



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

 废物资源综合利用技术丛书

YELIAN FEIZHA ZAISHENG LIYONG JISHU

冶炼废渣 再生利用技术

张殿印 高华东 肖 春 等编著

张殿印



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废物资源综合利用技术丛书

YELIAN FEIZHA ZAISHENG LIYONG JISHU

冶炼废渣 再生利用技术

张殿印 高华东 肖春 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分 8 章，分别介绍冶炼废渣再生利用原理、炼铁废渣再生利用技术、炼钢废渣再生利用技术、铁合金冶炼废渣再生利用技术、轻金属冶炼废渣再生利用技术、重金属冶炼废渣再生利用技术、稀有金属冶炼废渣再生利用技术以及冶炼烟尘回收利用技术。为方便资料查找，附录中列出一些常用的数据表格。

本书可供环境领域从事污染治理、废渣资源综合利用等的科研人员、工程设计人员和管理人员阅读，也可供高等学校环境科学与工程、资源循环科学与工程及相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

冶炼废渣再生利用技术/张殿印等编著. —北京：化学工业出版社，2017. 8

(废物资源综合利用技术丛书)

ISBN 978-7-122-29560-6

I. ①冶… II. ①张… III. ①冶金-废渣-废物综合利用 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 088855 号

责任编辑：刘兴春 卢萌萌	文字编辑：汲永臻
责任校对：王素芹	装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 23 字数 553 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）	售后服务：010-64518899
网 址： http://www.cip.com.cn	
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。	

《废物资源综合利用技术丛书》

编 委 会

主 任：岑可法

副 主 任：刘明华 陈冠益 汪 苹

编委成员（以汉语拼音排序）：

程洁红	冯旭东	高华林	龚林林	郭利杰	黄建辉
蒋自力	金宜英	梁文俊	廖永红	刘 佳	刘以凡
潘 荔	宋 云	王 纯	王志轩	肖 春	杨 帆
杨小聪	张长森	张殿印	张 辉	赵由才	周连碧
周全法	祝怡斌				

《冶炼废渣再生利用技术》

编著人员

编著者：张殿印 高华东 肖 春 董 悦 焦礼静 安登飞
庄剑恒 王 琿 王 爽 王宇鹏 田 玮 白洪娟
刘 瑱 任 旭 陈 媛 陈 玲 李鹏飞 李 昆
周 然 周广文 罗宏晶 孟 婧 赵原林 徐 飞
郭会越 顾晓光 章敬泉 魏淑娟

固体废物综合利用是贯彻落实节约资源、保护环境和安全生产的基本国策。我国的工业固体废物综合利用是节能环保和战略性新兴产业的重要组成部分，是为工业又好又快发展提供资源保障的重要途径，也是解决工业固体废物环境污染和安全隐患的治本之策。大宗工业固体废物的再生利用既是当前实现工业转型升级的重要举措，更是确保我国工业可持续发展的一项长远的战略方针。2015年我国冶炼渣产生量约 $4.4 \times 10^8 \text{ t}$ ，约占大宗工业固体废物的14%，冶炼渣综合利用率仅70%左右，要做到冶炼渣的全部治理，达到零排放的目标，任重而道远。

本书是《废物资源综合利用技术丛书》中的一个分册，也是一本专门阐述冶炼废渣再生利用的图书，内容包括冶炼废渣再生利用原理，炼铁废渣再生利用技术，炼钢废渣再生利用技术，铁合金冶炼废渣再生利用技术，轻金属冶炼废渣再生利用技术，重金属冶炼废渣再生利用技术，稀有金属冶炼废渣再生利用技术以及冶炼烟尘回收利用技术。本书在编著中特别注意了内容的全面性、技术的实用性和知识的新颖性，并突出了冶炼废渣各种再生方法和利用技术的要点。本书特点如下。

(1) 内容全面。针对冶炼废渣再生利用技术书籍的分散和零散状态，本书较全面、系统、完整地阐述了冶炼废渣的来源、危害、性质，突出介绍了废渣的各种再生措施和利用技术，工艺设备和整个回收系统的设计方法以及种种技术措施。

(2) 联系实际。全书许多技术都是笔者和同行多年的科研与实践成果，阐述内容有理论、有工艺、有技术、有方法。对叙述内容尽可能结合实际，对重要工艺过程和基本方法予以详细介绍，对再生利用技术列举了许多工程应用实例，颇具参考借鉴价值。

