

出版基金资助项目



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“新闻出版改革发展项目库”入库项目

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国稀土科学与技术丛书

主 编 干 勇
执行主编 李春龙

稀土采选与环境保护

Mining, Beneficiation and
Environmental Protection of Rare Earths

杨占峰 马 莹 王 彦 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



国家出版基金资助项目

“新闻出版改革发展项目库”入库项目

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国稀土科学与技术丛书

主 编 干 勇
执行主编 李春龙

稀土采选与环境保护

杨占峰 马 莹 王 彦 编著

北 京

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书是《中国稀土科学与技术丛书》之一,全面总结了国内外稀土产业的发展和科技进步,集合了近年来有关稀土采选及环保的大量科研成果和相关基础资料,内容包括资源概论、采选工艺技术以及环境保护三部分。介绍了稀土矿床类型及主要稀土矿物、稀土工业指标、世界稀土矿地理分布、国内外主要稀土矿实例;国内采矿和选矿工业及稀土采选工艺技术进展、技术进步等情况;同时介绍了稀土采、选及冶炼分离过程中的环保问题、相关生态修复技术及稀土尾矿的处置现状,并对世界最大的白云鄂博铁稀土铈矿床地质、采矿、选矿等领域的科研突破和创新发展进行了详细解析。本书全面反映了稀土地质、采矿、选矿和环境保护领域国内外研究的最新成果。

本书可供稀土采选与环境保护相关领域的科研人员、生产技术人员参考使用,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

稀土采选与环境保护/杨占峰等编著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 5

(中国稀土科学与技术丛书)

ISBN 978-7-5024-7681-6

I. ①稀… II. ①杨… III. ①稀土元素矿床—矿山开采
②稀土元素矿床—选矿 ③稀土元素矿床—矿区环境保护
IV. ①P618.7 ②X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 289080 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

丛书策划 任静波 肖 放

责任编辑 戈 兰 夏小雪 肖 放 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 石 静 责任印制 牛晓波 李玉山

ISBN 978-7-5024-7681-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京博海升彩色印刷有限公司印刷

2018 年 5 月第 1 版, 2018 年 5 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 27 印张; 525 千字; 408 页

238.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

《中国稀土科学与技术丛书》

编辑委员会

主 编 千 勇

执行主编 李春龙

副 主 编 严纯华 张洪杰 李 卫 黄小卫

张安文 杨占峰

编 委 (按姓氏笔画排序)

千 勇 牛京考 古宏伟 卢先利 朱明刚

任国浩 庄卫东 闫阿儒 闫慧忠 关成君

严纯华 李 卫 李永绣 李春龙 李星国

李振民 李维民 杨占峰 肖方明 吴晓东

何 洪 沈保根 张安文 张志宏 张国成

张洪杰 陈占恒 陈耀强 林东鲁 孟 健

郝 茜 胡伯平 洪广言 都有为 徐时清

徐怡庄 高 松 郭 耘 黄小卫 黄春辉

屠海令 蒋利军 谭学余 潘裕柏

秘 书 组 张 莉 李 平 石 杰 韩晓英 祝 捷

孙菊英 刘一力 王 勇

序

稀土元素由于其结构的特殊性而具有诸多其他元素所不具备的光、电、磁、热等特性，是国内外科学家最为关注的一组元素。稀土元素可用来制备许多用于高新技术的新材料，被世界各国科学家称为“21世纪新材料的宝库”。稀土元素被广泛应用于国民经济和国防工业的各个领域。稀土对改造和提升石化、冶金、玻璃陶瓷、纺织等传统产业，以及培育发展新能源、新材料、新能源汽车、节能环保、高端装备、新一代信息技术、生物等战略新兴产业起着至关重要的作用。美国、日本等发达国家都将稀土列为发展高新技术产业的关键元素和战略物资，并进行大量储备。

经过多年发展，我国在稀土开采、冶炼分离和应用技术等方面取得了较大进步，产业规模不断扩大。我国稀土产业已取得了四个“世界第一”：一是资源量世界第一，二是生产规模世界第一，三是消费量世界第一，四是出口量世界第一。综合来看，目前我国已是稀土大国，但还不是稀土强国，在核心专利拥有量、高端装备、高附加值产品、高新技术领域应用等方面尚有差距。

