

# 《钢铁工业大气污染物排放标准》

## 编制说明

(征求意见稿)

标准编制组

2021年5月

# 目 录

<b>1 项目背景</b> .....	<b>3</b>
1.1 任务来源.....	3
1.2 主要工作过程.....	3
<b>2 钢铁工业现状及发展趋势</b> .....	<b>7</b>
2.1 江苏省钢铁工业现状及发展.....	7
2.1.1 行业现状.....	7
2.1.2 企业分布.....	8
2.1.3 发展趋势.....	9
2.2 国际钢铁行业现状及发展.....	10
2.2.1 国际粗钢产业现状.....	10
2.2.2 国际钢铁行业发展趋势.....	10
<b>3 标准制定的必要性</b> .....	<b>11</b>
3.1 国家及生态环境主管部门相关要求.....	11
3.1.1 国家对生态环境及本行业的相关要求.....	11
3.1.2 国民经济和社会发展五年规划中对本行业的要求.....	11
3.1.3 国家生态环境保护五年规划中有关本行业的要求.....	12
3.1.4 江苏省地方法规有关本行业的要求.....	13
3.2 国家及江苏省相关产业政策及行业发展规划中的生态环境要求.....	14
3.2.1 国家钢铁行业“十三五”发展规划.....	14
3.2.2 江苏省打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案.....	16
3.3 行业发展带来的主要生态环境问题.....	16
3.3.1 削减江苏省钢铁主要大气污染物排放总量的需要.....	16
3.3.2 持续改善江苏省环境空气质量的需要.....	16
3.4 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展.....	17
3.4.1 行业清洁生产工艺发展情况.....	17
3.4.2 行业污染防治技术发展情况.....	18
3.5 现行环保标准存在的主要问题.....	23
<b>4 钢铁工业大气污染物产排污情况及控制技术</b> .....	<b>24</b>
4.1 钢铁工业的主要生产工艺及产排污情况.....	24
4.1.1 钢铁工业主要生产工艺和产排污特征.....	24
4.1.2 钢铁工业主要有毒有害污染物特性.....	40
4.2 污染防治技术.....	41
4.2.1 钢铁工业清洁生产工艺与污染防治技术.....	41
4.2.2 钢铁工业超低排放实践经验与现存问题.....	46
<b>5 标准主要内容及确定依据</b> .....	<b>53</b>
5.1 适用范围.....	53
5.1.1 关于加严部分污染物的排放控制要求.....	54

5.1.2 关于重点工序重金属纳入标准的解释.....	54
5.1.3 关于细化无组织排放要求的问题.....	54
5.1.4 关于标准实施时间的确定.....	55
<b>5.2 术语和定义.....</b>	<b>55</b>
<b>5.3 有组织污染物排放限值的确定及依据.....</b>	<b>56</b>
5.3.1 NO <sub>x</sub> 排放限值的确定依据.....	56
5.3.2 SO <sub>2</sub> 排放限值的确定依据.....	57
5.3.3 颗粒物排放限值的确定依据.....	59
5.3.4 重金属及其他特征污染物排放限值的确定依据.....	60
<b>5.4 无组织控制指标的确定及依据.....</b>	<b>61</b>
<b>5.5 监测.....</b>	<b>62</b>
5.5.1 监测要求及分析方法.....	62
5.5.2 豁免时段.....	65
<b>5.6 运行管理要求.....</b>	<b>65</b>
<b>6 主要国家、地区及国际组织相关标准研究.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1 主要国家、地区及国际组织相关标准.....</b>	<b>66</b>
6.1.1 欧美与日本.....	66
6.1.2 中国.....	68
6.1.3 已发布地标省份.....	69
<b>6.2 本标准与已发布地方标准的对比.....</b>	<b>69</b>
<b>7 实施本标准的成本效益分析.....</b>	<b>75</b>
7.1 实施标准的环境效益.....	75
7.2 实施本标准的可行性与成本分析.....	75
<b>8 标准的实施建议.....</b>	<b>77</b>
8.1 强制性实施的建议.....	77
8.2 标准实施的措施建议.....	77

# 1 项目背景

## 1.1 任务来源

为打好污染防治攻坚战，发挥生态环境标准对执法监督、环境质量改善及污染物减排的支撑作用，加强江苏省生态环境标准体系建设，江苏省人民政府于 2019 年 3 月发布《江苏省生态环境标准体系建设实施方案（2018—2020 年）》（苏政办发〔2019〕26 号），方案明确“在 2022 年年底以前，研究制修订环境质量标准、污染物排放标准、环境监测方法、管理规范、工程规范及实施评估等六类生态环境标准项目 100 项”，其中包括《钢铁工业主要污染物排放标准》。

2019 年 8 月，江苏省生态环境厅组织开展“生态环境管理与污染排放标准项目”政府采购工作，其中分包 4 为包括本标准在内的“燃烧装置大气污染控制标准项目”。2019 年 12 月，江苏省生态环境厅与国电环境保护研究院有限公司、江苏环保产业技术研究院股份公司、中建材环保研究院（江苏）有限公司、冶金工业规划研究院、南京新联电子股份有限公司组成的联合体签订政府采购合同（编号 JSZC-JC2019-026-1）。根据联合体分工，国电环境保护研究院有限公司负责总体协调与统筹管理，冶金工业规划研究院负责具体组织制定本标准，联合体其他单位协助编制。

经项目申报、专家论证、立项公示，2020 年 7 月江苏省市场监督管理局正式将本标准纳入 2020 年度第一批江苏省地方标准项目计划（苏市监标〔2020〕190 号）。

根据开题论证专家意见，并报江苏省生态环境厅同意（苏环便函〔2020〕498 号），2020 年 8 月本标准名称调整为《钢铁工业大气污染物排放标准》。

本标准组织制定单位：江苏省生态环境厅、江苏省市场监督管理局。

本标准主要起草单位：国电环境保护研究院有限公司、冶金工业规划研究院、江苏环保产业技术研究院股份公司、中建材环保研究院（江苏）有限公司、南京新联电子股份有限公司。

本标准主要起草人员：李新创、朱法华、肖邦国、刘涛、颜润润、徐振、卢熙宁、田爱军、郑美玲、霍咚梅、田澍、刘文权、彭锋、程继军、李国盛。

## 1.2 主要工作过程

### （1）成立编制组

2020 年 1 月，根据江苏省生态环境厅下达的标准编制任务要求，冶金工业规划研究院与国电环境保护研究院有限公司、江苏环保产业技术研究院股份公司、中建材环保研究院（江苏）有限公司、南京新联电子股份有限公司成立了标准编制组，同时明确编制组主要成员和分工，

讨论并制定具体实施方案。

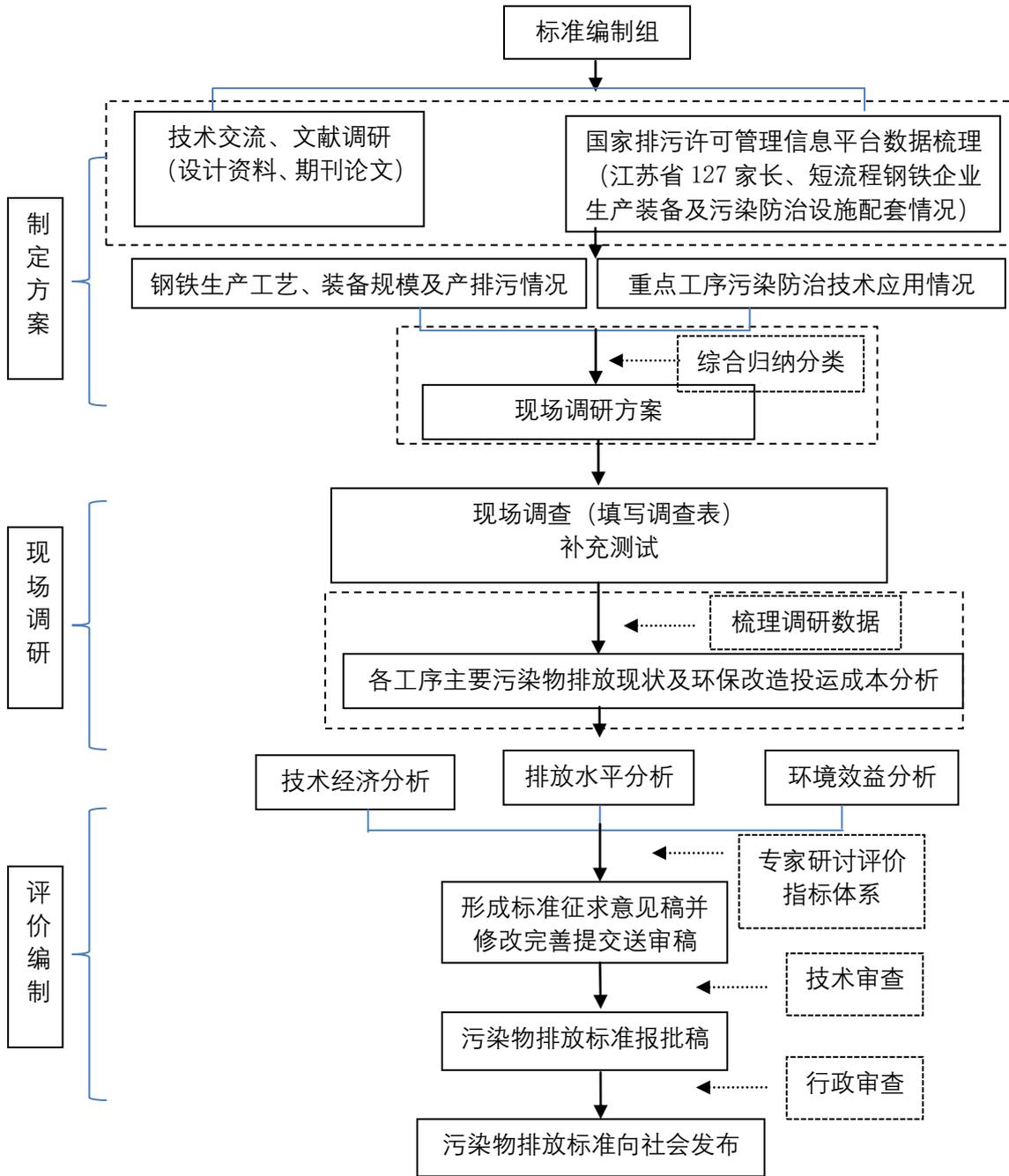


图 1-1 标准研制技术路线图

## (2) 制定研究思路和技术路线

编制组通过技术交流、座谈研讨、文献调研、现场调研等方式，收集全省钢铁长流程与短流程企业的竣工环境保护验收、监督性监测、自行监测等数据以及环境影响评价、排污许可等管理资料，必要时通过实测补充调查，并结合专家咨询，以控制因子、排放限值、达标考核等

为重点对标准主要技术内容进行研究。通过掌握设备运行、污染防治以及主要污染物排放现状，了解现行标准体系存在的难点和热点问题，对相关污染防治技术及其控制水平进行分析和评估，研究标准实施的经济技术可达性及预期环境效益，确定科学合理的标准研制技术路线。

按照生态环境保护相关法规政策要求，吸收借鉴国内外相关标准规范制修订经验，结合行业发展现状与国家、江苏省环境管理政策要求，本着技术经济可行原则，确定主要污染物排放控制水平，在此基础上形成《钢铁工业大气污染物排放标准》（征求意见稿），公开征求意见并修改、报审后向社会发布。

### （3）制定编制原则

本标准按照《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》（GB/T 1.1—2020）、《江苏省地方标准管理规定》（苏市监规〔2019〕7号）、《江苏省生态环境厅标准质量管理办法（试行）》（苏环办〔2020〕388号）等相关规定进行编写。

本标准制定工作的总体原则是：保护生态环境，防治大气污染，保障人体健康，在技术、经济可行的基础上严格颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及其他大气污染物排放控制要求，推动节约能源、高效清洁技术的应用，促进江苏省钢铁工业高质量绿色可持续发展。

①管理兼容性原则。本标准指标体系以国家标准为基础，以我国现行的生态环境法律、法规和标准、规范为依据，在此基础上提出不低于同期国家法规标准的管理要求。

②技术可行性原则。对每一受控的污染工艺和项目，从污染排放源特征（排放浓度等），结合现实技术能达到的控制水平，得出技术可行的标准限值。

③结合地区实际原则。根据江苏省企业发展状况和污染防治能力，合理确定污染物排放限值，做到经济上合理、监测上可行、管理上可用。

④促进产业发展原则。通过完善污染物排放管理体系，推动节约能源和清洁生产技术应用，达到超低排放与低碳发展协同的效果，促进地区经济与生态环境协调发展。

⑤区域一体化原则。在参考美国、欧洲、日本以及国内河北省、山东省、河南省、山西省等地同类地方强制性标准基础上，排放控制要求重点考虑上海市、浙江省、安徽省等长三角区域一体化的协调性。

### （4）组织开题论证

2020年3月，编制组通过TCS软件完善标准文本草案，同步编写开题报告。

2020年5月28日，江苏省生态环境厅在南京市主持召开了标准开题论证会，邀请了来自生态环境部环境工程评估中心、中国钢铁工业协会、南京大学、南京财经大学、江苏省环境科

学研究院、中国宝武设计院上海宝钢节能环保技术有限公司、江苏沙钢集团有限公司、南京钢铁股份有限公司、南京泽众环保科技有限公司的9名专家组成专家组。专家组认为，开题报告内容完整、思路清晰，技术路线可行，符合相应的标准编制要求，同意通过开题论证。专家组提出的修改意见和建议主要有：进一步斟酌标准名称；尽快开展多种形式的调研工作，更客观的反映江苏省钢铁工业环保现状，编制出台适应江苏省特点的地方排放标准；进一步研究控制因子及排放限值合理性，分析技术可行性与环境综合效益。

#### （5）调研、收资分析

2020年2月起，针对疫情期间现场调研不便于开展的实际情况，编制组采用现场踏勘、调查表发放、排污许可平台梳理等线上线下调研形式，针对江苏省钢铁工业长流程与短流程企业数量较多、分布较广的特点，依据装备规模、重点工序工艺类型、钢材产品品种、末端治理设施配套等情况，选择代表性长流程与短流程企业，制定调研方案，开展污染物排放及污染防治技术应用现状调研与座谈交流工作。

2020年5月至2021年3月，编制组收集省内17家长短流程钢铁联合企业主要排放口自动监测数据及一般排放口手工监测数据，进一步评估全省钢铁企业污染物排放现状和污染物控制技术水平；现场调研南京、苏州、无锡、常州、徐州、连云港等地10余家企业，调研企业钢铁产能占全省的62%。调研选取省内长流程钢铁代表性企业，依据不同烧结、球团、炼铁、炼钢、轧钢等装备规模与末端治理设施配套情况，重点对烧结机头、球团焙烧、高炉热风炉、出铁场、矿槽等烟气中主要污染物产生与排放情况进行调研的同时，整理分析转炉一次干法与半干法、湿法的环保设施配套，车间与渣处理环节无组织控制措施配套情况；对重金属及二噁英的排放情况、高炉煤气中硫份和燃烧温度对下游用户的影响；粗、精轧机、酸洗再生环保设施配套情况进行系统调研，并结合企业手工监测了解主要大气污染物实际排放水平，综合污染防治措施和经济成本，征求企业对拟定有组织限值、无组织管控要求和排放控制措施等方面的意见和建议。

#### （6）编制征求意见稿

2020年8月至2021年3月，根据收资与全流程现场调研结果，编制组对江苏省钢铁工业主要污染物排放标准进行拟定，对技术和经济可行性进行分析，并根据调研结果形成专题调研报告。同时，召开内部研讨会，对标准初稿进行内部研讨，邀请相关行业与环保领域专家、钢企代表召开座谈咨询会，以标准控制因子、大气污染物排放标准限值、无组织管控措施等的确定为重点，对标准框架、控制因子、限值、标准实施的可行性及环境效益等主要技术内容进行

深入探究，对标准初稿文本进行修改完善，形成江苏省《钢铁工业大气污染物排放标准》（征求意见稿）及其编制说明，并于 2021 年 4 月 25 日于南京召开标准征求意见稿技术审查会。

## 2 钢铁工业现状及发展趋势

### 2.1 江苏省钢铁工业现状及发展趋势

#### 2.1.1 行业现状

钢铁行业是国民经济的支柱性产业之一，有力支撑了江苏省的社会经济发展，但同时也是污染物排放重点防控行业之一。2019 年我国粗钢产量 9.96 亿吨，约占世界钢铁总产量的 53.3%，粗钢产能利用率突破 80%。其中，江苏省 2019 年生铁产量 7347.59 万吨，粗钢产量 12017.10 万吨，钢材产量 14211.41 万吨，钢铁产量在全国各省（直辖市、自治区）中位居第二。

原环境保护部 2012 年 6 月发布钢铁工业大气污染物排放系列国家标准，规定新建、现有钢铁企业分别自 2012 年 10 月 1 日、2015 年 1 月 1 日起执行新标准。钢铁系列排放标准的实施促进了钢铁行业污染大幅减排，2019 年中国钢铁工业协会重点统计钢铁企业吨钢颗粒物、SO<sub>2</sub> 排放量相较 2012 年分别下降 56%、70%；因钢铁企业未全面开展烧结烟气脱硝治理，NO<sub>x</sub> 排放总量与强度无明显变化。虽然我国钢铁行业近年来吨钢颗粒物、SO<sub>2</sub> 排放强度大幅下降，但由于粗钢产量的增加，整体排放量依然很大。据统计，2019 年全国钢铁行业颗粒物、SO<sub>2</sub>、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）排放量分别为 134.7 万吨、61.4 万吨、89.1 万吨。随着国家大气污染防治行动计划取得阶段性胜利，人民对生态文明建设的认识不断深化，同时火电行业全面贯彻实施煤电超低排放战略实现主要大气污染物排放总量大幅下降，传统大气污染物排放大户之一的钢铁工业的污染防治攻坚显得日益紧迫。因此，国务院、江苏省通过一系列政策文件对钢铁企业进一步减排提出了更高要求，生态环境部等 5 部委 2019 年 4 月 29 日发布的《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35 号）从有组织源头减排、工艺过程优化控制、治理设施提标升级、无组织精准管控与交通运输结构调整等多方面同时发力，全面推动钢铁行业提升环境保护水平。

根据国家排污许可管理平台中申领排污许可证的 C31 黑色金属与钢压延加工行业（涵盖炼铁、炼钢、钢压延等）信息公开内容，编制组对江苏省内 127 家长、短流程钢铁企业冶炼产能、主要生产装备规模及工艺类型、污染防治技术应用、排放口信息、自行监测等许可信息进行统计和梳理，并对江苏省现有已取得排污许可证钢铁企业的废气污染防治设施配置情况进行收资与摸底，主要包括原料系统及各工序物料输送系统无组织管控措施、烧结机头或球团焙烧

烟气脱硫脱硝、高炉炉顶均压及休风煤气放散净化回收、高炉煤气精脱硫、转炉一次煤气除尘、高效环境除尘、轧钢精轧机除尘、烧结烟气循环等，梳理采用不同清洁生产与污染治理工艺、滤料种类等信息。

根据实地踏勘调研与企业资料反馈信息统计，全省范围内 27 家长流程钢铁企业原料系统 90% 以上已采用密闭形式；各工序物料输送系统密闭与收尘设施配套比例也达 70% 左右，但部分企业密闭措施与超低排放无组织管控要求尚存差距；烧结机头烟气脱硫脱硝，以“半干法脱硫（循环流化床与 SDA 旋转喷雾法）+SCR 脱硝”为主，颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 脱除率分别达到 98.9%~99.5%、90%~93%、70%~75%。同时，也有部分企业选择活性炭/焦脱硫脱硝一体化与“湿法/半干法脱硫+氧化法脱硝”工艺，比例分别为 6.7%、4.3%；高炉炉顶均压煤气放散净化回收系统部分企业已确定方案，在建或筹建中企业比例已达 63%，其他企业按计划也将在 2021 年内完成立项与项目实施工作；转炉一次煤气除尘多采用“新 OG”湿法，部分企业采用了净化效率更高的“LT 干法”除尘工艺；烧结烟气循环仅有个别企业建设，其目的多为提产与降能耗，烟气综合循环率一般在 22%~35%；其余 100 家短流程企业配套袋式除尘设施，基本都采用覆膜滤料。目前不足 10% 的企业建设了 consteel 电炉，设有炉内烟气急冷措施以控制二噁英源头产生。

### 2.1.2 企业分布

通过国家排污许可管理平台中搜集的江苏省内已完成排污许可证申领的 C31 黑色金属与钢压延加工行业（涵盖炼铁、炼钢、钢压延等）信息公开内容，省内目前共有 169 家长、短流程钢铁企业，分布在全省 13 个地级市，按区域划分为苏南地区共 110 家，苏中地区 20 家，苏北地区 39 家。企业数量从多到少依次为：无锡 49 家，苏州 29 家，徐州 25 家，常州 17 家，镇江 11 家，扬州 11 家，泰州 6 家，盐城 5 家，连云港 5 家，南京 4 家，南通 3 家，宿迁 2 家，淮安 2 家。

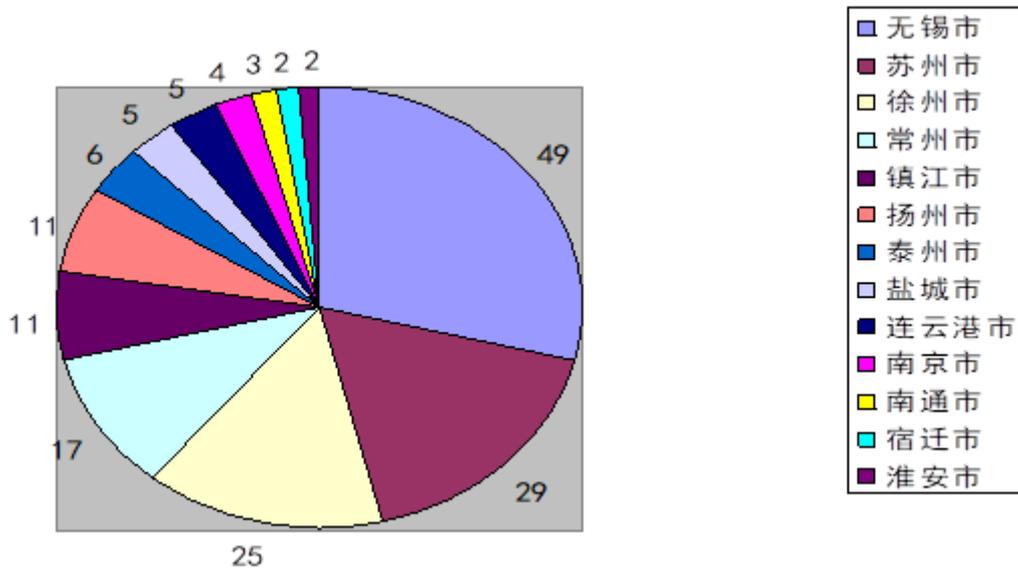


图 2-1 江苏省内钢铁企业区域分布统计

### 2.1.3 发展趋势

为进一步指导全省钢铁行业布局调整、产能整合、装备升级、安全生产工作，科学有序推进沿海钢铁基地示范工程，推动全省钢铁行业转型升级优化布局，实现安全发展、绿色发展、高质量发展，江苏省《省政府办公厅关于印发全省钢铁行业转型升级优化布局推进工作方案的通知》（苏政办发〔2019〕41号）提出，到2020年全省钢铁行业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物排放总量分别下降30%、50%、50%；到2025年，全省钢铁行业沿江、沿海钢铁冶炼产能比例关系由目前的7:3优化调整为5:5，加快形成钢铁行业沿江沿海协调发展新格局；综合运用政策执法手段，倒逼环太湖等环境敏感地区产能向沿海转移；整合徐州等地区，重点整合200万吨规模以下、能耗大的分散弱小低端产能向牵头企业集中；发展沿海港区，借助沿海相关港区的码头航道、集疏运体系、土地承载和环境容量等区位优势和资源禀赋，高起点、高标准地承接省内产能转移；提升行业发展水平，通过本轮调整，力促全省钢铁行业在产品结构调整、空间布局优化、安全环保提升和智能化改造等方面得到大幅提升。

因此，全省部分沿江和沿太湖钢铁企业将逐步向沿海工业园区集中，沿江和“低小散”产能将进一步整合，全省钢铁企业在南通通州湾、盐城滨海新区、连云港板桥工业园等沿海重点港区集中布局。根据工作方案要求，沿海深水港区布局建设钢铁项目总粗钢产能规模必须要达到800万吨左右，远期目标要达到2000万吨~3000万吨，高炉有效容积要大于3000 m<sup>3</sup>，转炉公称容量大于200 t，其余达到国家《产业结构调整指导目录》鼓励类水平；其他地区布局建设钢铁项目所有工艺装备均要达到国家《产业结构调整指导目录》鼓励类水平。

## 2.2 国际钢铁行业现状及绿色发展趋势

### 2.2.1 国际粗钢产业现状

根据世界钢铁协会公布的数据，2019 年全球粗钢产量为 18.699 亿吨，同比增长 3.4%。从区域位置划分，除亚洲和中东地区外，其他地区的粗钢产量同比均下降。2019 年，亚洲粗钢产量 13.416 亿吨，同比增长 5.7%；中国大陆粗钢产量为 9.96 亿吨，同比增长 8.3%，占全球粗钢总产量的份额从 2018 年的 50.9% 上升至 2019 年的 53.3%；印度 2019 年粗钢产量为 1.112 亿吨，同比增长 1.8%；日本在 2019 年的粗钢产量为 9930 万吨，同比下降 4.8%；韩国 2019 年粗钢产量为 7140 万吨，同比下降 1.4%。从重点国家统计看，中国大陆、印度、日本、美国、俄罗斯、韩国、德国、土耳其、巴西和伊朗，分列世界粗钢产量前 10 位。

