《钢铁行业清洁生产评价指标体系》

（报批稿）

编制说明

标准编制组

2025 年 2 月

目　录

一、目的意义 1
二、任务来源 19
三、编制过程 19
四、标准制修订原则和技术路线 21
五、　主要内容技术指标确定 24
六、重大分歧意见 32
七、与相关法律法规和国家标准的关系 32
八、推广实施建议 32
九、起草单位和起草人员信息及分工 33
参　考　文　献 35

一、目的意义

1.1 项目背景

钢铁行业是我省的传统优势产业，钢铁产量连续十多年位居全国第二位。2023 年江苏省全行业产值约 1.18 万亿，不仅拥有沙钢、南钢、兴澄、中天、永钢、梅钢一批大型钢铁企业，还有龙腾、德龙镍业等一大批专业化、特色化的领军企业和单打冠军。但钢铁行业污染物排放、能源消耗量大，也是我省污染防治和源头治理的重点行业。近年来，江苏钢铁行业积极响应国家“打赢蓝天保卫战”“共抓大保护、不搞大开发”“超低排放”“减煤”等要求，对标国际最高标准，加大在节能环保领域投入，推广应用了一批国际、国内先进的环保技术。目前全省钢铁行业重点钢铁企业已全部完成有组织超低排放改造，其中 25 家钢铁企业已全面完成超低排放改造。但企业之间清洁生产水平不一，企业对清洁生产重要性认识度也不一致。亟须通过钢铁行业清洁生产评价指标体系指导企业清洁化生产，提升钢铁行业清洁化生产水平。

清洁生产是促进源头治理、减污降碳、协同增效的重要举措，是推动我省经济社会绿色低碳转型和高质量发展的重要途径，完善的清洁生产评价指标体系有利于从生产工艺、装备、资源能源利用、污染排放控制等方面加强企业的清洁生产管理。国家发展改革委、生态环境部、工业和信息化部 2018 年 12 月 29 日联合发布了施行钢铁行业烧结、球团、高炉炼铁、炼钢等清洁生产评价指标体系的公告，同时宣布 2008 年发布的相关清洁生产标准停止实施。但超低排放改造、碳达峰碳中和发展目标对企业工艺技术、污染排放控制、能源利用等提出更高要求，现行钢铁行业清洁生产评价指标体系发布较早，对企业清洁生产发展指引作用较弱，部分指标操作性较差，不利于企业施行。因此有必要开展钢铁行业清洁生产评价指标体系研究，制定符合我省管理需求的清洁生产评价指标体系标准。

1.2 行业概况

1.2.1 行业总体概况

从 2016 年开始，江苏省委、省政府根据国家化解钢铁行业过剩产能、推

动钢铁企业实现脱困发展的要求，综合运用经济、法律、技术、环保、质量、安全等手段，大力推进钢铁去产能工作，到 2020 年，压减粗钢产能 1750 万吨。同时，根据国家打击“地条钢”的要求，彻底清除了 1233 万吨“地条钢”，市场环境明显改善。粗钢总产能稳定下降的同时，积极扩大有效投入，加快产业改造提升，不断提高供给质量和效率，持续提升中高端产能比重。近年来，得益于供给侧结构性改革的不断推进以及市场供需情况的改善，江苏钢铁行业优势产能得到充分发挥，2023 年，全省粗钢、生铁、钢材累计产量分别为 11859 万吨、9762 万吨、16194 万吨，同比分别降低 0.4%、增长 0.9%和增长 2.9%。钢铁产量全国第二，产能利用率达到 90%以上。江苏是全国电炉钢第一大省，全省电炉钢产量 1900 万吨左右，江苏电炉钢比 16.7%，其中拥有长流程的钢铁企业电炉钢产量 1100 万吨，全废钢电炉钢产量 800 万吨。

