

大宗工业固体废物综合利用

——矿浆脱硫

◎ 宁平 孙鑫 董鹏 李凯 著



外
借

冶金工业出版社
www.ccmip.com.cn

大宗工业固体废物综合利用

——矿浆脱硫

宁平 孙鑫 董鹏 李凯 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书描述了大宗工业固体废物现状,总结了现阶段大宗工业固体废物在各行业的综合利用途径,并结合最新科学研究成果,详述了大宗工业固体废物制成矿浆在工业废气脱硫方面的应用。

本书可供环境、化工等专业的师生使用,也可供从事相关专业的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大宗工业固体废物综合利用:矿浆脱硫/宁平等著. —北京:
冶金工业出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-5024-7645-8

I. ①大… II. ①宁… III. ①矿浆—脱硫—工业固体废物
—固体废物利用—研究 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 258203 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

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 禹蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7645-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 1 月第 1 版, 2018 年 1 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 12 印张; 233 千字; 182 页

50.00 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)

前 言

随着我国经济的发展，产生的工业固体废物无论从数量上还是从种类上都在迅速增长，并且大量资源能源消耗的粗放型经济增长模式在短期内难以发生根本性改变，这将会导致我国在未来十几年甚至几十年，都会面临处理巨量工业固体废物的挑战。同时工业固体废物对大气、水体以及土壤等方面都会造成不同程度的危害。一般工业固体废物大都为大宗工业固体废物。

大宗工业固体废物是指我国各工业领域在生产活动中年产生量在 1000 万吨以上，对环境和安全产生较大影响的固体废物，主要包括：尾矿、煤矸石、粉煤灰、冶炼渣、工业副产石膏、赤泥和电石渣。

本书作者长期从事固废综合利用的相关研究，积累了大量信息、知识、数据。本书是作者在对我国近年来对大宗工业固体废物综合利用的总结，结合科研团队的研究成果，参考国内外文献、专利的基础上编写而成的。本书系统阐述了大宗工业固体废物的现状、危害、特征及综合利用现状，并对大宗工业固体废物在气体脱硫方面进行了详细的描述和展望。全书共分 5 章，内容包括大宗工业固体废物现状、大宗工业固体废物的分类和特征、大宗工业固体废物的综合利用、大宗工业固体废物脱硫现状等。

本书既讲述了传统的大宗工业固体废物综合利用技术，又介绍了目前先进技术，注重现阶段工业固体废物在各行业中的应用，并对大宗工业固体废物在工业废气 SO_2 脱除中的应用进行重点阐

述，所述内容详实，理论联系实际，有助于读者全面了解该领域的研究现状及其发展，并附有参考文献，可供读者参阅。

本书由昆明理工大学环境科学与工程学院和冶金与能源工程学院的相关教师共同编写。其中，第1、4、5章由昆明理工大学环境科学与工程学院孙鑫编写；第2章由昆明理工大学环境科学与工程学院李凯编写；第3章由昆明理工大学冶金与能源工程学院董鹏编写。昆明理工大学环境科学与工程学院宁平教授为本书的撰写提出了指导性意见并统稿。刘娜、冉继伟、孙丽娜、肖荷露等参与了相关文献的检索、收集和整理，以及提供相关研究数据等工作，在此向他们表示感谢。在编写此书时，参考了有关书籍和期刊，本书的出版同这些图书及相关论文作者的辛勤工作是分不开的，在此一并向他们表示感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

