



固体废物处理与资源化丛书

GUTI FEIWU CHULI YU ZIYUANHUA CONGSHU

MEIXI GUTI FEIWU ZIYUANHUA JISHU

煤系固体废物 资源化技术

第二版

边炳鑫 李哲 解强 主编



化学工业出版社

固体废物处理与资源化丛书

煤系固体废物 资源化技术

第二版

边炳鑫 李哲 解强 主编



化学工业出版社

·北京·

本书共分4篇16章。第一篇介绍了煤矸石的产生、污染及资源化利用概况,煤矸石的组成、性质和分类,从煤矸石中回收有用矿物,以煤矸石为原料生产化工产品,煤矸石生产建筑材料,煤矸石的其他资源化利用方法,煤矸石沸腾炉渣资源化技术,煤系高岭岩(土)资源化技术;第二篇介绍了粉煤灰的形成、分类与综合利用概况,粉煤灰试验分析方法,粉煤灰及其微珠的理化性质,粉煤灰综合利用;第三篇介绍了烟气脱硫石膏的产生与品质,脱硫石膏资源化技术;第四篇介绍了石墨尾矿的形成和特性,石墨尾矿综合利用。

本书在第一版的基础上重新梳理了应用技术类别,补充完善了新的技术成果,增加了煤系伴生矿物及煤烟脱硫石膏篇章,使全书覆盖面更广泛、内容更全面、技术更实用。可供从事固体废物处理的工程技术人员和管理人员等参考,也可供高等学校环境工程等相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

煤系固体废物资源化技术/边炳鑫,李哲,解强主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2018.10

(固体废物处理与资源化丛书)

ISBN 978-7-122-32769-7

I. ①煤… II. ①边…②李…③解… III. ①煤系-固体废物利用 IV. ①X752

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第175046号

责任编辑:刘兴春 刘婧

装帧设计:关飞

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:三河市航远印刷有限公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张21 $\frac{3}{4}$ 字数528千字 2019年4月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

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:138.00元

版权所有 违者必究

前言

我国是世界上少有的以煤为主要能源的国家，当前和今后相当长时间内煤炭工业是我国重要的支柱产业。我国煤炭资源比较丰富，2014年资源总量约为 5.9×10^{12} t，2015年全国原煤产量约为 3.75×10^9 t，2017年全国规模以上煤炭企业原煤产量 3.45×10^9 t。煤系固体废物来自煤的开采、加工和利用过程。其中排出量最大最集中的是煤炭开采、加工过程所产生的煤矸石、燃煤电厂的粉煤灰以及煤矸石作为劣质燃料使用在沸腾炉燃烧后所产生的固体废物渣（沸渣）。2013年，我国煤矸石产生量达 7.5×10^8 t，综合利用量达 4.8×10^8 t，综合利用率仅为64%；2015年煤矸石排放量接近 8×10^8 t。历年积存的煤矸石约为 4.5×10^9 t，占地 130 km^2 ，已有2600多座大型矸石山。我国煤矸石中约30%为煤系高岭土，具有较高的回收价值。

2013年，电力系统火力发电厂粉煤灰排放量约为 5.8×10^8 t，综合利用量 4.0×10^8 t，综合利用率仅为69%；2015年全国粉煤灰排放量达到6.2亿吨，综合利用率仅为70%。从2002年起，我国火力装电机组呈现爆炸式增长，粉煤灰产生量也急剧增加，由2001年的 1.54×10^8 t增加到2015年的 6.2×10^8 t，增长了4倍。近年，国家发展改革委组织开展了《煤矸石综合利用管理办法》修订工作。国家能源局、财政部、国土资源部、环保部联合下发了《煤矿充填开采工作指导意见》，推动煤炭行业以矸换煤技术的推广和应用。颁布实施了《煤矸石分类》（GB/T 29162—2012）和《煤矸石利用技术导则》（GB/T 29163—2012）标准，为大规模综合利用煤矸石奠定了基础。