国务院于2015年5月发布的《中国制造2025》规划纲要提出力争通过三个十年的努力，到新中国成立一百年时，把我国建设成为引领世界制造业发展的制造强国。规划明确了十个重点领域的突破发展，即新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械。稀土在这十个重点领域中都有十分重要而不可替代的应用。稀土产业链从矿石到原材料，再到新材料，最后到零部件、器件和整机，具有几倍，甚至百倍的倍增效应，给下游产业链带来明显的经济效益，并带来巨

大的节能减排方面的社会效益。稀土应用对高新技术产业和先进制造业具有重要的支撑作用，稀土原材料应用与《中国制造 2025》具有很高的关联度。

长期以来，发达国家对稀土的基础研究及前沿技术开发高度重视，并投入很多，以期保持在相关领域的领先地位。我国从新中国成立初开始，就高度重视稀土资源的开发、研究和应用。国家的各个五年计划的科技攻关项目、国家自然科学基金、国家“863 计划”及“973 计划”项目，以及相关的其他国家及地方的科技项目，都对稀土研发给予了长期持续的支持。我国稀土研发水平，从跟踪到并跑，再到领跑，有的学科方向已经处于领先水平。我国在稀土基础研究、前沿技术、工程化开发方面取得了举世瞩目的成就。

系统地总结、整理国内外重大稀土科技进展，出版有关稀土基础科学与工程技术的系列丛书，有助于促进我国稀土关键应用技术研发和产业化。目前国内外尚无在内容上涵盖稀土开采、冶炼分离以及应用技术领域，尤其是稀土在高新技术应用的系统性、综合性丛书。为配合实施国家稀土产业发展策略，加快产业调整升级，并为其提供决策参考和智力支持，中国稀土学会决定组织全国各领域著名专家、学者，整理、总结在稀土基础科学和工程技术上取得的重大进展、科技成果及国内外的研发动态，系统撰写稀土科学与技术方面的丛书。

在国家对稀土科学技术研究的大力支持和稀土科技工作者的不断努力下，我国在稀土研发和工程化技术方面获得了突出进展，并取得了不少具有自主知识产权的科技成果，为这套丛书的编写提供了充分的依据和丰富的素材。我相信这套丛书的出版对推动我国稀土科技理论体系的不断完善，总结稀土工程技术方面的进展，培养稀土科技人才，加快稀土科学技术学科建设与发展有重大而深远的意义。

中国稀土学会理事长

中国工程院院士



2016 年 1 月

编者的话

稀土元素被誉为工业维生素和新材料的宝库，在传统产业转型升级和发展战略新兴产业中都大显身手。发达国家把稀土作为重要的战略元素，长期以来投入大量财力和科研资源用于稀土基础研究和工程化技术开发。多种稀土功能材料的问世和推广应用，对以航空航天、新能源、新材料、信息技术、先进制造业等为代表的高新技术产业发展起到了巨大的推动作用。

我国稀土科研及产品开发始于 20 世纪 50 年代。60 年代开始了系统的稀土采、选、冶技术的研发，同时启动了稀土在钢铁中的推广应用，以及其他领域的应用研究。70~80 年代紧跟国外稀土功能材料的研究步伐，我国在稀土钐钴、稀土钕铁硼等研发方面卓有成效地开展工作，同时陆续在催化、发光、储氢、晶体等方面加大了稀土功能材料研发及应用的力度。

经过半个多世纪几代稀土科技工作者的不懈努力，我国在稀土基础研究和产品开发上取得了举世瞩目的重大进展，在稀土开采、选冶领域，形成和确立了具有我国特色的稀土学科优势，如徐光宪院士创建了稀土串级萃取理论并成功应用，体现了中国稀土提取分离技术的特色和先进性。稀土采、选、冶方面的重大技术进步，使我国成为全球最大的稀土生产国，能够生产高质量和优良性价比的全谱系产品，满足国内外日益增长的需求。同时，我国在稀土功能材料的基础研究和工程化技术开发方面已跻身国际先进水平，成为全球最大的稀土功能材料生产国。