(3) 技术新颖。编著用新规范、新标准、新术语，把一些新出现且经实践证明可行的新工艺、新方法、新技术、新设备、新材料尽可能编著书中，如近年开发的钢渣提铁利用新方法等。适应建设资源节约型、环保友好型社会的需要，书中结合了综合利用、发展循环经济的内容，便于读者高层次地统筹、设计冶炼废渣再生利用工程，并能开发冶炼废渣治理新途径。

(4) 重点突出。从工程实际需要出发，全书突出了废渣再生利用技术、工艺和设备，把废渣处理新工艺和新方法细致、深入、透彻地进行了叙述，特别是突出了同类书籍中没有但又十分重要的工艺、设备等内容。

本书主要由张殿印、高华东、肖春编著；董悦、焦礼静、安登飞、庄剑恒、王琿、王爽、王宇鹏、田玮、白洪娟、刘瑱、任旭、陈媛、陈玲、李鹏飞、李昆、周然、周广文、罗宏晶、孟婧、赵原林、徐飞、郭会越、顾晓光、章敬泉、魏淑娟也参加部分内容的编著工作。

另外，杨景玲教授、李惊涛教授、彭犇教授对本书进行了总审核。本书在编著、审阅和出版过程中得到了朱晓华、王海涛、王冠等多位知名专家的鼎力相助，在此一并深致谢忱。

本书编撰过程中参考和引用了一些科研、设计、教学和生产工作同行撰写的著作、论文手册、教材、样本和学术会议文集等，在此对所有作者表示衷心感谢。

由于编著者学识和编著时间所限，书中疏漏和不妥之处在所难免，殷切希望读者朋友批评指正。

编著者

2017 年 6 月于北京

第1章 冶炼废渣再生利用原理

1.1 冶炼废渣来源	001
1.1.1 钢铁冶炼废渣来源	001
1.1.2 有色金属冶炼废渣来源	004
1.1.3 冶炼固体废物的特点	005
1.1.4 固体废物的危害	006
1.2 冶炼废渣再生基本方法	008
1.2.1 固体废物的预处理	009
1.2.2 物理方法处理技术	009
1.2.3 化学方法处理技术	011
1.2.4 生物方法处理技术	013
1.3 冶炼废渣综合利用途径	013
1.3.1 提取各种金属	014
1.3.2 生产建筑材料	014
1.3.3 生产农肥	015
1.3.4 回收能源	015
1.3.5 取代某种工业原料	015
1.4 钢铁废渣处理技术路线	015
1.4.1 技术路线原则	015
1.4.2 各工序技术路线	016
1.4.3 钢铁固体废物综合利用发展方向	019
1.5 有色金属废渣处理技术路线	020
1.5.1 技术路线总则	020
1.5.2 重有色金属废物处理	020
1.5.3 铝工业废物处理	020
1.5.4 稀有金属废物处理	020
参考文献	021

第2章 炼铁废渣再生利用技术

2.1 高炉炼铁渣的来源和性能	022
2.1.1 高炉炼铁工艺	022
2.1.2 高炉炼铁渣来源和分类	023
2.1.3 高炉渣的性能	024

2.2 高炉渣的再生方法	028
2.2.1 高炉渣水淬粒化	029
2.2.2 高炉渣干式粒化方法	045
2.2.3 高炉渣化学粒化法	048
2.2.4 矿渣膨珠生产	049
2.2.5 矿渣碎石工艺	053
2.3 高炉渣的综合利用	053
2.3.1 用作水泥和建筑材料	053
2.3.2 用作农业肥料	071
2.3.3 含钛高炉渣的利用	073
2.3.4 用高炉渣处理废水	077
2.3.5 制作矿渣棉	078
2.3.6 新型材料方面的应用	078
2.3.7 高炉渣余热回收利用	079
2.3.8 高炉渣的其他用途	082
2.3.9 炼铁废渣综合利用实例	083
参考文献	085