1.2.2 企业分布情况

钢铁冶炼分为“长流程”和“短流程”，“长流程”是传统流程，原料主要为铁矿石和焦炭，工序一般包括焦化、烧结、球团、炼铁、炼钢、轧钢等。江苏省涉及“长流程”“短流程”和“长流程+短流程”的钢铁企业共 31 家，按区域划分为苏南地区共 15 家，苏中地区 6 家，苏北地区 10 家。其中涉及“长流程”钢铁企业 12 家，占比 38.7%；“短流程”是以废钢为主要原料，主要包括电炉炼钢和轧钢两个主要环节，江苏省“短流程”钢铁企业 9 家，占比 29.0%；“长流程+短流程”钢铁企业 10 家，占比 32.3%。长流程制钢法仍占主导地位。从涉及工序来看，全省有烧结工序的企业 21 家，有球团工序的企业 10 家，有高炉工序的企业 22 家，有转炉炼钢工序的企业 22 家，有电炉工序的企业 17 家。

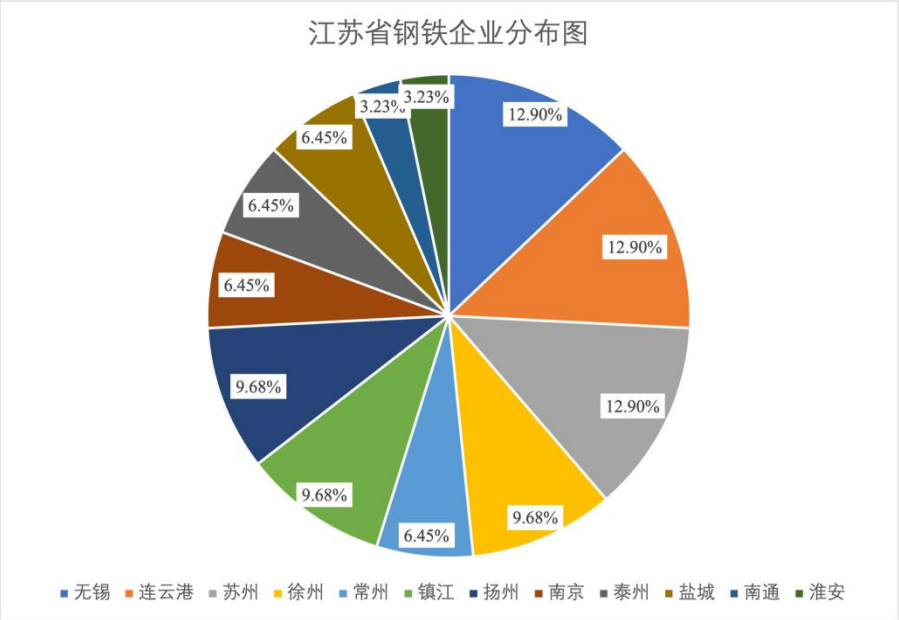

图 1-1 江苏省钢铁企业分布图

1.2.3 行业工艺装备水平

工艺装备方面，近年来，全省钢铁行业设备大型化、高端化、绿色化、智能化取得显著进展，工艺装备档次总体处于国内领先水平，部分达到国际先进水平。据统计，全省重点钢铁企业现有烧结机 57 座，其中 180 平方米以上烧结机 50 座；现有高炉 63 座，其中 1200 立方米及以上高炉 42 座，产能占比为 77%，沙钢 5800 立方米高炉和上海梅山 4070 立方米高炉达到国际领先水平；现有转炉 69 座，其中 100t 以上的转炉 54 台，占全省转炉钢产能的 88%；现有电炉 25 座，100t 及以上电炉 13 台，产能占比为 69%，中冶东方江苏重工 220t 电炉是全亚洲最大的电炉。江苏是电炉钢第一大省，全省电炉钢产量 1900 万吨左右，现有电炉钢产能占比 17.8%，全国电炉钢比约 10.7%，高于全国平均水平。

产品结构方面，全省钢铁产业在高端特钢生产方面不断取得突破。“十三五”期间，以 2000MPa 级桥梁缆索钢、大型 LNG 船用超低温镍系钢板、高品质轴承钢、高强海工板、100 千克级高强水电钢、高速铁路弹条用钢、超超临界火电机组锅炉用特种不锈钢管、X80 抗大变形管线钢板等为代表的高端钢材实现了国产化，为海工装备和高技术船舶、汽车及零部件、工程机械、高端装备等先进制造业发展提供了支撑。2022 年，优特钢比达 70%（全国平均 52%），一般特钢比达到 38%（全国平均 17%），其中高端特钢比达 20%（全国平均不到 8%）。

