



联合炼钢厂环境、健康与安全指南

前言

《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。¹。如果世界银行集团的一个或多个成员参与项目，则应根据这些成员各自政策和标准的要求执行本《EHS指南》。本《EHS指南》是针对具体行业，应与《通用EHS指南》共同使用，后者提供的指南针对所有行业都可能存在的EHS问题。如果遇到复杂的项目，可能需要使用针对多个行业的指南。在以下网站可以找到针对各行业的指南：<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

《EHS指南》所规定的指标和措施是通常认为在新设施中采用成本合理的现有技术就能实现的指标和措施。在对现有设施应用《EHS指南》时，可能需要制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

在应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危险和风险灵活处理，其依据应当是环境评估的结果，并应考虑到该场所的具体变量（例如东道国具体情况、环境的吸收能力）以及项目的其他因素。具体技术建议是否适用应根据有资格和经验的人员提出的专业意见来决定。

如果东道国的规则不同于《EHS指南》所规定的指标和措施，我们要求项目要达到两者中要求较高的指标和措施。如果根据项目的具体情况认为适于采用与本《EHS指南》所含规定相比要求较低的指标和措施，则在针对该场所进行的环境评估中需要对提出的替代方案作出详尽的论证。该论证应表明修改后的指标能够保护人类健康和环境。

适用性

联合炼钢厂所采用的 EHS 指南包含了关于从铁矿石和铁基合金中提炼生铁、原钢或低合金钢的信息资料。它适用于冶金焦的生产、高炉和碱性氧气转炉中生铁和钢材的生产、电弧炉工艺中废金属回收、半成品的生产、以及热轧和冷轧生产。它不包括原料的提炼和从半成品加工到成品的深加工过程。联合炼钢厂可能会用到石灰窑，这方面的信息收录于有关水泥和石灰生产的 EHS 指南中。本文由以下几个部分组成：

1 具体行业的影响与管理

¹ 定义是：熟练而有经验的专业人员在全球相似情况下进行同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度、预见性。熟练而有经验的专业人员在评估项目可采用的污染防控技术时可能遇到的情况包括（但不限于）：不同程度的环



2 指标与监测

3 参考文献和其他资料来源

附录 A 行业活动的通用描述

1 具体行业的影响与管理

本章概述联合钢厂在操作阶段发生的 EHS 问题，并提出如何对其进行管理的建议。关于如何管理大多数大型工业活动建造阶段和报废阶段各种常见 EHS 问题的建议在《通用 EHS 指南》中有介绍。

1.1 环境

与钢铁工业相关的环境问题主要包括：

- 废气排放
- 固体废料
- 废水
- 噪声污染

废气排放

废气排放过程将在下文讨论。在此要说明的是，以焦炉煤气[COG]，高炉煤气和碱性氧气转炉[BOF]煤气等副产煤气为燃料的自备电厂也可能排放废气。发电能力不超过 50 兆瓦 (MWth) 的小规模电厂及其废气排放可依据《通用 EHS 指南》来管理。而发电能力超过 50 MW 的电厂可依据《热能 EHS 指南》来管理。

颗粒物

颗粒物 (PM) 可能在每个加工过程中产生，其中可能包含各种浓度的矿石氧化物、金属 (例如砷、镉、汞、铅、镍、铬、锌、锰) 和金属氧化物。粉尘的来源包括熔融精炼工艺 (BF、BOF、EAF) 和加热炉 (取决于所用燃料的类型)、机械作用 (例如火焰清理和粉碎) 和材料 (例如原料、填料、回收料和废料、副产品) 装卸。其他的颗粒物排放源还包括储煤、运输、装料、炼焦、推料和淬火。

热工过程：可能排放颗粒物质的热工过程包括炼焦、烧结、球团和直接还原。粉尘排放的另外一个主要来源就是焦炉车间。燃料堆在不充分燃烧过程中会持续排放颗粒物。还有大量的排放源可能会间歇性地无章排放颗粒物，它们包括炉门、料位门、阀门和装料口。以及诸如推焦、淬火、筛料 (间歇排放) 和焦炉煤气 (COG) 处理等工艺过程也会排放颗粒物。本指南推荐的防控炼焦车间颗粒物排放的措施包括¹：

- 给焦炉群安装收集罩；
- 为了炼焦炉的整洁卫生和安全运行，维修和清理与炼焦炉相关的所有无章排放源 (例

境退化、不同程度的环境吸收能力、不同程度的财务和技术可行性。

¹ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件 (2001)



如炉室、炉门、料位门、阀门、装料口和框架式封闭上升管)非常重要;

- 良好的操作管理, 可使生产过程平稳, 并避免诸如生砂推送的错误;
- 采用无烟装料;
- 采用干熄焦(CDQ)系统;
- 采用无回收炼焦炉;
- 采用煤粉喷洒等办法来减少高炉中的层焦。

烧结车间可能是联合炼钢厂中最主要的颗粒物排放源。烧结车间的排放主要来自产生大气颗粒物的材料处理工艺和带式烧结机上的燃烧反应。¹本指南推荐的防控烧结车间颗粒物排放的措施包括:

- 根据烧结质量和生产能力, 实现烧结车间废气的部分或全部再循环利用。

除使用高压湿洗涤系统外, 还可使用静电沉淀(ESP)脉冲系统、ESP系统加纤维织网过滤器或者采用预除尘装置(ESP或旋风吸尘器)对废气除尘。细粉尘中主要含碱和氯化铅, 它的存在可能会降低ESP的效率。铁矿石的粒化过程(作为烧结工艺的替代)会从原料的粉碎、焙烧机的燃烧区、筛料和装卸中产生粉尘和颗粒物排放。本指南推荐的防控粒化过程中颗粒物排放措施与上述控制烧结工艺的措施类似。

熔炼工艺: 高炉(BF)排放的颗粒物来源于铸造车间(主要是氧化铁颗粒和石墨)和离开炉顶的BF气体的净化过程。防控高炉颗粒物排放的方法包括在废气再利用之前使用除尘系统, 典型的除尘系统包括洗涤装置和静电沉淀装置(ESP)。

在直接还原工艺(直接还原工艺是通用钢生产中的可选工艺, 能够显著降低所有粉尘和其他污染物的排放)中, 虽然排放出的粉尘量要小于高炉的, 但是粉尘性质是相似的。碱性氧气转炉(BOF)的颗粒物排放来源于热金属预处理工艺(包括热金属转移, 脱硫和除渣工艺)、装料、吹氧脱碳杂质氧化工艺和出渣工艺。

本指南推荐的防控碱性氧气转炉(BOF)颗粒物排放措施包括:

- 使用含有文丘里洗气器的BOF燃料废气初步控制系统。有些文丘里洗气器用到了完全燃烧技术², 而有些没有用到;
- 安装二次除尘, 收集从BOF环节出来的废气;
- 用固定的抽取器将金属浇铸线密封。

电弧炉(EAFs)在熔炼、氧气注入、脱碳(主要的废气排放)和装料/出钢(次要废气排放)过程中产生颗粒物。本指南推荐的防止和控制电弧炉(EAFs)颗粒物排放措施包括:

- 迅速使气体降温, 随后用袋式过滤器过滤。袋式过滤器中装有吸附剂(例如石灰或者碳), 进一步吸附挥发性杂质;

综合利用直接抽取废气法、伞形密闭罩法和清洗法。在铸造区(锭铸和连铸), 将钢水转移至模具的过程中以及连铸中使用氧燃料焊枪切割产品的过程中, 都会产生颗粒物和金属。

¹ 除尘前烧结机产生的颗粒物的粒径有两种: 粗PM(粒径大约100 μm)和细PM(0.1~1 μm)。欧委会关于钢铁生产的BREF文件(2001)。

² 文丘里洗涤器能使颗粒物浓度降到标准状态的5~10 mg/m³, 颗粒物浓度也可能高于50 mg/m³。相应的每吨钢水产生的颗粒物排放量是1g。如果完全燃烧, 处理后排放到大气中的颗粒物在25~100 mg/m³范围内, 相应的每吨钢水产生的颗粒物排放量达到180g。欧委会关于钢铁生产的BREF文件(2001)。



应当在过滤器和其他相关的除尘装置上安装排气装置，尤其在铸造、轧制、精炼以及其他相关工艺中。袋式过滤器和ESP具有更高的颗粒收集效率，但是湿洗涤器也可以过滤水溶性的化合物（例如二氧化硫[SO₂]和氯化物）。通常采用安装袋式过滤器来控制熔炼室颗粒物质的排放。通常在袋式过滤器前安装旋风过滤器作为活化分离装置¹。