第3章 炼钢废渣再生利用技术

3.1 钢渣的产生及特征	086
3.1.1 转炉炼钢工艺	086
3.1.2 转炉钢渣的产生	087
3.1.3 转炉钢渣的组成	087
3.1.4 钢渣的产生量	089
3.1.5 转炉钢渣特性	089
3.2 钢渣再生方法	090
3.2.1 钢渣再生处理流程	091
3.2.2 钢渣水淬法再生工艺	092
3.2.3 热泼碎石再生工艺	104
3.2.4 余热碎解再生工艺	107
3.2.5 钢渣风淬法再生工艺	116
3.2.6 钢渣破碎加工工艺	117
3.3 钢渣综合利用	122
3.3.1 钢渣用作冶炼熔剂	122
3.3.2 钢渣用作筑路和建筑材料	125
3.3.3 钢渣用作农业肥料	131
3.3.4 用作铁水预处理脱磷剂	133
3.3.5 不锈钢含镍废物综合利用	135
3.3.6 钢渣用于烧结烟气脱硫	140

3.3.7 在废水处理中应用研究 142

3.3.8 钢渣提取金属铁 146

3.3.9 钢渣热能回收 147

3.3.10 钢渣处理与资源化利用实例..... 148

参考文献..... 150

第 4 章 铁合金冶炼废渣再生利用技术

4.1 铁合金渣的来源和再生 151

4.1.1 铁合金冶炼方法分类 151

4.1.2 铁合金渣的来源 152

4.1.3 铁合金渣的化学组成和产生量 152

4.1.4 铁合金渣再生方法 154

4.2 铁合金渣的综合利用 156

4.2.1 铁合金渣的综合利用原理 156

4.2.2 锰渣的综合利用 159

4.2.3 钒渣的综合利用 160

4.2.4 钨钼硼渣综合利用 161

4.3 铬渣综合利用技术 162

4.3.1 铬渣的组成和危害 162

4.3.2 铬渣解毒技术 163

4.3.3 铬渣在冶炼中的应用 166

4.3.4 铬渣在农肥中的应用 171

4.3.5 用铬渣生产建筑材料 175

参考文献..... 182

第 5 章 轻金属冶炼废渣再生利用技术

5.1 轻金属冶炼工艺流程 183

5.1.1 轻金属冶炼方法 183

5.1.2 铝金属冶炼工艺流程 184

5.1.3 镁、钛金属生产 185

5.2 赤泥再生利用 186

5.2.1 赤泥来源和性能 186

5.2.2 赤泥生产硅酸盐水泥 189

5.2.3 赤泥制造炼钢用保护渣 190

5.2.4 利用赤泥制造硅钙肥料和塑料填充剂 190

5.2.5 利用拜耳法赤泥制作釉面砖 191

5.2.6 从赤泥中提取有价金属 193

5.2.7 赤泥其他资源化利用 196

5.2.8 赤泥再生利用动向	198
5.3 电解铝冶炼废渣再生利用	199
5.3.1 电解铝固态废弃物及其性质	199
5.3.2 炭渣回收利用	200
5.3.3 铝灰的再生利用	202
5.3.4 废旧阴极利用	204
5.3.5 铝电解槽废炭块的回收利用实例	206
5.4 钛废渣的综合利用	208
5.4.1 钛废渣来源	208
5.4.2 利用钛废渣生产四氯化钛	208
5.4.3 钛废渣其他利用	209
参考文献	211

第6章 重金属冶炼废渣再生利用技术

6.1 重金属冶炼工艺流程	212
6.1.1 常用重金属冶炼方法	212
6.1.2 火法冶炼工艺流程	214
6.1.3 湿法冶炼工艺流程	214
6.2 铜冶炼废渣再生利用	218
6.2.1 铜冶炼废渣来源和特点	218
6.2.2 从冶炼废渣再生回收铜	220
6.2.3 从铜渣回收有价金属	222
6.2.4 铜渣制备建筑材料	223
6.2.5 从铜阳极泥回收有价金属	225
6.2.6 从铜阳极泥回收稀贵金属实例	230
6.3 铅冶炼废渣再生利用	232
6.3.1 铅冶炼废渣来源	232
6.3.2 冶炼铅炉渣的再生利用	234
6.3.3 铅冶炼阳极泥的火法再生利用	238
6.3.4 铅冶炼阳极泥的湿法再生利用	242
6.3.5 从铅渣中回收铅锌实例	243
6.4 锌冶炼废渣再生利用	246
6.4.1 锌冶炼废渣的来源和特点	246
6.4.2 锌冶炼废渣提取有价金属	248
6.4.3 锌渣水淬后作建筑材料	254
6.5 镍冶炼废渣再生利用	254
6.5.1 镍冶炼废渣来源和特点	254
6.5.2 镍冶炼渣提取金属	256
6.5.3 镍冶炼废渣的综合利用	258

