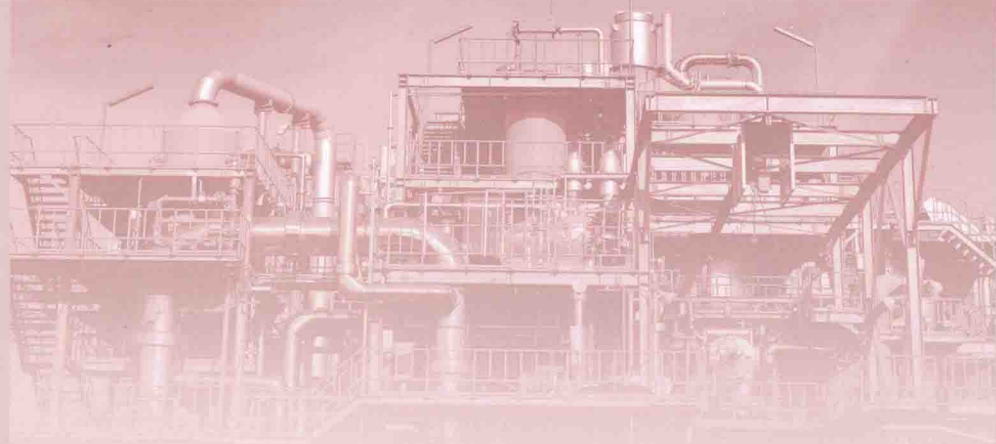




工业固废综合利用技术和 产品评价

黄 进 林 翎 于亚杰 兰明章 等 著
张建松 高东峰 王秀腾 杨进波



中国质检出版社
中国标准出版社



国家科技支撑计划“工业固废综合利用评估技术及标准研究”专著

工业固废综合利用技术和 产 品 评 价

黄 进 林 翎 于亚杰 兰明章 等著
张建松 高东峰 王秀腾 杨进波

中国质检出版社

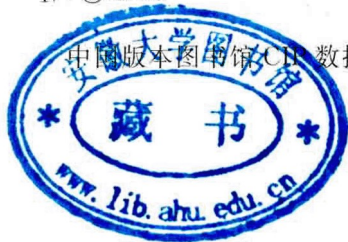
中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

工业固废综合利用技术和产品评价/黄进,林翎,于亚杰等著.
—北京:中国标准出版社,2014.1
ISBN 978-7-5066-7450-8

I. ①工… II. ①黄… III. ①工业固体废物—固体废物利用
IV. ①X705



中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第295717号

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/32 印张 9.625 字数 200千字
2014年1月第一版 2014年1月第一次印刷

*

定价 35.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

《工业固废综合利用技术和 产品评价》

撰写者名单

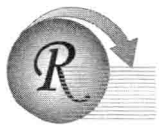
黄 进	林 翎	于亚杰	兰明章
张建松	高东峰	王秀腾	杨进波
王 清	吕征宇	朱 平	仇金辉
曹 妍	戴 煦		

前 言

本书针对我国工业固废综合利用率低、基础信息数据薄弱、综合利用技术参差不齐、综合利用产品缺乏质量安全评价、重要技术标准缺失等问题,基于对国内外现有工业固废综合利用技术及产品的分析,首次研究提出科学、快捷和适用性强的工业固废综合利用技术评估和产品质量安全评估方法,创新性地开发技术评估模型工具、数据库、技术与产品质量安全评价指标体系,研制相关技术标准并通过试点应用在我国未来工业固废综合利用技术及产品评估领域加以推广应用。

通过本书的撰写,将积累工业固废综合利用领域相关重要基础数据,解决工业固废综合利用评估技术方面的共性技术及规范问题,推动共性评价技术的发展和产业化应用,将为政府部门提出工业固废综合利用技术及产品评价制度建设的建议,带动工业固废综合利用技术及产品评价认证市场的拓展。

本书的出版将有效发挥共性评价技术标准对工业固废综合利用工作的引领和推动作用,提高工业固废的综合利用率和整体水平,推动工业固废综合利用领域的技术创新、产品质量安全性提高和产业升级,为国家的节能减排战略和制定相关政策制度提供关键性的技术支撑。本书可供工业固废产生企业、利废企业、检测机构、认证机构、政府管理