烟气脱硫石膏作为燃用煤炭工业的副产物，被认为是21世纪中国最具开发利用价值的新型建筑材料。随着二氧化硫减排要求越来越严格，正在实施的脱硫工程越来越多，副产品脱硫石膏将呈迅速增长之势。为贯彻《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议于2014年4月24日修订通过，自2015年1月1日起施行）、《中华人民共和国大气污染防治法》（中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第十六次会议于2015年8月29日修订通过，自2016年1月1日起施行）、《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》等法律法规，保护环境，防治污染，促进锅炉生产、运行和污染治理技术的进步，制定《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271—2014代替GB 13271—2001）。新法规及标准实施、执法力度及能力的提高，将极大地改善大气污染现状，同时也一定会增加粉尘颗粒物及脱硫石膏等工业固体废物排放量。工业废物如果不能很好地被处置和综合利用，会造成二次污染，因此，研究脱硫石膏的开发应用、制备出满足工程要求的新材料有着重要的意义。

石墨的变质矿床系由富含有机质或碳质的沉积岩经区域变质作用而成，一些石墨矿床还与煤田伴生。目前，国内生产天然石墨约 1.8×10^6 t，占全球年产量的50%以上。石墨尾矿是开采石墨矿后排放的尾矿矿浆经自然脱水后形成的固体矿业废料，石墨尾矿产量约 2.0×10^7 t。由于石墨尾矿排放量大，可利用性差，其在石墨选矿厂周围大量、长期堆积，不仅占

用了大量的土地，而且每逢刮风便尘土漫天，严重影响着当地人们的正常生活，对区域生态环境产生了不利的影响。因此，提高石墨尾矿的资源化利用水平具有重要意义。

正是基于此背景，本次修订在第一版的基础上重新梳理了应用技术类别、补充完善了新的技术成果、增加了脱硫石膏资源化技术和石墨尾矿利用技术方面的内容，使全书覆盖面更广泛、内容更全面、技术更实用。本书共分四篇，第一章~第八章为第一篇，分别介绍了煤矸石的组成、性质和分类，煤矸石中有益矿物回收，以矸石为原料生产化工产品，生产建筑材料，煤矸石沸腾炉渣资源化技术和煤系高岭岩（土）资源化技术。第九章~第十二章为第二篇，主要介绍了国内外粉煤灰综合利用概况，粉煤灰的形成、收集与处理，粉煤灰的理化性质，以及粉煤灰在建筑、化工、环保和农林牧业中的应用。第十三章和第十四章为第三篇，分别讨论了烟气脱硫石膏的产生、品质和脱硫石膏资源化技术。第十五章和第十六章为第四篇，分别介绍了石墨尾矿的形成、特性和综合利用资源化技术。本书具有较强的技术性和针对性，适合从事工业固体废物综合利用、矿物加工利用、矿产资源综合利用的工程技术人员及管理人员参考，也供高等学校环境科学与工程、能源工程及相关专业师生参阅。

本书由边炳鑫、李哲、解强任主编，赵由才、张顺艳任副主编。本书主要编写人有边炳鑫（前言、第九章、第十一章）、赵由才（绪论）、解强（第一章、第五章）、武建军（第二章）、马力强（第三章）、李多松（第四章）、秦强（第六章）、金雷（第七章）、邵武、徐德永（第八章）、李哲（第十章、附录）、李哲、徐岩、边炳鑫（第十二章）、李哲、徐德永（第十三章、第十四章）、张顺艳、边炳鑫、李凤会（第十五章、第十六章）。全书最后由边炳鑫统稿、定稿，李哲、张顺艳负责校核工作。

在本书编写过程中，参考和引用了该领域部分图书、论文等资料，在此向书中所引用文献的作者也表示深深的谢意！

限于编者的编写时间和水平，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请读者不吝赐教。

编者

2018年5月

第一版前言

我国是世界上少有的以煤为主要能源的国家之一，当前和今后相当长时间内煤炭工业是我国重要的支柱产业。我国煤炭资源比较丰富，预测资源量为 4.49 万亿吨，居世界第二位，在一次能源探明总量中煤炭占 90%。

煤系固体废物来自煤的开采、加工和利用过程，其中排出量最大最集中的是煤炭开采、加工过程所产生的矸石、燃煤电厂的粉煤灰以及煤矸石作为劣质燃料使用在沸腾炉燃烧后所产生的固体废渣（沸渣）。随着煤炭生产的不断发展，煤矸石的产量与日俱增，每年新增煤矸石 1 亿吨以上，历年积存的煤矸石已超过 30 多亿吨，占地 5 万亩（3333.3 万平方米）以上，已有 1500 多座大型矸山石。目前，全国 76% 的电力是燃煤电厂产生的，每年全国电厂年燃煤约 4 亿吨以上，占全国原煤产量的 1/3，1996 年电力系统火力发电厂粉煤灰排放量约为 1 亿吨，成为世界最大的排灰国。如此大量的灰渣排放不仅占用大量的土地，并对环境造成严重的污染，而且也是一种资源的浪费。