6.6 锡锑渣的综合利用 260

6.6.1 锡锑渣化学全分析 260

6.6.2 锡锑渣综合利用实例 260

参考文献..... 261

第7章 稀有金属冶炼废渣再生利用技术

7.1 稀有金属冶炼废渣来源 263

7.1.1 生产工艺流程 263

7.1.2 稀有金属废渣来源 266

7.1.3 稀有金属废渣成分 266

7.2 稀有金属废渣再生利用技术 267

7.2.1 湿法再生技术 267

7.2.2 火法再生技术 268

7.2.3 焙烧-湿法再生技术 268

7.2.4 浮选法再生技术 268

7.2.5 稀有金属废渣利用技术 269

7.2.6 银铋渣再生利用试验研究 269

7.3 稀有金属废渣再生利用实例 272

7.3.1 钨渣的综合利用实例 272

7.3.2 钼渣的综合利用实例 275

7.3.3 磷砷渣的综合利用实例 278

7.3.4 从矾渣中回收铍及铵明矾实例 281

7.3.5 从含钪炉渣中提取氧化钪实例 284

参考文献..... 289

第8章 冶炼烟尘回收利用技术

8.1 炼铁尘泥回收利用技术 290

8.1.1 高炉含铁尘泥来源与特征 290

8.1.2 炼铁尘泥回收利用技术 292

8.1.3 高炉瓦斯泥（灰）中回收锌工程实例 295

8.2 炼钢尘泥回收利用技术 297

8.2.1 转炉含铁尘泥来源与特征 297

8.2.2 炼钢粉尘回收利用途径 299

8.2.3 转炉尘泥回收利用 301

8.2.4 电炉粉尘回收利用 304

8.2.5 转炉尘泥制作造渣剂工程实例 310

8.3 铁合金粉尘回收利用技术 311

8.3.1 铁合金烟尘来源与性质 311

8.3.2	二氧化硅微粉的利用技术	312
8.3.3	钼铁尘的综合利用	313
8.3.4	用锰铁高炉烟尘制磁性材料	313
8.3.5	铬尘的综合利用	313
8.3.6	铁合金厂冷凝硅粉回收利用实例	314
8.3.7	钼铁粉尘的回收利用实例	318
8.4	轻金属冶炼烟尘回收利用	319
8.4.1	铝冶炼粉尘回收利用	319
8.4.2	从钛铁矿氯化炉粉尘中回收氧化铁	320
8.5	重有色金属冶炼烟尘回收利用技术	322
8.5.1	铜冶炼烟尘回收利用	322
8.5.2	铅冶炼烟尘回收利用	324
8.5.3	锌冶炼烟尘回收利用	328
8.5.4	重金属烟尘中回收砷	330
8.5.5	从含镉烟尘中提取镉与铊	331
8.5.6	从锡反射炉烟尘中提铟	334
8.5.7	铜转炉烟尘的综合利用实例	334
8.6	稀有金属烟尘回收利用技术	339
8.6.1	含锗氧化锌烟气提锗	339
8.6.2	鼓风炉烟尘回收硒	341
参考文献		342

附录

附录 1	钢铁冶炼清洁生产指标	343
附录 2	铁合金冶炼清洁生产指标	346
附录 3	有色金属冶炼清洁生产指标	349

索引

第 1 章

冶炼废渣再生利用原理

金属冶炼生产包括焦炉、烧结机、高炉炼铁、炼钢、轧钢、铁合金以及各种有色金属冶炼系统等生产工序，涉及的专业广泛，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、数量庞大，主要固体废物包括高炉炼铁废渣、转炉炼钢废渣、含铁尘泥、氧化铁皮、有色金属冶炼废渣等十几种。因此，加强冶金固体废物的再生利用，实现固体废物资源化、减量化和无害化处理，成为金属冶炼生产管理的重要目标。

1.1 冶炼废渣来源

冶炼废渣是指金属冶炼生产过程中产出的固体、半固体或泥浆废弃物，主要包括：钢铁和有色金属冶炼过程产出的各种冶炼废渣，轧制过程中产出的氧化铁皮及各生产环节净化装置收集的各种粉尘、污泥以及工业垃圾等。