科技部于 2016 年 2 月 17 日公布了重点支持的高新技术领域，其中与稀土有关的研究包括：半导体照明用长寿命高效率的荧光粉材料、半导体器件、敏感元器件与传感器、稀有稀土金属精深产品制备技术，超导材料、镁合金、结构陶瓷、功能陶瓷制备技术，功能玻璃制备技术，新型催化剂制备及应用

技术, 燃料电池技术, 煤燃烧污染防治技术, 机动车排放控制技术, 工业炉窑污染防治技术, 工业有害废气控制技术, 节能与新能源汽车技术。这些技术涉及电子信息、新材料、新能源与节能、资源与环境等较多的领域。由此可见稀土应用的重要性和应用范围之广。

稀土学科是涉及矿山、冶金、化学、材料、环境、能源、电子等的多专业的交叉学科。国内各出版社在不同时期出版了大量稀土方面的专著, 涉及稀土地质、稀土采选冶、稀土功能材料及应用的各个方向和领域。有代表性的是 1995 年由徐光宪院士主编、冶金工业出版社出版的《稀土(上、中、下)》。国外有代表性的是由爱思唯尔(Elsevier)出版集团出版的“Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths”(《稀土物理化学手册》)等, 该书从 1978 年至今持续出版。总的来说, 目前在内容上涵盖稀土开采、冶炼分离以及材料应用技术领域, 尤其是高新技术应用的系统性、综合性丛书较少。

为此, 中国稀土学会决定组织全国稀土各领域内著名专家、学者, 编写《中国稀土科学与技术丛书》。中国稀土学会成立于 1979 年 11 月, 是国家民政部登记注册的社团组织, 是中国科协所属全国一级学会, 2011 年被民政部评为 4A 级社会组织。组织编写出版稀土科技书刊是学会的重要工作内容之一。出版这套丛书的目的, 是为了较系统地总结、整理国内外稀土基础研究和工程化技术开发的重大进展, 以利于相关理论和知识的传播, 为稀土学界和产业界以及相关产业的有关人员提供参考和借鉴。

参与本丛书编写的作者, 都是在稀土行业内有多年经验的资深专家学者, 他们在百忙中参与了丛书的编写, 为稀土学科的繁荣与发展付出了辛勤的劳动, 对此中国稀土学会表示诚挚的感谢。

中国稀土学会
2016 年 3 月

前 言

稀土元素因具有优异的磁、光、电特性，被广泛应用于冶金、军事、石油化工、玻璃陶瓷、农业和新材料等领域，成为世界公认的发展高新技术、国防尖端技术、改造传统产业不可或缺的战略资源，是信息技术、生物技术和能源技术等高技术领域和国防建设的重要基础材料，是 21 世纪新材料的宝库。

我国稀土资源较为丰富，稀土工业在 20 世纪 80~90 年代得到快速发展，21 世纪初跃身为世界最大的稀土生产国、供应国和消费国，稀土工业为我国国民经济和国防建设做出了重要贡献，也为世界高新技术产业的发展发挥了重要的促进作用。随着稀土新材料应用范围不断扩大，稀土产业成为我国在国际具有一定话语权和重大影响力的产业之一。

随着稀土行业的快速发展，也带来了资源过度开发、生态环境破坏严重等问题，与此同时，部分落后的稀土开采、选冶、分离工艺和技术也严重破坏了地表植被，造成水土流失和土壤污染、酸化等。近年来，国家通过加强稀土行业的科学管理、淘汰落后生产工艺、加大环境治理力度等措施，环境污染问题已得到有效改善。

在本书编写过程中，查阅了大量资料，并对其进行了认真的整理和分析，对国内外稀土资源、采选状况、重点矿床及矿物性质进行了系统的概括与介绍。国内出版的涉及稀土资源采选与环境保护系统性论述和对国外资源状况全面介绍的书目较少，读者可通过本书对国内外稀土资源的采选状况进行详细的了解，这是本书不同于其他工具书的特色之一。