2017年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 大宗工业固体废物的定义	1
1.1.1 固体废物	1
1.1.2 工业固体废物	1
1.1.3 大宗工业固体废物	1
1.2 大宗工业固体废物的产生	2
1.2.1 尾矿的产生	2
1.2.2 粉煤灰的产生	2
1.2.3 煤矸石的产生	2
1.2.4 工业副产石膏的产生	3
1.2.5 赤泥的产生	3
1.2.6 冶炼废渣的产生	3
1.2.7 电石渣的产生	4
1.3 大宗工业固体废物对环境的危害	4
1.4 大宗工业固体废物综合利用的意义	7
2 大宗工业固体废物现状	8
2.1 我国大宗工业固体废物的产量现状	8
2.1.1 尾矿的污染现状	8
2.1.2 粉煤灰的污染现状	9
2.1.3 煤矸石的污染现状	10
2.1.4 工业副产石膏的污染现状	10
2.1.5 赤泥的污染现状	12
2.1.6 冶炼废渣的污染现状	13
2.2 大宗工业固体废物的管理现状	14
2.2.1 尾矿的管理现状	15
2.2.2 粉煤灰的管理现状	16
2.2.3 煤矸石的管理现状	17
2.2.4 工业副产石膏的管理现状	18

2.2.5 赤泥的管理现状	19
2.2.6 冶炼废渣的管理现状	19
2.3 大宗工业固体废物的管理体系	20
2.3.1 综合管理指标体系框架	20
2.3.2 各层次间的相互关系	25
2.3.3 综合管理评价指标	25
2.3.4 大宗固体废物污染预防与控制综合管理评价表	27
3 大宗工业固体废物的分类与特征	38
3.1 尾矿的分类与特征	38
3.1.1 尾矿的分类	38
3.1.2 尾矿的工艺流程	44
3.1.3 尾矿的化学成分分析	50
3.1.4 尾矿的特性	52
3.2 粉煤灰的分类与特征	53
3.2.1 粉煤灰的分类	53
3.2.2 粉煤灰的工艺流程	55
3.2.3 粉煤灰的化学成分分析	56
3.2.4 粉煤灰的特性	58
3.3 煤矸石的分类与特征	65
3.3.1 煤矸石的分类	65
3.3.2 煤矸石的工艺流程	67
3.3.3 煤矸石的化学成分分析	67
3.3.4 煤矸石的特性	68
3.4 工业副产石膏的分类与特征	70
3.4.1 工业副产石膏的分类	70
3.4.2 工业副产石膏的工业流程	71
3.4.3 工业副产石膏的化学成分分析	72
3.4.4 工业副产石膏的特性	73
3.5 赤泥的分类及特性	74
3.5.1 赤泥的分类	74
3.5.2 赤泥的工艺流程	75
3.5.3 赤泥的化学成分分析	76
3.5.4 赤泥的特性	79
3.6 冶炼渣的分类与特征	81

3.6.1 冶炼渣的分类	81
3.6.2 冶炼渣的工艺流程	82
3.6.3 冶炼渣的物理特性	85
3.7 电石渣的分类与特征	86
3.7.1 石渣的工艺流程	86
3.7.2 石渣的化学成分分析	86
3.7.3 电石渣的特性	87
4 大宗工业固废的综合利用	88
4.1 尾矿的综合利用	88
4.1.1 在建筑行业方面的应用	88
4.1.2 回收有用物质	92
4.1.3 在农业方面的应用	94
4.1.4 在环保方面的应用	94
4.1.5 复垦回填	94
4.2 粉煤灰的综合利用	95
4.2.1 在建筑行业方面的应用	96
4.2.2 回收有用物质	100
4.2.3 在农业方面的应用	101
4.2.4 在环保方面的应用	104
4.2.5 复垦回填	106
4.2.6 在化工行业方面的应用	106
4.3 煤矸石综合利用	107
4.3.1 在建筑行业方面的应用	107
4.3.2 回收有用物质	110
4.3.3 在农业方面的应用	111
4.3.4 复垦回填	112
4.3.5 在化工行业方面的应用	114
4.3.6 用于发电和造气	115
4.4 副产石膏的综合利用	117
4.4.1 在建筑行业方面的应用	117
4.4.2 在农业方面的应用	120
4.4.3 在环保领域的应用	121
4.5 赤泥的综合利用	121
4.5.1 在建筑行业方面的应用	121

