

煤矸石综合利用技术 及检测方法

王习东 林 翎 何光明◎主编



科学出版社

煤矸石综合利用技术 及检测方法

王习东 林 翎 何光明 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了煤矸石的来源、组成等基本属性以及综合利用技术现状,重点阐述了煤矸石理化性质检测方法、煤矸石综合利用过程中污染物的检测方法 & 煤矸石综合利用产品性能检测方法,同时,本书给出了煤矸石综合利用的典型示例或工程,总结了我国煤矸石综合利用的标准和政策现状,提出了未来一段时间我国煤矸石综合利用检测标准体系的构建方向。

本书可供煤矸石综合利用相关的企业、科研院所等单位的工程技术人员和管理人员参考,也可作为高等院校师生的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

煤矸石综合利用技术及检测方法/王习东,林翎,何光明主编. —北京:科学出版社,2015

ISBN 978-7-03-044960-3

I. ①煤… II. ①王… ②林… ③何… III. ①煤矸石利用-综合利用
②煤矸石-检验方法 IV. ①TD94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 129426 号

责任编辑:范运年 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015 年 8 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:260 000

定价:86.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《煤矸石综合利用技术及检测方法》编写组成员

主要编写成员：王习东 林 翎 何光明 许 零

耿春雷 王秀腾

参加编写成员：(按姓名汉语拼音排序)

陈红岩 陈志敏 黄 进 李晓艳

马积福 余海龙 孙 坚 王 博

肖 普 赵大伟 张颖毅 周 英

统 稿：许 零 周 英 李晓艳

前 言

我国是最大煤炭生产国,今后较长时间内,煤炭仍将占据我国一次能源生产和消费的主体地位。煤矸石是煤炭生产过程的副产物,煤矸石的大量堆存,不仅占用大量耕地,增加煤矿征地与运输的成本,而且还会引发一系列地质和环境问题。煤矸石的主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 以及残存的碳,在建筑、化工、电力等领域都有巨大的利用价值。如何高效利用煤矸石,减少因煤矸石堆存造成的环境危害,已成为全世界关注的热点问题。我国开展煤矸石综合利用研究仅有几十年历史,近年来,在各企业、研究机构以及广大科技工作者的共同努力下,我国煤矸石综合利用产业呈现出快速发展的态势。

从“十五”开始,在国家自然科学基金和国家科技支撑计划等项目的支持下,我们对煤矸石综合利用进行了系统研究,在利用煤矸石制备活性粉末混凝土及硅铝氮氧化物耐火材料等方面取得了一系列成果,并且逐渐从实验室研究走向工程应用。然而,当前煤矸石综合利用相关检测技术及检测标准体系还不完善,导致企业生产以及相关产品应用存在诸多困难,严重制约了煤矸石综合利用新产品的推广和应用。正是基于这种形势,科技部组织北京大学、中国标准化研究院和北京建筑材料科学研究总院等单位,于 2011 年启动了国家科技支撑计划“工业固废综合利用检测标准体系及检测标准研究”工作,开展以煤矸石为代表的工业固废共性检测技术和检测标准体系研究。本书正是在对煤矸石综合利用及其相关检测技术、检测标准调研和研究的基础上完成的。

本书共 7 章,第 1 章和第 2 章重点介绍了煤矸石的基本属性以及综合利用技术现状,第 3~6 章重点介绍了煤矸石理化性质检测方法、煤矸石综合利用新技术、煤矸石综合利用过程中污染物的检测方法以及煤矸石综合利用产品性能检测方法,第 7 章总结了我国煤矸石综合利用的标准和政策现状,提出了未来一段时间我国煤矸石综合利用的标准体系。

本书前言、第 1、2、4 章(第 2、第 3 节)由王习东、何光明、耿春雷、张作泰、余海龙、王博、孙坚、赵大伟等编写,第 4 章(第 1、4、5、6、7 节)由何光明、耿春雷、张作泰、余海龙、王博、孙坚、赵大伟等编写,第 3、5、6 章由许零、耿春雷、张作泰、陈红岩、陈志敏、李晓艳、周英、肖普等编写,第 7 章由林翎、王秀腾、张颖毅等编写。许零、周英、李晓艳负责全书的排版、校对。文责由各章节编者自负。