我国稀土资源呈现“南重北轻”的特点，其中北方轻稀土资源以

白云鄂博铁稀土铈矿为代表。众所周知，白云鄂博矿是以铁、稀土、铈为主的多金属共（伴）生超大型矿床，多年以来一直是我国轻稀土资源的重点开发区域，但是对白云鄂博的中重稀土资源尚未给予足够的重视。充分、高效利用其中大量共（伴）生有用元素对我国稀土产业具有重要意义。几十年来，包头稀土研究院在白云鄂博矿资源的综合利用领域做了大量工作。新引进了先进的分析检测设备，系统地白云鄂博主、东矿代表性矿样中的主要矿物进行了分析研究，重新测定了矿物组成和矿物的元素成分，采集各矿物的能谱谱图，对按矿床成因划分的不同类型的稀土矿物进行了较为全面的岩矿鉴定检测分析，取得了一些新的成果，通过分析、归纳和总结，形成了最新的第一手宝贵资料。同时，在查阅和总结历史资料的基础上，对白云鄂博矿床铁、稀土、铈资源赋存情况进行了充分调研，现场采集白云鄂博主、东矿采矿、选铁、选稀土、稀土冶炼流程各生产工序的产品和废水、废渣，检测各样品中总铁、磁性铁、亚铁、硫、氟、磷、钛、钍、铈、钷及稀土等元素含量，尤其是中重稀土元素的含量，理清了它们的分布规律，对重新认识白云鄂博矿稀土资源提出了一些新的观点。这些成果对白云鄂博矿铁、轻稀土以外资源的综合开发利用和延长产业链具有重要的指导意义，因此白云鄂博铁稀土铈矿最新研究工作成果的新颖性成为本书不同于其他书籍的第二个特色。

绿色生产是产业健康持续发展的关键因素，也是稀土行业亟待解决的问题。包头稀土研究院近年来在稀土绿色生产及环境保护方面做了大量的研究工作，并取得了一些研究成果。本书对稀土上游产业链生产过程中存在的环境问题进行了分析，通过对我国白云鄂博矿、赣州离子型稀土矿、四川氟碳铈矿等典型稀土资源的开采、选冶分离工艺的介绍，进行了产排污节点分析，列出了污染物排放清单，详细介绍了废气、废水和废渣的种类、成分、产生量等基本特征及治理现状，提出了采、选、冶各工艺污染物（废气、废水、废渣）治理措施。此外，本书还介绍了我国各典型稀土资源尾矿的处置现状，提出了尾矿

治理措施。稀土采选及冶炼分离的绿色生产为稀土企业提供了重要的参考,成为本书的第三个特色。

作为《中国稀土科学与技术丛书》之一,编者集合了国内外稀土产业发展的大量基础资料和技术进步的最新科研成果,涵盖了国内外稀土资源、采选以及环境保护、生态修复等内容。本书主要内容包括资源概论、采选工艺技术以及环境保护三部分,介绍了稀土矿床类型及主要稀土矿物、稀土工业指标、世界稀土矿地理分布、国内外主要稀土矿地质情况实例;国内采矿和选矿工业及稀土采选工艺技术进步;同时介绍了稀土采、选及冶炼分离过程中的环保问题和稀土尾矿的处置现状、存在的问题和生态修复技术,尤其对世界最大的白云鄂博铁稀土铈矿床地质、采矿、选矿科研突破和创新发展进行了详细解析,全面反映了稀土地质、采矿、选矿和环境保护领域国内外研究的最新成果。本书不仅可作为相关领域的科研人员、生产技术人员的重要参考资料,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考用书。

本书第1、3、4章由王彦编写;第2、5、7、8、9、10章由杨占峰、高海洲、马莹、王振江、洪梅、包呈敏、李强编写;第6、11、18、19章由杨占峰编写;第12、13、14、15、16、17章由马莹编写;全书由杨占峰、高海洲审校定稿。

本书在编写过程中得到白云鄂博铁矿等诸多单位和张安文高级工程师、袁长林高级工程师、丁嘉榆高级工程师、杨主明研究员、郭咏梅高级工程师、王其伟高级工程师、秦玉芳工程师、赵文静工程师、康泰伟工程师、程晖等同志的支持和帮助,特别是国土资源部矿产资源储量评审中心资深专家汪汉雨对本书稿进行审阅并提出诸多修改意见,在此一并致谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处恳请读者和专家批评指正。