2019 年世界粗钢月度生产量及主要产钢地区粗钢产量比例见下图。

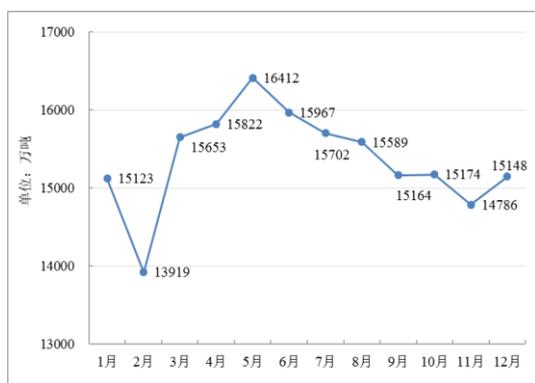


图 2-2 2019 年世界粗钢月度生产量

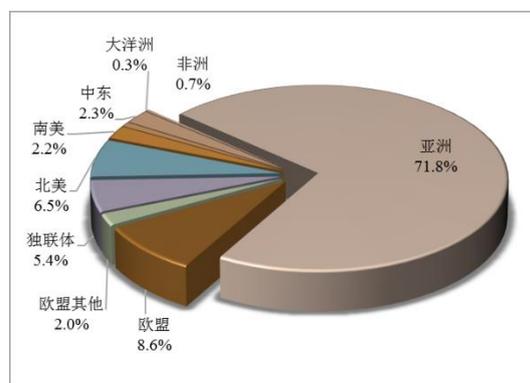


图 2-3 2019 年世界主要产钢地区粗钢产量比例

### 2.2.2 国际钢铁行业发展趋势

2019 年，世界钢铁协会《可持续发展的钢铁：2019 可持续发展指标与钢铁行业供应链》指出，钢铁行业供应链示意图已制作完成，确定未来几年将在 7 个重点领域（气候变化、循环利用、供应链、副产品、产品应用、空气质量、水源）开展可持续发展问题研究。中国钢铁行业超低排放改造已全面启动，包括钢铁企业超低排放的改造、验收、评估工作，超低排放将会是 2020 年以及“十四五”期间中国钢企环保工作的头等大事，将会有越来越多的钢铁企业在差异化环保政策驱动下创先争优，加快超低排放改造进度，全行业治理水平将会得到进一步提高。

### 3 标准制定的必要性

#### 3.1 国家及生态环境主管部门相关要求

##### 3.1.1 国家对生态环境及本行业的相关要求

《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》（中发〔2018〕17号）明确提出，全国细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）未达标地级及以上城市浓度比2015年下降18%以上，地级及以上城市空气质量优良天数比率达到80%以上；SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排放量比2015年减少15%以上的具体目标。特别是坚决打赢蓝天保卫战的作战方针不动摇，到2020年底前，全面推动钢铁等行业超低排放改造。

2018年6月，《国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知》（国发〔2018〕22号）中提出，推进重点行业污染治理升级改造。重点区域SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物、挥发性有机物（VOCs）全面执行大气污染物特别排放限值。推动实施钢铁等行业超低排放改造。强化工业企业无组织排放管控。开展钢铁、建材、有色、火电、焦化、铸造等重点行业及燃煤锅炉无组织排放排查，建立管理台账，对物料（含废渣）运输、装卸、储存、转移和工艺过程等无组织排放实施深度治理，2018年底前京津冀及周边地区基本完成治理任务，长三角地区和汾渭平原2019年底前完成，全国2020年底前基本完成。

2019年4月，生态环境部等5部委《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）正式提出钢铁企业实施超低排放改造要求。对所有生产环节（含原料场、烧结、球团、炼焦、炼铁、炼钢、轧钢、自备电厂等，以及大宗物料产品运输）实施升级改造，大气污染物有组织排放、无组织排放以及清洁运输环节均应满足文件要求，并明确对于完成全流程超低排放改造的钢铁企业应加大政策支持力度。

国内主要钢铁产能大省积极响应国家和生态环境部相关政策，其中河北省《钢铁工业大气污染物超低排放标准》（DB13/2169—2018）、山东省《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376—2019）与《钢铁工业大气污染物排放标准》（DB37/990—2019）、陕西省《关中地区重点行业大气污染物排放标准》（DB61/941—2018）、河南省《钢铁工业大气污染物排放标准》（DB41/1954—2020）、山西省《钢铁工业大气污染物排放标准》（DB41/1954—2020）相继完成修订发布，对进一步收严原有地方标准限值提出更高要求，越来越多的区域已将超低排放政策要求上升至地方行业强制性标准。

##### 3.1.2 国民经济和社会发展规划中对本行业的要求

中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年（2016—2020年）规划纲要中对于钢

铁行业提出，实施制造业重大技术改造升级工程，完善政策体系，支持企业瞄准国际同行业标杆全面提高产品技术、工艺装备、能效环保等水平，实现重点领域向中高端的群体性突破。

综合运用市场机制、经济手段、法治办法和必要的行政手段，加大政策引导力度，实现市场出清。建立以工艺、技术、能耗、环保、质量、安全等为约束条件的推进机制，强化行业规范和准入管理，坚决淘汰落后产能。设立工业企业结构调整专项奖补资金，通过兼并重组、债务重组、破产清算、盘活资产，加快钢铁、煤炭等行业过剩产能退出，分类有序、积极稳妥处置退出企业，妥善做好人员安置等工作。

对钢铁、水泥、平板玻璃等行业不能稳定达标的企业进行改造，取缔不符合国家产业政策污染严重的项目。全国地级以上城市完成钢铁行业烧结机脱硫改造。

有效控制电力、钢铁、建材、化工等重点行业碳排放，推进工业、能源、建筑、交通等重点领域低碳发展。支持优化开发区域率先实现碳排放达到峰值。深化各类低碳试点，实施近零碳排放区示范工程，控制非二氧化碳温室气体排放。推动建设全国统一的碳排放交易市场，实行重点单位碳排放报告、核查、核证和配额管理制度。健全统计核算、评价考核和责任追究制度，完善碳排放标准体系。加大低碳技术和产品推广应用力度。

### 3.1.3 国家生态环境保护五年规划中有关本行业的要求

2016年12月，《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》（国发〔2016〕65号），规划提出强化环境硬约束推动淘汰落后和过剩产能。建立重污染产能退出和过剩产能化解机制，对长期超标排放的企业、无治理能力且无治理意愿的企业、达标无望的企业，依法予以关闭淘汰。修订完善环境保护综合名录，推动淘汰高污染、高环境风险的工艺、设备与产品。鼓励各地制定范围更宽、标准更高的落后产能淘汰政策，京津冀地区要加大对不能实现达标排放的钢铁等过剩产能淘汰力度。调整优化产业结构，煤炭、钢铁、水泥、平板玻璃等产能过剩行业实行产能等量或减量置换。

实施重点行业企业达标排放限期改造。建立分行业污染治理实用技术公开遴选与推广应用机制，发布重点行业污染治理技术指南。分流域分区域制定实施重点行业限期整治方案，升级改造环保设施，加大检查核查力度，确保稳定达标。以钢铁、水泥、石化、有色金属、玻璃、燃煤锅炉、造纸、印染、化工、焦化、氮肥、农副食品加工、原料药制造、制革、农药、电镀等行业为重点，推进行业达标排放改造。

推动治污减排工程建设。以燃煤电厂超低排放改造为重点，对电力、钢铁、建材、石化、有色金属等重点行业，实施综合治理，对SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘以及重金属等多污染物实施协同

控制。

推动重点行业治污减排。针对钢铁行业，完成干熄焦技术改造，不同类型的废水应分别进行预处理。未纳入淘汰计划的烧结机和球团生产设备全部实施全烟气脱硫，禁止设置脱硫设施烟气旁路；烧结机头、机尾、焦炉、高炉出铁场、转炉烟气除尘等设施实施升级改造，露天原料场实施封闭改造，原料转运设施建设封闭皮带通廊，转运站和落料点配套抽风收尘装置。

### 3.1.4 江苏省地方法规有关本行业的要求

为推动钢铁产业转型升级，改善大气环境质量、实现行业绿色高质量发展，江苏省 2018 年 12 月制定了《江苏省钢铁企业超低排放改造实施方案》，要求全面加强脱硫脱硝除尘设施升级改造，烧结机头、球团焙烧设备烟气颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 排放浓度分别不高于 10 mg/m<sup>3</sup>、35 mg/m<sup>3</sup>、50 mg/m<sup>3</sup>，其它炼铁、炼钢、轧钢等主要生产工序分别不高于 10 mg/m<sup>3</sup>、50 mg/m<sup>3</sup>、150 mg/m<sup>3</sup>。烧结、球团等设备，应选择高效脱硫脱硝除尘设施，确保稳定达到超低排放水平；高炉煤气实施精脱硫改造，煤气中硫化氢浓度小于 20 mg/m<sup>3</sup>；其它污染源应安装高效袋式除尘设施；使用清洁能源或利用工厂余热、热电厂供热等方式替代燃煤热风炉、燃煤供热锅炉。严格控制无组织排放，2019 年 6 月 30 日前必须完成《关于加快治理钢铁冶金企业无组织排放大气污染物的通知》（苏环办〔2017〕209 号）中明确的无组织排放治理任务。

为进一步指导全省钢铁行业布局调整、产能整合、装备升级、本质安全等工作，科学有序推进沿海钢铁基地示范工程，推动全省钢铁行业转型升级优化布局，实现安全发展、绿色发展、高质量发展，江苏省发布了《省政府办公厅关于印发全省钢铁行业转型升级优化布局推进工作方案的通知》（苏政办发〔2019〕41 号）。

进一步提升空间布局水平，全力推动沿海钢铁重点示范项目建设，到 2025 年，全省钢铁行业沿江、沿海钢铁冶炼产能比例关系由目前的 7:3 优化调整为 5:5，加快形成钢铁行业沿江沿海协调发展新格局。进一步提升产业集聚水平，到 2020 年，力争全省钢铁企业数量由现在的 45 家减至 20 家左右，行业排名前 5 家企业粗钢产能占全省 70%。进一步提升行业技术水平，全省冶炼装备绿色化、智能化、大型化水平明显提升，全行业产能利用率稳定在 85%~90%。进一步降低行业排放强度，到 2020 年，全省钢铁行业 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物排放总量分别下降 30%、50%、50%，加快形成一批工艺装备先进、生产效率高、资源利用率高、安全环保水平高的优质企业。

## 3.2 国家及江苏省相关产业政策及行业发展规划中的生态环境要求

### 3.2.1 国家钢铁行业“十三五”发展规划

《钢铁工业调整升级规划（2016-2020年）》（以下简称“规划”）全面贯彻落实党的十八大和十八届三中、四中、五中全会精神，坚持创新、协调、绿色、开放、共享发展理念，积极适应、把握、引领经济发展新常态，充分发挥市场配置资源的决定性作用和更好发挥政府作用，着力推动钢铁工业供给侧结构性改革。以全面提高钢铁工业综合竞争力为目标，以化解过剩产能为主攻方向，促进创新发展，坚持绿色发展，推动智能制造，提高我国钢铁工业的发展质量和效益。

规划层面提出坚持绿色发展。以降低能源消耗、减少污染物排放为目标，全面实施节能减排升级改造，不断优化原燃料结构，大力发展循环经济，积极研发、推广全生命周期绿色钢材，构建钢铁制造与社会和谐发展新格局。目标到2020年，钢铁工业在降低吨钢污染物排放量的同时，钢产量不能再大幅增加。能源消耗和污染物排放全面稳定达标，总量双下降。而实现污染物排放总量下降目标的难度和挑战主要由于中国的地区差异、企业环保意识差异，企业实现环保治理的投入会不一样，必须确保所有企业的环保改造都取得效果。

“十三五”期间，吨钢SO<sub>2</sub>排放量17%以上的目标已实现，烧结、球团、焦化等主要SO<sub>2</sub>产生工序的末端排放浓度全面实现达标，并逐步优于现行国家标准。该目标的导向一方面有利于钢铁企业全面推进烧结、球团、焦化等工序污染治理设施建成投运，并对现有脱硫设施进行排查改造，确保全部达标。另一方面可引导SO<sub>2</sub>重点产生工序的排放标准进一步收严。2015年吨钢SO<sub>2</sub>排放量指标0.85 kg/t钢的指标，是在重点统计钢铁企业烧结脱硫配套率88%，球团脱硫还有一定比例未投产及部分焦化脱硫设施排放浓度未达《炼焦化学工业污染物排放标准》的情况下测算的，且以上三个工序SO<sub>2</sub>排放量可占到整个钢铁行业排放总量的90%左右，山东、河北等钢铁产能大省已出台分时段的脱硫标准要求，至“十三五”末，其地标远优于现行国家标准。

规划中提及的“环保执法专项行动”部分为“十三五”新增内容，说明政府将采用更加严格的执法力度及处罚措施来约束企业的环保违法行为，从而通过环保执法化解低质过剩产能。该部分内容的导向作用在于企业需要加大环保治理的重视程度，严格控制排污总量，对于现有环保问题需及时开展整治。其创新点在于从规划层面提出了将要开展的环保执法专项行动，提升了企业环境保护工作的重要性。

此外，规划中对于所提及的绿色升级改造的导向是鼓励企业淘汰高耗能、高污染工艺，推

广成熟可靠的新型环保工艺，其创新点在于在提出工艺的同时还提出了“全面建成企业厂区主要污染物排放的环保在线监控体”，说明“十三五”将会强化重点污染源和风险源的在线不间断监测，实现对主要污染物排放浓度和总量的监控。同时，明确提出了新的需要淘汰的高耗能工艺，需要推广的脱硫脱硝、深度脱盐、封闭料场等多项环保提标改造项目。加快推广应用和全面普及先进适用以及成熟可靠的节能环保工艺技术装备。全面完成烧结脱硫、干熄焦、高炉余压回收等改造，淘汰高炉煤气湿法除尘、转炉一次烟气传统湿法除尘等高耗水工艺装备。全面建成企业厂区主要污染物排放的环保在线监控体系。研发推广先进节能环保技术，开展焦炉和烧结烟气脱硫脱硝、综合污水回用深度脱盐等节能环保难点技术示范专项活动。在环境影响敏感区、环境承载力薄弱的钢铁产能集中区，加快实施封闭式环保原料场、烧结烟气深度净化等清洁生产技术改造。在钢铁产业集聚区，积极探索和实施物流集中铁路运输方案，系统优化物流体系，减少物流过程中无组织排放。

#### （1）全面推广的节能减排技术

烧结系统高效除尘，出铁场无组织烟气综合治理，转炉煤气干法（半干法）除尘或新型湿法除尘，转炉（电炉）二次、三次除尘、烧结矿余热回收、能源管控中心、钢渣高效处理及深度综合利用、综合污水再生回用等。

#### （2）重点推广的节能减排技术

原料场棚化、仓化，烧结烟气循环，烧结烟气多种污染物协同治理，高温高压干熄焦，超高压煤气锅炉发电，中低温烟气余热回收与利用，能源优化调控技术，城市中水再生回用，含铁含锌尘泥综合利用等。

#### （3）示范推广的节能减排技术

焦炉烟道气脱硫脱硝，烧结、电炉二噁英防治技术，焦化（冷轧）废水处理回用与“零排放”，竖炉式烧结矿显热回收利用技术，浓盐水的减量处理与消纳，焦炉煤气初冷系统余热高效利用，可再生能源和清洁能源利用等。

#### （4）前沿储备的节能减排技术

炉渣余热回收和资源化利用，复合铁焦新技术，钢铁厂物质流、能源流和信息流（大数据）协同优化技术，二氧化碳捕集、利用和储存技术等。

引导绿色消费。加快推动钢铁行业绿色改造升级重大工程。一是原料场棚化、仓化改造。实施原料场棚化、仓化改造，解决原料场扬尘问题，企业环境空气中颗粒物排放浓度小于  $1 \text{ mg/m}^3$ ；二是烟气脱硫脱硝改造，实施焦炉烟道气脱硫脱硝改造工程， $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、颗粒物的

排放浓度分别 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$ 、 $\leq 150 \text{ mg/m}^3$ 、 $\leq 15 \text{ mg/m}^3$ ；三是烟气多种污染物协同治理，实施烧结（球团）烟气多种污染物协同治理工程，烟气脱硫效率达 98% 以上、脱硝效率达到 60% 以上， $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、二噁英的排放浓度分别 $\leq 180 \text{ mg/m}^3$ 、 $\leq 300 \text{ mg/m}^3$ 、 $\leq 0.5 \text{ ng-TEQ/m}^3$ ；建立脱硫副产物综合利用生产线，实现副产物全部综合利用。

### 3.2.2 江苏省打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案

2018 年 9 月，《江苏省人民政府关于印发江苏省打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案的通知》（苏政发〔2018〕122 号）提出 2020 年底前钢铁产能压减 1750 万吨，到 2020 年前徐州市冶炼产能比 2017 年下降 30% 以上，整合形成 1~2 家装备水平高、长短流程结合、能耗排放低的大型钢铁联合企业；推进重点行业污染治理升级改造，推进钢铁等行业实施超低排放改造。

## 3.3 环境空气质量改善的迫切需求

### 3.3.1 削减江苏省钢铁主要大气污染物排放总量的需要

依据《江苏省重污染天气应急预案》，2019 年全省共发布 7 次黄色预警、3 次橙色预警。江苏省钢铁行业颗粒物、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  等主要大气污染物排放总量已超过火电行业，成为全省最大的工业源排污大户，其排放的  $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、CO 不仅直接影响区域空气质量，相关大气污染物还是  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$  形成的主要前体物。此外，钢铁行业无组织污染防治措施仍处于整改起步阶段，原辅料系统、生产工艺过程中无组织排放的烟粉尘对全省  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  的整体贡献率较为突出。因此，削减钢铁企业的主要大气污染物排放总量与排放强度便成为改善区域空气质量的当务之急，急需通过成熟先进可行技术的推广应用促进行业绿色发展转型，最大限度的减少存量产能的污染物排放总量，同时依据更为收严的地方污染物排放限值要求，有效控制未来产能置换后将产生的排放增量，真正实现倍量替代，逐步改善全省大气环境质量。

### 3.3.2 持续改善江苏省环境空气质量的需要

江苏省 2018 年 9 月发布《江苏省人民政府关于印发江苏省打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案的通知》（苏政发〔2018〕122 号）提出，经过 3 年努力大幅减少主要大气污染物排放总量，协同减少温室气体排放，进一步明显降低细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）浓度，明显减少重污染天数，明显改善环境空气质量，明显增强人民的蓝天幸福感。

2019 年，全省环境空气质量优良天数比率及  $\text{PM}_{2.5}$  年均浓度均达到国家年度考核目标要求。但是，依据《2019 年度江苏省生态环境状况公报》，全省环境空气中  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  年均浓度分别为  $43 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ 、 $70 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ 、 $9 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  和  $34 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ；CO 和  $\text{O}_3$  浓度分别为  $1.2 \text{ mg/m}^3$

和  $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。按照《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）二级标准进行年度评价，13 个设区市环境空气质量均未达标，超标污染物为  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_2$ 。其中，13 地市  $\text{PM}_{2.5}$  浓度均超标；徐州、常州、淮安、扬州、镇江、宿迁等 6 地市  $\text{PM}_{10}$  浓度超标；除南通、盐城外，其余 11 地市  $\text{O}_3$  浓度超标；南京、常州、苏州  $\text{NO}_2$  浓度超标。

因此，为实现江苏省环境空气质量目标，有必要根据实际需要对相关指标进行加严，以实现重点行业的大气污染物排放限值与大气环境管理目标的衔接。

### 3.4 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展

#### 3.4.1 行业清洁生产工艺发展情况

随着时代的发展和社会进步，钢铁行业出现了一些新的清洁生产源头节能减排技术和工艺，钢铁行业系列清洁生产评价指标体系技术要求等资料，高炉炉顶均压煤气回收、加热炉低氮燃烧等清洁生产工艺。目前钢铁冶炼过程中清洁生产新技术主要有：

##### （1）干熄焦技术

干熄焦技术是现阶段应用较为广泛的一种技术，在应用过程中可以有效的进行熄焦，通过在干熄炉顶的顶部装入  $1000^\circ\text{C}$  的红焦通过循环风机将  $130^\circ\text{C}$  的低温惰性循环气体向红焦层内进行鼓入，通过惰性气体的性质促使其产生焦炭，经过该步骤后，惰性气体的温度提升，最终在锅炉中产生水蒸气，冷却后利用循环风机促使其重新利用惰性气体，再次形成干熄循环过程，从整体上降低能源的消耗，并提升焦炭的质量，优化整个生产过程，促使钢铁冶金生产整体技术水平提升。

##### （2）高炉煤气余压透平发电技术

TRT 是指高炉煤气余压透平技术，以高压炉顶为基础将高炉煤气进行能量转化，将热能与压力能转化为机械能，满足生产的需求。在高炉煤气余压透平技术应用过程中，将煤气进行合理的处理，利用干法除尘，即经重力除尘器+布袋除尘后，通过 T 装置经过电动蝶阀、调速阀、快切阀促使电动机运转，实现生产。该技术具有较高的经济效益，在实际应用过程中不需要提供能源与燃料，实现对压顶的有效控制，降低整体的生产噪声，实现能源的高效利用。

##### （3）炉渣的处理技术

在进行钢铁冶金过程中，必然会出现大量的炉渣，并且其种类较为复杂，如转炉渣、电炉渣、高炉渣以及铁合金炉渣等，在传统生产中炉渣主要作为废物丢弃，随着理念的创新，公众环保意识逐渐提升，炉渣综合利用的新技术不断研发成功，以提升资源的利用效率。例如，现阶段主要从炉渣的分离与应用两方面入手，深入进行分析，实现共生金属元素的应用，充分

发挥出其自身的价值，实现高效的应用，如作为工程建设路基、农业肥料、玻璃制造原料等，满足当前的需求。最为常见的炉渣处理技术为干式成粒法，实现合理的干式处理，将炉渣含有的热能进行充分的利用，降低能源的消耗，提高生产质量。干式成粒法在应用过程中以建立熔渣变速旋转杯为主，从渣道输送至旋转中心，通过离心力形成固化体，提高整体的质量性能，此时需要保证固化颗粒不受外界因素的影响形成结块，进行空气冷却工序，降低固化的渣粒发生粘结的可能性，最终形成高质量的炉渣，该类炉渣可以应用为耐火材料、水泥、玻璃等行业，实现能源的最大化利用，适应时代发展。

钢铁冶金的新工艺主要有：

#### ①SC-EAF-CC-CR 流程工艺。

SC-EAF-CC-CR 流程主要是指废钢-电弧炉-连铸-连轧流程工艺，具有较强的经济性，可以从整体上实现能源的节约，满足发展需求。现阶段，世界上的废钢量逐渐提升，造成一定的资源损失，利用废钢的可再生性将废钢进行合理的应用，可以从整体上提升资源的利用效率，满足当前能源、资源以及环境的需求。在进行废钢应用过程中，利用废钢-电弧炉-连铸-连轧流程进行电炉炼钢，实现电弧炉的精炼，从整体上提升其安全性，满足当前的需求。受废钢自身的性质影响，种类复杂繁多，成分存在较大的不同，在进行冶炼过程中，需要明确其整体质量，合理进行控制，将其应用在合适的领域。

#### ②SR DR-UHP-CC-CR 流程工艺

SR DR-UHP-CC-CR 流程主要是指熔融还原、直接还原-超高功率电炉-薄板连铸连轧流程，具有较强的工艺优势，呈现经济性、灵活性、环保性与紧凑性等流程特点，可以从整体上提升其安全性与效率，满足当前的需求。该技术在应用过程中，实现可直接还原、熔融还原以及连铸连轧，保证整个过程更加符合环保性与高效性要求，降低外界环境的干扰，消除产生的污染，改变传统生产中存在的缺陷，实现低能耗高效生产，适应新时代。以熔融还原（Smelting Reduction）和直接还原（Direct Reduction）工艺为例，二者属于非高炉法冶炼工艺，可以从整体上简化工艺流程，减少成本的投入，并降低能源的损耗，实现环境友好型生产，并逐渐与现阶段的电炉炼钢相适应，形成全新的发展方向，提升整体技术水平。

### 3.4.2 行业污染防治技术发展情况

#### （1）源头减排技术

##### ①烧结烟气循环技术

烧结烟气循环技术是将烧结过程排出的一部分载热气体返回烧节点火器以后的台车上再

循环使用的一种烧结方法，可回收烧结烟气的余热，提高烧结的热利用效率，降低固体燃料消耗。烧结烟气循环技术将来自全部或选择部分风箱的烟气收集，循环返回到烧结料层，这部分废气中的有害成分将在再进入烧结层中被热分解或转化，二噁英和  $\text{NO}_x$  会部分消除，抑制  $\text{NO}_x$  的生成；粉尘和  $\text{SO}_x$  会被烧结层捕获，减少粉尘、 $\text{SO}_x$  的排放量；烟气中的  $\text{CO}$  作为燃料使用，可降低固体燃料消耗。另外，烟气循环利用减少了烟囱处排放的烟气量，降低了终端处理的负荷，可提高烧结烟气中的  $\text{SO}_2$  浓度和脱硫装置的脱硫效率，减小脱硫装置的规格，降低脱硫系统投资。

## （2）末端治理技术

当前钢铁企业在超低排放改造过程中，应用最广泛、技术较为成熟的烧结机头烟气联合脱硫脱硝工艺路线主要包括半干法/湿法/活性炭（焦）干法脱硫+选择性催化还原（SCR）脱硝工艺、活性炭/焦协同一体化脱硫脱硝工艺；此外，高效除尘技术也越来越多的应用在企业中，以达到更严的颗粒物排放控制要求。

