



# 铸造业环境、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。<sup>1</sup>。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

铸造业的EHS指南包含有关钢铁及有色金属（主要是铝、铜、锌、铅、锡、镍、镁、钛）铸造项目及生产设施的信息。有色金属相互组合或与四十余种其他元素组合进行铸造，可生产出多种有色金属合金。本指南涉及砂铸，包括型砂的准备与再生，以及铝、锌、镁的高、低压铸。除上述工艺之外，本文件还涉及DISA技术。但本文件不包含有关半成品深加工的内容。本文由以下几部分组成：

### 1 具体行业的影响与管理

<sup>1</sup> 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。



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

本章概述铸造业在操作阶段发生的 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 问题的建议包含于《通用 EHS 指南》。

### 1.1 环境

铸造业主要涉及下列环境问题：

- 废气排放
- 固体废物
- 废水
- 噪声

#### 废气排放

##### 灰尘和颗粒物

铸造工艺的每一个步骤都会产生具有不同矿物氧化物、金属（主要是锰和铅）以及金属氧化物含量的灰尘和颗粒物。粉尘排放主要产生于高温（如熔化炉）和化学/物理（如造型和制芯）过程以及机械作用（如原料处理（主要是沙子）、振动清砂以及清理工序）。

建议采取以下措施预防和控制粉尘的无组织排放：

- 使用气力输送系统，特别是在向作业区域转移和投送添加剂时；
- 使用带有粉尘控制传送点的密封式输送机，特别是往成型车间运砂时；
- 清洁输送机传送带系统的回空带，以去除松散粉尘；
- 使用室内的或带顶棚的仓库，或在不可避免情况下需露天储存时，使用水喷淋系统、抑尘剂、防风设施及其他储存管理技术；
- 使用封闭筒仓储存散装粉状物料；
- 执行定期工厂维护以及优良厂房管理制度，尽可能减少小的泄漏和溢漏。

在熔化过程中，颗粒物排放主要以灰尘、金属材料及金属氧化物烟雾的形式出现，排放量取决于炉型、燃料、被熔化的金属及其熔融特性。冲天炉的颗粒物（如焦炭、粉煤灰、硅石、锈和石灰石）生成量最大。电弧炉在装料、开始熔化、注氧以及脱碳过程中也是一个重要的颗粒物来源。颗粒物排放率较低的主要是其他炉型，特别是感应炉。金属熔化的颗粒物排放量以装料量为基础衡量，范围从某些有色金属熔化时的可忽略不计直到用冲天炉<sup>1</sup>熔化铸铁时的 10 公斤每吨（kg/t）。

<sup>1</sup> 欧洲委员会. 2005.综合污染防治（IPPC）. BAT 技术标准（BREF） 锻造和铸造工业。



建议采取以下防污染技术：

- 尽可能使用感应炉；
- 避免使用开放式平炉进行钢铁熔炼；
- 避免使用传统的冲天炉技术。使用冲天炉技术时，应采取下列改进工艺提高熔化炉的能源效率，减少焦炭投料：
  - 使用注氧或鼓风技术；
  - 在热风冲天炉中使用过热鼓风技术；
  - 使用无焦炉，用天然气燃烧的热量加热金属料。
- 采用降低熔化炉能耗的技术（如安装氧燃料燃烧器、在电弧炉中采用泡沫渣技术或采用氧气注入技术等）；
- 为冲天炉安装废气收集罩、为电弧炉安装排风罩、为感应炉安装覆盖罩以降低颗粒物的无组织排放。安装适当的炉罩系统有助于捕获高达 98% 的熔化炉粉尘<sup>1</sup>。
- 使用粉尘控制技术，通常包括安装袋式除尘器和旋风除尘器，以控制熔化过程中的废气排放。湿式洗涤器可用于捕捉水溶性化合物（如二氧化硫和氯化物）。通过用旋风除尘器进行预处理并使用袋式除尘器通常能使废气排放量降至标准状态下 10 mg/m<sup>3</sup> 或更少<sup>2</sup>。

大量沙子用于失型铸造，会在各个不同的成型阶段产生粉尘排放，并产生非金属微粒、金属氧化物微粒以及金属铁。铸造、振动清砂以及清理过程中也会产生非金属微粒。

建议采用以下技术预防和控制铸造和成型工艺产生的微粒物质：

- 使用干式集尘技术（如袋式除尘器和旋风除尘器）代替湿式洗涤器，特别是在湿型砂制备工厂中。采用干式技术可简便地将粉尘收集、运输并循环回混砂过程中，并且不会像使用湿式洗涤器那样产生污水；
- 使用过滤器对废气进行过滤，特别是在铸造和清理车间；
- 在成型及铸造车间使用真空吸尘器进行清扫；
- 在工作区安装封闭除尘设施。

### 氮氧化物

氮氧化物的排放是由高炉温及氮气的氧化引起的。《通用 EHS 指南》包含预防和控制氮氧化物生成的技术。可通过工艺改进为主、管道末端除尘技术为辅实现减排。有关污染防控技术包括：

- 在燃烧过程中尽量降低空气燃料比；
- 在燃烧过程中采用富氧技术；
- 在可能的情况下，在燃烧炉中使用低氮氧化物燃烧器；
- 根据需要，安装二级控制装置（主意是对冲天炉、电弧炉和旋转炉），如催化焚化炉等<sup>3</sup>。

<sup>1</sup> EC BREF (2005)

<sup>2</sup> 同上

<sup>3</sup> 同上



### 硫氧化物

熔化炉废气中硫氧化物的存在取决于燃料和工艺焦炭的含硫量。二氧化硫排放主要来自冲天炉和旋转炉的废气。其他排放源包括用化学结合砂料制型和制芯中的气体硬化过程以及镁(Mg)的熔化过程。

建议采取以下污染预防和控制措施降低 SO<sub>2</sub> 排放：

- 选择含硫量低的给料和废料；
- 使用含硫量低的燃料，如天然气；
- 在干式洗涤器前安装湿式洗涤器，作为专用收集和除尘系统的一部分。

### 一氧化碳

一氧化碳排放的最主要来源是冲天炉和电弧炉的废气。冲天炉废气中存在一氧化碳是由于冲天炉工艺本身。而在电弧炉中，一氧化碳是在熔融精炼过程中由石墨电极以及金属熔池的碳的氧化生成的。浇铸过程中砂模或砂芯与熔化的金属接触也会排放出一氧化碳。推荐采取以下污染预防及控制技术降低一氧化碳排放：

- 使用感应炉；
- 提高工艺的热效率（如在冲天炉中使用氧气注入技术或全氧燃烧器）；
- 在电弧炉中采用泡沫渣技术；
- 在冲天炉和电弧炉废气除尘装置中安装后燃烧室；
- 给熔化炉生产线配备适合的排风装置。