作者

2017年8月

目 录

第 1 篇 稀土资源概论

1 稀土矿床类型及主要稀土矿物	3
1.1 概况	3
1.2 稀土矿床类型	4
1.3 主要稀土矿物	5
1.3.1 稀土矿物类型	5
1.3.2 主要稀土矿物性质及开发利用	5
2 我国稀土矿床一般工业指标	13
2.1 稀土矿床一般工业指标	13
2.2 按稀土元素总量评价的一般工业指标	13
2.3 矿床实例	14
2.3.1 内蒙古某稀土-铈-铁矿床一般工业指标	14
2.3.2 江西某风化壳型稀土矿床一般工业指标	14
2.3.3 广东某海滨独居石砂矿床一般工业指标	14
3 世界稀土资源概述	16
3.1 地理分布	16
3.2 稀土资源储量	16
3.3 国外主要稀土资源现状	20
3.3.1 美国	21
3.3.2 澳大利亚	23
3.3.3 巴西	24
3.3.4 独联体	24
3.3.5 印度	28

3.3.6 加拿大	28
3.3.7 越南	28
3.3.8 格陵兰	30
3.3.9 南非	30

4 国外主要稀土矿实例 31

4.1 已建成项目	31
4.1.1 美国芒廷帕斯碳酸岩型稀土矿	31
4.1.2 澳大利亚韦尔德山碳酸岩及风化壳型铈稀土矿床	36
4.1.3 俄罗斯科拉半岛 Lovozerskoye 稀土矿	42
4.1.4 印度稀土公司	44
4.2 正在开发项目	46
4.2.1 巴西 CBMM 公司	46
4.2.2 巴西 Itafos 化肥公司	47
4.2.3 巴西 Mineração Taboca 公司 Pitinga 矿	47
4.2.4 巴西 Serra Verde 稀土项目	48
4.2.5 澳大利亚 Alkane 资源公司达博氧化镱项目	50
4.2.6 澳大利亚北部矿业 Browns Range 项目	52
4.2.7 Frontier 稀土公司南非 Zandkopsdrift 稀土项目	58
4.2.8 越南都巴奥稀土矿	64
4.2.9 哈萨克斯坦 Summit Atom Rare Earths 稀土项目	64
4.2.10 智利 Bio-Lantanidos 离子型稀土矿项目	65
4.2.11 土耳其矿	66

5 国内主要稀土矿 70

5.1 概况	70
5.2 矿床类型及特点	70
5.3 我国部分省区稀土资源概况	71
5.3.1 内蒙古稀土资源	71
5.3.2 四川稀土资源	74
5.3.3 山东稀土资源	79
5.3.4 江西稀土资源	83

5.3.5 广东稀土资源	95
5.3.6 广西稀土资源	96
5.3.7 湖南稀土资源	97
5.3.8 云南稀土资源	99
5.3.9 福建稀土资源	100
5.3.10 贵州稀土资源	100

参考文献	102
------------	-----

第 2 篇 稀土采矿和选矿工业

6 白云鄂博矿床地质研究	109
--------------------	-----

6.1 矿床的勘探	109
6.2 矿床地质研究	112
6.2.1 2005~2016 年深部探矿实践	114
6.2.2 “白云岩”地质地球化学特征及成因再认识	115
6.2.3 中重稀土赋存规律研究	119
6.2.4 白云鄂博矿勘查及研究总结	133
6.3 矿床的特殊性	134
6.3.1 矿石类型	134
6.3.2 工业指标及类型	138
6.3.3 矿石物质组成	140
6.3.4 化学成分	141
6.3.5 矿物成分	142
6.3.6 主要稀土矿物	143
6.3.7 矿区矿物种类	170
6.3.8 各种元素的赋存状态	171

7 白云鄂博稀土采矿和选矿工业的发展	190
--------------------------	-----

7.1 采矿工业的发展	190
7.1.1 新中国成立到改革开放前期 (1949~1976 年)	190
7.1.2 改革开放时期 (1977~2001 年)	193

7.1.3 “十五”至“十二五”发展时期(2002~2015年)	196
7.2 选矿工业的发展	200
7.2.1 新中国成立到改革开放前期(1949~1976年)	200
7.2.2 改革开放时期(1977~2001年)	201
7.2.3 “十五”至“十二五”发展时期(2002~2015年)	202