本书可为煤矸石综合利用的技术研发与产业化提供技术指导,也可为工业固废管理及环保领域工作人员提供重要参考资料。

在本书编写过程中,编者参考了大量文献、资料、标准和政策报告,在此谨向这些文献的作者表示深深的谢意!同时,该书也得到了山西省原环保局副局长关存先等一批专家的指导和帮助,在此表示衷心感谢。由于篇幅有限,本书中仅选取了煤矸石综合利用的部分技术和产品。限于作者的水平和经验,本书内容可能有不尽合理或疏漏之处,恳请读者一并批评指正。

编 者

2013年7月

目 录

第 1 章 大宗工业固废综合利用概述	1
1.1 大宗工业固废产生状况	1
1.1.1 大宗工业固废的产生量与堆积情况	1
1.1.2 大宗工业固废的分布特点	2
1.2 典型大宗工业固废综合利用现状	3
1.2.1 煤矸石综合利用现状	3
1.2.2 尾矿综合利用现状	5
1.2.3 粉煤灰综合利用现状	5
1.2.4 炉渣综合利用现状	6
1.2.5 副产石膏综合利用现状	6
1.2.6 赤泥综合利用现状	7
1.3 大宗工业固废综合利用发展趋势	7
参考文献	8
第 2 章 煤矸石基本概况	10
2.1 煤矸石的成因	10
2.2 煤矸石的来源	10
2.3 煤矸石的主要化学组分	11
2.4 煤矸石的矿物组成及分类	12
2.5 煤矸石大量堆存对环境的影响	12
参考文献	14
第 3 章 煤矸石理化性质检测	15
3.1 煤矸石的取样和预处理方法	15
3.1.1 煤矸石的取样方法	15
3.1.2 煤矸石样品的均化方法	15
3.2 煤矸石化学组分的分析方法	16
3.2.1 常规化学法分析煤矸石组分	16
3.2.2 X 射线荧光光谱法分析煤矸石组分	26
3.3 煤矸石的矿物组成分析方法	28
3.3.1 X 射线衍射法分析原理	28
3.3.2 设备及测试条件	28

3.3.3	样品制备	29
3.3.4	X射线衍射图谱分析	29
3.4	煤矸石热值的测定方法	32
3.4.1	氧弹法	32
3.4.2	工业分析法	34
3.5	煤矸石密度的测定方法	36
3.5.1	真密度	36
3.5.2	表观密度	37
3.5.3	堆积密度	37
3.6	煤矸石吸水率的测定方法	38
3.7	煤矸石硬度的测定方法	38
3.8	煤矸石中微量元素与重金属的测定方法	39
3.8.1	电感耦合等离子体发射光谱法同时测定多种微量元素	40
3.8.2	冷原子吸收分光光度法检测总汞含量	42
3.9	煤矸石放射性的检测方法	43
3.9.1	放射性比活度测定方法	44
3.9.2	氡浓度测定方法	46
	参考文献	47
第4章	煤矸石综合利用新技术	48
4.1	煤矸石制备活性粉末混凝土技术	48
4.1.1	煤矸石活化技术	48
4.1.2	活性粉末混凝土技术	52
4.1.3	煤矸石制备活性粉末混凝土技术	57
4.1.4	煤矸石制备活性粉末混凝土示例	58
4.1.5	效益分析	60
4.2	煤矸石制备氮氧化物耐火材料技术	61
4.2.1	氮氧化物耐火材料	61
4.2.2	煤矸石制备赛隆的技术现状	64
4.2.3	SiAlON材料的合成方法	65
4.2.4	煤矸石制备 β -SiAlON示例	69
4.2.5	效益分析	72
4.3	煤矸石制备耐火纤维	72
4.3.1	耐火纤维简介	72
4.3.2	耐火纤维研究进展	73
4.3.3	煤矸石制备耐火纤维工程示例	74