### 氯化物与氟化物

氯化物与氟化物由金属熔化产生，少量地存在于熔化炉的废气中。氯化物和氟化物排放的预防和控制必须在干式除尘或湿式洗涤技术中实现，以控制颗粒物和硫氧化物的排放。

### 挥发性有机化合物及其他危险的空气污染物

挥发性有机化合物排放主要包括有机溶剂（如苯系物——苯、甲苯、乙苯和二甲苯）以及其他有机物（如酚、甲醛），主要来自造型和制芯过程中树脂、有机溶剂或有机涂料的使用。在湿型砂或未烤模具的浇注、冷却以及振动清理过程中，有机化合物（湿砂模和不同的型芯黏合剂中含有的含碳添加剂）在金属浇注时会发生热分解，也可能会释放出有机有害空气污染物(HAP)<sup>1</sup>。

使用有机溶剂的冷芯盒系统在生产和储存型芯时可能产生挥发性有机化合物排放。其中最主要的排放物是胺，由于其较低的气味检测阈值和相对较低的曝露值上限，胺可能造成潜在的危险。在硬化、涂层和干燥过程中使用化学黏结剂可能排放出有害的空气污染物，包括甲醛、二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)、异丙醇，苯酚，胺类化合物（如三乙胺）、甲醇、苯、甲苯、对甲酚/甲酚酸、萘及其他多环有机物多以及含氰化合物等。

推荐采用以下技术预防和控制挥发性有机化合物以及其他有害空气污染物排放<sup>2</sup>：

- 通过优化混料操作的过程控制和材料处理以及温度控制尽量减少黏结剂和树脂的使用；

<sup>1</sup> EC BREF (2005)

<sup>2</sup> 同上



- 优化制芯过程中的温度控制；
- 用水性涂层替代醇类涂层（如异丙醇）；
- 在芯盒生产中使用非芳烃类溶剂（如植物油甲酯或硅酸盐酯）；
- 尽量减少冷芯盒黏结中固化气体的用量；
- 封闭成型与制芯机器以及型芯的临时储存区域；
- 使用冷芯盒系统（如活性炭吸附、焚烧、化学洗涤或生物过滤）处理产生的废胺；
- 使用收集系统（如排风罩）收集化学黏结的型砂准备、浇注、冷却以及振动清理过程中生成的挥发性有机化合物。如有必要还可使用活性炭吸附、催化氧化或生物过滤处理。

### 二噁英与呋喃<sup>1</sup>

- 金属熔化过程中可能会释放出聚氯化二噁英二苯和二噁英呋喃（二噁英和呋喃，或 PCDD/F）。在铸铁厂中，二噁英可能由冲天炉、电弧炉以及旋转炉生成。而金属冶炼过程中，如果氯离子、含氯化合物、有机碳、催化剂和氧气在一定温度条件同时存在，则可能生成 PCDD/F。有色金属铸造中产生二噁英的风险很低。

防治金属熔化阶段二噁英排放的主要方法是在高于 1 200°C 的温度下进行熔化炉废气的后燃烧并尽量延长处于这一温度的时间，最后迅速淬火，尽量减少处于呋喃形成的温度范围的时间。其他建议采取的措施包括：

- 使用清洁的原料进行熔化；
- 向气流中注入添加粉末（如活性炭）以吸附二噁英再在纤维过滤器中通过过滤除尘；
- 安装含有催化氧化系统的纤维过滤器。

### 金属

熔炼和铸造过程中应控制金属的排放。向模具浇注熔融金属的过程中，金属的挥发和冷凝可能产生金属排放物。铸铁厂排放的金属微粒可能含有重金属，如锌（主要是采用镀锌钢板原料时）、镉、铅（如来自上漆的原料）、镍和铬（在合金钢铸造生产中），取决于生产的钢铁品级以及使用的原料。

与有色金属生产相关的颗粒物排放中可能含有铜、铝、铅、锡和锌等。在合金合成和加入添加金属时，颗粒物排放中的金属含量尤其显著。例如，向熔融金属中加入镁以生产球墨铸铁时，可能出现生成镁氧化物和金属烟雾的反应。

应使用高效除尘技术（如本指南中“灰尘和微粒物质”一节所述）控制金属微粒排放。应通过安装干式和半干式洗涤器结合除尘技术控制气态金属的排放。

### 温室气体（GHGs）

铸造工艺能源消耗密集，是二氧化碳重要的排放源，其中二氧化碳排放主要来自燃料燃烧。铸造工艺的大部分能源消耗可归因于金属熔化过程（占总能量输入的 40%~60%）。熔化过程的能耗范围，钢铁材料为 500~1 200 (kW·h)/t 金属投料而铝材料为 400~1 200 (kW·h)/t。

建议采取以下技术预防和控制二氧化碳排放<sup>2</sup>：

<sup>1</sup> EC BREF (2005)

<sup>2</sup> 同上



- 用感应炉、无焦冲天炉或注氧冲天炉取代传统的冲天炉，在感应炉中使用中频电源；
- 限制能源消耗、提高能源效率，可采取的主要措施包括但不限于：
  - 充分的表面保温以限制散热；
  - 控制正确的空气/燃料比，减少过剩氧；
  - 使用余热回收系统；
  - 通过适当的换热器，利用废气的热量生产热水、热空气和/或蒸汽。
- 采用现有的最佳燃烧技术（如富氧鼓风、投料预热以及燃烧参数全自动控制等）；
- 执行设备操作和维修办法，避免设备的部分加载；
- 在使用前对投料进行预热；
- 通过气体回收和/或燃烧控制减少钢包加热以及熔融金属热处理过程的燃料消耗；
- 选择含碳量、热值比较低的燃料（如天然气[甲烷]）。甲烷燃烧的二氧化碳排放量大约只有煤炭或焦炭燃烧的 60%；
- 更多有关温室气体管理的信息如《通用 EHS 指南》所述。

## 固体废物

固体废物流包括废砂、脱硫和熔化过程的灰渣、排放控制系统收集的灰尘、难熔废物以及洗涤液和灰浆等（见本指南“废水”一节）。

铸造厂固体废物管理的一般技术包括选择、设计和建造储存地来贮存金属、来自过滤器的灰尘废物、难熔废物、灰渣和砂废料等。贮存地的选择和设计应充分考虑现场的地质和水文地质条件，以防止来自潜在的重金属滤取转移而可能产生的污染。化学品储存区域（如树脂及黏合剂）的设计应尽量降低溢漏的风险。有关固体有害废物和有害物质管理的更多指南请见《通用 EHS 指南》。

### 废砂

废砂是砂模铸造厂中主要的固体废物种类。造型和制芯用砂可占铸铁厂废物总量的 65%~80%。<sup>1</sup>造型或制芯使用的化学黏结的砂料难以有效地重复利用，可能在一次使用后即被作为废物移走。铸铜厂的砂废料往往是有害的，须根据要求进行处置。

建议采取以下措施预防和控制废砂：<sup>2</sup>

- 尽量在工厂内部重复使用砂料
  - 应考虑废砂的外部再利用（例如，用做混凝土和铺路材料或用做砖制造材料、混凝土回填料、建设填料等）；
  - 新铸砂从金属块中移出并再生后应重复使用。砂料回收方法包括初级再生法（如振动、旋转鼓或抛丸等）和二级再生法（如对砂料进行加工以消除残余黏结剂、冷机械处理及热处理，以及湿式洗涤等。其中热处理设备用于回收化学黏结的砂料）。