1.2.4 行业绿色低碳发展水平

资源能源方面，在全行业对标评比中，南钢 150t 转炉、2000m^3 高炉在“全国重点大型耗能钢铁生产设备节能降耗对标竞赛”中荣获冠军炉称号，沙钢的高炉、转炉、焦化工序能耗被国家工信部列为能效标杆指标，沙钢、永钢获工信部 2022 年重点用水企业水效领跑者。

污染控制方面，25 家企业完成全流程超低排放改造，占比 80.6%。**有组织方面，**企业均配套建设脱硫脱硝装置，选用了“干法”脱硫、“SCR”脱硝等成熟工艺，做到烧结“超低排、无异味、无白烟”。加快对除尘器升级改造，颗粒物排放值大幅下降。**无组织方面，**将铁矿石堆场改造为全封闭大棚，实现了“煤进仓、焦进仓、矿进棚”。将高炉出铁场进行封闭改造，做到“出铁不见铁”。将原料、烧结、焦化、高炉等皮带通廊及转运站进行封闭，除尘灰全部采用气力输送和密封罐车密闭运输，现场“运料不见料”。对厂区道路“无死角清扫”，有效减少厂区及道路扬尘。**清洁物流方面，**企业不断加大对物流车辆进行升级配置，将物流运输汽车升级为“国五”以上排放标准，对非道路式工程机械升级“国三”以上。同时细化交通运输管理，减少无效中转环节。在环保监控方面也加大投入，配备智能厂区环境管理系统。

1.3 工艺概况

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。钢铁行业典型生产工艺包括长流程及短流程，长流程一般包括烧结（球团）、焦化、炼铁、炼钢（转炉、电炉）、连铸、轧钢等。短流程以废钢为主要原料，工艺流程为“电炉(炉外精炼)→连铸→成品连轧”。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。