部门、大专院校和科研机构等广大从事工业固废综合利用行业的人员参考使用。

本书的第一章主要由中国资源综合利用协会于亚杰、吕征宇高级工程师主笔,第二章主要由北京工业大学兰明章教授、杨进波副教授和王清博士主笔,第三章主要由中国标准化研究院张建松博士主笔,第四章主要由中国标准化研究院高东峰、张建松、王秀腾主笔,冶金工业信息标准研究院仇金辉高级工程师和深圳市华测检测技术股份有限公司朱平、戴煦高级工程师在本书的工业固废综合利用现状调研、分析及国家标准试点部分给予了大力帮助。全书由中国标准化研究院资源与环境分院林翎院长、黄进研究员和曹妍助理研究员进行统稿。

本书撰写过程中得到了国家科技部、国家质检总局和国家标准委有关部门和领导的大力支持,国家能源专家咨询委员会白荣春研究员、中国计量科学研究院房庆副院长、中国环境科学研究院夏青研究员、周仲凡研究员、中国机械科学研究院强毅研究员、中国有色金属工业协会再生金属分会李士龙副会长、中国再生资源回收利用协会富鸿钧副秘书长等国内从事工业固废综合利用管理和研究的专家学者对本书内容提出了宝贵的指导意见和建议,在此表示衷心的感谢!

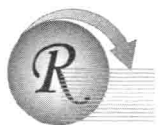
由于时间仓促,书中难免疏漏,敬请广大读者批评指正。

本书撰写组

2014年1月

目 录

第一章 大宗工业固体废弃物的产生及综合利用	1
第一节 国内外主要大宗工业固体废弃物概况	1
第二节 我国典型大宗工业固体废弃物综合利用 现状及发展趋势	22
第三节 工业固废综合利用相关法律法规和 标准	104
第二章 工业固废综合利用技术评估方法及工具 开发研究	120
第一节 工业固废综合利用技术评估方法 研究	120
第二节 工业固废综合利用技术评价指标体系的 建立	136
第三节 工业固废综合利用技术评估模型	142
第四节 工业固废综合利用技术评价方法 验证	156



第五节	工业固废综合利用技术评估软件工具 开发	183
第三章	工业固废综合利用产品质量安全评估方法 及评估指标体系研究	201
第一节	工业固废综合利用产品质量安全评价 ...	201
第二节	工业固废综合利用过程的危害	207
第三节	工业固废综合利用产品评价的意义、目标 和范围	218
第四节	评价思路设计	220
第五节	评价指标体系的构建	232
第四章	工业固废综合利用相关技术标准试点 应用	253
第一节	试点背景及意义	253
第二节	试点应用情况	254
第三节	试点案例	255
第四节	结论及建议	294



大宗工业固体废弃物的产生及综合利用

第一节 国内外主要大宗工业固体废弃物概况

“十一五”期间,在各项政策措施推动下,大宗工业固体废弃物综合利用取得积极进展,利用规模、水平均有较大提升。

一、我国大宗工业固体废弃物产生量状况

2011 年我国大宗工业固体废物总产生量约为 34 亿 t,比上年增长 13.1%。其中,尾矿 15.81 亿 t,比上年增长 13.5%;赤泥 0.43 亿 t,比上年增长 17.7%;钢铁渣 4.0 亿 t,比上年增长 8.6%;有色冶炼渣 0.34 亿 t,比上年增长 9.7%;煤矸石 6.78 亿 t,比上年增长 14.1%;粉煤灰 5.4 亿 t,比上年增长 12.5%。

2007~2011 年各类大宗工业固体废弃物的产生量如表 1-1 所示。



表 1-1 2007~2011 年各类大宗工业固体废弃物的产生量 单位:亿 t

年份	尾矿	赤泥	钢铁渣	有色冶炼渣	煤矸石	粉煤灰	工业副产石膏	电石渣	合计
2007	10.2300	0.2341	2.7366	0.2370	4.7800	3.8800	0.8772	0.1032	23.0781
2008	11.0000	0.2734	3.0389	0.2550	5.0000	3.9500	1.0402	0.1104	24.06679
2009	11.9200	0.2854	3.3206	0.2605	5.6000	4.2000	1.1845	0.1246	26.8956
2010	13.9300	0.3619	3.6786	0.3136	5.9400	4.8000	1.4334	0.1568	30.6143
2011	15.8100	0.4260	3.9950	0.3439	6.7800	5.4000	1.6855	0.1757	34.6161

由表 1-1 可以看出,2007~2011 年各类大宗工业固体废物中产生量增长幅度最大的是工业副产石膏,从 8772 万 t 增长到 16855 万 t,增长率为 92.15%;其次是赤泥,从 2341 万 t 增长到 4260 万 t,增长率为 81.97%;增长幅度最小的是粉煤灰,2007 年到 2011 年增长率为 39.18%。