### 除尘设备中的灰尘

来自排放控制设备的粉尘中可能含有锌、铅、镍、镉、铜、铝、锡、铬及其他金属，可能

<sup>1</sup> 美国环保署合规办公室. 1998. 行业调研项目：金属铸造行业概况

<sup>2</sup> 同上



被归类为危险废物。在有色金属铸造厂排放控制设备中粉尘通常含有足够量金属，这使金属回收在经济上成为可行。过滤器的灰尘应尽可能地循环至熔化炉。这样就可通过粉尘回收处理对金属进行回收，从而最大限度地减少需要堆填的废物。

### 炉渣

炉渣通常化学组成复杂并含有多种来自金属原料的污染物。炉渣可能占到铸造厂固体废物流的约 25%。常见炉渣成分包括金属氧化物、熔化的耐火材料、砂和焦炭灰分（如使用焦炭）等。可加入助熔剂帮助从熔化炉中移除炉渣。钢铁或有色金属熔化产生的炉渣如果含有铅、镉、铬等可能会被归类为有害废物。<sup>1</sup>

建议采取以下措施预防和控制炉渣：

- 通过工艺优化措施尽量减少炉渣的产生，包括：
  - 金属投料的分类可提高金属质量并降低被污染炉渣的生成和排放。废旧电子产品金属、涂漆金属以及来自二手车的废金属是潜在的污染物来源，应被仔细地分类和筛出；
  - 较低金属熔化温度；
  - 助熔剂及耐火内衬的优化利用。
- 对炉渣应予再利用，其中的贵重金属应予提炼和回收。炉渣的再利用途径选项取决于炉渣的特点，包括用于砖块制造、路基建设、用作粗混料等。

### 灰浆处理

废水处理产生的灰浆可能含有重金属（如铬、铅、锌、镍）、油和油脂。废水处理产生的灰浆中，小部分可在内部循环使用，绝大多数需要进行填埋。从灰浆中滤取金属的可能性很大，应对其进行评估，确立重复利用的潜力，并考虑到垃圾填埋衬里和控制系统的的使用。灰浆的重复利用可能需要进行预处理，通常包括冲压、烘干、造粒等。《通用 EHS 指南》给出了有害灰浆的管理建议。

### 退役废物

铸造行业在装置退役时面临的环境问题包括含有石棉的绝缘材料的处理和处置、煤炭和原材料仓储区域的土壤/地下水污染等。应通过采取本指南所述的有效环保措施避免上述影响。如何对可能造成地表和地下水污染的装置遗留问题进行管理请见《通用 EHS 指南》。

## 废水

### 工业废水

铸造厂用水主要集中于电炉（感应炉或电弧炉）和冲天炉冷却系统以及湿式除尘系统。在大多数铸造厂中，水资源管理包括内部循环用水从而将污水量降至最低。采用湿式除尘技术可能会提高用水量和相应的水处理量。在制芯过程中，也就是使用洗涤器的过程中，来自冷芯盒和热芯盒的洗涤液含有可生物降解的胺和酚。高压压铸会产生废水流，该废水流须通过处理去除有机（如酚、油）化合物后才可排放。模具冷却采用水冷时可能产生含有重金属和悬浮物的废水。使用可溶性盐芯可能产生含有悬浮物和溶解固体、pH 值较低的废水。某些

<sup>1</sup> 美国环保署合规办公室. 1998. 行业调研项目：金属铸造行业概况



加工工序，如淬火和修边等，也可能产生废水，且产生废水的油和悬浮固体含量可能较高。<sup>1</sup>

建议采取以下技术预防制造厂的污水流：

- 安装冷却水封闭回路以降低用水量和排放量；
- 通过沉淀或离心，然后过滤循环使用修边用水；
- 在覆棚下或围堤区内储存投料和其他材料（如煤和焦炭）以限制雨水污染、方便排水收集。

### 工业废水处理

本节所述的工业废水处理技术包括源头隔离以及通过化学沉淀法、混凝、絮凝，对废水流进行预处理，以降低其重金属含量。通常废水处理步骤包括：通过油脂分离池、撇油器或油水分离器分离油和悬浮固体；通过过滤分离可滤出固体；流量和载荷平衡；使用澄清剂沉淀悬浮固体；在指定的危险废物堆填区对残渣进行脱水和处置等。可能需要采取其他工程控制措施，包括：（1）使用先进的膜过滤或其他物理/化学处理技术去除金属；（2）使用活性炭或先进的化学氧化法去除不易消除的有机物；（3）使用化学或生物除营养技术减少含氮量；（4）采用适当的技术降低废水毒性（如反渗透、离子交换、活性炭等）。

《通用 EHS 指南》探讨了工业废水管理和处理方法的实例。通过使用这些废水管理的技术和优良做法，铸造厂应达到本行业文件第 2 部分有关表格规定的废水排放标准值。

### 其他废水及用水

《通用 EHS 指南》给出了废水公用设施产生的未污染废水、未污染的雨水以及生活污水的管理指南。被污染的水流应被引流至工业废水处理系统。《通用 EHS 指南》还给出了降低用水量，特别是当水可能是一种有限的自然资源时的建议。

室外煤炭储存区域的雨水可能受到含有多环芳烃（PAHs）和重金属的高酸性渗滤液的污染。针对本行业的建议包括：

- 铺设工艺区域，分隔污染和未污染的雨水，并落实溢漏控制计划。将工艺区域的雨水引入废水处理装置；
- 设计渗滤液收集系统和煤炭储存设施的位置，以防止其对土壤和水资源影响。煤炭储存区应进行相应铺设以分隔潜在的受污染雨水并将其引入废水处理装置进行预处理和处理。

### 噪声

铸造过程中的噪声源包括投料处理、熔化炉装料和电弧炉熔炼、燃油燃烧器、振动清理、造型/制芯射砂以及运输和通风系统等。推荐的噪声管理技术包括：

- 对工艺建筑进行封闭和/或隔离；
- 覆盖并封闭投料储存和处理区域、振动清理区域以及涂炉工序；
- 封闭风扇，隔离温通风管道并使用减震器；
- 落实管理控制措施，包括限制夜间废钢装卸和运输。

应用噪声消除措施后，铸造厂的噪声水平应达到《通用 EHS 指南》中所述的周围环境噪

<sup>1</sup> 美国环保署合规办公室 1998. 行业调研项目：金属铸造行业概况



声水平。

## 1.2 职业健康与安全

铸造设备建造、运行、维护和停用过程中存在的职业健康与安全问题，与其他大多数工业设备的同样问题类似，其防控方法在《通用 EHS 指南》中有所论述。

另外，在铸造过程中可能会发生的健康与安全问题如下：

- 物理危害
- 辐射
- 呼吸道危害
- 电气危害
- 噪声
- 困陷
- 火灾及爆炸危害

### 物理危害

《通用 EHS 指南》给出了预防和控制物理危害的建议。铸造业涉及的特定物理危害如下所述：铸造生产中的物理危害可能涉及处理大型、重型、高温原材料和产品（如向熔化炉投料）；重型机械运输（如火车、卡车和叉车）事故、磨切工序中的伤害（如接触加工机床喷射出的废料）；从高处跌落（例如高台、梯子、楼梯）致伤等。