机械作用：火焰清理和粉碎工艺会产生颗粒物排放。需要根据具体操作选用过滤器，过滤废气。

原料装卸：为了降低原料装卸过程中颗粒物质的无章排放，推荐采用下面的防控技术：

- 采用室内或者遮蔽贮存，当户外贮存不可避免时使用喷水系统（不要使用海水，见下面的“氯化物”章节）、抑尘剂、挡风板和其他贮存管理技术；
- 设计简单的、线性的原料装卸工序，减少复杂转载点；
- 最大限度的使用密闭仓贮存粉末原料；
- 在运输机转载点安装粉尘控制系统；
- 清理皮带传送系统的回转皮带，去除浮尘；
- 实现日常维护和清理，保持最少量的泄露和溢出；

实现正确的装、卸操作。煤尘的无章排放是一个严重的问题。本指南推荐的防控煤尘在煤的转移、贮存和准备过程中无章排放的措施包括如下几条：

- 将煤下落至贮存堆的高度减小到最小；
- 使用喷水系统和聚合物涂层，减少煤贮存库（例如贮存堆）产生的粉尘；
- 使用袋式过滤器或者其他颗粒控制装置，控制粉碎/筛分工序中产生的煤尘；
- 在热力干燥机上安装伴有高效文丘里洗气器的离心收集装置（旋风除尘器）；
- 为风力干法选煤系统安装纤维过滤器的离心收集装置（旋风除尘器）；
- 综合利用封闭式输送机提取和过滤装置，防止在输送机转载点产生颗粒物排放；
- 优化传送系统，使现场产生和扩散的尘土量降至最低。

氧化氮

炉内的高温 and 氮的氧化作用会导致氧化氮（NO_x）的产生。烧结过程²、粒化过程、回收焦炉煤气在内的炼焦过程的燃料燃烧、高炉（BF）工艺中的考伯式热风炉和电热炉、再加热炉和退火炉中工业废气和高温气体的燃烧、混合酸洗液及其他来源都会排放NO_x。

在《通用 EHS 指南》中推荐了防控 NO_x 产生的通用技术。推荐的在炼钢过程中防控 NO_x 排放的其他特殊技术包括：

- 使用废气再循环技术；
- 使用带有多级送风系统的焦炉；
- 在碱性氧气转炉中采用抑制燃料。

二氧化硫

烧结料中硫化物的燃烧主要伴随产生二氧化硫（SO₂），主要通过焦炭渣引入³。炼焦炉燃

¹ 使用 ESP 或/和旋风除尘预处理和袋式除尘器结合，通常能达到标准状态下的 10~20 mg/m³ 的排放水平。

² 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）

³ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）



烧和粒化工艺中焙烧过程也会产生二氧化硫¹。从再加热炉到退火炉，废气中二氧化硫排放的水平取决于燃料中硫元素的含量。

《通用 EHS 指南》推荐了防控 SO₂ 排放的常规技术。推荐的防控 SO₂ 的其他特殊技术如下：

- 选取低硫含量的原料；
- 使燃料中的硫含量降低至最小；
- 在过滤前，向废气排气管内注入吸附剂，例如氢氧化钙[Ca(OH)₂]、氧化钙（CaO）、或者高 CaO 含量的飞尘；
- 在专门的收集和除尘系统中安装气体湿清洗系统；
- 使用湿清洗器，注入含有碳酸钙（CaCO₃）、CaO、或者Ca(OH)₂ 的浆料混合物²；
- 如果需要，还可使用一台干法再生装置³。

一氧化碳

一氧化碳（CO）的来源包括带式烧结机、炼焦炉、BOF、BF 和 EAF 产生的废气。在熔炼和还原工艺中焦炭氧化会产生 CO，电弧炉熔融精炼过程中金属浴中的碳和石墨电极氧化也会产生 CO。本指南推荐的降低 CO 排放，防控污染的技术如下：

- 完全收集炼焦炉、BF 和 BOF 产生的废气；
- 回收再利用含有 CO 的气体；
- 在电弧炉工艺中使用泡沫炉渣技术。

氯化物和氟化物

矿石中含有氯化物和氟化物，在烧结和粒化过程中会形成氢氟酸（HF）、盐酸（HCl）和金属氯化物。电弧炉工艺中排放的废气中可能会产生 HF 和 HCl，这取决于加入的废金属的质量。浸洗线（HCl 型）会产生氯化氢排放，所以必须使用 HCl 回收系统。本指南推荐的防控污染的技术包括：

- 使用干式除尘或者湿清洗设备，这两种设备也可以典型应用于控制颗粒物质和二氧化硫的排放；
- 通过原料筛选工艺控制氯的输入；
- 避免使用海水喷洒。

如果必须将氯元素从系统内排除，则富含氯元素的细颗粒粉尘不应再循环到烧结喂料处（尽管通常有利于循环所有含铁工业废渣）。

VOCs 和有机 HAPs

炼钢生产的很多环节都会产生挥发性有机化合物（VOC）和多环芳香烃（PAH），由于烧结和粒化过程的喂料环节进入了油（主要通过轧屑的加入），所以烧结和粒化过程的废气中会释放VOC和PAH；从炼焦炉、淬火、副产品车间会释放VOC和PAH；从EAF工艺中，尤其是当煤被像鸟巢一样加入到废钢篮车中的时候也会释放VOC和PAH。EAF工艺中，当废钢加入的时候会产生PAH，并伴随产生PAH⁴。碳氢化合物和油雾也会在冷轧（连轧）工艺中产生。本指南

¹ SO₂ 排放水平与燃料的含硫量（高炉煤气或焦炉煤气）有关，焦炉煤气的含硫量取决于焦炉煤气处理车间的脱硫工序。

² 这个设备通常可以去除 90% 以上的 SO₂。同时可以去除氯化氢（HCl）、氟化氢（HF）、氨气（NH₃）和金属。

³ 成本高，所以不如湿洗涤使用广。

⁴ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）



推荐的防控VOC排放的技术包括如下的综合工艺措施：

- 采用压洗的方法预处理轧屑，减少油的含量；
- 优化操作工艺，尤其是燃烧和温度的控制；
- 轧钢车间中通过使用“好主妇”技术将通过粉尘和轧屑带入的油减少到最少；
- 使用先进的排放收集和除雾系统（例如涂层袋式除尘器）；
- 废气再循环；
- 通过二次燃烧、化学清洗或者生物过滤的方法处理收集的废气。

二噁英和呋喃

烧结车间是多氯二苯并二噁英和氧芴（二噁英和呋喃或者PCDD/F）排放的主要源头。如果冶金工艺过程中存在氯离子、氯化物、有机碳、催化剂和氧气在适当温度的话就会产生PCDD/F。轧屑中油的含量会增加PCDD/F的排放。EAF废气也是可能产生PCDD/F排放的源头。入炉废钢（粉碎废钢主要从老设备获得）中可能含有的多氯化联二苯（PCB）、PVC和其他有机物都是令人担忧的来源，其很有可能产生PCDD/F。¹

本指南推荐的防控PCDD/F排放的技术如下：

- 废气再循环可降低污染物质排放，减少需要终端处理的气体排放量；
- 好的进料（例如粉尘）应该成块状；
- 使烧结床中氯化物的含量最小化，使用诸如煅石灰的填料，控制轧屑中油的含量（小于1%）；
- 去除烧结喂料中富含氯元素的细颗粒粉尘，使其不再循环；
- 熔炼过程使用干净的废钢；
- 二次燃烧EAF废气，达到1200℃以上的温度，使在这个温度下的驻留时间最大化，然后迅速淬火，使在二噁英生成的温度范围内的驻留时间最小化；
- 注入氧气，确保完全燃烧；
- 在过滤除尘之前向气体蒸汽注入添加粉末（例如活性炭），吸附二噁英（作为有毒废物在随后处理掉）；
- 安装带有催化氧化系统的纤维过滤器金属。

热工过程的废气浓烟中可能含有重金属。金属排放量取决于特殊工艺类型和原料的成分（铁矿和废金属）。从烧结车间、BF、BOF、EAF产生的颗粒可能含有锌（EAFs的排放指数最高，尤其是使用镀锌废钢时）、镉、铅、镍、汞、锰和铬。²

应通过高效除尘技术对金属颗粒排放进行控制，如上所说该技术也可应用于颗粒物排放控制。可通过先给气体降温再用袋式过滤器过滤的典型方法来控制气态金属的排放。

温室气体（GHGs）

炼钢厂是能量密集型工厂，会产生大量的二氧化碳（CO₂）。联合炼钢厂的GHG排放主要来源于矿石燃料（例如煤）的燃烧，目的是获得能量（热量）、矿石破碎、电能产品和使用石灰原料。每吨粗钢所产生的二氧化碳的平均密度估计是0.4tc/t。除了下文将讲到的部分特殊信

