

分报告一

# 钢铁行业大气污染防治 最佳可行技术及减排潜力分析报告

环境保护部环境工程评估中心

二〇一七年六月

# 目 录

前言 .....	1
<b>1 钢铁行业大气污染防治最佳可行技术 .....</b>	<b>2</b>
1.1 国际钢铁行业大气污染防治最佳可行技术 .....	2
1.2 国内钢铁行业大气污染防治最佳可行技术 .....	13
1.3 钢铁行业大气污染防治政策分析 .....	51
<b>2 采用污染防治最佳可行技术后的减排潜力分析 .....</b>	<b>55</b>
2.1 典型污染防治技术选取原则 .....	55
2.2 钢铁行业典型污染防治技术应用现状 .....	55
2.3 典型污染防治技术应用预期及减排潜力分析.....	58
<b>3 对策建议 .....</b>	<b>68</b>
3.1 完善我国钢铁行业最佳可行技术体系 .....	68
3.2 实现钢厂与城市和谐共生 .....	70
3.3 推动钢铁企业履行环境责任 .....	70

## 前言

钢铁工业是国民经济的重要基础产业。面对钢铁行业的布局现状，我国政府出台了一系列政策指导和促进钢铁工业转型发展。本次研究目的在于调研钢铁企业污染防治技术水平，遴选钢铁行业最佳可行技术，通过优化工艺流程、采用污染防治最佳可行技术等方式，计算主要大气污染物的减排潜力（目前粗略估算钢铁行业最佳可行技术能促进主要污染物排放量减少 10%-20%），为环境保护行政主管部门有针对性的调整钢铁行业污染防治技术政策提供支持，提高钢铁行业大气污染物排放标准的应用效果，促进钢铁行业重点减排技术的推广应用。

本报告主要包括以下内容：

### （1）筛选最佳可行技术

收集、整理主要污染防治技术及其在国内的占有率，进行技术经济分析，筛选适合我国的主要污染防治技术，形成钢铁行业大气污染防治最佳可行技术清单。

### （2）核算行业减排潜力

以 2015 年为基准年，通过查阅文献和公开数据的方式，梳理、分析行业污染防治措施、工艺占比、污染物排放强度等情况；以 2020 年为目标年，通过查阅文献和估算方式，分析、预估行业污染防治措施、工艺占比、污染物排放强度等情况；结合现有技术占有率和最佳可行技术预期应用比例，计算采用主要污染防治技术后的减排潜力，核算钢铁行业减排潜力。

收集整理钢铁行业大气污染防治政策，分析其实施效果，结合最佳可行技术及减排潜力计算结果，提出完善的政策建议。

## 1 钢铁行业大气污染防治最佳可行技术

### 1.1 国际钢铁行业大气污染防治最佳可行技术

#### 1.1.1 美国

##### 1) 基本情况

美国 BAT 体系一方面用于制定排污许可证基于技术的排放限值，实现新源、现有源、达标区、非达标区以及不同类型污染物的差异化和精细化管理；另一方面用于制修订排放标准。

美国 1990 年开始实施废气排污许可证，其许可限值的重要依据为废气 BAT 体系。

美国 1972 年开始实施国家污染物排放消除制度 (NPDES)，即废水排污许可证，其许可限值的重要依据为废水 BAT 体系。

##### 2) 体系概述

美国废气 BAT 体系包括最大可达控制技术 (MACT)、一般可行控制技术 (GACT)、合理可行控制技术 (RACT)、最佳示范技术 (BDT)、最佳可得控制技术 (BACT)、最低可得排放率 (LAER)，如表 1.1-1 所示。

表 1.1-1 美国废气 BAT 体系及管理类别

污染源管理类别	MACT	GACT	RACT	BDT	BACT	LAER
新源	是	是		是	是	是
现有源	是	是	是			
达标区					是	
非达标区			是			是
常规污染物			是	是		
有毒有害污染物	是	是				

### 3) BAT 特点

#### (1) 分要素制订

前述可知，美国 BAT 体系包括废气、废水两个部分。

#### (2) 分行业制订

美国 BAT 体系是分行业来制定的。

#### (3) 按污染物类型进行区分

废气 BAT 体系中的管控污染物类型包括常规污染物和有毒有害污染物，由于其对人体健康和环境的影响程度不同，分别采用 RACT/BDT 和 MACT/GACT 进行管控。

废水 BAT 体系中的管控污染物类型包括常规污染物、非常规污染物和毒性污染物，由于其水体环境质量的影响程度不同，分别采用 BCT 和 BAT 进行管控。

#### (4) 新源和现有源精细化管理

废气新源需要执行除 RACT 之外的整个 BAT 体系限值要求，现有源需要执行 MACT/GACT/RACT 限值要求。

废水新源需要执行 BADT 限值要求，现有源需要执行除 BADT 之外的整个 BAT 体系限值要求。

#### (5) 达标区和非达标区差异化管理

废气达标区执行 BACT 限值要求，现有源需要执行 RACT/LAER 限值要求。

#### (6) BAT 以限值形式体现

美国联邦环保署及各州环保机构负责发布 BAT，其主要表现形式不是污染控制技术，而是排放限值。企业仅需满足相应排放水平即可，至于污染控制技术，可求助于纯市场化运作的行业协会。

美国基于技术许可限值的确定及排放标准的制修订，主要是基于对大数据的统计分析结果而得出的。上述过程通过建立专业团队来完成，团队专家组成应包括经济学家、统计学家和环保学家。

### 4) 与排污许可证的关系

#### (1) BAT 与排污许可证共生共存

BAT 是伴随排污许可制度一起产生和发展完善的。1972 年清洁水法确定 NPDES 许可证的同时，也明确了 BPT/BAT 的具体作用和要求。1977 年，CWA 引入毒性污染物，其限值依据 BAT/BCT 来确定，并在 NPDES 许可证中予以载明。

#### (2) BAT 是制定许可排放限值的重要技术依据

美国排污许可证排放限值的制定综合采用了基于技术和基于环境质量的排放限值。其中，基于技术的排放限值主要依据 BAT 体系来制定。

### (3) BAT 是来源于排污许可大数据

BAT 制定所需的排放信息主要来源于排污许可大数据。以 MACT 为例，制定新源排放限值，首先要收集全国范围内相关行业特定污染源主要污染物的排放信息，通过统计分析，取环境效果最好的排放水平作为限值，以此来管控新源

#### 5) 美国大气污染源最佳可行控制技术(BACT)

美国针对固定源大气污染的控制策略包括运行许可证制度、基于最佳控制技术的排放标准体系、大力发展清洁能源及节能技术、未达标地区的新源审查制度、实施污染物排放交易、推行多项经济激励措施等。通过实施各种计划、标准、制度，辅以灵活的经济措施，美国的能源结构和工业结构逐步趋于清洁化。

美国现有的空气质量排放标准遵循“技术强制”原则，根据污染物类别的不同，新源和现源的不同，依据不同水平的生产工艺和污染控制技术制定了宽严程度不同的排放标准。新建源采用“最佳可行控制技术”(BACT)，对现有源采用“最佳可行改造技术”(BARCT)。BACT 是通过生产工艺和可行的方法及技术最大限度地减少每种污染物的排放量，其着眼于能源、环境及经济的综合影响，是基于最大可能减排量的一种排放限制手段。

冶金及铸造行业的主要污染物为颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 及 VOCs 等。美国 RBLC 数据库针对冶金、铸造行业的不同工艺

环节以及不同污染物类型分别给出了最佳可行以及合理可行的控制技术,行业涉及铸钢加工业、铸铁加工业、铁合金生产、铸造等,工艺环节包括电弧炉、感应电炉、钢包冶金、铸造及浇注、制芯、熔渣处理、干燥机、预热装置等炼钢车间操作等。多采用袋式除尘器、湿式电除尘器对颗粒物进行控制;采用过程控制及末端治理方式控制 SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>x</sub> 排放。

美国对钢铁企业气体污染物排放(针对颗粒物)标准非常详细。除了有国家的排放标准外,各州根据本地区钢铁企业生产及环保设备的情况,对每个企业的不同工序、不同排放点都制定了排放标准。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。表 1.1-2 列出了美国烧结机风机处颗粒物排放标准。

表 1.1-2 烧结机风机处颗粒物排放限制值

企业名称	州	控制方式	限制值
内陆钢铁公司	印第安纳州	布袋除尘器	16.02 mg/m <sup>3</sup>
美国钢铁公司	印第安纳州	布袋除尘器	22.88 mg/m <sup>3</sup>
杰尼瓦	犹它州	布袋除尘器	27.92 mg/m <sup>3</sup> 12.26 kg/h
WCI 钢公司	俄亥俄州	布袋除尘器	22.70 kg/h
LTV 钢公司	印第安纳州	湿式除尘器	45.77 mg/m <sup>3</sup>
伯利恒钢铁公司	印第安纳州	湿式除尘器	0.14 kg/吨
伯利恒钢铁公司	马里兰州	湿式除尘器	68.65 mg/m <sup>3</sup>
惠林-匹兹堡公司	弗吉尼亚州	湿式除尘器	68.65 mg/m <sup>3</sup>
AK 钢公司	俄亥俄州	湿式除尘器	22.70 kg/h

钢铁联合企业执行的有毒有害气体污染物排放标准(NESHAP)是基于最有效控制技术(MACT)制定的。其中针对烧结、球团工序的标准摘录见表 1.1.-3、1.1-4。



表 1.1.-3 烧结工序颗粒物标准限值

污染源	现有污染源	新污染源
烧结机风机	0.20216 kg/吨 烧结矿	0.15162 kg/吨 烧结矿
烧结机卸料端	45.8 mg/m <sup>3</sup>	22.9 mg/m <sup>3</sup>
烧结机冷却区	68.7 mg/m <sup>3</sup>	22.9 mg/m <sup>3</sup>

表 1.1.-4 球团工序颗粒物排放限值（单位：mg/m<sup>3</sup>）

污染源	现有污染源	新污染源
破碎	18.32	11.45
干燥	119.08	57.25
带式焙烧机（处理磁铁矿）	22.90	13.74
链算机回转窑（处理磁铁矿）	22.90	13.74
链算机回转窑（处理赤铁矿）	68.70	41.22
成品球团矿装卸	18.32	11.45

## 1.1.2 欧盟

### 1) 基本情况

欧盟仅有一种 BAT 定义，是指能实现对整体环境最有效高水平保护的，发展程度可以满足相关工业的要求，其成本及优越性符合经济、技术可行性条件，能够被合理获得但不一定已经在成员国内使用的技术，该技术包括设计、建设、维护、使用和拆除设备所使用的工艺和方法。

欧盟 BAT 除用于制定排污许可证基于技术的排放限值和制修订排放标准以外，还用于指导固定污染源实现源头、过程和末端控制及管理。

1996 年 9 月，欧盟委员会发布了污染综合防治指令（IPPC），提出建立最佳可用技术 BAT 体系。2014 年 1 月，欧盟正式实施工业排放指令（IED），强化了 BAT 在环境管

理和许可证管理中的作用和地位。

## 2) 体系概述

### (1) 按行业及综合分类

BAT 技术文件主要指 BAT 参考文件 (BREF)。目前欧盟已经形成 33 个行业的 BREF, 分为纵向和横向两种类型, 其中 28 个纵向 BREF 主要包括: 能源 2 个行业、冶金 5 个行业、采矿 4 个行业、化工 8 个行业、废弃物治理 2 个行业及其他 7 个行业; 另外还有 5 个横向 BREF, 主要包括: 贮存储藏、工业冷却、表面处理等。

### (2) 涵盖源头、过程、末端治理技术

BREF 详细描述了各类工业生产工艺存在的环境问题, 污染物产生环节、产生原因以及控制措施, 除给出一般技术控制措施外, 特别给出了在目前条件下不同工艺、不同控制技术下的 BAT, 并且给出通过应用这种技术可能达到的污染物排放量和资源消耗量水平。

### (3) 采用各国专家闭门磋商的机制制定及更新 BAT

BAT 制定主要由欧盟综合性污染防治控制局(EIPPCB)及技术工作小组(TWG)负责。TWG 为临时性任务编组, 由欧盟各成员国、行业和环境 NGO 的专家组成, 负责向 EIPPCB 提供相关信息, 同时针对 EIPPCB 整理的最佳可行技术参考文件(BRFF)进行审查, 提供修正意见。TWG 审查通过后, BREF 草案再由 EIPPCB 正式提供欧盟环境总理事会(DG)确

