

钢铁冶金新技术丛书

# 钢铁冶金尘渣 利用新技术基础

TECHNICAL PRINCIPLE FOR UTILIZATION OF  
SOLID WASTE FROM IRON AND STEEL INDUSTRY

郭占成 公旭中 著



科学出版社

钢铁冶金新技术丛书

# 钢铁冶金尘渣利用新技术基础

Technical Principle for Utilization of Solid Waste  
from Iron and Steel Industry

郭占成 公旭中 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

全书共9章,第1章介绍典型钢铁冶金固废的化学组成和基本物性,为确定其资源化利用工艺技术提供基础数据;第2章介绍转底炉碳热还原处理含铁尘泥工艺技术;第3章介绍转底炉二次尘泥提取氧化锌工艺技术;第4章介绍烧结电除尘灰提取氯化钾技术;第5章介绍烧结电除尘灰提取氯化钾联产碳酸钙和硫酸钾的技术;第6章介绍硅铁矿热炉微硅粉碳化法制备白炭黑技术;第7章介绍高炉渣制备多孔吸声材料技术;第8章介绍钢渣制备多孔吸声材料技术;第9章介绍钢渣制备泡沫混凝土技术。本书通过介绍典型钢铁冶金固废资源化利用技术,可为钢铁行业实现节能减排,拓展冶金固废的高效利用途径提供参考。

本书可供钢铁冶金专业和冶金固废资源化相关领域科技工作者、教师及研究生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶金尘渣利用新技术基础 = Technical Principle for Utilization of Solid Waste from Iron and Steel Industry/郭占成,公旭中著. —北京:科学出版社,2017.3

(钢铁冶金新技术丛书)

ISBN 978-7-03-052037-1

I. ①钢… II. ①郭…②公… III. ①钢铁冶金-粉尘-废物综合利用 IV. ①X757

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 045982 号

责任编辑:吴凡活 刘翠娜 / 责任校对:郭瑞芝  
责任印制:张 伟 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



2017年3月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:29

字数:565 000

定价:188.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《钢铁冶金新技术丛书》编委会

**主任:** 周国治 (中国科学院院士、北京科技大学教授)

**副主任:** 张欣欣 (北京科技大学校长、教授)

**编委:** 包燕平 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

成国光 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

陈伟庆 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

郭占成 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

李 晶 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

刘 青 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

焦树强 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

王静松 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

薛庆国 (钢铁冶金新技术国家重点实验室教授)

## 《钢铁冶金新技术丛书》序

钢铁工业是我国国民经济建设和发展的支柱产业,但存在着巨大的节能减排压力、严重的铁矿资源短缺以及迫切的高端产品生产技术要求。要解决这些制约我国钢铁工业可持续发展所面临的问题,在国家产业政策调整与引导的同时,必须加强基础理论研究与创新技术研发,开发具有自主知识产权的新工艺、新技术,推动钢铁产业技术进步。

2011年10月,科学技术部批准依托北京科技大学建立钢铁冶金新技术国家重点实验室。钢铁冶金新技术国家重点实验室以国家重大需求为导向,紧密围绕碳素能源高效转化、冶金资源高效利用、高端钢铁材料高效生产等关乎我国钢铁工业可持续发展的基础理论和关键新工艺、新技术开展系统深入的科学技术研究。实验室坚持有组织的科学研究与自由探索相结合、基础研究与技术创新并重、长期目标与短期目标兼顾的原则,针对高温过程冶金物理化学、能量高效转换与链接、铁矿资源高效利用、钢的纯净化及夹杂物控制四个方向开展科学技术基础研究,力争通过基础理论的突破,在复杂矿资源综合利用、节能减排、洁净钢高效冶炼等关键技术上建立工业技术原理,并通过产学研结合开发新工艺、新技术、新装备。