¹ 同上

² 欧委会关于钢铁生产的BREF文件（2001）；欧委会关于铁基金属加工工业的BREF文件（2001）。



息外，《通用 EHS 指南》中也包含了能效和温室气体管理的建议。

推荐的防控二氧化碳排放的技术包括：

- 使能量消耗最小化，通过初级方法提高能效，包括但不限于此：
- 适当的表面绝缘，限制热量散失；
- 控制空气/燃料比例，减小气流；
- 实行热回收系统；
- 用换热器回收废气中的热能，并作为燃料给水和空气加热，并且/或者产生蒸汽和电能。
- 实现良好的燃烧工艺，例如氧气充足、预热送风和燃烧工艺参数的自动控制；
- 预热干净废钢；
- 通过回收气体和/或者采用良好的燃烧控制，降低加热和热工处理中的燃料消耗；
- 选用热值一定、碳含量较低的燃料，如天然气（CH₄）天然气燃烧释放的二氧化碳的量大约是煤或焦炭燃烧释放的 60%；
- 在任何可能的地方回收能量，使用所有的工业废气（例如焦炉煤气，高炉煤气，碱性氧气转炉煤气），在高炉中安装高炉煤气余压发电装置（TRT）；
- 优化中间贮存装置，获得最大比率的热装、直装或直接轧制，从而降低再加热的需求；
- 在可能的场合使用近终成形铸造工艺和板坯连铸工艺。

固体废料和副产品

联合炼钢厂的绝大部分废渣都被回收再利用，通过各种类型的副产品、炉渣、氧化铁皮和粉尘等获得增值。废料包括 BF 中的炉渣、从 BF 废气清洗获得的细粉末和泥渣、从 BOF 废气清洗获得的细粉末、某些 BOF 炉渣、从静电除尘器的最后区域获得的高碱金属氯化物和重金属氯化物，以及从带状烧结机的废气处理中得到的废料。

根据《通用 EHS 指南》中对有毒物质的贮存指导，焦炉煤气处理车间从 COG 中回收的焦油和其他有机化合物（例如 BTX）应当妥善管理，避免泄漏和意外泄漏，也可回收重新在炼焦工艺中使用¹，或者出售用于其他工业用途。《通用 EHS 指南》还提供了固体和有毒废料的其他管理指南。

炉渣

炉渣可以作为副产品出售（例如 BF 炉渣或 BOF 炉渣可用于土木工程、道路建设和水泥生产）。EAFs 生产大量炉渣。如果回收再利用 EAF 炉渣在经济上和技术上不可行的话，就根据炉渣和废气处理中得到的粉尘的特点，采用垃圾掩埋的方式将它们处理掉。在选定炉渣场时应当考虑当地的地质条件。

金属废料

轧制和精炼工艺的金属废料和副产品（例如火焰清理的氧化皮/金属屑、火焰清理的粉尘、轧制鳞屑、水处理泥浆和轧屑淤渣、粉碎矿泥、油/油脂）应当回收再利用。某些副产品（例如含油的轧屑和水处理车间的粉碎淤渣）在循环使用前应当进行处理，例如根据工艺要求降低含

¹ 含有有机物的有毒工业废物应当被回收至焦炉。



油量。从过滤粉尘、炉渣和废金属中得到的金属，应当回收到烧结喂料处再利用。

酸

酸洗再生的淤渣可以回收至炼钢车间（EAF和高炉）再用，也可以用于生产氧化铁。盐酸再生得到的氧化铁可以作为高质量原料用于许多工业领域（例如铁磁性材料、铁粉或者建筑材料、颜料、玻璃和陶瓷的生产）¹。

泥渣处理

污水处理车间获得的淤泥可能含有重金属（例如铬、铅、锌和镍）、油和油脂。部分污水处理后的泥渣可能会被循环使用，或者倒入专门的垃圾填埋场。泥渣再利用之前需要经过预处理，通常包括压制、干燥和粒化处理。

退役废料

炼钢厂中的废置的废料可能包括含有石棉的绝缘材料，以及被煤贮存区、焦炉车间和焦炉气处理车间污染的土壤和地下水。《通用 EHS 指南》中介绍的有废料、废止行为和被污染土地的管理办法。

废水

污水通常在含有冷却水、雨水、冲洗水和多种不同工业污水的部分产生。冷却水通常会在工序中循环使用。冲洗水根据工艺不同可能含有悬浮固体、粉尘、润滑油和其他污染物。

本指南推荐的防止从冷却和冲洗操作中产生污水的措施包括：

- 建造一个供全厂使用的水循环厂，最大限度的提高水的利用率。通常 95% 以上的水能够得到循环再利用；
- 在有条件的地方使用干法除尘技术去除车间设备的粉尘，同时在排放或者循环使用冲洗水之前应当对其进行收集和处理；

收集溢出和渗漏的水（例如使用保险坑和排水系统）。

工业废水

工艺污水的来源包括炼焦车间、轧制工艺和酸洗车间。

炼焦车间：炼焦车间的污水包括从焦油/水分离器（包括炼焦工序中形成的水蒸气、冷却装置和 COG 清洗装置使用的冷凝水）排出的水、湿法氧化脱硫系统中的水及闭式冷却系统的水。

从焦油/水分离器得到的污水中含有高浓度的氨水。这种污水应该经过氨气提塔的处理，得到的液体仍然含有各种有机物（例如苯酚）和无机物（例如残留的氨水和氰化物）。炼焦车间应当安装一种专门处理苯酚的生物处理系统。

在某些情况下湿法熄焦会产生间歇的污水排放。过量的淬火水应当收集，用于下次淬火。

由于所采用的除尘系统的差异，湿法氧化脱硫工艺产生的污水中可能含有悬浮物（包括重金属）、PAHs、硫化物和氟化物/氯化物中的一种或多种。这类废水可能会对生物废水处理设备造成有害的影响。间接气体冷却水会被循环使用，不会影响废水的量。对于直接气体冷却，冷

¹ 欧委会关于铁基金属生产工业 BREF 文件（2001）。



却水应当被看作是洗液，最终通过蒸馏室排出。¹

轧制工艺：除磷工艺的废水包含悬浮固体、乳化状的油，另外还有粗糙的氧化皮。这类污水的处理包括一个沉淀池，在沉淀池内的固体主要是氧化铁，其会沉到池底，表面的油状污染物使用撇乳器去除，然后排放到收集池。轧制工艺的冷却水应当收集，在再利用之前需要进行处理。

酸洗车间：酸洗车间有三种工艺废水，包括漂洗水、废酸液和其他废水（例如从酸洗槽排气系统的烟尘吸收装置来的水和设备清洗的冲洗水）。最大体积的废水来自于漂洗，但是主要的污染物排放来自不连续的或间断的酸洗池酸水的更换²。

本指南推荐的防止酸洗车间产生污水的技术如下：

- 安装酸液回收和循环利用装置；
- 通过优化酸洗工艺，减小废水排放量，使污染物排放量达到最小；
- 液。使用逆流梯形酸洗，在一些情况下，使用酸再生设备回收酸洗

工艺废水处理

这部分处理工业废水的技术包括源头隔离和废水预处理。废水预处理的目的是：（1）使用空气吹脱氨气；（2）用生物处理的方法降低有毒有机物，如苯酚；（3）使用化学沉降、凝聚和絮凝等方法减少重金属等。典型的废水处理步骤包括油水分离或溶气浮选分离油和飘浮固体、过滤分离可过滤的固体、均流和负载均衡、使用澄清器使悬浮固体沉降、脱水和将残渣放置在设定的有毒废料垃圾填埋场。其他可能需要的工艺控制有：（1）使用分离膜或者其他物理/化学处理技术进一步去除金属；（2）使用活性炭或进一步的化学氧化方法去除难降解的有机物；（3）采用适当的技术（例如反渗透、离子交换法、活性炭等）降低液体有毒物质。废水处理方法通常包括使用石灰或氢氧化钠凝聚/絮凝/沉淀、修正pH值/中和、沉淀/过滤/浮选和油分离技术、活性炭法。³ 《通用EHS指南》中还介绍了其他废水管理技术。

《通用EHS指南》中讨论了工业废水的管理和处理方法实例。通过这些技术和有效的废水处理，设备应当达到这个工业文件第二部分的相关表格中列出的废水排放指导限值。

其他废水和耗水量

《通用EHS指南》中提供了对无污染的公共设施运行废水、无污染的雨水和生活污水的治理方针。污水应当排至工业污水处理系统。污染的雨水可能从煤、焦炭和其他原料的储存处产生。⁴ 储煤区周围的土壤可能被含有多环芳烃（PAHs）和重金属的高度酸性的渗滤液污染。工业领域具体行业的治理建议包括：

- 废钢和其他材料（例如焦炭和煤）应遮盖储存，并/或者储存在堤保护区，减小雨水的污染，收集污水；
- 设计加工区域，隔离污染的和未污染的雨水，安装溢出控制装置。设计从加工区域到废水处理单元的雨水流动通道；
- 设计渗出液收集系统和煤储存区，防止对土壤和水源的污染。设计煤储存区，隔离可