认。经 DG 确认后，就形成这个时期的最终的最佳可行技术参考文件(BREF)。

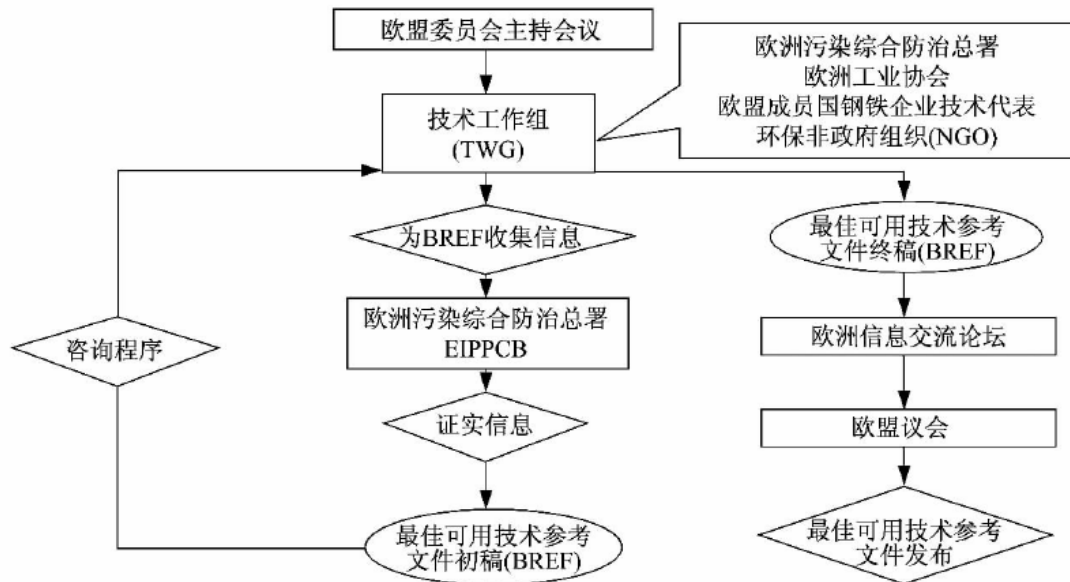


图 1 欧盟最佳可行技术参考文档(BREF)制作流程

### 3) BAT 特点

#### (1) 综合各环境要素

欧盟 BAT 体系是基于综合污染防治指令 (IPPC) 建立并实施的，涵盖了废气、废水、噪声、固体废物等各环境要素的污染防治技术要求。

#### (2) 涵盖污染防治全过程

欧盟 BAT 体系涉及源头、过程及末端污染防治的全过程，充分体现了清洁生产和循环经济的理念。

#### (3) 是欧盟各国的最低要求

依据 IED，欧盟各国应将 BAT 要求转成本国法律法规，确保达到欧盟 BAT 的排放要求。也就是说，BAT 的排

放要求是欧盟成员国需要满足的最低标准。以瑞典为例，其环境部依据欧盟 BREFs 制定了本国相关行业的技术手册，落实了欧盟 BAT 中的具体要求，并作为排污许可证的技术支撑文件实施。

#### (4) BAT 结论具有强制性

欧盟 BREFs 中的污染控制技术是推荐性的，即企业需要达到 BREFs 中要求的排放水平，可以采用其中推荐的技术，也可以采用其他技术。

#### 4) 与排污许可证的关系

IPPC 指令提供了一种全面控制工业污染排放的管理方法，对工业污染排放设施开始实施许可证管理，发放许可证必须满足最低排放限值要求，排放限值应基于 BAT 确定，并在工艺设计和排放控制方面推广使用 BAT。

#### 5) 欧盟的固定源污染控制

欧盟的固定源污染控制主要是实施污染预防与控制指令 (IPPC 指令)，建立协调一致的、一体化的工业污染防治系统。指令要求成员国建立并制订排放限值，推广基于最佳可行技术 (BAT) 的许可制度；欧盟依据 IPPC 制订了一些行业的最佳可行技术参考文件，要求企业优先达到文件规定的排放限值，以此作为发放排污许可证的依据，同时也要满足欧盟其他相关指令的最低要求；针对 VOCs 源，欧盟借鉴美国的经验，针对不同的 VOCs 污染源制定了通用污染控制指令和行业指令，明确

了 VOCs 的排放限值和控制技术。

冶金及铸造行业的主要污染物包括颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 以及 VOCs 等。欧盟针对冶金、铸造行业的不同工艺环节以及不同污染物类型分别给出了最佳可行控制技术。如在钢铁烧结工艺中，通过降低烧结料中的挥发性碳氢化合物含量、顶层烧结控制 VOCs 排放；在烧结混合料中添加含氮化合物，抑制二英形成；采用低含氮燃料、烟气再循环、低 NO<sub>x</sub> 燃烧器、SCR/SNCR 对 NO<sub>x</sub> 进行控制。铸造工艺中，对铸造和成型车间进行真空清洗、使用自动卷帘系统、严格控制工艺过程粉尘等方法对颗粒物排放进行预防，并采用旋风器、织物或袋式过滤器、湿式洗涤器对颗粒物进行去除。

欧盟钢铁行业最佳可行技术共分为 95 个部分，涵盖炼焦、烧结、球团、炼铁、炼钢等工序，包括 19 个总项和 76 个分项。其中，在 76 个分项中，涉及废气排放的有 40 个。其特点主要有以下几个：

#### (1) 新老生产设施差异化规定

以 BAT 结论发布时间为节点，将设备分为新设备、现有设备，针对同种 BAT，设定不同排放水平。以炼焦工序为例，对于焦炉加热 BAT 氮氧化物排放水平，新工厂或大修后的工厂（10 年以下），排放水平为小于 350 至 500 毫克/米<sup>3</sup>；而配备有维护良好的燃烧室和采用低氮氧化物技术的老工厂，排放水平为小于 500 至 650 毫克/米<sup>3</sup>。

## （2）最佳可行技术排放水平主要为日均值

欧盟钢铁行业 BAT 中的废气最佳可行技术排放水平限值测量时段以日均值为主，即 24 小时均值。但是，欧盟成员国在落实 BAT 要求时，可以制定更加严格的测量时段规定。以钢铁行业烧结机头烟气 BAT 为例，该排放水平为 24 小时均值，德国在实施该项要求时，将其修改为 30 分钟均值，从某种程度上加严了 BAT 要求。

## （3）颗粒物排放限值更加严格

钢铁行业 BAT 中关于颗粒物排放水平的要求较为严格。以德国为例，对于有组织排放，根据德国最佳可行技术要求，严格落实最佳可行技术结论的具体规定，电除尘器排放水平为 20 至 40 毫克/立方米，布袋除尘器排放水平为 1 至 15 毫克/立方米，严于我国 40 毫克/立方米的特别排放限值标准。为确保实际排放水平与最佳可行技术规定之间有足够安全空间，确保污染源长期稳定达标排放，德国钢铁企业通常维持除尘措施出口浓度在相应排放标准以下一定范围内。

## 6）欧盟的无组织污染控制

以德国为例，对车间和料场等无组织排放实行分类管理。对于车间无组织排放，严格控制炼钢车间密闭措施，尽量减少车间内的冶炼二次烟气外溢情况出现。对于料场无组织排放，在保证厂界外达到环境质量标准的前提下，未对钢铁企业提出料场全封闭等成本较高的措施要求。欧盟钢铁行业 BAT 要求，

通过直接测量、间接测量、排放系数等方法确定无组织排放大小。

## 1.2 国内钢铁行业大气污染防治最佳可行技术

### 1) 基本情况

我国 BAT 是针对生产、生活过程中产生的各种环境问题，为减少污染物排放，从整体上实现高水平环境保护所采用的与某一时期技术、经济发展水平和环境管理要求相适应、在公共基础设施和工业部门得到应用、适用于不同应用条件的一项或多项先进、可行的污染防治工艺和技术。

我国 BAT 主要作用是引导重点行业采用末端治理技术，并推动新技术的示范与推广。由于尚处于建立过程中，BAT 目前既没有服务于排污许可，也未与排放标准的制定挂钩（标准的制定仅参考了国内外主要污染防治技术）。

我国现行 BAT 体系起始于 2007 年，主要指“污染防治 BAT 指南”，与污染防治技术政策、环境工程技术规范共同构成了环境技术指导文件；环境技术指导文件、环境技术评价制度和环境技术示范推广机制共同构成了现行的环境技术管理体系。

### 2) 体系概述

我国 BAT 体系架构较为简单，即综合性行业指南。目前，我国已制定了钢铁、水泥、钢铁采选矿、铜冶炼、造纸等十几项重点行业 BAT 指南。

### 3) BAT 特点

#### (1) 综合管理

我国 BAT 体系采用与欧盟相同的综合管理思路，即涵盖废气、废水、噪声和固定废物等各种环境要素。

#### (2) 主要针对末端治理

我国 BAT 体系主要控制点是污染源的末端治理，即污染防治技术。

#### 4) 与排污许可证的关系

我国 BAT 体系与现有排污许可证基本没有关联，主要由于 BAT 体系定位不清及排污许可证制度不完善两方面原因。

2016 年以来，国家正在进行的排污许可制度改革，在钢铁、水泥火电、造纸等行业的排污许可证申请与核发技术规范中引入了污染防治可行，排污单位采用技术规范中所列污染防治可行技术的，原则上认为具备符合规定的防治污染设施或污染物处理能力。对于未采用技术规范中所列污染防治推荐可行技术的，排污单位应当在申请时提供相关证明材料。对不属于污染防治可行技术的污染治理技术，排污单位应当加强自我监测、台账记录，评估达标可行性。

总体来看，各行业的污染防治可行技术尚处于起步阶段，对其基本定位基本明晰，但整体架构、技术参数、运行管理要求等相对粗放，有待进一步细化完善。



## 1.2.1 生产过程控制可行技术

### 1.2.1.1 烧结和球团

#### (1) 铺底料烧结技术

铺底料烧结技术，是在烧结机上铺放厚度为 20~40mm、粒度为 10~20mm 的烧结矿作为铺底料，然后在底料上铺放生料进行烧结的技术。

铺底料烧结技术具有以下优点：避免高温的烧结带与篦条直接接触，可以保护设备，保持炉篦气流分布均匀，底料组成的过滤层，可防止细颗粒料从篦条缝隙抽走，减少烟气含尘量，减轻除尘设备的负荷，延长风机叶轮及壳体的寿命。

#### (2) 厚料层烧结技术

厚料层烧结技术是加高烧结机台车栏板，增加料层厚度进行烧结。厚料层烧结时，机速减慢，表层供热充足，烧结矿粉化率降低，减少了废气中的含尘量；由于厚料层的“自动蓄热作用”，燃料消耗降低，废气量相应减少。根据生产实践，料层每增加 10mm，燃料能耗可以降低 1~3Kg/t 烧结矿。通常，厚料层烧结布料厚度在 400mm 以上，以铁精矿为主的采用小球烧结法时，料层厚度等于或大于 580mm，以铁粉矿为主时，料层厚度等于或大于 650mm。

为保证厚料层烧结操作运行的稳定性和烧结矿的质量，可通过优化原料的结构、改进混合料粒度组成、强化混合制粒、提高混合料温度、使用偏析布料和松料装置、改善装料粒度分

布及密实度等方式提高料层透气性。

### (3) 余热利用技术

#### ① 烧结冷却机（或机头）废气循环技术

烧结冷却机（或机头）废气循环技术是将烧结冷却机（或机头）产生的热废气收集后回用于烧结工序的技术。废气循环技术主要有以下两种工艺：

热风烧结技术：将热废气通过连接管道送到烧结密闭罩内，废气携带的热量抽入到烧结料层，可干燥加热料层，起到热风烧结的作用。这种工艺的优点是：增加了上层烧结矿加热时间，降低燃料的用量，提高了烧结矿表层的强度，减少了成品矿的粉化率和废气中的含尘量，也减少了废气排放量。烧结冷却机高温段烟气温度一般为  $350^{\circ}\text{C}\sim 420^{\circ}\text{C}$ ，用于前段热风烧结，可降低  $10\%\sim 15\%$  固体燃料用量。

热风助燃技术：将冷却机废气除尘净化后，送至点火器空气管内，热废气所带入的热量提高了助燃气的温度，节约了点火燃料，也减少了废气的排放。热风助燃一般可节约点火燃料  $10\%$  以上。

烧结机头废气单独循环时，需混合一定量的空气或氧气，以保证热气体的含氧量，满足烧结燃料燃烧的所需氧量。

废气循环方法可分为整体循环和分段循环，整体循环是将废气量  $40\%\sim 45\%$  循环到整个烧结机，分段循环法是按照从高温向低温传热的原则，抽取高温段风箱的烟气循环到低温烧结

段。

废气循环技术在减少废气排放量和污染物的同时，缩减了烧结烟气脱硫装置的规模，减少了脱硫装置一次投资及运行成本。但是，废气循环系统提高了对运行管理水平的要求。

## ② 废气余热发电（蒸汽）技术

废气余热发电（蒸汽）技术是回收烧结冷却机（或机头高温段）热废气，经除尘处理后，通过余热锅炉回收废气中的热能，产生蒸汽或发电。产生的蒸汽可用于预热混合料或厂区供热，所发电能可并网输送或厂区自用。该技术可回收余热，降低烧结燃料消耗，也间接减少了污染物排放。

是否利用余热发电，需评估投入产出的合理性。烟气余热温度超过  $300^{\circ}\text{C}$  时，回收产生的蒸汽发电效益较好；低于  $280^{\circ}\text{C}$  时，则技术经济可行性较差。冷却机废热烟气在采用热风再循环后温度可达  $350^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，适用于余热发电。一般情况下，每吨烧结矿可产生蒸汽  $0.1\sim 0.15\text{t}$  ( $2.0\text{MPa}$ 、 $320^{\circ}\text{C}$ )，发电  $25\text{kwh}$ 。