钢铁冶金新技术国家重点实验室成立以来已取得了一批重要成果,例如,在熔渣结构与物性预报方面,提出了以新一代几何模型为代表的一系列计算复杂熔体物理化学性质的理论方法和模型,并被广泛应用到相图计算、热力学数据提取、熔体物性计算和预报,并形成了以“周模型”命名的理论体系,取得了国际领先的基础理论研究成果;在洁净钢和夹杂物控制方面,通过钢/渣/夹杂物等多元多相反应热力学与动力学的系统研究,掌握了钢中O、S等杂质去除和夹杂物调控的机理,利用氧化物冶金技术改善钢的组织结构,开发新型洁净化生产装备,提出特殊钢洁净化生产新技术,研究成果应用于高品质汽车用钢、管线钢、轴承钢、弹簧钢、帘线钢等的生产;在冶金粉尘循环利用方面,揭示了各类冶金粉尘的矿物学结构特征及碳热还原过程中K、Na、Zn、Pb的分离、富集行为,突破了转底炉处理冶金粉尘若干关键工程技术,解决了冶金富钾粉尘分离提取氯化钾的关键工艺技术,建立了转底炉处理冶金粉尘和富钾粉尘生产氯化钾的示范工程,推动了我国钢铁冶金粉尘循环利用技术发展;在节能方面,研发了电炉炼钢复合吹炼的技术,发明了电炉炼钢

集束射流技术,研究成果广泛应用于电炉炼钢工艺中,实现了电炉炼钢高效率、低能耗的冶炼过程。此外,针对全氧高炉炼铁、冶金过程 CO<sub>2</sub> 资源化利用、钒钛磁铁矿资源综合利用、钢渣资源化利用等基础理论研究和技术研发也取得了重要进展。

《钢铁冶金新技术丛书》本着“百花齐放、百家争鸣”的出版方针和“探索、创新、求实”的科学精神,将钢铁冶金新技术国家重点实验室的一些专题研究成果介绍给读者,以期对提高钢铁冶金学科的前沿理论水平,提升自主创新能力、培养钢铁冶金领域创新人才,促进钢铁工业技术发展贡献一份力量。



钢铁冶金新技术国家重点实验室学术委员会主任

中国工程院副院长、院士

2014年6月15日

## 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t。钢铁冶金粉尘产量一般是钢产量的8%~12%,以年产8亿t钢计,我国钢铁行业每年产生的粉尘量达8000万t左右。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t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。近年来,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含铁尘泥,特别是烧结电除尘灰、铁合金粉尘、转底炉二次粉尘,以及水淬高炉渣和转炉钢渣等固废的资源化利用和有价物质提取的新工艺,例如转底炉处理含铁尘泥工艺技术、转底炉二次粉尘提取氧化锌技术、烧结电除尘灰提取氯化钾及联产碳酸钙和硫酸钾工艺技术、微硅粉制备白炭黑工艺技术、水淬高炉渣和转炉钢渣制备多孔吸声材料技术、转炉钢渣制备泡沫混凝土技术等,以期为促进钢铁冶金固废综合利用的技术开发和应用提供一些可选择的技术方法及有价值的参考。

借本书的出版,感谢为此书内容做出重要贡献的科研工作者,感谢博士研究生彭翠、支歆、詹光、孙朋、余雪峰,感谢硕士研究生古明远、李会芳、廉世华、李鹏、何

冬林、张福利、付娜、贺瑞飞、张金梁、巨鹏瑞。

本书内容主要是作者过去研究工作的总结和见解,以供读者参考。作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。