4.3.4 效益分析	77
4.4 煤矸石制备陶粒示例	78
4.4.1 陶粒简介	78
4.4.2 煤矸石陶粒研究进展	79
4.4.3 煤矸石烧结陶粒工程示例	81
4.4.4 煤矸石陶粒工业化生产示例	82
4.4.5 效益与展望	84
4.5 煤矸石制备化学发泡水泥保温板	84
4.5.1 化学发泡水泥保温板技术	84
4.5.2 煤矸石制备化学发泡水泥保温板技术	86
4.5.3 煤矸石制备化学发泡水泥工程示例	87
4.5.4 效益分析	88
4.6 煤矸石发电技术	88
4.6.1 煤矸石发电简介	88
4.6.2 煤矸石发电研究进展	89
4.6.3 煤矸石发电工程示例	96
4.6.4 效益与展望	98
4.7 煤矸石井下填充技术	98
4.7.1 煤矸石井下填充技术	98
4.7.2 煤矸石充填开采技术	99
4.7.3 煤矸石井下填充工程示例	103
4.7.4 效益分析	105
参考文献	106
第5章 煤矸石综合利用过程中污染物检测方法	110
5.1 废气检测方法	110
5.1.1 废气采样方法	110
5.1.2 废气基本组分测定方法	110
5.1.3 废气温度的测定方法	111
5.1.4 废气水分含量的测定方法	111
5.1.5 废气密度和分子量的测定方法	111
5.1.6 废气压力、流速和流量的测定方法	112
5.1.7 废气中颗粒物的测定	113
5.1.8 废气中重金属含量的测定	114
5.2 煤矸石浸出毒性的检测方法	115
5.2.1 煤矸石浸出毒性浸出方法	115

5.2.2 浸出溶液毒性检测及判别	116
参考文献	117
第6章 煤矸石综合利用产品性能检测方法	118
6.1 煤矸石制备的活性粉末混凝土性能检测	118
6.1.1 抗压强度	118
6.1.2 弹性模量试验	119
6.1.3 抗折强度	120
6.1.4 劈裂抗拉强度	121
6.1.5 承载能力	122
6.1.6 抗冲击性能	123
6.1.7 抗氯离子侵蚀测试方法	125
6.2 煤矸石制备的耐火材料性能检测	134
6.2.1 密度和气孔率	134
6.2.2 常温耐压强度	136
6.2.3 抗折强度	137
6.2.4 耐磨性	139
6.2.5 抗热震性	140
6.2.6 加热永久线变化	142
6.2.7 导热系数	145
6.2.8 抗压蠕变性能	147
6.2.9 抗渣性能	148
6.2.10 抗高温氧化性	151
6.3 煤矸石制备的耐火陶瓷纤维的检测	152
6.3.1 试样制备	152
6.3.2 厚度	153
6.3.3 体积密度	153
6.3.4 回弹性	154
6.3.5 加热永久线变化	154
6.3.6 导热系数	155
6.3.7 抗拉强度	156
6.3.8 渣球含量	157
6.4 煤矸石制备陶粒的性能检测	158
6.4.1 颗粒粒径	158
6.4.2 堆积密度	159
6.4.3 表观密度	160

6.4.4 空隙率	160
6.4.5 筒压强度	161
6.4.6 吸水率	161
6.4.7 软化系数	162
6.4.8 粒型系数	162
6.5 煤矸石制备的化学发泡水泥保温板性能检测	163
参考文献	165
第7章 大宗工业固废综合利用检测标准体系和相关政策	166
7.1 大宗工业固废综合利用检测标准体系	166
7.1.1 大宗工业固废综合利用检测标准体系的重要性	166
7.1.2 我国资源综合利用领域的标准概览	167
7.1.3 大宗工业固废综合利用检测标准体系	169
7.2 大宗工业固废综合利用政策法规	196
7.2.1 我国工业固废综合利用相关法律	196
7.2.2 我国煤矸石综合利用相关政策	200
参考文献	205

第 1 章 大宗工业固废综合利用概述

改革开放以来,中国经济进入飞速发展的阶段,但粗放的经济增长方式带来的能源与资源短缺、环境恶化等问题严重制约了经济的可持续发展,大力发展包括工业固废综合利用在内的循环经济是我国应对能源、资源危机和环境问题的重要举措。

工业固体废弃物是指工业生产过程排出的采矿废石、选矿尾矿、燃料废渣、冶炼废渣等固体废弃物。年产量超过 1000 万吨的工业固体废弃物称为大宗工业固废,主要包括尾矿、煤矸石、粉煤灰、工业副产石膏、赤泥和电石渣。我国堆积以及每年产生的工业固废占用了大量土地资源,而且对土壤、水资源和大气造成了不同程度的污染^[1]。然而,工业固体废弃物蕴涵了大量可以利用的资源,对其进行综合利用不仅可以获取大量低成本资源,还可以减少矿产资源过度开采与废弃物堆放,可以有效改善生态环境。

