

# 冶金行业 固体废物的 回收与再利用

胡桂渊◎著

西北工业大学出版社

# 冶金行业固体废物的 回收与再利用

胡桂渊 著

西北工业大学出版社  
西安

**【内容简介】** 本书主要介绍冶金工业及环境工程方面的实用技术。全书共分5章，主要内容有冶炼废物再生利用原理、烧结焦化废物再生利用技术、炼铁废渣再生利用技术、含铁尘泥再生利用技术和高炉渣制备多孔吸声材料技术。

本书可供冶金工业、环境污染治理和资源综合利用领域的科研人员、工程技术人员和企业管理人员阅读使用，也可供高等学校相关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

冶金行业固体废物的回收与再利用/胡桂渊著. —

西安: 西北工业大学出版社, 2019. 12

ISBN 978-7-5612-6730-1

I. ①冶… II. ①胡… III. ①冶金工业—固体废物处理②冶金工业—固体废物利用 IV. ①X756.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 292155 号

YEJIN HANGYE GUTI FEIWU DE HUI SHOU YU ZAILIYONG

## 冶金行业固体废物的回收与再利用

责任编辑: 李文乾

策划编辑: 肖 莎

责任校对: 付高明

装帧设计: 杨树明

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029) 88493844 88491757

网 址: [www.nwpup.com](http://www.nwpup.com)

印 刷 者: 西安真色彩设计印务有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 12

字 数: 217 千字

版 次: 2020 年 6 月第 1 版 2020 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 56.00 元

如有印装问题请与出版社联系调换

## | 前 言 |

钢铁工业是我国国民经济建设和发展的支柱产业,近年来粗钢产量快速增长,2014 年我国粗钢产量超过 8 亿吨,2018 年更是达到了 9.28 亿吨。钢铁冶金粉尘产量一般是钢产量的 8%~12%,以年产 9 亿吨钢计算,我国钢铁行业每年产生的粉尘量达 9000 万吨。这些钢铁粉尘中含有铁、钾、锌、硅、钠、碳等可利用组分。钢渣产量一般是粗钢产量的 10%~15%,我国钢铁行业每年产生 1 亿吨左右的钢渣,目前大部分钢渣未能资源化利用。钢铁冶金固废中,粉尘可以借助直接还原炼铁技术提取金属铁,钢渣可作为制备多孔材料、泡沫混凝土等建筑材料的原料,有些钢铁冶金粉尘是提取高附加值产品的重要原料,如制备氧化锌、氯化钾、白炭黑等。

目前,大部分钢铁企业都将固废堆弃处理,不但占用大量的土地资源,污染环境,由固废堆积导致的各类问题日益突出,而且浪费了其中的有价资源。多年来,我国经济得到较快的发展,但在经济发展的同时,环境问题也日益突出。国家中长期规划也把节能减排,大力发展循环经济,建设资源节约型、环境友好型社会定为基本方略。我国是个资源消耗大国,倡导节能减排、发展二次资源循环利用是历史所需,势在必行。

钢铁冶金固废的综合利用是实现钢铁工业固废大规模消纳、资源高效利用、产业升级的关键环节和有效途径。冶金固废高效利用技术的开发和应用,不但对减少资源的浪费、降低现有资源的过度开采具有重要作用,而且有利于降低污染物的排放、减少企业空间和环境压力,为钢铁工业转型升级提供技术支持。本书重点介绍钢铁工业中的炼铁废渣的再生利用技术,以及烧结焦化废物、含铁尘泥和高炉渣的再生利用工艺,以期为促进钢铁冶金固废综合利用技术的开发和应用提供一些可选择的技术方法及有价值的参考。

在编写过程中，本书参考了多位学者的著作和研究成果，在此一并致谢。

由于水平有限，加之冶金行业固体废物的回收与再利用技术也在不断地发展、创新，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正，以便本书的进一步完善。