2011 年各类大宗工业固体废物所占比例如表 1-2 和图 1-1 所示。

表 1-2 2011 年全国各类大宗工业固体废物所占比例

种类	尾矿	赤泥	钢铁渣	有色冶炼渣	煤矸石	粉煤灰	工业副产石膏	电石渣	合计
2011 年产生量/亿 t	15.8100	0.4260	3.9950	0.3439	6.7800	5.4000	1.6855	0.1757	34.6161
占总产生量的百分比/%	45.67	1.23	11.54	0.99	19.59	15.60	4.87	0.51	100

第一节 国内外主要大宗工业固体废物概况

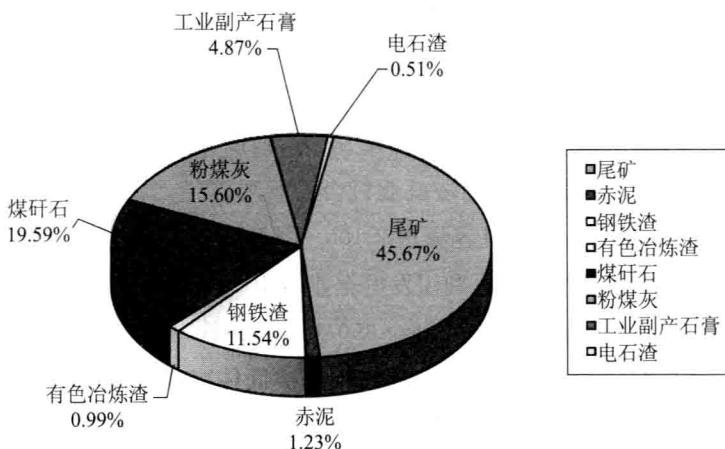


图 1-1 2011 年全国各类大宗工业固体废物所占比例

表 1-2 和图 1-1 表明,2011 年我国产生的各类大宗工业固体废物中尾矿所占的比例最大,为 45.67%;其次是煤矸石、粉煤灰和钢铁渣,分别占 19.59%、15.60%和 11.54%,这四类工业固体废物占了总量的 92.40%。有色冶炼渣、工业副产石膏、赤泥和电石渣所占比例相对较小,分别为 0.99%、4.87%、1.23%和 0.51%。

二、国内外大宗工业固体废物综合利用状况

(一) 我国大宗工业固体废物综合利用情况

全国共伴生金属矿产约 70%的品种得到了综合开发,矿产资源总回收率和共伴生矿产综合利用率分别提高到 35%和 40%。工业固体废物综合利用率达 69%,超额完成规划目标 9 个百分点。累计利用粉煤灰超过 10 亿 t、煤矸石约



11 亿 t、冶炼渣约 5 亿 t,回收利用废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料等再生资源 9 亿 t,农作物秸秆综合利用率超过 70%,年利用量达 5 亿 t。

资源综合利用已经成为煤炭、电力、钢铁、建材等资源型行业调整结构、改善环境、创造就业机会的重要途径。2010 年,全国煤矸石、煤泥发电装机容量达 2 100 万 kW·h,相当于减少原煤开采 4 000 多万 t,综合利用发电企业达 400 多家,带动就业人数近 10 万人;从钢渣中提取出约 650 万 t 废钢铁,相当于减少铁矿石开采近 2 800 万 t;通过综合利用各类固体废物累计减少堆存占地约 16 万亩(1 亩=666.7m²);资源综合利用产业年产值超过 1 万亿元,就业人数超过 2 000 万人。

2011 年全国大宗工业固体废物综合利用基本情况如表 1-3 所示。可以看出 2011 年我国大宗工业固体废物中利用率最高的是电石渣,利用率为 100%;其次是钢铁渣,达到了 97.2%;然后是有色冶炼渣,为 96.8%;粉煤灰为 68%;煤矸石为 62%;综合利用率最低的是赤泥,仅为 5.2%。大宗工业固体废物中比例最大的尾矿,2011 年综合利用率仅为 17%。

表 1-3 2011 年全国大宗工业固体废物综合利用基本情况

种类	尾矿	赤泥	钢铁渣	煤矸石	粉煤灰	工业副产石膏	电石渣	有色冶炼渣	工业固体废物总量
2011 年产生量/ 亿 t	15.8100	0.4260	3.9950	6.7800	5.4000	1.6855	0.1757	0.3439	34.6161