4.5.2 回收有用物质	124
4.5.3 在环保领域中的应用	126
4.6 冶炼渣的综合应用	127
4.6.1 在建筑行业方面的应用	127
4.6.2 回收有用物质	129
4.6.3 在农业方面的应用	129
4.6.4 复垦回填	129
4.7 电石渣的综合利用	130
4.7.1 在建筑行业方面的应用	130
4.7.2 在环保领域中的应用	133
4.7.3 在化工行业方面的应用	134
5 大宗工业固废脱硫现状	136
5.1 二氧化硫气体污染物控制	136
5.1.1 SO_2 的性质与来源	136
5.1.2 SO_2 的危害	137
5.2 脱硫技术	138
5.2.1 燃料脱硫	138
5.2.2 烟气脱硫	139
5.3 大宗工业固废烟气脱硫技术	149
5.3.1 铜渣浆脱硫	150
5.3.2 锰渣脱硫	156
5.3.3 镁渣脱硫	159
5.3.4 赤泥浆脱硫	164
5.3.5 其他矿浆脱硫	176
参考文献	177



绪 论

1.1 大宗工业固体废物的定义

1.1.1 固体废物

固体废物是指在生产、生活和其他活动过程中产生的丧失原有的利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固体、半固体、置于容器中的气态物品（物质）以及法律法规规定纳入废物管理的物品（物质）。不能排入水体的液态废物和不能排入大气的置于容器中的气态物质，由于多具有较大的危害性，一般归入固体废物管理体系。

1.1.2 工业固体废物

工业固体废物（产业废弃物）是指工业生产过程中排出的各种废渣、粉尘及其他废物，如化学工业的酸碱污泥、机械工业的废铸砂、食品工业的活性炭渣、纤维工业的动植物纤维屑、硅酸盐工业的砖瓦碎块等。工业固体废物数量庞大、成分复杂、种类繁多。有一般工业固体废物（产业废弃物处理）和工业有害固体废物之分。前者如高炉渣、钢渣、赤泥、有色金属渣、粉煤灰、煤渣、硫酸渣、废石膏、盐泥等；后者包括有毒的、易燃的、有腐蚀性的、能传播疾病的及有强化学反应的废弃物。随着工业生产的发展，工业固体废物（产业废弃物）数量日益增加，其消极堆放占用土地，污染土壤、水源和大气，影响作物生长，危害人体健康；如经过适当的工艺处理，可成为工业原料或资源。

1.1.3 大宗工业固体废物

大宗工业固体废物（下称大宗工业固废）是指我国各工业领域的生产活动中年产生量在 1000 万吨以上，对环境和安全影响较大的固体废物，主要包括尾矿、煤矸石、粉煤灰、冶炼渣、工业副产石膏、赤泥和电石渣等。

据中国国家统计局的相关数据显示，我国的工业固废年产量呈逐年上升之势，80% 的工业固体废弃物是电力、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，黑色金属矿采选业等五大行业产生的固体废弃物。这些固体废弃物的大量堆积不仅侵占了土地面积，而且还污染了土壤、水体和大气。为了减少对环境的危害，提高对“放错了地方的资源”

的利用率,工信部在《“十二五”大宗工业固体废物综合利用专项规划》中将来自上述五大行业的尾矿、煤矸石、粉煤灰、冶炼渣、副产石膏和赤泥列为大宗工业固废,并将其作为处理的主要对象。

1.2 大宗工业固体废物的产生

1.2.1 尾矿的产生

尾矿,是指选矿中分选作业的产物里有用目标组分含量较低而无法用于生产的部分。不同种类和不同结构构造的矿石,需要不同的选矿工艺流程,而不同的选矿工艺流程所产生的尾矿,在工艺性质上,尤其在颗粒形态和颗粒级配上,往往存在一定的差异,按照选矿工艺流程,尾矿可分为手选尾矿、重选尾矿、磁选尾矿、浮选尾矿、化学选矿尾矿、电选及光电选尾矿等,还可按照尾矿中主要组成矿物的组合搭配情况分类。