胡桂渊  
2019 年 8 月

# |目 录|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第 1 章 冶炼固体废物再生利用原理 ..... | 1   |
| 1.1 冶炼固体废物来源 .....       | 1   |
| 1.2 冶炼固体废物再生利用基本方法 ..... | 10  |
| 1.3 冶炼固体废物综合利用途径 .....   | 18  |
| 1.4 钢铁固体废物处理技术路线 .....   | 20  |
| 1.5 有色金属固体废物处理技术路线 ..... | 26  |
| 第 2 章 烧结焦化废物再生利用技术 ..... | 28  |
| 2.1 烧结厂固体废物综合利用 .....    | 28  |
| 2.2 烧结烟气脱硫副产品再生利用 .....  | 32  |
| 2.3 焦化固体废物再生利用 .....     | 42  |
| 第 3 章 炼铁废渣再生利用技术 .....   | 48  |
| 3.1 高炉炼铁废渣的来源和性能 .....   | 48  |
| 3.2 高炉废渣的再生方法 .....      | 55  |
| 3.3 高炉废渣的综合利用 .....      | 90  |
| 第 4 章 含铁尘泥再生利用技术 .....   | 132 |
| 4.1 回收利用的基本方法 .....      | 132 |
| 4.2 烧结、炼焦粉尘回收利用技术 .....  | 135 |
| 4.3 高炉含铁尘泥回收利用技术 .....   | 139 |
| 4.4 炼钢尘泥回收利用技术 .....     | 147 |
| 4.5 轧钢粉尘的回收利用 .....      | 166 |

第 5 章 高炉渣制备多孔吸声材料技术..... 169

5.1 高温烧结法制备多孔吸声材料 ..... 169

5.2 水泥黏结法制备多孔吸声材料 ..... 177

参考文献..... 183

# 第 1 章 冶炼固体废物再生利用原理

金属冶炼生产包括焦炉、烧结机、高炉炼铁、炼钢、轧钢、铁合金及各种有色金属冶炼系统。它涉及的专业范围广、生产工艺复杂、物流流程长，产生的固体废物种类繁多、性质各异、数量巨大。主要固体废物是高炉炼铁废渣、转炉炼钢渣、含铁粉尘、氧化铁皮、有色金属冶炼废渣等十多种废渣。加强冶金固体废物的回收利用，实现固体废物处理的资源化、减量化、无害化，已成为金属冶炼生产管理的重要目标。

## 1.1 冶炼固体废物来源

冶炼废物是指金属冶炼过程中产生的固体、半固体或泥浆废物，主要包括钢铁和有色金属冶炼过程中产生的各种冶炼废物、轧制过程中产生的氧化皮以及各生产环节净化装置收集的各种粉尘、污泥和工业废物。

冶炼废渣主要分为两类：钢铁冶炼废渣和有色金属冶炼废渣。

### 1.1.1 钢铁冶炼废渣来源

钢铁联合企业的主要生产工艺包括铁前系统、炼铁系统、炼钢系统和轧制系统，其中铁前系统包括烧结机、球团回转窑和焦炉。铁前系统生产的烧结矿、球团矿和焦炭按一定比例分批入炉，辅以鼓风和喷煤措施。利用焦炭（包括粉煤）的燃烧和还原特性，将铁矿石中的铁元素还原为单质铁，并以铁水的形式排出。在铁水转炉炼钢过程中，铁水中的碳、硫、磷、锰、硅被氧化，实现了降碳脱硫、磷的目的，以生产出合格的钢水。通过连铸机将钢水铸成不同规格的方坯和板坯，送轧钢厂轧制。钢铁生产工艺流程如图 1-1 所示。

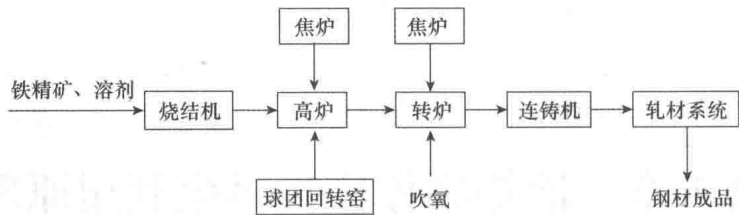


图 1-1 钢铁生产工艺流程

1. 烧结粉尘

烧结厂的固体废物主要是粉尘。烧结过程中，各种设备产生大量粉尘，如燃料破碎、烧结机通风、成品矿筛选等，粉尘的主要部位是烧结机的头部和尾部。成品细度在  $5\sim40\mu\text{m}$  之间，机尾粉尘电阻率在  $5\times10^9\sim1.3\times10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$  之间。总铁含量约为 50%。每吨烧结矿产生  $20\sim40\text{ kg}$  粉尘。这种粉尘中含有较高的  $\text{TFeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  等有益成分，与烧结矿成分基本一致。

2. 炼焦废物

焦化厂生产大量固体物质，如煤尘、焦尘、酸焦油、焦油渣、剩余活性污泥和部分残渣。如果不合理利用这些固体废物，将造成大量的粉尘污染，如果苯、萘、苯酚等有毒物质未经妥善处理，被随意排放，会对生态环境造成严重破坏。