#### 重物的提举和移动

用液压平台和起重机在一定高度起吊和移动重物是铸造厂的主要职业健康风险之一。建议采取以下措施预防和控制潜在的工伤：

- 在所有的运输通道和工作领域设置清晰的指示牌；
- 对工厂进行合理设计和布局，以避免不同的工序和流程出现交叉；
- 执行特定的重物装卸和起吊程序，包括：

描述待起吊重物（尺寸、重量、重心）；

吊索设置和强度参数；

重物装卸和起吊设备操作人员以及机械运输装置驾驶员；

固定装卸设备（如起重机、升降平台）的操作区域不得跨越工人及预装备区域；

妥善处理并屏蔽移动的热液体以及固体金属零件；

材料及产品的装卸应在监督下在限定区域内进行，还要特别注意是否靠近电线/设备；

对起重机械、电子和运输设备应进行定期的保养和维护。

#### 产品处置

产品处理、打磨和切割相关的工伤的预防和控制以及废料的利用包括以下几个方面：

- 将机床放置在其他工作区域以及走道的安全距离之外。应提供单独的、封闭的工作场所，以防止清砂或使用磨床引起的意外；
- 对机床，尤其是防护罩和安全装置/设备进行定期检查和修理；



- 沿移动平板设置围栏，门应为内锁式，仅在机器停止使用时才能打开；
- 操作人员正确使用机床，并使用适当的个人防护装备（PPE）。

### 热和热液飞溅

高温和直接红外辐射是铸造厂内的常见危害。高温可导致疲劳和脱水。直接红外辐射会造成视力危害。接触热金属或热水均可能导致严重烧伤。建议采取以下措施预防和控制人员接触热和热液/材料：

- 在近距离接触高温设备或预期会出现热液溅出的地方（例如，在冲天炉、电弧炉、感应熔炼钢包以及铸造）使用防护罩；
- 采用安全缓冲区分隔处理或暂时储存高温材料和物品的地方。这些地方应提供内锁的围栏保护，以在操作中控制这一区域的人员进入；
- 使用适当的个人防护装备（如绝缘手套和鞋子、防红外线和紫外线辐射护目镜、以及防热辐射衣物等）；
- 对高温环境下的工作应实施较短的倒班时间。为高温作业区的工人提供经常性休息和饮水供应；
- 安装冷却通风系统以控制极端温度。

### 射线接触

工人可能会接触到伽马射线和相关电离辐射风险。可采用以下技术降低工人接触射线的风险：

- 应使用屏蔽式准直器在受控制的、限定的区域内进行伽玛射线检测。试验区内不得进行任何其他活动；
- 全部进厂废料都应先经过放射性检查再作为原材料使用；
- 如果试验区靠近工厂边缘，应考虑用超声波检测代替伽玛射线检测；
- 应对测试设备包括防护罩进行定期保养和维修。

### 呼吸道危害

#### 绝缘材料

绝缘材料的使用在铸造厂中十分普遍。施工和维修过程中绝缘材料的处理可能会释放纤维，从而对健康造成危害。老厂中广泛使用的石棉以及其他矿物纤维可能是人员面临吸入致癌物质的风险。应使用适当的、针对特定物质的工作做法以限制纤维的释放。

#### 尘埃和气体

铸造厂产生的尘埃包括熔炼、铸造以及加工车间的铁和金属粉尘以及成型车间的木头和砂的粉尘。对于前者，工人有可能接触到氧化铁以及可能含有重金属如铬（Cr）、镍（Ni）、铅（Pb）、锰（Mn）的砂尘。存在于熔化和铸造车间的粉尘是由高温作业产生的，颗粒小，可能还含有冶金黑烟，构成了严重的粉尘吸入风险。在成型车间，工人暴露在可能含有重金属以及木屑的砂尘中，这些砂尘可能有致癌的特性，尤其是在使用硬木材的情况下。

建议采取以下措施防止人员暴露于气体和尘埃中：



- 应分隔和封闭粉尘和气体来源；
- 工厂通风设施设计应使空气流通最大化。出口废气应先经过过滤后再排放到大气中；
- 主要尘埃和气体排放点，特别是熔炼车间处须安装废气通风系统；
- 使用自动化设备，尤其是在清砂工艺中；
- 如果操作人员需要，提供带有过滤空调的密封舱；
- 提供单独的饮食设施，使工人能够在进食前进行清洗；
- 提供更衣设施，使工人能够将工作服和个人衣物分开放置并在下班后和用餐前进行淋浴；
- 执行人员的定期健康检查制度；
- 在使用其他方式无法避免粉尘吸入危害时，如制造砂型、手工打磨或使用非封闭式机床，以及特定维修操作的过程中，须使用呼吸道危害控制技术；
- 有关呼吸道保护的**建议**包括：
  - 接触大量尘埃（如清砂工作）时应使用过滤呼吸器；
  - 接触轻质的金属粉尘和气体时，应使用可供应新鲜空气的呼吸器，或者可使用带有电动通风装置的完整面部防毒面具（或"超压"安全头盔）；
  - 在可能接触到一氧化碳的区域，应安装检测设备为监控室和现场人员提供报警。在对一氧化碳含量较高的区域进行紧急处置时，工人应配备便携式一氧化碳探测器以及可供应新鲜空气的呼吸器。

## 噪声

原材料和产品处置（如废金属、板材、钢条）、砂料压实、木制模型制造、清砂和整理过程中可能产生噪声。《通用 EHS 指南》中探讨了预防和控制噪声的建议措施。

## 电力危害

由于铸造厂内遍布重型电力设备，工人可能受到电力的危害。《通用 EHS 指南》中给出了预防和控制电力危害的建议。

## 覆埋

由于在砂料储存区域及维护过程中可能发生砂堆坍塌，制造砂铸模的工人面临覆埋的风险。预防人员被砂埋的措施包括采用《通用 EHS 指南》所述的材料储存标准。

## 爆炸及火灾危害

液态金属的处置可能产生爆炸、熔融物流出以及烧伤的风险，特别是当湿气被困在密闭空间中且接触到熔融金属时。其他风险包括：熔融金属、液体燃料以及其他易燃化学品引起的火灾。此外，使用电石对铁进行脱硫时，铸铁渣可能具有很高的反应活性。

建议采取以下技术预防和控制爆炸和火灾的风险：

- 工厂布局设计能确保对易燃气体和氧气的管道和储罐的充分隔离，使之远离热源；



- 将可燃材料和液体与高温区域以及起火源（如电气控制板）隔开；
- 在高温作业和维护过程中保护易燃气体和氧气的管道和储罐；
- 《通用 EHS 指南》给出了应急准备和响应的指南。

### 1.3 社区健康与安全

铸造设备建造、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。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，排放水平可依据环境健康与安全通用指南中规定的受水区的用途分类设定。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。