煤矸石是赋存于煤层中的脉石，在采煤过程中混入原煤，经洗选以洗矸和尾矿的形式排除。煤矸石作为固体废物具有时间和空间的相对性：煤矸石作为废弃物是“三废”（废渣、废气、废水）俱全的污染源，但作为资源，它既是劣质燃料、又是建材和其他一些工业的原料。由于“利用”是处理任何废弃物的最佳方案，煤矸石的处理和利用已引起国内外的广泛重视。

粉煤灰是煤粉在锅炉内燃烧后产生的一种粉状灰粒。我国自 20 世纪 50 年代开始利用粉煤灰，经历了几个发展阶段。从 80 年代以后，粉煤灰综合利用事业获得了较大的进展，尤其是 1985 年国务院批转当时的国家经贸委《关于开展资源综合利用若干问题的暂行规定》文件后，对全国粉煤灰综合利用工作起到积极的推动作用。随后 1987 年召开了“第二次全国资源综合利用工作会议”，又确定了把粉煤灰综合利用列为资源综合利用的突破口。中国洁净煤技术“九五”发展规划也把粉煤灰综合利用列为重点研究的内容之一。可见粉煤灰综合利用已成为我国经济建设中一项重大的经济技术政策与战略措施。在国外，20 世纪 80 年代前期曾召开以粉煤灰灰渣的挑战为主题的国际性讨论会。所谓粉煤灰灰渣挑战的实质，就是如何行之有效大量利用粉煤灰的问题。近年来在世界范围内，又把粉煤灰灰渣的处置与利用作为一个全球性的重大课题。

本书主要编写人员有边炳鑫（前言、第七章、第十章、第十一章），赵由才（绪论），解强（第一章、第五章），武建军（第二章），马力强（第三章），李多松（第四章），秦强（第六章），李哲（第八章、第九章），李哲、徐岩（第十二章），邵武（第十三章），金雷（第十四章）。全书由边炳鑫统稿。

书中介绍了大量的粉煤灰、煤矸石综合利用技术和各种产品的生产工艺，既有理论深度，又有实用技术，相信会对推动我国煤系固体废物的处理与综合利用技术有所裨益。本书主要适合于大、中专院校师生、从事固体废物处理的工程技术人员、有关管理人员等阅读和

参考。本书的编写、出版受到建设部 [“垃圾衍生燃料 (RDF) 热解与气化的技术与工艺研究” (03-2-055)]、哈尔滨市科委 [“城市垃圾高效洁净能源化利用关键技术与设备” (2003AA4CS128)] 的部分资助。

本书编写过程中限于作者的水平 and 经验, 叙述中可能有错误和疏漏, 恳请读者不吝赐教。同时, 对书中所引用文献的作者也表示深深的谢意。

目 录

绪论 / 1

第一篇 煤矸石及其沸腾炉渣资源化技术

第一章 煤矸石的产生、污染及资源化利用概况 / 6

第一节 煤矸石的产生与排放量	6
第二节 煤矸石污染	7
一、大气污染	7
二、淋溶污染	8
三、放射性元素对环境的影响	10
四、生态污染	10
五、地质灾害	10
六、矸石山爆炸	11
第三节 煤矸石资源化利用概况	11
一、煤矸石资源化利用的意义	11
二、煤矸石环境危害防治的原则	12
三、煤矸石资源化利用的途径	13
四、煤矸石资源化利用的新方法	15

第二章 煤矸石的组成、性质和分类 / 20

第一节 煤矸石的研究方法	20
第二节 煤矸石的组成	21
一、煤矸石的矿物组成	21
二、煤矸石的岩石组成	23
三、煤矸石的化学组成	25
四、煤矸石的元素组成	26
五、煤矸石的工业分析	28

