



再/生/资/源/科/学/与/工/程/技/术/丛/书

钢铁废渣再生 利用技术

张殿印 梁文艳 李惊涛 主编

GANGTIE FEIZHA
ZAISHENG
LIYONG JISHU



化学工业出版社

再生资源科学与工程技術丛书

钢铁废渣再生利用技术

张殿印 梁文艳 李惊涛 主编



化学工业出版社

·北京·

本书是一部环境工程实用技术图书。全书共分九章，分别介绍了钢铁废渣的来源、分类、危害，废渣再生利用原理，铁矿采选废物再生利用技术，焦化渣、高炉渣、钢渣的再生利用技术，氧化铁皮再生利用技术，铁合金渣再生利用技术，钢铁工业尘泥再生利用技术和废耐火材料再生利用技术。

本书可供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

钢铁废渣再生利用技术 / 张殿印, 梁文艳, 李洪涛主编. — 北京: 化学工业出版社, 2013.12
(再生资源科学与工程丛书)
ISBN 978-7-122-18742-0



I. ①钢… II. ①张…②梁…③李… III. ①钢铁工业-废渣-废物综合利用 IV. ①X757

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 248334 号

责任编辑: 刘兴春

装帧设计: 史利平

责任校对: 宋 夏

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 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 454 千字 2014 年 4 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。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

《钢铁废渣再生利用技术》编写委员会

主 编 张殿印 梁文艳 李惊涛

其他编写人员 (按姓氏笔画排序)

王 帅	王 迪	申 卓	卢忠飞	齐宝祥
刘永刚	刘贤贵	李乌龙	李玉西	李正东
余长国	汪灵俐	张 铮	张 晶	陈飞龙
欧阳森	贾寅卯	顾海根	韩志强	霍光伟

Preface

随着社会经济的发展,工业固体废物产生量逐年上升,既有历年欠账又有新的固体废物产生,因此大力推动固体废物治理、节能减排、发展循环经济、保持生态平衡成为人们关注的重大任务。编写本书的目的在于补充该领域知识、技术的不足。书中系统阐述了钢铁工业废渣再生技术措施与处理利用方法,重点介绍了固体废物处理领域近年出现的新工艺、新设备、新成果,以满足迫切需要解决的钢铁工业废渣再生利用技术的要求,提高废渣治理的理论知识和技术水平。本书全面总结归纳了钢铁工业废渣处理领域各个环节和要素,介绍了钢铁工业废渣再生利用主要工艺流程、设计方法与应用案例,对治理各行业固体废物问题具有参考指导作用,并具有较高学术价值和很高的实用价值。

本书是《再生资源科学与工程》丛书中的一分册,也是第一本专门阐述钢铁废渣再生利用的图书,作者在编写过程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,并突出了钢铁废渣的再生方法和利用技术与设备。本书特点如下。

1. 内容全面。针对钢铁废渣再生利用技术图书的分散和零散状态,本书较全面、系统、完整地阐述了钢铁废渣的来源、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各种技术措施。

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许多工程应用实例,颇具参考借鉴价值。

3. 技术新颖。编写用新规范、新术语,把一些新出现又经实践证明可行的新工艺、新方法、新技术、新设备、新材料尽可能编入书中,特别是近年开发的废渣再生利用新方法等,满足建设资源节约型、环境友好型社会的需要。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、设计废渣再生利用工程,应用、开发废渣治理技术。

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写细致、写深入、写透彻。特别是突出了同类书中没有且十分重要的工艺、设备等内容。

本书由张殿印、梁文艳、李惊涛主编,参加本书编写的人员还有(以姓氏笔

画排序):王帅、王迪、申卓、卢忠飞、齐宝祥、刘永刚、刘贤贵、李乌龙、李玉西、李正东、余长国、汪灵俐、张铮、张晶、陈飞龙、欧阳森、贾寅卯、顾海根、韩志强、霍光伟。

杨景玲教授、邹元龙教授对全书进行了总审核。本书在编写、审阅过程中得到了申丽、朱晓华等多位知名专家的鼎力相助,在此一并表示感谢。本书在编写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。