3. 高炉水渣

在高炉冶炼中，焦炭和煤粉在燃烧时会释放大量的热量，产生大量的一氧化碳，在高炉中形成高温还原状态。在这种作用下，铁矿石中的铁元素被还原为元素铁，而其他成分则以渣的形式排出。高温渣水淬形成的固体渣为高炉水渣。水渣的生成量随矿石品位的不同而变化。

4. 高炉干渣

铁水从高炉出铁口排出，经主沟、撇渣器、龙沟、摆动流嘴进入铁水罐。在出铁过程中，铁水凝结结块，使铁沟、撇渣器和摆动流嘴越来越小。清理铁沟、撇渣器和摆动流嘴产生的渣块就是高炉干渣。另外，高炉在异常情况下，从出铁口排出的不是铁水，而是掺有未反应矿物的渣铁混合物。这些渣铁混合物不能满足铁水的质量要求，只能作为干渣的一部分进行处理。干渣的另一个重要来源是，当高炉渣处理系统发生故障时，红渣直接排入干渣坑，不经过渣处理系统，形成干渣。这部分干渣是由脉石、灰分、熔剂和

其他不能进入生铁的杂质组成的易熔混合物，其化学成分主要为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等。

#### 5. 高炉煤气除尘粉尘

高炉煤气是高炉冶炼的副产品。由于其粉尘浓度高，在进入燃气管网前必须对其进行净化。目前，大多数高炉工艺采用重力沉降室和布袋除尘器两级处理高炉煤气。煤气经净化除尘后产生的粉尘称为高炉煤气除尘粉尘。由于除尘技术和综合利用方式的不同，粉尘一般分为两类：重力沉降室排出的高炉重力粉尘和布袋除尘器排出的高炉干法粉尘。

#### 6. 转炉钢渣

炼钢时，炉内注入的氧气与铁水发生强烈反应，以降低碳含量。同时在炉内加入石灰石、白云石等造渣剂，去除铁水中硫、磷、硅等有害元素。钢渣是转炉炼钢过程中的副产品，主要来源于铁水中硅、铝、硫、磷、钒、铁氧化形成的氧化物，冶炼中加入的造渣剂，腐蚀的炉衬材料和护炉材料。钢渣产量占粗钢产量的 15%~17%。从炉中排出的熔融红渣称为炉渣，炉渣经热泼或造粒装置处理后即为钢渣。

#### 7. 转炉除尘污泥

在转炉冶炼中，铁水中的碳元素与吹入的氧气发生强烈反应，释放出大量的炉气（转炉气）。炉气的主要成分是一氧化碳、二氧化碳和氮气，它们与大量粉尘混合。粉尘主要来源于铁水的燃烧损失和未反应的辅助材料（石灰石、白云石等）的细小颗粒。转炉煤气经湿洗除尘后产生大量除尘废水。在除尘废水处理过程中产生的污泥称为转炉除尘污泥。根据不同的水处理工艺和综合利用方式，除尘污泥可分为两类：①粗颗粒分离机排出的污泥粒径大，含铁量高，称为粗粒污泥；②其他从斜板沉淀池和离心机排出的污泥，传统上仍称为转炉除尘污泥（OG 泥）。炉内钢水通常有 1%~2% 以烧损的形式进入烟气。因此，除尘污泥量按每吨钢产生污泥量 19 kg 计算。

#### 8. 含铁尘泥

钢材生产工艺流程长，材料运输量大，扬尘点多。对粉尘源进行分类主要有两个方面：一是冶炼系统的高炉出铁场、转炉二次烟气、烧结机头和尾部等产尘部位；二是矿槽储存、原料供料以及运输系统，如烧结槽、炼铁加料系统等。由于法除尘器收集和这些含尘废气产生的固体废物统称含铁尘泥。

9. 氧化铁皮

在轧制钢之前，钢坯必须加热到轧制温度（大约 1 100℃）。当钢坯在加热炉中加热时，钢坯表面与空气中的氧气发生反应，并在表面形成一层氧化层。为了保证钢材的表面质量，进入轧机前必须将氧化层剥离。通常使用高压除磷装置予以清除，导致氧化层随冲刷水进入浑浊循环水处理系统。漩流沉淀池沉淀产生的固体废物为氧化铁皮。