¹ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）

² 欧委会关于铁基金属生产工业的 BREF 文件（2001）

³ 欧盟 IPPC 发布的铁基金属生产工业 BAT 的 BREF 文件

⁴ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）



能被污染的雨水，在废水处理单元对其进行预处理或处理。《通用 EHS 指南》中介绍了减少耗水量的方法，尤其对于自然资源有限的地方。

噪声污染

联合炼钢厂制造车间产生噪声的源头很多，包括废金属和产品的处理、废气或副产品气体鼓风机、降温过程和通风机、大多数旋转设备、除尘系统、装炉、EAF 熔炼过程、燃料燃烧器、切割设备、盘条放线装置、传送系统和通风系统。减少、防控噪声的产生的方法推荐如下：

- 封闭工厂和/或者隔离建筑物；
- 覆盖和封闭废钢、板材/钢锭的贮存和处理区；
- 封闭鼓风机，隔离通风管，使用隔音装置；
- 采用电弧炉泡沫渣工艺；
- 需要时减少夜间废钢的处理和转运。

《通用 EHS 指南》中指出噪声消除措施应达到环境噪声水平。

1.2 职业健康与安全

综合钢铁工业设备建造、运行、维护及停用过程中存在的职业健康与安全问题，与其他工业设备的这些问题类似，其防控方法在《通用 EHS 指南》中有所论述。

另外，在钢铁工业活动中会发生的职业健康与安全问题如下：

- 物理性公害
- 热能和热的液体
- 辐射
- 呼吸危害
- 化学品危害
- 电气危害
- 噪声
- 覆埋危害
- 火灾和爆炸

物理性公害

《通用 EHS 指南》中提供了防止和控制一般物理性公害的建议。这里讨论工业领域具体的物理性公害。

联合炼钢厂操作中的潜在物理性公害是关于处理大而重的原料和产品（例如高炉和 EAF 装料、钢坯和厚钢板的储存和移动、移动装有铁水和钢水的大装料桶）、重型机械运输机（例如火车，卡车和叉车）、粉碎和切割操作（例如接触机械工具抛出的废钢）、轧制工艺（例如撞击和碾碎高速运转的材料和工艺）和高空作业（例如平台、云梯和楼梯）。

重载/粉碎和切割/轧制

炼钢厂中，使用液压升降机和起重机在提升高度下拉起和搬运重型负荷存在重大的劳动安



全危害。建议的防止和控制潜在的工人受伤的方法包括：

- 在所有的运输通道和工作区域设置清晰的标志；
- 合理设计和摆放设备，避免不同设备和流程的交叉作业；
- 实现特殊的负载处理和起重程序，包括：
 - 记录将要起重的负载（体积、重量、重心位置）
 - 规范使用的起重机（最大起重负荷，尺寸）
 - 培训员工使用起重机和驾驶机械运输装置
- 固定的处理设备（例如起重机，升降机）的操作区域不能与工人和预装区交叉；
- 原料和产品的处理应在监督下在指定区域内进行；
- 定期维护和修理升降机，电路和运输设备。

防止和控制粉碎、切割工序及废钢使用过程中的伤害的方法如下：

- 将机器固定安放在离其他工作区和人行道的安全距离内；
- 引导定期维护和修理机器，特别是防护屏和安全保护装置/设备；
- 培训员工正确使用机器和适当的个人防护用具（PPE）。

轧制工艺和操作中防止和控制危害的方法包括：

- 机座和掩护支架周围可能会有轧制的材料突然掉落轧制导轨，所以要安装格栅；
- 在运输铁轨上安装带有互锁门的运输盘，它只能在机器停止使用的时候打开。

热能和热的液体

高温和直接红外线辐射是联合炼钢厂常见的危害。高温会导致疲劳和脱水，直接红外线辐射可能会对视力造成损伤。潜在的同热金属和热水的接触可能发生在连铸的喷淋降温区、液态金属的飞溅和同热表面的接触。本指南推荐的防止和控制接触到高温和高温液体/材料的方法包括：

- 遮蔽与热机械或热材料飞溅物紧密接触的表面（例如焦炉设备、高炉、BOF、EAF、连铸、轧制设备的高温釜和装料桶）；
- 建立安全缓冲区，隔离热材料和产品（例如钢坯、厚钢板或装料桶）处理或暂时存放的区域。安全缓冲区的周围应当用围栏围起来，用互锁门控制操作过程中进入该区域；
- 使用适合的 PPE（例如绝缘手套和绝缘鞋、护目镜用以保护不受红外和紫外线辐射、防护服以免收到热辐射和钢水的飞溅）；
- 安装冷却通风系统控制极端的温度；
- 实行倒班，提供规律的工作休息时间，配备凉快的休息区和饮用水。

辐射

炼钢厂的设备和产品在生产过程中通常需要进行伽马射线检测，确保钢材的组成和质量。需要使用下面的措施来降低工人接触射线的危险：

- 伽马射线测试应用一个被隔离的扫描仪在受控的、受限的区域内进行。测试区域内不应进行其他任何的操作；



- 所有送进来的废钢在作为原料使用之前首先应检测放射性；
- 如果测试区域靠近设备边界，可使用超声波测试（UT）替代伽马射线测试；
- 定期维护和修理测试设备，及保护罩。

呼吸危害

绝缘材料

老设备中广泛使用石棉和其他矿物纤维，这会增加吸入致癌物的可能。推荐的管理措施包括：

- 应当请通过认证的专家完成对含有石棉的绝缘材料进行全厂范围的调查，并制定含有石棉的绝缘材料的管理计划；
- 被损的或易碎的材料应当被修复或者去除，其他材料可以被原地监控和管理。任何被认为含有石棉或者其他有毒物质的绝缘材料的处理都应在遵循国际公认的修复或去除工艺下由受过正规训练和认证的承包商和人员实施；
- 必须避免在新的设备和设备升级中使用石棉；
- 应当在被绝缘的部件（例如管道或者容器）下面和绝缘材料的下面层叠上 LDPE 薄片，防止表面被纤维污染。

粉尘和气体

联合炼钢厂的粉尘中包括铁和金属粉尘，其主要出现在 BF、BOF、EAF、连铸区、球团车间和烧结车间，还包括矿物粉尘，其主要出现在原料储存、BF 和炼焦车间中。

在以往的案例中，工人可能会接触到氧化铁和二氧化硅粉尘，这种粉尘可能会被诸如铬（Cr）、镍（Ni）、铅（Pb）、锰（Mn）、锌（Zn）和汞（Hg）等重金属污染。粉尘最主要来自于熔炼和铸造工艺（例如 BF、BOF、连铸），这部分粉尘由高温工艺产生，比轧制工艺的粉尘更细、更容易吸入。在原料储存、高炉和炼焦车间，工人会接触到矿石粉尘，这其中可能含有重金属。另外，BF 的出钢工艺可能引起石墨释放。

在实施高温操作的熔炼和铸造工艺中，工人可能暴露在气体吸入的危险中，这些气体中可能含有重金属。在 BF、BOF 和炼焦车间，工人可能暴露在吸入一氧化碳有毒气体的危险中。炼焦车间的吸入危害还包括二氧化硫和挥发性有机化合物（VOC）。在 COG 精炼车间，氨气、芳香烃、萘和多环芳烃的存在可能带来另外的吸入危害。

防止接触气体和粉尘的建议如下：

- 产生粉尘和气体的源头应当被隔离和封闭；
- 设计通风设施，最大限度的循环空气。排出的空气在排放到大气中之前应当过滤；
- 在主要的粉尘和气体排放点安装排气通风设施，尤其是 BF 的顶部、BOF 或 EAF；
- 如果操作人员需要，在污染区提供一个封闭的带有过滤空气调节装置的小屋；
- 提供隔离的就餐区，使员工能够在就餐前清洗；
- 提供一个能够使工作服和个人服装分开的场所，以及一个工作后清洗/淋浴的场所；
- 执行定期体检的政策。

在使用其他以下方法仍不可避免会接触危害物时，应使用吸入危害控制措施，例如焦炉重



新装料的操作中、诸如粉碎或非封闭机床的人工操作中以及特殊的维护和修理操作中。呼吸道保护的**建议措施**包括：

- 当暴露于重粉尘时（例如补炉工作），使用过滤呼吸器；
- 对轻质的、金属的粉尘和气体，应使用新鲜空气供给呼吸器。或者，使用带有电通风装置的完整的面部防毒面具（或者一个超压头盔）；
- 对于一氧化碳（CO）吸入，应当安装探测设备，给中控室和现场的工人预警。为了防止区域内高浓度的 CO 意外泄露，工人应当配备便携式 CO 探测器和新鲜空气供给呼吸器。

化学品危害

除了上述的吸入危害，联合炼钢厂的工人可能面临化学物质接触和摄入危害，尤其是在炼焦车间和 COG 精炼车间，这些地方存在萘、重油化合物和芳香烃。在《通用 EHS 指南》中推荐了防止接触或摄入化学物质的方法。