表 1 铸造厂污水排放水平

污染物	单位	标准值
pH	—	6~9
悬浮固体总量	mg/L	35
油脂	mg/L	10
温度升高	°C	3 <sup>a</sup>
COD	mg/L	125
苯酚	mg/L	1
镉	mg/L	0.01
铬（总量）	mg/L	0.5
铜	mg/L	0.5
铅	mg/L	0.2
镍	mg/L	0.5



锌	mg/L	0.5
锡	mg/L	2
氨	mg/L (as N)	5
氟化物	mg/L (as F)	5
铁	mg/L	5
铝	kg/t	0.02 <sup>b</sup>

注：a 在充分考虑环境水质、接收的用水、可能的受体以及同化能力后科学确定的混合区域的边际。

b 铝的熔炼和铸造。

表 2 铸造厂的排放水平<sup>(1)</sup>

污染物	单位 (在标准状态下)	标准值
颗粒物	mg/m <sup>3</sup>	20 <sup>(2)</sup>
		50 <sup>(3)</sup>
油性浮质/雾	mg/m <sup>3</sup>	5
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	400 <sup>(4)</sup>
		120 <sup>(5)</sup>
		150 <sup>(6)</sup>
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	400 <sup>(8)</sup>
		50 <sup>(9)</sup>
		120 <sup>(7)</sup>
VOC	mg/m <sup>3</sup>	20 <sup>(10)</sup>
		30
		150 <sup>(11)</sup>
PCDD/F (TEQ)	ng/m <sup>3</sup>	0.1
CO	mg/m <sup>3</sup>	200 <sup>(12)</sup>
		150 <sup>(13)</sup>
胺	mg/m <sup>3</sup>	5 <sup>(14)</sup>
氯气	mg/m <sup>3</sup>	5 <sup>(15)</sup>
Pb、Cd 及其化合物	mg/m <sup>3</sup>	1~2 <sup>(16)</sup>
Ni、Co、Cr、Sn 及其化合物	mg/m <sup>3</sup>	5
Cu 及其化合物	mg/m <sup>3</sup>	5~20 <sup>(17)</sup>
氯化物	mg/m <sup>3</sup>	5 <sup>(18)</sup>
氟化物	mg/m <sup>3</sup>	5 <sup>(19)</sup>
H <sub>2</sub> S	ml/m <sup>3</sup>	5

注：

(1) 上下限的标准条件。燃烧气体：干燥、温度 273 K (0°C)，压强 101.3 kPa (1 个大气压)，液态和气态燃料氧气含量 3%，干燥，固体燃料 6%干燥。非燃烧气体：未经水蒸气或氧气含量校正，温度 273K (0°C)，压强 101.3 kPa (1 个大气压)。

(2) 有毒金属存在时的颗粒物排放量。

(3) 有毒金属不存在时的颗粒物排放量。

(4) 铁金属熔炼。考虑到 BAT 基数并基于无焦冲天炉的最高排放量水平。

(5) 有色金属熔炼 (竖炉)。

(6) 来自热砂再生系统/再生装置。



- (7) 考虑到 BAT 基数并基于冷风冲天炉的最高排放量水平。
- (8) 有色金属熔炼 (竖炉)。
- (9) 铁金属熔炼 (冲天炉)。
- (10) 有色金属熔炼 (竖炉)。
- (11) 铁金属熔炼 (电弧炉)。冲天炉可能有更高的排放水平 (截至到 1 000 mg/n<sub>3</sub>)。
- (12) 有色金属熔炼 (竖炉)。
- (13) 冷芯盒造型和制芯车间。
- (14) 有色金属熔炼 (铝)。
- (15) 热砂再生系统及溶剂基熔模铸造涂膜、脱壳与定型。
- (16) 用废料铸造有色金属的铸造厂可适用更高的值。
- (17) 铜及其合金生产工艺可适用更高的值。
- (18) 使用氯化物熔剂时熔化炉的排放。
- (19) 使用氟化物熔剂时熔化炉的排放。

## 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。环境健康与安全通用指南中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

## 2.2 职业健康与安全指南

### 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暴露风险指南进行评估，包括美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH)<sup>1</sup>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)<sup>2</sup>发布的危险化学品的袖珍指南、美国职业安全健康局 (OSHA)<sup>3</sup>发布的允许接触极限 (PEL)、欧盟成员国<sup>4</sup>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)<sup>5</sup>发布的信息，按照发达国家的设备性能设定基准。

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

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

<sup>3</sup> 可登录 [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992) 查询相关信息。

<sup>4</sup> 可登录 [http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)查询相关信息。

<sup>5</sup> 可登录 <http://www.bls.gov/iif/>和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> 查询相关信息。



## 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<sup>1</sup>制定并执行。管理者还应记录事故、疾病和危险事件。《通用EHS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. National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual for Ferrous Foundries, Version 1.2. Canberra: Commonwealth of Australia, September 3 2004. [http://www.npi.gov.au/handbooks/approved\\_handbooks/f2ferr.html](http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/f2ferr.html).
- [2] Government of India Ministry of Environment & Forests, Central Pollution Control Board (CPCB). Annual Report 2004-2005. Delhi: CPCB, 2005. <http://www.cpcb.nic.in/annualreport04-05/ar2004-ch10.htm>.
- [3] European Commission. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Best Available Technique Reference (BREF) Document on the Smitheries and Foundries Industry. Seville: EIPPCB, 2005. <http://eippcb.jrc.es/pages/FAactivities.htm>.
- [4] German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety [Bundesministerium Umwelt, Naturschutz und 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](http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php).
- [5] Irish Environmental Protection Agency (EPA). BATNEEC Guidance Note Class 3.3 Ferrous Metals Foundries (Draft 3). Dublin: EPA Ireland, 1996. <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>.
- [6] Irish Environmental Protection Agency. BATNEEC Guidance Note Class 3.4 Recovery or Processing of Non-Ferrous Metals (Draft 3). Dublin: EPA Ireland, 1996. <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>.
- [7] North Carolina Department of Environment and Natural Resources (DPPEA). Primary Metals Ferrous and Non-Ferrous Foundry. <http://www.p2pays.org/ref/01/text/00778/chapter3.htm>.
- [8] UK Department of Trade and Industry (DTI) and Department of the Environment, Environmental Technology Best Practice Programme. Environmental Management Systems in Foundries. London: UK Government.
- [9] UK Department of Trade and Industry (DTI) and Department of the Environment, Environmental Technology Best Practice Programme. Optimising Sand Use in Foundries. London: UK Government, 1998.
- [10] United Kingdom (UK) Department for Environmental Food and Rural Affairs (DEFRA). Secretary's State Guidance for Copper and Copper Alloy Processes. Process Guidance Note 2/8 (04). London: DEFRA,