续表

种类	尾矿	赤泥	钢铁渣	煤矸石	粉煤灰	工业副产石膏	电石渣	有色冶炼渣	工业固体废物总量
2011 年综合利用量/ 亿 t	2.6877	0.023	3.8831	4.2	3.67	0.7789	0.1757	0.3330	15.7514
2011 年综合利用率/ %	17.0	5.2	97.2	62.0	68.0	46.2	100	96.8	45.50

预计到 2015 年,矿产资源总回收率与共伴生矿产综合利用率将分别提高到 40% 和 45%;大宗固体废物综合利用率达到 50%;工业固体废物综合利用率达到 72%;主要再生资源回收利用率提高到 70%,再生铜、铝、铅占当年总产量的比例分别达到 40%、30%、40%;农作物秸秆综合利用率力争超过 80%。资源综合利用政策措施进一步完善,技术装备水平显著提升,综合利用企业竞争力普遍提高,产品市场份额逐步扩大,产业发展长效机制基本形成(见表 1-4)。

表 1-4 大宗固体废物综合利用目标(2015 年)

大宗固废种类	产生量/亿 t	利用率/%
尾矿	13	20
煤矸石	7.76	75
粉煤灰	5.8	70
工业副产石膏	1.65	50
冶炼渣	4	70
建筑废物	8	30 ¹⁾



续表

大宗固废种类	产生量/亿 t	利用率/%
农作物秸秆	7	80
合计	47.21	50
1)指大中城市综合利用率。		

(二) 国外工业固体废物综合利用现状

目前,发达国家已经基本实现了工业固体废弃物的安全处理处置与环境风险全过程控制,正逐步将工业固体废物作为可循环利用的矿物资源,从简单的减量化、低值化的建材建工利用向高值化的有价资源梯级提取与协同利用方式转变,实现资源全组分利用与污染转移控制。

(1) 尾矿

针对尾矿领域,工业发达国家已把无废料矿山作为矿山的开发目标,把尾矿综合利用的程度作为衡量一个国家科技水平和经济发达程度的标志。其利用目的不仅仅是追求最大经济效益,而且还从资源综合回收利用率、保护生态环境等综合加以考虑。美、日、法等经济发达国家为加强矿产资源综合利用工作,通过立法支持对矿产资源的开发和公道利用并结合本国的详细情况制订了一些规章制度。前苏联制定和颁布了《关于加强天然资源保护和改善综合利用》、《改善天然资源保护和公道利用矿产资源题目》、《苏联各加盟共和国矿产法》,美国制定颁布了《美国矿业和矿产条例》,德国 1994 年宣布的《轮回经济/废弃物法》,把废弃物当作可利用资源纳入产品出产过程给料机中。为确保国家经济安全的资源供给,有些发达国家提供资金建立专门机构支持矿业

第一节 国内外主要大宗工业固体废弃物概况

投资和开发研究。如法国的地质矿产调查局和日本的金属矿业事业高压磨粉机团。为吸取“先污染,后管理”的教训,发达国家形成了一套较完备的矿山环境治理和政策法规体系,矿山企业自觉进行环境保护。发达国家实行资源综合利用的立法经验,启示了我们应该加强矿产资源综合利用的法律法规建设,以促进资源综合利用和公道利用。

(2) 粉煤灰和煤矸石

针对粉煤灰、煤矸石等大宗能源固废,国外早期主要将其用于生产水泥、混凝土等建筑材料,随着资源能源短缺与环境污染等共性问题的日益凸显,发达国家日益加强相关领域的基础研究和精细化、高值化利用技术的研发,向多资源协同提取、制备复合材料、污染控制与生态复田等领域拓展。利用物理和化学方法,提取粉煤灰、煤矸石中的铝、硅、铁、碳等有价值资源,制备氯化铝、氧化铝、活性炭、硅酸钙等系列产品已取得重要进展和成效。如波兰、前苏联、美国等国已开发出多种提取氧化铝、氯化铝副产建筑材料的多联产技术,日本利用合成的新型硅酸钙粉体研制出不燃纸和高填料超级压光纸(SC纸);近年来,国外大力开发利用粉煤灰和煤矸石制备复合材料、纤维材料和微晶玻璃等技术,美国和日本将粉煤灰用于化纤地毯底衬的填充和冶金铸件的制造等已取得实际应用,美国还突破了粉煤灰阳离子活化技术和高温碳还原技术,成功制备出六方相介孔铝硅分子筛及陶瓷材料,拓展了粉煤灰及煤矸石的高端利用领域;国外长期以来就十分重视利用粉煤灰和煤矸石进行污染控制、土壤改良和生态修复,近年来向烟气脱硫、废水治理和农业高值利用的方向渗透,美国和日本利用粉煤灰和脱硫石膏中含有的碱性物质改良土壤,俄罗斯采用有机质含量 20% 以上的煤矸石生产有机矿物肥料,可使农作物