### ①烧结机头烟气脱硫脱硝技术

#### （a）半干法/湿法脱硫/活性炭（焦）干法脱硫+SCR 脱硝工艺

半干法（湿法）脱硫+SCR 脱硝工艺已成功应用于钢铁行业烧结超低排放改造过程中，脱硫效率 $\geq 95\%$ ，脱硝效率 70%~85%。该组合工艺技术成熟，污染物脱除效率高，适用性强，可满足国家与地方超低排放限值要求，尤其适用于目前我国已建成烧结机头烟气脱硫提标及配套建设脱硝设施的改造项目。但主要问题是催化剂活性温度窗口需进行烟气换热，尤其是湿法脱硫。因此企业往往会首选前置脱硝，节能降成本，但忽视了机头静电除尘颗粒物浓度较高与碱金属灰的掺入，将造成 SCR 催化剂物理与化学失活，大幅降低脱硝活性，增加系统阻力。所以企业在选择此种组合工艺时一定要结合自身烟气工况条件，谨慎选择 SCR 脱硝装置前置的设计。而后置脱硝也需考虑喷氨量较大时所带来氨逃逸的二次污染问题。此外，在超低排放限值出台之前，部分企业建设的活性炭/焦脱硫脱硝设施由于脱硫剂装填量不足、设计排放水平未匹配等问题，导致出口二氧化硫与氮氧化物无法达到超低排放限值要求。因此，钢铁企业结合自身工艺路线，在原有一体化脱硫脱硝装置基础上，采用串联活性炭/焦装置或加设 SCR 来实现氮氧化物的达标排放。针对排口颗粒物超标问题，可通过调整筛板或加装除尘设施予以解决。

#### （b）活性炭/焦协同一体化脱硫脱硝工艺

活性炭/焦协同净化能实现一体化脱硫、脱硝、脱二噁英、脱重金属及除尘的烟气集成深

度净化，解析二氧化硫制硫酸，而氮氧化物则在还原剂氨的气氛下，经由催化作用生成了无害的氮气和水，整个反应过程无废水、废渣排放，无二次污染，是适应烧结烟气脱硫和集成净化的先进环保技术。项目实施过程中需综合考虑活性炭/焦品质、系统装填量与烟气在流动床层的均布情况，设计裕量符合要求可达到超低排放限值。此种工艺适合环保管理与运维水平较好、企业操作人员专业素质有保障的国有企业及绩效水平较优的民营钢铁企业，采用活性炭/焦协同净化设施应避免出现因操作不当或关键部件损坏破坏移动性引起的活性炭/焦自燃、板结等问题。

## ②高效除尘技术

### (a) 覆膜滤料袋式除尘技术

袋式除尘的机理主要是依靠含尘气体通过滤袋纤维时产生的筛滤、碰撞、钩住、扩散、静电和重力 6 种效应进行净化，其中以“筛滤效应”为主。在滤料表面复合一层微孔薄膜的过滤称为覆膜过滤，这是一种表面过滤技术。过滤膜通常是由高分子聚合物制成的，厚度一般为 100~150 $\mu\text{m}$ ，有时也可以制成更薄一些或更厚一些微孔滤膜，微孔滤膜孔径小，捕集率很高，即使对 1 $\mu\text{m}$  以下的微细粒子也有较高的捕集率，并可防止进入滤料深处，不需要形成普通滤料具有的粉尘初层，因此清灰时粉尘很容易脱落，特别是使用表面非常光滑、有憎水性的聚四氟乙烯薄膜时，清灰特别容易。这一特性为袋式除尘器在潮湿条件下工作防止因结露造成滤袋结垢而失效创造了一定的条件，同时防止滤料的堵塞和结垢，降低滤料的阻力，因而有利于降低除尘器系统运行的能耗，若配备变频风机，风机只需达到额定功率的 60~70% 一般就可满足要求。

### (b) 滤筒除尘技术

滤筒除尘技术是袋式除尘器的变种，除尘器内部以折叠滤筒代替了滤袋。折叠滤筒是通过折叠的结构，在不改变除尘器原有尺寸的前提下，将过滤面积增大为原来的 3-5 倍，大大降低了过滤风速，提高了对高比电阻微细粉尘的捕集效率。折叠滤筒采用纺粘聚酯纤维新型材料，该材料具有致密的微孔结构和坚硬的质地，不需要任何辅助支撑材料即可保持折叠形状。折叠滤筒除尘效率一般在达到 99.99% 以上，过滤风速一般在 0.6m/min 以下，处理后粉尘排放浓度可达 10mg/m<sup>3</sup> 以下。但与传统覆膜滤料相比，虽然设计使用寿命较长，但滤筒的价格仍相对较高。

### (c) 电袋复合除尘器

静电除尘器改为电袋复合除尘器通常保留一电场或二电场部分分区，利用原有的电除尘器

外壳，在顶部进行适当的改造，在拆除后续电场内的芒刺、极板、振打装置、高压硅整流装置和出口喇叭后，顶尾部增加部分壳体，采用布袋除尘器的复合结构，阳极振打器全部更换，并对原有设备的钢结构进行适当的补强，实现电除尘与覆膜布袋除尘的有机结合。电袋除尘技术充分发挥电除尘器和布袋除尘器各自的除尘优势，并且改善了进入袋区的烟尘工况条件，达到除尘效率稳定高效、滤袋阻力低使用寿命长、运行维护费用低、占地面积小等优点。粉尘在电场中充分荷电除去粗尘，也就是说除去粒径较大的，剩下荷电不充分但可在电场中被极化进入滤袋除尘，而覆膜滤袋对微细粉尘有很高的除尘效率。同时，由于荷电效应经过电场荷电后的粉尘排列有序且呈蓬松状态，滤袋形成的粉尘层阻力小，易于清灰，比常规布袋除尘器低 500Pa 左右的运行阻力，降低除尘器的运行、维护费用。两种除尘机理结合使不同粒径粉尘达到最佳收集效果。此类除尘器改造优势在于可实现就地改造，减少施工周期和停产改造时间，适合生产节奏紧张场景下的静电除尘提标改造。

#### (d) 转炉一次干法静电除尘

转炉一次干法静电除尘器效率较高，能达到 99.0%，耐温高达 350℃，阻力小，约为 200~300Pa，处理风量范围大。但由于其适用粉尘比电阻范围为  $10^4\sim 10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ ，受粉尘理化性质变化影响较大，不能适应工艺工况和负荷大的变化。而转炉煤气中烟尘比电阻变化大，且工艺工况存在波动，从而导致其除尘效率不稳定，通常稳定在 90%左右，长期保持排放浓度在 20-30  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。近年来成为钢铁企业转炉一次烟气除尘改造的较佳选择，当前卸爆问题也得到较好解决，较传统新 OG 湿法除尘工艺净化效率高、无耗水、系统阻力小。

#### (e) 塑烧板除尘技术

塑烧板除尘器以独特的波浪式塑烧板过滤芯取代了传统布袋，塑烧板表面经过深度处理，孔径细小均匀，具有疏水性，不易粘附含水量较高的粉尘，适用于处理板材精轧机组等含湿量较大的废气除尘场景。塑烧板除尘器除尘效率一般在 99% 以上。

#### (f) 软稳高频电源技术

常规静电除尘器配套使用的工频电源，其电源工作频率为 50Hz 工频，供给电除尘器的高压直流电含有近 30% 的纹波，由于工频电源的电压输出特性脉动波形，且控制特性采用的火花率控制，因此，电源电压不能始终工作在最佳高效值附近，即火花放电电压附近的临界电压值，从而不能使电源电压给粉尘最大程度进行荷电导致除尘效率受到影响，同时由于变压器效率低及采用火花率控制等因素，常规工频电源其自身电耗和电场能耗都较高。

软稳高频电源谐振输出频率可达 40kHz，经整流以后可输出非常平稳的直流，而高压工频

电源输出的是脉动直流，平均电压与峰值电压波动较大；同时软稳高频电源具有根据负载工况变化自动跟踪火花放电电压，从而使电源输出电压始终工作在火花放电临界电压处，此电压值是电晕放电的最高效率，从而最大程度使粉尘荷电，提高收尘效率；软稳高频电源还具有消除反电晕功能，因此在除尘器本体系统状况良好及运行工况一致的状态下，采用软稳高频电源供电比原有的高压工频电源的粉尘排放浓度可降低 30% 以上，从而达到新的排放标准要求。

除能提高除尘效率外，软稳高频电源由于其变压器效率高，可达 90% 以上，而工频电源一般在 60% 左右，因此自身电耗大幅降低；软稳高频电源可消除火花放电，节省大量电场火花及电弧放电消耗的能量，还使电晕线的芒刺减少钝化，有效提高除尘器使用寿命和放电频率，除尘系统电耗将大幅降低约 40%~50%。

#### (g) 临界微脉冲电源

临界微脉冲电源是混合供电模式，即在直流（工频或高频高压）供电的基础上叠加脉冲电压。由于脉冲电压上升沿为纳秒级且脉冲持续时间极短，不易触发电场闪络。脉冲电压幅值高，可一定程度上提高平均场强，并产生“微火花”以增加空间电荷；间歇脉冲供电技术降低电流，可以克服高比电阻粉尘引起的反电晕。该技术突破了现有工频（单相、三相）、高频及脉冲电源的增效节能的瓶颈。不采用“火花监测”方式控制，系统根据电除尘内部工况变化自动调节动态适应，将输出电压始终控制在瞬时工况下的火花始发点以下临界处，实现了连续场强最高化，同时采用临界区微脉冲（脉动）荷电方式，使电场一直处于“二次电子崩”和“流注初期”的最佳荷电状态。高有效电压、低电流微脉冲（脉动）供电，有效地抑制了反电晕，降低了粉尘层对极板的吸引力，容易振打脱落，拓宽了捕集粉尘比电阻的范围，大幅度提高了除尘效率。由于采用高频技术使其功率因数高，同时避免了火花放电所造成的能耗，实现了更大幅度的节能。由于其避免了火花放电产生的电腐蚀，使本体性能长期高效稳定运行。

#### (h) 湿式静电除尘技术

湿式静电除尘工艺具有除尘效率高、克服高比电阻产生的反电晕现象、无运动部件、无二次扬尘、运行稳定、压力损失小、操作简单、能耗低、维护费用低、生产停工期短、可工作于烟气露点温度以下、由于结构紧凑而可与其他烟气治理设备相互结合、设计形式多样化等优点。同时，其采用液体冲刷集尘极表面来进行清灰，可有效收集细颗粒物（一次  $PM_{2.5}$ ）、 $SO_3$  气溶胶、重金属（Hg、As、Se、Pb、Cr）、有机污染物（多环芳烃、二恶英）等，协同治理能力强。使用湿式静电除尘器后，颗粒物排放可达  $10mg/m^3$ ，且具备达到  $5mg/m^3$  以下的能力。在烧结机头烟气湿法脱硫之后使用，还可解决湿法脱硫带来的石膏雨、蓝烟、酸雾问题，缓解

下游烟道、烟囱的腐蚀，节约防腐成本。

#### (i) 高效湿式除尘技术

高效湿式除尘技术是将含湿量较大粉尘气体经过管道输送至高效喷淋除尘系统中，与经过喷淋处理后的小液滴进行充分混合碰撞吸附后，形成小颗粒聚合物，小颗粒聚合物再碰撞后变成大颗粒聚合物，借助重力及精细水浴双重作用，滴落至蓄水池，含尘污水通过沉淀后污泥泵输送至沉淀池，同时通过对蓄水池进行新水补充，定期清除淤泥，外排废水回用，保持水质指标满足循环要求，从而实现净化后外排烟气中颗粒物浓度达到  $10\text{mg}/\text{m}^3$  以内。

### 3.5 现行环保标准存在的主要问题

#### (1) 现行钢铁系列标准共同存在的问题

①目前钢铁企业无组织污染控制薄弱，标准在无组织管控措施方面欠缺。系列标准中规定“大气污染物无组织排放的采样点设在生产厂房门窗、屋顶、气楼等排放口处，并选择浓度最大值”，大多数部分企业厂房门窗、屋顶、气楼等位置不具备监测条件，无法按监测要求中规定的方法开展监测。

②标准中引用的 GB/T 16157-1996 对低浓度颗粒物不适用，随着钢铁行业执行特别排放限值和超低排放工作不断深入，钢铁行业颗粒物排放浓度限值持续收严，且在线监测数据已应用于达标判定。因此，涉及废气的钢铁系列排放标准中大气污染物浓度测定方法标准中应增加《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》（HJ 836-2017）、《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ 76-2017）、等，以确保监测方法可行与监测数据的准确。

③标准中规定“以即时采样或监测的结果，作为判定排污行为是否符合排放标准以及实施相关环境保护管理措施的依据”，但我国目前的大气污染物排放标准浓度限值均是指“小时均值”、“日均值”，在实际执行过程中执法人员按照即时采样或监测结果作为判定企业是否达标的依据，实际上加严了标准要求。

#### (2) 各工序单元标准存在的问题

①钢铁系列标准中部分标准管控因子缺失，不能适应新的环境管理要求。如：烧结、球团标准未对重金属铅及其化合物进行管控；烧结机机头烟气未设置基准氧含量要求；石灰窑、白云石窑焙烧烟气未管控 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>，且未设置基准氧含量要求。

②钢铁系列标准中部分排放限值较为宽松。如高炉热风炉 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 特别排放限值。

③大部分板带材生产企业未安装热轧精轧机颗粒物治理设施，热轧精轧机颗粒物有组织收

集净化处理执行不到位。

④各生产工序的无组织管控要求未在标准中予以规定，需要将管控措施与限值要求结合。

## 4 钢铁工业大气污染物产排污情况及控制技术

### 4.1 钢铁工业的主要生产工艺及产排污情况

#### 4.1.1 钢铁工业主要生产工艺和产排污特征

##### (1) 钢铁工业主要生产工艺

钢铁行业属于资源密集型工业，其主要是大规模对各种块状金属物、非金属物以及粉状金属物进行加工生产。其生产工艺包括长流程及短流程等，炼铁的生产工艺可分为高炉炼铁及非高炉高炼铁等。结合钢铁行业特征，采用典型的高炉炼铁长流程工艺与电炉冶炼短流程工艺分析污染物排放特征。一个该类型典型钢铁企业工艺主要包括原料系统、烧结/球团、炼铁、炼钢、轧钢及公辅等。

钢铁行业大气污染物排放具有①工艺复杂、大气污染物排放点多；②污染因子多；③污染物排放量较大；④烟气阵发性强、无组织排放较大；⑤具有回收价值等特点。

其生产流程及排污节点见图 4-1。钢铁行业各工序排污节点及污染物如表 4-1 所示。

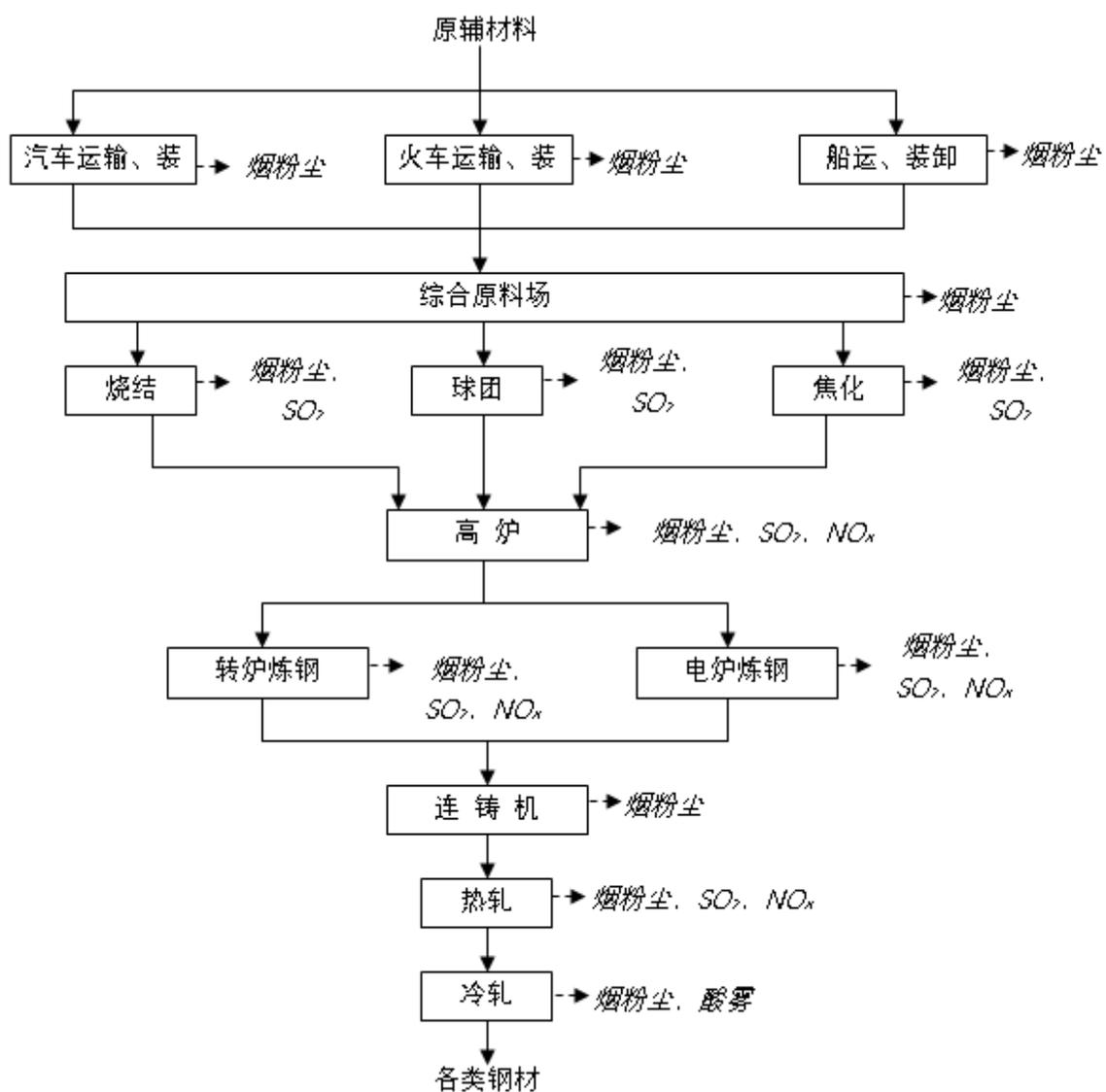


图 4-1 典型钢铁企业生产工艺流程及排污节点图

表 4-1 钢铁行业各工序废气排污节点及污染物

工序	生产设施	排 污 节 点		污 染 物	源 型	
原料系统	供卸料设施、其他	原料的装卸、堆取		颗粒物	面源	
		原料输送、破碎、转运等		颗粒物	点源	
烧结	带式烧结机、步进式烧结机、其他	原料准备	原料输送、破碎、筛分、干燥、煤粉制备	颗粒物	点源	
		配料混合	原燃料存贮、配料、混合造球	颗粒物	点源	
球团	竖炉、链篦机-回转窑、带式焙烧机、其他	烧结球团	烧结（焙烧）	烧结（球团）生产设备	颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO、含尘湿蒸汽、氯化物、氟化物、二噁英、重金属等	点源
			破碎冷却	破碎、冷却	颗粒物	点源
			成品整粒	破碎、筛分	颗粒物	点源
			无组织	各工段	颗粒物	面源
			上料	料仓、槽上、槽下的胶带机落料点和振动筛等处	颗粒物	点源
炼铁	高炉、其他	出铁	出铁场	颗粒物	点源	
		送风	热风炉燃煤气	颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>	点源	
		喷煤制粉	高炉煤粉制备	颗粒物	点源	
		炉体及各工段	高炉冶炼	颗粒物、CO、SO <sub>2</sub>	面源 体源	
		铁水预处理	铁水倒罐、前扒渣、后扒渣、清罐、预处理过程等	颗粒物	点源	
炼钢	转炉、电炉、精炼炉（LF、VD、VOD、RH、CAS-OB、其他）、其他	转炉炼钢	吹氧冶炼（一次烟气）	CO、颗粒物、氟化物（主要成分为CaF <sub>2</sub> ）	点源	
			兑铁水、加废钢、加辅料、出渣、出钢等（二次烟气）	颗粒物	点源	
		电炉炼钢	吹氧冶炼（一次烟气）	颗粒物、CO、NO <sub>x</sub> 、氟化物（主要成分为CaF <sub>2</sub> ）、二噁英、铅、锌等	点源	
			加废钢、加辅料、兑铁水、出渣、出钢等（二次烟气）		点源	

工序	生产设施	排 污 节 点		污染物	源型
		精炼	钢包精炼炉 (LF)、真空循环脱气装置 (RH)、真空脱气处理装置 (VD)、真空吹氧脱碳装置 (VOD) 等设施的精炼过程	颗粒物、CO、氟化物 (主要成分为 CaF <sub>2</sub> )	点源
		连铸	中间罐倾翻和修砌、连铸结晶器浇铸及添加保护渣、火焰清理机作业、连铸切割机作业、二冷段铸坯冷却等	颗粒物	点源
		其他	原辅料输送、地下料仓、上料系统、钢渣处理等	颗粒物	点源
			中间罐和钢包烘烤	颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>	点源
		各工段	颗粒物	面源体源	
轧钢	热轧生产线、冷轧生产线、酸洗生产线、涂镀生产线、其他	热轧生产线		颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>	点源
		酸洗生产线		颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、 酸雾、碱雾、油雾	点源
		涂镀生产线		颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、 油雾、碱雾、有机废气	点源
公用单元	石灰窑 (竖窑、回转窑等)、白云石窑、其他	转运、冷却、成品破碎、筛分		颗粒物	点源
		竖窑、回转窑煅烧		颗粒物、NO <sub>x</sub>	点源
		成品输送、入库及装车		颗粒物	面源
	燃气锅炉、燃煤锅炉、燃油锅炉、发电机组、其他	发电站锅炉、过热炉煤气 (或燃煤)		颗粒物、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> (Hg)	点源

## (2) 各工序产排污环节及污染排放特征

### ① 储运过程产排污环节及污染物排放特征

#### (a) 运输

钢铁工业是大进大出的资源密集型产业，钢铁企业每生产 1 吨钢，各种原辅燃料、产品、副产品等外部运输量将高达 5 吨。钢铁企业原辅材料及产品的运输主要包括厂内运输及厂外运输 2 部分。运输过程中产生的主要污染物为扬尘及运输车辆排放的 CO、NO<sub>x</sub>、碳氢化合物等。

钢铁企业外部物流方式主要包括铁路运输、公路运输、水路运输和皮带运输等。其中，公路运输由于具有灵活方便的特点，特别是对于京津冀及周边地区大多数企业，特别是中小企业大都以公路运输为主。但公路运输产生的扬尘，重载货运卡车排放的尾气都会对环境造成污染。以唐山市为例，按唐山市粗钢产量 1.2 亿吨，外部运输量则为 6 亿吨。参照运输扬尘计算公式，重型载货柴油汽车每年会产生道路扬尘 37.4 万吨，产生排放颗粒物 4000 吨、NO<sub>x</sub>3.2 万吨，以及数量可观的 CO、碳氢化合物等其它污染物。而江苏省由于独有的地域优势，大宗原燃料运输一定比例采用水路运输，但成品钢材运输方面仍以汽运为主，作为全国钢铁产能排名第二的大省，由于汽运带来的主要污染物排放也是一个关键要素。

钢铁企业内部物流的主要方式包括铁路运输、公路运输、皮带运输等。运输过程中污染物产排情况与厂外运输类似。

#### (b) 原料场

原料场作为钢铁生产的重要组成部分，承担着烧结、球团、焦化、石灰、炼铁等用户生产所需的各类散状原燃料的受卸、贮存、加工和输送任务。各类原燃料在二级风以上风力作用下极易干燥，在装卸、输送、露天堆存造成的粉尘已成为生产、运输、贮存过程中无组织排放的主要污染源，其具有尘源点多、粉尘浓度高、治理面积大等特点。

原料场根据工艺流程可分为受卸设施、储料场设施、原料处理设施（包括破碎、筛分、混匀等）、原料输送设施。其中受卸设施、原料处理、输送设施扬尘污染现象主要表现在原料转运过程中的集中扬尘，而对于储料场设施中扬尘污染主要由原料在堆、取料作业过程中以及原料在料场堆存期间受风力影响造成。由于风力作用，原料场附近大气含尘量高达 100mg/m<sup>3</sup>，原料场堆存原料每年损失可达总储量的 0.5%~2%。

料堆扬尘主要分为两大类：一类是料堆场表面的静态起尘；另一类是在堆、取料等过程中的动态起尘。前者主要与物料表面含水率、环境风速等关系密切，后者主要与作业落差，装卸强度等有关。对于储料场内堆、取料作业中，物料受自身物理特性（物料粒度、含水率等）影响依据

转运落差以及天气、风速等作用，在冲击地面或料堆时均会造成细小颗粒漂移飞散产生扬尘。特别是  $10\mu\text{m}$  及  $10\mu\text{m}$  以下的颗粒最具危害。通常，原料场扬尘中粒径  $10\mu\text{m}$  以上颗粒约占总重量的 96%，约有 4% 的粒径在  $10\mu\text{m}$  以下。