<sup>1</sup> 有合格资质的专家包括执证的工业卫生学家、注册职业卫生学家、执证安全专家或有同类资质人员。



2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [11] UK DEFRA. Secretary's State Guidance for Electrical, Crucible and Reverberatory Furnaces. Process Guidance Note 2/3 (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [12] UK DEFRA. Secretary's State Guidance for Hot and Cold Blast Cupolas and Rotary Furnaces. Process Guidance Note 2/5 (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [13] UK DEFRA. Secretary's State Guidance for Furnaces for the Extraction of Non-Ferrous Metal from Scrap. Process Guidance Note 2/1 (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [14] UK 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/>.
- [15] UK DEFRA. Secretary's State Guidance for Metal Decontamination Processes, Process Guidance Note 2/9 (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [16] UK DEFRA. Secretary's State Guidance for Processes Melting and Producing Aluminium and its Alloys. Process Guidance Note 2/6a (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [17] UK DEFRA. Secretary's State Guidance for Zinc and Zinc Alloy Processes. Process Guidance Note 2/7 (04). London: DEFRA, 2004. <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>.
- [18] UK Environmental Agency. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Interim Guidance for the Ferrous Foundries Sector. Sector Guidance Note IPPC S2.03. Bristol: Environment Agency. 2001.
- [19] UK Environment Agency. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Technical Guidance for Non-Ferrous Metals and the Production of Carbon and Graphite. Version 1. Sector Guidance Note IPPC S2.03. Bristol: Environment Agency. January 2002. [http://www.environmentagency.gov.uk/business/444304/444369/673298/nfm/?version=1&lang=\\_e](http://www.environmentagency.gov.uk/business/444304/444369/673298/nfm/?version=1&lang=_e).
- [20] United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). Profile of the Nonferrous Metals Industry. EPA Office of Compliance Sector Note Book Project. EPA/310-R-95-010. Washington, DC: US EPA, 1995. <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/nonferrous.html>.
- [21] US EPA. Profile of the Metal Casting Industry. EPA Office of Compliance Sector Note Book Project. EPA/310-R-97-004. Washington, DC: US EPA, 1998. <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/casting.html>.
- [22] US EPA. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories and Emissions Factors. AP 42, Fifth Edition: Vol. 1 Chapter 12. Metallurgical Industry, 1998. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html>.
- [23] US EPA. Code of Federal Regulations (CFR) Title 40: Protection of the Environment. Part 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Iron and Steel Foundries. Washington, DC: Office of the Federal Register, 2004. [http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr\\_notices/8287founddirfin.pdf](http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr_notices/8287founddirfin.pdf).



- [24] US EPA. Beneficial Reuse of Foundry Sand: A Review of State Practices and Regulations. Sector Strategies Division, Office of Policy, Economics and Innovation in partnership with the American Foundry Society and the Association of State and Territorial Solid Waste Management Officials. Washington, DC: US EPA, 2002. <http://www.epa.gov/ispd/metalcasting/reuse.pdf>.
- [25] US EPA. Environmental Management Systems (EMS) Implementation Guide for the Foundry Industry. Sector Strategies Division, Office of Policy, Economics and Innovation, in partnership with the American Foundry Society and Indiana Cast Metals Association. Washington, DC: US EPA, 2004. [http://www.epa.gov/sectors/metalcasting/foundry\\_complete.pdf](http://www.epa.gov/sectors/metalcasting/foundry_complete.pdf).

## 附件 A：工业活动的通用描述

铸造厂生产铁和有色金属铸件。铁金属铸件由钢和铁组成，而有色金属铸件主要包括铝、铜、锌、铅、锡、镍、镁、钛等。铸件是通过铁和非铁金属的熔炼、浇注和铸造生产出来的。许多铸造厂对这两种类型的材料都可进行铸造。

钢铁铸件通常包括：

- 灰铸铁，具有良好的阻尼和机械加工性，但耐久性较低；
- 可锻铸铁，含有少量的碳、硅、锰、磷、硫及金属合金；
- 球墨铸铁，去除铸铁熔化物中的硫所得到的铸铁；
- 铸造碳钢（低-中-高），与铸铁件相比具有出众的强度、韧性、耐热性、可焊性。

非铁金属的生产是为了满足产品规格的要求，如力学性能、耐腐蚀性、可加工性、轻质以及导热性和导电性。

非铁金属铸件包括许多非铁化合物，如：铝及铝合金、铜及铜合金、锌及锌合金、镁及镁合金、钴基合金、镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金以及铸造金属基复合材料等。

常见的非铁金属合金包括：铜-锌合金（黄铜）、铜-锡合金（青铜）、铜镍合金（蒙乃尔/白铜）、镍铬铁合金（不锈钢）、铝铜合金、铝-硅合金、铝镁合金以及钛合金等。

## 铸造工艺

现有多种不同的铸造技术可供选择。但所有技术都包括建造一个容器（模具）并向其中浇注熔融金属。

铸造工艺根据模具消耗情况可基本分为消耗模具型和不消耗模具型两种。消耗型铸造虽然也用于非铁铸件，但通常还是用于铸铁。这种工艺使用抛弃性铸模（如砂模）。而消耗型铸造，主要非铁铸造厂中使用，则使用永久性铸模（如压铸）。抛弃性铸模在振动清理过程中与铸件分开并被破坏，而永久性铸模都是重复使用。这两种铸造工艺，有关熔化、造型和制芯系统、铸造系统以及使用的清理技术，都会采用很多种不同的技术。

典型的铸造过程，如图 A.1 所示，包括以下主要活动：在熔炼车间进行金属熔炼和处理；在造型车间准备模具和型芯；将熔融金属注入模具；冷却凝固；在铸造车间将铸件从模具中取出；再在清理车间对铸件毛坯进行清理。