冶炼废渣主要分为钢铁冶金渣和有色金属冶金渣两大类。2015 年，我国冶炼废渣产生量约 $4.4 \times 10^8 \text{ t}$ [1]。

1.1.1 钢铁冶炼废渣来源

钢铁联合企业主要生产工序包括铁前系统、炼铁系统、炼钢系统以及轧钢系统等，其中铁前系统包括烧结机、球团回转窑、焦炉。铁前系统生产的烧结矿、球团矿、焦炭按一定的配比分批次投入高炉中，同时辅以鼓风、喷煤等措施，利用焦炭（包括煤粉）的燃烧和还原特性，将铁矿石中的铁元素还原成单质铁，并以铁水的形式排出高炉外，高炉生产的铁水送转炉炼钢，冶炼过程是以氧气氧化铁水中的碳、硫、磷、锰、硅等元素，达到降碳去硫、磷的目的，以生产出合格钢水。钢水经连铸机可浇铸成不同规格的方坯和板坯，然后送各轧钢厂进行轧制。钢铁生产工艺流程如图 1-1 所示 [2]。

(1) 烧结粉尘

烧结厂固体废弃物主要是粉尘。烧结生产过程中，燃料的破碎、烧结机的抽风、成品矿筛分等各种设施产生大量粉尘，它产生的主要部位是烧结机机头、机尾，成品经整粒、冷却、筛分等工序，细度在 $5 \sim 40 \mu\text{m}$ 之间，机尾粉尘的比电阻为 $5 \times 10^9 \sim 1.3 \times 10^{10} / (\Omega \cdot \text{cm})$ ，总铁含量为 50% 左右。每生产 1t 烧结矿产生 20~40kg 的粉尘。这种粉尘含有较高的

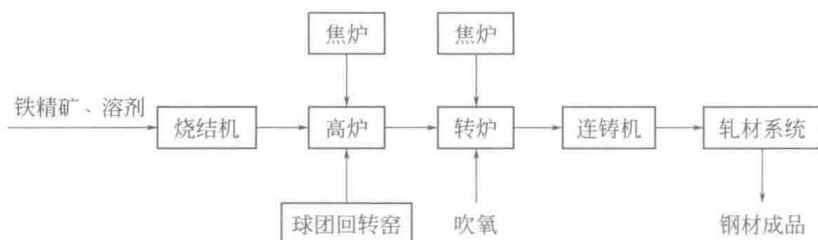


图 1-1 钢铁生产工艺流程

TFeO、CaO、MgO 等有益成分，和烧结矿成分基本一致。

(2) 炼焦废物

炼焦厂产生大量的固体物，如煤尘、焦尘、酸焦油、焦油渣、剩余活性污泥以及一些残渣，若这些固体废弃物得不到合理的利用将造成大量的粉尘污染，其中的有机化合物苯、萘、酚等有毒物质如得不到恰当的处理任意排放，将会导致生态环境的严重破坏。

(3) 高炉水渣

高炉冶炼时，焦炭和煤粉燃烧时会放出大量的热量并生成大量的 CO，使高炉内形成高温还原状态，在此作用下铁矿石中的铁元素被还原成单质铁，其他成分则以熔渣的形式排出。高温熔渣经水淬后形成的固体渣就是高炉水渣，水渣的生成量根据入炉矿石品位不同而变化，以柳钢目前的冶炼工艺及 60%~63% 的铁矿石品位，渣铁比约为 0.34，即生产出 1t 铁会伴随产生 0.34t 的渣^[3]。

(4) 高炉干渣

铁水由高炉出铁口排出，经主沟、撇渣器、龙沟、摆动流嘴后进入铁水罐，在出铁过程中，铁水发生冷凝、黏结，导致铁沟、撇渣器和摆动流嘴越结越厚并变得越来越小，清理铁沟、撇渣器和摆动流嘴所产生的含铁渣块就属于高炉干渣。此外，高炉炉况失常时，从铁口排出的不是铁水，而是渣铁混合物，而且常常掺杂有未充分反应的矿料，这些渣铁混合物成分上达不到铁水的质量要求，只能当作干渣的一部分重新处理。干渣的另一重要来源是，高炉渣处理系统出现故障时，红渣未经渣处理系统直接排入干渣坑，从而形成干渣，这部分干渣是由脉石、灰分、熔剂和其他不能进入生铁中的杂质组成的易熔混合物，其化学成分主要是 SiO₂、CaO、Al₂O₃ 等。