第三节 煤矸石的主要工艺性质	28
一、煤矸石的粒度与粒度分布	28
二、煤矸石的发热量	29
三、煤矸石的活性	30
四、煤矸石的熔融性	30
五、煤矸石的膨胀性	31
六、煤矸石的可塑性	31
第四节 煤矸石的分类	32
一、国内外煤矸石分类的研究概况	33
二、煤矸石分类方案示例	34
三、我国煤矸石的前分类方案	35
四、我国现行的煤矸石分类	39

第三章 从煤矸石中回收有用矿物 / 40

第一节 从煤矸石中回收煤炭	40
一、煤矸石分选原理	40
二、选煤厂选矸再选回收煤炭工艺流程	46
三、小型模块式煤矸石回收煤炭工艺	47
第二节 从煤矸石中回收硫铁矿	50
一、回收硫铁矿的意义	50
二、煤矸石中回收硫铁矿的原理	50
三、硫铁矿回收工艺	51
第三节 富镓煤矸石中镓的提取	52
一、煤矸石中镓提取的机理	53
二、富镓煤矸石的浸出	53
三、含镓浸出母液中镓的回收	53
四、浸出母液和浸渣的综合利用	55

第四章 以煤矸石为原料生产化工产品 / 56

第一节 结晶氯化铝的生产工艺	56
一、原料的选择和准备	56
二、焙烧	57
三、酸浸	58
四、渣液分离	58
五、浓缩结晶	59
第二节 聚合氯化铝的生产工艺	59
一、聚合氯化铝生产的基本原理	60

二、生产工艺	60
三、产品质量规格	62
第三节 煤矸石生产氢氧化铝和氧化铝	62
一、氢氧化铝和氧化铝的用途	62
二、氢氧化铝生产的基本原理及工艺流程	63
三、氧化铝的生产	64
四、生产氢氧化铝和氧化铝的新工艺	66
第四节 用煤矸石制取白炭黑	69
一、煤矸石生产白炭黑的基本原理	69
二、影响煤矸石生产白炭黑的主要因素及控制	70
三、白炭黑的质量	71
四、白炭黑的改性	71
第五节 煤矸石生产沸石分子筛	72
一、概述	72
二、利用煤矸石合成 4A 分子筛	73
三、以煤矸石为原料合成 Y 型沸石	77

第五章 煤矸石生产建筑材料 / 80

第一节 煤矸石制砖	80
一、对制砖煤矸石原料的要求	80
二、煤矸石制砖工艺	84
三、煤矸石砖的质量	89
第二节 煤矸石在水泥工业中的应用	89
一、水泥生产的基本知识	90
二、煤矸石作原燃料生产水泥	93
三、煤矸石作水泥混合材料	102
四、煤矸石熟料水泥及少熟料水泥	104
第三节 煤矸石陶粒	104
一、矸石陶粒形成的基本原理	105
二、生产陶粒煤矸石原料的选择	107
三、矸石陶粒生产工艺	108
四、煤矸石轻骨料的质量标准	111

第六章 煤矸石的其他资源化利用方法 / 112

第一节 煤矸石的直接利用	112
一、回填	112
二、土地复垦	115

第二节 煤矸石作肥料	117
一、煤矸石用作农肥的物质基础	117
二、利用煤矸石生产农肥	120
三、利用煤矸石直接改善土壤	122
第三节 煤矸石生产粉体材料	124
一、粉体及超细粉体的性质	124
二、煤矸石粉体制备技术	125

第七章 煤矸石沸腾炉渣资源化技术 / 126

第一节 煤矸石流态化燃烧及沸腾炉渣的产生	126
一、流态化燃烧基本原理	126
二、流化床燃烧方式对煤矸石燃烧的适应性	127
三、沸渣的火山灰性质	128
第二节 煤矸石沸腾炉渣制混凝土空心砌块	129
一、原料及配比	129
二、生产工艺	132
三、空心砌块的性能	136
第三节 煤矸石沸腾炉渣生产加气混凝土	138
一、发气反应和气孔结构的形成	138
二、加气混凝土的蒸压硬化	140
三、原料和配比	140
四、生产工艺	143
五、物理力学性能及耐久性	145

第八章 煤系高岭岩(土)资源化技术 / 146

第一节 煤系高岭土组成、性质及结构	146
第二节 煤系高岭土的工艺特征	148
一、白度	148
二、粒度分布	149
三、可塑性	149
四、结合性	149
五、烧结性	149
六、耐火性	149
七、悬浮性和分散性	150
八、可选性	150
第三节 煤系高岭土加工方法	150
一、煅烧	150