10. 其他固体废物

其他固体废物主要包括铁矿石渣、废石渣、废旧耐火材料和废油。石灰窑原料经筛分处理后产生的筛下物为废石渣。在高炉、转炉、轧钢加热炉等炉衬材料的检修、维护和拆除中，会产生大量的废旧耐火材料。废油主要来源于机械设备的换油和轧钢水处理系统产生的油污。

为了最大限度地发挥综合利用的效益，需要清楚地认识各种固体废物的主要成分，以便对固体废物进行分类、收集和有效利用。表 1-1 至表 1-3 为某钢铁厂主要固体废物组成分析。

表 1-1 钢铁生产含铁尘泥主要成分分析 单位：%

| 名称                           | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   | TFe   | S     | P     | As    | Pb    | Zn    | C     |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 380m <sup>3</sup> 高炉矿槽除尘灰    | 5.67             | 12.00 | 2.73  | 52.10 | 0.34  | 0.070 | 0.013 | 0.036 | 0.061 | 1.33  |
| 1 250m <sup>3</sup> 高炉矿槽除尘灰  | 6.43             | 8.93  | 2.11  | 54.68 | 0.088 | 0.051 | 0.010 | 0.025 | 0.062 | 1.57  |
| 炼铁供料系统除尘灰                    | 7.09             | 11.40 | 2.47  | 53.31 | 0.089 | 0.067 | 0.015 | 0.028 | 0.048 | 0.49  |
| 1 250m <sup>3</sup> 高炉干法除尘灰  | 8.63             | 4.20  | 1.30  | 22.61 | 0.82  | 0.051 | 0.011 | 1.79  | 7.92  | 29.60 |
| 380m <sup>3</sup> 高炉干法除尘灰    | 7.45             | 5.65  | 1.93  | 26.60 | 1.05  | 0.045 | 0.021 | 1.12  | 6.18  | 32.13 |
| 1 250m <sup>3</sup> 高炉重力除尘灰  | 7.37             | 5.81  | 1.18  | 32.10 | 0.38  | 0.056 | 0.012 | 0.750 | 0.933 | 33.14 |
| 380m <sup>3</sup> 高炉重力除尘灰    | 13.67            | 5.49  | 1.42  | 36.29 | 0.35  | 0.067 | 0.012 | 0.294 | 0.828 | 27.83 |
| 1 250m <sup>3</sup> 高炉出铁场除尘灰 | 4.96             | 2.18  | 0.60  | 51.00 | 0.66  | 0.068 | 0.012 | 1.49  | 1.08  | 12.25 |
| 380m <sup>3</sup> 高炉出铁场除尘灰   | 1.85             | 0.18  | 0.11  | 64.22 | 0.47  | 0.075 | 0.016 | 0.325 | 0.596 | 3.50  |
| 100t 转炉二次除尘灰                 | 5.53             | 10.26 | 2.91  | 40.88 | 0.38  | 0.114 | 0.019 | 1.61  | 2.70  | 7.39  |
| 35t 转炉二次除尘灰                  | 8.41             | 9.04  | 2.24  | 47.51 | 0.28  | 0.128 | 0.019 | 0.739 | 2.43  | 3.32  |
| 100t 转炉除尘废水粗颗粒               | 8.83             | 26.15 | 4.97  | 42.48 | 0.15  | 0.337 | 0.011 | 0.068 | 0.094 | 1.62  |
| 100t 转炉除尘废水污泥                | 1.64             | 15.08 | 2.87  | 48.36 | 0.19  | 0.075 | 0.012 | 0.401 | 0.396 | 2.32  |
| 100t 铁水倒罐站除尘灰                | 1.19             | 0.36  | 0.38  | 60.77 | 0.073 | 0.064 | 0.012 | 1.24  | 0.684 | 9.31  |
| 35t 转炉混铁炉除尘灰                 | 1.29             | 0.49  | 0.34  | 64.68 | 0.38  | 0.038 | 0.013 | 0.516 | 0.387 | 2.03  |
| LF 精炼炉除尘灰                    | 3.78             | 55.27 | 14.83 | 4.97  | 0.38  | 0.016 | <0.01 | 0.049 | 0.076 | 2.89  |
| 100t 转炉地下料仓除尘灰               | 4.72             | 55.66 | 9.91  | 6.79  | 0.48  | 0.023 | <0.01 | 0.020 | 0.039 | 2.40  |
| 机制铸钢电炉除尘灰                    | 8.17             | 12.62 | 14.96 | 30.23 | 0.54  | 0.084 | 0.025 | 0.134 | 0.496 | 1.77  |