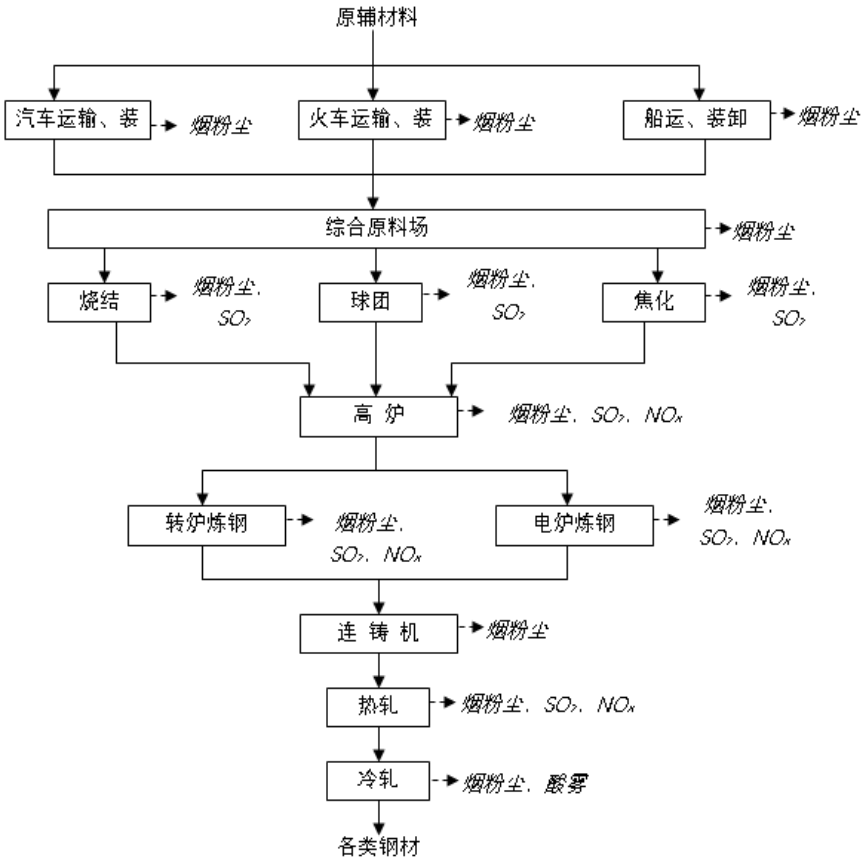

图 1-2　典型钢铁企业生产工艺流程及排污节点图

1.3.1 烧结工序

烧结是将矿粉(包括富矿粉、精矿粉以及其他含铁细粒状物料)、熔剂(石灰石、白云石等粉料)、燃料(焦粉、煤粉)按照一定比例配合后，经混匀、造粒、加温(预热)、布料、点火，借助炉料氧化(主要是燃料燃烧)产生的高温，使烧结料水分蒸发并发生一系列化学反应，产生部分液相黏结，冷却后成块，经合理破碎和筛分，最终得到烧结矿。该工序生产工艺流程图见图 1-2。烧结按其生产工艺的不同可分为抽风法和鼓风法目前普遍采用的是抽风法。烧结矿就其成品是否经过冷却，又有冷矿与热矿之分。不经过冷却和整粒的烧结矿称为热矿，冷矿则需要冷却，可以用皮带运输。

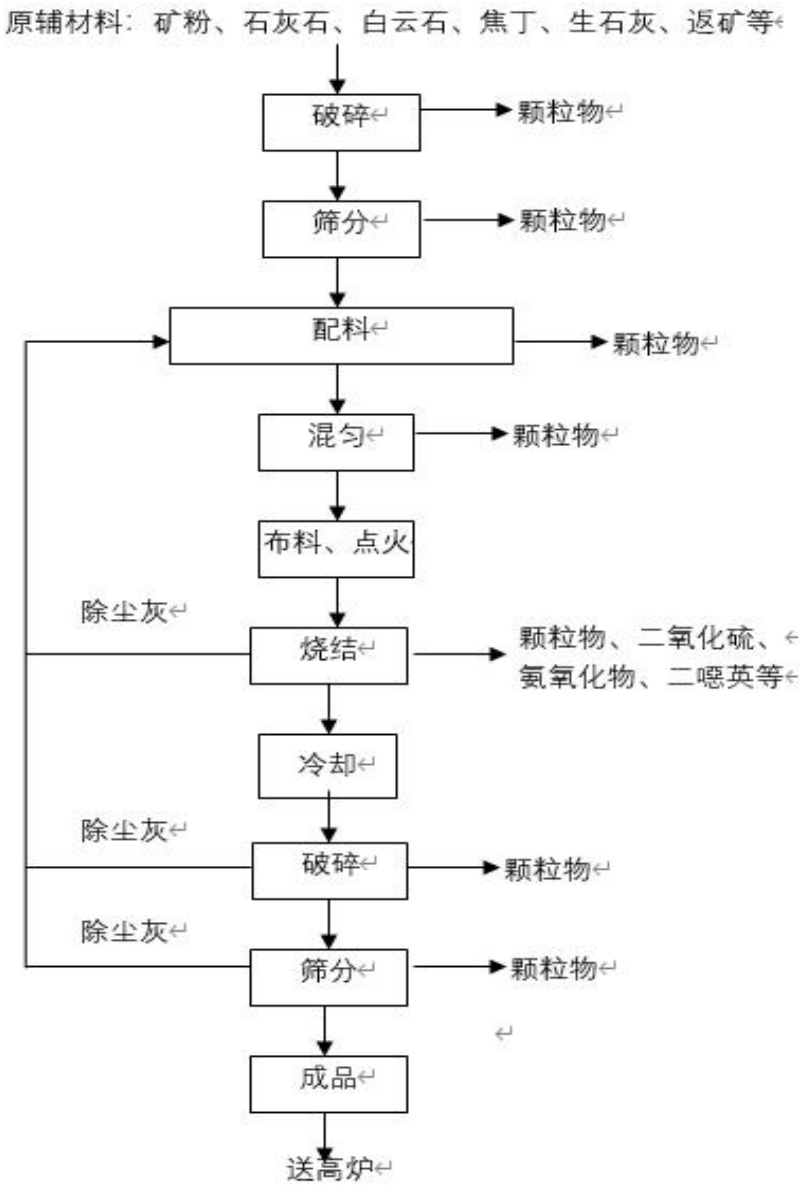

图 1-3　烧结工序工艺流程及排污节点图

1.3.2 球团工序

球团是粉矿造球的重要方法之一。球团工艺先将粉矿加适量的水分和黏结剂制成黏度均匀、具有足够强度的生球，经干燥、预热后在氧化气氛中焙烧，使生球结团，制成球团矿。这种方法适宜处理精矿细粉。球团矿具有较好的冷态强度、还原性和粒度组成。在钢铁工业中，球团矿与烧结矿一样，都是重要的高炉炉料，可一起构成较好的炉料结构。球团生产目前有竖炉法、带式球团机法和链算机-回转窑法三大类。该工序生产工艺流程图见图 1-3。