2016年11月



# 目 录

## 《钢铁冶金新技术丛书》序

### 前言

第 1 章 钢铁行业固废基本物性	1
1.1 钢铁冶金含铁尘泥物性	1
1.1.1 含铁粉尘的来源	1
1.1.2 含铁尘泥的物性	2
1.1.3 含铁尘泥的化学组成	3
1.1.4 含铁尘泥的物相	4
1.2 烧结电除尘灰物性	13
1.2.1 烧结电除尘灰钾钠含量	13
1.2.2 烧结电除尘灰比表面及粒度	15
1.2.3 烧结电除尘灰 SEM-EDS 分析	17
1.2.4 烧结电除尘灰化学成分	18
1.2.5 烧结电除尘灰中多环芳烃含量	19
1.2.6 烧结电除尘灰中钾元素存在形式	20
1.3 转底炉二次粉尘物性	26
1.3.1 转底炉二次粉尘来源	26
1.3.2 转底炉二次粉尘粒度	27
1.3.3 转底炉二次粉尘显微结构	28
1.3.4 转底炉二次粉尘化学组成	29
1.3.5 转底炉二次粉尘物相	30
1.4 硅铁冶炼粉尘物性	31
1.4.1 微硅粉化学成分	31
1.4.2 微硅粉颗粒粒度与形貌	32
1.4.3 微硅粉矿相结构	33
1.5 高炉水淬渣物性	34
1.5.1 高炉水淬渣成分	34
1.5.2 高炉水淬渣的物理性能	35
1.5.3 高炉水淬渣颗粒的抗压性能	36
1.5.4 水淬高炉渣颗粒物相	37

1.5.5 高炉水淬渣颗粒形貌 .....	39
1.6 转炉钢渣物性 .....	42
1.6.1 转炉钢渣的化学组成 .....	42
1.6.2 转炉钢渣的矿物组成 .....	42
1.6.3 转炉钢渣的物理性能 .....	43
1.6.4 转炉钢渣的微观形貌 .....	44
参考文献 .....	46
<b>第2章 转底炉处理含铁尘泥</b> .....	<b>48</b>
2.1 含铁尘泥压球 .....	48
2.1.1 生球性能 .....	49
2.1.2 单一粉尘的成球与还原 .....	50
2.1.3 混合粉尘球团压球 .....	52
2.2 生球干燥工艺 .....	58
2.2.1 干燥机理 .....	58
2.2.2 干燥原理 .....	59
2.2.3 生球爆裂 .....	61
2.3 含锌粉尘碳热直接还原 .....	62
2.3.1 含锌粉尘碳热直接还原热力学 .....	62
2.3.2 含锌粉尘碳热直接还原效果 .....	63
2.3.3 还原温度对球团还原的影响 .....	65
2.3.4 还原时间对球团还原的影响 .....	65
2.3.5 碳氧物质的量比对球团还原的影响 .....	67
2.4 直接还原过程中锌、铅、钾、钠的脱除 .....	70
2.4.1 碳氧物质的量比对锌铅钾钠脱除的影响 .....	70
2.4.2 还原时间对锌、铅、钾、钠脱除率的影响 .....	71
2.4.3 还原温度对锌、铅、钾、钠脱除率的影响 .....	74
2.4.4 球团内部微观结构的变化 .....	75
2.4.5 锌还原动力学机理 .....	76
2.4.6 二次灰尘收集与性质 .....	81
2.4.7 锌、铅、钾、钠物料衡算 .....	83
参考文献 .....	85
<b>第3章 转底炉二次粉尘提取氧化锌</b> .....	<b>87</b>
3.1 锌的生产工艺 .....	88
3.1.1 转底炉二次粉尘中的锌 .....	88
3.1.2 含锌粉尘湿法处理工艺 .....	88