电气危害

由于整个联合炼钢厂中存在高负荷电气设备，工人可能面临电气危害。《通用 EHS 指南》提供了防止和控制电气危害的建议。

噪声

原料和产品的处理（例如矿石、废金属、钢板和棒材）以及生产工艺本身（例如高炉、BOF、EAF、连铸和轧制等）都可能产生过量的噪声。《通用 EHS 指南》中推荐了并讨论了关于防止和控制噪声的方法。

覆埋

矿石贮存区可能会存在工人被覆埋的风险，尤其在维护工作过程中（例如大的矿石料仓内部）更容易发生。防止掩埋的措施如下：

- 为矿石堆建立适当的隔离墙；
- 确保矿石堆和运输通道之间间隔一定距离；
- 针对在料仓内的作业制定并执行具体的安全措施（例如用于停止回填送料带和关闭填充口的确认系统/程序）；
- 培训员工，将矿石堆堆牢固并遵守工作规程。

爆炸和火灾

液态金属的处理可能引发爆炸，进而造成液态金属泄露、燃烧，尤其当湿气封闭在密闭的空间中时。其他危害包括液态金属、液体燃料以及其他易燃化学品引起的火灾。本指南推荐的防止和控制爆炸和火灾的措施如下：

- 在接触铁水和钢水之前，确保原料完全干燥；



- 合理安置设备，确保易燃气体、氧管线、易燃原料和液体与高温区域和火源（例如电路板）隔离；
- 在高温维修操作中，保护易燃气体、氧管线和可燃原料；
- 设计电气设备，防止在每个车间发生火灾（例如电压/电流设计和电缆绝缘度、保护电缆免受高温液体破坏、使用最低限度传播火灾的电缆）；
- 《通用 EHS 指南》中提供了应对突发事件的指导措施。

由于煤的新表面的自然氧化作用中的热效应，煤容易发生自燃^{1, 2}。联合炼钢厂的煤处理设备中的煤粉尘易燃，可能引发爆炸。本指南推荐的防止和控制煤粉由于贮存发生爆炸的技术如下：

- 使煤贮存的时间最小化；
- 煤管线不能设置在诸如蒸汽管线或检修孔等热源的上方；
- 贮存煤的装置应由不可燃材料制成；
- 设计贮存装置，使煤尘可以降落的表面积最小，同时需要安装除尘系统；
- 控制点火源，使其最小化，安装适当的接地装置以减小静电危害。贮存区内部的所有机械和电气设备或结构都应经过可在危险区域使用的认证，并配有安全火花控制器。

1.3 社区健康与安全

联合炼钢厂建造、运行和退役过程中的社区健康与安全影响与其他大多数工业设备相同，推荐的防控管理方法在《通用 EHS 指南》中有所论述。

2 指标与监测

2.1 环境

废气排放和污水排放指南

表 1 和表 2 介绍了该行业的污水排放和废气排放指南。该行业的污水排放和废气排放指导值是各国的相关标准在公认的法规框架内所体现的国际行业惯例。通过上文介绍的污染防控技术，我们可以知道，经过合理设计和操作的装置在正常的操作条件下是可以满足这些指南的要求的。

表 1 联合炼钢厂的废气排放标准^c

污染物质	单位（标准状态）	指导值
颗粒物	mg/m ³	20~50 ^a
油雾	mg/m ³	15
NO _x	mg/m ³	500

¹ NFPA 850: 电厂和高压直流环流站消防规程建议（2000 版）。

² NFPA 120: 煤矿消防控制标准（2004 版）。



		750 (炼焦炉)
SO ₂	mg/m ³	500
VOC	mg/m ³	20
PCDD/F 二噁英毒性当量	ng/m ³	0.1
一氧化碳 (CO)	mg/m ³	100 (EAF) 300 (炼焦炉)
铬 (Cr)	mg/m ³	4
镉 (Cd)	mg/m ³	0.2
铅 (Pb)	mg/m ³	2
镍 (Ni)	mg/m ³	2
氯化氢 (HCl)	mg/m ³	10
氟化物	mg/m ³	5
氟化氢 (HF)	mg/m ³	10
H ₂ S	mg/m ³	5
氨	mg/m ³	30
安息香酸盐	mg/m ³	0.1
焦油	mg/m ³	5

注释：

a 在有毒金属存在的地方该值偏低。

b 焦油是经过滤膜收集的所有物质中能够被溶剂溶解提取的有机物。

c 相关限定条件。对燃烧气体：干燥，温度 273K (0°C)，压强 101.3 kPa (1 个标准大气压)，对于液体和气体燃料干燥气体的氧气含量为 3%，对于固体燃料氧气干燥含量为 6%。对非燃烧气体：无需调整水蒸气和氧气的含量，温度 273 K (0°C)，压强 101.3 kPa (1 个标准大气压)。

表 2 联合炼钢厂的污水排放标准

污染物质	单位	指导值
pH	—	6~9
TSS	mg/L	35
油脂	mg/L	10
增温	°C	<3 ^a
COD	mg/L	250
苯酚	mg/L	0.5
镉	mg/L	0.01
铬 (总)	mg/L	0.5
铬 (六价)	mg/L	0.1
铜	mg/L	0.5
铅	mg/L	0.2
锡	mg/L	2
汞	mg/L	0.01
镍	mg/L	0.5
锌	mg/L	2
氰化物 (游离)	mg/L	0.1
氰化物 (总)	mg/L	0.5



总氮	mg/L	30
氨	mg/L (氮元素重量)	5
总磷量	mg/L	2
氟化物	mg/L (F 元素重量)	5
硫化物	mg/L	0.1
铁	mg/L	5
PAH	mg/L	0.05
有毒物	根据不同标准确定	

注：a 在按科学的方法建立的混合区域的边缘，将周围环境的水质、受纳水的使用、潜在受体及同化能力纳入考虑范围。

废气排放指南适用于处理废气排放物。与热能消耗不高于 50 兆瓦的热电生产相关的燃烧源排放物管理指南，请参见《通用 EHS 指南》。能耗更高的燃烧源排放物管理指南，请参见火电行业 EHS 指南。《通用 EHS 指南》还包含基于总排放量的环境研究指南。

废液处理指南适用于已处理废液直接排放到常规用途的地表水中。特定场地的排放水平可以按照公共经营的污水回收和处理系统的可行性及特定条件设定；或者，如果废液直接排放到地表水中，排放水平可依据《通用 EHS 指南》中规定的受水区的用途分类设定。这些废液必须在工厂设备或生产机器年运行时间至少 95% 的时间范围内，在不经稀释的情况下达到以上排放水平。在环境评估中，所产生的水平偏差应当根据当地特定的项目环境进行调整。

环境监测

该行业的环境监测项目的执行应当面向在正常操作和异常条件下可能对环境产生重大潜在影响的所有生产活动。环境监测活动应当以适用于特定项目的废气、废水和资源利用的直接或间接指标为基础。

环境监测的频率应当足以为监测参数提供具有代表性的数据。环境监测应由受过系统训练的人员使用经正确校准的、维护良好的设备按照检测和记录程序进行。监测得出的数据应经定期分析和检查，并与操作标准相对比，以便采取合适的矫正行动。《通用 EHS 指南》中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

资源利用、废气排放和废弃物生成

表 3 列举了这一行业能源和水资源消耗基准，表 4 例举了废气排放和废弃物生成基准。行业基准值仅用于比较，单个项目应以不断改进为目标。

表 3 资源及能源消耗⁽¹⁾

单位产品能源 或资源消耗	质量负荷单位	工业标准					
		烧结	炼焦	BF	BOF	EAF	轧制
直接电能	MJ/t	90~120	20~170	270~370	40~120	1 250~ 1 800	70~ 140 (kW·h)/t
燃料	MJ/t	60~200	3 200~3 900	1 050~2 700	20~55	—	1 100~2 200



水	m ³ /t	0.01~0.35	1~10	1~50	0.5~5	3	1~15
---	-------------------	-----------	------	------	-------	---	------

参考：

(1) 欧洲 IPPC 局发布的“钢铁生产的 BREF 文件”和“黑色金属加工工业 BAT 参考手册” 2001 年 12 月。

表 4 废水/废气排放

单位产品排放量	单位	工业标准					
		烧结	炼焦	BF	BOF	EAF	轧制
废水 ⁽¹⁾⁽²⁾							
颗粒物	kg/t	0.04~0.4	0.05~3.5	0.005	0.2	0.02	0.002~0.040
CO	kg/t	12~40	0.40~4.5	0.8~1.75	1.5~8	0.75~4	0.005~0.85
NO _x	kg/t	0.4~0.65	0.45~0.7	0.01~0.6	—	0.12~0.25	0.08~0.35
VOC	kg/t	0.15	0.12~0.25	—	—	—	—
PCDD/F 二噁英毒性当量	(μg-L) / t	1~10	—	—	—	0.07~9	—
废物 ⁽¹⁾	—	烧结	炼焦	BF	BOF	EAF	轧制
固体废物	kg/t	0.9~15	—	200~300	85~110	110~180	70~150
泥渣	kg/t	0.3	—	3~5	—	—	—
废水	m ³ /t	0.06	0.3~0.4	0.1~3	—	—	0.8~15

