单位及时通过塔阻变化来及时发现系统内结垢与堵塞等问题的发生。

### 6.2.3.4 活性炭脱硫脱硝一体化工艺

(1) 活性炭性能直接影响对 SO<sub>2</sub> 和颗粒物的吸附、截留能力，因此在采购时本标准要求应满足 GB/T 30201 和 GB/T 35254 相关要求。活性炭运行过程中的损耗率也作为评价工艺设计规范性与运行稳定性的重要指标。

(2) 烟气系统中主要考虑净化塔入口烟气温度既要高于露点温度防止出现活性炭板结，又要考虑活性炭存在飞温自燃的风险。因此，本部分给出了 100℃~140℃ 的入口安全烟温范围，并给出通过间接换热或直接冷却降温的不同类型降烟温方式供企业选择。

(3) 净化反应系统可分为脱硫段和脱硝段，本节中提出的分塔设计要求主要是便于各系统独立检修，与发生故障时可独立封闭任一模块而不影响其他系统单元的稳定运行。在进出口装置方面，提出了双旋转阀的设计要求，采用惰性气体气封，防止空气进入导致自燃，本部分也规定了床层温度不超 145℃ 的设计要求。

(4) 解吸系统作为活性炭吸附 SO<sub>2</sub> 饱和后的活化再生装置，本部分对解吸能力、解吸温度、解吸时间等要素均进行了规定，保证系统投运后可获得良好的硫解吸再生能力。对于解吸系统热源，调研企业均采用燃气热风炉，且考虑到此部分气体燃料绝大部分未经过源头净化处理，不适于对空直排，所以要求高温烟气宜循环使用。

(5) 活性炭输送系统是否稳定运行是影响脱硫与脱硝段反应效果的重要因素。因此，结合现场调研情况，本部分对输送系统的设计能力、输送设备与方式、储料仓储存能力、筛下物活性炭粉输送方式、安全储存条件等都给出了明确的选型与设计内容要求。

(6) 活性炭脱硫脱硝一体化工艺的副产物制备一般为浓硫酸与焦亚硫酸钠两类产品，本节规定了两类副产物成品制备需满足国家与行业标准，有资源利用或外售价值，从而避免因副产物质量原因成为固废甚至危废。此外，无论浓硫酸还是焦亚硫酸钠制备后的酸性尾气均不可对空直排，本标准明确提及了富硫尾气需返回脱硫段，经现有脱硫设施达标处理后外排。

### 6.2.3.5 二次污染控制及其他

本节对机头烟气脱硫工艺的二次污染控制措施通用要求参照 HJ 2053 的相关规定。本标准主要对于出烧结工序的脱硫废水要求经处理后优先回用,不能直排至炼铁冲渣或钢渣处理工序串级利用进行了规定。此外,对于活性炭脱硫脱硝一体化工艺,无论副产物制备选择制浓硫酸还是焦亚硫酸钠,都存在富硫尾气的外排问题,因此本部分提出富硫尾气应返回系统中经现有脱硫设施协同处理后外排。

## 6.2.4 脱硝工艺设计要求

### 6.2.4.1 工艺流程

本节主要对 SCR 脱硝工艺流程进行了图示描述,活性炭脱硫脱硝一体化超低排放技术工艺流程参照脱硫工艺的流程图。

### 6.2.4.2 SCR 脱硝

烧结机机头烟气 SCR 脱硝技术与燃煤电厂脱硫技术无本质差别,因此本部分一些通用要求直接引用现有 HJ 562 和 HJ 2053 的设计要求。本章节结合钢铁企业现场实际设计与运行情况,主要从催化剂规格、物理性能参数、化学使用寿命、前置脱硝调质剂用量与塔内停留时间、补热热风炉、GGH 换热装置与清灰方式等进行了部分特殊设计要求的规定。

### 6.2.4.3 活性炭脱硫脱硝一体化工艺

活性炭脱硫脱硝一体化超低排放技术工艺的设计要求可直接参照文中 6.2.3.4 小节的内容。

### 6.2.4.4 二次污染控制及其他

本节对烧结机机头烟气脱硝工艺的二次污染控制措施通用要求直接参照 HJ 2053 的相关规定。本标准主要针对因喷氨过量导致的氨逃逸和可凝结颗粒物问题,提出需严格控制氨逃逸浓度限值要求。