1.1 大宗工业固废产生状况

1.1.1 大宗工业固废的产生量与堆积情况

据《中国环境统计年鉴 2013》的数据,我国 2012 年末的工业固废年产生量已超过 33 亿吨,图 1.1 是我国工业固废年产生量以及综合利用量。

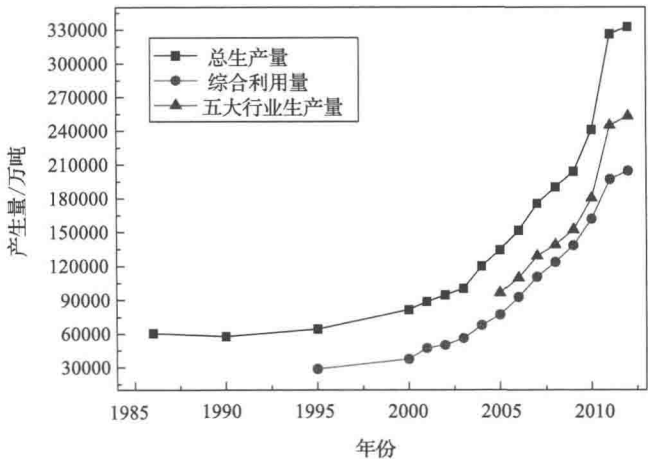


图 1.1 我国工业固废年产生量以及年综合利用量(数据来源:历年《中国环境统计年鉴》)

从图 1.1 中看出,近十年我国工业固废年产生量逐年上升,近五年的年均增长率达到 10%;其中电力、热力的生产和供应业,黑色金属冶炼及压延加工业,有色金属矿采选业,煤炭开采和洗选业及黑色金属矿采选业(统称“五大行业”)固体废弃物产生量占工业固废总量的近 80%,累积堆存量超过 100 亿吨,且各行业的产生量比例相对稳定(表 1.1),因此有针对性地对这些行业所产生的固废进行综合利用和有效处理将是解决固废问题的关键^[1,2]。相对于逐年增加的堆存量,我国工业固废平均综合利用率仍处在 70%以下,综合利用水平和欧美等发达国家地区相比较低。高堆存量和低利用率给我国工业固废综合利用领域的发展提出了挑战,表明我国工业固废资源化利用还有很大的提升空间^[1]。

表 1.1 2005~2012 年工业固废年产生量及五大行业的固废产生情况

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
工业固废总产生量/万吨	134449	151541	175632	190127	203943	240499	326204	332509
电力、热力的生产和供应业/万吨	25638 (19.1%)	29149 (19.2%)	37586 (21.4%)	41726 (21.9%)	45131 (22.1%)	53823 (22.4%)	61061 (18.7%)	61456 (18.5%)
黑色金属冶炼及压延加工业/万吨	23506 (17.5%)	29135 (21.7%)	29797 (22.2%)	31459 (23.4%)	33894 (25.2%)	38008 (28.3%)	42344 (31.5%)	42047 (31.3%)
有色金属矿采选业/万吨	16313 (12.1%)	18339 (13.6%)	21571 (16.0%)	23589 (17.5%)	25848 (19.2%)	29338 (21.8%)	37419 (27.8%)	40290 (30.0%)
煤炭开采和洗选业/万吨	18248 (13.6%)	19352 (14.4%)	18751 (13.9%)	19571 (14.6%)	23868 (17.8%)	27316 (20.3%)	34988 (26.0%)	38537 (28.7%)
黑色金属矿采选业/万吨	12728 (9.5%)	13680 (10.2%)	21044 (15.7%)	22424 (16.7%)	23442 (17.4%)	31969 (23.8%)	69085 (51.4%)	70602 (52.5%)

注:括号内为所占百分比。数据来源为历年《中国环境统计年鉴》,2011 年、2012 年环境保护部对统计制度中的指标体系、调查方法及相关技术等进行了修订,故不能与 2010 年及之前的数据直接比较。

1.1.2 大宗工业固废的分布特点

我国大宗工业固废综合利用的区域发展不平衡问题非常突出,主要表现在固废产生量和综合利用水平两方面。我国工业固废主要集中在中西部与华北地区,其中河北、辽宁、山西、内蒙古等资源丰富地区,火电厂和钢铁厂较为集中,大宗工业固体废弃物产生量很高,但是受技术、市场、政策等因素的影响,这些地区的大宗工业固废综合利用率较低^[1]。相对而言,经济发达地区的固废综合利用水平较高,江苏、山东等地区的工业固废综合利用率接近 95%。