参考：

(1) 欧洲 IPPC 局 2001 年 12 月发布的“钢铁生产的 BREF 文件”和“黑色金属加工工业 BAT 文件中的相关文件”。

(2) 英国环保署。2001, 2002. 技术指南。IPPC S2.01, S2.04.标准值。

2.2 职业健康与安全

职业健康与安全指南

职业健康与安全性能应按国际公认的接触风险指南进行评估，包括美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH)¹ 发布的阈值 (TLV®) 职业性接触指南和生物接触限值 (BEI®)，美国职业安全健康研究所 (NIOSH)² 发布的危险化学品的袖珍指南，美国职业安全健康局 (OSHA)³ 发布的允许接触极限 (PEL)，欧盟成员国⁴ 发布的指示性职业接触限值以及其他类似资源。

事故率和死亡率

各种项目均应尽全力保证参与项目的工人（不管是直接雇佣或是间接雇佣的工人）的生产事故为零，尤其是那些会导致误工、不同等级残疾或甚至死亡的事故。设备生产率可以参考相

¹ 可登录 <http://www.acgih.org/TLV/>和 <http://www.acgih.org/store/>查询相关信息

² 可登录 <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>查询相关信息

³ 可登录 http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992 查询相关信息

⁴ 可登录 http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/查询相关信息



关机构（如美国劳工部劳动统计局和英国健康与安全执行局）¹发布的信息，按照发达国家的设备性能设定基准。

职业健康与安全监测

应当对工作环境进行监测，以发现特定项目的职业危险物。作为职业健康与安全监测项目的一部分，监测操作应当委派专业人员²制定并执行。管理者还应记录事故、疾病和危险事件。环境健康与安全通用指南中介绍了职业健康与安全监测项目的其他指南信息。

3 参考文献和其他资料来源

- [1] Australian Government Department of the Environment and Heritage. NPI National Pollutant Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Iron and Steel Production. Canberra: Environment Australia, 1999. http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/pubs/fironste.pdf.
- [2] Environment Canada. National Office of Pollution Prevention (NOPP). Environmental Code of Practice for Integrated Steel Mills. Section 4 Recommended Environmental Protection Practices. EPS 1/MM/7 – March 2001. Ottawa, ON: Environment Canada, 2002. <http://www.ec.gc.ca/nopp/docs/cp/1mm7/en/cov.cfm>.
- [3] European Commission. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference (BREF) Document on Best Available Techniques (BAT) on the Production of Iron and Steel. Seville: EIPPCB, 2001.
- [4] European Commission. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference (BREF) Document on Best Available Techniques (BAT) in the Ferrous Metal Processing Industry. Seville: EIPPCB, 2001.
- [5] German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety [Bundesministerium Umwelt, Naturschutz and Reaktorsicherheit (BMU)]. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin: BMU, 2002. http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php.
- [6] German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance-AbwV) of 17. Berlin: BMU, June 2004. http://www.bmu.de/english/water_management/downloads/doc/3381.php.
- [7] Helsinki Commission (Helcom). Reduction of Emissions and Discharges from the Iron and Steel Industry. Recommendation 24/4. Helsinki: Helcom, 2003. http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec24_4/.
- [8] International Labour Organization (ILO). Safety and Health in the Iron and Steel Industry. ILO Codes of Practice (2nd edition). Geneva: ILO, 2005. <http://www.ilo.org/public/english/support/publ/textoh.htm>.
- [9] Irish Environmental Protection Agency (EPA). BATNEEC Guidance Note for Forges, Drawing Plants and

¹ 可登录 <http://www.bls.gov/iif/> 和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> 获取相关信息

² 有适当资质的专业人员包括有执照的工业卫生学家、注册执业卫生学家或有执照的安全专家及相关人员。



- Rolling Mills and For Pressing, Drawing and Stamping of Large Castings (Draft 3). Classes 3.2 & 3.8. Draft 3. Dublin: EPA, 1996. <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>.
- [10] Irish EPA. BATNEEC Guidance Note for Production of Iron or Steel. Class 3.1. Draft 2. Dublin: EPA, <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>.
- [11] Italian Interministerial Commission. Produzione e Trasformazione dei Metalli Ferrosi, Linee Guida per le BAT (Production and Manufacturing of Iron-Best Available Techniques Guidelines, Draft): Rome, 2006.
- [12] Paris Commission (Parcom; now OSPARCOM). Recommendation 92/2 Concerning Limitation of Pollution from New Primary Iron and Steel Production Installations. Paris: OSPAR, 1992.
- [13] Parcom. Recommendation 92/3 Concerning Limitation of Pollution from New Secondary Steel Production and Rolling Mills. Paris: OSPAR, 1992.
- [14] United Kingdom (UK) Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Secretary's State Guidance for Iron Steel and Non-Ferrous Metal Process. Process Guidance Note 2/4 (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/lapc/pgnotes/pdf/pg2-04.pdf>.
- [15] UK Department for Environment Her Majesty's Inspectorate of Pollution (HMIP). Processes Subject to Integrated Pollution Control. S2 1.06: Carbonisation Processes: Coke Manufacture. London: HMSO, 1995.
- [16] UK Environmental Agency. IPPC S2.03. Technical Guidance for Non-Ferrous Metals and the Production of Carbon and Graphite Sector. Version 1: January 2002. Bristol: Environmental Agency. Available at http://www.environmentagency.gov.uk/business/444304/444369/673298/?version=1&lang=_e.
- [17] UK Environmental Agency. 2004. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). S2.01: Guidance for the Production of Coke, Iron and Steel. Issue 1. Bristol: Environment Agency, June 2004. http://www.environmentagency.gov.uk/business/444304/444369/673298/?version=1&lang=_e.
- [18] UK Environmental Agency. IPPC S2.04. Guidance for the Hot Rolling of Ferrous Metals and Associated Activity Sector. Issue 1. Bristol: Environmental Agency, February 2004. http://www.environmentagency.gov.uk/business/444304/444369/673298/?version=1&lang=_e.
- [19] University of Karlsruhe, French-German Institute for Environmental Research. Report on Best Available Techniques (BAT) in the Electric Steelmaking Industry. Karlsruhe: University of Karlsruhe, 1997. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2488.pdf>.
- [20] United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 40CFR Part 60. Subpart AAa—Standards of Performance for Steel Plants, Electric Arc Furnaces and Argon-Oxygen Decarburization Vessels Constructed Washington, DC: US EPA, August 17, 1983.
- [21] US EPA. 40CFR Part 60. Subpart Na—Standards of Performance for Secondary Emissions from Basic Oxygen Process Steelmaking Facilities Washington, DC: US EPA, January 20, 1983.
- [22] US EPA. Office of Compliance. Sector Notebook Project Profile of the Iron and Steel Industry. EPA/310-R-95-005. Washington, DC: US EPA, 1995. <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/ironstlpt1.pdf>.
- [23] US EPA. Technology Transfer Network. Clearinghouse for Inventories and Emissions Factors & AP 42.



- Volume 1, Fifth Edition. Chapter 12. Metallurgical Industry. Washington, DC: US EPA, 1995. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>.
- [24] US EPA. 40CFR Part 63: National Register Environmental Protection. Subpart CCC: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Steel Pickling – HCl Process Facilities and Hydrochloric Acid Regeneration Plants. Washington, DC: EPA, 1999.
- [25] US EPA. 40CFR Part 420. Iron and Steel Manufacturing Point Source Category. Washington, DC: US EPA, 2002.
- [26] US EPA. 40CFR Part 63: National Register Environmental Protection. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Integrated Iron and Steel Manufacturing. Washington, DC: US EPA, 20 May, 2003. <http://www.epa.gov/ttn/atw/iisteel/fr20my03.pdf>.
- [27] US EPA. 40CFR Part 63: National Register Environmental Protection. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Coke Ovens: Pushing, Quenching and Battery Stacks. Final Rule. Washington, DC: US EPA, April 14, 2003. http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/fr_notices/copqbs_fr.pdf.
- [28] US EPA. 40CFR 63: National Register Environmental Protection Agency: National Emission Standards for Coke Oven Batteries. Washington, DC: US EPA, April 15, 2005. http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr_notices/15318cokeovenfin.pdf.
- [29] US National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations, 2000 Edition. Quincy, MA: NFPA, 2000. http://www.nfpa.org/aboutthecodes/list_of_codes_and_standards.asp.
- [30] US NFPA. NFPA 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines, 2004 Edition. Quincy, MA: NFPA, 2004. http://www.nfpa.org/aboutthecodes/list_of_codes_and_standards.asp.