二、增白	150
三、超细	152
四、改性	153
五、加工工艺流程	153
六、关键工艺技术	154
七、加工设备	154
第四节 煤系高岭土应用	155

第二篇 粉煤灰资源化技术

第九章 粉煤灰的形成、分类与综合利用概况 / 158

第一节 粉煤灰的形成过程	158
第二节 粉煤灰的矿物来源	160
一、煤的矿物来源	160
二、煤中矿物的主要种类	161
三、煤的加工对煤中矿物的影响	162
第三节 粉煤灰的矿物组成	162
一、煤灰中的矿物相图	162
二、粉煤灰的晶体矿物	163
第四节 粉煤灰的分类	167
一、根据粉煤灰的物理性质分类	167
二、根据粉煤灰的化学性质分类	168
三、根据粉煤灰的应用要求分类	169
第五节 粉煤灰应用领域	170
第六节 粉煤灰综合利用研究的进展及发展应注意的问题	171
一、粉煤灰综合利用研究的进展	171
二、粉煤灰综合利用技术发展应注意的问题	173

第十章 粉煤灰试验分析方法 / 175

第一节 粉煤灰的采样和制样方法	175
一、概述	175
二、采样与制样的基本原则	176
第二节 粉煤灰物理特性分析	178
一、外观和颜色	179

二、粉煤灰的烧失量、含水量的测定	179
三、密度和堆密度(容重)	179
四、细度和粒度组成	179
五、比表面积	179
六、需水量比	180
七、火山灰活性指数	180
八、安定性	180
九、均匀性	180
十、漂珠含量的测定	181
第三节 粉煤灰化学成分分析	181
一、粉煤灰成分分析项目的选取	181
二、粉煤灰化学成分分析方法	181
三、现代检测仪器在粉煤灰成分分析中的应用	186
四、应用安全性检测	186

第十一章 粉煤灰及其微珠的理化性质 / 187

第一节 粉煤灰的理化性质	187
一、粉煤灰的物理性质	187
二、粉煤灰的化学性质	190
第二节 形成条件对粉煤灰性能的影响	192
一、煤中一些元素对煤灰中矿物形成的影响	192
二、矿物赋存特征对粉煤灰特性的影响	193
三、燃烧条件对粉煤灰性能的影响	194
四、除尘方式对粉煤灰性能的影响	195
五、洁净煤技术的实施对粉煤灰性能的影响	196
第三节 漂珠的理化性质	198
一、漂珠的物理性质	198
二、漂珠的化学性质	199
第四节 沉珠的理化性质	200
一、沉珠的物理性质	200
二、沉珠的化学性质	201
第五节 磁珠的理化性质	201
一、磁珠的物理性质	202
二、磁珠的化学性质	203
第六节 粉煤灰中炭粒的理化性质	204
第七节 粉煤灰中各类颗粒理化性质对比	205

第一节 粉煤灰在建筑工程中的应用	206
一、粉煤灰在混凝土中的应用技术	206
二、粉煤灰建筑砂浆	209
三、粉煤灰用作土木工程结构填筑	213
四、粉煤灰地基	214
五、粉煤灰回填	215
六、粉煤灰屋面	216
第二节 粉煤灰在建材制品中的利用	216
一、粉煤灰砖	216
二、粉煤灰陶粒	219
三、粉煤灰砌块	224
四、粉煤灰水泥	227
第三节 粉煤灰在化学工业中的应用	235
一、从粉煤灰中提取铝	235
二、其他稀有金属提取的试验研究	237
三、粉煤灰微晶玻璃	238
四、粉煤灰分子筛的制备	240
五、粉煤灰拒水粉	241
六、粉煤灰高分子材料填充剂	241
第四节 粉煤灰在环境保护中的应用	244
一、粉煤灰处理废水的机理	244
二、粉煤灰处理焦化废水	245
三、用粉煤灰和高铁酸钾处理造纸废水的研究	247
四、粉煤灰处理重金属废水	248
五、粉煤灰处理含氟废水	248
第五节 粉煤灰在农林牧业中的利用	249
一、粉煤灰用于改良土壤	249
二、覆土种植及纯灰种植	251
三、粉煤灰生产肥料	253
四、粉煤灰中有害物质对农田和作物的影响	254
五、粉煤灰增产效果	257
第六节 粉煤灰空心微珠的综合利用	257
一、漂珠的综合利用	258
二、沉珠的综合利用	261
三、磁珠的综合利用	262
四、炭粒的综合利用	265