1.2 典型大宗工业固废综合利用现状

大宗工业固废综合利用是环保产业的重要组成部分,既可以为工业发展提供资源保障,又可以解决大宗工业固废不当处置与堆存所带来的环境污染和安全隐患。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)于2013年4月发布的《中国资源综合利用年度报告(2012)》,2011年粉煤灰、煤矸石、工业副产石膏等大宗工业固体废弃物年利用量达15亿吨。

1.2.1 煤矸石综合利用现状

煤矸石作为一种潜在资源,兼有黏土、岩石、煤炭、化工原料等功能属性,有广泛的综合利用价值,可利用的组分主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeS_2 和Mn、P、K以及C等。煤矸石综合利用方法见图1.2。

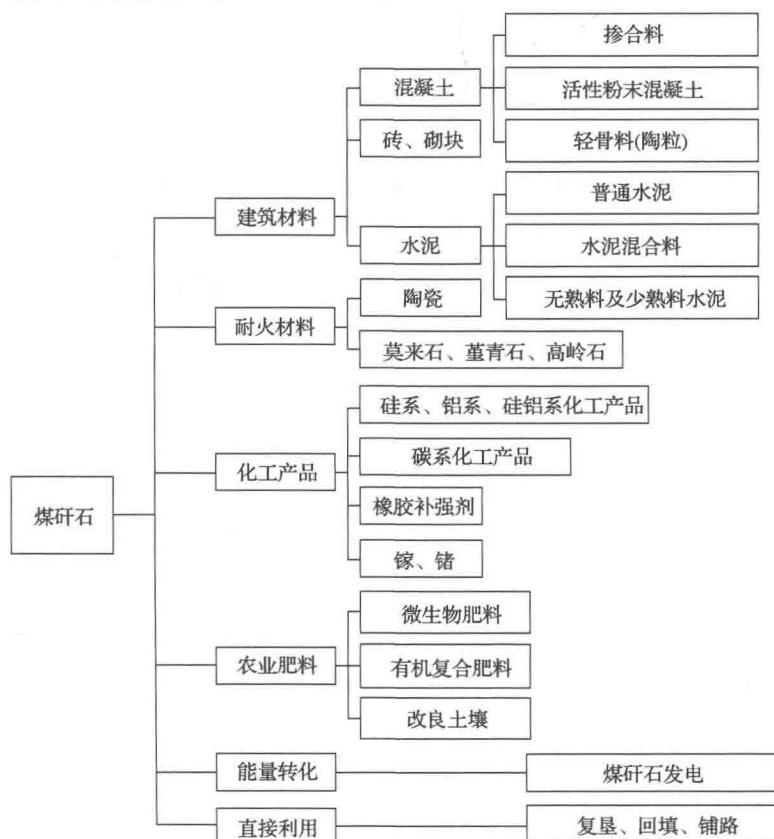


图 1.2 煤矸石综合利用方法

《中国资源综合利用年度报告(2012)》统计数据显示,2011年,我国煤矸石产生量约6.59亿吨,综合利用量4.1亿吨,综合利用率62%。

《煤矸石综合利用技术政策要点》指出,煤矸石综合利用方向包括煤矸石发电、煤矸石建材及制品、煤矸石制备耐火材料、复垦回填及煤矸石山无害化处理等大量利用煤矸石的技术。除此之外,应大力发展高科技含量、高附加值的煤矸石综合利用技术和产品^[3]。

利用煤矸石生产建材原料,废物用量大,生产成本低,对于保护环境、固体废弃物综合利用和促进可持续发展具有重大的意义,应用前景可观。例如,利用其Si、Al等组分生产水泥;将煤矸石机械活化和热活化后,代替石英粉、部分水泥和硅灰,制备活性粉末混凝土、水泥混合材和混凝土掺合料^[4]。煤矸石具有结合性、烧结性和可塑性,经一定工艺加工处理后,还可用于制砖^[5]、砌块^[6]、煤矸石陶粒^[7];利用煤矸石在灼烧过程中由于碳的烧失会形成微孔的性质,可制备多孔陶瓷^[8];一些碳质页岩和选煤矸适宜烧制建筑用轻骨料。此外,煤矸石还用于生产莫来石和堇青石^[9]等。