## （4）低温烧结技术

低温烧结技术是控制烧结最高温度不超过  $1300^{\circ}\text{C}$ ，通常在  $1250^{\circ}\text{C}\sim 1280^{\circ}\text{C}$  范围内，通过采取一系列工艺措施（细化原料粒度和组成、低水低碳厚料层、高碱度等），生成强度高、还原性强的针状铁酸钙为黏结相，烧结矿中含有较高比例的还原性好的赤铁矿的烧结方法。与普通熔融型（烧结温度大于  $1300^{\circ}\text{C}$ ）烧结矿相比，具有强度高、还原性好、低温还原粉化

率低等优点。由于燃料的消耗减少，除尘负荷低，直接和间接降低了污染物的排放量。该技术对原（燃）料准备和操作条件要求较高，还需要总结更多大规模应用的经验。

#### （5）小球烧结技术

小球烧结技术是采用圆盘或圆筒造球设备，将混合料制成大于 3mm 占 75%以上的小球，然后在小球表面再滚上固体燃料（焦粉或煤粉），进行烧结的方法。小球粒度均匀，强度高，料层透气性较好，阻力小，可在较低的负压下实施厚料层烧结，能耗和成本都较低，可节约抽风电耗约 40%。料层中粉末少，烟气中含尘浓度低。

此方法采用了燃料分加技术。通常，小球外煤粉为主（70%~80%），小球内添加少量煤粉（20%~30%），抑制了矿粉包裹焦粉，造成焦粉不能充分燃烧的现象。燃料分布更加合理，改善了燃烧条件，减少了污染物的排放。

#### （6）偏析布料技术

烧结料层具有蓄热作用，下部温度高于上部温度，这会使下部烧结料发生过烧现象，既影响产品质量又浪费了燃料。偏析布料技术是通过采用格筛、电振给料、改进布料装置结构等技术，使需要较多热量的大颗粒进入下部料层，或采用多层布料方式，使固体燃料在料层上产生偏集（混合料中上层燃料高于下层燃料），使燃料能量得到充分的利用，从而降低燃料的消耗。

在混合制粒过程中，通过在一次混合、二次混合时分别添加焦粉（燃料分加），限制一次混合时焦粉为核心外滚矿粉的颗粒数量，加强二次混合时燃料附着在球粒表面的数量，通过燃料偏析的作用，改善燃烧条件，降低燃料消耗，减少污染排放。

#### （7）除尘灰集中回用技术

根据各种除尘灰量和成分，结合烧结其他原料的条件，对各种除尘灰进行配比混合，在一定水分的条件下将混合除尘灰造球，供给烧结二次混合机。

除尘灰集中回用技术可有效回收除尘灰中 useful 物质，减少固体废物处理处置费用。回用时，需合理控制回用到烧结二次混合机的除尘灰数量，避免烧结矿中碱金属、锌的含量偏高，造成高炉冶炼中出现结瘤现象。特别是烧结机头电除尘器末端电场的除尘灰、高炉的二次灰、电炉的除尘灰的回用，要控制 Zn、K、Na 的含量满足烧结矿要求，保证机头电除尘器的正常生产。

#### （8）原料场挡风抑尘技术

原料场的主要污染物是颗粒物。根据工艺设施布置和各种粉尘的特性，可采用多种方法组合抑尘，包括采用防尘网、机械抽风除尘、原料洒水、种植高低层次树木等措施，进行挡风抑尘。

当原料加湿后不影响原料的理化特性时，应优先采用以调

节原料含水量为主的抑尘措施。如卸料点洒水和原料输送过程中加湿的组合加湿方法，控制原料含水率 6~10%，保持原料的最佳湿度，抑制扬尘。

有条件的企业可建设全封闭式料仓。

### （9）调整操作工艺减少污染排放的技术

从源头控制污染物是一种经济有效的技术措施，应尽可能降低原（燃）料和熔剂中硫、氟、砷、碱金属等的含量。

首先，应采用优质矿石和低硫煤。其次，通过洗涤或分选的方式，减少烧结原（燃）料带入的含氯、含油污等前驱体化合物。再之，由于铜对二噁英的生成具有强催化作用，应优先使用含铜量低的铁矿石原料，降低二噁英排放。需要注意，含氯废水不宜用于冲洗轧钢氧化铁皮，不宜采用  $\text{CaCl}_2$  喷洒料场抑尘。

## 1.2.1.2 焦化

### （1）储配煤工序污染预防技术

#### ①大型筒仓贮煤技术

大型筒仓贮煤技术是以大型筒仓封闭贮存煤炭的方式控制煤堆扬尘，筒仓内设有喷水装置，洒水抑尘并防止煤自燃。

该技术可消除露天贮存煤堆风扬尘，减少装卸作业扬尘。

该技术适用于焦化工艺储煤工序。

#### ②风动选择粉碎技术

风动选择粉碎技术是用沸腾床风选器对炼焦用煤进行气

力分级预处理，从流化床上层分离出成品煤直接装炉；从下层分离出密度大、颗粒大的煤经粉碎后装炉。

该技术可提高焦炉弱粘结性煤的用量和装炉煤堆比重，相同产量下可减少炼焦炉数和废气排放量。

该技术适用于焦煤资源不丰富地区的焦化工艺配煤工序。

### ③入炉煤调湿技术（CMC）

入炉煤调湿技术是通过加热干燥，将入炉煤料水分控制在适宜水平。目前主要有导热油煤调湿工艺、烟道气煤调湿工艺、蒸汽煤调湿工艺。

该技术可分别减少剩余氨水、蒸氨用蒸汽及焦炉加热用煤气量约 30%；但调湿后的煤在输送、装煤过程中的扬尘量增大，需采取加大除尘系统风量、进行密闭等措施。

该技术适用于焦化工艺配煤工序。

### ④气流分级分离调湿技术

气流分级分离调湿技术是集风选破碎和煤调湿于一体的技术。

该技术可增加焦炉弱粘结性煤用量，减少煤料水分，提高装炉煤堆比重，减少废气和废水排放。

该技术适用于焦煤资源不丰富地区的焦化工艺配煤工序。

### ⑤配型煤炼焦技术

配型煤炼焦技术是将部分煤在装焦炉前配入粘结剂压成型块，然后与散状煤按比例混合后装炉。

该技术在不降低焦炭强度的情况下，通过多配低灰、低硫弱粘煤的方式降低焦炭的灰分和硫分，减少二氧化硫和粉尘的排放。

该技术适用于焦煤资源不丰富地区的焦化工艺配煤工序。

## （2）炼焦工序污染预防技术

### ①大型焦炉炼焦技术

大型焦炉炼焦技术是利用炭化室高度 6m 及以上、容积 38.5m<sup>3</sup> 及以上顶装焦炉的炼焦技术。

该技术可单独调节加热温度和升温速度，使整个焦饼温度更趋均匀，保证焦炭质量，装煤密度提高约 10%。由于炭化室容积大，炉孔数减少，排放源减少，污染物泄漏和排放量也相应减少；同时高质量冶金焦配合大高炉炼铁可减少工序能耗，并满足高质量铁水生产的要求。

该技术适用于焦化工艺炼焦工序。

### ②捣固炼焦技术

捣固炼焦技术是在装煤推焦车的煤箱内用捣固机将已配好的煤捣实后，从焦炉机侧推入炭化室内进行高温干馏的炼焦技术。目前多采用多锤连续捣固技术。

采用该技术，可配入较多的高挥发分煤及弱粘结性煤，煤饼的堆积密度提高；相同生产规模下，可减少炭化室孔数或容积，减少出焦次数，改善操作环境，减少废气无组织排放。

该技术适用于焦煤资源不丰富地区的焦化工艺炼焦工序。



### (3) 熄焦工序污染预防技术

#### ① 干法熄焦技术

干法熄焦技术是利用惰性气体将焦炭冷却，并回收焦炭显热。

该技术可节约用水，减少湿法熄焦过程中排放的含酚、氢氰酸、硫化氢、氨气的废气和废水；可回收约 80% 的红焦显热生产蒸汽，间接减少燃煤废气排放。

该技术适用于焦化工艺原有湿熄焦改造和新建焦炉配套熄焦。

#### ② 低水分熄焦技术

低水分熄焦技术是在专门设计的熄焦车内通过喷嘴、凹槽或孔口喷水，水流迅速通过焦炭层将焦炭冷却。残余的水通过底板快速流出熄焦车，在熄焦系统内循环使用。

该技术配套用于高炭化室焦炉熄焦，可一次处理单炭化室产出的全部焦炭；与常规湿法熄焦技术相比，可减少 20%~40% 耗水量，但投资略高；与干熄焦技术相比，投资低，但会产生废气和废水。

该技术适用于焦化工艺原有的熄焦塔改造，并作为干熄焦备用熄焦技术。

#### ③ 常规湿法熄焦技术

常规湿法熄焦技术是直接通过熄焦塔顶喷洒水将焦炭冷却，熄焦废水在系统内循环使用。

该技术工艺简单、投资省、占地小，但耗水量大，红焦显热没有利用，不利于节能，目前国内钢铁生产企业新建和技改焦炉仅将其用作备用熄焦技术。

#### (4) 煤气净化工序污染预防技术

##### ① 真空碳酸盐法焦炉煤气脱硫脱氰技术

真空碳酸盐法焦炉煤气脱硫脱氰技术是以碳酸钠或碳酸钾溶液为碱源，脱除煤气中的氢氰酸、硫化氢，然后将反应后的溶液送到再生塔内解析出氢氰酸、硫化氢等酸性气体。碳酸盐溶液循环利用，酸性气体可生产硫磺或硫酸产品。

该技术脱硫脱氰效果较好，工艺流程简单，投资较低，硫产品质量好，产生废液少；但由于脱硫装置位于煤气净化末端，煤气净化系统前段设备和管道要耐腐蚀。

该技术适用于焦化工艺大型焦炉煤气净化工序。

##### ② 萨尔费班法焦炉煤气脱硫脱氰技术

萨尔费班法焦炉煤气脱硫脱氰技术是以单乙醇胺水溶液为碱源脱除煤气中的氢氰酸和硫化氢。

该技术脱硫脱氰效率较高，不需要催化剂，脱硫液不需氧化再生，无副产物；但单乙醇胺价格高、消耗量大，工艺控制复杂，脱硫成本比较高。

该技术适用于焦化工艺大型焦炉煤气净化工序。

##### ③ HPF 法焦炉煤气脱硫脱氰技术

HPF 法焦炉煤气脱硫脱氰技术是以煤气中的氨为碱源，

以 HPF（对苯二酚、酞菁化合物及硫酸亚铁）为复合催化剂脱除煤气中的氢氰酸和硫化氢的湿式液相催化氧化脱硫脱氰技术。

该技术脱硫脱氰效率高，投资和运行费用低；但处理煤气量较小，硫磺产品质量低，熔硫操作环境差，产生脱硫废液且处理难度大。

该技术适用于焦化工序煤气净化工序，大型焦炉需多套设备并联使用。

### 1.2.1.3 炼钢

#### （1）烟气余热回收技术

烟气余热回收技术是转炉一次高温烟气或电炉烟气进入除尘系统前，通过汽化冷却烟道或余热锅炉回收余热并产生蒸汽。

该技术可回收余热，间接减少污染物排放。

该技术适用于炼钢工艺转炉一次烟气和电炉烟气的余热回收。

#### （2）蓄热式钢包烘烤技术

蓄热式钢包烘烤技术是利用高温烟气在蓄热体内预热助燃空气和煤气，并进行封闭式钢包烘烤。

该技术可提高煤气利用率，提高钢包温度，缩短烘烤时间，降低能耗，间接减少污染物排放。

该技术适用于炼钢工艺钢水保温烘烤和用耐火材料修补

后的钢包烘烤。

### (3) 连铸坯热送热装技术

连铸坯热送热装技术是直接 把热铸坯送至轧机轧制或送加热炉加热后轧制。

该技术可节约能源,缩短生产周期,间接减少污染物排放。

该技术适用于连铸工序与轧钢工艺布局衔接紧密的钢铁生产企业。

### (4) 废钢分拣预处理技术

通过对废钢进行分选,最大限度地减少含油脂、油漆、涂料、塑料等含氯有机物和放射性物质废钢的入炉量,并对分选出的含有机物的废钢进行除油、焚烧或热解等加工处理,从源头减少电炉工序二噁英的生成量。

该技术适用于电炉炼钢工艺废钢预处理工序。

## 1.2.1.4 轧钢

### (1) 加热炉/热处理炉污染减排技术

加热炉/热处理炉污染减排技术是在钢坯加热及热处理过程中,为节省燃料和减少污染物排放采用的一类技术,包括蓄热式燃烧技术、富氧燃烧技术、低氮氧化物燃烧技术和燃用低硫燃料等。各种技术的原理及特点见表 1-2。

该类技术适用于轧钢工艺各类加热炉及热处理炉(含退火炉、淬火炉、回火炉、正火炉和常化炉等)。

表 1-2 各种加热炉/热处理炉污染物减排技术原理及特点

技术名称	技术原理及特点
蓄热式燃烧技术	以高风温燃烧技术为核心，利用烟气或废气的余热预热助燃空气，可间接减少污染物排放。
富氧燃烧技术	以含氧浓度高于 21% 的富氧气体替代空气参与燃烧，加快燃烧速度、减少废气排放。
低氮氧化物燃烧技术	采用低氮燃烧器、空气或燃料分级燃烧等方式，减少 NO <sub>x</sub> 的产生与排放。
燃用低硫燃料	燃用含硫率低的燃料，减少 SO <sub>2</sub> 产生与排放。