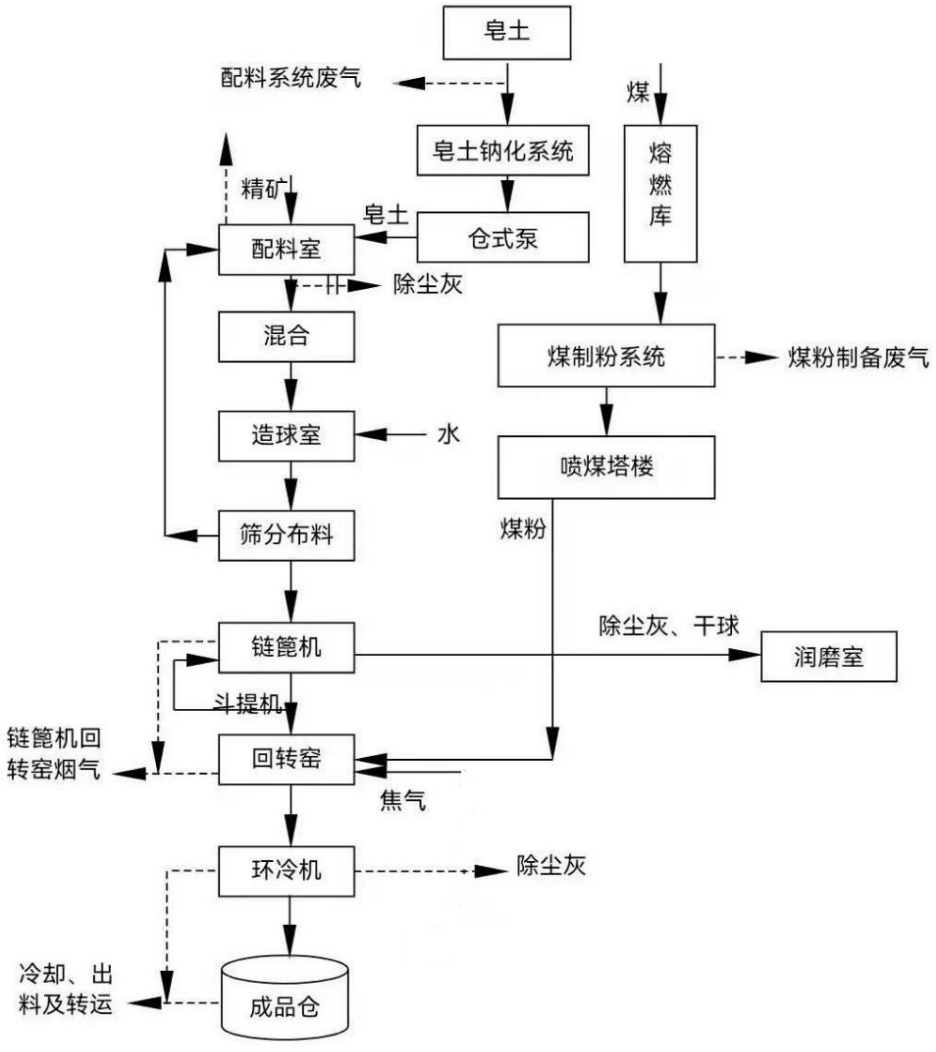

图 1-4　球团工序工艺流程及排污节点图

1.3.3 高炉炼铁工艺

高炉炼铁工艺是从高炉炉顶不断地装入铁矿石、烧结矿 (球团)、焦炭、熔剂，从高炉下部的风口吹进热风，喷入煤粉。装入高炉中的铁矿石等铁素原料，主要是铁和氧的化合物。在高温下，焦炭和喷吹煤粉的碳以及碳燃烧生成的一氧化碳将铁素原料中的氧夺取出来，得到铁，这个过程叫作还原。铁矿石等原料通过还原反应炼出生铁，铁水从出铁口放出。原料中的杂质、焦炭及喷吹物中的灰分与加入炉内的石灰石等熔剂结合生成炉渣，从出铁口和出渣口分别排出。煤气从炉顶导出，经除尘后作为工业煤气用。高炉内的一切反应均发生于煤气和炉料的相向运动和相互作用之中。它包括炉料的加热、蒸发、挥发和分解，铁及其他元素的还原，炉料中非铁氧化物的熔化、造渣和生铁的脱硫，铁的渗碳及生铁的形成，炉料和煤气之间的热交换等，是一系列物理化学反应过程的总和。