利用煤矸石生产化工产品,可降低合成成本、实现固体废弃物的高附加值利用。煤矸石中的硅元素可以用来生产碳化硅、沸石、硅合金、硅酸钠、聚硅酸、四氯化硅等多种硅系化工产品;由于煤矸石中含有15%~50%的氧化铝,可以用于生产聚合氯化铝、氢氧化铝、硫酸铝、聚合氯化铝铁等20多种铝系化工产品。此外,煤矸石还可用于生产 β -SiAlON等硅铝系化工产品^[10-12]。对于金属镓含量大于30g/t的煤矸石可用来提取镓^[13]。此外,煤矸石还可用于制备白炭黑、硅铝炭黑等化工产品、钛白粉^[14]、橡胶补强剂^[15]等。

在农业方面,煤矸石含有15%~20%的有机质,含有高于土壤2~10倍的B、Zn、Mn等微量元素,并且携带了具有固氮、解磷、解钾功能的微生物,可以用于制造有机复合肥料^[16]、微生物肥料及改良土壤^[17]。

利用煤矸石的热值可用于供热发电。发热量大于7.5MJ/kg的煤矸石可直接作循环流化床锅炉燃料,发热量低于7.5MJ/kg的煤矸石掺加煤泥等用于煤矸石发电厂,其灰渣可用于生产建材。煤矸石发电不仅可缓解矿区能源紧张的局面,产生的灰渣还可用于制备多种建材,进而达到调整矿区产业结构和节能环保的目的^[3]。

自20世纪60年代起,煤矸石的综合利用逐步受到世界各国的普遍重视^[18],煤矸石已被广泛地用于生产水泥、砖、轻骨料等建筑材料。煤矸石利用率(不包括用于充填、铺路材料)在不同国家和地区不尽相同,一般低于30%,部分地区可达80%。20世纪70年代,德国和法国的煤矸石利用率已达30%~50%,部分矿区煤矸石全部被利用,利用率达到100%。

当前,我国煤矸石综合利用面临的问题包括综合利用率偏低、技术水平不高、区域发展不平衡、缺乏政策和资金支持等。针对这些问题,我国应将综合利用作为

系统工程,加强煤矸石组分与特性、煤矸石利用过程的理化性能及环境影响等方面的研究,在提高综合利用率的同时应综合评价其经济和环境效应,大力推动煤矸石新技术的应用。

1.2.2 尾矿综合利用现状

尾矿是在选矿过程中产生的有用目标组分含量较低的产物。因受选矿技术和生产设备的制约,我国选矿业产生的尾矿数量巨大且逐年增加,不仅占用了大量土地,还给生态环境带来了严重污染和危害^[1]。根据《中国资源综合利用年度报告(2012)》统计数据,2011年,尾矿综合利用量为2.69亿吨,综合利用率仅为17%。

随着科技的发展,尾矿中有用目标组分可以进一步回收利用。目前国内外尾矿综合利用手段主要有尾矿再选^[19],将其经过处理后掺入或用来生产陶粒^[20]、水泥以及烧砖等建材产品^[21-23],用于土壤改良剂和微量元素肥料以及回填和复垦植被等。此外,我国也开展了利用尾矿制备微晶玻璃、玻化砖、墙地砖、无机染料、纤维等的研究^[24-26],但多未能实现大规模产业化。

针对尾矿资源化利用技术匮乏的现状,中华人民共和国工业和信息化部(以下简称工业和信息化部)颁布了《金属尾矿综合利用专项规划(2010—2015)》,要求2015年全国尾矿综合利用率应达到20%,尾矿新增储量增幅应逐年降低,已实现安全闭库的尾矿库50%完成复垦;攻克一批具有原创性、前瞻性和具有自主知识产权的尾矿综合利用关键技术,在尾矿综合利用各重点领域建成一批具有带动效应的示范项目^[27]。该规划的实施有望大幅度提高我国的尾矿综合利用水平。

1.2.3 粉煤灰综合利用现状

粉煤灰是煤炭燃烧产生的废弃物,主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 等氧化物组成,部分粉煤灰还含有钼、银、铬等稀有金属。粉煤灰表面呈球形,具有粒细、质轻、比表面积大、吸水性强等特点。