## ② 烧结、球团工序产排污环节及污染物排放特征

### (a) 生产工艺流程及产排污节点

烧结、球团工序颗粒物和  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  排放总量占据整个钢铁冶炼过程的绝大部分比重，也是气体污染物产排污的最主要环节。烧结燃料破碎、原燃料配料、混合整个原料准备阶段，烧结台车上混合料点火焙烧过程中，以及烧结过程结束后，烧结矿冷却、破碎、筛分、转运过程中都会产生大量的烟粉尘；同时，由于烧结所使用的铁矿石原料以及煤粉、焦粉等燃料中含硫，因此在高温焙烧时，会产生  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$ 、二噁英等污染物。球团生产的产排污状况与烧结基本类似，主要包括链篦机预热、回转窑焙烧或竖炉焙烧产生大量含尘及  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  的废气，配料及成品运输等过程中产生大量含尘废气等。烧结、球团典型工艺流程及排污节点如图所示。

原辅材料：矿粉、石灰石、白云石、焦炭、生石灰、返矿等

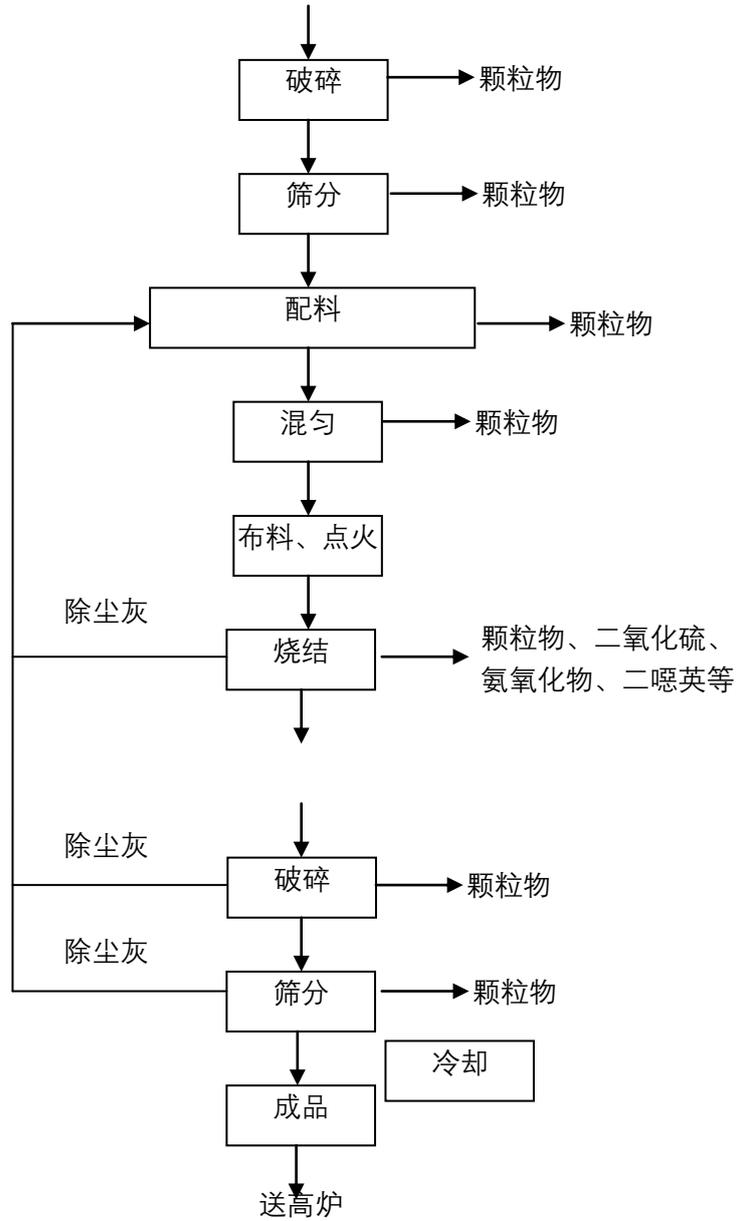


图 4-2 烧结工序工艺流程及排污节点图

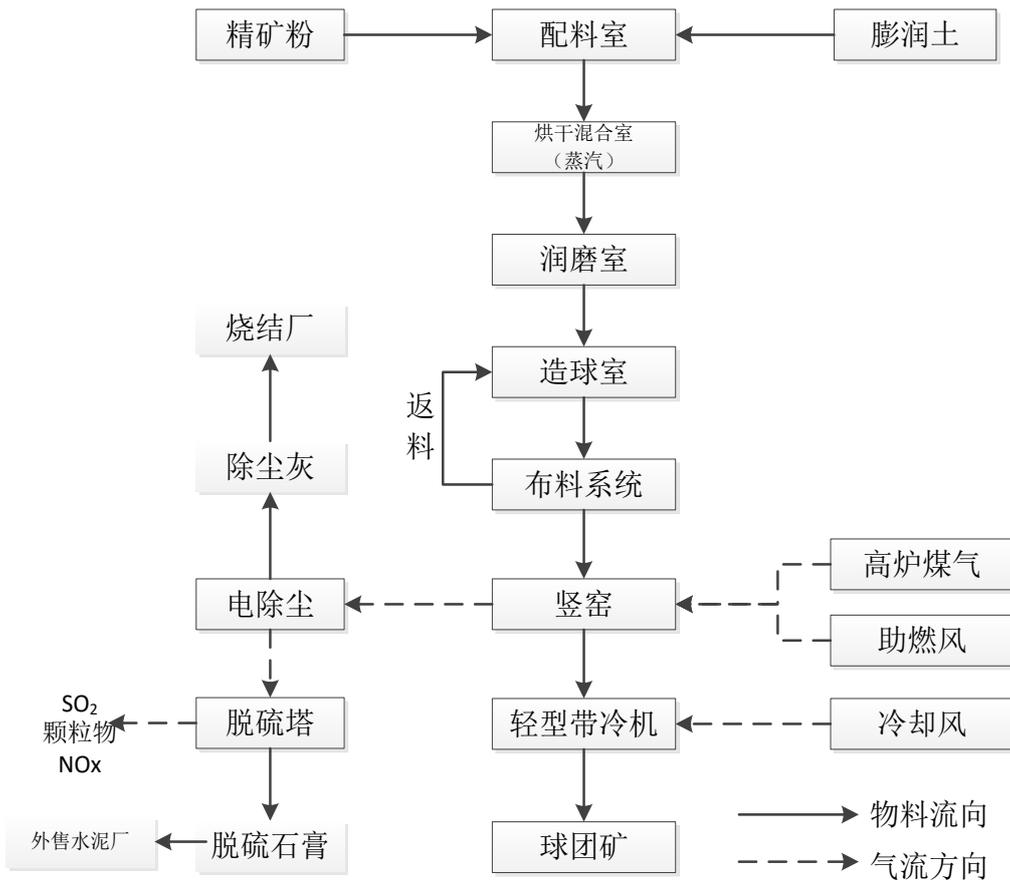


图 4-3 球团工序工艺流程及排污节点图

(b) 污染物排放特征

烧结、球团工序是钢铁工业的主要排污源。结合 2019 年我国重点钢铁企业各工序主要污染物排放量统计数据来看，烧结、球团排放的颗粒物占总排放量的 47.87%，SO<sub>2</sub> 占总排放量的 73.49%，NO<sub>x</sub> 占总排放量的 61.47%，钢铁工业 90% 以上的二噁英来自的烧结、球团工序，其中主要来源于烧结机头烟气。

烧结工序粉尘主要来自烧结机头抽风箱外排烟气和机尾卸出的烧结矿在破碎、筛分时产生的粉尘，主要为铁氧化物、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 和 MgO 等；烧结烟气中粉尘粒径在 5 μm 以下的微细颗粒占到粉尘总量的 32% 以上，绝大多数为大于 10<sup>11</sup> Ω·cm 高比电阻粉尘。根据相关取样分析资料，烧结机头烟尘中粒径 10 μm 以下颗粒占比约 51%、2.5 μm 以下颗粒占比约 44%；烧结机尾及其他烟尘中粒径 10 μm 以下颗粒占比约 8%、2.5 μm 以下颗粒占比约 6%。

表 4-2 烧结工序粉尘特性

生产流程	产尘点	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	质量粒径分布 (%)			化学成分 (%)				游离 SiO <sub>2</sub> (%)
			>10 μm	5~10 μm	<5 μm	TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	
烧结	机头 (冷矿)	3.47	85.6	6.0	8.4	56.3	7.0	10.9	3.5	-
	整粒 (环境除尘)	4.95	60	10	30	46.9	5.6	14.4	3.5	-
	筛分 (筛子除尘)	4.78	67	14	19	46.9	5.6	14.4	3.5	-

烧结烟气中的 SO<sub>2</sub> 主要来源于铁矿石和固体燃料 (如煤粉等)。铁矿石中的硫通常以硫化物 (FeS<sub>2</sub>、CuFeS<sub>2</sub> 等)、硫酸盐 (BaSO<sub>4</sub>、CaSO<sub>4</sub>、MgSO<sub>4</sub> 等) 的形式存在, 燃料煤中的硫多以有机硫的形式存在, 硫化物和有机硫分解后很快和 O<sub>2</sub> 反应而氧化为 SO<sub>2</sub>, 而硫酸盐在分解反应中释放出 SO<sub>2</sub>。每生产 1t 烧结矿需要燃料煤约 35~55kg, 铁矿石的含硫量因产地的不同, 变化幅度高达数十倍。适当地选择、配入低硫的原料, 可有效减少 SO<sub>2</sub> 排放量。因铁矿石来源不同, 烧结、球团生产过程中硫的输入不等, 每生产 1t 烧结矿产生 SO<sub>2</sub> 一般在 0.8~3.0kg。

烧结过程产生的 NO<sub>x</sub> 主要包括 NO 和 NO<sub>2</sub>, 90% 以上为 NO, 5%~10% 为 NO<sub>2</sub>, 还有微量 N<sub>2</sub>O。NO<sub>x</sub> 来源主要有两部分: 一是烧结点火阶段, 二是固体燃料燃烧和高温反应阶段。NO<sub>x</sub> 产生途径主要有 3 种: 在燃烧条件下, 空气中的 N<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 反应生成热力型 NO<sub>x</sub>; 燃烧过程中, 空气中的 N<sub>2</sub> 和燃料中的碳氢基团反应生成的 HCN、CN 等 NO 前驱物又被进一步氧化成为 NO<sub>x</sub>, 为快速型 NO<sub>x</sub>; 燃料中的氮在燃烧过程中被氧化成为燃料型 NO<sub>x</sub>。低于 1500°C 时, 热力型 NO<sub>x</sub> 的生成量很少; 高于 1500°C 时, 随着反应温度升高, 其生成速率按指数规律增加, 生成量明显升高, 已有研究表明, 烧结过程产生的 NO<sub>x</sub> 有 80%~90% 来源于燃料中的氮为燃料型 NO<sub>x</sub>, 热力型和快速型 NO<sub>x</sub> 生成量很少。烧结燃烧温度较燃煤电站锅炉低, 为 1200°C~1400°C, 这是烧结烟气 NO<sub>x</sub> 浓度低于燃煤电站烟气的主要原因。燃料中氮的热分解温度低于煤粉燃烧温度, 在 600~800°C 时生成燃料型 NO<sub>x</sub>。NO<sub>x</sub> 生成量受到燃料氮含量、氮的存在形态、燃料粒度、空气过剩系数、烧结混合料中金属氧化物等成分的影响。生产 1t 烧结矿产生 NO<sub>x</sub> 约 0.4~0.65kg, 烧结烟气中 NO<sub>x</sub> 的浓度一般在 200~300mg/m<sup>3</sup>。

二噁英的产生主要有 3 种途径。①前驱体合成: 二噁英的前驱体, 如氯酚、氯苯、多氯联苯等, 通过氯化反应、缩合反应、氧化反应等生成二噁英。②从头合成: 在 250~450°C 范围, 大分子碳 (残碳) 与飞灰基质中的有机氯或无机氯经金属离子 (铜、铁等) 催化反应生成二噁英。燃烧不充分时, 烟气中会产生过多的未燃尽物质, 在气体冷却阶段并存在氯源的情况下, 遇到合适的触媒, 高温燃烧中已经分解的二噁英将会重新生成。③热分解反应生成: 含有苯环结构的高

分子化合物经加热发生分解而生成二噁英，芳香族物质和多氯联苯在高温下分解可生成大量二噁英。二噁英的生成必须具备 4 个基本条件：含苯环结构的化合物（热分解产生、碳氢化合物合成或者不完全燃烧生成等）、氯源、催化剂和合适的生成温度，350°C左右为最佳生成温度。烧结具备从头合成反应的大部分条件：存在氯源，氯来源于回收的废铁、炉渣及铁矿中的有机氯成分；碳来源于焦炭、木质素等，是燃烧过程的产物；含有大量可作为催化剂的铜、铁等过渡金属离子；有充足的氧存在；烧结料床中存在 250~450°C的温度带。从头合成是烧结过程中二噁英生成的重要途径之一，且生成的二噁英中 PCDFs 的比例较高。在烧结料层中，焦粉、煤等含碳成分和含铁原料中的含氯载体，在 250~450°C和氧化性气氛中，在铜、铁等的催化作用下，在干燥预热带形成二噁英。二噁英在接近烧透点附近的烧结料层中开始浓缩、挥发和凝结，直到烧结物料温度上升至足够高而无法继续凝结后，随废气一同逸散。中国目前公布的钢铁行业二噁英类污染物排放数值，是根据联合国环境规划署提供的《辨别和量化二噁英及呋喃排放标准工具包》确定的。该工具包规定，没有大量循环利用含油废弃物，控制较好的烧结厂大气排放因子为 5gTEQ/Mt 烧结矿，飞灰残渣排放因子为 0.003gTEQ/Mt 烧结矿。由于二噁英测试过程较为复杂，中国烧结机烟气二噁英排放浓度的实测报道较少。

### ③炼铁工艺产排污环节及污染物排放特征

#### （a）炼铁工序产排污环节

主要集中在以下方面：高炉出铁时会在开、堵铁口时，以及出铁口、铁沟、渣沟、撇渣器、摆动流嘴、铁水罐等部位产生烟尘；高炉矿槽的槽上设有胶带卸料机，矿槽下设有给料机、烧结矿筛、焦炭筛、称量漏斗和胶带运输机等，各设备生产时在卸料、给料点等处有粉尘；高炉炉料采用胶带上料方式，生产时炉顶胶带机头卸料时产生粉尘；高炉喷吹煤粉制备系统生产时有含煤粉的废气产生；高炉热风炉以高炉煤气为主要燃料，燃烧废气中含有少量烟尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>；高炉冶炼过程中炉内有大量含尘和CO的高炉煤气产生，高炉煤气在净化后作为钢铁生产重要的燃料使用。

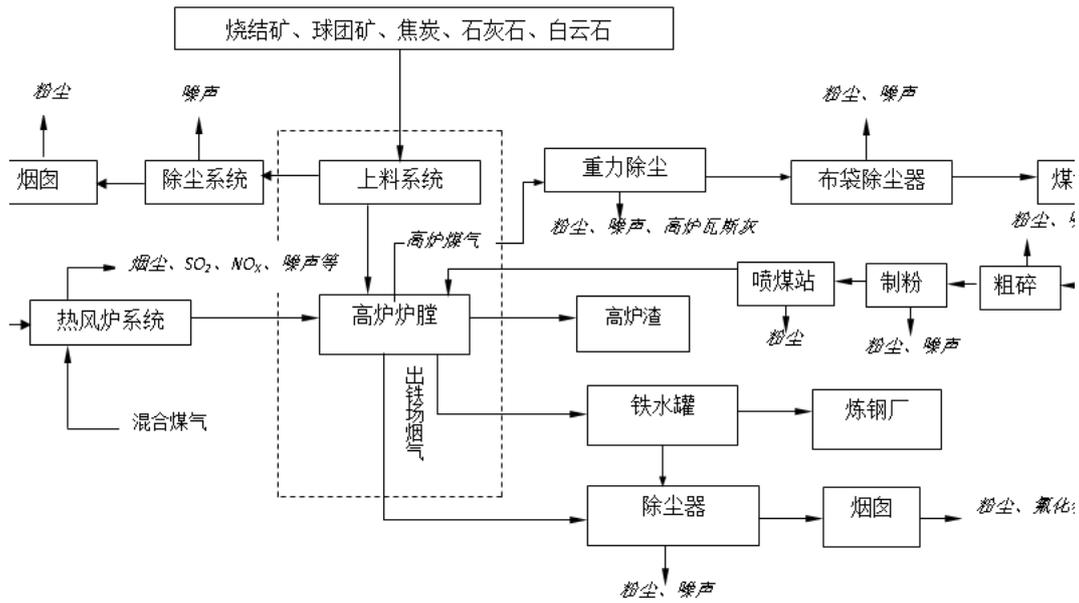


图 4-3 炼铁生产工艺流程及排污节点

#### (b) 污染物排放特征

炼铁工序产生的污染物主要包括颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等。结合 2019 年我国重点钢铁企业各工序主要污染物排放量统计数据来看，炼铁工序排放的颗粒物占总排放量的 22.35%，SO<sub>2</sub> 占总排放量的 4.82%，NO<sub>x</sub> 占总排放量的 9.22%。烟粉尘为炼铁工序最主要的污染物。

炼铁各主要产尘点主要集中在以下部位。一是储矿槽槽上和槽下分别具有储存烧结矿、焦炭、杂矿，以及振动给料、胶带转运功能，槽上扬尘主要来自于分料皮带机机头和布料车皮带机受料点的扬尘，布料车向贮矿仓卸料时，小车头轮处会因为转运卸料产生大量扬尘，布料车向贮矿仓卸料时，由于落差较大，产生的剧烈扬尘。槽下扬尘主要来自槽下震动给料机在筛料时，称重仓和给料机筛面的扬尘，震动给料机向各个输送皮带落料时产生的扬尘，碎矿返矿皮带输送机机头处的扬尘，成品矿向料坑贮矿仓卸料时的扬尘，以及料坑内向上料小车装料时的扬尘。这部分粉尘具有阵发性、扩散性和瞬间产尘量大的特点，浓度在 3g/m<sup>3</sup>~5g/m<sup>3</sup>；二是高炉出铁时在出铁口区的主撇渣器、铁水摆动流嘴、渣沟、铁水沟等处均产生大量烟尘。烟气的特点是高温喷射而出，瞬间烟气量大，但出铁场时间存在自身周期，因此属于间断产尘点；三是高炉热风炉废气烟尘是由于燃烧的煤气一般为净化后的高炉煤气和转炉煤气，因此，热风炉废气中含尘浓度较低，含尘量在 10mg/m<sup>3</sup> 左右；四是高炉喷煤系统产生粉尘的主要部位在球磨机、布袋除尘器、螺旋泵、皮带转运站、输送管路、控制阀门及均压放散等处。具有易燃易爆，尘浓度高的特点，尘浓度 50g/m<sup>3</sup>~60g/m<sup>3</sup>。

炼铁工序各主要产尘节点粉尘特性如下表所示：

表 4-3 炼铁工序粉尘特性

生产流程	产尘点	真密度 (g/cm <sup>3</sup> )	质量粒径分布 (%)			化学成分 (%)				游离 SiO <sub>2</sub> (%)
			>10 μm	5~10 μm	<10 μm	TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	
炼铁	高炉	3.31	88.9	0.8	10.3	48.4	12.8	5.8	2.5	11.46
	矿槽	3.89	97.7	1.0	1.3	48.37	12.77	5.84	2.46	11.46
	出铁场	3.72	87.9	8.1	4.0	55.27	2.46	7.90	3.29	3.67
	沟下	3.80	97.1	2.0	0.9	51.93	11.00	12.60	2.66	9.1

炼铁系统排放的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 主要来源为热风炉燃烧废气，热风炉一般以净化后的高炉煤气或转炉煤气为燃料，高炉煤气中 H<sub>2</sub>S 含量约占煤气中总硫含量的 15%~30%，转炉煤气中不含硫，目前受高炉原料波动影响，热风炉燃烧废气中 SO<sub>2</sub> 浓度波动范围较大，通常在 30~150mg/Nm<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub> 浓度约在 100~150mg/Nm<sup>3</sup> 之间，若采用低氮燃烧技术，NO<sub>x</sub> 浓度可降至 100 mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

#### ④炼钢工艺产排污环节及污染物排放特征

##### (a) 生产工艺流程及产排污节点

炼钢车间铁水预处理，生石灰等原辅料输送、转炉兑铁水、加废钢、出钢过程，以及精炼炉冶炼都会产生含尘烟气。采用电炉炼钢工艺的，在加废钢、冶炼、出钢过程也产生含尘烟气。转炉在吹炼时产生大量含 CO、粉尘的高温烟气，其中 CO 含量较高的部分烟气可作为转炉煤气净化后予以回收利用。

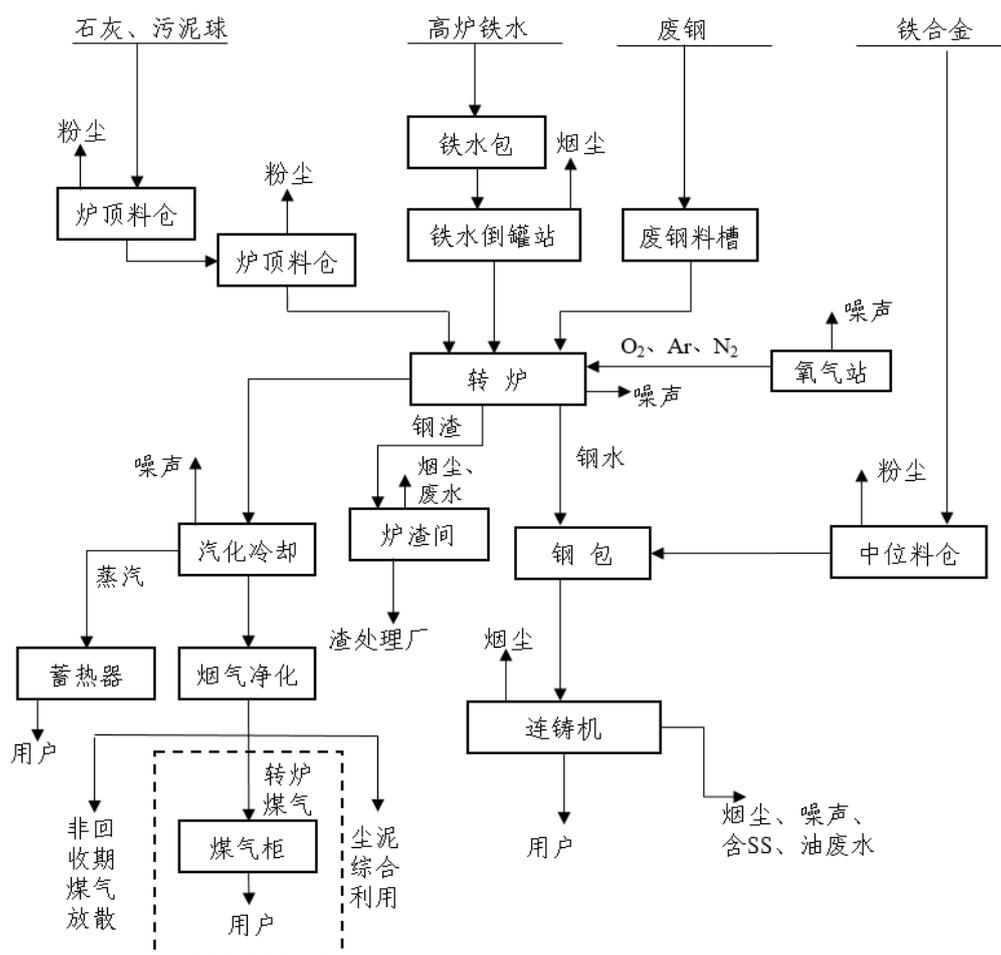


图 4-4 炼钢生产工艺流程及排污节点

(b) 污染物排放特征

炼钢工序产生的污染物主要包括颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等。结合 2019 年我国重点钢铁企业各工序主要污染物排放量统计数据来看，炼钢工序排放的颗粒物占总排放量的 16.95%，SO<sub>2</sub> 占总排放量的 0.58%，NO<sub>x</sub> 占总排放量的 1.41%。烟粉尘为炼钢工序最主要的污染物。

炼钢工序主要可以分为转炉长流程炼钢及电炉短流程炼钢两类不同的技术路线。

一是转炉炼钢产尘。转炉炼钢工序最主要的产尘点主要包括：混铁炉（倒罐站）、铁水预处理、转炉、精炼炉等。混铁炉（倒罐站）烟粉尘主要来自铁水兑入、倒出作业过程中的高温含尘烟气；铁水预处理烟粉尘主要来自铁水脱硫、扒渣等预处理作业中的高温含尘烟气；转炉烟粉尘主要来自转炉吹炼过程，以及兑铁水、加入废钢、加入辅料、出渣、出钢过程产生的含尘废气；精炼烟粉尘污染主要来自 LF、VD、RH 等精炼炉等冶炼过程中的含尘废气。此外，转炉炼钢车间连铸中间罐倾翻和修砌、连铸结晶器浇注及添加保护渣、火焰清理机作业过程、二冷段铸坯冷却过程，以及原辅料输送、地下料仓、上料系统，中间罐和钢包烘烤，钢渣处理过程也是烟粉尘

产生源。烟气中含尘浓度高、粒度细，因含大量 CO，因此毒性大，烟温高也为尾端治理工艺增加了复杂性。

二是电炉冶炼产生。电炉冶炼一般分为熔化期和氧化期。熔化期主要是炉料中的油脂类可燃物质的燃烧和金属物质在高温时气化而产生的黑褐色烟气；氧化期强化脱碳，由于吹氧或加矿石而产生大量赤褐色浓烟。在上述两个冶炼期中，氧化期产生的烟气量最大，含尘浓度和烟气温度最高。