1.3.4 炼钢工艺

炼钢工艺主要涉及的生产工艺包括：铁水预处理(脱硅、脱磷、脱硫)、冶炼、二次冶金(炉外精炼)、浇铸 (连铸)等。任务就是根据所炼钢种的要求，把生铁中的含碳量降到规定范围，并使其他元素的含量减少或增加到规定范围，达到最终钢材所要求的金属成分。炼钢过程基本上是一个氧化过程，这些元素氧化后，有的在高温下与石灰等熔剂起反应，形成炉渣，有的变成气体逸出，留下的金属熔体就是钢水。在炼钢的最后阶段，还要在熔化中和出钢过程中，用脱氧剂进行脱氧。这样，达到一定成分和温度的钢水，用连铸机铸成钢坯，送到轧钢厂轧成各种钢材；以铸钢件为主的铸钢厂，是用钢水直接铸造成铸钢件。

转炉炼钢是利用吹入炉内的氧与铁水中的元素碳、硅、锰、磷、硫反应放出的热量来进行冶炼，可分为氧气顶吹转炉、顶底复合吹炼转炉等。该工序生产工艺流程及产排污节点示意图见图 1-5。

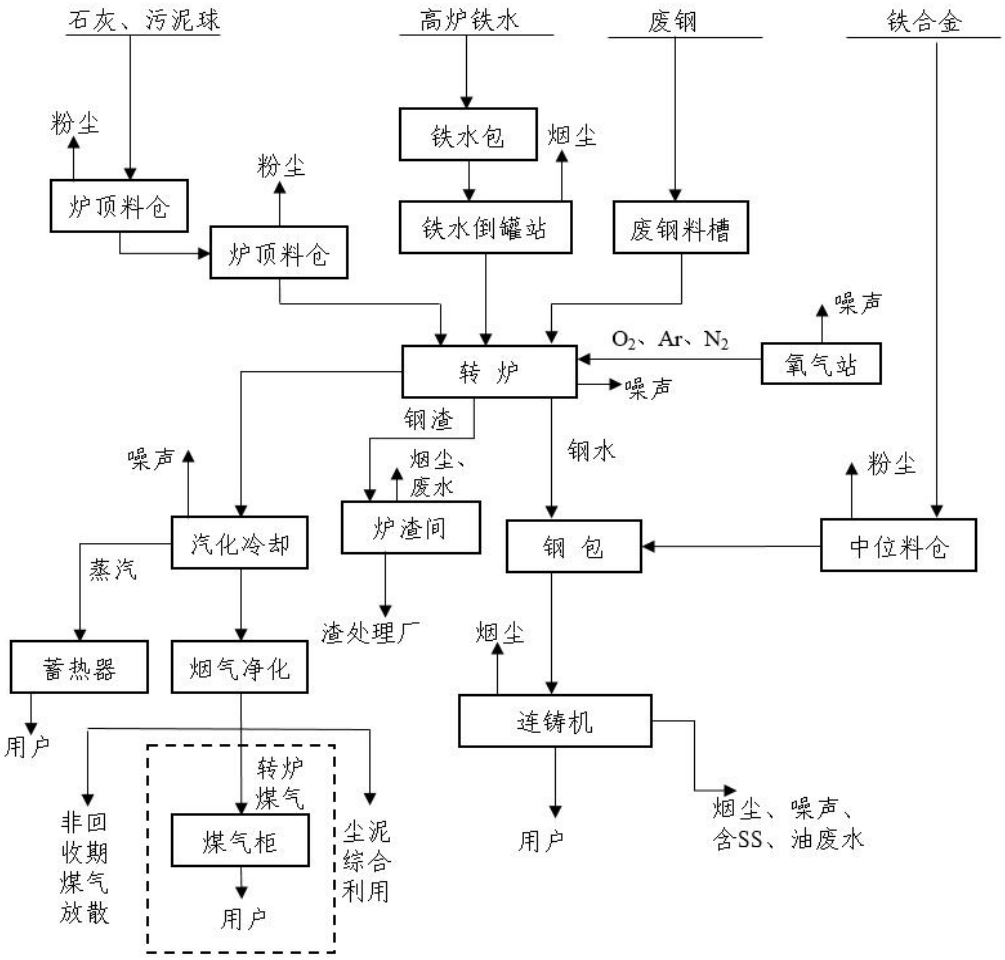

图 1-5　炼钢生产工艺流程及排污节点

1.3.5 产排污情况

钢铁行业各工序排污节点及污染物如表 1-1、表 1-2 所示。

表 1-1 钢铁行业排放典型废气污染源

主要生产工序	典型污染源及污染物
烧结（球团）	（1）原料准备系统各种原料在卸落、破碎、筛分、混合和运输过程中产生的常温含尘废气； （2）混合料在烧结或焙烧时，产生含有烟尘、S、NO、CO、CO 等的高温烟尘废气； （3）烧结矿在破碎、筛分、冷却、贮存和转运过程中产生的具有一定温度的含尘废气。
炼焦	（1）备煤系统原料破碎、转运时产生的烟尘；

	（2）焦炉加热燃烧产生的废气； （3）焦炉装煤时，从装煤孔、上升管及平煤孔等处逸散的烟尘； （4）焦炉推焦时，从炉门、拦焦车、熄焦车及上升管等处逸散的烟尘； （5）熄焦时，若采用湿法熄焦，由熄焦塔产生的含尘及挥发物的蒸汽，若采用干法熄焦，在干熄焦槽顶、排焦口及风机放散管等处产生的烟尘等； （6）焦处理工段焦炭成品筛分、贮存产生焦尘。