### (2) 浅槽紊流酸洗技术

浅槽紊流酸洗技术是在浅槽酸洗的基础上，在槽内形成良好的紊流流态，强化酸洗效果。

该技术加强了酸洗中的紊流、热导率和物质传动，可缩短反应时间，减少酸雾的排放。

该技术适用于各类冷轧产品的酸洗处理。

### (3) 低铬/无铬钝化技术

低铬/无铬钝化技术是以低浓度铬酸盐或钛盐、硅酸盐、钼盐等替代传统的高浓度铬酸盐进行钝化。

该技术可减轻或避免六价铬对环境的污染。

无铬钝化技术钝化后膜层的耐蚀性已接近甚至在某些方面超过铬酸盐钝化，但成本相对较高。

### (4) 水基涂镀技术

水基涂镀技术是以水基涂料替代常规有机溶剂进行钢材表面的涂镀处理。

该技术可减少有毒有害气体排放，适用于对表面涂层要求

不高的冷轧板带的彩涂处理。

## 1.2.2 污染物治理可行技术

### 1.2.2.1 烧结和球团

#### (1) 颗粒物治理技术

##### ① 电除尘技术

电除尘（静电除尘）技术是在电极上施加高电压后使气体电离，形成电子和离子，进入电场空间的烟尘与电子和离子相碰撞后荷电，在电场力的作用下向相反电极性的极板移动，并沉集在极板上的方法。然后，通过振打等方式将沉积在极板上的灰尘清除落入灰斗，使含尘气体与粉尘在电场中实现分离。

电除尘技术目前已较成熟，是净化颗粒物广泛应用的高效除尘技术之一。电除尘器对烟气温度波动适应性较强，可以用于烧结工艺各工序的除尘。电除尘器内通常采用碳钢材料，尤其适用于温度较高（ $100^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ ）、烟气量波动的烧结机头烟气除尘。电除尘器运行维护量较小，但对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

电除尘器除尘效率能达到 99.9% 以上。如果合理配置，电除尘器排放粉尘浓度可小于  $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。通过增加电场数量、降低电场风速、增加比集尘面积、优化供电电源、增加辅助清灰等措施，电除尘器的排放浓度可以进一步降低。

烧结机头烟气中粉尘比电阻较高，通常在  $10^{12}\sim 10^{13}\ \Omega\cdot\text{cm}$  之间，这将导致电除尘器电极上形成绝缘层，出现反

电晕现象，降低电除尘器效率。采用 400~500mm 宽极距电除尘技术，可提高电场电压，有效控制高比电阻的反电晕现象。

## ②袋式除尘技术

袋式除尘技术是利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行过滤分离。当含尘气体进入袋式除尘器后，粒径大、比重大的粉尘在重力作用下沉降，落入灰斗；携带烟尘的气体通过滤料时，细小粉尘被阻留在滤料上，气体通过滤料，从而尘气分离，使含尘气体得到净化。

袋式除尘器属高效除尘设备，广泛应用于粉尘的净化过程。袋式除尘器对粉尘比电阻变化适应性强，适用于温度和水分不高且波动不大的原料系统、烧结机尾、整粒和成品系统尘源点烟气的净化。但是，袋式除尘器不适用于温度高、湿度大、含有腐蚀性气体的烧结机头烟气。粉尘和烟气成分不同时，袋式除尘器可能需要采用不同的滤料。滤袋破损时需要更换，运行维护工作量较大，对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

袋式除尘器的除尘效率可以达到 99.9%以上，烟气排放粉尘可控制在  $30\text{mg}/\text{m}^3$  以内，甚至可达  $10\text{mg}/\text{m}^3$  以下。

袋式除尘器的清灰方式主要有脉冲清灰、反吹风清灰、机械振打清灰方式。脉冲清灰方式具有清灰效果好、净化率高、长期运行稳定等优点。脉冲清灰对控制系统和维护管理水平的要求较高。

## ③电袋复合除尘技术

电袋复合式除尘技术是将静电除尘和袋式除尘有机结合的组合型除尘技术。常见的电袋复合式除尘器有两种结构。一种结构是除尘器前端设置电场，后端设置袋式除尘装置。前端电场的预除尘作用和荷电作用可减少后级袋式除尘器的过滤负荷，可预收烟气中 70%~80%以上的粉尘量，同时由于前端的预荷电作用滤料上粉尘层变得疏松，细微粉尘凝聚成较大颗粒，可减少后端袋除尘器运行阻力，提高滤袋的清灰效果。另一种结构是电除尘器的电极与袋式除尘器的滤袋混合交叉布置，使电场荷电与滤袋收尘有机结合，强化荷电与过滤的结合，改善了布袋的运行条件，提高组合型除尘器的性能。前电后袋结构已在电力行业应用，电袋混合结构也已进行了小型工业示范。

电袋复合式除尘器适应性较强，净化效率高，烟气排放粉尘可控制在  $30\text{mg}/\text{m}^3$  以内，但对制造、安装、运行及维护都有较高要求。考虑到电场作用，电袋复合式除尘器应选择抗氧化、抗腐蚀性能强的滤料。

电袋复合式除尘技术适用于新建及原有除尘系统技术改造（除机头以外），对电除尘器升级改造具有优势。改造时可利用原电除尘器和壳体结构，降低钢材消耗，缩短施工周期，改造成本相对较低，不占用新的厂区面积。

#### ④ 尘源密闭技术

尘源密闭是粉尘控制的基本措施。尘源密闭技术是采用密



闭罩的方式将含尘气体捕集收集在密闭罩的容积内，之后通过管道和风机将含尘气体送到除尘器进行净化。设计合理的尘源密闭罩能够有效抑制尘源点粉尘的弥漫扩散，可以将需处理含尘气体量控制在最小规模，降低净化系统的规模。密闭罩有局部密闭罩、整体密闭罩和大容积密闭罩等形式。

**局部密闭罩：**是将生产设备的产尘点局部地密闭起来，生产设备的其他部分留露在密闭罩外。局部密闭罩的特点是容积较小，适用于尘源扩散速度较慢、尘源集中、产尘时间连续、波动较小的情况，例如皮带输送机的落料点等场合。

**双层密闭罩**是针对皮带受料点尘源控制广泛应用的一种局部密闭罩。双层密闭罩设有两层罩体，物料溜槽与内层罩体连接，物料从溜槽下落后，内层罩体首先对物料和含尘气体阻挡、泄能和围栏，减小含尘气体外溢压力，再通过外层罩体上的抽风口将含尘气体送到除尘器。这种结构能的特点是尘源控制效果好，抽风量小，大幅度减少抽吸大颗粒粉尘的现象。

**整体密闭罩：**是将产尘设备的大部分密闭起来，只把产尘设备的传动部分留在罩外。整体密闭罩适用于机械振动大、不易局部密封、含尘气流扩散速度较大和产尘面大的尘源，如振动筛等。

**大容积密闭罩：**是将产尘设备或局部生产区域全部密闭起来，其特点是罩内容积大，可缓冲较大的含尘气流，减少局部正压，可通过罩体上设置的观察孔来监视生产设备的运行。生

产设备的维修可在罩内进行。大容积密闭罩适用于尘源面积大而多、含尘气流速度大以及设备检修频繁的情况。

密闭罩的选择要根据工艺操作条件、设备的维修以及车间的布置等条件来确定。一般应优先考虑采用局部密闭罩，因为此罩型的排风量小、材料消耗少，是最经济的尘源密闭形式。

### ⑤卸输灰密闭技术

除尘器收集的灰尘颗粒细、比重轻，在卸灰、运输、存储过程中，易产生二次扬尘。需要采取卸输灰密闭技术加以控制。卸输灰密闭技术主要包括以下几种。

加水搅拌润湿技术：在卸灰时，通过向螺旋卸灰搅拌机中添加水，润湿粉尘，从而控制粉尘卸灰时的扬尘。这种技术设备简单，操作方便，投资小，适用于灰量不大的除尘器卸输灰点。

密闭罐车吸引压送技术：采用配备有真空吸引泵的密闭罐车，罐车通过管道直接与除尘系统灰仓连接，利用真空泵的抽力，将粉尘从灰仓卸输到密闭罐车，形成卸灰过程的全密封。此方法操作简单，密封性好，能够有效控制卸灰过程粉尘的外溢，是值得广泛推广的技术之一，但投资相对较大。

移动卸灰技术：采用可上下位移的卸灰螺旋，根据受灰汽车位置的高低控制卸灰点高度，将灰尘卸落到汽车的落差控制到最小程度，从而减少卸灰产生的扬尘。此方法投资少，设备简单，抑尘效果显著。

气力输送技术:借助空气或气体在管道内的流动将从灰斗内排出的灰输送至灰仓的方法。卸灰装置将灰斗内的灰卸出后,压缩空气将其吹入输灰管道,气固混合的“灰流”在风机动力的推动下流动到接受灰仓,实现粉尘的卸灰输送。该方法系统整体密闭,能够有效控制卸输灰过程粉尘的外溢,但动力消耗较大,适用于较短的输送距离。

## (2) 二氧化硫治理技术

### ① 湿法脱硫技术

湿法脱硫技术主要有石灰石/石灰-石膏法、氧化镁法、氨-硫铵法、双碱法等。上述几种方法在我国钢铁行业烧结工艺都有应用实例。

石灰石/石灰-石膏脱硫技术:利用石灰石或消石灰的乳浊液作为吸收剂吸收烟气中的二氧化硫。脱硫剂也可采用同类性质碱性较强的废弃物,如石灰车间产生的浆饼和电石渣等。石灰石/石灰-石膏法脱硫副产物是石膏,可用作建材石膏或水泥添加剂等建筑辅料。

石灰石/石灰-石膏法是目前应用最为广泛的脱硫技术,该技术成熟,工艺稳定,脱硫效率高,脱硫剂来源广泛、价格便宜。燃煤电厂锅炉烟气脱硫普遍采用此技术。

氧化镁脱硫技术:利用氧化镁或氢氧化镁作为脱硫剂吸收烟气中的二氧化硫。氧化镁脱硫副产物为亚硫酸镁和硫酸镁,因硫酸镁的溶解度较大,不宜产生系统堵塞和结垢现象,主要

用于氧化镁或氢氧化镁来源充足的地区。副产物的处置方式有两种：第一种是抛弃法，多用于采用氢氧化镁作为脱硫剂的脱硫工艺，将产生的硫酸镁废液去除固体物质后直接外排；第二种是回收法，多用于采用氧化镁作为脱硫剂的脱硫工艺，将含有亚硫酸镁和硫酸镁的固体，经焙烧炉中高温加热，再生出的氧化镁回收使用，同时副产高浓度  $\text{SO}_2$  气体，生产硫酸。由于投资成本较高，回收法应用实例较少。

氨-硫铵脱硫技术：利用氨水作为脱硫剂吸收烟气中的二氧化硫，脱硫副产物为硫酸铵。该工艺在我国烧结厂应用较早，技术成熟，工艺稳定。氨水可来自钢铁联合企业的焦化厂或化工厂。副产品硫酸铵的使用途径主要是用作复合化肥，当使用脱硫副产物硫酸铵作为肥料时，其成分需满足国家对使用处（土壤、水域、其它用途）的相关要求，并考虑长期使用后环境的累积效应。采用焦化氨源时，选择合适的氨源获取点，对废氨水进行处理，使氨水品质达到要求后使用。

双碱法：以氢氧化钠或碳酸钠为吸收剂吸收烟气中的二氧化硫，形成亚硫酸钠溶液，用石灰石或石灰与亚硫酸钠溶液进行置换反应，生成硫酸钙产品，再生后的氢氧化钠吸收溶液送回吸收塔循环使用。该工艺吸收液为氢氧化钠，吸收剂的再生和脱硫渣的沉淀在吸收塔外，吸收塔系统不易产生堵塞和结垢现象，可采用高效的填料塔或板式塔，从而减小了吸收塔的尺寸和液气比，脱硫效率一般可达 90% 以上。双碱法工艺环节

较多，运行过程中氢氧化钠有一定的损耗，需要不断补充，适用于烟气量不大的场合。

湿法脱硫的吸收塔型式很多，有喷淋塔、筛板塔、液柱塔、鼓泡塔、旋流板塔、文丘里反应器等，应用最广泛最成熟的技术是喷淋式空塔。

湿法脱硫技术成熟可靠，脱硫效率高，效率可达到90%~95%，脱硫副产物易于处理和利用，脱硫剂廉价易得，还可采用某些碱性废物、废钢渣或焦化废氨水作为脱硫剂，达到以废治废的目的。但是，湿法脱硫技术一次性投资大、运行成本高，有废水产生，废水须处理达标后才能排放，脱硫系统存在磨损、堵塞、腐蚀、泄漏等问题。脱硫后排烟温度较低，宜采用加热措施，提高烟气温度，以利于烟气扩散排放。