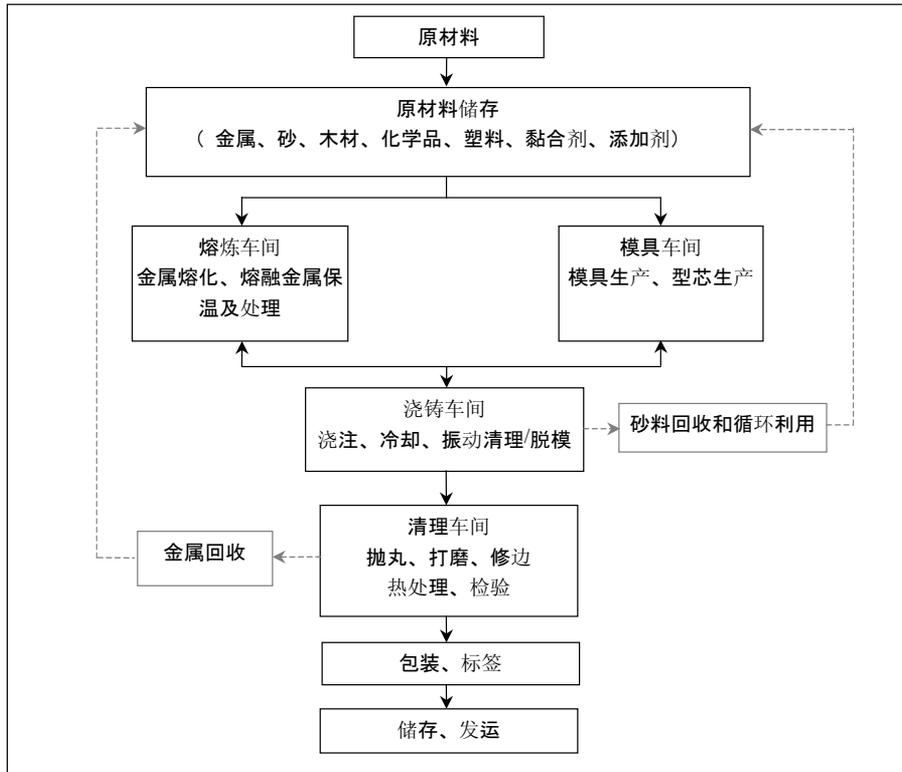


图 A.1 铸造生产流程图

### 熔炼车间

根据金属种类可使用不同类型的熔化炉和金属处理方法生产铁和非铁金属材料。

铸铁通常用冲天炉、感应炉、电弧炉或旋转炉进行熔化。感应炉（用无芯式感应炉进行熔化，用有芯式感应炉保温）的环保性能优越，优于冲天炉。电弧炉的使用相对较少。

铸钢通常在电弧炉或无芯感应炉中进行熔化。铸钢金属处理包括精炼（如去除碳、硅、硫和或磷）和脱氧等，取决于金属投料以及铸件质量要求。

熔融金属可能需要进行处理，如脱硫、除渣等。为清除熔融金属中的杂质，可向炉料或熔融金属中添加熔剂。熔剂与杂质结合形成浮渣或炉渣，会在浇注前被去除。

### 冲天炉

冲天炉是铸铁熔炼的常用炉型，也是铸造厂使用的最古老的炉型。它是内衬耐火材料的圆柱形竖井式炉，用焦炭作燃料并燃烧空气。熔化过程中，熔融铁水流下冲天炉，而燃烧气体则向上提升通过烟囱排出炉外。随着熔化的进行，新材料通过投料门从竖筒顶部补充进来。添加的熔剂与铁中的非金属杂质相结合形成炉渣，炉渣轻于铁水从而浮在熔融金属顶部，保护其不被氧化。液体金属通过与沙床处于同一水平面的出口口被放出并被收入一个钢包和/或保温炉中。而炉渣则是通过位于更高的水平面的孔洞被去除。焦炭占总投料量的 8%~16%，为熔化



炉提供熔化金属所需的热量。冲天炉的熔化能力一般在 3~25 吨每小时之间。

冲天炉需要有还原介质防止铁在熔化中发生氧化。通过确保一氧化碳存在于燃烧气体中（一氧化碳约 11%~14%）可将氧化控制到最低限度。这导致无法有效利用焦炭中的能量并且有大量CO排放到环境中。可使用一些替代技术提高冲天炉的效率并降低二氧化碳的排放量。这些措施包括将助燃空气预热至 600°C，如在热风冲天炉<sup>1</sup>中；富氧燃烧；或纯氧的超声直接注入等。

冲天炉工艺还会产生大量的颗粒物排放。排放控制系统通常需要使用高能湿式洗涤器或干式布袋（布过滤器）系统。

#### 电弧炉

电弧炉是常用于大型钢铁铸造厂的分次式熔化炉，较少用于铸铁生产。电弧炉的形状像一个长柄勺。熔化金属所需的热量由电极产生的、最初定位于投料之上的电弧产生。电弧炉放出熔融金属时须将该炉倾斜进而使熔融金属通过出钢口流出。出钢口对面是一个操作门，可以进行除渣和取样作业。

#### 感应炉

感应炉可用于熔炼黑色和有色金属。感应炉中，交替电流通过环绕炉体的线圈形成强大的磁场，进而产生通过金属的电流，从而实现了金属的熔化。金属的电阻产生热量并熔化了金属本身。感应炉可实现良好的冶金控制并且相对无污染。

感应炉最主要的空气污染物排放来自投料清洁导致的粉尘和烟雾（有机或非金属）排放。保温或金属成分调整过程中的化学反应会造成其他排放，是冶金烟尘的来源。<sup>2</sup>

#### 卧式反射炉

卧式反射炉用于非铁金属的批量熔化。这是一种直接加热的静态炉，由带有耐火内衬的、由安装在内壁或顶部的烧嘴起火燃烧的长方形或圆形铁池炉构成。热空气和燃烧气体从烧嘴喷出，吹过金属投料上方再排出炉外。除了油料或气体燃料燃烧器外，还可使用氧气燃料燃烧器提高熔化率。卧式反射炉排放控制比较困难，通常用于小规模生产。

#### 坩埚炉

坩埚炉主要用于熔炼少量的非铁金属。坩埚或耐火容器在燃烧天然气、液体燃料（如丙烷）或电力的熔化炉中加热。坩埚要么用起重机进行人工倾斜，要么自动将熔融金属浇注到模具中。

3

#### 旋转炉

旋转炉由横向圆柱形容器构成，金属投料在该容器中由安装在炉内一侧的烧嘴进行加热，烟气从另一侧排出。金属熔化并经过成分检验和调整，旋转炉前方的出铁口打开，炉中的熔融金属进而被放入钢包。旋转炉用于熔化 2~20 吨的金属，通常生产能力在 1~16 吨每小时之间，排放控制通常比较困难。

旋转炉用于有色金属熔化已有多十年。在这种类型的炉子中，传统的油-空气燃烧器可以提供相对较低的熔化温度。氧-空气燃烧器的开发使其可以用于铸铁生产中，使用更大量的废钢

<sup>1</sup> 欧委员会锻造和铸造工业 BREF（2001）

<sup>2</sup> 欧委员会锻造和铸造工业 BREF（2001）以及美国环保署合规办公室 1998 行业调研项目：金属铸造行业概况

<sup>3</sup> 欧委员会锻造和铸造工业 BREF（2001）



并用石墨进行渗碳。

### 竖炉

竖炉仅用于非铁金属熔化，主要是铝的熔化。这是一种简单的竖直炉，在底部有收集炉膛（炉内或炉外）和燃烧器系统在顶部有投料系统。燃烧器通常是燃气燃烧器。燃烧的气体通常经过提取和清洁。有时会使用后燃烧器处理产生的一氧化碳、油、挥发性有机化合物、或二噁英。

### 辐射顶板炉

辐射顶板炉主要用于带有集中熔炼设施的非铁（铝）压铸工厂。辐射顶板炉是一种低能耗保温炉，具有高度隔热箱设计，其铰链式保温顶层带有大量阻热元素，通常具有 250~1 000 公斤（千克）的熔化能力。<sup>1</sup>

## 造型车间

金属铸造之前须制作相应模具以便将熔融金属浇注进去并进行冷却。模具通常由顶部和底部构成，带有浇注熔融金属的空洞。为使成品模具中带有管道或洞（或为铸件内部或者无法由模具定型的铸件部分定型），会在模具中放入由砂或金属制造的所谓“型芯”。制造模具所用的材料取决于要铸造的金属、最终产品需要的形状以及铸造技术等。模具可分为两大类<sup>2</sup>：