8 白云鄂博采矿和选矿工艺技术的发展 206

8.1 采矿工艺技术的发展	206
8.2 选矿工艺技术的发展	208
8.2.1 选矿工艺发展概述	208
8.2.2 中贫氧化矿的选矿工艺研究	212
8.3 稀土选矿工艺技术的发展	220
8.3.1 高品位稀土精矿选矿工艺技术开发	220
8.3.2 混合型轻稀土矿稀土选矿	228
8.4 中贫氧化堆置矿的综合利用	236
8.4.1 中贫氧化堆置矿现状	236
8.4.2 中贫氧化堆置矿综合利用研究进展	237
8.4.3 研究成果介绍	238
8.5 选矿药剂的发展	245

9 近期白云鄂博矿床研究 246

9.1 主矿、东矿深部及外围探矿	246
9.1.1 矿床深部及外围探矿	246
9.1.2 矿床成因理论及勘察范围研究	246
9.2 通过主矿、东矿自然减产加强稀土资源保护力度,延长 矿山服务年限	247
9.3 主矿、东矿采选冶工艺过程产品采样分析	247
9.3.1 矿样种类及数量的确定	247
9.3.2 采选冶工艺过程产品采样分析	250
9.4 各工序样品稀土配分及其分布规律的新认识	257
9.5 各工序样品钪、铈元素分布规律	264
9.6 铁矿石自然类型铁、氟、钍、磷含量与稀土含量相关关系	266

9.7 稀土富集物中各稀土元素的全面回收	268
9.8 选铁、选稀土尾矿回收稀土	268
9.9 尾矿的综合回收利用	268
9.9.1 尾矿库现状	268
9.9.2 尾矿综合利用研究进展	269
9.9.3 研究成果介绍	271
9.10 堆置白云岩的综合利用	279
9.11 铈的赋存特点及其综合利用	280
9.11.1 选铈技术进步历程回顾	280
9.11.2 铈的赋存特点	284

10 部分省区稀土矿的开发与利用 287

10.1 四川稀土矿的开发与利用	287
10.1.1 采矿	287
10.1.2 选矿	288
10.2 山东微山稀土矿的开发与利用	292
10.2.1 采矿	292
10.2.2 选矿	293
10.3 离子稀土型矿的开发与利用	298
10.3.1 浸矿工艺的演变	298
10.3.2 江西稀土矿开发与利用	309
10.3.3 广东离子型稀土矿开发与利用	309
10.3.4 广西离子型稀土矿开发与利用	310
10.4 海滨砂独居石开发与利用	310
参考文献	314

第3篇 环境保护

11 稀土矿采选工艺环境污染及治理 317

11.1 主要污染源及污染物	317
11.2 环境治理措施	317
11.2.1 大气污染控制措施	317

11.2.2	水污染控制措施	318
11.2.3	固体废物污染控制措施	318
11.3	选矿环境保护措施	318
11.3.1	精料场扬尘控制	318
11.3.2	尾矿库扬尘控制	319
11.3.3	翻车机站粉尘控制	319
11.3.4	尾矿库废水污染控制	319
11.4	尾矿库综合治理与保护方案	319
11.5	矿山采选生产对土地资源的影响	319
11.6	离子型稀土矿开采对环境的影响	319
12	稀土废弃物污染现状	321
12.1	废气来源、类型及其对环境的影响	321
12.2	废水来源、类型及其对环境的影响	321
12.3	废渣来源、类型及其对环境的影响	322
12.4	含稀土固体废弃物的资源特性及现状	322
12.4.1	火法冶炼废渣	322
12.4.2	稀土永磁材料固废	323
12.4.3	稀土抛光粉固废	326
12.4.4	稀土储氢材料固废（金属氢化物电池）	328
12.4.5	稀土荧光粉固废	330
12.4.6	稀土催化剂固废	332
12.4.7	钢化玻璃固废	334
12.5	放射性物质来源、类型及其对环境的影响	336
13	稀土废弃物污染防治技术	337
13.1	国外环境保护政策	337
13.1.1	美国	337
13.1.2	日本	337
13.1.3	澳大利亚	337
13.1.4	对我国稀土环境保护政策的启示	338
13.2	国外稀土工业废弃物防控技术	338