附件 A：行业活动的通用描述

钢铁生产中主要使用的方法包括高炉/碱性氧气转炉（联合炼钢厂）、废钢或生铁的直接熔炼（电弧炉）和很少使用的直接还原（DRI）工艺。综合炼钢是一个复杂的工艺，涉及原料和能量在多个生产车间的流动，包括烧结或球团车间、炼焦车间、高炉车间、碱性氧气转炉和连铸车间。铸钢经过轧制（冷轧和/或热轧）得到最终产品。

烧结车间¹

矿石需要经过物理的和冶金学的准备，以提高透气性和还原性。烧结前，原料需要混合均匀，可能会加入一些助熔剂。混合完后，将矿石混合物从准备料箱运到储存料箱。烧结工艺通常使用粉焦作为燃料（粒径小于 5 mm 的细粉焦）。将矿石混合物和粉焦混合、湿化，促进微球的形成，这有利于提高矿石在烧结床上的透气性。

烧结车间主要由一个由耐温铸铁制成的大的链条炉排构成。被烧结的原料层叠在烧结床上形成 400~600 mm 厚的烧结层，但老车间的烧结层通常较薄，并置于一层薄的回收熔渣上。底部的这层可以保护烧结炉不受燃烧混合物直接加热。烧结炉经过一个气体燃烧器点燃混合物中

¹ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）



的粉焦，开始在整个烧结床进行倒焰处理。烧结混合物在炉内运行时，燃烧面是向下的，并穿过混合物。这会产生充足的热量（1 300~1 480℃），烧结细颗粒物质，使其团聚形成多孔渣块。产生的废气在排放前要经过处理，去除粉尘。将得到的烧结物碾压、粗筛，以得到合适尺寸的高炉炉料。

粒化车间¹

粒化是为初级钢铁生产准备氧化铁原料的另一个工艺。通常在矿场或矿石装船的港口会采用高温将原料（粒径小于 0.05 mm 的细矿石和添加剂）粒化成 9~16 mm 的球矿。

粒化工艺包括粉碎、干燥或脱水、成球和硬化。在粒化前，要碾压粉碎矿石，使矿石能够成球。水分被控制在 8%~9%。粒化原料与添加剂混合，再被加工成 9~16 mm 的球（生的），然后再加热到接近 1 250℃（硬化），在氧化和烧结过程中制得高强度小球。硬化工艺结束前，通过空气冷却球矿，粒径偏小或碎的小球通常回收再利用。

炼焦

通过高炉还原铁矿生产钢材的联合炼钢厂需要稳定的焦炭供应。焦炭的主要作用是在高炉内通过化学方式还原氧化铁变成铁水。焦炭作为燃料使用，给料柱提供物理支撑，并且使气体在高炉内可以自由流动。因此焦炭的生产与使用铁矿的联合炼钢厂密切相关。焦炭是通过高温还原（例如在隔绝空气的条件下加热）适当级别的煤制得。焦炭生产中，烟煤被喂入一组密封的、加热至高温的炉中，隔绝氧气。操作工艺包括下面几步：装煤、加热/燃烧、焦化、推焦和淬焦。²

通过加热墙将各个炼焦室分隔开。这些炼焦室都配有一定数量的加热管道，加热管道带有多个燃料喷嘴和一个或多个进气箱。通常，不但清理过的焦炉煤气可以用作燃料，而且其他气体例如（高浓度的）高炉煤气也可用作燃料。在焦炉下面安装一个蓄热室，通过烟气加热要燃烧的空气和气体燃料，提高能源利用率。

装煤后立即开始碳化过程。挥发性有机化合物（VOC）从煤中释放出来，形成焦炉煤气（COG）。留在焦炉内的固体碳就是焦炭。根据焦炉的宽度和加热的条件，炼焦过程要持续大约 14~24 小时。用推焦车的碎铁落锤将焦炭推出焦炉装到贮存器中。贮存器将热焦炭运至淬火塔，通过循环注入的气体（氮气）干法熄焦。¹ 如果使用湿法熄焦（通常老车间采用），会使用处理过的（不含苯酚）废水。

这部分工艺还包括副产品焦炉煤气的处理，去除焦油、氨气（通常回收转化成硫酸铵）、苯酚、萘、BTX、轻质油和硫磺，处理后的 COG 可以作为燃料使用，加热焦炉或者用于其他方面。

为了降低焦炭生产对环境的污染，应避免生焦推送（煤没有被完全碳化），最好使用含硫量低的或者脱硫后（清洗后）的煤。应当回收利用炼焦工艺中的气体和焦油，清理气体中的二氧化硫，特别是当使用高硫煤的时候。

¹ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）

² 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）



高炉 (BF)

高炉 (BF) 是一个密闭系统, 原料从高炉顶部加入, 产品 (铁水和炉渣) 从底部 (炉缸) 被敲击出缸。含有铁的原料 (碎铁矿、熔渣和/或球矿) 和添加剂 (造渣剂, 例如石灰石) 的混合物被称作“入炉原料”。防止炉内气体溢出, 入炉原料和焦炭一起通过高炉顶部的密封装料系统加入。固体入炉原料逆着热还原气体的上升气流落下。热还原气由热风炉提供, 需要将热量传递给固体入炉料, 从而提高反应温度。从高炉顶部收集带有残余热量的BF气, 以便后续处理和使用。²

定期将熔融的生铁和炉渣从炉缸中敲击出来。为此在炉缸内壁开设一个放液口。出缸的金属温度大约 1 440~1 500°C。现代的高炉中, 生铁和炉渣一起出缸 (通常炉渣在热金属之后出缸)。从高炉出来的炉渣和生铁沿着耐火的或低水泥涂覆渣沟流动, 通过铸造室的撇渣器分离, 然后各自在不同的出缸槽中继续流动。熔融的生铁被倒入装料桶或鱼雷罐中。出缸槽中的炉渣流到造粒设备、炉渣桶或者露天凹坑中。在浇铸过程后, 使用一个所谓的“泥枪”注入耐热的放液口黏土混合物封住放液口。³

BF 的主要污染物排放来自出钢操作, 主要产生氧化铁颗粒和石墨。这些颗粒物通常被铸造室内的排烟罩收集、引导至织物过滤器。炉渣的降温和处理会产生大量的 H₂S 和 SO₂。在热金属转移到炼钢车间的过程中, 会产生一些无章排放, 包括氧化铁和石墨片。从气体清洁系统收集的粉尘和泥渣可以回收到烧结车间或者送至固体废品处理点。

BF 气体清洁、炉渣降温和加工过程中会产生废水排放。利用再循环技术, 将剩下的废水经过处理去除固体、金属和油之后再排放。炉渣是主要的固体副产品。炉渣的处理方式很多, 包括粒化、淬火降温、粉碎和筛分。炉渣可以作为副产品出售, 主要卖给水泥和建筑行业。

碱性氧气转炉 (BOF)⁴

碱性氧气转炉 (BOF) 和电弧炉 (EAF) 工序是将 BF 生产的生铁转化成钢的常用方法。注入氧气氧化金属原料中多余的杂质。被转化成氧化物的主要元素是碳、硅、锰、磷和硫。氧化反应将碳的含量降低到指定的水平 (从大约 4% 降至低于 1%, 但通常更低), 同时去除杂质。BOF 法炼钢的钢材生产是间歇过程, 包括热金属预处理 (脱硫)、BOF 内的氧化反应 (脱碳和杂质的氧化)、BOF 炼钢后的钢包二次精炼和铸造 (连铸和/或锭铸)。

BOF 之前, 在分离处理站进行脱硫。最常见的热金属脱硫方法是碳化钙法, 借助氮气将碳化钙通过气枪吹入到热金属内。硫留在炉渣中, 流动时炉渣处于热金属的上部。随后炉渣被去除。在某些情况下, 需要使用炉渣刮板进行二次除渣。随后生铁被装入 BOF。⁵

碱性氧气转炉工艺是间歇操作。完整的工艺包括下面的阶段: 废金属和生铁水的装料、吹氧、取样、温度记录和出钢。在现代钢铁厂中, 在 30~40 分钟的周期内可生产大约 300 吨的

¹ 同上 1

² 同上

³ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件 (2001)

⁴ 同上

⁵ 同上



钢材。工艺中需要加入几种添加剂来控制钢质，形成炉渣。向炉内吹入氧气，通过放热的氧化反应提供升温 and 熔化加入原料的所需要的能量，所以不需要额外的热量输入，废钢和铁矿就能被加热至平衡。