湿法脱硫工艺更适合于大型烧结机、大烟气量、含硫浓度高的烟气进行脱硫治理。

## ②干（半干）法脱硫技术

干（半干）法脱硫技术包括循环流化床法（CFB）、喷雾干燥法（SDA）、密相干塔法、新型脱硫除尘一体化技术（NID）、MEROS 法、活性炭法（AC）等脱硫工艺技术。上述几种方法在我国钢铁行业烧结工艺都有应用实例。

循环流化床脱硫技术：烧结烟气和脱硫剂消石灰从吸收塔底部进入，同时进行喷水降温，高速气流携带脱硫剂颗粒进入塔内，烟气与脱硫剂颗粒充分接触，进行脱硫反应，除去烟气

中的二氧化硫气体。反应生成的亚硫酸钙、硫酸钙等颗粒物通过除尘器收集后，部分返回到吸收塔循环，充分利用未完全反应的脱硫剂。影响脱硫效率的因素主要包括钙硫比、喷水量、反应温度、停留时间等。

**喷雾干燥法脱硫技术：**一般使用生石灰作为吸收剂，生石灰经过消化后制成熟石灰浆液。熟石灰浆液通过泵输送至吸收塔顶部的雾化器，雾化器有旋转喷雾和双流体喷嘴雾化。在旋转喷雾雾化轮接近 10000rpm 的高速旋转作用下，浆液被雾化成 30~80  $\mu\text{m}$  的雾滴，双流体喷嘴雾化粒径粒径 70~200  $\mu\text{m}$ ，热烟气进入吸收塔后，立即与呈强碱性的吸收剂雾滴接触，烟气中的酸性成份（HCl、HF、SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>）被吸收中和，同时雾滴的水分被蒸发，反应生成的亚硫酸钙、硫酸钙等颗粒物通过除尘器收集后，部分返回到吸收塔循环，以充分利用未完全反应的脱硫剂。该工艺特点是脱硫剂为雾滴状，为二氧化硫的吸收反应提供了良好的条件。在干（半干）法脱硫技术中，喷雾干燥法的脱硫效率较高。

**密相干塔法脱硫技术：**将干态熟石灰以及大量循环灰一起进入加湿器内进行加湿均化，使混合灰的水分含量保持在 3%~5%之间，均化后的混合灰由密相干塔上部的布料器进入塔内，与塔上部进入的烟气发生反应，塔中设有搅拌器，脱硫剂颗粒在搅拌器的机械力作用下，不断裸露出新表面，使脱硫反应不断进行，最终脱硫产物由灰仓排出循环系统，送入废料

仓。该工艺特点是脱硫剂在整个脱硫过程中都处于干燥状态，耗水量低，操作温度高于露点，没有冷凝现象。

新型脱硫除尘一体化技术：利用生石灰或消石灰与后续除尘器收集下来有一定碱性的粉尘混合增湿后作为脱硫剂，将除尘器前端烟道作为脱硫反应器，烟气在反应器内与高浓度脱硫剂颗粒碰撞反应脱除二氧化硫，脱硫灰部分循环使用。新型脱硫除尘一体化技术工艺特点是吸收剂的低湿度和高比例循环，在吸收剂的大比表面积和低湿度作用下，水份蒸发时间很短，使得反应器容积减小，脱硫反应器与除尘器组合为一体，占地小，但物料循环利用率需在 30~50 次以上，以保证脱硫效率。

MEROS 法脱硫技术：以小苏打（ $\text{NaHCO}_3$ ）为脱硫剂，褐煤或活性炭为吸附剂，在烟道上适当位置喷射干态脱硫剂和吸附剂，由于小苏打活性较高，喷入烟道后，在无需对烟气进行增湿降温的条件下，就能快速与二氧化硫等酸性气体进行反应，脱硫副产品为粉状硫酸钠副产品，由袋式除尘器收集，脱硫灰部分返回到袋式除尘器前的废气中循环继续反应，提高脱硫剂的利用率。褐煤或活性炭吸附剂能够有效吸附烟气中的二噁英和重金属。工艺中设置有气体调节装置，通过喷射水雾对烟气降温增湿，改善脱硫条件及防止高温烟气对后续收尘袋式除尘器的损坏。

由于小苏打价格相对较高，也可以采用熟石灰作为脱硫剂。通常，利用小苏打作为脱硫剂时脱硫效率可达到 90%，利用熟

石灰作为脱硫剂时脱硫效率约为 80%。

干（半干）技术工艺简单，无废水产生，占地少，总图布置容易实施，有利于旧厂改造工程。一次投资较湿法工艺低。系统在高于酸露点温度下运行，系统无须防腐蚀或防腐要求不高。能有效脱除三氧化硫、氟和氯等酸性物质，若在系统中添加活性炭吸附剂能进一步脱除二噁英、汞等有害物质。干（半干）法脱硫工艺的脱硫效率略低于湿法工艺，脱硫副产物的使用价值不高，尚需进一步的研究开发。相对于湿法工艺，钙硫比（Ca/S）较高，脱硫剂的利用率相对较低，操作运行的稳定性还有待优化和改善。

干（半干）法脱硫技术宜用于中低浓度二氧化硫烟气的脱硫场合。

### （3）氮氧化物及二噁英治理技术

①活性炭吸附法同时脱硫脱硝脱二噁英技术活性炭具有较大的比表面积和良好的微孔结构，能够同时吸附净化二氧化硫、氮氧化物、二噁英和重金属等污染物。活性炭吸附床层可设计为移动式 and 固定式，烟气流过活性炭床层时，烟气中的二氧化硫吸附在活性炭的表面上，当烟气中加入氨气后，一部分氨与硫酸反应生成硫酸铵。在活性炭的催化剂作用下，另一部分氨与氮氧化物反应生成氮气和水。吸附了硫化物的活性炭，在高温下解析出高浓度二氧化硫气体，用于制备硫酸，解析后的活性炭可重复利用。活性炭在脱除二氧化硫、氮氧化物的同



时，还能吸附脱除烟气中的二噁英和重金属。

活性炭吸附法技术的脱硫效率可达 95%，脱硝率可达到 40%左右，二噁英排放浓度可控制在 0.1~0.3ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>，适用于多组分污染物同时治理和高浓度二氧化硫的回收。但是，该技术工艺较复杂，投资运行费用较高，吸附二噁英的活性炭需进行无害化处理。

### ②脉冲电晕等离子脱硫脱硝技术

脉冲电晕脱硫脱硝技术是通过外加电源，产生脉冲电晕放电，形成非平衡等离子体，利用高能电子使烟气中的 N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 和水蒸气激活、电离甚至裂解，产生强氧化性自由基和各种激发态原子、电子等活性物质，这些活性物质与烟气中的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 氧化成 SO<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub>，经与烟气中的水蒸汽反应生成硫酸和硝酸雾，这些酸雾与添加的氨反应生成硫酸铵和硝酸铵颗粒，由除尘器捕集，收集的副产品可作为复合肥料。这种工艺过程简单，启动停车方便，对系统负荷的变化有较好适应性，能够在单一的过程中同时脱除 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub>，具有突出的优点。该技术已进行了较大规模的工业试验，脱硫效率 80%，脱硝效率 60%~70%。该技术系统能耗较高，还没有大量工业应用的案例，机理研究还有待进一步深入。

### ③选择性催化还原脱硝（分解二噁英）技术（SCR）

电厂应用最为普遍的脱硝方法是选择性催化还原法（SCR）。该方法是在有催化剂存在的条件下，在 300℃~400℃

烟温处喷入还原剂氨，将烟气中的  $\text{NO}_x$  还原为水和氮气的脱硝方法。催化剂大多以  $\text{TiO}_2$  为载体，以  $\text{V}_2\text{O}_5$  为活性成分， $\text{WO}_3$  和  $\text{MoO}_3$  等金属氧化物为改善耐温和抗中毒成分，还原剂通常采用液氨、尿素和氨水。催化剂通常被制成蜂窝状、波纹或平板状，防止堵塞，增加接触面积，降低阻力和提高机械强度。该技术应用广泛，工艺成熟，脱硝效率可达到 85% 以上。

由于烧结烟气温度通常在  $100^\circ\text{C}\sim 180^\circ\text{C}$ ，采用上述高温方式的催化剂时，需要首先对烟气进行加热，然后再进行脱硝。针对烧结烟气脱硝的低温催化剂正在研究开发中，低温催化脱硝时，脱硝催化反应器可放在电除尘后，延长脱硝催化剂寿命，降低运行成本。

选择性催化还原法还可应用于二噁英的去除。一种方法是在 SCR 脱硝过程中，添加特殊催化剂（多数由 Ti, V, W 的氧化物组成），在还原  $\text{NO}_x$  的同时催化分解多环芳烃、二噁英等有机物。另一种方法是“表面过滤”与“催化分解”相结合的催化过滤技术，在滤料中添加催化剂成分或在滤袋中充填催化剂，设计成袋式除尘器的结构，含有二噁英的气体通过时，二噁英被分解成  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{HCl}$ 。催化过滤法对气态二噁英都有较高的去除效率，排放浓度可低于  $0.1\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 。

催化脱除技术的特点是二噁英物质被彻底分解，无需考虑后续的无害化处理。

#### （4）烧结工艺污染防治新技术

### ①有机胺法脱硫技术

有机胺法脱硫技术是采用醇胺溶液作为二氧化硫吸收剂，通过吸收和解吸过程来完成脱硫。乙醇胺类的水溶液作主要吸收剂，在吸收塔内胺液与烟气逆流接触，吸收二氧化硫，吸收了二氧化硫的富胺液送入解吸塔被加热解吸，解吸出的高浓度二氧化硫用于制作硫酸，解吸后的贫胺液返回系统重复使用。有机醇胺溶液对二氧化硫有良好的吸收和解吸能力，适用于高浓度二氧化硫的脱除，可回收二氧化硫生产硫酸。该方法解吸能耗较高、投资大。

### ②活性炭喷射加袋式除尘器脱除二噁英技术

该技术是利用活性炭吸附性能和袋式除尘器的高效收集功能，共同组合达到脱除烟气中二噁英的技术。在干（半干）法脱硫系统中，在烟道适当位置喷射活性炭粉，利用活性炭的微孔结构吸附二噁英，同时微细颗粒的脱硫灰对二噁英也具有一定的吸附作用，通过袋式除尘器收集活性炭和脱硫灰。该工艺简单方便，脱除二噁英效果显著。实验表明：二噁英去除率大于 90%，排放浓度可控制在  $0.1\sim 0.3\text{ng-TEQ/m}^3$  范围。该工艺对重金属去除率大于 95%。由于脱硫灰中粘附有二噁英物质，需要进行无害化处理处置。

### ③移动电极技术

烧结机头多采用电除尘器，但是由于粉尘比电阻较高，沉积在极板上形成较薄的粉尘层，易产生反电晕现象。移动电极

除尘技术是阳极板采用旋转移动方式，清灰装置设置在移动电极的下部，采用旋转清灰刷清除极板上的粉尘，清灰效果比振打方式好，清除的粉尘直接落到灰斗内，可有效控制气流携带粉尘的逃逸现象。移动电极电场通常设置在末端电场，以发挥最好的作用。

#### 1.2.2.2 焦化

##### (1) 挡风抑尘网技术

###### ① 污染物削减和排放

露天料场使用多孔板波纹式组合防风网墙，风速大于4m/s时，可使料场内风速降低60%以上，在周边300~3000m范围内抑制粉尘达85%以上，减少了物料损失和粉尘排放。

###### ② 技术经济适用性

以年储运200万t煤计算，每年可减少煤尘逸散1000t以上，减少相应的经济损失。

该技术适用于焦化工艺露天煤场的扬尘治理，尤其适用于风速较大、空气干燥的北方地区。

##### (2) 大型地面站干式净化除尘技术

###### ① 最佳可行工艺参数

采用大型脉冲袋式除尘器，使用耐高温的针刺毡或复合滤料；烟气进入布袋前应经过预喷涂处理，气布比0.8~1.2m/min，主除尘干管风速8~16m/s，支除尘管风速6~10m/s，除尘系统阻力小于3000Pa，系统运行稳定在120℃以下，系统漏风率

小于 3%。

#### ② 污染物削减和排放

废气捕集率大于 95%，除尘效率大于 99.5%，外排废气含尘浓度低于  $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ③ 二次污染及防治措施

袋式除尘器收集的粉尘经卸灰后外运，可用于焦化配煤或烧结配料。

#### ④ 技术经济适用性

大型地面站干式净化除尘装置具有综合投资低、除尘效果好的特点；但对制造、安装、运行和维护要求较高，可用于大型焦炉、新建焦炉的装煤、出焦、干熄焦、筛贮焦工序含尘废气的治理。

### 1.2.2.3 炼钢

#### (1) LT 干法除尘技术

##### ① 最佳可行工艺参数

汽化冷却烟道出口烟气温度低于  $1000^\circ\text{C}$ ，蒸发冷却器出口烟气温度低于  $200^\circ\text{C}$ ，蒸发冷却器内的喷水比为  $0.01 \sim 0.04\text{L}/\text{m}^3$ 。