高炉炼铁	（1）矿槽、焦槽供料、上料系统及转运站、点产生的粉尘； （2）高炉冶炼过程中产生大量含尘和 CO 的烟气； （3）高炉出铁场作业时产生的烟和有害气体，污染物主要是烟粉尘和 CO、CO_2、SO_2、NOx、HS 等气态有害物； （4）热风炉燃烧废气； （5）煤粉制备系统的储煤仓、磨煤机及煤产生的煤； （6）铸铁机铁水浇注时产生的烟尘，污染物主要是粉尘、石墨炭等； （7）碾泥机室在原料输送、卸料及混碾过程中产生的少量粉尘。
转炉炼钢	（1）转炉在加料、出钢、吹氧和冶炼过程中产生的一次烟气、二次烟气，烟气中含烟尘、CO、氟化物等气态有害物； （2）散状料上料系统产生的粉尘； （3）LF、VD 等精炼炉冶炼时产生烟尘； （4）铁水预处理喷粉、吹氧过程中产生的烟尘。
电炉炼钢	（1）电炉及精炼装置在加料、出钢、吹氧和冶炼过程中产生烟尘、CO、CO_2、少量氟化物等气态有害物； （2）原、辅料上料系统产生的粉尘。

表 1-2 钢铁行业排放典型废气污染源

主要生产工序	典型污染源及污染物
烧结(球团)	（1）湿式除尘废水、冲洗物料输送胶带废水、冲洗地坪废水等，废水中污染物成分简单主要是悬浮物。
炼焦	（1）含有酚、氰、硫化物和有机油类的酚氰污水： 初冷却器冷凝水(剩余氨水)；煤气终冷的直接冷却水；粗加工的直接蒸汽冷凝分离水；精苯加工过程的直接蒸汽冷凝分离水，焦油精制加工过程的直接蒸汽冷凝分离水洗涤水；焦炉煤气管道冷凝水含酚、氰化物； （2）接触煤、焦粉尘等物质的废水：炼焦煤储存、转运、破碎和加工过程中抑尘废水、湿法除尘废水；湿法熄焦水等。
高炉炼铁	（1）高炉煤气洗涤水——含有大量高浓度的铁氧化物 (铁矿粉及其他氧化物、石墨尘等)，并溶有一部分无机盐及少量酚、氰等有害有毒的污染物； （2）冲废水——含有高浓度颗粒物的热废水； （3）铸铁机废水——含有大量悬浮物； （4）设备间接冷却水——净废水，只是温度升高而未受污染。
转炉炼钢	（1）转炉烟气 (煤气) 湿法净化废水——废水中含悬浮物浓度高(可达 3000-20000mg/L)，其主要成分为氧化铁、氧化钙、二氧化硅等； （2）生产设备间接冷却水——仅水温度升高，不含其他污染物。
电炉炼钢	生产设备冷却水。