炼钢工序各主要产尘节点粉尘特性如下表所示：

表 4-4 炼钢工序粉尘特性

生产流程	产尘点	真密度 (g/cm <sup>3</sup> )	质量粒径分布 (%)			化学成分 (%)				游离 SiO <sub>2</sub> (%)
			>10μm	5~10μm	<10μm	TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	
炼钢	混铁炉	3.86	93.7	2.9	3.4	46.3	9.16	-	-	微量
	转炉（顶吹）	5.0	95.4	2.4	2.2	65.0	4.82	2.92	0.81	微量
	转炉（侧吹）	3.76	84.7	1.4	13.9	41.35	3.80	22.88	1.91	微量
	电炉	3.28	80.5	3.3	16.2	27.3	3.36	9.84	21.85	微量

#### ⑤ 轧钢工艺产排污环节及污染物排放特征

##### (a) 生产工艺流程及产排污节点

轧钢工艺主要包括热轧及冷轧两类工序。

热轧工序废气污染物主要分为两部分：一是加热炉以高、焦、转炉混合煤气为燃料，燃烧后产生含少量 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等污染物的烟气；二是轧机在轧制过程中产生的粉尘。

冷轧拉伸矫直、焊接、各机组平整机平整等过程产生粉尘；酸轧机组酸洗槽、废酸再生装置产生酸雾；连续退火机组、热镀锌机组、电镀锌机组等清洗段产生碱雾；冷轧机组轧制产生乳化液油雾；各退火炉燃煤气产生含 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 及少量尘的烟气。

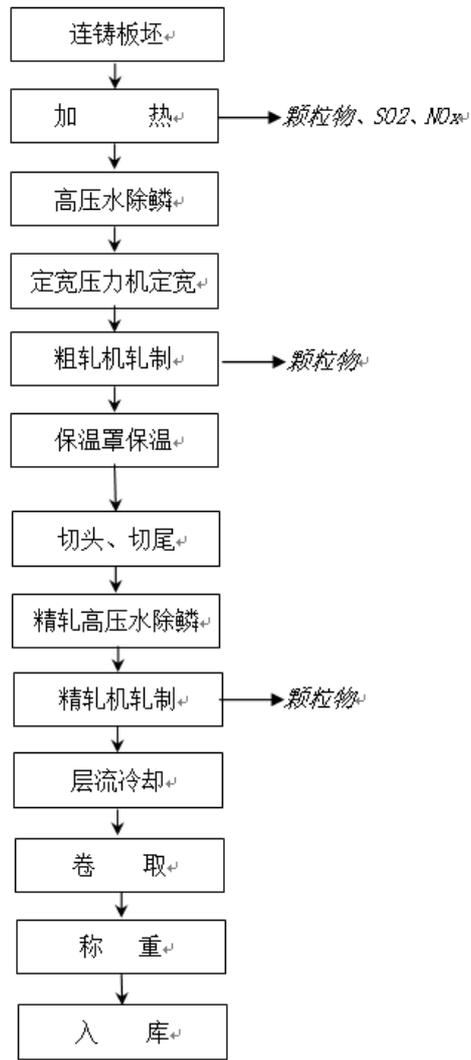


图 4-5 热轧生产工艺流程及排污节点

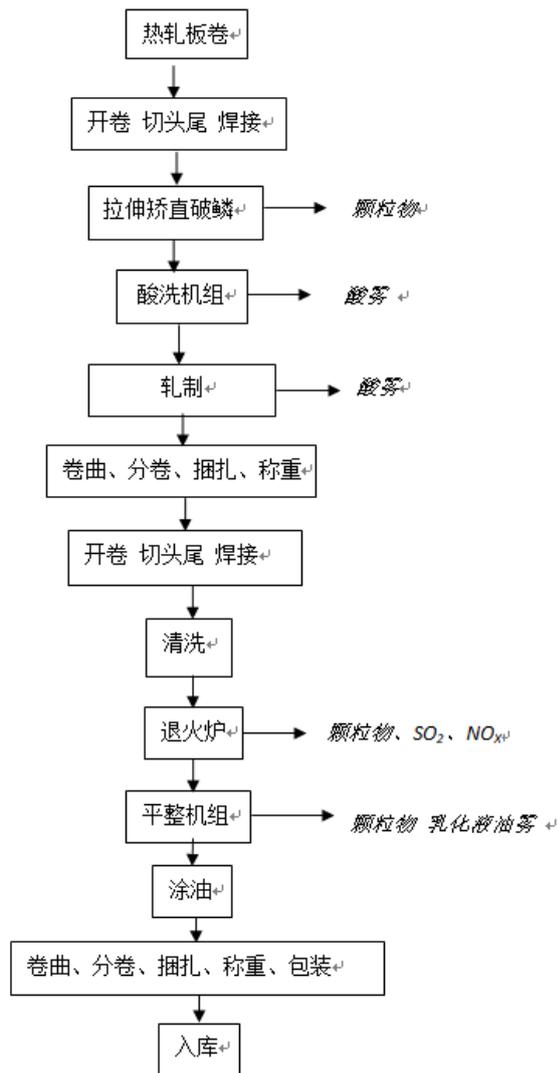


图 4-6 典型冷轧（板卷）生产工艺流程及排污节点

(b) 污染物排放特征

轧钢工序产生的污染物主要包括烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、油雾等。结合 2019 年我国重点钢铁企业各工序主要污染物排放量统计数据来看，轧钢工序排放的颗粒物占总排放量的 2.27%，SO<sub>2</sub> 占总排放量的 3.22%，NO<sub>x</sub> 占总排放量的 4.87%。

目前，在有炼铁、焦化、炼钢等工序的长流程钢铁联合企业中，轧钢加热炉所使用的燃料都是回收的焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、混合煤气等，煤气在回收中已经过处理。因此轧钢工序加热炉排放的烟粉尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 浓度均较低，其中 NO<sub>x</sub> 一般在 200mg/m<sup>3</sup> 以下，若采用蓄热燃烧技术及低氮燃烧技术则可以进一步降低 NO<sub>x</sub> 排放浓度。目前所有的轧钢加热炉烟气都是通过高烟囱排放。

轧钢工序主要的生产原料是已经成型的钢坯或钢材，没有散状原料，因此产尘点相对较少，产尘量也较小。主要产尘点集中在加热炉、热处理炉等排放的含尘烟气，以及轧机在轧制过程中由于轧辊与钢坯挤压、摩擦过程中，钢坯表面的氧化铁粉末随着高温水蒸气向外部扩散的含尘烟气。

轧钢主要产尘工序粉尘排放特性如下表所示：

表 4-5 轧钢工序粉尘特性

生产流程	产尘点	真密度 (g/cm <sup>3</sup> )	质量粒径分布 (%)			化学成分 (%)				游离 SiO <sub>2</sub> (%)
			>10 μm	5~10 μm	<10 μm	TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	
轧钢	初轧	5.85	87.4	0.7	11.9	69.1	2.58	0.86	0.62	1.17
	型钢	5.76	83.7	2.9	13.4	65.13	3.54	1.75	1.81	12.0
	钢板	4.41	85	2.5	12.5	59.68	5.85	3.13	1.77	1.0
	钢管	5.76	82.4	3.1	14.5	57.8	5.28	2.75	1.48	11.9

#### (6) 其他

石灰石转运过程中产生粉尘；回转窑煅烧过程中产生含尘、NO<sub>x</sub> 的废气；高温石灰在窑头冷却过程中产生粉尘；成品石灰在输送、破碎、筛分、入库及装车等过程中产生的粉尘。

钢渣处理热焖、渣钢切割时产生少量粉尘；废钢加工在废钢装卸、切割时产生少量粉尘。

发电站锅炉、其他工业炉窑燃煤气产生含 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和少量尘的废气。

### 4.1.2 钢铁工业主要有毒有害污染物特性

#### (1) 烟粉尘（颗粒物）

钢铁行业原料运输、倒运、供卸料等系统中产生的无组织颗粒物排放；烧结工序主要是原矿与燃料中煅烧产生的烧结机头烟气中含碱金属飞灰，与配料、混料、整粒等环节产生的粉尘颗粒物。炼铁、炼钢、轧钢等冶炼与轧制过程中产生的烟尘及氧化铁皮飞屑。由于钢铁企业清洁运输推行处于攻坚期，整体来看，全流程无组织颗粒物排放仍作为工业排放源颗粒物的重点。

#### (2) 二氧化硫

烧结（球团）过程中原矿与燃料煤焙烧产生的 SO<sub>2</sub>，是全流程钢铁工序 SO<sub>2</sub> 排放强度最多的点位。同时，炼铁过程中冶金焦炭、原料的燃烧也使得煤气中含有一定浓度的 H<sub>2</sub>S 与更高比例存在的有机硫，在有氧充分燃烧后，于煤气下游用户如热风炉、加热炉及热处理炉、石灰窑等排放节点产生 SO<sub>2</sub>。

#### (3) 氮氧化物

烧结（球团）、炼铁和炼钢、轧钢等燃煤、焦粉或混合煤气的工序，在生产过程中将主要产

生燃料型与热力型  $\text{NO}_x$ ，成为工业固定源污染物排放的一大重点污染源。

#### （4）氟化物

烧结（球团）、炼铁过程由于高温煅烧原矿与煤燃料，导致上述工序产生气态氟，主要成分为  $\text{HF}$  和  $\text{SiF}_4$ 。炼钢系统烟气中的氟化物主要来源于添加的萤石，且主要以  $\text{CaF}_2$  形式存在，可通过高效除尘设施予以去除。

#### （5）二噁英

在烧结（球团）与电炉炼钢工序中，二噁英主要来源于含油氧化铁皮与废钢油漆等，特别是氯化物原料的热反应过程。通过选用低氯化物原料、轧钢皮除油以及废气循环的措施可有效降低废气中二噁英的排放浓度，而且不需要昂贵的气体清洗装置。欧盟烧结工艺的二噁英排放标准  $0.2 \text{ ng-TEQ/m}^3 \sim 0.4 \text{ ng-TEQ/m}^3$ ，台湾省的排放标准是  $0.5 \text{ ng-TEQ/m}^3$ 。

#### （6）铅及其化合物

钢铁工业烧结过程中由于原料铁矿石中夹带一些重金属，且烧结用固体燃料煤粉中也会在高温燃烧过程中释放汞，硫铁矿中一般会伴生铅锌，因此通过静电除尘器捕集下来的除尘灰中或多或少地都将夹带一定含量的重金属，现阶段在河北省、山东省地方排放标准中均引入了铅及其化合物因子。通过国家钢铁系列标准评估工作中的样本企业监测显示，烧结机头烟气中铅排放浓度基本接近甚至超过地标许可限值，因此该节点的重金属排放与除尘灰中重金属问题应给予关注。

## 4.2 污染防治技术

### 4.2.1 钢铁工业清洁生产工艺与污染防治技术

2012 年国家钢铁行业系列排放标准发布实施后，有力促进了钢铁工业废气污染治理水平的提升。行业中先后出现了高炉封闭皮带上料，高炉煤气、转炉煤气干法除尘，热风炉、轧钢加热炉低氮燃烧，炼钢“一包到底”，钢坯热装热送等清洁生产技术的大力推广应用，目前重点区域高炉煤气干法除尘比例达到了 98%。标准中将烧结（球团） $\text{SO}_2$  排放限值由  $2000\text{mg/m}^3$  收严为  $180 \sim 200\text{mg/m}^3$ ，大大推动了烧结脱硫工程的实施，烧结机机头脱硫设施配备率由标准实施前的约 40% 提升到 100%；将颗粒物由  $100 \sim 200\text{mg/m}^3$  收严到  $20 \sim 50\text{mg/m}^3$ ，促进了钢铁企业除尘提标改造，覆膜滤料（70%）、折叠滤筒等高效除尘技术普遍应用，旋风除尘、单室三电场静电除尘、低质简易湿式除尘基本淘汰。

《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35 号）提出分类分级差异化管控的具体环保管理思路，钢铁企业开始超低排放改造实践，从清洁生产与源头洁净化物料把控方面减排；采用烟气内循环、煤气精脱硫、低氮燃烧等工艺过程优化，实现下游加热炉、电厂等

煤气用户燃烧后污染物排放满足超低限值要求；选用烧结机头与球团焙烧、高效覆膜袋式与滤筒式除尘等治理设施提标升级，全行业烧结机头烟气  $\text{NO}_x$  高效脱除技术随着标准的提出已成功积累了多项案例，其中南钢、中天钢铁、中新钢铁等以 SCR 工艺为主与沙钢、永钢等以活性炭/焦工艺为主的治理设施均能稳定达到超低排放限值要求；无组织管控治一体化通过原料库封闭与煤筒仓技术，与受卸料、供给料过程如汽车受料槽、火车翻车机、铲车上料、皮带转运点等易产尘点位采用抽风除尘或抑尘的方式优化作业环境，辅以喷淋或干雾抑尘确保原料系统储运粉尘排放得到有效控制。重点工序的主要污染物减排技术如下：

### （1）颗粒物控制技术

#### ①有组织除尘

电除尘或袋式除尘是钢铁企业应用最为广泛的颗粒物治理技术，其中三电场静电除尘器出口颗粒物浓度为  $80\sim 150\text{mg}/\text{m}^3$ ，四电场静电除尘器约为  $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，湿式电除尘器为  $5\sim 25\text{mg}/\text{m}^3$ ，袋式除尘器或电袋复合除尘器为  $4\sim 18\text{mg}/\text{m}^3$ ，滤筒除尘器为  $3\sim 11\text{mg}/\text{m}^3$ 。根据已申领的江苏省钢铁企业排污许可证，烧结机头、球团焙烧烟气除尘采用四电场静电除尘器或原有静电串接袋式除尘器的企业比例约 85%，三电场静电除尘器及其他应用比例约 15%；烧结机尾废气除尘采用袋式除尘器、电袋复合除尘器比例分别约 52.4%、31.3%；高炉出铁场和矿槽废气采用袋式除尘器的比例均达 98% 以上；转炉二次和三次烟气除尘均采用袋式除尘器，且滤袋均为覆膜或超细纤维材质；其他废气除尘系统采用袋式（含电袋）除尘器的比例达 90% 以上，其中 92% 的还采用了覆膜或超细纤维材质滤料。以一台  $70\text{万 m}^3/\text{h}$  风量的布袋除尘器为例，采用覆膜针刺毡滤料，过滤风速控制在  $0.8\text{m}/\text{min}$  左右，基建投资为 850 万元，运行成本吨钢约 1.2 元； $180\text{m}^2$  烧结机配套湿式电除尘器投资为 960 万元，运行成本吨烧结矿约 1.5 元。因此，进一步提高颗粒物排放控制要求在技术、经济上均是可行的。

#### （a）覆膜滤料袋式除尘技术

传统袋式除尘器是采用过滤技术，将棉、毛、合成纤维或人造纤维等织物作为滤料编织成滤袋，对含尘气体进行过滤的除尘装置，由于滤袋本身的网孔较大，除尘效率不高，大部分微细粉尘会随着气流从滤袋的网孔中通过，而粗大的尘粒靠惯性碰撞和拦截被阻留。在滤料表面复合一层微孔薄膜的过滤称为覆膜过滤，这是一种表面过滤技术。过滤膜通常是由高分子聚合物制成的，厚度一般为  $100\sim 150\mu\text{m}$ ，有时也可以制成更薄一些或更厚一些微孔滤膜，微孔滤膜孔径小，捕集率很高，即使对  $1\mu\text{m}$  以下的微细粒子也有较高的捕集率，并可防止进入滤料深处，不需要形成普通滤料具有的粉尘初层，因此清灰时粉尘很容易脱落，特别是使用表面非常光滑、有憎水性的聚四氟乙烯薄膜时，清灰特别容易。这一特性为袋式除尘器在潮湿条件下工作防止因结露造成滤袋结垢而失效创造了一定的条件，同时防止滤料的堵塞和结垢，降低滤料的阻力，因而有利于降低除尘器系统运行的能耗，若配备变频风机，风机只需达到额定功率的 60~70% 一般就可满

足要求。但与传统滤料相比，覆膜滤料的缺点是价格相对较高。以 1800m<sup>3</sup> 高炉出铁场除尘为例，风机电耗每年将节约 40 万元电费，同时由于清灰性能好，可节约压缩空气的消耗量。

#### (b) 电袋复合除尘技术

静电除尘器改为电袋复合型除尘器是保留一电场或二电场部分分区，利用原有的电除尘器外壳，在顶部进行适当的改造，在拆除二、三电场内的芒刺、极板、振打装置、高压硅整流装置和出口喇叭后，顶尾部增加部分壳体，采用布袋除尘器的复合结构，阳极振打器全部更换，并对原有设备的钢结构进行适当的补强，实现电除尘与布袋除尘的有机结合。电袋除尘技术充分发挥电除尘器和布袋除尘器各自的除尘优势，并且改善了进入袋区的烟尘工况条件，达到除尘效率稳定高效、滤袋阻力低使用寿命长、运行维护费用低、占地面积小等优点。两种除尘机理结合使不同粒径粉尘达到最佳收集效果。

#### (c) 软稳高频电源技术

常规静电除尘器配套使用的工频电源，其电源工作频率为 50Hz 工频，供给电除尘器的高压直流电含有近 30% 的纹波，由于工频电源的电压输出特性脉动波形，且控制特性采用的火花率控制，因此，电源电压不能始终工作在最佳高效值附近，即火花放电电压附近的临界电压值，从而不能使电源电压给粉尘最大程度进行荷电，导致除尘效率受到影响，同时由于变压器效率低及采用火花率控制等因素，常规工频电源其自身电耗和电场能耗都较高。

软稳高频电源谐振输出频率可达 40kHz，经整流以后可输出非常平稳的直流电，而高压工频电源输出的是脉动直流，平均电压与峰值电压波动较大；同时软稳高频电源具有根据负载工况变化自动跟踪火花放电电压，从而使电源输出电压始终工作在火花放电临界电压处，此电压值是电晕放电的最高效率，从而最大程度使粉尘荷电，提高收尘效率；软稳高频电源还具有消除反电晕功能，因此在除尘器本体系统状况良好及运行工况一致的状态下，采用软稳高频电源供电比原有的高压工频电源的粉尘排放浓度可降低 30% 以上，从而达到新的排放标准要求。

除能提高除尘效率外，软稳高频电源由于其变压器效率高，可达 90% 以上，而工频电源一般在 60% 左右，因此自身电耗大幅降低；软稳高频电源可消除火花放电，节省大量电场火花及电弧放电消耗的能量，还使电晕线的芒刺减少钝化，有效提高除尘器使用寿命和放电频率，除尘系统电耗将大幅降低约 40~50%。以 312m<sup>2</sup> 电除尘器为例，实施软稳高频电源改造年可节省电费 40 万元。

#### ② 无组织管控治一体化技术

通过原料库封闭与煤筒仓技术，与受卸料、供给料过程如汽车受料槽、火车翻车机、铲车上料、皮带转运点等易产尘点位采用抽风除尘或抑尘的方式优化作业环境，辅以喷淋或干雾抑尘确保原料系统储运粉尘排放得到有效控制。沙钢、南钢、永钢等更是率先建设了无组织排放智能管控治系统，通过大数据、机器视觉、源解析、扩散模拟、污染源清单、智能反馈等技术，开展全厂无组织尘源点的清单化管理，将治理设施与生产设施、监测数据的联动，对无组织治理设施工

作状态和运行效果进行实时跟踪，实现无组织治理向有组织治理转变。

#### (a) 防风抑尘墙技术

由于钢铁企业原料场占地面积大，采用露天堆放原、燃料，原料料堆表面原料在二级风以上风力作用下极易干燥，产生扬尘，造成周围环境空气的严重污染，同时也导致原料的大量风蚀，给企业带来一定程度的经济损失。采用在原料场周围设置挡风抑尘墙的方式可以有效降低原料场内的风速，取得较为理想的抑尘效果，同时减少物料损失。不过在企业实际使用中，其抑尘效果与理论值存在较大差距。

#### (b) 封闭原料库技术

采用原料库封闭技术，可通过对厂房整体封闭，同时在厂房内配备射雾器等除尘设备来抑制扬尘，实现粉尘零污染。通常，小型料场采用混凝土结构的料仓，大型钢铁厂原料场厂房采用网架结构形式，根据邯钢的经验，可完全消除料场扬尘对外界环境的影响，避免雨水对料堆的冲刷，节约物料成本，同时厂区环境更加美观。

### (2) 硫氧化物控制技术

#### ① 燃烧废气脱硫技术

SO<sub>2</sub> 治理技术分为干法、半干法和湿法脱硫技术，其中湿法脱硫包括石灰/石灰石-石膏法、氨法、钢渣法、氧化镁法等。干法、半干法脱硫效率一般为 80% 以上，SO<sub>2</sub> 排放浓度可小于 125mg/m<sup>3</sup>，无脱硫废水产生；湿法脱硫效率一般可达到 90% 以上，SO<sub>2</sub> 小于 85mg/m<sup>3</sup>，脱硫废水需进行处理，脱硫副产物需进行无害化处置。根据已申领的江苏省钢铁行业排污许可证并结合现场踏勘调研可知，石灰/石灰石-石膏法占比约 28.5%、干法、半干法约 67%、氧化法约 4.5%。

#### (a) 湿法脱硫技术

湿法脱硫主要包括石灰/石灰石-石膏法、双碱法、镁法、钢渣法、氨法等。以石灰/石灰石-石膏法为例，脱硫系统一般由吸收剂制备系统、烟气系统、SO<sub>2</sub> 吸收系统、副产品处理系统组成。吸收塔是脱硫装置的核心设备，它的结构设计优劣直接关系到脱硫效率的高低，常见的有喷淋塔（空塔、喷雾塔）、填料塔，喷射鼓泡塔和双回路塔四种类型，脱除机理类似。

钢铁烧结烟气脱硫自 2004 年起步以来，石灰/石灰石-石膏法工艺便占据了较大的市场份额，因其吸收塔形式的不同，脱硫效果不一，目前，在钢铁烧结烟气石灰/石灰石-石膏湿法脱硫装置中，以空塔喷淋的吸收塔类型效果最好。其原理为：烧结机含 SO<sub>2</sub> 烟气在吸收塔中与石灰/石灰石喷淋浆液逆向接触，SO<sub>2</sub> 被喷淋浆液吸收形成亚硫酸，然后与 Ca 基脱硫剂反应，形成亚硫酸钙，亚硫酸钙经由氧化风机与搅拌工艺协同作用生成硫酸钙，结晶形成石膏。

石灰/石灰石-石膏法具有技术成熟、投运成本相对较低、系统可靠性高、脱硫效率高、石膏利用途径相对较好的优势，但也存在有脱硫废液产生，脱硫后排气筒湿烟气拖尾现象较为严重，部分设施还会携带脱硫浆液，造成“石膏雨”现象的缺点，增加湿烟气中的颗粒物浓度。

#### (b) 半干法脱硫技术

一是旋转喷雾干燥脱硫技术。烧结机机头烟气采用旋转喷雾干燥脱硫技术,脱除率可达 85%,对于入口浓度在  $1500\text{mg}/\text{m}^3$  以下中低  $\text{SO}_2$  浓度的烧结机,可满足《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB28662-2012)新建钢铁企业  $\text{SO}_2$  排放标准和特别排放限值要求,具体运行参数为:石灰浆液含固率宜控制在 20~25%,旋转雾化器浆液雾化粒径 30~80 $\mu\text{m}$ ,双流体喷嘴雾化粒径 70~200 $\mu\text{m}$ ;脱硫塔阻力应小于 1000Pa,烟气在塔内停留时间宜大于 18 秒;典型工况下,出口烟气温度控制在露点温度以上  $15^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ 。该技术添加活性炭或褐煤可进一步脱除二噁英及汞等重金属。采用袋式除尘设备,颗粒物排放浓度可小于  $30\text{mg}/\text{m}^3$  或更低。

二是循环流化床法与密相干塔法脱硫技术。烧结机机头烟气采用循环流化床脱硫技术,脱除率可达到 90%以上,对于  $2000\text{mg}/\text{m}^3$  以下中低  $\text{SO}_2$  浓度的烧结机,可满足《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB28662—2012)新建钢铁企业  $\text{SO}_2$  排放标准和特别排放限值要求,运行参数为:脱硫剂生石灰粉粒度宜小于 2mm, CaO 含量大于 80%;钙硫摩尔比 1.2~1.35;典型工况下,出口烟气温度控制在露点温度以上  $15^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ ;脱硫塔压力降应控制在 2500Pa 以下;脱硫塔内粉尘浓度,在标准状态下保持在  $800\sim 1000\text{g}/\text{m}^3$ 。采用袋式除尘设备,颗粒物排放浓度可小于  $30\text{mg}/\text{m}^3$  或更低。

### (c) 活性炭/焦干法脱硫技术

活性炭/焦干法是一种较为先进的脱硫工艺技术,其在拥有较高脱硫效率的同时,兼具对烧结烟气中如重金属、二噁英、 $\text{NO}_x$ 、HF、HCl 等多种污染物的协同脱除作用,日本在 2000 年后的烧结烟气脱硫项目中均采用活性炭吸附法。活性炭吸附法工艺主要由三部分组成:吸附工程、再生工程、副产品回收工程。

其反应原理如下:烧结机头含硫烟气通过除尘器除尘后经鼓风机和升压鼓风机送入移动层吸收塔,并在吸收塔入口处喷入氨作为脱硝还原剂。吸附了硫酸和铵盐的活性炭被送入解吸塔,经加热至  $400^\circ\text{C}$  左右即可解吸出高浓度  $\text{SO}_2$ ,送往衍生品回收装置,可利用它生产高浓度硫磺或浓硫酸;再生后的活性炭经冷却筛去杂质后送回吸收塔进行循环使用。

该技术脱硫效率较高,兼具脱硝、脱二噁英、脱重金属、除尘等协同处理能力,但该工艺投资大、对管理水平、自动化水平要求高、运行成本高。另外,根据活性炭自燃的特点,烟气中  $\text{SO}_2$  浓度不应高于  $3000\text{mg}/\text{m}^3$ ,烟气温度不应高于  $165^\circ\text{C}$ ,否则存在一定的技术风险。