3.2 转底炉二次粉尘水浸特性	89
3.2.1 转底炉二次粉尘水浸后组成	89
3.2.2 温度对锌浸出率的影响	91
3.2.3 液固比对锌浸出率的影响	92
3.3 化学沉淀法制备氧化锌	94
3.3.1 氢氧化钾溶液加入速度的影响	95
3.3.2 反应温度的影响	99
3.3.3 搅拌速度的影响	104
参考文献	109
<b>第4章 烧结电除尘灰提取氯化钾</b>	<b>111</b>
4.1 烧结电除尘灰中氯化钾水浸动力学	111
4.1.1 烧结电除尘灰水浸过程	112
4.1.2 搅拌速率对钾离子浸出率的影响	113
4.1.3 液固比对钾离子浸出率的影响	114
4.1.4 阳离子浸出量的比较	114
4.1.5 烧结电除尘灰水浸模型	115
4.1.6 烧结电除尘灰水浸动力学	119
4.2 烧结电除尘灰浸出液中钙离子的脱除	124
4.2.1 过饱和度的影响	126
4.2.2 温度的影响	130
4.2.3 搅拌速度的影响	131
4.2.4 浸出液除钙净化	131
4.2.5 硫酸钾向氯化钾的转化	134
4.3 烧结电除尘灰浸出液 KCl-NaCl-CaCl <sub>2</sub> 的分离	138
4.3.1 利用 KCl-NaCl-H <sub>2</sub> O 体系水盐相图分离 KCl 和 NaCl	138
4.3.2 溶液蒸汽压及测定原理	140
4.3.3 KCl-NaCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O 体系蒸汽压与溶液组分及温度的关系	144
4.4 KCl-NaCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O 四元体系相平衡及溶解度	148
4.4.1 KCl-NaCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O 溶解度	150
4.4.2 溶解度理论计算	151
4.4.3 Pitzer 参数的求解	156
4.4.4 溶解度实验测量值和理论计算值的比较	158
4.5 氯化钾晶体生长及杂质对氯化钾结晶的影响	159
4.5.1 流动温差法在线观察氯化钾生长过程	159
4.5.2 杂质对氯化钾晶体形貌的影响	164

4.5.3	氯化钾结晶过程中的杂质的吸附与洗涤脱除 .....	169
4.5.4	烧结电除尘灰浸出液中杂质的脱除 .....	172
4.6	烧结电除尘灰提取氯化钾工艺流程 .....	174
4.6.1	烧结电除尘灰浸出后除杂 .....	175
4.6.2	抑制杂质浸出工艺流程 .....	176
4.6.3	烧结电除尘灰提取氯化钾流程 .....	178
4.6.4	烧结电除尘灰提取氯化钾工艺路线 .....	179
	参考文献 .....	182
<b>第5章</b>	<b>烧结电除尘灰提取氯化钾联产碳酸钙与硫酸钾</b> .....	<b>187</b>
5.1	浸出液中钙离子溶解性能 .....	187
5.1.1	KCl 对 CaSO <sub>4</sub> 溶解度的影响 .....	189
5.1.2	NaCl 对 CaSO <sub>4</sub> 溶解度的影响 .....	189
5.1.3	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 对 CaSO <sub>4</sub> 的溶解度的影响 .....	190
5.1.4	KCl-NaCl-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 混合盐对 CaSO <sub>4</sub> 溶解性能的影响 .....	191
5.2	浸出液中钙离子的去除 .....	192
5.2.1	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 溶液浓度对钙离子去除的影响 .....	193
5.2.2	反应温度对钙离子去除的影响 .....	195
5.3	球形碳酸钙的制备 .....	196
5.3.1	碳酸钠溶液浓度对碳酸钙晶体的影响 .....	196
5.3.2	反应温度对碳酸钙晶体的影响 .....	197
5.3.3	搅拌速率对碳酸钙晶体的影响 .....	199
5.3.4	陈化时间对碳酸钙晶体的影响 .....	200
5.3.5	固体碳酸钠对碳酸钙晶体的影响 .....	201
5.3.6	反应机理分析 .....	203
5.3.7	钾盐浸出联产球形碳酸钙工艺 .....	204
5.4	氯化钾制备硫酸钾的方法 .....	206
5.4.1	硫酸盐型卤水制备硫酸钾 .....	206
5.4.2	钾长石制备硫酸钾 .....	207
5.4.3	转化法制备硫酸钾 .....	207
5.5	氯化钾制备硫酸钾 .....	211
5.5.1	乙醇用量对硫酸钾纯度及转化率的影响 .....	213
5.5.2	反应物质的量比对硫酸钾纯度及转化率的影响 .....	217
5.5.3	混合溶液蒸发量比对硫酸钾纯度及转化率的影响 .....	218
5.5.4	氯化钠含量对硫酸钾纯度及转化率的影响 .....	219
5.6	硫酸钾晶体生长动力学 .....	222