1.4 钢铁行业清洁生产技术进展

1.4.1 工艺装备升级

我国钢铁行业装备水平及技术水平参差不齐、产业集中度低、布局不合理是制约我国钢铁行业健康可持续发展的重要原因之一，我们需要认真研究钢铁工业优化流程，从清洁生产、循环经济的角度，以淘汰落后、优化规模布局为目标，

逐步建设全新流程的现代钢铁基地，从而实现钢铁行业的节能减排。

钢铁企业未来发展模式将通过合理利用资源、节约能源、清洁生产、绿色制造等过程，走上生态化转型的道路，逐步形成两种主要的、可选择的模式：即城市周边型钢企和海港工业生态（带）型钢企。与此同时，要推进钢企功能的拓展，充分发挥钢企的钢铁产品制造功能、能源转换功能和废弃物消纳——处理、再资源化功能，提升中国钢铁工业的总体水平。通过节能减排、清洁生产和实施绿色制造等途径，促进形成钢铁与发电、建材等行业的工业生态制造链，为钢铁企业的生态化转型创造条件，融入循环经济社会。

1.4.2 资源能源节约

对现代钢铁生产企业而言，流程高效、连续、紧凑是最重要的节能措施，而且必须把着眼点放在提高能源的利用效率、实现能源的高效转换、回收能源的高效高附加值的利用 3 个重点上面；另外还必须建立和优化以能源（或能源环保）中心为核心的企业节能、CO_2 减排管控体系。在此基础上，大力推进重点节能减排技术的推广应用和优化，才能真正实践建立钢铁产品从设计、原材料（包括铁矿、耐材、铁合金和能源）准备（开采、提纯、加工和输送）、制造、排放物无害化和资源化处理到产品的使用、再使用和回收利用全过程清洁生产的理念并贯彻实行。

钢铁企业系统节能的研究需要采用模型化的研究方法来描述能源系统内部关系，从注重单位设备、工序的节能向企业整体节能方向转变；要从经验管理节能向现代化企业管理方向转变，提高企业节能工作水平和能源利用效率；节能管理体系要从单一的能源部门纵向管理体系，向计划、生产、技术、原燃料供应、设备等部门与能源管理部门分工协作的综合能源管理体系联合进行能源管理。

1.4.3 污染控制

“十三五”期间涌现的烧结烟气循环、高炉煤气精脱硫、无组织管控治一体化协同控制、高炉均压放散煤气回收、烧结机头烟气脱硫脱硝、“一键炼钢+全自动出钢”智慧炼钢、绿色洁净电炉炼钢、热轧带钢无头轧制等清洁生产技术，从源头减量、过程控制与末端治理等全流程促进减污降碳，提升能源利用水平，为

下一阶段贯彻减污降碳、提质增效的核心要求提供了有力的基础保障。相较 2015 年，2020 年颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等主要废气污染物排放强度分别下降 48%、56%、27%。

（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结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再进入烧结层中被热分解或转化，二噁英和 NO_X 会部分消除，抑制 NO_X 的生成；粉尘和 SO_X 会被烧结层捕获，减少粉尘、SO_X 的排放量；烟气中的 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 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地应用在企业中，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≥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，采用串级活性炭/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，设计余量符合要求可达到超低排放限值。此项工艺适合环保管理与运维水平较高、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 μm，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 μm 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 0.6 m/min 以下，处理后粉尘排放浓度可达 10 mg/m^3 以下。与传统覆膜滤料相比，虽然设计使用寿命较长，但滤筒价格仍相对较高。

（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 500 Pa 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 200～300 Pa，处理风量范围大。但由于其适用粉尘比电阻范围为 10^4～10^{10} Ω·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 mg/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，不易黏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 50 Hz 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 40 kHz，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，不易触发电场闪烁。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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/708070043050007034