表 1-2 烧结机头电除尘灰主要成分分析 单位：%

| 名称                    |       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | TFe   | S    | P     | As    | Pb    | Zn    | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|-----------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|
| 360m <sup>2</sup> 烧结机 | 1 号电场 | 3.84             | 2.33                           | 11.29 | 2.33 | 33.60 | 0.94 | 0.039 | 0.012 | 6.91  | 0.054 | 5.96             | 0.36              |
|                       | 2 号电场 | 2.10             | 1.42                           | 7.34  | 1.69 | 16.35 | 0.61 | 0.019 | 0.013 | 18.30 | 0.089 | 14.92            | 0.88              |
|                       | 3 号电场 | 0.48             | 0.32                           | 2.18  | 1.81 | 3.74  | 0.32 | 0.019 | 0.009 | 29.77 | 0.122 | 20.50            | 1.60              |
|                       | 4 号电场 | 0.54             | 0.28                           | 2.16  | 0.92 | 3.80  | 0.67 | 0.008 | 0.016 | 30.89 | 0.144 | 19.50            | 1.38              |
| 265m <sup>2</sup> 烧结机 | 1 号电场 | 4.49             | 2.51                           | 11.19 | 2.53 | 43.63 | 0.92 | 0.039 | 0.020 | 2.01  | 0.049 | 1.62             | 0.15              |
|                       | 2 号电场 | 3.45             | 2.59                           | 12.26 | 2.70 | 32.52 | 1.09 | 0.051 | 0.037 | 5.64  | 0.098 | 5.86             | 0.63              |
|                       | 3 号电场 | 3.00             | 1.98                           | 10.91 | 2.50 | 23.56 | 1.29 | 0.029 | 0.037 | 11.96 | 0.108 | 9.81             | 0.87              |
| 83m <sup>2</sup> 烧结机  | 1 号电场 | 4.41             | 2.52                           | 10.78 | 2.30 | 45.84 | 0.65 | 0.045 | 0.026 | 0.76  | 0.048 | 0.65             | 0.085             |
|                       | 2 号电场 | 3.54             | 2.28                           | 12.04 | 2.50 | 30.22 | 1.29 | 0.036 | 0.035 | 6.54  | 0.090 | 5.23             | 0.49              |
|                       | 3 号电场 | 2.82             | 1.90                           | 10.40 | 2.66 | 23.57 | 1.51 | 0.032 | 0.063 | 9.54  | 0.118 | 8.67             | 0.87              |

表 1-3 转炉钢铁成分分析 单位：%

| 名称  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | TFe   | S     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | MnO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|-----|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------------------------------|------------------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| 粒化渣 | 13.31            | 0.99                           | 43.44 | 7.98 | 16.01 | 0.024 | 1.69                          | 1.37             | 2.57 | 0.001            | <0.001            | 0.359                         |
| 热泼渣 | 12.86            | 0.86                           | 45.51 | 7.08 | 16.04 | 0.053 | 1.80                          | 1.51             | 2.51 | 0.002            | <0.001            | 0.384                         |
| 原始渣 | 13.09            | 0.78                           | 46.45 | 6.91 | 16.57 | 0.056 | 1.76                          | 0.98             | 1.82 | 0.002            | <0.001            | 0.276                         |

- 注：1. 原始钢渣是刚从转炉倾倒入来的熔融态炉渣。
2. 粒化渣是经粒化装置打碎并急速冷却后的粒状钢渣。
3. 热泼渣是置于渣槽并淋水热焖处理后的钢渣。
4. 以上数据由广西柳州钢铁冶金材料检测中心提供。

1.1.2 有色金属冶炼废物来源

1. 重有色金属冶炼固体废物

重有色金属冶炼固体废物，是指重有色金属冶炼加工过程和环境保护设施产生的固体或淤泥质废物。根据冶炼工艺的不同，有铜渣、铅渣、锌渣、镍渣、钴渣、锡渣、锑渣、汞渣等。在冶炼过程中，每生产 1t 金属，就会产生几吨到几十吨的熔渣。

重金属冶炼产生的固体废物种类多、量大、成分复杂，主要有湿法渣和火法渣。湿法渣可分为焙砂（或精矿）浸出过程中产生的各种浸出渣、浸出

液净化过程中产生的净化渣和电解过程中产生的阳极泥；而火法渣主要包括火法冶金过程中产生的炉渣、粗选过程中产生的粗炼渣、精炼过程中产生的精炼渣和电解精炼过程中产生的阳极泥，以及冶炼过程中产生的烟气被（由除尘器收集）产生的灰尘。