##### ② 污染物削减和排放

除尘效率大于 99.9%，外排废气含尘浓度低于  $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

##### ③ 二次污染及防治措施

采用该技术收集的粉尘经热压块后可用作烧结配料或炼

钢冷却剂。

#### ④技术经济适用性

采用该技术,煤气回收量  $80 \sim 140\text{m}^3/\text{t}$  钢,粉尘回收量  $15 \sim 21\text{kg}/\text{t}$  钢。以 180t 转炉为例,一次性投资费用约 5000 万元,年运行费用约 1000 万元。

该技术适用于炼钢工艺 80t 及以上转炉一次烟气除尘和煤气净化回收,尤其适用于环境质量要求高的地区。

### (2) 第四代 OG 系统除尘技术

#### ①最佳可行工艺参数

汽化冷却烟道出口烟气温度低于  $1000^\circ\text{C}$ ,蒸发冷却塔内的喷水比  $3.0 \sim 3.5\text{L}/\text{m}^3$ ,RSW 环隙式可调喉口的二级文氏管的喷水比  $2.0 \sim 2.5\text{L}/\text{m}^3$ 。

#### ②污染物削减和排放

除尘效率大于 99.5%,外排废气含尘浓度低于  $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ③二次污染及防治措施

该技术产生的废水经处理后循环使用,收集的含铁尘泥制球后返烧结工艺利用。

#### ④技术经济适用性

采用该技术,煤气回收量为  $60 \sim 100\text{m}^3/\text{t}$  钢,粉尘回收量为  $10 \sim 20\text{kg}/\text{t}$  钢。以 180t 转炉为例,如全部使用国产设备,一次性投资费用约 3500 万元,年运行费用约 1300 万元。

该技术适用于炼钢工艺转炉一次烟气除尘和煤气净化回

收。转炉煤气在使用前需采用静电除尘器进一步除尘，将煤气含尘浓度降至  $10\text{mg}/\text{m}^3$  以下。

### (3) 烟气捕集+袋式除尘技术

#### ①最佳可行工艺参数

采用长袋低压脉冲袋式除尘器，滤料材质以涤纶针刺毡为主。

袋式除尘器的过滤风速为  $0.8 \sim 2\text{m}/\text{min}$ ，阻力损失小于  $2000\text{Pa}$ ，漏风率小于  $5\%$ ，运行温度不高于  $200^\circ\text{C}$ 。

新建炼钢企业电炉烟气采用第四孔排烟+密闭罩+屋顶罩+袋式除尘器工艺；改扩建炼钢企业电炉烟气采用导流罩+顶吸罩+袋式除尘器工艺；转炉二次烟气采用转炉挡火门封闭+带式除尘器工艺；转炉三次烟气采用厂房封闭+屋顶抽风+袋式除尘器工艺。

#### ②污染物削减和排放

烟气捕集率大于  $95\%$ ，除尘效率大于  $99\%$ ，外排废气含尘浓度低于  $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ③二次污染及防治措施

采用该技术收集的粉尘经卸灰后，碳钢除尘灰经热压块后可用作烧结配料或炼钢冷却剂，不锈钢除尘灰经热压块后用作不锈钢炼钢冷却剂。

#### ④技术经济适用性

该技术适用于炼钢工艺中除转炉一次烟气外其他含尘废

气的治理。

### (3) 烟气急冷+高效过滤技术

#### ①最佳可行工艺参数

采用烟气急冷技术时,使用具有双相喷嘴的喷淋冷却装置对电炉烟气进行急冷,烟道内的烟气温度从 650℃左右降到 200℃以下所需停留时间不超过 1 秒。

#### ②污染物削减和排放

烟气捕集率大于 95%,除尘效率大于 99.9%,外排烟气中的二噁英浓度低于 0.5ng-TEQ/m<sup>3</sup>。若袋式除尘器采用覆膜滤料,二噁英浓度可进一步降低。

#### ③二次污染及防治措施

采用该技术收集的粉尘经卸灰后可用作烧结配料或炼钢冷却剂。为避免截留在电炉粉尘中的二噁英等造成二次污染,电炉粉尘必须在厂区内全部综合利用。

#### ④技术经济适用性

该技术适用于炼钢工艺电炉烟气中二噁英的治理;采用此技术无法回收利用烟气余热。

### 1.2.2.4 轧钢

#### (1) 粉尘治理最佳可行技术

##### ①塑烧板除尘技术

##### a.最佳可行工艺参数



烟温低于 200℃, 过滤风速 0.8 ~ 2m/min, 设备阻力 1300 ~ 2200Pa; 采用 0.4 ~ 0.6MPa 压缩空气反吹清灰。

#### b. 污染物削减和排放

除尘效率大于 99%, 外排废气含尘浓度 10 ~ 20mg/m<sup>3</sup>。

#### c. 二次污染及防治措施

采用该技术收集的粉尘经卸灰后, 可用作烧结配料。

#### d. 技术经济适用性

因塑烧板价格偏高, 该技术的一次性投资较湿式电除尘高约 20%; 但该技术不用水, 无需进行污水处理, 运行费用较低。

该技术适用于轧钢工艺热轧工序火焰清理机及精轧机等设备的除尘。

### ② 袋式除尘技术

#### a. 最佳可行工艺参数

脉冲袋式除尘的过滤速度通常为 0.5 ~ 2m/min, 设备阻力损失约 980 ~ 1700Pa。

烟气温度低于 120℃ 时, 可选用涤纶绒布和涤纶针刺毡; 烟气温度为 120 ~ 250℃ 时, 可选用石墨化玻璃丝布; 为进一步提高除尘效率, 还可选用覆膜滤料。

#### b. 污染物削减和排放

对粒径大于 0.1μm 的微粒, 去除率大于 99%, 外排废气含尘浓度低于 20mg/m<sup>3</sup>。

#### c. 二次污染及防治措施

采用该技术收集的粉尘经卸灰后，可用作烧结配料。

#### d.技术经济适用性

该技术除尘效率高，适用范围广，并可附带去除吸附在颗粒物上的重金属。

该技术适用于轧钢工艺冷轧工序干式平整机、拉矫机、焊机、抛丸机、修磨机等设备的除尘，以及钢管穿孔吹氮喷硼砂工序中产生的硼砂粉尘、矫直及精整吸灰等的除尘。

### (2) 酸雾、碱雾、油雾治理最佳可行技术

#### ①湿法喷淋净化技术

##### a.最佳可行工艺参数

喷淋装置可采用洗涤塔或填料洗涤塔型式，装置内部断面气流速度 0.6 ~ 1.5m/s。

##### b.污染物削减和排放

用水喷淋、清洗的净化效率大于 90%；用碱液净化酸雾的净化效率大于 95%。

外排废气中酸、碱含量低于 10mg/m<sup>3</sup>。

##### c.二次污染及防治措施

洗涤后气体中的酸、碱类物质进入洗涤废水，洗涤废水送冷轧废水预处理单元与酸性废水一同处理。

#### d.技术经济适用性

该技术除雾效果好，方法简单，操作方便；适用于轧钢工艺酸雾、碱雾的净化。

## ②湿法喷淋+选择性催化还原（SCR）净化技术

### a.最佳可行工艺参数

湿法喷淋装置采用洗涤塔或填料洗涤塔型式，断面气流速度 0.6~1.5m/s；SCR 装置以五氧化二钒等作为催化剂，氨的逃逸浓度低于 2.5mg/m<sup>3</sup>。

### b.污染物削减和排放

湿法喷淋装置中氢氟酸净化效率大于 90%，硝酸净化效率大于 60%；SCR 装置的脱硝效率最高可达 90%；处理后外排废气中硝酸雾浓度低于 150mg/m<sup>3</sup>，氟化物浓度低于 6mg/m<sup>3</sup>。

### c.二次污染及防治措施

洗涤后气体中的酸、碱类物质进入洗涤废水，洗涤废水送冷轧废水预处理单元与酸性废水一同处理。

### d.技术经济适用性

该技术适用于轧钢工艺不锈钢产品生产中硝酸-氢氟酸混酸酸雾的治理。

## ③过滤式净化技术

### a.最佳可行工艺参数

滤网规格 60~200 目/cm<sup>2</sup>，换气次数 5~20 次/h。

### b.污染物削减和排放

净化效率大于 80%，外排废气中油类物质浓度低于 30mg/m<sup>3</sup>。

### c.二次污染及防治措施

处理中收集的废油属危险废物，用密闭容器收集，委托有危险废物经营许可证的机构集中处置。

#### d.技术经济适用性

该技术设备结构简单，操作方便，适用于轧钢工艺油雾的治理。

### (3) 有机废气治理最佳可行技术

#### ①高温焚烧净化技术

##### a.最佳可行工艺参数

焚烧温度高于 700℃，停留时间大于 2 秒；同时控制进入装置有机废气浓度低于其爆炸极限下限的 25%。

##### b.污染物削减和排放

处理效率大于 95%。

##### c.二次污染及防治措施

有机废气完全燃烧后生成二氧化碳和水。

##### d.技术经济适用性

该技术处理效率高，应用范围广，但处理中需消耗辅助燃料。

该技术适用于轧钢工艺有机废气的治理。

#### ②催化焚烧净化技术

##### a.最佳可行工艺参数

以铂、钯等作为催化剂，催化起燃温度可降至 230~370℃；控制进入装置的有机废气浓度低于其爆炸极限下限的 25%。

#### b. 污染物削减和排放

净化效率大于 98%。

#### c. 二次污染及防治措施

有机废气燃烧后生成二氧化碳和水。

#### d. 技术经济适用性

该技术处理效率高，起燃温度低，能耗小，适用于轧钢工艺有机废气的治理。

### 1.3 钢铁行业大气污染防治政策分析

#### 1.3.1 中国钢铁行业环保政策发展趋势

中国钢铁行业经过几十年的发展，其环保政策日趋完善，目前钢铁行业环境保护政策标准体系包括政策规划、结构调整、准入条件、节能减排、污染防治、清洁生产、循环经济、审批管理、进出口等诸多内容和要求，并且随着时间的推移其内容和要求有相应的调整。

中国钢铁行业环境保护政策发展趋势主要体现在污染物排放标准趋严等方面：中国大陆当前的废气、废水排放标准与 10 年前相比，不仅排放标准限值大幅度加严，而且还增加了多项污染物控制指标。

#### 1.3.2 钢铁行业大气污染防治政策实施效果

##### 1.3.2.1 对钢铁行业发展的影响

随着环境保护政策法规的发展，对我国钢铁行业发展呈现如下影响及发展趋势：

1) 推进以节能减排为主要目标的设备更新和技术改造, 并大力引导企业采用有利于节能环保的新设备、新工艺、新技术, 以此促进资源的综合利用和清洁生产, 采用精料方针和少排放工艺, 减少源头污染;

2) 加强管理, 规范法律法规, 提高执行力, 真正把现有的设施管理好, 使用好;

3) 调整生产、能源结构, 降低能耗、减少排放, 实现钢铁工业的可持续发展;

4) 开展新能源和废弃物利用的研究, 促进循环经济, 实现钢铁企业和社会的和谐发展;

5) 加强新技术的研究与开发, 尤其是对有毒有害气体处理技术, 如 NO<sub>x</sub>、挥发性有机物(如苯并(a)芘)、卤代烃类(如二恶英)、重金属、PM<sub>2.5</sub>等, 高浓度油机废水, 降低废水中的总氮技术, 高效水稳药剂等, 工业固体废弃物综合处理利用技术等。

6) 加强国内外钢铁企业交流, 引进消化国外先进环保技术和经验。

### 1.3.2.2 污染物排放减排效果

根据《钢铁工业“十二五”发展规划》, “十二五”时期钢铁工业发展主要指标见表 1.3-1。

表 1.3-1 “十二五”时期钢铁工业发展主要指标

序号	指标	2005 年	2010 年	2015 年	“十二五”时期累计[%]
1	单位工业增加值能耗降低 (%)				18
2	单位工业增加值二氧化碳排放降低 (%)				18
3	企业平均吨钢综合能耗降低 (千克标煤)	694	605	≤580	≥4
4	吨钢耗新水量降低 (立方米)	8.6	4.1	≤4.0	≥2.4
5	吨钢二氧化硫排放量降低 (千克)	2.83	1.63	≤1	≥39
6	吨钢化学需氧量降低 (千克)	0.25	0.07	0.065	7
7	固体废弃物综合利用率提高 (%)	90	94	≥97	≥3

根据 2015 年中国钢铁工业年鉴，近 3 年重点统计钢铁企业的排放情况见表 1.3-4。

表 1.3-4 近 3 年重点统计钢铁企业的排放情况

年度	吨钢烟粉尘排放, Kg/t	吨钢 SO <sub>2</sub> 排放, Kg/t	吨钢 NO <sub>x</sub> 排放, Kg/t	吨钢耗新水 m <sup>3</sup> /t	吨钢外排废水, m <sup>3</sup> /t	吨钢 COD 外排, Kg/t
2014	0.87	1.128	1.00	3.6	0.872	0.033
2013	0.86	1.363	1.02	3.67	0.959	0.044
2012	0.99	1.54		3.75	1.21	0.051

2015 年新环保法的实施对钢铁行业提出了更高要求、更严标准，钢铁行业通过加大各项投入、推动技术升级和全面推广应用，节能减排取得明显进步，吨钢综合能耗逐年下降，吨钢主要污染物排放量逐年减少，中国钢铁工业能源消耗总量和大气污染物排放总量进入下降阶段。随着钢铁行业环境保护政策法规的逐步完善，钢铁企业的污染物排放减排效果明显，而且企业的环境保护工作已经从单纯的环境治理，转变为全流程节能环保技术集成优化和资源能源高效利用前提下的清洁生产绿色制造。