5.6.1	溶液流速对晶体生长的影响	224
5.6.2	溶液过饱和度对晶体生长的影响	228
5.6.3	硫酸钾晶体生长机理	230
5.6.4	烧结灰浸出液氯化钾制备硫酸钾	232
	参考文献	233
<b>第6章</b>	<b>微硅粉碳化制备白炭黑</b>	<b>238</b>
6.1	微硅粉制备水玻璃工艺	240
6.1.1	反应温度对溶出速率的影响	243
6.1.2	模数预比对水玻璃模数及溶出率的影响	245
6.1.3	固液比对水玻璃溶出率的影响	246
6.1.4	杂质促进凝胶降低机理	246
6.1.5	强化溶出的过程控制	251
6.2	碳化法制备纳米 SiO <sub>2</sub> 的结构调控	251
6.2.1	纳米 SiO <sub>2</sub> 性能的影响因素	254
6.2.2	碳化工艺的放大	261
6.2.3	SiO <sub>2</sub> 颗粒孔隙结构	264
6.2.4	SiO <sub>2</sub> 颗粒表面官能团	267
6.3	碳化过程中纳米 SiO <sub>2</sub> 生长机理	271
6.3.1	纳米 SiO <sub>2</sub> 颗粒的生长过程	273
6.3.2	碳化法与硫酸法纳米 SiO <sub>2</sub> 生长机理	277
6.4	纳米 SiO <sub>2</sub> 合成过程的反应动力学	281
6.4.1	CO <sub>2</sub> 吸收过程中反应与扩散传质	282
6.4.2	碳化过程动力学	285
6.5	白炭黑改性	289
6.5.1	氧化铈改性白炭黑方法	290
6.5.2	氧化铈改性白炭黑机理	292
6.5.3	改性白炭黑抗紫外线光学性能	295
6.6	碳化尾气循环利用	297
6.6.1	碳化尾气循环利用	298
6.6.2	高浓度 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 对溶出反应的影响	301
6.6.3	高浓度 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 对碳化反应的影响	304
6.6.4	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 的分离回收	305
6.6.5	微硅粉碳化法制备白炭黑清洁生产工艺	306
	参考文献	306

<b>第 7 章 高炉渣制备多孔吸声材料</b> .....	310
7.1 多孔吸声材料 .....	310
7.1.1 声音的基本特性 .....	310
7.1.2 多孔吸声材料的基本特性 .....	312
7.1.3 多孔吸声材料性能表征 .....	314
7.2 高温烧结法制备多孔吸声材料 .....	317
7.2.1 水淬渣粒度对吸声性能的影响 .....	318
7.2.2 成型压力与厚度对声性能的影响 .....	321
7.2.3 烧结时间和成型压力对材料强度的影响 .....	329
7.2.4 烧结机理 .....	331
7.2.5 成型压力对孔隙率和容重的影响 .....	332
7.3 水泥黏结法制备多孔吸声材料 .....	334
7.3.1 水泥黏结法多孔材料的性能 .....	334
7.3.2 加入发泡剂对吸声性能的改善 .....	338
7.4 高温烧结法与常温黏结法材料孔隙结构的比较 .....	339
7.4.1 材料表面孔隙 .....	339
7.4.2 材料内部孔隙 .....	340
参考文献 .....	342
<b>第 8 章 钢渣制备多孔吸声材料</b> .....	343
8.1 钢渣制备多孔吸声材料工艺 .....	343
8.1.1 高温烧结工艺 .....	343
8.1.2 水泥黏结工艺 .....	344
8.2 钢渣-微硅粉体系烧结法制备多孔吸声材料 .....	345
8.2.1 烧结温度对多孔吸声材料性能的影响 .....	346
8.2.2 制样压强对多孔吸声材料性能的影响 .....	349
8.2.3 黏结剂添加量对多孔吸声材料性能的影响 .....	351
8.2.4 造孔剂添加量对多孔吸声材料性能的影响 .....	355
8.2.5 材料厚度对材料吸声性能的影响 .....	358
8.3 钢渣-粉煤灰体系制备多孔吸声材料 .....	359
8.3.1 煤粉作为造孔剂制备多孔材料 .....	361
8.3.2 EPS 作造孔剂制备吸声材料 .....	367
8.3.3 原料对多孔吸声材料烧结造孔控制 .....	374
8.3.4 工艺对材料烧结成孔的控制 .....	382
8.3.5 钢渣多孔材料烧结反应机理 .....	389
8.3.6 钢渣烧结动力学 .....	395