## 2. 铝工业固体废物

铝工业的生产主要包括氧化铝、金属铝和铝加工材料的生产。赤泥是氧化铝生产过程中产生的主要固体废物。采用拜耳法生产，国外每生产 1 t 氧化铝产生 0.3~2 t 赤泥，国内烧结法每生产 1 t 氧化铝产生 1.8 t 赤泥，而采用联合法每生产 1 t 氧化铝产生 0.96 t 赤泥。目前大部分赤泥采用堆场湿存或脱水干化进行处理，其后果越来越严重。扩大赤泥回收方式，提高赤泥综合利用率具有重要意义。

金属铝的主要生产设备是电解槽。电解槽由钢壳内衬耐火砖和碳素材料组成。炭衬层是电解槽的阴极，阳极是碳素电极。在电解过程中，碳阳极不断消耗，需要连续或间歇更新。剩余阳极也可以回收利用。铝电解槽内衬的使用寿命为 4~5 年。在阴极内衬大修过程中，应清理大量的废炭块、腐蚀耐火砖和保温材料。这些废渣是铝还原生产过程中产生的主要固体废物。例如，在 130 kA 的欧洲铝电解槽中，废渣产生量为 30~50 kg/t 铝，其中约 55% 为耐火砖，45% 为炭块，还含有氟，需要回收利用。

## 3. 稀有金属冶炼固体废物

稀有金属主要是指地壳上的一种稀有、分散、不易富集成矿、难以冶炼和提取的金属。1958 年，我国正式对金属元素进行了分类，其中有色金属 64 种、稀有金属 40 多种。稀有金属是人民生活、国防工业和科学技术发展不可缺少的基础材料和战略材料。

稀有金属工业固体废物，是指在采矿、选矿、冶炼、加工过程 and 环境保护设施中，由稀有金属排放的固体或者泥质废物。

### 1.1.3 冶炼固体废物的特点

#### 1. 量大面广，处理工作量大

冶金工业固体废物产生量大。钢铁企业遍布国内钢铁生产大城市。据统计，钢铁联合企业每生产 1 t 钢材排放粉尘 15~50 kg，高炉渣 320 kg，转炉渣 110 kg，以及氧化铁皮、废耐火材料和钢铁工业废料。钢铁工业固体

废物约占我国工业总废物的18%。

## 2. 可综合利用价值大

金属冶炼包括钢铁冶炼和有色金属冶炼。冶炼工业产生的固体废物含有各种有价值的元素，如铁、锰、钒、铬、钼、镍、铌、稀土、铝、镁、钙、硅等金属和非金属元素，高炉水淬渣中硅、钙、镁、铝的氧化物等可重复利用的二次资源通常分布广泛。含铁粉尘含有较高的铁元素，是钢铁厂回收利用的金属资源。转炉尘泥含铁量大于50%，轧制氧化铁含铁量大于90%。

## 3. 钢铁废渣有毒废物较少

除铬和五氧化二钒生产过程中从水中浸出的铬渣和钒渣、特殊钢厂高铬合金钢生产过程中产生的电炉粉尘、碳素制品厂产出的焦油以及薄板表面处理废水产生的含铬污泥等少量有毒废物外，其他固体废物，如尾矿、钢铁渣、含铁粉尘，虽然体积大，但基本上属于一般工业固体废物。

## 4. 有色金属冶炼废物毒性大

有色金属工业固体废物通常含有多种重金属化合物，有些固体废物含有铀、钍等放射性物质，含有多种有毒物质和组成复杂、危害性强的酸、碱类物质。应采取减量化、资源化、无害化的方式妥善处理。表1-4列出了属于危险废物的有色金属残留物。