(5) 高炉煤气除尘灰

高炉煤气是伴随着高炉冶炼而生成的副产品，由于含尘浓度高，因此进入煤气管网前必须先进行净化处理。目前绝大多数的高炉工艺均采用重力沉降室和布袋除尘器对高炉煤气进行两级处理，在对煤气净化除尘时产生的除尘灰就称为高炉煤气除尘灰。由于除尘工艺和综合利用途径的不同，一般将该除尘灰分成两类：从重力沉降室排出的称为高炉重力灰；由布袋除尘器排出的则为高炉干法灰。

(6) 转炉钢渣

炼钢时，吹入的氧气与铁水在炉内发生激烈的碳氧反应，实现降碳的目的，同时需向炉内投加石灰石、白云石等造渣剂，以便去除铁水中的硫、磷、硅等有害元素。钢渣是转炉炼钢过程中的副产品，其主要来自铁水中所含硅、铝、硫、磷、钒、铁等元素氧化后生成的氧化物、冶炼时加入的造渣剂以及被侵蚀的炉衬材料和护炉材料，钢渣的产生量为粗钢产量的

15%~17%。从炉子排出的熔融状红渣一般称为炉渣，炉渣经热泼或粒化装置处理后即为钢渣。

(7) 转炉除尘污泥

转炉冶炼时，铁水中的碳元素与吹入的氧气发生激烈的碳氧反应并放出大量的炉气（转炉煤气），炉气的主要成分为 CO、CO₂、N₂，并掺杂大量的粉尘，粉尘主要来源于铁水的烧损和未反应的辅助原料（石灰石、白云石等）的细小颗粒。转炉煤气经湿法净化除尘后伴随大量的除尘废水产生，在处理该除尘废水时产生的污泥称之为转炉除尘污泥。根据水处理工艺和综合利用途径的不同，可将该除尘污泥分成两类：从粗颗粒分离机排出的污泥粒径大、含铁率高，称为粗颗粒渣；其他从斜板沉淀池、离心机排出的仍按传统习惯称为转炉除尘污泥（OG 泥）。入炉钢水通常有 1%~2% 以烧损的形式进入烟气中，所以除尘污泥产生量按每吨钢产生 19kg 干污泥计算。

(8) 含铁尘泥

钢铁生产工艺流程长、物料转运多，因此产生的扬尘点也相应较多，从粉尘来源划分，主要有两个方面：一是冶炼系统各烟尘、粉尘产生部位，比如高炉出铁场、转炉二次烟气以及烧结机头和机尾等；二是矿槽储存、原料供料和转运系统，比如烧结矿槽、炼铁供料系统等。这些含尘废气经干法除尘器收集处理后产生的固体废物，统称为含铁尘泥。

(9) 氧化铁皮

钢材进行轧制前，必须先将钢坯加热至轧制温度（约 1100℃），钢坯在加热炉加热时，钢坯表面与空气中的氧发生反应，并在表层形成一层氧化层，为了确保钢材表面质量，进入轧机轧制前必须将该层氧化层剥离，通常采用高压除磷装置予以清除，导致氧化层随冲刷水进入油环水处理系统，经漩流沉淀池沉淀处理后产生的固体废物即为氧化铁皮。

(10) 其他固体废物

其他固体废物主要包括铁矿渣、废石碴、废耐火材料和废油等产生量较大的固体废物，石灰窑入炉原料经筛分处理后产生的筛下物即为废石碴；高炉、转炉及轧钢加热炉等炉窑在大修、维护拆除炉衬材料时会产生大量的废耐火材料；废油主要来源于机械设备更换下来的机油及轧钢水处理系统处理油环水时产生的油污。

(11) 固体废物成分分析

钢铁生产工艺复杂，产生的固废种类繁多，性质各异，为了实现综合利用效益的最大化，必须清楚了解各类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~表 1-3 是某钢厂主要固体废物的成分分析^[3]。

表 1-1 钢铁生产含铁尘泥主要成分分析 单位：%

名称	SiO ₂	CaO	MgO	TFe	S	P	As	Pb	Zn	C
380m ³ 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
1250m ³ 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
1250m ³ 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 ³ 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
1250m ³ 高炉重力除尘灰	7.37	5.81	1.48	32.10	0.38	0.056	0.012	0.750	0.933	33.14
380m ³ 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
1250m ³ 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