1.2.2 粉煤灰的产生

粉煤灰,是从煤燃烧后的烟气中收捕下来的细灰,粉煤灰是燃煤电厂排出的主要固体废物。随着电力工业的发展,燃煤电厂的粉煤灰排放量逐年增加,成为我国当前排量较大的工业废渣之一。我国火电厂粉煤灰的主要氧化物组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 TiO_2 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 SO_3 、 MnO 、 P_2O_5 等,其中氧化硅、氧化铝和氧化钛来自黏土、页岩,氧化铁主要来自黄铁矿,氧化镁和氧化钙来自与其相应的碳酸盐和硫酸盐。

粉煤灰的主要来源是以煤粉为燃料的火电厂和城市集中供热锅炉,其中90%以上为湿排灰,活性较干灰低,且费水费电、污染环境,也不利于综合利用。为了更好地保护环境,并有利于粉煤灰的综合利用,考虑到除尘和干灰输送技术的成熟,干灰收集已成为今后粉煤灰收集的发展趋势。

1.2.3 煤矸石的产生

煤矸石是采煤过程和洗煤过程中排放的固体废物,是一种在成煤过程中与煤层伴生的一种含碳量较低、比煤坚硬的黑灰色岩石。包括巷道掘进过程中的掘进矸石、采掘过程中从顶板、底板及夹层里采出的矸石以及洗煤过程中挑出的洗矸石。其主要成分是 Al_2O_3 、 SiO_2 ,另外还含有数量不等的 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 SO_3 和微量稀有元素(镓、钒、钛、钴)等。

煤矸石是矿业固体废物的一种,包括洗煤厂的洗矸、煤炭生产中的手选矸、半煤巷和岩巷掘进中排出的煤和岩石以及和煤矸石一起堆放的煤系之外的白矸等,是碳质、泥质和砂质页岩的混合物,具有低发热值,含碳20%~30%,有些含腐殖酸。煤矸石是在成煤过程中与煤共同沉积的有机化合物和无机化合物混合

在一起的岩石，通常呈薄层，在煤层中、煤层顶或煤层底。煤矸石按主要矿物含量分为黏土岩类、砂石岩类、碳酸盐类、铝质岩类。按来源及最终状态，煤矸石可分为掘进矸石、选煤矸石和自然矸石三大类。煤矸石排放量根据煤层条件、开采条件和洗选工艺的固有较大差异，一般掘进矸石占原煤产量的10%左右，选煤矸石占入选原煤量的12%~18%。

煤矸石产生的途径有以下三种：

- (1) 掘进矸石是在井筒与巷道掘进过程中开凿排出的，占矸石总量的45%；
- (2) 在采煤和煤巷掘进过程中，由于煤层中夹有矸石或削下部分煤层顶底板，使运到地面的煤炭中含有的原矸，占矸石总量的35%；
- (3) 由洗煤厂产生的洗矸，以及少量人工挑选的拣矸，占矸石总量的20%。

1.2.4 工业副产石膏的产生

工业副产石膏是指工业生产中因化学反应生成的以硫酸钙为主要成分的副产品或废渣，也称化学石膏或工业废石膏。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全部工业副产石膏总量的85%。

1.2.5 赤泥的产生

赤泥，亦称红泥，是从铝土矿中提炼氧化铝后排出的工业固体废物，一般含氧化铁量大，外观与赤色泥土相似，因而得名，但有的因含氧化铁较少而呈棕色，甚至灰白色。铝土矿中铝含量高的，采用拜耳法炼铝，所产生的赤泥称拜耳法赤泥；铝土矿中铝含量低的，用烧结法或用烧结法和拜耳法联合炼铝，所产生的赤泥分别称为烧结法赤泥或联合法赤泥。