增产15%~40%。

(3) 工业副产石膏

针对磷石膏、脱硫石膏等工业副产石膏,国外早期主要将其用于水泥缓凝剂、纸面石膏板等建筑材料,随着资源能源短缺与环境污染等共性问题的日益凸显,发达国家目前已将工业副产石膏的应用向资源循环利用及高值化利用领域拓展。在资源循环利用方面,国外较早地实现了石膏的节能化煅烧生产 β 石膏粉和石膏制酸联产水泥技术,如澳大利亚 RBS 公司开发的流化床式焙烧炉煅烧各类工业副产石膏,可用于建筑石膏、粉刷石膏的生产;美国 Wheelock 公司等 1990 年开发出双层流化床分解磷石膏技术,德国 Lurgi 公司开发出流化床分解磷石膏的技术,这些技术均较好地满足石膏分解所需的工艺条件,使其分解过程更为节能,并在德国、奥地利及南非建有多套装置,但将该技术云南磷肥厂引进后,因国内磷石膏含水率高、颗粒细小、杂质高、黏性大等特性,却导致无法正常开车而关闭。在高值化利用方面,国外较早实现了利用工业副产石膏生产 α 石膏粉,分别形成了干式蒸压法和湿式蒸压法两类商业化方法,如德国 W&K 集团的湿式蒸压法 α 石膏技术及装备,可实现自流平石膏、高强建筑石膏,模型石膏、陶瓷模具石膏以及矿山、隧道加固等用途的原料生产。而类溶液结晶法,特别是常压溶液结晶法技术,相对于蒸压法具有节能、工艺条件温和、产品质量优良、可连续流生产等优势,已成为国内外研究和技术开发的热点。

(4) 赤泥和钢铁渣

针对赤泥、钢铁废渣等金属冶金固废,国外早期主要对能取得经济效益、技术上允许的共生、伴生元素开始进行回收与利用,提取有价值组分后的残渣用于生产低附加值的建筑及建工材料。

第一节 国内外主要大宗工业固体废物概况

随着资源能源短缺与环境污染等共性问题的日益凸显,国外日益加强多金属冶金固废的高值化应用技术的研发,向有价值组分高值利用及全组分深度循环利用等领域拓展。

① 赤泥综合利用

采用化工、冶金技术方法,提取赤泥、钢铁及有色冶金废渣中的铁、铝、铜、锌、镍等有价值资源已取得重要进展和成效。例如,前苏联、匈牙利、美国等开发出高铁赤泥磁化焙烧或电炉熔炼直接炼钢、高压水化学法从高铁赤泥中回收氧化铝和氧化钠、钢渣重熔提炼有价值金属、闪速炉铜渣浮选法回收铜、铅锌渣烟化挥发法回收有价值金属等特色技术。近年来,国外还进一步加大了提升冶金废渣资源利用价值的技术研究。例如,比利时、澳大利亚等开发了采用赤泥制陶瓷、微晶玻璃、催化剂等新型材料的系列技术,及利用赤泥碱性修复酸性污染土壤、水体、大气及矿山尾矿的环境治理技术,拓展了赤泥的高端应用领域。欧盟、日本等利用熔渣高温热能实现液态钢渣在线改质及碳酸化技术实现钢渣中活性钙镁组分的稳定化,然后加工成泡沫混凝土新型建材和人造礁石,进一步拓展了钢渣的应用价值。国外对多金属冶金渣的深度利用,实现了资源循环利用,部分冶金渣中有价值金属资源利用效率达到70%以上,有效减轻了环境污染的压力。

据澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)赤泥与排放数据库(Bauxite Residue and Disposal Database, BRaDD)统计,到1985年,即第一家Bayer法氧化铝厂成立后的93年里,全球赤泥堆存总量达到10亿t;15年后,到2000年,达到了20亿t;到2007年,达到了27亿t;预计2015年以前,赤泥堆存总量将达到40亿t。因此,赤泥的合理处置必须引起足够的重视。