### 1.3.3 钢铁行业大气污染防治政策存在的不足

#### 1) 对提高污染物排放水平的作用需进一步加强

我国钢铁行业装备水平参差不齐，一些企业还没有做到污染物全面稳定达标排放，节能环保投入需逐步增加，节能环保设施有待进一步升级改造。近年来，已取得可见效果，吨钢能源消耗、污染物排放量正逐年下降。

#### 2) 无组织排放控制水平有待提高

钢铁行业从烧结、球团、高炉炼铁、炼钢、连铸，再到轧钢，几乎所有的工序都以工业炉窑为主体设备，烟粉尘的无组织排放更显突出。这些无组织排放源主要包括原料堆场，烧结筛分环节，炼铁系统中的出铁平台、小车上料、高炉喷煤堆场及水渣堆场或微细粉水渣原料堆场，炼钢系统中的炼钢、拆包、制包、烘烤、静置、钢渣熄渣或钢渣处理及钢渣堆场和石灰窑原料堆场，产生的粉尘属性千差万别，存在很大的不确定性、不规则性，极易造成面源污染，对周围环境影响很大。另外，钢铁生产物流方式中的公路运输由于具有灵活方便的特点，其占比通常在 20% 以上，部分中小企业公路运输的占比超过 70%，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，针对这一类型的污染治理，目前还没有很成熟的控制技术和完善的管理要求。

#### 3) 钢铁行业大气污染防治最佳可行技术制度及体系有待完善



我国现行 BAT 体系不具备法律基础，未能有效支撑与环境影响评价、排污许可、排放标准等环境管理制度，仅起到推荐污染防治技术的作用。钢铁行业 BAT 指南的全面性和完整性方面，与欧盟相比还有一定差距。BAT 体系的制定应包括实施对象、非政府组织在内的多方共同参与的机制，增强 BAT 体系的适用性、可行性和有效性，目前我国 BAT 在编制过程中缺乏实施对象（如企业）的参与，无法有效落地。

## 2 采用污染防治最佳可行技术后的减排潜力分析

### 2.1 典型污染防治技术选取原则

按整体性原则，从设计时段的源头污染预防到生产时段的污染防治，依据生产工序的产污节点和技术经济适宜性，确定最佳可行技术。

### 2.2 钢铁行业典型污染防治技术应用现状

#### 2.2.1 防尘除尘

钢铁行业无组织排放的扬尘主要在原料堆存和运输环节产生。其主要治理措施包括：在料堆表面洒水、喷洒覆盖剂；设置密闭皮带通廊；建设防尘网；采用全封闭料场（仓）等。随着扬尘控制的深入，建设全封闭料场（仓）和密闭皮带通廊是无组织排放控制的主要方向。

钢铁行业有组织粉尘产生点多，产生的含尘废气也具有各自特点。钢铁行业的除尘措施较多，主要包括布袋除尘、电除

尘、煤气湿法除尘和干法除尘等。作为高效的过滤式除尘措施，布袋除尘在钢铁行业应用十分广泛，如应用于原料装卸、高炉出铁场、转炉二次烟气等各个环节；电除尘多用于烧结机头烟气的除尘；高炉煤气和转炉煤气除尘有湿式除尘和干法除尘两种方式，各有利弊；湿法除尘的优势为主要体现在运行稳定、除尘效果较好；干法除尘技术的优势主要体现为节能、节水效果好。

### 2.2.2 SO<sub>2</sub> 治理

国内钢铁行业烧结烟气脱硫方法包括石灰石-石膏法、循环流化床法、双碱法、旋转喷雾干燥法、密相干塔法、氨法以及活性炭吸附法等。应用较多的是石灰石-石膏法湿法脱硫，其特点是脱硫效率高、工艺成熟、对烟气的适应性能好、适于大型烧结机组的烟气净化、脱硫剂价廉易得等。其不足之处是脱硫废水需进行处理、脱硫石膏相对于天然石膏而言不具备竞争的优势。

### 2.2.3 NO<sub>x</sub> 防治

目前，废气中 NO<sub>x</sub> 的治理主要选择性催化还原（SCR）技术，包括高温 SCR 和低温 SCR。燃煤电厂锅炉由于其烟气温度较高，采用 SCR 进行脱硝的应用较为广泛。而钢铁行业产生 NO<sub>x</sub> 的烟气工况条件不同于燃煤电厂锅炉，如烧结机烟气流波动大、湿度大、NO<sub>x</sub> 浓度波动也大，烟气成份复杂、烟气温度较低（不超过 200℃），不适宜直接采用 SCR 脱硝工

艺。低温 SCR 技术应用前景广阔，是当前的研究热点；而目前，还未开发出能较好的适用于低温 SCR 技术的催化剂，受其限制，低温 SCR 技术还未能较好的使用。如钢铁行业使用 SCR 工艺进行烧结机烟气脱硝，需要对烟气进行加热，其投资、运行成本均会较燃煤电厂高。

#### 2.2.4 污染物协同控制

随着钢铁行业二恶英等特征污染物逐渐引起关注，污染物协同控制越来越受到行业内的关注和重视。污染物协同控制是指采用两种或两种以上协调一致的技术方法、技术措施或系统以达到两种或两种以上污染物最大限度综合减排目的的过程、系统或方法。目前，针对钢铁行业对大气污染物协同控制的研究和使用已经起步。例如：采用活性炭加氨吸附工艺进行烧结烟气净化。其在脱硫的同时可脱除 NO<sub>x</sub>、二恶英等污染物，该工艺目前受到行业内的广泛关注，其优点是脱硫效率高、可同时脱除 NO<sub>x</sub>、二恶英等污染物；副产物可制硫酸综合利用；其不足之处是建设投资费用相对较高。

此外，烧结烟气循环利用技术凭借可减少排放的烟气量、减小烟气治理设施处理负荷，同时可回收烧结烟气的余热、降低烧结工艺的能耗等优势也受到钢铁行业的广泛关注。

总之，钢铁行业大气污染防治适用的技术和措施较多，结合污染物产生水平、特点和污染防治需求尽量选择技术成熟、运行稳定、污染物去除效果好的防治技术。例如烧结烟气脱硫

方面：需综合考虑投资和运行费用、技术成熟度、设备寿命、脱硫效率、脱硫装置布置、脱硫剂的来源、副产品的处置等因素,进行脱硫工艺技术经济综合对比，慎重选取。

## 2.3 典型污染防治技术应用预期及减排潜力分析

### 2.3.1 典型污染防治技术应用现状

做好大气污染防治工作是钢铁企业实现可持续发展的重要组成部分。钢铁行业的大气污染防治需加快速度并提高防治效果。钢铁行业大气污染物防治技术方法多样，每一种污染防治技术都有其优点和缺点，要结合企业自身生产特点、污染防治需求及经济承受能力等因素综合比较，选取适用于本企业的污染防治措施。

钢铁企业须做到达标排放。大气污染物排放须符合钢铁系列排放标准的规定。

针对以上控制标准，结合目前钢铁行业大气污染防治技术应用现状，本报告选取了减排效果明显，应用前景较广的6种大气污染防治技术作为钢铁行业典型污染防治技术进行减排潜力分析，6种技术包括环保封闭料场、烧结烟气循环、烧结烟气协同处置、烧结机头湿式电除尘、焦炉烟气脱硫脱硝、转炉干法除尘技术。

#### 1) 环保封闭料场技术

钢铁企业原料厂传统的露天堆存方式，辅以表面覆盖、喷淋洒水、防尘网等方式减少物料扬尘和损耗，环境污染问

题较为突出，不能满足资源节约、环境友好和可持续发展的要求。封闭型原料场具有不受天气影响，无需采用表面覆盖措施，减少粉尘排放，降低物料损耗，提高料场效率等优点，解决传统露天料场在用地面积、生产保障、运行成本和环境保护等方面存在的不足，是适应钢铁企业绿色发展要求，实现源头削减污染，最大限度地减少粉尘排放和物料损失的重要环节，为钢铁企业和社会创造一流社会效益、环境效益和经济效益，原料环保封闭储存技术已成为行业所需和绿色发展重点。

## 2) 烧结烟气循环技术

烧结烟气循环工艺，顾名思义，就是烧结过程中产生的烟气没有全部外排，而是将其中一部分热烟气再次引入烧结过程循环使用，采用该工艺可在节能、减排两方面带来效益，在国外一些烧结厂早已应用了该工艺。目前国内仅有宁钢、宝钢等为数不多的钢铁企业采用了该项技术。该项技术特点如下：

### (1) 节能

烧结烟气温度约  $150^{\circ}\text{C}$ ，某些特定风箱的烟气温度约达  $350^{\circ}\text{C}$  或更高一些，循环烟气中的显热可以得到利用；烧结烟气中  $\text{CO}$  平均体积浓度为  $0.4\% \sim 1.0\%$ ，此外，还有一定数量的其它可燃有机物，这部分物质的潜热可以得到利用；烟气循环使用的风机和电机将消耗部分电能，这部分烟气如

果不循环就要通过脱硫设施和高烟囱排放，将消耗更多的电能；最终排放烟气量可减少 25% ~ 35%，电除尘及脱硫设备等规模投资和运行能耗可明显降低；采用该技术后总能耗可降低 3% 以上。

## (2) 减排

SO<sub>2</sub>: 由于排放烟气量的减少和 SO<sub>2</sub> 浓度的富集，脱硫效率将有所提高，达到进一步减排的效果；NO<sub>x</sub>: 循环烟气中的 NO<sub>x</sub> 绝大部分被烧结机料床分解；颗粒物: 由于排放烟气量减少，其排放量最大可减少约 45%；CO: 循环烟气中的 CO 绝大部分可以在烧结机料床上被烧掉，最终排放烟气中的 CO 可大幅减少；二噁英: 循环烟气中的 PCDD/F 绝大部分可以在烧结机料床上被烧掉，其最终排放量减排数量明显，在我国 PCDD/F 减排技术的综合优势是其它任何减排技术（活性炭吸附、催化分解等）所无法比拟的；HCl、HF: 烧结工序是钢铁联合企业最大的排放源，由于烟气量的减少、污染物浓度的富集，脱硫设施对 HCl、HF 的脱除效果也将明显提高；其它污染: 对 PCBs、PAH、VOCs 等，也具有明显的减排效果。

## 3) 活性炭烧结烟气协同处置

活性炭烧结烟气协同处置技术工艺主要设备由 3 大部分构成，一是脱除有害物质的吸附反应塔，二是再生活性炭的再生塔，三是活性炭在吸收反应塔与再生塔之间循环移动使

用的活性炭运输机系统。在已有的烧结机应用时，需在主风机下方配置增压风机，升压后将烧结烟气引入活性炭移动层，活性炭再生时分离的高浓度二氧化硫气体进入副产品回收工艺装置，回收为硫酸或石膏等有价值的副产品。活性炭烧结烟气协同处置工艺法最大的优势是具有同时处理多种有害物质的一机多能烟气处理功效，但初始成本较高。如果只引进脱硫设备，活性炭烧结烟气协同处置工艺与湿法工艺和半干法工艺相比，没有价格竞争力。但是如果也引进脱硝设备，甚至还需要脱二恶英与脱汞的装置，则在初始设备成本方面活性炭移动层工艺法与其他工艺基本相同，但运行成本比其他工艺有很大的优势，而且活性炭烧结烟气协同处置工艺还可以回收高纯度硫酸作为副产品，不会像其他工艺那样产生大量的废弃物。

#### 4) 烧结机头湿式电除尘技术

该技术适用于烧结机头烟气脱硫采用湿法脱硫的钢铁企业，石膏雨、湿烟气问题，是目前烧结烟气湿法脱硫面临的最主要问题。对于湿法脱硫，一方面通过脱硫浆液的洗涤作用可脱除烟气中的部分颗粒物；另一方面由于存在脱硫浆液雾化夹带、脱硫产物结晶析出，也会形成  $PM_{2.5}$ 。脱硫塔对  $SO_3$  的去除率很低， $SO_3$  以气溶胶的形式随烟气排出，从而导致烟囱下风向经常出现酸雨、石膏雨等现象，或是有长长烟尾的蓝烟现象。为解决这一问题，可在湿法脱硫系统后

增加一台湿式电除尘器，彻底解决脱硫后的粉尘及多种污染物的排放问题。

湿式电除尘器进口烟气温度通常为 50℃ 左右，与前端干式高温电除尘器进口烟气温度 350℃ 左右相比，烟气中粉尘的比电阻大大下降；湿式电除尘器进口烟气含湿量约为 8%，含湿量的增加可以提高烟气的导电性能，从而可以大幅提高除尘效率。另外，湿式电除尘器通过水喷淋清灰，无机械振打所导致的二次扬尘的缺陷。低温、高湿的烟气性质，以及无二次扬尘的优点为湿式电除尘器粉尘的“超低排放”提供了保障，可以满足  $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，甚至  $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$  的粉尘排放要求。另外，湿式电除尘器还可以解决烟囱出口的“酸雨”、有效脱除烟囱出口的  $\text{PM}_{2.5}$  微细颗粒物、解决烟道和烟囱的腐蚀等问题。