一般平均每生产1t氧化铝，附带产生1.0~2.0t赤泥。中国作为世界第4大氧化铝生产国，每年排放的赤泥高达数百万吨。

1.2.6 冶炼废渣的产生

冶炼废渣是指冶金工业生产过程中产生的各种固体废弃物，主要指钢铁冶炼中产生的高炉渣、钢渣，有色金属冶炼产生的各种有色金属渣，如铜渣、铅渣、锌渣、镍渣等，以及轧钢过程产生的少量氧化铁渣等。2005年、2010年及2015年产生的废渣量和利用率如表1-1所示。从表中可以看出，目前的废渣利用率还没有达到国家要求的水平。

以锰渣为例：

锰及锰合金是钢铁工业、铝合金工业、磁性材料工业、化学工业等不可缺少的重要原料之一。锰的提炼方式主要有火法和电解法（湿法）两种，其中电解法制备的金属锰，纯度可达99.7%~99.9%，已成为金属锰生产的主要方式。

表 1-1 产生的废渣量和利用率

固体废物种类	2005		2010		2015	
	产生量/t	利用率/%	产生量/亿吨	利用率/%	产生量/亿吨	利用率/%
尾渣	7.33	7	12.3	14	13	20
冶炼渣	1.17	37	3.15	55	4	70

我国锰储量只占世界陆地总储量的 6%，且具有规模小、贫矿多、富矿少、杂质含量高、贫而难选等特点，导致每年必须进口大量的锰矿石（表 1-2）。我国锰矿石平均品位只有 22%，远低于国际商品级富矿石标准（ $w(\text{Mn}) \geq 48\%$ ）。

表 1-2 2007 ~ 2012 年我国锰矿石进口量

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012
产生量/万吨	663	757	962	1158	1299	1237
同比增长/%	6.76	14.18	27.0	20.3	12.1	-4.77

我国是世界电解锰第一大生产国和出口国。电解锰行业属于高耗电、高污染行业，大部分发达国家早已停止生产，目前全球生产电解锰的国家只有中国和南非。截至 2012 年底，我国 2007 ~ 2012 年电解锰产生量统计结果见表 1-3。2007 ~ 2012 年间，我国电解锰产生量约为 749 万吨，其中 2011 年达到 148 万吨，占全球 97% 以上。2012 年产生量相比 2011 年略有下降，为 116 万吨，但与 2007 年相比，增长了 11.62%。全国共有电解锰企业 190 家，主要分布在湖南、广西、贵州、宁夏和重庆五省（市、自治区），其电解锰产量占比超过 90%。

表 1-3 2007 ~ 2012 年我国电解锰产生量

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012
产生量/万吨	102	114	131	138	148	116
同比增长/%	39.78	11.18	14.80	5.77	7.04	-21.61

1.2.7 电石渣的产生

电石渣主要来源于电石法聚氯乙烯与醋酸乙烯生产。每生产 1t 聚氯乙烯耗电石约 1.45t，每吨电石水解后产生 1t 多电石渣，故每生产 1t 聚氯乙烯需排出 2t 多电石渣。

1.3 大宗工业固体废物对环境的危害

大宗工业固体废物对环境的危害普遍表现在大气、水、土壤等方面。堆放的大宗工业固废中的细微颗粒、粉尘等可随风飞扬，从而对大气环境造成污染；堆

积的大宗工业固废中某些物质的分解和化学反应,在不同程度上产生毒气或恶臭,造成地区性空气污染;有不少国家直接将大宗工业固废倾倒入河流、湖泊或海洋,严重危害水生生物的生存条件,并影响水资源的充分利用;当大宗工业固废中含有重金属时,其淋洗和渗滤液中所含有害物质会改变土壤的性质和土壤结构,抑制植物生长和发育,并对土壤中微生物的活动产生影响。以下对各类大宗工业固废的主要危害进行简要介绍。

(1) 尾矿的危害。尾矿库指筑坝拦截谷口或围地构成的,用以堆存金属或非金属矿山进行矿石选别后排出的废矿石、煤矸石或其他工业废渣的场所。尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流危险源,存在溃坝危险,一旦失事,容易造成重特大事故。