### ②高炉煤气精脱硫技术

高炉煤气现有精脱硫工艺,脱除系统中煤气所含有有机硫及少量硫化氢,目前正在实施或已建成的精脱硫工程示范项目包括微晶材料吸附、水解酸化等新型工艺路线,待建设示范项目予以检验实际有机硫脱除效果与二次污染控制问题。上述技术的应用,将从源头减少钢铁企业主要煤气燃料中的硫化氢含量,从而大幅降低燃烧后产生的  $\text{SO}_2$  总量,实现下游热风炉、加热炉煤气用户的燃烧废气达标排放。

### (3) 氮氧化物控制技术

NO<sub>x</sub>入口一般为 300mg/m<sup>3</sup>左右，采用选择性催化还原技术的钢铁企业数量较多，根据催化剂反应温度窗口分为高温和中低温两类。通过增加催化剂层数、延长烟气反应时间、适当增加喷氨量等操作，可达到超低排放控制要求。但该技术产生的废钒钛系催化剂需进行无害化处理，并存在氨逃逸情况。在前端颗粒物浓度与 SO<sub>2</sub>控制稳定的情况下，催化剂中毒可得到有效控制，烟气脱硝设施运行效果较好。

#### ①活性炭/焦脱硝技术

活性炭/焦协同净化以物理-化学吸附和催化反应原理为基础，实现 NO<sub>x</sub>脱除，整个工艺过程无废水和固废产生，避免二次污染，是目前钢铁行业已有成功工程案例的烧结烟气 NO<sub>x</sub>治理技术。除太钢 450 平方米烧结机上一直应用外，2015 年江苏永钢 2 号 450 平方米烧结机、沙钢烧结与焦炉烟囱等也配套了活性焦一体化脱除技术，初步实现了该技术的国产化应用，但实际运行稳定性与脱除效果还需通过连续运行予以检验。实践表明，此种方法可作为现阶段满足钢铁行业烧结烟气污染物排放标准的一种协同治理技术，在喷氨条件下，NO<sub>x</sub>脱除率可达 80%以上。

#### ②中温 SCR 脱硝技术

将中温 SCR 脱硝装置置于烧结烟气湿法或半干法脱硫工艺后端，利用前序脱硫工艺将烟气中 SO<sub>2</sub>和颗粒物浓度分别控制在 100mg/Nm<sup>3</sup>与 50mg/Nm<sup>3</sup>以内，其中半干法脱硫后设置布袋除尘器，湿法脱硫配套湿式静电除尘器，确保对颗粒物及二噁英的高效捕集，最大限度地减少对下段工序 SCR 脱硝催化剂活性组分的毒化作用。由于脱硫段出口的烟气温度均小于 150℃（其中半干法脱硫工艺出口烟气温度 90℃~120℃，湿法脱硫工艺出口烟气温度 40℃~60℃），需依靠焦炉或高炉煤气作为热源将进入 SCR 脱硝反应器的烟气温度升温至 270℃以上，在氨氮比为 1~1.2 的还原气氛下，实现 70%以上的 NO<sub>x</sub>脱除效率，反应后烟气经 GGH 换热器换热后实现热源循环利用，其中催化剂使用寿命为 2~3 年。

#### ③氧化法脱硝技术

目前梅山钢铁与江苏鑫鑫等企业选用的臭氧或福斯干法脱硝工艺，经现场调研分析烧结机头在线监测数据，并查阅历史监测数据，从排放数据浓度上看可满足《意见》中在基准氧含量 16%的前提下，对于烧结机头燃烧废气的超低排放限值要求。但虽然企业都加装的 NO<sub>2</sub>监测探头，仍然缺少对于其他高价态 NO<sub>x</sub>产生量的监测手段，不可避免的存在产生次生污染的可能，因此氧化法工艺需从满足限值要求与严防二次污染两方面着手考虑，综合评价其环境效益、经济效益与社会效益。

### 4.2.2 钢铁工业超低排放实践经验与现存问题

#### （1）钢铁工业超低排放实践经验

国家层面制定了钢铁行业超低排放限值要求，对于按期高质量完成的钢铁企业将给予政策红利。2019 年底，首钢股份公司迁安钢铁公司通过积极推进超低排放改造，通过采用钢铁生产全

流程实现长期稳定超低排放的一体化系统解决方案,逐级分布开展提标改造与智能化管控系统搭建工作,经生态环境部、国家监测总站及冶金工业规划研究院的综合评估,确认有组织排放浓度、无组织管控一体化措施、智能化监控监管设施、洁净化物流各项指标均达到超低排放政策要求,从而成为中国首家全流程超低排放企业,环保绩效水平处于世界领先。

#### ①有组织提标方面

2018年首钢集团职代会提出“对环保治理设施升级改造投入不设限,全力打造绿色发展示范企业”的总体要求。2018年确定并实施超低排放改造项目70项,总投资16.5亿元。在冶金规划院全程指导与协助下,首钢迁钢对烧结、球团、炼铁、炼钢、轧钢等全工序进行废气治理设施升级改造。有组织排放方面,选择了烧结机头与球团焙烧烟气逆流式活性焦、半干法+SCR脱硝、滤筒除尘、转炉一次新OG+湿电、轧钢精轧塑烧板除尘等工艺进行有组织精益化改造;特别是中小规模高炉平坦化改造,极大减少了固定源主要大气排放,指标均达到甚至部分远优于国家与地方超低排放限值要求,详见图4-7至4-9。实施超低排放改造后,2019年首钢迁钢将在2018年基础上减少排放颗粒物741吨,SO<sub>2</sub>1186吨,NO<sub>x</sub>2743吨,减排比例分别达到26%、47%、46%。



图 4-7 半干法脱硫+SCR 脱硝系统

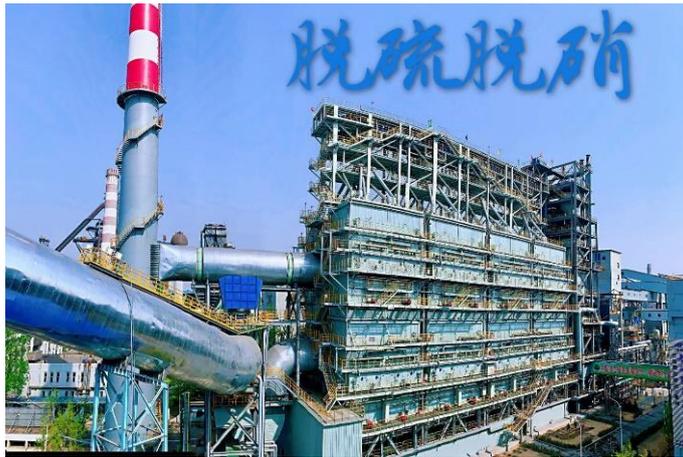


图 4-8 逆流式活性焦脱硫脱硝一体化系统



图 4-9 转炉一次 LT 干法除尘系统

## ②无组织排放管控方面

首钢迁钢投资 3.4 亿元，全面实施料场封闭，建成配有车辆高压冲洗与烘干装置、天雾及雾炮抑尘装置的原料棚 17 个，总封闭面积 18.06 万平方米，彻底解决原燃料、返矿及冶金渣装卸、堆存过程无组织排放。建成总贮存量 14 万吨的烧结矿筒仓，提高应急能力，消除结矿落地倒运，全公司拥有上料、返矿、物料输送皮带 554 条，总长度达 55.28km，完全满足厂内大宗物料、返矿、返焦等密闭输送需求，消除物料输送无组织排放问题，详见图 4-10 至 4-12。高炉出铁场、矿槽、转运站等 17 个点位除尘灰全部气力输送至料场直接回用。年输送除尘灰 24.6 万吨，年减少厂内短倒 8200 余车次。采用自主知识产权的专利技术，对 3 座高炉炉顶均压放散实施全回收，年可减少烟尘排放 1050 吨，年回收煤气 6100 万  $\text{m}^3$ 。转炉车间，炼钢连铸大包、板坯火焰切割等难点部位增设集尘罩和除尘设施，含尘废气全面回收净化，全方位多角度消除炼钢工序无组织排放，见图 4-13 与 4-14。

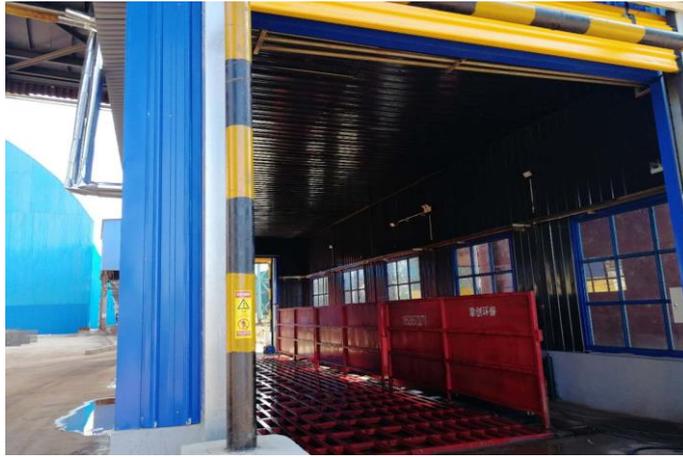


图 4-10 货运车辆高压冲洗与烘干装置



图 4-11 原料大棚内天雾及雾炮抑尘装置



图 4-12 落地烧结矿筒仓



图 4-13 连铸大包旋转台集尘罩与除尘设施



图 4-14 板坯火焰切割集尘罩与除尘设施

### ③清洁化运输方面

首钢迁安地区现有铁路全长 216.96 公里，由 1 条干线和 5 条支线组成，沿线设车站 18 个年运量 3000 万吨，火运比例稳定达到 80% 以上。所有自购清扫、洒水车辆全部采用 LNG 燃料汽车。建设 LNG 加气站，确保 LNG 新能源供应。

### ④智能化监测监控方面

首钢迁钢已建成无组织管控治一体化平台，主要排放口在线监测数据、环保设施运行数据已实现与生产数据的联动管控，在主控系统中可随时调取生产设施与环保设施、在线监测实时数据，通过分布式管控系统集中管理。料场出入口、烧结区域、高炉炉顶、转炉车间顶部等区域均设置高清摄像抓拍系统，见图 4-15。



图 4-15 无组织管控治一体化平台

## (2) 钢铁工业超低排放管理要求执行中存在问题

### ①政策导向性仍有待加强

从《钢铁企业超低排放改造工作方案（征求意见稿）》到《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》，超低排放都不是一个强制性的排放标准，也不是每一个企业必须要执行的政策方案，是一个鼓励性的、引导性的管理意见。目前仅河北、山东、河南、山西发布钢铁超低控制标准要求，作为强制标准执行。

而且近几年环保管理政策不断加严的大背景下，钢铁行业标准加严频次过快，几年的时间从执行新建企业排放限值到特别排放限值再到超低排放限值，企业一直在环保治理设备上重复投资。据调研了解，有些企业的无组织防风抑尘网刚刚建设完成未使用，国家出台的超低的要求又加严了相关的要求，明确了无组织要密封或密闭。有些企业按照特排限值设计的脱硫脱硝工艺刚刚开始运行，此次超低改造中又要将污染物排放指标进一步降低。本次超低将现有最佳可行技术对应的排放限值作为超低排放限值的确定依据，在今后的一段时间内不会再次出现变化。但不能保证后期各地在执行要求上是否会提出更加严格的控制要求。因此有部分企业对后续环保政策预期不明确，自主开展超低排放改造意愿并不强烈。

### ②无组织等环境管理要求需要进一步加强

#### (a) 无组织控制未实现系统化、过程化管理

《意见》中对无组织排放控制措施提出了具体要求。物料储存采用密闭、封闭等有效措施，物料输送采用密闭或采用皮带通廊等方式封闭输送；确需汽车运输的，应使用封闭车厢或苫盖严密。要求有效提高废气收集率，产尘点及车间不得有可见烟粉尘外逸。易产尘点提出了安装高清视频监控设施，主要产尘点周边、运输道路两侧布设空气质量监测微站点。但无组织的控制措施固然重要，但日常的规范化管理才是达到超低的要求之重，企业的无组织控制理念有待更新。多

数企业仍停留在解决“有没有、用没用”阶段，对于“好不好”并不关注，觉得企业只要配置了无组织控制措施就认定为达到超低排放，这是一个“误解”。而且无组织集中监测系统和平台未全面推广，《钢铁企业超低排放改造实施指南》中对于无组织提出了建立排放源清单和无组织排放监控体系的要求。目前国内邯郸市钢铁企业已基本完成无组织排放治理措施，于 2019 年底前完善系统与监控平台的一体化联动工作。同时，诸如烧结球团混料、钢渣处理等节点所要求的含尘蒸汽收集高效湿式处理达标排放的要求当前江苏省企业仍处于改造初级阶段。从邯郸市无组织深度治理经验来看，现阶段集中控制很有必要。邯郸市经过 2018-2019 年无组织集中管控平台建设，区域内空气质量得到极大改善，在《京津冀及周边地区 2018-2019 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》空气质量目标完成情况考核中排列第 1 位。江苏省内钢铁企业在无组织管控治一体化的建设方面，较京津冀区域钢铁企业相对滞后，应根据超低排放改造政策要求，实现无组织排放的全方位、全流程达标。

#### (b) 清洁运输落地困难

《意见》中对大宗物料产品清洁运输提出了超低要求。进出钢铁企业的铁精矿、煤炭、焦炭等大宗物料和产品采用铁路、水路、管道或管状带式输送机清洁方式运输比例不低于 80%；达不到的，汽车运输部分应全部采用新能源汽车或达到国六排放标准的汽车（2021 年底前可采用国五排放标准的汽车）。在实际超低推进过程中发现清洁运输要求落地困难。纵观江苏省内钢铁企业，大宗原燃料运输采用水路运输的企业占据较大比例，但满足《意见》要求的清洁运输车辆供应仍显不足，尤其是对于成品钢材的发送，实际执行当中，认为满足超低排放要求的可替代铁路、水路运输的新能源和国六、国五排放标准汽车供应稍显不足，存在一定程度的供需矛盾与第三方运输管理的问题。

#### (c) 未建立科学、完备的监测监控体系

钢铁工业企业申领排污许可证，规范了自行监测频次、内容和要求，为许可实际排放量、环保税、环境统计“一套数据”奠定基础。从江苏、河北等重点区域钢铁企业现场调研来看，主要排放口（烧结机头烟气、球团焙烧烟气、高炉矿槽、高炉出铁场、转炉二次烟气）均安装在线监测，企业定期委托第三方开展监测并及时将监测结果公开。但钢铁企业、第三方运维单位职责不清、人员能力严重不足、监管缺失等导致在线监测数据质量不高。以国内唯一一家通过全流程超低排放验收的首钢迁钢公司为例，在超低评估过程中，发现企业 32 套 CEMS 比对 27 套不合格，60 个主要排放口中存在 21 个设置不规范；安钢公司 43 套 CEMS 比对 18 套不合格，60 个主要排放口中存在 21 个设置不规范。CEMS 和排放口设置不规范，导致监测结果偏差大。

(d) 一氧化碳排放问题需引起足够的重视

钢铁企业 CO 排放环节主要是烧结、高炉炉顶均压放散。目前河北省已要求钢铁行业开展对 CO 控制，通过烧结烟气循环利用和高炉煤气均压放散回收利用。据调研了解，高炉放散的 CO 约占全部 CO 排放量的 24%左右，部分企业反映在实际操作中放散阀不能关严，留有 5%左右的角度，炉顶均压回收后约 40%-50%对空放散。一座 2650m<sup>3</sup>的高炉，1 小时就可以有 5 万立方高炉煤气放散到空气中，不仅造成能源的巨大浪费，也会导致地区环境压力增大，一氧化碳的排放问题需引起足够的重视。目前国家尚未出台一氧化碳的相关标准，CO 的管控不足。江苏省内生态环境主管部门未来也需对辖区内钢铁企业的一氧化碳排放问题给予足够的关注，根据河北等先行试点地区经验，从污染防治设施配套与末端排放指标方便予以约束。

③部分有组织节点源头减排与末端治理工艺技术选择尚待明确

(a) 烧结机头烟气脱硝技术可达性与二次污染问题

目前应对超低排放限值要求，部分企业采用了氧化法脱硝技术，虽然达标能力上从数据层面分析尚可，但对氧化后高价态 NO<sub>x</sub> 的监测与二次污染防治问题，当前还未给出具有说服力的说明，工艺可行性无法自证；此外，对于《意见》出台前设计建设的活性焦（炭）工艺由于设计处理能力不足，导致氮氧化物的脱除能力与过量喷氨后的氨逃逸问题都是未来超低排放改造后应关注的关键问题，目前借鉴河北、山西、河南等地已完成超低改造企业的实践案例来看，活性焦（炭）多级串联与活性焦（炭）增设 SCR 联合工艺成为解决此问题的可行路径，同时，颗粒物达超低能力也需根据工况实际确定，不能稳定达标的项目或需增设布袋除尘方可实现颗粒物达超低限值排放。

(b) 高炉煤气精脱硫可行技术路线与二次污染问题

随着《意见》中明确规定需实施高炉煤气精脱硫源头减排，目前部分钢铁企业联合冶金环保企业开展了示范项目建设工作。虽然尚未确定成熟可行的工艺路线，但是已有“催化水解+碱液脱酸”、微晶材料吸附、催化氧化等相关运行案例可供参考。待工艺技术成熟，达标能力、经济可行性与二次污染控制问题全面解决，可为当前下游高炉热风炉、轧钢加热炉等煤气用户 SO<sub>2</sub> 浓度不能稳定达到超低排放限值的风险提供较好的源头解决思路，为企业无末端治理场地条件、耗能增碳、避免固废污染产生等现实问题找到了源头减排路径。

## 5 标准主要内容及确定依据

### 5.1 适用范围

本文件规定了钢铁工业大气污染物排放控制要求、监测、达标判定和监督管理等要求。。

本文件适用于现有钢铁企业或生产设施的大气污染物排放管理，以及钢铁工业建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、排污许可证核发及其投产后大气污染物排放管理。

### 5.1.1 关于加严部分污染物的排放控制要求

参照《意见》中提出的超低排放限值要求，以及国家钢铁系列标准已发布修改单限值及河北、山东、河南、山西等已发布地标的有组织限值的基础上，主要加严的有组织限值要求如下：

(1) 推进烧结机头烟气超低排放改造进程，参照《意见》及国家标准修改单要求对烧结机头与竖炉球团焙烧按基准含氧量 16%；而链篦机-回转窑与带式焙烧机球团基准含氧量，根据工艺特点设定为 18%，颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 小时均值排放浓度分别不高于 10、35、50 mg/m<sup>3</sup>。根据当前全国已公示全面超低与部分有组织达标钢企的案例来看，实现此加严限值的末端治理工艺路线较为成熟，可作为支撑依据。

(2) 其他废气燃烧节点大气污染物和环境除尘颗粒物外排浓度限值依据《意见》要求不同程度加严，其中高炉热风炉、轧钢加热炉与热处理炉 SO<sub>2</sub> 由加严至 50mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub> 收严至 150mg/m<sup>3</sup>；SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 指标均达到《意见》要求甚至参照其他省份地标要求设置了更为加严的限值浓度；烧结机尾、高炉出铁场、转炉二次、石灰窑、白云石窑煅烧、精轧机除尘等装置颗粒物加严至 10mg/m<sup>3</sup>，同样适应于《意见》要求；转炉一次排放浓度的收严主要是基于当前行业中普遍采用干法静电和新“OG”湿法、半干法等工艺，较 2012 年发布执行的 GB 28664-2012 中提及的 50 mg/m<sup>3</sup> 限值的除尘工艺已有了多年的技术进步，从设计参数到实际运行效果，都优于当前国标限值要求，其中干法工艺更是能将排放口颗粒物浓度控制在 20 mg/m<sup>3</sup> 左右，第五代新“OG”湿法或半干法工艺也将企业排放浓度设定在 30 mg/m<sup>3</sup> 以内。因此，为了体现标准的技术可达性与前瞻引领性，且综合汲取已发布地方标准的限值要求，故提出将此节点颗粒物外排浓度设定在 30 mg/m<sup>3</sup>。

### 5.1.2 关于重点工序重金属纳入标准的解释

钢铁工业烧结过程中由于原料铁矿石中夹带一些重金属，硫铁矿中一般会伴生铅锌，因此通过静电除尘器捕集下来的除尘灰中或多或少地都将夹带一定含量的重金属，现阶段在河北省、山东省地方排放标准中均引入了铅及其化合物因子。通过国家钢铁系列标准评估工作中的样本企业监测显示，烧结机头烟气中铅排放浓度基本接近甚至超过已发布地标许可排放浓度限值，因此该节点的重金属排放与除尘灰中重金属问题应给予关注，本标准中加入对重金属排放限值的约束，增加铅及其化合物重金属污染因子排放限值设置为 0.9 mg/m<sup>3</sup>。

### 5.1.3 关于细化无组织排放要求的问题

根据《意见》对钢铁企业无组织排放污染防治要求，本标准对钢铁各生产工序物料储存、物料运输与生产工艺过程的无组织排放的管控措施提出具体要求，参考国家钢铁工业大气污染物系列排放标准及河北省《钢铁工业大气污染物超低排放标准》（DB13/2169-2018）、山东省《钢铁工业大气污染物排放标准》（DB37/990-2019）、河南省《钢铁工业大气污染物排放标准》（DB41/1954-2020）、山西省《钢铁工业大气污染物排放标准》（DB14/2249-2020）等已发布地

标的相关要求，与《意见》及《关于做好钢铁企业超低排放评估监测工作的通知》（环办大气函〔2019〕922号）（以下简称“《通知》”）的无组织管控要求保持一致。

#### 5.1.4 关于标准实施时间的确定

2018年1月，原环境保护部发布《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》，公告指出钢铁现有企业，自2018年10月1日起，执行SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物和挥发性有机物特别排放限值。同年5月，生态环境部发布《关于征求〈钢铁企业超低排放改造工作方案（征求意见稿）〉意见的函》（环办大气函〔2018〕242号），提出“新建（含搬迁）钢铁项目要全部达到超低排放水平方可投产。2020年10月底前，京津冀及周边、汾渭平原等大气污染防治重点区域具备改造条件的钢铁企业基本完成超低排放改造。”6月27日，国务院印发了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号），要求推动实施钢铁等行业超低排放改造，强化工业企业无组织排放管控。开展钢铁等重点行业无组织排放排查，建立管理台账，对物料（含废渣）运输、装卸、储存、转移和工艺过程等无组织排放实施深度治理，2018年底前京津冀及周边地区基本完成治理任务，长三角地区和汾渭平原2019年底前完成，全国2020年底前基本完成。

2019年4月生态环境部等五部委联合发布《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号），要求到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。

2018年《江苏省人民政府关于印发江苏省打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案的通知》（苏政发〔2018〕122号）执行特别排放限值。同时，江苏省于2018年12月23日发布《关于印发江苏省钢铁企业超低排放改造实施方案的函》，要求2018年12月底前，南京钢铁集团、梅山钢铁等4家企业6台烧结机完成超低排放改造；2019年底前，所有钢铁企业完成超低排放改造任务（2020年底前实施关闭、搬迁的除外）。到2025年底前重点区域钢铁企业超低排放改造基本完成。因此，目前江苏省钢铁行业存在法定排放限值（国家标准）、承诺排放限值（环境政策）、达超低排放限值等多个污染物排放控制要求，迫切需要统一环境管理目标。

根据以上文件，并结合江苏省大气污染防治进程的实际情况，给与现有企业一定的整改过渡期，将新建企业和现有企业的执行时间分别定为自标准实施之日起与自2022年4月1日起执行表1与表2规定的排放限值，同时满足超低排放改造中的无组织与监测监控要求是切实可行的。

## 5.2 术语和定义

标准规定了钢铁工业、烧结、球团、炼铁、炼钢、轧钢、现有企业、新建企业、标准状态、无组织排放、密闭、封闭、热处理炉、企业边界14个术语。

钢铁工业是指钢铁工业包括烧结、球团、炼铁、炼钢及轧钢等生产工序。

烧结是指铁矿粉等含铁原料加入熔剂和固体燃料，按要求的比例配合，加水混合制粒后，平铺在烧结机台车上，经点火抽风，使其燃料燃烧，烧结料部分熔化粘结成块状的过程。

球团是指铁精矿等原料与适量的膨润土均匀混合后，通过造球机造出生球，然后高温焙烧，使球团氧化固结的过程。

炼铁是指采用高炉或直接熔融还原炉等，经过加热、还原、熔化、造渣、渗碳、脱硫等一系列物理化学过程，最后生成液态炉渣和生铁的生产过程。

炼钢是指将炉料（如铁水、废钢、海绵铁、铁合金等）熔化、升温、提纯，使之符合成分和纯净度要求的过程，涉及的生产工艺包括：铁水预处理、熔炼、炉外精炼（二次冶金）和浇铸（连铸）。

轧钢是指钢坯料经过加热通过热轧或将钢板通过冷轧轧制变成所需要的成品钢材的过程。本文件还包括在钢材表面涂镀金属或非金属的涂、镀层钢材的加工过程。

现有企业是指本标准实施之日前，已建成投产或环境影响评价文件已通过审批、审核或备案的钢铁生产企业或生产设施。

新建企业是指本标准实施之日起，环境影响评价文件通过审批、审核或备案的新建、改建、扩建的钢铁工业建设项目。

标准状态是指烟气在温度为 273K，压力为 101325 Pa 时的状态，简称“标态”。本文件规定的大气污染物排放浓度限值均以标准状态下的干气体为基准。

无组织排放是指大气污染物不经过排气筒的无规则排放，主要包括作业场所物料堆存、开放式输送扬尘，通过缝隙、通风口、敞开门窗和类似开口（孔）的排放，以及设备、管线等大气污染物泄漏。