## 6.3 主要工艺设备和材料

本章节对烧结废气超低排放工艺主要设备和材料的一般规定、除尘工艺主要设备和材料、脱硫工艺主要设备和材料、脱硝工艺主要设备和材料配置要求等作出了详细规定。

### 6.3.1 除尘工艺主要设备和材料

#### 6.3.1.1 干式电除尘器

对于一次除尘的干式电除尘器,本节通用要求引用机械行业现有标准。只是针对烧结机机头烟气中碱金属等高比电阻细颗粒物占比较大的实际工况,在本部分提出宜采用芒刺型阴极线、末级电场宜采用一体式冲压加工的通透式 W 型阳极板的要求,强化电除尘器本体对烟尘的荷电截留能力。标准中提出的顶部宜设有辅助声波清灰装置的要求,主要是参考实际运行案例中清灰装置的配套运行效果,可对除尘系统内部的清灰能力起到一定的提升作用。

#### 6.3.1.2 袋式除尘器

本章节主要针对机头一次除尘所采用布袋除尘器的使用情形,从除尘器本体材质、耐压、

关键部件耐蚀与耐高温要求，火星捕集功能、氮封防火，滤料的耐高温、耐腐蚀、阻燃等要求予以提出，从除尘达标效果与安全运行维度全面考虑。此外，滤筒骨架材质、制作工艺及耐高温耐蚀的要求，同样是基于实际工程案例情况总结提炼，以确保除尘系统的整体性能。

### **6.3.1.3 湿式除尘器**

本节主要针对湿式除尘器本体材质选型、除尘器内部接触腐蚀性介质部位的防腐、喷淋管道与喷嘴材质进行了明确要求，保证治理设施的使用寿命与安全稳定运行。

## **6.3.2 脱硫工艺主要设备和材料**

### **6.3.2.1 石灰/石灰石-石膏湿法脱硫**

对于石灰/石灰石-石膏湿法脱硫的主要设备和材料无特殊要求，均可参照现有标准直接引用。

### **6.3.2.2 半干法脱硫**

#### **6.3.2.2.1 循环流化床法脱硫**

对于循环流化床法脱硫的主要设备和材料无特殊要求，均可参照现有标准直接引用。

#### **6.3.2.2.2 旋转喷雾和密相干塔半干法脱硫**

本节对于旋转喷雾和密相干塔两类半干法脱硫工艺的脱硫塔材质选型、雾化器或循环灰输送装置的材质选型、防腐涂层的设置要求均进行了规定。

### **6.3.2.3 活性炭脱硫脱硝一体化工艺**

本节主要参照现有工程案例对活性炭脱硫脱硝一体化的净化塔、再生塔及物料输送设备进行了规定，包括净化塔的承压、泄压、本体保温材质选材与规格、装填料设备要求等，再生塔的装置气密性、保温材质规格等。对于再生后输送富硫气体的管道，本部分结合现场实际设计要求对输送管道统一提出应选择ND钢或不锈钢的防腐性能要求，且阀门材质应不低于S30408的防腐要求；物料输送设备的设计需考虑系统中粉焦的分离、防堵等。

## **6.3.3 脱硝工艺主要设备和材料**

### **6.3.3.1 SCR 脱硝系统**

对于SCR脱硝系统的主要设备和材料要求均可参照现有标准的设计内容，重点在标准中强调了还原剂氨区应严格禁铜的安全管理要求，避免发生氨泄漏。

### **6.3.3.2 活性炭脱硫脱硝一体化工艺**

活性炭脱硫脱硝一体化系统的主要设备和材料设计要求可直接参照文中6.3.2.3小节的内容。

## **6.4 检测与过程控制**

本章节给出检测与过程控制的基本原则，主要涉及超低排放设施与生产主体设备的同步运行要求、数据存储时间与同屏展示功能、控制系统配置要求、污染源监测要求、仪表准确度等。此外，按除尘、脱硫、脱硝工艺控制系统分别对上述工艺的检测内容、检测手段、过程控制内

容进行了规定。对于活性炭脱硫脱硝一体化工艺暂时无国行标可引用参照的工艺，本标准重点对热风炉火焰检测装置和安全检测连锁系统配置要求、温度测量仪的设置要求、压力检测要求、物料输送与反应塔间的连锁控制等进行了逐一的规定，确保系统检测与过程控制可满足超低排放稳定运行要求。