由于编者学识水平和编写时间所限,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。

编者

2014年1月

1	钢铁废渣再生利用原理	1
1.1	钢铁工业废渣来源	1
1.1.1	钢铁生产工艺流程	1
1.1.2	废渣分类及来源	1
1.1.3	钢铁工业固体废物的特点	3
1.2	钢铁废物再生基本方法	4
1.2.1	固体废物的预处理	5
1.2.2	物理方法处理技术	5
1.2.3	化学方法处理技术	7
1.2.4	生物方法处理技术	8
1.3	钢铁废物综合利用途径	8
1.3.1	提取各种金属	9
1.3.2	生产建筑材料	9
1.3.3	生产农肥	9
1.3.4	回收能源	10
1.3.5	取代某种工业原料	10
1.4	技术路线和标准体系	10
1.4.1	技术路线原则	10
1.4.2	各工序技术路线	11
1.4.3	钢铁渣综合利用标准体系	13
1.4.4	钢铁企业固体废物综合利用发展方向	13
16	铁矿采选固体废物再生利用技术	16
2.1	矿山开采复垦概况	16
2.1.1	采矿业对土地的破坏	16
2.1.2	矿山复垦再生方式	17
2.1.3	矿山土地复垦再生设计	17
2.1.4	矿山复垦前景	17
2.2	矿山复垦利用	18
2.2.1	采空区复垦利用	19
2.2.2	废石堆场复垦利用	21
2.2.3	尾矿池的复垦利用	23

2.2.4	塌陷区复垦利用	24
2.3	采矿固体废物综合利用	25
2.3.1	综合利用意义	25
2.3.2	固体废弃物资源化	25
2.3.3	尾矿的综合利用	26
2.4	选矿厂固体废物再生利用	28
2.4.1	选矿厂固体废物来源与特点	28
2.4.2	尾矿再选回收金属技术	29
2.4.3	尾矿制砖技术	32
2.4.4	尾矿生产饰面玻璃、微晶玻璃技术	33
2.4.5	尾矿复垦技术	34
2.4.6	尾矿石的综合利用实例	37
2.4.7	利用尾矿筑高坝实例	39

烧结焦化废物再生利用技术 45

3.1	烧结厂固体废物综合利用	45
3.1.1	烧结厂固体废物来源和特点	45
3.1.2	烧结废物的综合利用	46
3.2	烧结烟气脱硫副产品再生利用	48
3.2.1	烧结烟气脱硫方法与副产品	48
3.2.2	湿法烟气脱硫渣再生利用	48
3.2.3	干法烟气脱硫灰渣的再生利用	52
3.3	焦化固体废物再生利用	56
3.3.1	废物的来源和性质	57
3.3.2	废物综合利用技术	60
3.3.3	焦化废物利用工程实例	60

炼铁高炉渣再生利用技术 63

4.1	高炉渣的来源和性能	63
4.1.1	高炉渣来源	63
4.1.2	高炉渣的分类	63
4.1.3	高炉渣的性能	64
4.2	高炉渣的再生方法	67
4.2.1	高炉渣水淬粒化	67
4.2.2	高炉渣干式粒化方法	84
4.2.3	高炉渣化学粒化法	88
4.2.4	矿渣膨珠生产	89
4.2.5	矿渣碎石工艺	92
4.3	高炉渣的综合利用	93
4.3.1	用作水泥和建筑材料	93
4.3.2	用作农业肥料	111
4.3.3	含钛高炉渣的利用	113

4.3.4	用高炉渣处理废水	116
4.3.5	新型材料方面的应用	117
4.3.6	高炉渣余热回收利用	117
4.3.7	冶炼废渣综合利用实例	119

5 钢渣再生利用技术 **122**

5.1	转炉钢渣的产生及特征	122
5.1.1	转炉钢渣的产生	122
5.1.2	转炉钢渣的组成	122
5.1.3	钢渣的产生量	123
5.1.4	转炉钢渣特性	124
5.2	钢渣再生方法	125
5.2.1	钢渣再生处理流程	125
5.2.2	钢渣水淬法再生工艺	126
5.2.3	热泼碎石再生工艺	138
5.2.4	余热碎解再生工艺	141
5.2.5	钢渣风淬法再生工艺	143
5.2.6	钢渣破碎加工处理	144
5.3	钢渣综合利用	149
5.3.1	钢渣用作冶炼熔剂	149
5.3.2	钢渣用作筑路和建筑材料	152
5.3.3	钢渣用作农业肥料	153
5.3.4	用作铁水预处理脱磷剂	155
5.3.5	不锈钢含镍废物综合利用	157
5.3.6	钢渣处理与资源化利用实例	161

6 轧钢废物的再生利用 **164**

6.1	轧钢废物的形成和分类	164
6.1.1	轧钢生产工艺流程	164
6.1.2	轧钢氧化铁皮的形成和分类	164
6.2	氧化铁皮的去除和再生	169
6.2.1	氧化铁皮的去除	169
6.2.2	氧化铁皮的再生	175
6.3	轧钢废物综合利用	178
6.3.1	返回生产系统	178
6.3.2	回收金属	182
6.3.3	用作粉末冶金原料	183
6.3.4	用作化工原料	186