密闭是指物料不与环境空气接触，或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离的状态或作业方式。

封闭是指利用完整的围护结构将物料、作业场所等与周围空间阻隔的状态或作业方式，设置的门窗、盖板、检修口等配套设施在非必要时应关闭。

热处理炉指将钢铁材料加热到轧制温度，或放在特定气氛中加热至工艺温度并通过不同的保温、冷却方式来改变表面或内部组织结构性能的热工设备，包括加热炉，以及退火炉、淬火炉、正火炉、回火炉、固溶炉、时效炉、调质炉等其他热处理炉。

企业边界是指企业或生产设施的法定边界。难以确定法定边界的，指企业或生产设施的实际占地边界。

### 5.3 有组织污染物排放限值的确定及依据

#### 5.3.1 NO<sub>x</sub> 排放限值的确定依据

##### （1）烧结与球团工序

结合江苏省代表性钢铁企业现场与调查表开展排放数据梳理可知，当前企业烧结机头烟气 NO<sub>x</sub> 外排浓度均具备满足《意见》中限值要求的能力，样本基准氧含量控制在 15.4%-17.8% 范围内，在本标准未出台前企业结合自身运行成本与生态环境主管部门要求，基本处于经济运行状态。

如沙钢、永钢的活性焦一体化工艺脱硝能力均可满足超低排放限值要求；南钢、徐钢、江阴兴澄特钢等企业采用 SCR 法脱除 NO<sub>x</sub>，脱硝能力满足要求且催化剂使用寿命尚可，确保了目前此工艺路线对烧结氮氧化物超低排放改造的技术可行与运行稳定，因此本标准中将烧结机头烟气氮氧化物外排浓度设定在 50 mg/m<sup>3</sup>，基准氧含量按 16% 计，与国家超低排放限值要求保持一致。

已调研的江苏省球团装备以 10 m<sup>2</sup>~12 m<sup>2</sup> 竖炉为主，因原燃料差异与焙烧温度的特点，外排浓度氮氧化物浓度在 12 mg/m<sup>3</sup>~38 mg/m<sup>3</sup>，可在不进行末端脱硝处理的情况下即可满足超低排放限值要求。通过与国内同类型链篦机-回转窑、带式焙烧机球团装备企业焙烧烟气外排浓度与基准氧含量进行对比，在基准氧含量 17.5%~19.7% 范围内，通过增上 SCR 或活性炭/焦一体化措施可满足超低限值要求。

### （2）炼铁与轧钢工序

结合江苏省代表性钢铁企业现场与调查表开展排放数据梳理可知，当前企业高炉炼铁热风炉外排 NO<sub>x</sub> 监测浓度在 89~188mg/Nm<sup>3</sup> 范围内，燃烧经过除尘后的高炉煤气，因煤气热值适中，因此原始 NO<sub>x</sub> 产生量未处于较高水平，在当前企业开展热风炉低氮燃烧改造的形势下，按本标准设定的 150mg/Nm<sup>3</sup> 的外排浓度限值认为是较为合理的，也与江苏省已发布文件中提及的政策要求相一致。

对于轧钢加热炉与热处理炉外排 NO<sub>x</sub> 限值的确定同样是基于已调研企业排放浓度数据在 110~197mg/Nm<sup>3</sup> 范围内，同时参考河北、山东、河南等已发布地标的企业样本数据。不同类炉窑基准氧含量的确定，参照生态环境部近期发布的《轧钢工业大气污染物排放标准》（GB 28665-2012）修改单内容，综合考虑我国轧钢工业热处理炉生产工艺现状以及不同炉型的烟气含氧量实际情况，按照“分类管理、突出重点”原则，本文件中也将热处理炉分为加热炉和其他热处理炉，分别确定 8% 与 15% 的基准含氧量。

### （3）石灰窑、白云石窑焙烧

结合江苏省代表性钢铁企业现场调研与国家钢铁工业大气污染系列标准评估内容，本标准在现执行国家石灰窑、白云石窑焙烧烟气仅管控颗粒物的基础上，增加了对 NO<sub>x</sub> 的限值要求，目前通过对河北、山东、河南、山西等已开展监测的企业数据进行分析，83% 以上的样本数据可将 NO<sub>x</sub> 控制在 200 mg/m<sup>3</sup> 以内，因此本标准增设了石灰窑、白云石窑焙烧烟气的 NO<sub>x</sub> 外排浓度限值要求，进一步管控常规冶金炉窑的 NO<sub>x</sub> 排放总量，精益化钢铁联合企业 NO<sub>x</sub> 排放量，减少 VOCs 形成的前体物。综合江苏省现已发布的环境管理文件要求，本文件将石灰窑、白云石窑焙烧烟气的 NO<sub>x</sub> 外排浓度设置为 150 mg/m<sup>3</sup>。

## 5.3.2 SO<sub>2</sub> 排放限值的确定依据

### （1）烧结与球团工序

结合江苏省代表性钢铁企业现场与调查表开展排放数据梳理可知，当前企业烧结机头烟气经过干法、半干法与湿法脱硫装置处理后，SO<sub>2</sub> 外排浓度均具备满足《意见》中限值要求的能力，

样本基准氧含量控制在 15.4%-17.8% 范围内，在本标准未出台前企业结合自身运行成本与生态环境主管部门要求，基本处于经济运行状态，外排烟气  $\text{SO}_2$  基本控制在  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  以内。特别是在强调低碳与超低排放改造协同的当下，已调研企业源头烧结配料过程也充分考虑含硫率，烧结脱硫设施入口浓度一般都控制在  $1800\text{mg}/\text{Nm}^3$  以内，因此无论是活性焦一体化工艺的脱硫效果还是循环流化床、旋转喷雾等半干法脱硫工艺，以及对  $\text{SO}_2$  工况负荷变化更佳的石灰/石灰石-石膏、氧化镁等湿法脱硫工艺，其脱硫能力均可满足超低排放限值要求，确保了目前现有工艺路线对烧结机头烟气  $\text{SO}_2$  超低排放改造的技术可行与运行稳定，因此本标准中将烧结机头烟气  $\text{SO}_2$  外排浓度设定在  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，基准氧含量按 16% 计，与国家超低排放限值要求保持一致。

江苏省球团装备的精矿含硫率适宜，同烧结机头烟气处理工艺路线类似，调研认为现有的干法、半干法与湿法脱硫工艺均可满足  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$  的超低限值要求。

### （2）炼铁与轧钢工序

结合江苏省代表性钢铁企业现场与调查表开展排放数据梳理可知，当前企业高炉炼铁热风炉外排  $\text{SO}_2$  监测浓度在  $13\sim 92\text{mg}/\text{Nm}^3$  范围内，热风炉燃烧后产生的  $\text{SO}_2$  浓度主要源于高炉煤气中硫化氢与有机硫的含量，且有机硫比例约占总硫含量的 7 成，按本标准设定的  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  的外排浓度限值需配套源头煤气精脱硫设施或者对高炉装备较少、场地面积足够的企业也可选择工艺较为成熟的末端二氧化硫脱除技术。调研发现，目前增设高炉煤气精脱硫的企业方面，中新钢铁采用微晶材料吸附法工艺进行源头有机硫与硫化氢的脱除，目前通过监测数据分析，可满足外排烟气  $\text{SO}_2$  浓度保持在  $28\sim 48\text{mg}/\text{Nm}^3$  的排放水平，对比国内已投运的多套“水解催化+脱酸”工艺路线的精脱硫技术，外排二氧化硫浓度满足本标准限值理论可行，但还需对工艺稳定性、催化剂使用寿命、伴生二次污染与技术经济可行性问题进行探究，达到环境效益、经济效益与社会效益的统一，此限值也与江苏省已发布文件中提及的政策要求相一致。

对于轧钢加热炉与热处理炉外排  $\text{SO}_2$  限值的确定同样是基于已调研企业排放浓度数据，同时参考河北、山东、河南、山西等已发布地标的企业样本数据。由于独立轧钢企业基本都采用天然气作为燃料，因此几乎无  $\text{SO}_2$  产生。而钢铁联合轧钢工序的燃料主要为净化后的煤气，对于拥有焦化工序的钢铁企业一般会在下游轧线所需煤气燃料中掺入不超过 3% 的经煤气净化后焦炉煤气，提高煤气热值，但绝大部分仍为高炉煤气， $\text{SO}_2$  排放浓度控制在  $12\sim 88\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，因此同热风炉减排工艺类似，可考虑源头减排或末端治理，从而达到江苏省已发布文件中提及的外排烟气  $\text{SO}_2$  浓度保持在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  的限值要求。

### （3）石灰窑、白云石窑焙烧

结合江苏省代表性钢铁企业现场调研与国家钢铁工业大气污染系列标准评估内容，本标准在现执行国家石灰窑、白云石窑焙烧烟气仅管控颗粒物的基础上，也增加了对  $\text{SO}_2$  的限值要求，目前通过对河北、山东、河南、山西等已开展监测的企业数据进行分析，因为燃料来源与轧钢热处理炉类似，因此同样涉及对煤气源头脱硫净化或石灰窑燃烧后外排烟气脱硫等方式进行改造，方

可满足江苏省已发布文件中提及的外排烟气  $\text{SO}_2$  浓度保持在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  的限值要求。

### 5.3.3 颗粒物排放限值的确定依据

#### (1) 燃烧类废气

##### ① 烧结与球团工序

结合江苏省代表性钢铁企业现场与调查表开展排放数据梳理可知,当前企业烧结机头与球团焙烧烟气中颗粒物的去除主要是通过现有静电预除尘后,经由活性焦一体化装置、湿法脱硫+湿电除尘、半干法脱硫后串接布袋除尘的形式予以脱除,具备达到本标准中设定的  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  的超低限值要求,与国家超低排放限值要求、已发布地方标准保持一致。

需要关注的问题主要集中在采用活性焦一体化工艺的企业,尤其需关注静电预除尘效果,虽然静电除尘在新投运或大修后可满足颗粒物排放浓度达到  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下的限值要求,但随着设备持续高负荷运行,维检不到位等管理缺失问题,导致高比电阻烟尘捕集效率大幅下降,静电除尘出口的颗粒物浓度往往会达到  $80\text{mg}/\text{Nm}^3$  以上,甚至大于  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  的工况实际表现。因此,对于当前错流或逆流式活性焦工艺中大都未设置单独的布袋除尘装置的工况,由于静电预除尘效率衰减和自身活性焦粉过筛效果不佳等原因导致的颗粒物外排浓度超过  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  时,应考虑设置单独的布袋除尘器,满足未来的达标排放要求。

##### ② 其他工序

高炉热风炉、轧钢热处理炉与石灰窑、白云石窑焙烧过程燃用净化后煤气,干法除尘后的高炉煤气与净化后的焦炉煤气中颗粒物含量一般均可控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以内,可满足本标准中提出的限值要求。

转炉一次除尘工艺目前分为干法静电除尘、新 OG 湿法与半干法工艺,现有企业在应用干法除尘工艺时,一般按  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$  的外排浓度参数进行设计,加强现场运维管理,减少燃爆风险,可将出口颗粒物外排浓度控制在  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$  左右;而传统新 OG 湿法与半干法工艺在设计之初一般按  $30\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下的外排浓度参数进行设计,综合现场操作与工艺最大可达性能指标,本标准在参考当前已发布地标省份该节点限值要求的基础上,体现江苏省地标的前瞻性与进一步减少主要大气污染物排放总量的现实需求,故将此节点外排浓度设定在  $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

#### (2) 环境除尘废气

结合江苏省代表性钢铁企业现场调研数据来看,除烧结机尾需要通过使用耐高温(不高于  $200^\circ\text{C}$ )覆膜滤袋满足本标准中提出的  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  的超低排放限值外,其余原料系统装卸料、转运节点,烧结配料、整粒筛分成品,高炉矿槽、出铁场,炼钢二次、三次、精炼炉及电炉除尘,轧钢拉矫、精整、抛丸、修磨、焊接机等环境除尘节点通过优化除尘系统参数,更换覆膜滤料或采用折叠滤筒等形式,并加强除尘器日常运维管理,查漏检堵,均可稳定达到本标准限值要求。

钢渣热闷工艺是未来长流程钢铁企业钢渣处理的基本要求,通过密闭闷渣与回收含尘蒸汽达标外排实现此节点的有组织管控,在当前国标要求  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  的基础上,河北、山东及山西等

地标进一步收严，分别达到  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$  或  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，因此综合江苏省现有企业热闷技术处理能力，本标准结合现场调研踏勘情况，将此节点外排颗粒物浓度设定在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，在保证工艺达标排放的同时尽可能使企业在改造过程中具备稳定达标排放，因此选取此限值。

#### 5.3.4 重金属及其他特征污染物排放限值的确定依据

本标准中的氟化物限值来源于《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》（GB28662-2012）提及的小于  $4\text{mg}/\text{m}^3$  排放浓度限值要求，主要是因为国内一般不对氟化物进行控制。根据现有的技术资料，采用低氟的原料可以大大降低污染物排放浓度，江苏省已调研钢铁企业烧结机头氟化物排放浓度为  $0.04\sim 2.8\text{mg}/\text{m}^3$ （以 F 计）。目前国内外烧结机头氟化物的排放浓度，除包钢地处高氟区，氟化物原始浓度超过标准要求外，其他氟化物排放浓度一般在  $0.5\sim 2\text{mg}/\text{m}^3$ ，不用采取治理措施即可满足排放标准要求。因此，参考《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》（GB28662-2012）中特别排放要求，本标准取值与其相同，氟化物排放限值执行  $4.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

二噁英限值在烧结（球团）工序中主要来源于配料返回含油轧钢氧化铁皮，与生产中浓盐水及其他氯化物的混料回用，氯化物与有机物在烧结原料中铜离子的催化作用下经热反应过程在一定温度下形成多氯联苯等二噁英类物质。《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》（GB28662-2012）要求烧结机头烟气中二噁英排放浓度小于  $0.5\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 。目前我国对于二噁英的监测能力虽有提高，排污许可年度自行监测要求中也强制企业进行监测，钢铁烧结机二噁英排放浓度监测数据较少，但根据国外相关数据，烧结机头烟气中二噁英浓度波动较大，在未采取措施的情况下，一般在  $0.5\sim 1.5\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$  区间范围内，因此，需对烧结机头二噁英采取控制措施。目前主要通过脱硫与除尘设施协同去除烟气中的二噁英，综合分析江苏省现有企业与国家标准评估中监测的企业实际数据可知，烧结机机头烟气二噁英排放浓度范围在  $0.0058\sim 0.48\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ ，竖炉、链篦机-回转窑和带式焙烧机焙烧烟气二噁英排放浓度范围在  $0.0046\sim 0.36\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 、 $0.12\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$  和  $0.45\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 。因此，本标准取值与国标特排限值相同，二噁英排放限值执行  $0.5\text{ngTEQ}/\text{m}^3$ ，不予进一步收严。炼钢工序的 PCDD/Fs 主要产生于电炉。电炉冶炼原料的废钢，一般都含有油脂、油漆涂料、塑料等有机物，废钢预热和装入电炉都将会产生 PCDD/Fs 生成；排放废气中 PCDFs 异构体较 PCDDs 多，且含 4~6 个氯原子的 PCDFs 和 PCDDs 占主导地位。根据二噁英的产生机理分析，通过炼钢原料分选、炉内排烟急冷等措施就可以在很大程度上从源头减少二噁英的产生量；根据二噁英的物理性质， $150^\circ\text{C}$  以下很容易吸附在细小颗粒物上，可以通过高效除尘或喷吸附剂等措施使其得到高效净化。根据收集江苏省电炉企业二噁英监测数据，并将重点区域行业内企业 100 吨电炉 PCDD/Fs 排放水平进行梳理，发现其在  $0.013\sim 0.15\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ ，平均值为  $0.090\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 。飞灰中 PCDD/Fs 含量为  $0.300\sim 0.610\text{ng-TEQ}/\text{g}$ 。本标准排放限值确定的技术依据即基于此。

铅及其化合物在现有国家钢铁行业烧结、球团排放标准中并未列入，不过国内已发布的河北、山东、河南等地标中均引入了此因子。同时，在 2018 年生态环境部开展的钢铁系列标准评估工

作中，也提出了下一阶段进行标准修订时应考虑此重金属因子的引入，因此本标准中引入铅及其化合物既符合国家标准未来修订的大趋势，也根据实际污染物产生情况作出前瞻性约束限制。参考国家标准评估项目监测数据，其中烧结机机头烟气铅及其化合物排放浓度范围在 0.07-0.12mg/m<sup>3</sup>，竖炉焙烧烟气铅及其化合物排放浓度范围在 0.07-0.10mg/m<sup>3</sup>。因此，本标准中引入了此重金属因子，并将限值同河北、山东等已发布地标保持一致。

轧钢酸洗机组、废酸再生、脱脂及涂层机组的酸雾、油雾、涉 VOCs 因子的污染物排放限值本标准中参照《轧钢工业大气污染物排放标准》（GB 28665-2012）修改单特排限值与江苏省表面涂装工业地方标准征求意见稿要求设定，不予进一步加严。

#### 5.4 无组织控制指标的确定及依据

本标准中设定的厂内和企业边界大气无组织排放限值，与现有国家、地方已发布钢铁工业大气污染物无组织排放限值相关标准比较见表 5-1。

表 5-1 钢铁工业大气污染物无组织排放限值相关标准比较（mg/m<sup>3</sup>）

企业或生产手段	生产工艺或设施	污染物项目	限值				
			河北省	山东省	山西省	国家标准	本标准
烧结、炼铁、炼钢	有厂房车间	颗粒物	8	8	8	8	8
	无完整厂房车间		5	5	5	5	5
轧钢	板坯加热、磨辊作业、钢卷精整、酸再生下料	颗粒物	/	5	5	5	5
		硫酸雾	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
		氯化氢	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	涂层机组	硝酸雾	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
		苯	0.4	/	0.1	0.4	0.4
		甲苯	2.4	/	0.6	2.4	2.4
		二甲苯	1.2	/	0.2	1.2	1.2
	非甲烷总烃	4	/	2	4	4	
	企业边界	颗粒物	1	/	1	1	1
		苯	0.1	0.1	/	/	/
甲苯		0.6	0.2	/	/	/	
二甲苯		0.2	0.2	/	/	/	
非甲烷总烃		2	VOCs 2	/	/	/	
一氧化碳		/	/	10	/	/	

本标准中对于企业无组织排放管控措施的要求参照《意见》与《关于征求<钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准>等 20 项国家污染物排放标准修改单（征求意见稿）意见的函》（环办大气函〔2017〕924 号）中的《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》（GB28662-2012）修改单（征求意见稿）、《炼铁工业大气污染物排放标准》（GB 28663-2012）修改单（征求意见

稿)、《炼钢工业大气污染物排放标准》(GB 28664-2012)修改单(征求意见稿)、《轧钢工业大气污染物排放标准》(GB 28665-2012)修改单(征求意见稿)以及河北、山东、河南、山西等地标内容综合确定,同时强调排气筒高度要求。

#### (1) 原料及运输系统

在保障生产安全的前提下,铁精矿等原料,煤炭、焦粉等燃料以及石灰石等辅料应储存在封闭料场(仓、棚、库),设置的门窗、盖板、检修口等配套设施在非必要时应关闭,并采取有效的抑尘措施;料场进出口路面应硬化,出口应配备有效的车辆清洗装置,具备抖水或烘干功能。

厂内石灰粉、除尘灰等粉状物料应采用气力输送设备或罐车等方式密闭输送;铁精矿、烧结矿、球团矿、块矿、煤、焦炭等块状或粘湿物料应采用管状带式输送机等方式密闭输送或采用皮带通廊等方式封闭输送,确需汽车运输的应采取密闭输送方式;物料输送及转运落料点等应配备集气罩和除尘设施,或采取抑尘措施等。

皮带通廊内地面无明显积尘,通廊内部无可见粉尘外逸。

进出钢铁企业的铁精矿、煤炭、焦炭等大宗物料和产品采用铁路、水路、管道或管状带式输送机等清洁方式运输比例不低于 80%;达不到的,汽车运输部分应全部采用新能源汽车或达到国六排放标准的汽车(2021 年底前可采用国五排放标准的汽车)。

#### (2) 生产工艺过程

烧结、球团、炼铁等工序的物料破碎、筛分、混合等设备应设置密闭罩,并配备除尘或抑尘设施。烧结机、烧结矿环冷机、球团焙烧设备,高炉炉顶上料、矿槽、高炉出铁场,混铁炉、炼钢铁水预处理、转炉、电炉、精炼炉等产尘点应加强集气能力建设,确保无可见烟粉尘外逸。

高炉出铁场平台应封闭或半封闭,铁沟、渣沟、摆动流嘴(或罐位)应加盖封闭,设置集气罩并配备除尘设施。高炉炉顶料罐均压放散废气应采取回收或净化措施。

炼钢车间应封闭,转炉应采取挡火门密闭,设置炉前和炉后集气罩。混铁炉、脱硫、倒罐、扒渣等铁水预处理点位应设置集气罩;钢包精炼炉、氩氧脱碳炉等精炼装置应设置集气罩,上述节点均需配备除尘设施,同时设置屋顶罩并配备除尘设施。电弧炉在炉内排烟基础上采用密闭罩与屋顶罩相结合的收集方式。废钢切割应在封闭空间内进行,设置集气罩,并配备除尘设施;

轧钢涂层机组应封闭,冷轧钢材清洗、酸洗、碱洗、涂层及后处理段的酸雾和碱雾应设除雾器。

## 5.5 监测

### 5.5.1 监测分析与监控方法

(1) 排气筒中大气污染物的监测采样按 GB/T 16157、HJ/T 397、HJ 732 及 HJ 75、《固定污染源废气中非甲烷总烃排放连续监测技术指南(试行)》的规定执行。对于排放强度周期性波动的污染源,污染物排放监测时段应涵盖其排放强度大的时段。。

(2) 企业边界大气污染物的监测采样按 HJ/T 55 的规定。

(3) 对厂区内 VOCs 无组织排放监控要求按 GB 37822 中附录 A 的规定。

(4) 大气污染物的分析测定采用表 3 所列的方法标准。

(5) 本文件发布实施后，有新发布的国家环境监测分析方法标准，如适用性满足要求，同样适用于本文件相应污染物的测定。

(6) 厂内应安装高清视频抓拍监控系统，覆盖原料场出口、高炉出铁场、炼钢车间厂房顶部等主要无组织污染源节点，监控数据应保存三个月以上。

表 5-2 大气污染物分析方法标准

序号	污染物项目	标准名称	标准编号
1	颗粒物	环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法	GB/T 15432
		固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
		固定污染源烟气(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、颗粒物)排放连续监测技术规范	HJ 75
		固定污染源烟气(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法	HJ 76
		固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法	HJ 836
2	二氧化硫	固定污染源排气 二氧化硫的测定 定电位电解法	HJ 57
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法	HJ 629
		固定污染源烟气(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、颗粒物)排放连续监测技术规范	HJ 75
		固定污染源烟气(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法	HJ 76
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 便携式紫外吸收法	HJ 1131
3	氮氧化物	气体分析 二氧化硫和氮氧化物的测定 紫外差分吸收光谱分析法	GB/T 37186
		固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法	HJ/T 42
		固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ/T 43
		固定污染源废气氮氧化物的测定 非分散红外吸收法	HJ 692
		固定污染源废气氮氧化物的测定 定电位电解法	HJ 693
		固定污染源废气 氮氧化物的测定 便携式紫外吸收法	HJ 1132
4	氟化物	大气固定污染源 氟化物的测定 离子选择电极法	HJ/T 67
5	二噁英类	环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法	HJ 77.2
6	铅及其化合物	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 657
		固定污染源废气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 685
		空气和废气颗粒物中金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 777
7	铬酸雾	固定污染源排气中铬酸雾的测定 二苯基碳酰二肼分光光度法	HJ/T 29
8	氯化氢	固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法	HJ/T 27
		固定污染源废气氯化氢的测定 硝酸银容量法	HJ 548
		环境空气和废气氯化氢的测定 离子色谱法	HJ 549
9	硫酸雾	固定污染源废气硫酸雾测定离子色谱法(暂行)	HJ 544
10	硝酸雾	固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法	HJ/T 42
		固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ/T 43
11	碱雾	固定污染源废气 碱雾的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 1007
12	油雾	固定污染源废气 油烟和油雾的测定 红外分光光度法	HJ 1077
13	苯及苯系物	环境空气 苯系物的测定 固体吸附/热脱附-气相色谱法	HJ 583
		环境空气 苯系物的测定 活性炭吸附/二硫化碳解吸-气相色谱法	HJ 584
		环境空气 挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法	HJ 644
		固定污染源废气 挥发性有机物的采样 气袋法	HJ 732
		固定污染源废气 挥发性有机物的测定 固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法	HJ 734
		环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法	HJ 759
14	非甲烷总烃	固定污染源废气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 气相色谱法	HJ 38

	环境空气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 直接进样-气相色谱法	HJ 604
	环境空气挥发性有机物气相色谱连续监测系统技术要求及检测方法	HJ 1010

### 5.5 达标判定要求的确定

(1) 对于有组织排放,采用手工监测或在线监测时,按照监测规范要求测得的任意 1 h 平均浓度值超过本文件规定的限值或污染物去除效率低于本标准规定的限值,判定为超标。