以我国的金山尾矿库为例,金山尾矿库设计库区纵深 150m,汇水面积 0.20km^2 ,尾矿坝高 50m 时库容 103 万立方米,服务年限为 5a。由于库内纵深长度只有 150m,使用时要保证尾矿库干滩长度 70m 的要求,就不能满足必要的尾矿水澄清距离。尾矿颗粒中小于 0.019mm 的含量达 33.16%,为了改善库内溢流水的水质,尾矿库经常处于高水位状态作业,平时干滩长度只有 20m 左右。在雨季经常被迫停用,基本不能正常运行。1986 年 4 月 30 日发生溃坝事故,坝顶决口宽 245.5m,底部决口宽 111m,84 万吨尾矿和水冲出库区,下游 2km 农田和水塘被淹没或受到污染,造成 19 人死亡,100 多人受伤,损失严重。事故的直接原因系库内水位超高,子坝由松散尾砂堆成,不能承受水的渗透压力,发生渗透坍塌,导致水漫过沉积滩顶溃坝。

(2) 粉煤灰的危害。大量的粉煤灰如不加以处理,会产生扬尘,污染大气,对人体健康危害很大。在煤烟型污染城市,大气气溶胶是主要污染物,在我国大多数城市,燃煤飞灰是悬浮颗粒物的主要来源,在冬季因燃煤上升,导致空气中飞灰的增加。煤中有害元素大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒可沉积在鼻咽区,小于 $2\mu\text{m}$ 的沉积在支气管、肺泡区,被血液吸收,送到人体各个器官,对人体健康的危害更大。另外,细颗粒能长时间漂浮在大气环境中(一般 7~10d),随气流进行远距离输送,造成区域性环境污染。粉煤灰造成了大气的能见度下降,进而给大气层又穿了一件“保暖内衣”,使大气成的保温效应更加严重,最终将会导致温室效应的加重。更需要注意的是某些粉煤灰含有放射性元素,易对人体健康造成危害。

(3) 煤矸石的危害。目前,多数煤矸石的堆积未经设计,矸石山堆放极不正规、结构疏松。煤矸石等的地下开采造成采空区,在人为开挖、降雨淋滤等作用下,稳定性差的矸石山就容易引发诸如滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。如 2012 年徐州旗山矿煤矸石山发生坍塌,致使 2 人被埋身亡。同时,煤矸石在长期堆放过程中,经风吹、日晒、雨淋等作用,析出的 Hg、Pb、Ga、Ti、Sn、V、Co 等有毒重金属随地表径流入江、河、湖和地下水中,造成水体的污染。煤矸石

污染土壤主要有两种方式：1) 矸石山风化飘落的降尘含有有害的重金属元素，它能严重污染土壤，同时还会阻碍植物的光合作用；2) 降尘进入土壤后，将改变土壤的 pH 值和土壤中微量重金属的平衡。

(4) 工业副产石膏的危害。工业副产石膏的危害主要包括磷石膏和脱硫石膏两个方面。

磷石膏的处理分为海上处理和陆上处理。海上处理一般是将磷石膏直接投放到深海处，此方法会对海洋生态环境造成严重危害。陆上处理主要是露天堆放和再利用，而因磷石膏具有放射性，易对环境造成放射性污染，具体表现为以下三个方面。

1) 磷石膏的排放对周边环境的辐射危害。

2) 在利用磷石膏做原料或掺料生产建材制品时，放射性元素对环境的危害。

3) 磷石膏渣场使用年限结束后，在利用磷石膏渣场作为建筑用地时，磷石膏对环境的辐射危害。磷石膏渣场在使用结束封场后，可以作为建筑用地使用。但是由于存在辐射污染的可能性，因此在使用时必须考虑防辐射措施。