7 铁合金渣再生利用技术 **188**

7.1	铁合金渣的来源和再生	188
7.1.1	铁合金渣的来源	188

7.1.2	铁合金渣的化学组成	188
7.1.3	铁合金渣再生方法	188
7.2	铁合金渣的综合利用	191
7.2.1	铁合金渣的综合利用原理	191
7.2.2	锰渣的综合利用	194
7.2.3	钒渣的综合利用	195
7.2.4	钨钼硼渣综合利用	196
7.3	铬渣综合利用技术	196
7.3.1	铬渣组成和危害	196
7.3.2	铬渣解毒技术	198
7.3.3	铬渣在冶炼中的应用	200
7.3.4	铬渣在农肥中的应用	205
7.3.5	用铬渣生产建筑材料	210

8 含铁尘泥再生利用技术 **218**

8.1	回收利用的基本方法	218
8.1.1	粉尘处理与回收原则	218
8.1.2	粉尘的处理利用方式	219
8.2	烧结、炼焦粉尘回收利用技术	220
8.2.1	烧结含铁尘泥的来源与特征	220
8.2.2	烧结尘泥回收利用技术	221
8.2.3	煤粉与焦尘的综合利用技术	222
8.2.4	焦化厂焦粉配煤综合利用实例	222
8.3	高炉含铁尘泥回收利用技术	223
8.3.1	高炉含铁尘泥来源与特征	223
8.3.2	炼铁尘泥回收利用技术	224
8.3.3	高炉瓦斯泥(灰)中回收锌工程实例	228
8.4	炼钢尘泥回收利用技术	229
8.4.1	转炉含铁尘泥来源与特征	229
8.4.2	炼钢粉尘回收利用途径	231
8.4.3	转炉尘泥回收利用技术	233
8.4.4	电炉粉尘回收利用技术	235
8.4.5	转炉尘泥制作造渣剂的工程实例	241
8.5	轧钢粉尘的回收利用	242
8.5.1	生产球团矿利用	242
8.5.2	用于炼钢原料	243
8.5.3	回收铁、镍等金属	243
8.6	铁合金粉尘回收利用	243
8.6.1	二氧化硅微粉の利用技术	244
8.6.2	钨铁尘的综合利用	244
8.6.3	铬尘的综合利用	244
8.6.4	铁合金厂冷凝硅粉的回收利用实例	245

9.1	废耐火材料的来源和危害	250
9.1.1	废耐火材料来源	250
9.1.2	废耐火材料的危害性	250
9.2	废耐火材料再生方法	251
9.2.1	废耐火材料再生的原则	251
9.2.2	废耐火材料再生一般流程	252
9.2.3	废耐火材料的收集和分选	252
9.2.4	废耐火材料再生方法	255
9.2.5	废耐火材料的再生实例	257
9.3	废耐火材料的综合利用	258
9.3.1	再生产品的利用方法	258
9.3.2	再生耐火材料综合利用实例	261
9.3.3	废耐火材料再生利用前景	267
	参考文献	270

1

钢铁废渣再生利用原理

钢铁联合企业的生产包括焦炉、烧结机、高炉、转炉、轧钢以及铁合金系统等工序，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水渣、转炉钢渣、含铁尘泥、氧化铁皮等十几种。因此，加强冶金固体废物的循环利用，实现固体废物资源化、减量化和无害化处理，成为钢铁企业生产管理的重要目标。

1.1 钢铁工业废渣来源

钢铁工业废渣是指钢铁生产过程中产生的固体、半固体或泥浆废弃物，主要包括采矿废石，矿石洗选过程排出的尾矿、矿泥，冶炼过程产生的各种冶炼渣，轧钢过程中产生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。

1.1.1 钢铁生产工艺流程

钢铁联合企业主要生产工序包括铁前、炼铁、炼钢以及轧钢系统等，其中铁前系统包括铁矿采选、烧结机、球团回转窑、焦化。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，然后送轧钢厂进行轧制成为各种钢材。钢铁生产工艺流程如图 1-1 所示。