8.4 钢渣黏结法制备多孔吸声材料 .....	401
8.4.1 成型压力对多孔吸声材料性能的影响 .....	402
8.4.2 黏结剂添加量对多孔吸声材料性能的影响 .....	405
8.4.3 材料厚度对材料吸声性能的影响 .....	409
8.4.4 材料的形貌与微观结构 .....	410
参考文献 .....	412
<b>第9章 钢渣制备泡沫混凝土</b> .....	<b>413</b>
9.1 泡沫混凝土 .....	413
9.1.1 泡沫混凝土的分类 .....	413
9.1.2 泡沫混凝土的性质 .....	414
9.1.3 泡沫混凝土的制备 .....	415
9.2 钢渣粒度与物理性能的关系 .....	416
9.2.1 钢渣颗粒微观形貌 .....	417
9.2.2 超细钢渣浆体的流动性 .....	417
9.2.3 钢渣粒度对胶凝活性影响 .....	420
9.2.4 钢渣粒度对钢渣净浆性能的影响 .....	422
9.3 钢渣制备泡沫混凝土 .....	425
9.3.1 发泡剂种类对钢渣泡沫混凝土性能的影响 .....	425
9.3.2 水灰比对钢渣泡沫混凝土性能的影响 .....	426
9.3.3 减水剂对钢渣泡沫混凝土性能的影响 .....	428
9.3.4 钢渣粒度对钢渣泡沫混凝土性能的影响 .....	430
9.3.5 钢渣掺量对钢渣泡沫混凝土性能的影响 .....	434
9.4 钢渣-掺合料复掺泡沫混凝土性能 .....	438
9.4.1 掺合料的效应作用 .....	438
9.4.2 钢渣-掺合料复掺对泡沫混凝土基本性能的影响 .....	440
9.4.3 钢渣-掺合料复掺泡沫混凝土水化硬化及微观结构 .....	443
参考文献 .....	447

## 第 1 章 钢铁行业固废基本物性

建设资源节约型社会,把工业废弃物和城市生活废弃物作为新的再生资源重新纳入传统的产业之中,进一步构建和谐和完善的产业体系,是国家《节能中长期专项规划》提出的十大重点节能工程之一,并把冶金工业废弃物列为资源再利用的鼓励项目。

钢铁行业产能的快速增长导致钢铁冶金固废产量日益增加,钢铁冶金粉尘产量一般是钢产量的 8%~12%,钢渣产量一般是粗钢产量的 10%~15%,以年产 8 亿 t 钢计,我国钢铁行业每年产生的粉尘量达 0.8 亿 t 左右、钢渣 1 亿 t 左右,多数粉尘中含有铁、碳、钾、钠、锌、铅等可利用组分<sup>[1]</sup>。过去,大部分企业都将这些固废堆积处理,不仅占用大量的土地资源,污染环境,对其中的可利用资源也是一种浪费。即便现在,钾、钠、锌、铅等含量较高的粉尘及大部分钢渣仍然以堆放处理为主。

据不完全统计,我国钢渣资源利用率仅约 35%<sup>[2]</sup>。我国累计堆放尚未利用的钢渣达 3 亿多 t,在国内钢铁企业中,由固废的堆积导致的各类问题日益突出。近年来,我国经济得到较快发展,但在经济发展的同时,环境问题也日益突出。“十二五”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。

为了开发典型钢铁冶金固废综合利用技术,首先必须了解它们的基本物性和化学组成。因此,本章重点研究几种典型钢铁冶金固废的化学组成和物理属性,为研究钢铁冶金固废的高效利用技术提供基础数据。