根据《中国资源综合利用年度报告(2012)》统计数据,我国的粉煤灰排放量为国际第一。2011年,我国粉煤灰产生量达5.4亿吨,综合利用量达3.67亿吨,综合利用率达到68%。其中用于水泥生产约1.5亿吨,占利用总量的41%;用于生产商品混凝土7100万吨,占利用总量的19%;用于生产粉煤灰砖9600万吨,占利用总量的26%,用于筑路、农业和提取矿物等高附加值利用各占5%、5%和4%。

目前我国粉煤灰在建筑、建材方面的利用超过80%,该领域的粉煤灰消耗量较大,但均为低附加值产品,其推广应用受运输成本的影响很大。近年来该领域也涌现出一批新技术,如利用粉煤灰制备高性能混凝土、保温材料等,这些高值化产品具有高强度、阻燃性能好等优势,值得大范围推广和应用^[28,29]。粉煤灰在农业方面的应用约占5%,主要作为pH调节剂和无机肥^[30-32],但这些应用存在重金属

扩散等环境风险。

目前,我国只有较小比例的粉煤灰用于高值利用领域,如白炭黑、沸石的制备及稀有金属的回收等,其比例不足总利用量的 5%^[33,34]。此外,对于粉煤灰制造玻璃材料、吸附材料、微生物载体等高值利用技术的研究逐渐深入^[35,36],利用粉煤灰制备吸附剂去除有毒离子的研究逐渐变为热点^[33,37]。在开发粉煤灰高值化利用技术的同时,应将已经成熟的技术及时应用到工业化生产中^[38]。今后,粉煤灰资源化利用的主要方向应集中于粉煤灰高附加值产品。

1.2.4 炉渣综合利用现状

炉渣是钢铁、铁合金及有色金属冶炼和精炼等过程产生的废弃物,主要成分是 CaO、MgO、SiO₂、P₂O₅、FeO、Fe₂O₃ 及 Al₂O₃ 等氧化物,通常还含有硫化物和少量金属元素。根据《中国资源综合利用年度报告(2012)》统计数据,2011 年,全国钢铁冶金渣产生量约 4 亿吨,主要用于水泥、混凝土掺合料等各种建材制品的生产。

以电炉渣为例,我国电炉渣的利用途径主要包括内部循环、建筑和农业生产等。内部循环途径是将电炉渣返回高炉,用于铁水预处理等^[39]。建筑材料途径是用电炉渣生产钢渣水泥、钢渣白水泥,用于筑路材料、地基回填材料及建筑材料^[40]。农业生产途径是用电炉渣生产钢渣磷肥、硅肥以及土壤改良剂等。根据化学组成特点,工业上对含钛炉渣提取含钛化合物等^[41]。

发达国家的电炉渣基本可以达到排用平衡,除了利用炉渣生产水泥等建材,还能生产陶粒、陶片、硅胶等材料^[42-45]以及作为水处理材料^[46,47]。相比之下,我国的炉渣综合利用水平较低,未有效利用炉渣余热及有价金属,炉渣综合利用产品的附加值较低。

近年来用炉渣制备的水处理材料、烟气脱硫剂、微晶玻璃、陶瓷、矿渣棉和岩棉、筑路用保水材料、多彩铺路料等高附加值产品逐渐投入市场,但还尚未形成规模^[48]。

1.2.5 副产石膏综合利用现状

工业副产石膏是指工业生产中产生的以硫酸钙为主要成分的副产品或废渣,主要包括脱硫石膏、磷石膏、柠檬酸石膏、氟石膏、盐石膏、味精石膏、铜石膏、钛石膏等,其中脱硫石膏和磷石膏的产生量约占总量的 85%。根据《中国资源综合利用年度报告(2012)》统计数据,2011 年,我国工业副产石膏产生量达 1.69 亿吨,其中磷石膏 6800 万吨,脱硫石膏 6770 万吨,其他工业副产石膏 3285 万吨。工业副产石膏年综合利用量 7789 万吨,已与天然石膏持平,综合利用率达到 46.2%,其中磷石膏、脱硫石膏综合利用率分别达到 23%和 69%。

工业副产石膏经过适当处理,完全可以替代天然石膏。工业副产石膏综合利用途径包括:用于水泥缓(调)凝剂,约占综合利用总量的 70%;生产石膏建材制