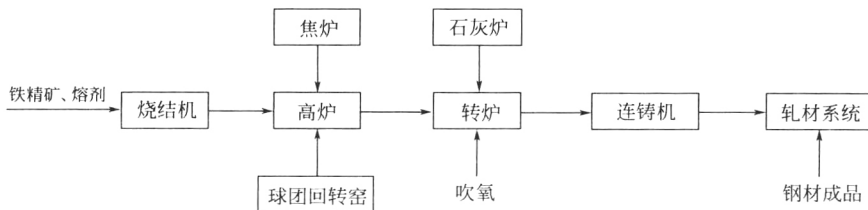


图 1-1 钢铁生产工艺流程

1.1.2 废渣分类及来源

(1) 烧结粉尘

烧结厂固体废弃物主要是粉尘，烧结生产过程中由于燃料的破碎、烧结机的抽风、成品

矿筛分的各种除尘设施而产生大量粉尘。粉尘产生的主要部位和工序是烧结机机头、机尾及成品整粒、冷却筛分等，细度为 $5\sim 40\mu\text{m}$ ，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

炼焦厂产生大量固体废物，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严重的粉尘污染，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。

(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越来越小，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 SiO_2 、CaO、 Al_2O_3 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二级处理，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大量的炉气（转炉煤气），炉气的主要成分为CO、 CO_2 、 N_2 ，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；另一方面是矿槽储存、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浊环水处理系统，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浊环水时产生的油污。

(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，某钢厂主要固体废物的成分分析见表1-1~表1-3。

1.1.3 钢铁工业固体废物的特点

(1) 量大面广，处理工作量大

钢铁工业固体废物产生量大，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废物总量的18%左右。

(2) 可综合利用价值大

钢铁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，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；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。

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

续表

名称	SiO ₂	CaO	MgO	TFe	S	P	As	Pb	Zn	C
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
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 ³ 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 ³ 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 ³ 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。

(3) 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, 特殊钢厂高铬合金钢生产过程中产生的电炉粉尘, 炭素制品厂产生的焦油, 以及薄板表面处理废水治理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、含铁尘泥等, 虽然量大但基本属于一般工业固体废物。

1.2 钢铁废物再生基本方法

固体废物在综合利用过程中, 必须采用不同方法进行一系列再生处理, 以回收其中有用成分。目前尚不能进行综合利用的固体废物在最终处理之前也必须做适当的处置, 以达到无害化, 并尽可能减小体积, 减少数量。随着科学技术的发展, 固体废物的处理技术的应用更加广泛, 现在人们对固体废物采取物理的、化学的和生物的方法进行处理。

1.2.1 固体废物的预处理

在对固体废物进行回收利用和最终处理之前，往往需要进行预处理，以便比较容易地进行下一步的处理和利用。预处理主要包括固体废物的破碎、筛分、粉磨、压缩等工序。

(1) 破碎

破碎的目的是把固体废物破碎成小块或粉状小颗粒，以利于分选有用或有害的物质。

固体废物的破碎方式有机械破碎和物理破碎两种。机械破碎是借助于各种破碎机械对固体废物进行破碎，主要的破碎机械有颚式破碎机、辊式破碎机、冲击破碎机和剪切破碎机等。对于不能用破碎机械破碎的固体废物，可用物理破碎法。物理破碎法有低温冷冻破碎、超声波破碎。低温冷冻破碎的原理是利用一些固体废物在低温（ $-120\sim-60^{\circ}\text{C}$ ）冷冻条件下脆化的性质而达到破碎的目的。现在，低温冷冻技术已用于废塑料及其制品、废橡胶及其制品、废电线（塑料或橡胶被覆）等的破碎。超声波破碎还处于实验室阶段。

(2) 筛分

筛分是利用筛子将粒度范围较宽的混合物料按粒度大小分成若干不同级别的过程。它主要与物料的粒度和体积有关，密度和形状的影响很小。筛分时，通过筛孔的物料称为筛下产品，留在筛上的物料称为筛上产品。筛分一般适用于粗粒物料的分解。常用的筛分设备有棒条筛、振动筛、圆筒筛等。

根据筛分作业所完成的任务不同，筛分可分为独立筛分、准备筛分、辅助筛分、脱水筛分等。在固体废物破碎车间，筛分主要作为辅助筛分，其中在破碎前进行的筛分称为预先筛分，对破碎作业后所得的产物进行的筛分称为检查筛分。

(3) 粉磨

粉磨在固体废物处理和利用中占有重要的地位。粉磨一般有3个目的：①对物料进行最后一段粉碎，使其中各种成分单体分离，为下一步分选创造条件；②对各种废物原料进行粉磨，同时起到把它们混合均匀的作用；③制造废物粉末，增加物料表面积，为缩短物料化学反应时间创造条件。