表 1-4 属于危险废物的有色金属废物

| 行业来源     | 废物代码       | 危险废物                                                                 | 危险特性 |
|----------|------------|----------------------------------------------------------------------|------|
| 常用有色金属冶炼 | 331-002-48 | 铜火法冶炼过程中尾气控制设施产生的飞灰和污泥                                               | T    |
|          | 331-003-48 | 粗锌精炼加上过程中产生的废水处理污泥                                                   | T    |
|          | 331-004-48 | 铅锌冶炼过程中，锌焙烧矿常规浸出法产生的浸出渣                                              | T    |
|          | 331-005-48 | 铅锌冶炼过程中，锌焙烧矿热酸浸出黄钾铁矾法产生的铁矾渣                                          | T    |
|          | 331-006-48 | 铅锌冶炼过程中，锌焙烧矿热酸浸出针铁矿法产生的硫渣                                            | T    |
|          | 331-007-48 | 铅锌冶炼过程中，锌焙烧矿热酸浸出针铁矿法产生的针铁矿渣                                          | T    |
|          | 331-008-48 | 铅锌冶炼过程中，锌浸出液净化产生的净化渣，包括锌粉-黄药法、砷盐法、反向锑盐法、铅锑合金锌粉法等工艺除铜、锑、镉、钴、镍等杂质产生的废渣 | T    |
|          | 331-009-48 | 铅锌冶炼过程中，阴极锌熔铸产生的熔铸浮渣                                                 | T    |
|          | 331-010-48 | 铅锌冶炼过程中，氧化锌浸出处理产生的氧化锌浸出渣                                             | T    |

续表

| 行业来源     | 废物代码       | 危险废物                                                    | 危险特性 |
|----------|------------|---------------------------------------------------------|------|
| 常用有色金属冶炼 | 331-011-48 | 铅锌冶炼过程中，鼓风机炼锌蒸气冷凝分离系统产生的鼓风机浮渣                           | T    |
|          | 331-012-48 | 铅锌冶炼过程中，锌精馏炉产生的锌渣                                       | T    |
|          | 331-013-48 | 铅锌冶炼过程中，铅冶炼、湿法炼锌和火法炼锌时，金、银、铋、镉、钴、镧、锗、铈等有价值金属的综合回收产生的回收渣 | T    |
|          | 331-014-48 | 铅锌冶炼过程中，各干式除尘器收集的各类烟尘                                   | T    |
|          | 331-015-48 | 铜锌冶炼过程中烟气制酸产生的废甘汞                                       | T    |
|          | 331-016-48 | 粗铅熔炼过程中产生的浮渣和底泥                                         | T    |
|          | 331-017-48 | 铅锌冶炼过程中，炼铅鼓风机产生的黄渣                                      | T    |
|          | 331-018-48 | 铅锌冶炼过程中，粗铅火法精炼产生的精炼渣                                    | T    |
|          | 331-019-48 | 铅锌冶炼过程中，铅电解产生的阳极泥                                       | T    |
|          | 331-020-48 | 铅锌冶炼过程中，阴极铅精炼产生的氧化铅渣及碱渣                                 | T    |
|          | 331-021-48 | 铅锌冶炼过程中，锌焙烧矿热酸浸出黄钾铁矾法、热酸浸出针铁矿法产生的铅银渣                    | T    |
|          | 331-022-48 | 铅锌冶炼过程中产生的废水处理污泥                                        | T    |
|          | 331-023-48 | 粗铅精炼加工过程中产生的废弃电解池列                                      | T    |
|          | 331-024-48 | 铝火法冶炼过程中产生的初炼炉渣                                         | T    |
|          | 331-025-48 | 粗铜精炼加工过程中产生的盐渣、浮渣                                       | T    |
|          | 331-026-48 | 铝火法冶炼过程中产生的易燃性撇渣                                        | R    |
|          | 331-027-48 | 铜再生过程中产生的飞灰和废水处理污泥                                      | T    |
|          | 331-028-48 | 锌再生过程中产生的飞灰和废水处理污泥                                      | T    |
|          | 331-029-48 | 铅再生过程中产生的飞灰和残渣                                          | T    |
| 贵金属冶炼    | 332-001-48 | 汞金属回收工业产生的废渣及废水处理污泥                                     | T    |

注：危险特性是指毒性（Toxicity，T）、反应性（Reactivity，R）等。

1.1.4 固体废物的危害

1. 废物对环境的污染

随着人类社会生产活动的发展，冶金工业废物量逐年增加。处理这些废物需要大量的人力、物力、财力和土地。如果处置不当，将对环境造成严重污染。冶炼废物对环境的污染主要表现在以下四个方面。

(1) 对土壤和地下水的污染。由于废物和垃圾是在生产和生活过程中产

生的,其堆放不可避免地会占用大量土地,废物堆放与农业用地竞争的矛盾日益尖锐。在自然风化作用下,大量的有毒废物四处流散,污染了土壤。由于采矿废石大量堆积,农田和大片森林遭到破坏。

由于冶炼废物中含有多种有毒物质,对土壤的危害也很严重。这些有毒废物长期存放,其可溶成分随雨水从地表向下渗透,并转移到土壤中,使废渣附近的土壤酸化、碱化、硬化,甚至造成重金属污染。