- 抛弃性铸模（一次性铸模）：这些铸模是为每个铸件专门制造的，在振动清理过程中就会被破坏。这些模具通常由砂料制造，通过黏土黏结或化学黏结，有时无黏结熔模铸造（蜡）也被归于此类；
- 永久性铸模（多次性铸模）：这些模具用于重力和低压铸造、高压压铸以及离心铸造。通常情况下，永久性模具是金属制成的。

沙子是最常用的造模材料。沙粒黏结在一起，形成理想的形状。黏合技术的选择取决于铸件尺寸、所用沙料类型、生产速度、浇注的金属、振动清理特性等因素。一般来说，各种黏结系统都可被归类为黏土砂（湿砂）或化学砂。黏结系统的差异对生成的废物的毒性以及可能的环境排放可以产生一定的影响。<sup>3</sup>湿砂是砂、黏土、含碳物质和水的混合物，在 85% 的铸造厂中用于模具制造。这种砂给出了模具的结构，黏土将砂黏结在一起，含碳材料可防止铁锈。水是用来活化黏土的。模具必须干燥，否则它可能带来爆炸的危险。湿砂不用于制芯，因为制芯要求型砂具有与模具制造不同的物理特性。型芯必须具有足以抵御熔化金属的强度，并且易于破坏以便在金属冷却后将其去除。型芯通常由石英砂放置在芯盒中的强化学黏合剂制得。化学黏结系统的硬化或固化是通过化学或催化反应，或者热处理实现的。砂芯和化学砂铸模通常用水基或酒精基黑色涂料进行处理以改善其表面特性。与湿砂模具相比，化学砂模具的优势包括模具贮存寿命长、金属浇注温度可能较低、尺寸稳定性以及模具表面光洁度更好等。其缺点是这一过程中须使用化学黏合剂和消耗能源，成本较高；增加了砂料重复利用的难度；以及固化和金属浇注过程中化学黏结剂的使用造成的空气排放会带来一些相关环境和职业健康问题。<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 欧委员会锻造和铸造工业 BREF（2001）

<sup>2</sup> 同上

<sup>3</sup> 美国环保署合规办公室 1998 行业调研项目：金属铸造行业概况

<sup>4</sup> 美国环保署合规办公室 1998 行业调研项目：金属铸造行业概况



砂模制造须使用大量的砂料，砂-液体金属重量比一般从1□1到20□1。固化过程之后，通过振动清理过程将砂模从金属部分振掉，从而将模具与金属块分开。湿砂模中大部分的旧砂将重复使用，用于制造新的模具。重复使用的砂混合物也常常被用来制造型芯。然而，部分砂料在数次使用后会失效，需要加以处置。因此，造模和制芯是铸造废物的重要来源。

熔模精密铸造，也可称为失蜡工艺，是一种最古老的生产工艺，它可用于制造形状复杂的零件或高精密度金属铸件。熔模模具是通过在蜡或热塑性模型周围浇注泥浆，使泥浆符合模型的形状进而形成熔模模具而制得的。在模具干燥后，将模型烧掉或从型腔和模具孔洞中熔出，则制得的模具就可随时利用了。模具厂通常使用永久性金属模具制造出大量的相同铸件。只要模具金属的熔点高于要铸造的金属，这种模具既可用于铁金属铸造也可用于非铁金属铸造。金属模具可用于重力铸造、低压和高压压铸、离心铸造等。永久性铸模的型芯可由砂、石膏、可折金属或可溶性盐类制成。

## 铸造车间

浇注熔融金属是铸造过程中最重要的工序。不同浇注系统的使用主要取决于铸造所用的模具及金属的类型。向模具浇注液体金属可由重力作用（抛弃性模具），或高压或低压注射（压铸），或由离心力实现。自动浇铸生产线经常会使用浇注炉。<sup>1</sup>该浇注炉会自动对铸造生产线上的模具进行浇注，并且以固定的时间间隔重新装入液态金属。模具内部的柱管组合（“流动系统”或“航道系统”）会将浇注的金属准确地引入并分配到模具内。充分供料储存池（冒口）可实现收缩（液态和固态金属体积差）补偿。浇注后，将铸件冷却固化（第一次冷却），再将其从模具中取出进行进一步的可控冷却（二冷）。在砂型铸造厂中，砂铸件在固化后进入振动清理程序，将模具脱除。在振动清理过程中，用粉尘控制设备收集粉尘和烟雾。蜡模以及和壳模在脱模过程中被破坏，产生了固体废物。使用永久性模具技术时，在固化后打开模具，取出铸件，但不会破坏模具。<sup>2</sup>一些铸造厂会对型砂和芯砂进行热处理，去除黏结剂和有机杂质，然后再回收到模具制作装置。

由于在模具及型芯制造过程中使用了多种添加剂来黏结砂料，金属浇注工序中会产生化学反应和分解产物，包括有机和无机化合物（胺和挥发性有机化合物）。分解产物（主要是挥发性有机化合物）的生成在铸造、冷却和脱模过程中会继续。由于这些产品可能造成健康和气味的危害，应在排放前予以提取并进行气体清洗。

## 清理车间

生产出最终产品所需的剩余全部工序都会在清理车间内进行。似乎所用的工艺，可能须进行不同的工序，如去除流动和航道系统、清除铸件表面残余型砂以及铸件内腔内留存的型芯，清除浇注毛刺、修理铸件误差、为机械后加工、装配、热处理、涂装作准备等。<sup>3</sup>

用钢丸、钢砂、或其他机械清洁设施清理金属块，去除任何残余的铸造砂、金属黏附碎屑或氧化物。为此还可使用火焰切割装置和空气-碳弧装置。小件物品通常是在旋转或振动鼓中

<sup>1</sup> 欧委员会锻造和铸造工业 BREF（2001）

<sup>2</sup> 同上

<sup>3</sup> 同上



进行滚动打磨。这通常会涉及添加可能含有表面活性剂的水。残留的耐火材料和氧化物通常通过喷砂或抛丸处理去除，而这一步骤也可用来统一和改进铸件表面外观。可能需要通过焊接连接铸件并修复铸件的缺陷。在涂层工序前可对铸件进行化学清洗以确保涂层将黏附在金属上。

## DISA 技术

DISA 技术是一种自动建造模具并注入金属的湿砂造模工艺。DISA 技术借助液压机制作模具，提高了生产效率和压实砂的质量。DISA 技术可实现多种模具构造，包括垂直铸模、水平铸模，以及模版铸模技术。垂直铸模构造可提供公差非常小的铸件，是目前最流行的构造。在 DISA 工艺中，模具内腔由两个相对的模型（充塞模及摆动模）组成，可移动。这使得模具腔室内的砂可通过冲压再从腔室内脱除。

DISA 技术可实现一系列无砂箱（无须金属或木框模具）的有效制造。它通常被选用于精密铸铁件或铝铸件的大规模生产。DISA 涉及的环保问题类似于其他铸造厂用砂模生产铸铁件所经历的问题，但问题的处理通常已包含在自动化系统之中。