第三篇 煤烟脱硫石膏资源化技术

第十三章 烟气脱硫石膏的产生与品质 / 270

第一节 烟气脱硫石膏的产生	270
第二节 脱硫石膏理化性质	272
一、颗粒特征及分布规律	272
二、物理性能	272
三、化学成分分析	272
第三节 脱硫石膏品质影响因素	273
一、燃煤硫分对脱硫石膏品质的影响	273
二、除尘效率对脱硫石膏品质的影响	273
三、脱硫剂-石灰石对脱硫石膏品质的影响	273
四、石膏浆液 pH 值对脱硫石膏品质的影响	274
五、液气比 L/G 对脱硫石膏品质的影响	274
六、石膏浆液停留时间对脱硫石膏品质的影响	275
七、氯离子浓度对脱硫石膏品质的影响	275
八、不溶性杂质对脱硫石膏品质的影响	275
九、烟气飞灰颗粒对脱硫石膏品质的影响	275
第四节 天然石膏与脱硫石膏品质对比	276
一、脱硫石膏与天然石膏的相同点	276
二、脱硫石膏与天然石膏的不同点	276

第十四章 脱硫石膏资源化技术 / 278

第一节 国内外脱硫石膏利用概况	278
一、国外脱硫石膏生产利用动态	279
二、国内脱硫石膏生产利用动态	281
第二节 脱硫石膏资源化技术	281
一、脱硫石膏在水泥工业的应用	281
二、脱硫石膏在建筑方面的应用	283
三、脱硫石膏在化工方面的应用	287
四、脱硫石膏在农业方面的应用	288
五、脱硫石膏开发利用方向	288
第三节 脱硫石膏加工工艺与设备	289
一、脱硫石膏制品采用的煅烧工艺与设备	289

二、脱硫石膏胶凝材料的煅烧工艺与设备	290
三、同时生产石膏制品和胶凝材料采用的煅烧工艺及设备	290
四、粉磨工艺与设备	290

第四篇 石墨尾矿资源化技术

第十五章 石墨尾矿的形成和特性 / 292

第一节 石墨尾矿形成和对社会环境的影响	292
一、石墨尾矿对社会环境的影响	292
二、石墨尾矿的矿物组成	293
第二节 石墨尾矿的沉降性	294
一、石墨尾矿沉降实验	294
二、原尾矿浆的沉降特性	295
三、原尾矿浆的强化沉降	295
四、CBC-S 对高浓度矿浆的沉降影响规律和沉降体特性	296
五、石墨尾矿特性	297

第十六章 石墨尾矿综合利用 / 298

第一节 石墨尾矿综合利用概况	298
一、石墨尾矿资源化利用现状	298
二、石墨尾矿资源化利用存在的主要问题和对策	299
第二节 石墨尾矿再选	300
第三节 石墨尾矿回收有价矿物	300
一、石墨尾矿中的矿物及其特性	301
二、选别流程	301
三、选矿方法	302
第四节 石墨尾矿中回收绢云母和提纯钒	305
一、回收绢云母	305
二、石墨尾矿提钒	309
第五节 石墨尾矿矿渣在高速公路底基层上的应用	311
一、石墨尾矿渣用于高速公路底基层的研究工作	311
二、石墨尾矿用作高速公路底基层工程实例	312
第六节 石墨尾矿制备太阳能中温储热材料	312
第七节 石墨选矿尾矿砂生产白炭黑	313

第八节	石墨选矿尾矿砂生产复合型保护渣	314
第九节	石墨尾矿在建筑材料中的应用	317
一、	石墨尾矿制备建筑陶瓷	317
二、	石墨尾矿制备烧结砖	318
三、	石墨尾矿制备路面砖	321
四、	石墨尾矿制备新型墙体材料	322
五、	石墨尾矿制备泡沫混凝土	323
六、	石墨尾矿粉用量对碱磷渣基胶凝材料净浆强度的影响	325

参考文献 / 327