有毒物质进入土壤后,不仅在土壤中积累,造成土壤污染,而且通过雨水等渗漏进入地下水,造成附近地区地下水污染,对人体健康构成潜在威胁。

(2) 对地表水域的污染。冶炼固体废物除了通过土壤渗入地下水外,还可以通过风、雨或人为因素进入地表水。

在雨水的作用下,冶炼固体废物很容易通过地表径流流入河流、湖泊和海洋,造成水体的严重污染和生态破坏。有的企业直接向江河、湖泊、沿海水域倾倒工业垃圾,造成较大规模的水污染。

(3) 对植物的污染和危害。堆积的固体废物不仅占用了土地,而且破坏了地表的绿化植被。废物堆放后,化学变化不断释放出对植物生长有害的有毒物质,使绿色植物无法再生。大量的绿色植物被掩埋,不仅破坏了自然环境,还杀死了氧的制造者。一方面,冶金废物的堆放消耗大量氧气,另一方面,它破坏了氧气的来源,从而破坏了自然界中氧气的物质循环。

植物需要不同种类的重金属。但是,铜、汞、铅等重金属是植物生长发育中不必要的元素,且对人体健康有害。一些元素是植物正常生长发育所必需的,具有一定的生理功能,如铜、锌等。铜和锌在土壤中是不可缺少的,但当含量过高时,会造成污染危害。土壤中重金属含量对植物体内不需要的重金属的浓度有明显的影响。如果土壤中这些元素的含量过高,就会使植物中这些元素的含量迅速达到污染水平。因此,土壤中汞、铝和铅含量过高,往往比铜、锌等微量元素含量过高的危害更为严重。

不同类型的重金属污染土壤对农作物的危害不同。例如,铜和锌主要阻碍植物的正常生长,而在作物生长发育不受阻碍的情况下,植物体内汞和镉的积累可能显著增加,甚至达到有害水平。一般来说,汞和镉在土壤中积累,对作物生长危害不大,但它们在土壤和作物中的残留会显著增多。

(4) 对大气的污染。冶金固体废物在堆放过程中,在温度和水的作用下,一些有机物分解产生有害气体,一些腐败的废物散发出鱼腥味,造成空

气污染。例如，煤矸石堆放时经常自燃，一旦火势蔓延，很难扑灭，并排放大量二氧化硫气体，污染大气环境。废物和垃圾以颗粒物的形式随风飘散，不仅污染建筑物、花卉和树木，危害市容和卫生，而且污染环境，影响人体健康。

此外，在冶金工业固体废物的运输和处理过程中，有害气体和粉尘污染也十分严重。

## 2. 冶炼废物对人体的危害

冶炼过程中，粉尘、工业毒物、高温、噪声、辐射等有害因素对工人的健康造成危害。

(1) 粉尘的危害。在空气或水的环境容量、自然与人体的自净能力、人为控制能力、粉尘的性质、作用于人体的粉尘的时间和数量等相互作用下，自然或人为粉尘对人体造成有害影响，这被称为粉尘危害。

粉尘危害是我国最严重的工业危害之一。随着冶金工业的快速发展，有尘企业和接尘工人急剧增加。防尘工作与生产发展不同步，产生了不良影响，主要表现在：尘点合格率低，严重超标；尘肺患病率高，在过去 30 年中我国尘肺患者数量平均年增长率为 13.3%，只有近几年才得到缓解和改善；环境污染，影响人类健康。此外，还有一些放射性矿物（如铀矿）在冶炼过程中含有或吸附放射性核素的粉尘，具有电离辐射特性，辐射会对人体造成严重危害。

(2) 工业毒物的危害。工业毒物含有一些能引起中毒的物质。这些物质可引起急性中毒、亚急性中毒和慢性中毒。冶金固体有毒废物侵入人体有直接和间接两种途径。其直接途径是：废渣粉尘被风吹起，经呼吸道进入人体；废渣通过与手、食物接触，经食道进入人体；经由皮肤被污染，产生刺激。间接途径是通过污染水和土壤进入食物链，在人体内积累，积累到一定程度后引起中毒症状。

综上所述，冶金过程中产生的固体废物对环境造成严重污染，对人类生产和生活造成严重危害。因此，有必要采取措施对其进行有效控制。

## 1.2 冶炼固体废物再生利用基本方法

在冶炼固体废物的综合利用过程中，必须采用一系列的再生处理方法来