脱硫石膏引起严重的环境问题就是大气污染，其中最主要的问题之一就是“环境酸化”。“环境酸化”与 SO_2 、 NO_x 排入大气中有密切的关系，一般它们以两种方式进入地面。一种是湿沉降。大气中的 SO_2 、 NO_x 被雨水带到地面，经太阳暴晒，挥发出“酸性物质”，加重“酸雨”的威胁。到雨天，脱硫石膏经雨水冲刷渗入土地农田，污染地表水和地下水，造成大面积污染。另一种方式是干沉降。大气中的 SO_2 、 NO_x 直接落到植物或潮湿的地表面，这些微粒布满植物表面，影响光合作用，导致植物死苗、黄叶、烂叶或落花落果。石膏粉末分解释放的有害物质对长期户外作业的人群健康也产生不良影响，体质弱者甚至可发生并发症导致死亡。

(5) 赤泥的危害。赤泥中还含有镭、钍、钾等放射性微量元素，一般内外照白指数均在 2.0 以上，属于危险固体废物，对环境有放射性污染。同时赤泥中因含有大量的强碱性化学物质，浸出液的 pH 值为 12.1 ~ 13.0，即使稀释 10 倍后，pH 值仍为 11.25 ~ 11.50。一般认为碱含量为 30 ~ 400mg/L 是公共水源的适合范围，而赤泥附液的碱度高达 26348mg/L。如此高碱度的污水渗入地下或排进地表水，使水体 pH 值升高，产生水中化合物的毒性，造成的水污染非常严重。有的国家把赤泥排入海中，因含有碱等有害物质而污染海洋，危害渔业生产。极高的碱性还使赤泥对生物和金属、硅质材料等产生强烈的腐蚀。

(6) 冶炼废渣的危害。冶炼渣的危害与污染治理长期以来一直是国际性难题，而最严重的就是由于冶炼渣中的重金属进入生态环境导致的污染。国内外对冶炼渣重金属复合污染进行研究表明，重金属离子通过物理、化学、生物等作用，极易向周边迁移扩散，进入土壤、水体、植物中，从而严重破坏周边的生态

环境。其次是渣场固体废物中可能含有危险固体废弃物,此类废物的贮存或长期堆存,不仅占用大量土地,而且会造成对水体和大气的严重污染,以致发生毒性有机物污染。上海、北京、石家庄、贵阳、重庆、徐州等城市的地下水,已受到了冶炼渣处置场的污染。一般有色金属冶炼厂附近的土壤里,铅、铜、锌含量为正常土壤中含量的几倍甚至几十倍,这些有毒物质通过土壤进入地下水体。

(7) 电石渣的危害。电石渣是电石水解反应的副产物,含有大量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,呈强烈的碱性,并且含有较多的硫化物及其他微量杂质。虽然电石渣浆是副产物,但是在数量上却远远超过产物PVC树脂,电石渣堆放填埋处理不但占用大量土地,而且极易造成堆放场地附近的水污染、土壤碱化及粉尘和大气污染。

1.4 大宗工业固体废物综合利用的意义

“十二五”以来,在党中央、国务院的正确领导下,在各部门的积极支持下,通过全系统上下的共同努力,我国大宗工业固体废物综合利用取得了长足发展,综合利用量逐年增加,综合利用技术水平不断提高,综合利用产品产值、利润均得到较大提升,取得了较好的经济效益、环境效益和社会效益,为节约资源、保护环境、保障安全、促进工业经济发展方式转变做出了重要贡献。

一是综合利用规模稳步扩大。各类大宗工业固体废物综合利用量和综合利用率均有显著提高,其中尾矿、工业副产石膏、赤泥的综合利用率快速增长,冶炼渣和工业副产石膏综合利用率大幅提高,大宗工业固体废物综合利用开始走上了规模化发展道路。