## 6.5 主要辅助工程

### 6.5.1 除尘工艺控制系统

电气、建筑结构、压缩空气、采暖通风和给排水工程，均随工艺系统配套，无特殊规定，直接引用了 HJ 2039 的相关要求。其他除尘工艺辅助系统的通用要求引用了 HJ 2053 的规定。

### 6.5.2 脱硫工艺控制系统

石灰/石灰石—石膏湿法脱硫与循环流化床法脱硫辅助系统本部分直接引用了 HJ 2053 和 HJ 178 的相关规定；其他半干法脱硫系统的土建结构、电气、采暖通风、给排水及消防系统，均随工艺系统配套，参照 HJ 178 的有关规定；活性炭脱硫脱硝一体化系统中氨站的设置引用 GB/T 12801 的相关内容。对物料输送、电气仪表、加热燃烧等辅助系统均随工艺系统配套，本标准提出了需具备中控系统远程与现场就地操作能力的功能要求。

### 6.5.3 脱硝工艺控制系统

SCR 脱硝辅助系统要求直接引用 HJ 2053 的相关规定；活性炭脱硝系统辅助工程要求参照文中 6.5.2 的相应内容。

## 6.6 施工与验收

本部分规定了超低排放工程施工与竣工验收的基本原则，超低排放工程的施工与竣工验收主要参考现行标准、规范，在此部分已被详细列出。环保调试验收过程中的问题处理、建设单位针对施工现场的项目管理机制与机构设置要求，在文本中均进行了明确表述。

## 6.7 运行与维护

本部分从一般规定、除尘、脱硫、脱硝工艺系统四个方面分别提出了运行和维护的要求。根据超低排放工程实践情况，超低排放工程应作为一个整体，各设施之间与烧结主机系统一起应统筹考虑其协调运行，以降低互相之间的不利影响，并尽可能发挥协同控制效应，因此一般规定提出了明确的制度管理要求。本部分从设备启动、停运、运行记录、日常及定期维护内容、质检等方面对除尘、脱硫、脱硝工艺系统的运行、维护提出了进一步具体要求。

## 7 标准实施的环境效益与经济技术分析

钢铁行业烧结废气排放的污染物源较多，各污染源排放的废气性质与强度均存在较大差异，因此相应的废气治理技术也不同，需要针对超低限值达标要求选择适宜的方式予以治理，同时还需保证系统安全稳定运行。本标准涉及的烧结工序主要污染物有颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、二噁英等。随着国家超低排放改造意见的出台，烧结工序各节点排放限值要求进一步加严，目



前迫切需要整理和规范成熟稳定、经济可行的废气源头减量与末端治理技术。本规范的实施可促进钢铁行业烧结工序环保技术与绩效管理水平的全面提高,为烧结废气治理达标排放提供坚实的技术支持,通过从源头减排控制到废气末端处理的系统统筹,以减污降碳协同增效为总体目标,兼顾解决了超低排放改造过程中的二次污染问题,具有良好的环境正效益。同时,通过本标准的实施,可避免钢铁企业在开展烧结废气超低排放改造时,由于工艺路线选择不当、设备选型不合理等导致的重复投资,因此对于行业发展也具有一定的经济效益。

## 8 标准的实施建议

本标准作为我国环境技术管理体系中的一部分,在编制过程中,有关条款直接引用了现有国家标准或行业标准的内容,尽量避免重复,力求简化。内容上力求突出钢铁工业烧结废气处理工程特有的技术要求,层次上尽量体现与各标准之间的衔接。因本标准为首次制定,实施一段时间后,根据反馈的问题和技术进步情况,进行修订完善、更新标准的内容。其他建议如下:

(1) 加大宣贯培训。本标准发布实施后,建议生态环境主管部门加大宣贯力度,组织执法与环保管理部门、钢铁企业排污单位相关人员开展培训,使管理部门和排污单位尽快掌握本标准要求,更好指导环境管理和污染防治实践活动。

(2) 加强超低排放与低碳协同发展。国家加速推进钢铁企业超低排放改造进程,展现奖优罚劣、鼓励先进的良好导向。同时,应继续加强低碳与超低排放的协同作用,出台激励政策,鼓励企业多应用烧结清洁生产源头减污措施,降低末端治理的碳排放增量,尽可能地实现污染物减量的同时少增碳甚至总体不增碳,为钢铁工业“十四五”期间节能降碳,全力完成“3060”碳达峰与碳中和的低碳目标打下坚实基础。