### 1.1 钢铁冶金含铁尘泥物性

#### 1.1.1 含铁粉尘的来源

冶金企业含铁尘泥主要是在钢铁冶炼轧制生产过程中产生的一种含铁较高的固体物质。按照钢铁冶炼的生产工艺,含铁尘泥主要产生于烧结、炼铁、炼钢和轧钢等工艺,包括如下几种<sup>[3]</sup>。①烧结原料在转运、烧结过程中,除尘器收集下来的粉尘,统称为烧结尘泥;烧结尘泥总铁含量在 50%左右,粒度在 5~40 $\mu\text{m}$ 。②在高炉煤气净化过程中,重力除尘器收集下来的粉尘称为瓦斯灰,而文氏管洗涤下来的



粉尘称为瓦斯泥,高炉尘泥一般含铁 20%~40%,重力除尘瓦斯灰粒度较粗,瓦斯泥粒度细小,一般在 15~90 $\mu\text{m}$ ;含有较多的碳和一些锌、铅、碱性氧化物,脉石矿物表面常有细粒的含铁矿物嵌布并粘有炭黑粉末。③转炉湿式除尘收集的粉尘称为转炉污泥,转炉尘泥是铁水在吹炼时部分金属铁被氧化成  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,80%粒度小于 40 $\mu\text{m}$ ,总铁含量在 50%~60%。④电炉炼钢烟气收集的粉尘称为电炉尘,电炉尘泥含铁 30%左右,含锌、铅 10%~20%,粒度小于 20 $\mu\text{m}$  的占 90%以上。⑤轧钢铁皮是在钢材轧制过程剥落的氧化铁皮及钢材酸洗过程中被溶解渣泥的总称。总铁含量可达 70%~80%,杂质最少,其粒度皆较粗。⑥在轧钢废水循环利用中沉淀池回收的污泥称为轧钢二次污泥。⑦高炉出铁场收集的粉尘称为高炉出铁场粉尘。在钢铁生产中,含铁尘泥产生量大,国内冶金企业平均每吨钢产生 100kg 左右<sup>[4]</sup>。含铁尘泥中 TFe 含量在 30%~70%,颗粒细。其中湿式除尘的尘泥含水率较高,高达 20%~50%。除铁之外,尘泥中还有可观的碳、锌、铅、钾、钠等元素,应作为一种资源加以合理利用。

### 1.1.2 含铁尘泥的物性

钢铁生产是由原料处理(烧结、球团、焦化)、炼铁、炼钢、轧钢等多道工序组成。每吨钢产生 5%~10%的各种粉尘。含铁粉尘主要包括高炉槽上槽下灰、高炉干法除尘灰、转炉干法细灰、转炉干法粗灰、转炉污泥、转炉环境除尘灰、电炉灰和轧线污泥。以典型钢铁企业提供的各类粉尘为例,其基本物性如下。

#### 1. 水分测定

将粉尘装入干燥盘中并置于干燥箱内在 105 $^{\circ}\text{C}$  下干燥,反复称量至质量变化等于或小于试验样初始质量的 0.05% 为止,计算粉尘的含水量,其水分含量测定结果见表 1.1。

表 1.1 尘泥含铁尘泥的含水量 (单位: %)

高炉干法 除尘灰	转炉 细灰	转炉 粗灰	电炉灰	轧线 污泥	转炉 污泥	高炉槽上 槽下灰	转炉环境 除尘灰	烧结电 除尘灰
4.3	10.1	-1.8	0.9	11.25	20.7	14.5	0.33	0.10

转炉粗灰烘干后质量有所增加,含水量计算结果为负值,是因为粗灰中的金属铁和氧化亚铁含量高,在干燥过程中有少量被氧化所致。由表 1.1 可知,尘泥的水分含量差异很大,转炉污泥含水量最高,形成泥块,需干燥后破碎使用。

#### 2. 堆比重测定

应用量筒法测得各种粉尘的堆比重(量筒法):用 100mL 量筒,测量五次取平