(2) 炼钢石灰窑、白云石窑、轧钢加热炉以及轧钢其他热处理炉的大气污染物实测排放浓度,应按式①折算为基准含氧量状态下的大气污染物基准排放浓度,并以此作为达标判定依据。炼钢石灰窑、白云石窑、轧钢加热炉以及轧钢其他热处理炉的基准含氧量按表 5-3 执行。其他生产设施以实测质量浓度作为达标判定依据,不得稀释排放。

$$\rho = \rho' \times \frac{21 - \phi(O_2)}{21 - \phi'(O_2)} \dots\dots\dots ①$$

式中:  $\rho$ ——大气污染物基准含氧量排放浓度, mg/m<sup>3</sup>;  
 $\rho'$ ——实测的大气污染物排放浓度, mg/m<sup>3</sup>;  
 $\phi(O_2)$ ——基准含氧量, %;  
 $\phi'(O_2)$ ——实测的氧含量, %。

表 5-3 基准含氧量

序号	装备类型		基准含氧量, %
1	烧结、球团	烧结机头、竖炉球团	16
		链篦机-回转窑、带式焙烧机	18
2	炼钢	石灰窑、白云石窑	8
3	轧钢	加热炉	8
		其他热处理炉	15

### 5.6 运行管理要求

本标准中的运行管理要求同国家钢铁系列排放标准与已发布地标保持一致。

(1) 本文件由县级以上人民政府生态环境行政主管部门负责监督实施。

(2) 企业是实施本文件的责任主体,应采取必要措施,达到本文件规定的污染物排放控制要求。

(3) 企业未遵守本文件规定的措施性控制要求,属于违法行为的,依照法律法规等有关规定予以处理。

## 6 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

### 6.1 主要国家、地区及国际组织相关标准

#### 6.1.1 欧美与日本

##### (1) 烧结与球团

将烧结、球团大气污染排放限值进行对比,可以看出颗粒物排放浓度与美国排放标准基本持平,优于法国,但是距离欧洲国家例如德国、奥地利仍有差距。 $\text{SO}_2$ 排放限值除现有企业未达到美国排放水平外,已基本优于其他国家的许可排放浓度限值要求。此外, $\text{NO}_x$ 排放标准方面,我国新建企业排放标准基本等同或优于法国、奥地利等国家,对比情况见表 6-1。

表 6-1 国外同类标准对比情况

污染因子	德国	美国	法国	奥地利
颗粒物	10	60	100	10
$\text{SO}_2$	500	90	300	350
$\text{NO}_x$	100	-	500	350
二噁英 ( $\text{ng-TEQ/m}^3$ )	0.4	-	-	0.1
氟化物	3 (以 HF 计)	-	-	-

##### (2) 炼铁

欧美、日本、英国等国家的颗粒物排放限值与国标现执行排放浓度比较见表 6-2。

表 6-2 颗粒物标准对比 (单位:  $\text{mg/Nm}^3$ )

生产设施及污染源		2015年1月1日前	2015年1月1日后	特别排放限值	美国	德国	英国	日本
高炉出铁场	现有企业	50	25	15	22.9	20	20	30 (参照锅炉)
	新建企业	25	25	15	6.9	20	20	30 (参照锅炉)
加热炉	现有企业	50	20	15	-	10	10	100 (参照加热炉)
	新建企业	20	20	15	-	10	10	100 (参照加热炉)
原料、煤粉系统	现有企业	50	25	10	18.32	20	20	30 (参照锅炉)
	新建企业	25	25	10	11.45	20	20	30 (参照锅炉)
标准制订年代		2012年			1999年	2002年	1999年	2005年

可以看出,现行标准中特别排放限值较现有或新建企业排放限值加严幅度较大,基本达到或优于欧美、日本等的标准限值。

表 6-3 热风炉  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  标准对比 (单位:  $\text{mg/Nm}^3$ )

污染控制项目及污染源		现行标准	美国	德国	英国	日本
SO <sub>2</sub>	现有企业、新建企业	100	-	-	250	250
NO <sub>x</sub>	现有企业、新建企业	300	-	-	350	100-170ppm
标准制订年代			-	-	1999年	2005年

目前热风炉 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 污染控制主要通过采用净化后的煤气等清洁燃料实现，我国大多数钢铁企业采取燃用洁净煤气。现行标准中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 现有企业、新建企业、特别排放限值均相同，其中 SO<sub>2</sub> 排放限值低于欧盟水平。

### (3) 炼钢

梳理分析美国、德国、日本、英国同类标准颗粒物、二噁英排放限值，将《炼钢工业大气污染物排放标准》（GB28664-2012）与其对比，转炉二次颗粒物特别排放限值浓度与国外标准限值基本处于同一水平；转炉一次与电炉冶炼废气颗粒物排放限值较国外标准相对宽松，尚有一定收严的空间，二噁英排放限值与国外标准持平，详见表 6-4。

表 6-4 与国外同类标准排放限值对比 单位：mg/m<sup>3</sup>

污染物	生产工序或设施	GB28664-2012		美国	德国	日本
		新建企业	特别排放限值			
颗粒物	转炉 (一次烟气)	50	50	22.9	50(现有); 20(新建)	/
	转炉 (二次烟气)	20	15	11.9	20	/
	电炉	20	15	11.45	5(新建)	20
二噁英类 (ng-TEQ/m <sup>3</sup> )	电炉	0.5	0.5	0.5 (英国)	0.5	0.5

### (4) 轧钢

根据 GB 28665-2012，现有企业和新建企业于 2015 年 1 月 1 日起均执行表 2 规定的排放限值，为此，本标准将表 2 排放限值与国外轧钢工业大气污染物排放标准对比分析。通过将我国轧钢工业大气污染物排放标准中新建企业颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 排放限值与德国、日本等进行对比，分析可知我国轧钢工业大气污染物排放标准中颗粒物、SO<sub>2</sub> 排放限值与国外排放标准持平，对比情况见表 6-5。

表 6-5 与国外轧钢废气排放限值对比表 单位 mg/m<sup>3</sup>

污染源	污染物	新建企业排放限值 (mg/m <sup>3</sup> )	国外排放限值		对比结果
			德国	日本	

轧钢各除尘系统	颗粒物	20	20	20	GB 28665-2012 新建企业排放限值与国外标准持平
轧钢热处理炉	SO <sub>2</sub>	150	≤350	--	GB 28665-2012 新建企业排放限值均严于国外标准
	NO <sub>x</sub>	300	≤350	--	GB 28665-2012 新建企业排放限值均严于国外标准

### 6.1.2 中国

《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）要求到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。

#### （1）无组织排放控制措施

全面加强物料储存、输送及生产工艺过程无组织排放控制，在保障生产安全的前提下，采取密闭、封闭等有效措施，有效提高废气收集率，产尘点及车间不得有可见烟粉尘外逸。

①物料储存。石灰、除尘灰、脱硫灰、粉煤灰等粉状物料，应采用料仓、储罐等方式密闭储存。铁精矿、煤、焦炭、烧结矿、球团矿、石灰石、白云石、铁合金、钢渣、脱硫石膏等块状或粘湿物料，应采用密闭料仓或封闭料棚等方式储存。其他干渣堆存应采用喷淋（雾）等抑尘措施。

②物料输送。石灰、除尘灰、脱硫灰、粉煤灰等粉状物料，应采用管状带式输送机、气力输送设备、罐车等方式密闭输送。铁精矿、煤、焦炭、烧结矿、球团矿、石灰石、白云石、铁合金、高炉渣、钢渣、脱硫石膏等块状或粘湿物料，应采用管状带式输送机等方式密闭输送，或采用皮带通廊等方式封闭输送；确需汽车运输的，应使用封闭车厢或苫盖严密，装卸车时应采取加湿等抑尘措施。物料输送落料点等应配备集气罩和除尘设施，或采取喷雾等抑尘措施。料场出口应设置车轮和车身清洗设施。厂区道路应硬化，并采取清扫、洒水等措施，保持清洁。

③生产工艺过程。烧结、球团、炼铁、焦化等工序的物料破碎、筛分、混合等设备应设置密闭罩，并配备除尘设施。烧结机、烧结矿环冷机、球团焙烧设备，高炉炉顶上料、矿槽、高炉出铁场，混铁炉、炼钢铁水预处理、转炉、电炉、精炼炉，石灰窑、白云石窑等产尘点应全面加强集气能力建设，确保无可见烟粉尘外逸。高炉出铁场平台应封闭或半封闭，铁沟、渣沟应加盖封闭；炼钢车间应封闭，设置屋顶罩并配备除尘设施。

#### （2）有组织排放超低限值

全工序超低排放有组织排放限值见表6-6，超低排放限值中除了对原有GB 28662-2012中的各主要排放口与一般排放口浓度限值进行大幅收严，同时在烧结机头、球团焙烧等节点燃烧废气根据工艺特点，进行基准氧含量的科学化规定，控制排放强度与排放总量，尽可能的避免

稀释排放与漏风率高增能耗的问题。热风炉、加热炉等 SO<sub>2</sub> 与 NO<sub>x</sub> 的标准收严对上述节点提出源头低氮燃烧与煤气净化脱总硫或燃烧后废气脱硫的要求。

表 6-6 钢铁企业超低排放指标限值 单位 mg/m<sup>3</sup>

生产工序	生产设施	基准含氧量 (%)	污染物项目		
			颗粒物	二氧化硫	氮氧化物
烧结 (球团)	烧结机机头、球团竖炉	16	10	35	50
	链篦机回转窑、带式球团焙烧机	18	10	35	50
	烧结机机尾、其他生产设备	—	10	—	—
炼铁	热风炉	—	10	50	200
	高炉出铁场、高炉矿槽	—	10	—	—
炼钢	铁水预处理、转炉(二次烟气)、电炉、石灰窑、白云石窑	—	10	—	—
轧钢	热处理炉	8	10	50	200

注：表中未作规定的生产设施污染物排放限值按国家、地方排放标准或其他相关规定执行。

### 6.1.3 已发布地标省份

当前河北省《钢铁工业大气污染物超低排放标准》(DB13/2169—2018)、山东省《钢铁工业大气污染物排放标准》(DB37/990—2019)、河南省《钢铁工业大气污染物超低排放标准》(DB41/1954—2020)与山西省《钢铁工业大气污染物超低排放标准》(DB14/2249—2020)均已发布钢铁工业大气污染物排放地方标准，结合现有国标与国家超低排放政策要求进行制定，体现地方管理要求的加严趋势。在有组织管控要求上基本按照《意见》中超低排放限值予以设定，但四个标准中均有不同程度的收严针对个别因子，主要集中在热风炉、加热炉、热处理炉、石灰窑、白云石窑等冶金炉窑的氮氧化物排放限值收严问题，除山西省地标外，其他三省地标中上述 NO<sub>x</sub> 排放限值均从国家超低限值中的 200 mg/m<sup>3</sup> 收严至 150 mg/m<sup>3</sup>。石灰窑、白云石窑较《意见》中超低限值要求，新增了 SO<sub>2</sub> 与 NO<sub>x</sub> 的污染因子，对 NO<sub>x</sub> 的达标排放提出更好的管理要求，企业需通过源头低氮燃烧改造或末端脱硝设施增上方可满足排放达标要求。

此外，在无组织管控措施方面，山西省地方标准参照《意见》及相关修改单文件要求，细化了各工序无组织管控要求，对超低排放无组织环节进行了较为明确的约束，对原料系统储存、生产工艺过程、物料输送等各个环节的无组织管控要求提出较为具体的管控措施。其他省份无组织方面仅按《意见》中无组织管控原则性要求进行编制，以结果导向约束无组织排放控制。

## 6.2 本标准与已发布地方标准的对比

表 6-7 至 6-10 对比了本标准与已发布地方标准各工序污染物排放限值的设置情况。



表 6-7 烧结（球团）工序大气污染物排放相关标准比较（mg/m<sup>3</sup>）（二噁英除外）

标准		烧结机头、球团焙烧设备						烧结机机尾、带式焙烧机机尾以及 其他生产设备
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	铅及其化 合物	二噁英类 (ng-TEQ/m <sup>3</sup> )	颗粒物
《意见》	限值要求	10	35	50	-	-	-	10
山东省 DB37/ 990—2019	排放限值	10	35	50	3.0	0.9	0.5	10
河北省 DB13/ 2169—2018	排放限值	10	35	50	4.0	0.7	0.5	10
河南省 DB41/ 1954—2020	排放限值	10	35	50	4.0	-	0.5	10
山西省 DB14/ 2249—2020	排放限值	10	35	50	4.0	-	0.5	10
本标准	排放限值	10	35	50	4.0	0.9	0.5	10

本标准与四个已发布省份的烧结、球团工序三类常规大气污染物排放限值要求同《意见》中限值浓度保持一致，除河北地标因早于《意见》发布在基准氧含量上同其他地标存在差异外，其余标准都按照《意见》要求编制。氟化物与二噁英排放限值除山东与河北地标分别不同程度加严外，其余标准均与国标 GB 28662-2012 限值保持一致。目前，河北地标正处于修订期间，未来修订后的标准会参照正式发布的《意见》要求，对现有有组织限值要求与无组织管控措施内容进行优化。

表 6-8 炼铁工序大气污染物排放相关标准比较 (mg/m<sup>3</sup>)

标准		热风炉			高炉出铁场	原料系统、煤粉系统及其他生产设施
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	颗粒物	颗粒物
《意见》	限值要求	10	50	200	10	10
山东标准 (DB 37/990—2019)	排放限值	10	50	150	10	10
河北标准 (DB13/2169—2018)	排放限值	10	50	150	10	10
河南省标准 (DB41/1954-2020)	排放限值	10	50	150	10	10
山西省标准 (DB14/2249-2020)	排放限值	10	50	200	10	10
本标准	排放限值	10	50	150	10	10

本标准与四个已发布省份的炼铁工序三类常规大气污染物排放限值要求同《意见》中限值浓度保持一致，除山西地标将热风炉 NO<sub>x</sub> 同《意见》保持一致外，其他地标均进行了加严。其中，本标准结合了江苏省超低排放改造实施方案中的限值要求予以设定，需要企业采取低氮燃烧技术、使用低氮燃料，控制风温过高导致的热力型氮氧化物产生浓度增大，从而达到 2000 mg/m<sup>3</sup> 的 NO<sub>x</sub> 达标排放要求。

表 6-9 炼钢工段大气污染物排放相关标准比较 (mg/m<sup>3</sup>) (二噁英除外)

标准		转炉一次烟气	混铁炉及铁水预处理(包括倒罐、扒渣等)、转炉(二次烟气)、精炼炉	钢渣处理	电炉		连铸切割及火焰清理、石灰窑、白云石窑焙烧	电渣冶金	其他尘源	石灰窑、白云石窑	
		颗粒物	颗粒物	颗粒物	颗粒物	二噁英 (ng-TEQ/m <sup>3</sup> )	颗粒物	氟化物	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物
《意见》	限值要求	50	10	100	10	0.5	30	5.0-	15	-	-
山东标准 (DB 37/990—2019)	排放限值	20	10	20	10	0.2	10	3.0	10	-	-
河北标准 (DB13/2169—2018)	排放限值	50	10	20	10	0.5	10	5.0	10	50	150
河南省标准 (DB41/1954-2020)	排放限值	20	10	20	10	0.5	10	5.0	10	-	-
山西省标准 (DB14/2249-2020)	排放限值	30	10	50	10	0.5	10	5.0	10	50	200
本标准	排放限值	30	10	50	10	0.5	10	5.0	10	50	150

本标准与四个已发布省份的炼钢工序在常规环境除尘中均保持外排浓度限值一致，电炉、电渣冶金中的二噁英与氟化物方面除现已发布的山东地标进行加严外，其余节点均与现行国标限值保持一致；转炉一次、钢渣处理节点本标准所提限值结合当前江苏省企业治理设施排放水平与实际达标能力进行设定，与山西省已发布地标保持一致，严于《意见》中的限值要求；石灰窑、白云石窑焙烧烟气中主要大气污染物达标排放要求，本标准结合江苏省实际情况分别进行了加严，同河北、山西地标一致增加了 SO<sub>2</sub> 与 NO<sub>x</sub> 的污染因子，限值设定方面，结合江苏省现有管理文件，达到最严地标管控要求。

表 6-10 轧钢工段大气污染物排放相关标准比较 (mg/m<sup>3</sup>)

标准		热处理炉			热轧精轧机	拉矫、精整、抛丸、修磨、焊接机及其他生产设施	废酸再生				酸洗机组					涂镀层机组	涂层机组				脱脂	轧制机组
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	颗粒物	颗粒物	氯化氢	硝酸雾	氟化物	氯化氢	硫酸雾	铬酸雾	硝酸雾	氟化物	铬酸雾	苯	甲苯	二甲苯	非甲烷总烃	碱雾	油雾	
《意见》	限值要求	10	50	200	10	10	10	30	240	9.0	15	10-	0.07	150	6.0	0.07	1.0	10	10	50	10	20
山东标准 (DB 37/990—2019)	排放限值	10	50	150	10	10	20	20	150	6.0	15	10	0.06	150	6.0	0.06	0.5	5.0	15	50	10	20
河北标准 (DB13/2169—2018)	排放限值	10	50	150	10	10	30	30	240	9.0	15	10	0.07	150	6.0	0.07	5.0	25	40	50	10	20
河南省标准 (DB41/1954-2020)	排放限值	10	50	150	10	10	20	30	240	9.0	15	10	0.07	150	6.0	0.07	5.0	25	40	50	10	20
山西省标准 (DB14/2249-2020)	排放限值	10	50	200	10	10	10	30	240	9.0	15	10	0.07	150	6.0	0.07	1.0	10	10	50	10	20
本标准	排放限值	10	50	150	10	10	10	30	240	9.0	15	10	0.07	150	6.0	0.07	0.5	10	10	50	10	20

标准与四个已发布省份的轧钢工序在常规环境除尘中均保持外排浓度限值一致，目前在地标中明确的高炉煤气精脱硫改造仍处于示范工程过度阶段，待拥有工艺成熟、稳定运行监测路径时，可从源头煤气总硫净化中实现广泛应用，现阶段可考虑从低硫原料使用、煤气脱硫化氢或末端燃烧废气脱硫方面着手，满足标准中  $50 \text{ mg/m}^3$  的限值要求。部分企业因钢材品种、燃用煤气热值较高等问题，使用常规的源头低氮燃烧清洁生产工艺，无法稳定满足  $150 \text{ mg/m}^3$  的  $\text{NO}_x$  达标排放要求，可能需要增建末端脱硝设施以满足限值要求。因此，本标准除个别指标参考《意见》与江苏省已发布文件进行加严外，其余节点如废酸再生、涂层机组等设施排污节点基本都按照现行国标与江苏省表面涂装行业标准征求意见稿予以加严，体现地标制定的各标准协同性、前瞻性与技术可达性。

## 7 实施本标准的成本效益分析

### 7.1 实施标准的环境效益

本标准实施后钢铁企业全面达到超低排放有组织限值要求后，以烧结机为例，颗粒物将较现行标准减排 60%， $\text{SO}_2$  减排 65%， $\text{NO}_x$  减排 80%，全工序主要大气污染物外排浓度较现行标准收严 30%~90%；与此同时，本标准创新性地开展无组织排放管控要求的约束，开展全厂无组织尘源点的清单化管理，将治理设施与生产设施、监测数据的联动，对无组织治理设施工作状态和运行效果进行实时跟踪，实现无组织治理向有组织治理转变。多措并举，实现全省钢铁企业环保排放绩效与管理水平的大幅提升，具有明显的环境效益。参考钢铁排污许可申请与核发技术规范中基准烟气量，对标准实施全省钢铁工业减排比例进行测算，颗粒物减排比例为 49.9%， $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  减排比例均为 46%。

标准的实施将为进一步改善环境空气质量，实现全省大气污染防治目标提供保障。从污染物排放限值来看，本标准将超低排放政策要求转化为地方强制性排放标准，进一步明晰了钢铁工业排污单位的污染物排放限值。因此，从提高对钢铁企业污染防治技术要求、进一步降低主要污染物排放总量与进一步提升企业环保绩效管理水平方面，本标准具有良好的环境正效益。

### 7.2 实施本标准的可行性与成本分析

通过调研江苏省代表性钢铁长流程企业环保治理设施投资、运行成本，所有钢铁企业有组织排放节点均达到钢铁系列排放标准中特别排放限值要求，环保投资占总投资的 12%~18%；环保设施运行成本在 120~240 元/吨钢（含折旧），占总生产成本 8%~12%。以投运成本较高的烧结机头、球团焙烧烟气脱硫脱硝为例，对于现行脱硫后烟气排放可满足 GB28662-2012 特别排放限值要求的成本统计：

#### （1）湿法脱硫技术

湿法脱硫技术主要包括石灰石/石灰-石膏法、氧化镁法等，可实现对烟气中  $\text{SO}_2$  的高效去除，副产物为脱硫石膏，通常外售给水泥企业作为掺混料。投资强度约为 15~20 万元/ $\text{m}^2$  烧结机，运行成本 3~6 元/吨烧结矿。

## （2）半干法脱硫技术

半干法脱硫技术主要包括 CFB 循环流化床法、SDA 旋转喷雾法等，此法将实现 90% 以上的脱硫效率，投资强度约为 18~23 万元/m<sup>2</sup> 烧结机，运行成本 3~8 元/吨烧结矿。

## （3）活性炭/焦干法脱硫技术

活性炭/焦以物理-化学吸附为基础，实现 SO<sub>2</sub> 的高效吸附脱除，整个工艺过程无废水和固废产生，解析制得硫酸可进行资源综合利用。目前投运的主要有沙钢烧结机、永钢 2# 450m<sup>2</sup> 烧结机。投资强度约为 38~43 万元/m<sup>2</sup> 烧结机，运行成本 15~18 元/吨烧结矿（不含折旧）。

从目前全省钢铁工业企业按本标准实施后排放水平来看，同样对烧结机机头、球团焙烧烟气脱硫脱硝技术投运成本进行分析比较。

### （1）活性炭/焦协同脱硫脱硝技术

该技术分为错流式与逆流式两类，可协同去除 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、重金属、二噁英等多种污染物。超低排放限值发布后设计的一体化装置，通过延长活性炭与烟气的接触时间、串联一级活性炭层等方式的早期活性焦一体化设施，处理后的烧结机头烟气，均可满足超低排放限值要求。投资强度大概在 40~50 万元/m<sup>2</sup> 烧结机，项目建成后吨烧结矿运行成本约在 17~25 元。

### （2）脱硫串接中温 SCR 脱硫脱硝技术

将中温 SCR 脱硝装置前置或后置于烧结烟气湿法、半干法脱硫装置，反应后烟气经 GGH 换热器换热后实现热源循环利用，其中催化剂设计使用寿命为 2~3 年。此法将实现 80% 以上的 NO<sub>x</sub> 脱除效率与 95% 以上的脱硫效率，可满足超低排放限值要求，但需控制氨逃逸问题。投资强度大概在 20~40 万元/m<sup>2</sup> 烧结机，预计运行成本吨烧结矿 10~14 元。

烧结机头、球团焙烧烟气超低改造的成本上升主要是因为引入脱硝环节产生。据测算，NO<sub>x</sub> 浓度按超低排放要求加严至 50 毫克/立方米以内时，治理费用为 13000 元/吨以上。与火电行业对比，火电厂应用脱硝装置后达到超低排放限值时，NO<sub>x</sub> 治理费用 17222 元/吨。与炼焦行业对比，炼焦化学工业排污单位焦炉烟气 NO<sub>x</sub> 治理费用为 13922 元/吨，综合比较，钢铁行业烧结、球团工序超低改造治理费用与其他重点工业投资额度总体来看相差不大，具备经济可行性。

综合分析长流程企业全面达到超低排放要求的成本，以 500 万吨钢铁联合企业为例，脱硫脱硝与除尘等有组织排放治理设施合计一百余台；无组织排放源清单节点多达 2000 余个，实施全流程超低改造后一次性投资将达 20 亿元左右，吨钢运行成本较当前达国家特排限值要求约上升 40~50 元/吨钢。根据江苏省当前钢铁工业企业产能情况进行核算，实施本标准，完成江苏省内钢铁企业全流程超低排放改造总投资约 350 亿元，但就当前钢铁企业吨钢净利润破千元的现状来看，改造总费用约占全省钢铁企业年利润的 30% 左右，因此认为可通过部分直接利润参与投资完成改造。综合目前江苏省超低排放差别化电价与全面超低后企业产能完全释放、产量最大限度实现的现实需求来看，本标准的实施具备经济可行性。

## 8 标准的实施建议

### 8.1 强制性实施的建议

根据《中华人民共和国标准化法》第二条规定，国家标准分为强制性标准、推荐性标准，行业标准、地方标准是推荐性标准；第十条规定，对保障人身健康和生命财产安全、国家安全、生态环境安全以及满足经济社会管理基本需要的技术要求，应当制定强制性国家标准；法律、行政法规和国务院决定对强制性标准的制定另有规定的，从其规定。

根据《中华人民共和国标准化法实施条例》第十八条规定，环境保护的污染物排放标准和环境质量标准属于强制性标准。本标准属于污染物排放标准，建议强制性实施。

### 8.2 标准实施的措施建议

（1）加大宣贯培训。本标准发布实施后，建议全省各级生态环境主管部门加大宣贯力度，组织执法单位（如地方生态环境监察队伍）、钢铁企业排污单位相关人员培训，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）加强日常监督。本标准发布实施后，建议全省各级生态环境主管部门加强对钢铁企业排污行为的日常监督管理，严格按照法定监测标准和方法开展执法活动，督促钢铁工业排污单位全面稳定达标排放，促进江苏省环境空气质量持续改善。

（3）加强超低排放与低碳协同发展。江苏省当前已实行超低排放差别电价政策，倒逼钢铁企业尽快完成超低排放改造，起到奖优罚劣、鼓励先进的良好作用。同时，应加强低碳与超低排放的协同作用，应出台激励政策，通过金融手段鼓励企业通过煤气精脱硫、烧结烟气内循环等源头减污降低末端治理的碳排放增量的措施，尽可能的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。