氧气消耗的量取决于热金属的成分（例如主要是碳、硅和磷的含量）。当钢质达到要求时，停止吹氧，将粗钢从 BOF 中出缸并装入装料桶。

BOF 中的氧化工艺之后通常伴随着后处理，包括多种金属化工艺和所谓的“二次冶金”，这种后处理有利于提高质量要求。二次冶金的主要目的包括混合和均匀化、调整化学组分、调整温度、脱氧、去除不合要求的气体（例如氢气和氮气）和通过分离非金属杂质提高氧化物纯度。这些工序在钢桶或钢包炉内进行，需要真空条件，或者可以在特别设计的熔炉内进行。经过后处理的熔融钢被转移到铸造设备。¹

电弧炉 (EAF)

废钢材在电弧炉 (EAF) 内熔化后可以被制成钢材。废金属通常要在特殊熔炉内预热，然后同石灰或白云石一起入炉，石灰和白云石作为炉渣的助熔剂。开头通常加入约 50%~60% 的废金属。把电极降低到废金属处。在废金属上方 20~30 mm 处释放电弧。第一次的装料熔化后，再加入剩下的废金属。²

熔化初期使用功率要低，防止辐射损害炉壁和炉顶，直到电极埋入废金属中。电弧一旦被周围的废金属包围，就增大功率完成熔炼。在熔炼的早期经常使用氧气割刀和/或氧燃料割刀帮助熔炼。氧气可能通过 EAF 顶部或侧壁上的特殊喷嘴注入到液态钢中。燃料包括天然气和油。

通常通过附近的排烟罩收集由废金属装料、吹氧、出钢、热金属转运和钢渣处理所产生的无章污染排放，并通过纤维过滤器除尘。钢包冶金工艺和脱气工艺所排放的少量颗粒物通常被收集，并经过纤维过滤器净化。

脱气工艺也会产生一些废水排放。主要的固体废物包括钢渣壳、炉渣和耐火废物。其他的固体废物包括废水处理泥渣和干燥粉尘收集器收集的粉尘。由于使用加入了大量的外部（脏的）废金属，所以粉尘内可能含有二噁英和呋喃。钢渣壳通常回收利用，炉渣粉碎筛选后回收或出售，其他固体废物也适当回收或者放至垃圾掩埋场。EAF 需使用大量的电能。

平炉炼钢技术也称作西门子-马丁工艺，已经过时，不再是先进的工业技术。它会危害钢质并对环境造成严重的污染。

直接还原

在直接还原工艺中，通过还原气体将固态的氧化铁块和铁矿石还原（去除氧）成金属铁。工艺温度低于 1 000℃。生产出的固体产品称作直接还原铁 (DRI)。从环境的角度看这个工艺具有先进性，主要是因为它能使用粒化的或者块状的矿石，但是，这个工艺主要在生产特殊钢材或者在天然气价格具有竞争性的地方使用。

¹ 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）

² 欧委会关于钢铁生产的 BREF 文件（2001）



铸造、轧制和精炼

进一步的炼钢工艺包括铸造、热轧、成型、酸洗、冷轧、拉丝和涂镀。连铸工艺避开传统铸锭的一些步骤，直接将钢材铸成钢片或钢坯，通常能提高 10%~12% 的生产效率。热钢通过一系列的热轧和成型工序转变成一定的尺寸和形状，从而生产出半成品和成品钢制品。

钢水经过二次冶金后被转移到连轧设备（CCM）的“中间包”中。这是一个可以控制出料的中间钢桶。在装入钢水前，钢桶需要预热，防止中间罐内形成温度层。钢水达到设定温度时被倒入中间包中。从中间包出来，钢水在隔绝空气的条件下注入一个水冷铜制模具，模具不停震动防止钢材粘连。模具使钢材变成需要的形状。金属离开铸模时，表面固化的钢材形成了，然后大量的轧辊将铸钢平缓的导入到横焊位置。在此使用火焰切割机切割未断的铸钢。钢板、钢块和钢坯都通过这种方式铸造而来。

在模铸中，钢水浇铸到铸模中。降温后，从铸模中取出铸锭，转移至轧制设备。预热后，铸锭被轧制成钢板、钢块或钢坯。如今大部分模铸已经被连铸工艺取代，除了一些需要模铸获得特定质量的产品（例如生产锻造用的重型产品）。

热轧工艺包括加热钢板（钢坯和钢块）、轧制和成型。多种热成型机（主要的、部分的、平板、管状、线型、钢筋和型钢）制造出多种钢制品。长形的制品可通过热轧钢坯制成钢筋，或进一步的轧制拉伸成线，有时还进行涂镀。冷轧或拉伸前，需要对钢材进行酸洗（含有硫酸或盐酸的无机酸水溶液），用化学方法去除钢材表面的氧化物即氧化皮。其他去除氧化皮的方法有盐浸和电解酸洗。

冷轧在热轧之后进行，用于生产薄带钢或者表面高光洁度的带钢。将润滑剂在水中乳化后使用以获得较高的表面质量，并防止过热。为了使带钢降温并得到预期的性能，可以使用水、油和/或铅浴的方法。

PM 和金属的废气排放出现在热金属转移到模具的过程和使用氧燃料切割枪切割产品的过程。热成型工艺中产生的废气排放包括燃料在加热炉内燃烧产生的气体和轧制过程产生的 VOC 以及润滑油。其他主要的废气排放包括酸洗过程和酸再生设备产生的酸雾（如果使用酸再生设备的话）。给热金属降温时会产生废水排放，废水中含有高压水除锈过程中产生的鳞屑和油，还有悬浮固体和油脂。酸洗水、酸雾清洗器、酸再生设备清洗器和碱清洗过程是主要的废水排放来源。固体废物产生于切割钢材，但是这些废物通常会被回收再利用。

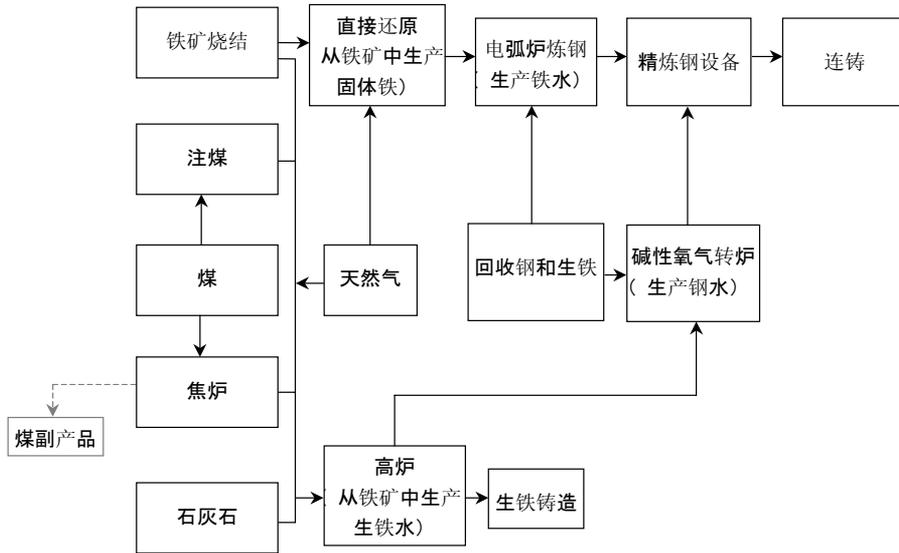


图 A.1 联合炼钢厂的生产工序

来源：根据美国钢铁协会 (AISI) 改编

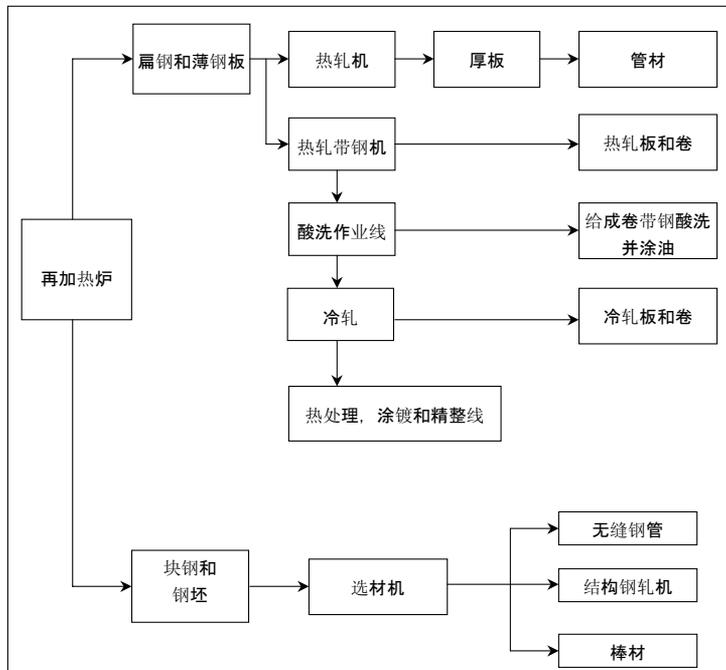


图 A.2 联合炼钢厂的精炼工艺

来源：根据美国钢铁协会 (AISI) 改编