#### 5) 焦炉烟气脱硫脱硝技术

$\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  是  $\text{PM}_{2.5}$  的前驱体，由其转变而来的  $\text{PM}_{2.5}$  占到空气中  $\text{PM}_{2.5}$  总量的 40%~50%，同时  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  也是形成酸雨的主要前体物质。

炼焦过程中，生产每吨焦炭要燃烧  $970\text{m}^3$  混合煤气或  $205\text{m}^3$  焦炉煤气对煤料进行间接加热，分别产生  $1897\text{m}^3$  或  $1326\text{m}^3$  的焦炉烟道气，释放出大量硫化物、氮氧化物和烟尘等。为此，国家于 2012 年颁布 GB16171-2012《炼焦化学工业污染物排放标准》，于 2012 年 10 月 1 日起实施。标准中



规定：2015年1月1日起，现有企业和新建企业执行表5限值，即焦炉烟道气中的 $\text{NO}_x < 500\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $\text{SO}_2 < 50\text{mg}/\text{m}^3$ ，治理焦炉烟道气中的 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 已经成为焦化行业的重点环保项目。

目前成熟的焦炉烟道气脱硫脱硝技术为数不多，国内采用的是“旋转喷雾半干法脱硫+低温选择性催化还原法（ $\text{NH}_3\text{-SCR}$ ）脱销除尘”工艺。主要由脱硫塔、除尘脱销一体化装置、喷氨系统、引风机、热风炉和烟气管道等组成。系统脱硫、脱硝效率均 $> 80\%$ ，可实现焦炉烟道气稳定达标排放。

#### 6) 转炉干法除尘技术

从更加严格的环保和节能要求看，传统湿法净化回收系统存在着能耗高、二次污染的缺点，它将随着时代的发展而逐渐被转炉煤气干法除尘系统取代，这是冶金工业可持续发展的要求，该技术已获得世界各国的普遍重视和采用。LT法的主要优点是：除尘净化效率高，通过电除尘器可直接将粉尘浓度降至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下；该系统全部采用干法处理，不存在二次污染和污水处理；系统阻损小，煤气发热值高，回收粉尘可直接利用，节约了能源；系统简化，占地面积小，便于管理和维护。因此，干法除尘技术比湿法除尘技术有更高的经济效益和环境效益。

整个系统主要包括煤气冷却系统（活动烟罩、汽化冷却

烟道)、除尘系统(蒸发冷却器、静电除尘器)及回收系统(切换站、煤气冷却器)。1400~1600℃的转炉煤气经活动烟罩、汽化冷却烟道回收蒸汽后降温至约1000℃,进入蒸发冷却器进行冷却、粗除尘及增湿调质,温度降至150~200℃,粉尘浓度由80~150g/m<sup>3</sup>降至40~55g/m<sup>3</sup>。煤气经静电除尘器精除尘后粉尘浓度达到约10mg/m<sup>3</sup>,在煤气切换站,CO含量大于35%、O<sub>2</sub>含量小于2%的合格煤气送煤气冷却器冷却至75℃后储存,不合格煤气经放散烟囱点火排放。

### 2.3.2 典型污染防治技术应用预期

根据对上述钢铁行业典型大气污染防治技术目前运用情况的了解,6种大气污染防治技术都具有较大的推广前景,具体运用现状如下:

#### 1) 环保封闭料场技术

原料场是钢铁企业最大的粉尘无组织排放源,根据对典型钢铁联合企业颗粒物无组织排放量的统计表明,原料场颗粒物无组织排放量约占整个钢铁企业颗粒物排放量的10%。较传统露天堆存方式,环保封闭料场技术可减少约75%的无组织排放量。随着环保政策的日益严格,现有露天原料场抑尘技术已不能满足新的环保要求,根据最近国家对钢铁行业原料场实施封闭改造的要求,预计到2020年,环保封闭料场技术运用率将达到30%。

#### 2) 烧结烟气循环技术

目前烧结烟气循环技术运用实例不多，但国内外采用此项技术的钢铁企业节能减排效果表明，在保证生产指标不降低的情况下，烧结烟气循环技术可减少烧结工艺生产的废气排放总量和污染物排放量，并能回收烟气余热、降低烧结生产能耗。有关研究表明，采用烧结烟气循环技术后，最终排放烟气量可减少约 30%，烧结工序的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物排放量分别占整个钢铁生产工序排放量的 60%、50%、30%，采用此项技术可大幅减少钢铁生产的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物排放量。预计到 2020 年，烧结烟气循环技术在钢铁企业中应用占比可达到 10%。

### 3) 活性炭烧结烟气协同处置

相对其他脱硫脱硝方法，活性炭烧结烟气协同处置可将脱硫效率提高 10%，脱硝效率提高 20%。我国活性炭脱硫技术在烧结烟气处理上的应用起步比较晚，需要更多应用实例来证明其系统运行的稳定性。另外，我国烧结烟气脱硫工作的全面实施始于“十一五”期间，脱硝工作始于“十二五”期间，大部分钢铁企业均是采用先脱硫、再脱硝的工艺，运行年限也不超过 10 年，出于成本考虑，如果现在全部用活性炭烧结烟气协同处置替代现有脱硫脱硝设施也不太实际，从这个角度来讲，活性炭脱硫系统广泛得到推广还需要时间。预计到 2020 年，活性炭烧结烟气协同处置在钢铁企业中应用占比可达到 5%。

#### 4) 烧结机头湿式电除尘技术

烧结机头湿式电除尘技术可使湿烟气细颗粒物去除率可达 60%以上。目前我国烧结的湿法脱硫工艺占比约为 50%，且绝大部分末端均未增设湿式电除尘器。考虑到现有前端静电除尘器及湿法脱硫设备老化导致烟粉尘排放浓度不达标，以及国家对细颗粒物排放日益趋严等因素，预计到 2020 年，采用湿法脱硫工艺的烧结机末端增设湿式电除尘普及率可达 50%。

#### 5) 焦炉烟气脱硫脱硝技术

焦炉烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  排放量占比约为全厂的 7%、20%，由于目前适用的焦炉烟气脱硫脱硝技术有限，且投资运行成本相对较高，广泛得到应用还需要时间，预计到 2020 年，焦炉烟气脱硫脱硝技术在钢铁企业中应用占比可达到 5%。

#### 6) 转炉干法除尘技术

据统计，炼钢单元颗粒物排放量约占钢铁企业颗粒物总排放量的 20%，其中转炉一次烟气燃烧放散产生的颗粒物约占炼钢单元颗粒物排放量的 10%。目前我国转炉一次烟气采用湿法工艺系统的约占 60%，且大部分均未在末端增设湿式电除尘器，放散燃烧排放的烟粉尘不能稳定达标。与传统 OG 法相比，LT 法的主要优点是：除尘净化效率高，通过电除尘器可直接将粉尘浓度降至  $10\text{mg}/\text{m}^3$  以下，相对于传统 OG 法除尘后不设湿式电除尘器的煤气净化系统，可减少约 80%的烟粉尘排放量；该系统全部采用干法处理，不存在二次污染和污水处理。根据钢

铁工业调整升级规划，预计到 2020 年将全部淘汰转炉一次烟气传统湿法除尘等高耗水工艺。

### 2.3.3 减排潜力分析

根据对我国“十二五”期间钢铁工业污染排放情况的统计，吨钢二氧化硫排放量为 0.85 千克，吨钢烟粉尘排放量为 0.81 千克。氮氧化物排放量目前还没有一个非常准确的统计数据，

预计到 2020 年，通过推广上述典型大气污染防治技术，我国钢铁行业污染物排放估算结果见表 2-1，减排总量估算结果见表 2-2。

表 2-1 典型污染防治技术减排潜力分析

典型污染防治技术	污染因子	现状排放量 (万吨)	预期排放量 (万吨)	减排量 (万吨)
环保封闭料场技术	SO <sub>2</sub>	/	/	/
	NO <sub>x</sub>	/	/	/
	颗粒物	6.51	5.46	1.06
烧结烟气循环技术	SO <sub>2</sub>	41.00	39.77	1.23
	NO <sub>x</sub>	55.47	53.80	1.66
	颗粒物	19.53	18.95	0.59
活性炭烧结烟气协同处置	SO <sub>2</sub>	41.00	39.63	1.37
	NO <sub>x</sub>	55.47	54.54	0.92
	颗粒物	/	/	/
烧结机头湿式电除尘技术	SO <sub>2</sub>	/	/	/
	NO <sub>x</sub>	/	/	/
	颗粒物	19.53	16.60	2.93
焦炉烟气脱硫脱硝技术	SO <sub>2</sub>	4.78	4.66	0.12
	NO <sub>x</sub>	22.19	21.63	0.55
	颗粒物	/	/	/
转炉干法除尘技术	SO <sub>2</sub>	/	/	/
	NO <sub>x</sub>	/	/	/
	颗粒物	1.30	0.38	0.92

表 2-2 典型污染防治技术预期减排总量估算结果

污染因子	现状排放量 (万吨)	预期排放量 (万吨)	减排量 (万吨)	减排比例
SO <sub>2</sub>	68.33	65.61	2.72	3.98%
NO <sub>x</sub>	110.93	107.79	3.14	2.83%
颗粒物	65.11	59.62	5.49	8.43%

### 3 对策建议

结合国家对钢铁行业的最新要求，钢铁行业环境管理总目标是以资源环境承载能力为约束条件，引导钢铁行业以低能耗、低污染、大循环的生产方式。钢铁行业要进一步实现减排，必须严格执行国家关于节能减排、达标排放、总量控制等各项政策要求。为实现全行业健康绿色发展，本次研究提出钢铁行业环境管理对策建议如下：

#### 3.1 完善我国钢铁行业最佳可行技术体系

##### (1) 确立 BAT 法律地位

将 BAT 纳入排污许可证管理政策体系中，建立与 BAT 推广应用相配套的政策，确立 BAT 的法律地位，促进 BAT 在污染源管理过程的应用，逐步实现 BAT 对我国污染减排和流域治理的技术支撑作用。

##### (2) 有效支撑各项环境管理制度

建议最佳可行技术与环境影响评价、排污许可、排放标准、环境监测等实现有效衔接。一是以 BAT 为重点，重构环境影响评价导则技体系，着重支撑环评源强核算及污染防治措施技术经济论证等内容。二是将 BAT 作为排污许可证

申请与核发，以及实际排放量核算的重要技术依据。三是全面支撑污染物排放标准，将 BAT 排放水平与排放标准限值挂钩。四是指导制定污染源监测技术要求。

## （2）完善 BAT 编制路径

建立多方参与、大数据处理、成本控制、专家判断的 BAT 编制路径。一是建立基于环保部、地方环保部门、企业集团、行业协会、咨询单位等为主要成员的工作组。二是收集污染排放数据，来源包括排污许可信息平台、环评数据平台、现场调研及监测等。按照不同污染源、不同污染物的多种污染治理技术，分别梳理管理要求和排放数据；对于排放水平数据范围较大的，依据行业专家、统计学专家的讨论分析，去除不合理的极值数据，缩小数据范围。三是通过成本分析，对排放限值进行分类，对于经济成本较高的技术，在其适用性中进行说明。四是召集行业专家、统计学专家、环保管理人员以及非政府组织等，与工作组一起开展集中讨论。

## （4）制定钢铁行业最佳可行技术文件框架

借鉴欧盟钢铁行业 BAT 结论框架，结合我国现有钢铁行业各工序 BAT 指南，建议修订我国钢铁行业最佳可行技术指南，至少包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、一般性要求、各工序最佳可行技术等内容。其中，一般性要求包括环境管理系统、材料管理、安装和运行维护管理、有组织废气管理、无组织废气管理、水和废水管理、噪声管理、

副产品及固体废物管理、新老生产设施差异化管理。各工序最佳可行技术分为烧结、球团、炼焦、炼铁、炼钢、轧钢、公辅等生产工序，均按照废气、废水、噪声、固体废物四个方面分别编制，包括 BAT 的工艺说明、适用性、所需达到的排放水平、运行维护要求等内容。同时，将生产工艺及产污环节、成本效益分析等内容纳入编制说明文件中。

### 3.2 实现钢厂与城市和谐共生

城市钢厂在企业内部资源能源循环的基础上，应积极参与城市市政工程造价改造，提供富裕煤气、余热用于城市居民的供气和供热；主动消纳城市生活污水，作为生产用水的来源；开展城市垃圾及工业废弃物的综合利用研究，实现资源能源的社会循环和综合利用。

### 3.3 推动钢铁企业履行环境责任

构建一套钢铁企业环境责任制度的政策体系，推动钢铁企业履行环境责任。一方面，给予企业技术和政策方面的支持，激励钢铁企业公开环境信息；另一方面，通过法律、公众和社会监督手段，约束企业的环境违法行为。制定《钢铁企业环境信息公开指南》、完善政府激励政策及制度，规范钢铁企业环境信息公开、督促企业改善环境管理水平，强化政府引导、公众参与、社会监督，推动钢铁企业履行环境责任，设计企业环境责任培训体系、并开展培训，开发钢铁上市公司的绿色评级方法体系并试应用，促进经济与环境的可



持续发展。