续表

名称	SiO ₂	CaO	MgO	TFe	S	P	As	Pb	Zn	C
380m ³ 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	16.08	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 ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TFe	S	P	As	Pb	Zn	K ₂ O	Na ₂ O
360m ² 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	1.30
	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 ² 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 ² 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 转炉钢渣成分分析 单位：%

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TFe	S	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	V ₂ O ₅
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. 原始渣是刚从转炉倾倒出来的熔融态炉渣。
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 有色金属冶炼废渣来源

(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在冶炼和加工等生产过程及其环境保护设施中排出的固体或泥状的废弃物。根据冶炼金属的不同，具体有铜渣、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 金属大约产生几吨至几十吨不等的炉渣，在我国，2014 年重有色金属的年产量超过 $2.0 \times 10^7 \text{t}$ ^[4]，排放的炉渣数以千万吨计。

重有色金属冶炼固体废渣物具有种类多、数量大、具体成分复杂等特点，主要包括湿法

渣和火法渣两大类。湿法渣可以细分为焙砂（或精矿）浸出时产生的各种浸出渣、浸出液净化时产生的净化渣以及电解时产生阳极泥；火法渣则主要包括火法熔炼时产生的炉渣、粗炼时产生的粗炼渣、精炼时产生的精炼渣、电解精炼时产生的阳极泥和冶炼过程中产生的烟气被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。氧化铝的生产过程中产生的固体废物主要是赤泥。国外用拜耳法每生产 1t 氧化铝产生赤泥 0.3~2t，国内烧结法每生产 1t 氧化铝产生 1.8t 赤泥，联合法为每生产 1t 氧化铝产生 0.96t 赤泥。2015 年，我国赤泥排放 3.5×10^7 t 以上。目前大多赤泥采取堆场湿法存放或脱水干化进行简单处理，因而后果日趋严重。拓展赤泥再生利用途径，提高赤泥综合利用率意义重大。

金属铝的主要生产设备为电解槽，电解槽由钢壳内衬耐火砖和碳素材料组成，炭衬层为电解槽的阴极，阳极是碳素电极。在电解过程中炭阳极不断被消耗，需要连续或间断地进行更新，残留阳极还可以循环再生使用。铝电解槽内衬的寿命约 4~5 年，在阴极内衬大修时，要清理出大量的废炭块、被侵蚀的耐火砖和保温材料等，这些废渣是电解铝生产过程中产生的主要固体废物。如 130kA 的欧洲铝电解槽，废渣产量约为 30~50kg/t 铝，其中约 55% 是耐火砖，45% 是炭块，另外还含有氟，需要回收处理。

(3) 稀有金属冶金固体废物

稀有金属主要指地壳上含量稀少、分散、不易富集成矿和难以冶炼提取的一类金属。1958 年我国正式对金属元素进行分类，有 64 种金属划为有色金属，其中稀有金属 40 多种。稀有金属是人民日常生活、国防工业、科学技术发展必不可少的基础材料和战略物资。

稀有金属工业固体废物是指稀有金属在采矿、选矿、冶炼和加工等生产过程及其环境保护设施中排出的固体或泥状的废弃物。

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，2010 年全国冶炼渣产生量约为 3.15×10^8 t^[1]。其中包括钢渣 0.8×10^8 t，铁渣 1.9×10^8 t，赤泥 3.0×10^7 t，铜渣 8.5×10^6 t，铅锌渣 4.3×10^6 t。冶炼渣属于全国大宗固体废物之一。

钢铁企业遍及国内产钢的各主要城市，据统计钢铁联合企业每生产 1t 钢材外排粉尘 15~50kg，高炉渣 320kg，转炉渣 110kg，还有氧化铁皮、废耐火材料、废钢铁工业垃圾。钢铁工业固体废物占全国工业废物总量的 18% 左右。

(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。冶炼工业固体废物分别含有各种不同的有价元素，如铁、锰、钒、铬、钼、镍、铌、稀土、铝、镁、钙、硅等金属和非金属元素，因此其是一项可再利用的大宗二次资源，如高炉水淬渣主要含有硅、钙、镁、铝的氧化物，应用非常广泛。含铁尘泥中含有较高的铁元素，是钢铁厂内部循环利用的金属资源，如吹氧平炉、转炉的含铁尘泥含铁在 50% 以上，轧钢的氧化铁含铁在 90% 以上。

(3) 钢铁废渣有毒废物较少

钢铁工业除金属铬和五氧化二钒生产过程产生的水浸出铬渣和钒渣、特殊钢厂高铬合金