磨机的种类很多，有球磨机、棒磨机、砾磨机、自磨机（无介质磨机）等。

(4) 压缩

对固体废物压缩处理的目的是：一是减小体积，便于装卸和运输；二是制取高密度惰性块料，便于储存、填埋及作建筑材料。无论可燃废物、不可燃废物或是放射性废物都可进行压缩处理。

用于固体废物的压缩机有很多类型，以城市垃圾压缩机为例，小型的家用压缩机可装在橱柜下面；大型的可以压缩整辆汽车，每日可压缩成千吨垃圾。无论何种用途的压缩机，大致可分为竖式压缩机和卧式压缩机两种。

1.2.2 物理方法处理技术

在处理固体废物时经常利用固体废物的物理和物理化学性质，从中分选或分离有用或有害物质。通常依据的物理性质有重力、磁性、电性、光电性、弹性、摩擦性、粒度特性等；物理化学性质有表面润湿性等。根据固体废物的这些特性可分别采用重力分选、磁力分选、电力分选、光电分选、弹道分选、摩擦分选和浮选等分选方法。

(1) 重力分选（简称重选）

重力分选是将物料给入活动或流动的介质中，由于颗粒密度的差异而导致运动速度或运动轨迹的不同，从而分选出不同密度产物的选矿方法。

重力分选过程中常用的介质有水、空气和悬浮液。重选方法可分为重介质选、跳汰选、摇床选和溜槽选。广义地讲，分级和洗矿也属于重选的范畴。重选的优点是生产成本低，处理的物料粒度范围宽，对环境的污染少。目前，重选还仅限于实验室内应用。

(2) 浮选

浮选是固体废物资源化技术中的重要工艺方法，主要用于分选出不易被重力分选所分离的细小固体颗粒。浮选的原理是利用矿物表面物理化学的特性，在一定条件下，加入各种浮选剂（起泡剂、捕收剂、抑制剂、介质调整剂等），并进行机械搅拌，使悬浮固体附在空气泡或浮选剂上，随着气泡等一起浮到水面上来，然后再加以回收。

目前，尚未见到固体废物专用浮选机，一般都是直接采用或稍加改进的矿用浮选机。我国应用最广泛的机械搅拌浮选机为国产 XJK 型浮选机。

(3) 磁力分选（简称磁选）

磁选分为两种类型。一种是电磁和永磁的磁力分离，即通常所说的磁选。这种磁选的方法是在皮带机端头设置一个电磁或永磁的磁力滚筒，当物料经过磁力滚筒时，可将铁磁性物质分离。另一种是磁流体磁力分离。磁流体是指某种能够在磁场或者磁场与电场联合作用下磁化，呈现似加重现象，对颗粒具有磁浮力作用的稳定分散液。磁流体通常采用强电解质溶液、顺磁性溶液和磁性胶体悬浮液。似加重后的磁流体密度称为视在密度，视在密度高于介质原密度数倍，介质真密度一般为 $1400 \sim 1600 \text{ kg/cm}^3$ ，视在密度可高达 21500 kg/cm^3 。流体的视在密度可以通过改变外磁场强度、磁场梯度或电场强度任意调节。将固体废物置于磁流体中，通过调节磁流体的视在密度即可对任意密度的物料进行有效分选。

磁流体分选是一种利用重选和磁选的原理联合作用的分选过程。物料在似加重介质中按密度差异分离，与重选相似；在磁场中按物料磁性差异分离，与磁选相似。因此既可以将磁性和非磁性物料分离，也可以将非磁性物料按密度差异分离。

磁流体分选法在固体废物的处理和利用中占有特殊的地位，它不仅可分选各种工业废渣，而且可以从城市垃圾中分选铝、铜、锌、铅等金属。

(4) 电场分选

电场分选是在高压电场中利用入选物料之间电性差异进行分选的方法。一般物质大致可分为导体、半导体和非导体，它们在高压电场中有着不同的运动轨迹。利用物质的这一特性即可将各种不同物质分离。其分选原理如图 1-2 所示。

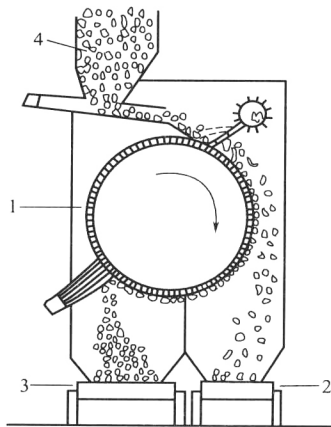


图 1-2 静电鼓式分选原理示意

1—电转鼓；2—导体产品受料槽；3—非导体产品受料槽；4—料槽