二是技术装备水平有所提高。开发了一批用量大、成本低、经济效益好的综合利用技术与装备。高铝粉煤灰提取氧化铝多联产技术、磷石膏生产硫酸联产水泥技术、尾矿生产加气混凝土技术等多项技术获得国家发明专利授权;尾矿高强结构材料技术、拜耳法赤泥深度选铁技术等一批重大共性关键技术已在中间试验、工业试验或实际工程上取得重大突破;一批综合利用先进适用技术得到推广应用,高压立磨等部分大型成套设备制造实现国产化,并达到国际先进水平。

三是综合利用效益显著。大宗工业固体废物综合利用已经成为企业调整发展思路、改善环境面貌、减少矿山资源开采、增加就业机会和培育新的经济增长点的重要途径,更是煤炭、钢铁、矿产资源等行业发展接续产业的重点。

大宗工业固体废物中还存在许多回收有用的再生资源,包括有可回收的黑色金属、有色金属和稀有金属等。通过对这些资源的回收利用,不仅可以减少对环境的破坏,还能创造出可观的经济效益,而且还能节省治理大宗工业固体废物对环境破坏产生的费用。



大宗工业固体废物现状

2.1 我国大宗工业固体废物的产量现状

我国大宗工业固废的分布主要集中在中西部地区。河北、辽宁、山西、山东、内蒙古、河南、江西、云南、四川和安徽等十个省的大宗工业固废产生量占全国大宗工业固废产生量的 60% 以上，其中的山西、内蒙古、四川等资源丰富的省份和西部经济欠发达地区，煤炭资源和火电厂较为集中，大宗工业固废的产量尤其高。“十一五”期间，我国大宗工业固体废物产生量快速攀升，总产生量 180 亿吨，堆存量净增 82 亿吨，总堆存量达到 190 亿吨。2012 年，我国工业固体废物产生量高达 32.9 亿吨，是 2000 年的 8.2 亿吨的 4 倍，其中尾矿 11 亿吨、赤泥 5300 万吨、磷石膏 7000 万吨。“十二五”期间，随着我国工业化持续推进，大宗工业固废产生量也随之增加，总产生量达 150 亿吨，堆存量净增 80 亿吨，总堆存量达到 270 亿吨，大宗工业固体废物堆存新增占用土地 40 万亩。

2013 年，一般工业固体废物产生量较大的省份为河北省 4.3 亿吨，占全国工业企业固体废物产生量的 13.2%；山西省 3.1 亿吨，占 9.3%；辽宁省 2.7 亿吨，占 8%。全国有 7 个省份的工业固体废物综合利用量超过 1 亿吨，较大的省份为山西 2.0 亿吨，主要为煤矸石，占全省工业企业综合利用量的 44.7%；河北 1.8 亿吨，主要为冶炼废渣，占全省工业企业的 40.1%；山东 1.7 亿吨，主要为粉煤灰、冶炼废渣和尾矿，占全省工业企业的 55.5%；辽宁 1.2 亿吨，主要为尾矿、冶炼废渣和粉煤灰，占全省工业企业的 53.2%；河南 1.2 亿吨，主要为粉煤灰和煤矸石，占全省工业企业的 51.1%；江苏 1.1 亿吨，主要为冶炼废渣、粉煤灰和炉渣，占全省工业企业的 75.7%；安徽 1.0 亿吨，主要为煤矸石、粉煤灰和尾矿，占全省工业企业的 61.8%。这 7 个省份的一般工业固体废物综合利用量占全国工业企业的 48.8%。一般工业固体废物综合利用率较大的省份为天津、上海、江苏、浙江和山东，均高于 90.2%；内蒙古自治区 2.0 亿吨，占 6.1%；山东省 1.8 亿吨，占 5.5%。

2.1.1 尾矿的污染现状

随着现代工业化生产的迅速发展和新开矿山数量的陆续增加，尾矿的排放、堆积量也越来越大。目前，我国在运转的矿物原料约 50 亿吨。世界各国每年采出的金属矿、非金属矿、煤、黏土等在 100 亿吨以上，排出的废石及尾矿量约 50