

固体废物循环利用技术丛书

典型废旧金属 循环利用技术

张深根 刘波 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

固体废物循环利用技术丛书

典型废旧金属循环利用技术

张深根 刘 波 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2017

内 容 简 介

本书全面介绍了典型废旧金属循环利用的研究进展,并包含了作者及其团队近年来在本领域取得的研究成果等。

全书共分6章,主要内容包括废钢铁、废杂铜、废杂铝、含铅废料和含锌废料5类典型废旧金属的来源、特点、处理、资源化以及高值化等。

本书可供从事废物资源化、材料科学与工程、冶金科学与工程、环境科学与工程等研究的科技工作者和研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

典型废旧金属循环利用技术/张深根,刘波编著. —北京:
冶金工业出版社, 2017. 2

(固体废物循环利用技术丛书)

ISBN 978-7-5024-7419-5

I. ①典… II. ①张… ②刘… III. ①金属废料—废物
综合利用 IV. ①X756.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第035743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 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 俞跃春 杜婷婷 美术编辑 杨帆 版式设计 彭子赫

责任校对 李娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7419-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2017年2月第1版,2017年2月第1次印刷

169mm×239mm; 12.5印张; 243千字; 190页

78.00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

2003 年在中央人口资源环境工作座谈会上第一次明确提出发展循环经济的理念至今已整整 13 年。经过 13 年来的不断探索,我国在循环经济技术研发方面取得了显著的成绩,法律法规和政策体系不断完善,充分利用市场和政策杠杆调节手段,积极引导企业和科技工作者广泛参与。循环经济发展模式已经成为可持续发展战略的重要组成部分。

然而,在我国经济建设取得重大成就的同时,金属资源保障危机不断升级,资源紧缺与市场需求之间的矛盾日益加剧,同时,无节制的粗犷式开采也导致矿区生态环境急剧恶化。尽管我国钢铁产能和产量已位居世界第一,但铁矿石供给仍受制于国外。铜、铝、铅、锌储量的保障程度分别为 27.4%、27.1%、33.7%和 38.2%,其地质储量仍在急速下降。

随着我国国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,我国金属社会保有量越来越多,废旧金属材料成分越来越复杂,其循环利用难度越来越大,已经造成资源和能源浪费以及生态环境问题。据不完全统计,我国钢铁社会保有量约 100 亿吨、铜约 7900 万吨、铝约 2.12 亿吨、铅约 6000 万吨、锌约 7500 万吨。按 15 年生命周期计算,平均年报废金属量约 7 亿吨。

综上所述,高度重视和大力发展废旧金属循环利用不仅可以节省宝贵的不可再生的自然资源,而且对节约能源保护自然生态环境以及保障国家社会经济安全具有重要作用。

废旧金属来源广、成分复杂,其循环利用技术研究已成为全球的热点,也是极具挑战性的研究领域之一。

本书总结了作者和国内外同行近年来在典型废旧金属循环利用方面的主要研究成果，力图系统地反映该领域的前沿技术。作者的研究成果是在国家科技支撑计划课题（2011BAE13B07、2011BAC10B02）和国家自然科学基金（U1360202、51672024、51502014）资助下完成的。北京科技大学磁功能及环境材料研究室博士研究生刘一凡、丁云集、杨健、张柏林、蔺瑞和黎琳等在本书编写过程中付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请同行专家及广大读者赐教与指正。

作者

2016年10月

目 录

1 废旧金属概述	1
1.1 废旧金属的定义、特点和分类	1
1.2 废旧金属循环利用现状	4
1.2.1 废钢循环利用现状	4
1.2.2 废有色金属循环利用现状	5
1.3 废旧金属循环利用原则	7
参考文献	7
2 钢铁循环利用技术	8
2.1 废钢铁的来源、分类和用途	8
2.1.1 废钢铁的来源	8
2.1.2 废钢铁的分类	9
2.1.3 废钢铁的用途	11
2.2 废钢铁的品质检验	13
2.2.1 废钢铁中常见的杂质	13
2.2.2 废钢铁中杂质对炼钢的影响	13
2.2.3 废钢铁的检验方法	14
2.3 废钢铁预处理技术	16
2.3.1 废钢铁拆解	16
2.3.2 废钢铁破碎、分选、打包	22
2.4 废钢铁循环利用技术	26
2.4.1 废钢铁电炉炼钢	26
2.4.2 电弧炉简介	26
2.4.3 废钢铁电炉炼钢的过程	28
2.4.4 中重型废钢循环利用技术	31
2.4.5 废特种钢循环利用技术	32
2.4.6 含油铁泥制备铁合金粉技术	35
2.4.7 含油铁泥制备铁氧体技术	40

参考文献	51
3 铜循环利用技术	52
3.1 废杂铜来源与分类	52
3.1.1 废杂铜来源	52
3.1.2 废杂铜分类	54
3.2 废杂铜循环利用技术	61
3.2.1 概述	61
3.2.2 湿法冶金法	62
3.2.3 火法冶炼	65
3.2.4 电解精炼法	72
3.3 废杂铜直接制杆技术	78
3.3.1 废杂铜预处理	79
3.3.2 专用耐火材料	79
3.3.3 技术装备	79
3.3.4 行业标准	80
3.3.5 生产线建设	80
参考文献	81
4 铝循环利用技术	83
4.1 废杂铝来源与分类	83
4.1.1 废杂铝来源	83
4.1.2 废杂铝分类	83
4.2 废杂铝预处理	84
4.2.1 有机物脱除	85
4.2.2 风选	87
4.2.3 磁选	88
4.2.4 浮选	88
4.2.5 涡流分选	89
4.3 废铝易拉罐保级还原技术	90
4.3.1 铝易拉罐的概述	90
4.3.2 废铝易拉罐脱漆技术	92
4.3.3 铝合金成分调配技术	94
4.3.4 铝锭均匀化处理技术	97
4.3.5 铝锭力学性能及表征	98

4.3.6 废铝易拉罐保级还原产业化	104
4.4 废杂铝双室炉熔炼技术	118
4.4.1 概述	118
4.4.2 双室熔炼炉的分类和结构	120
4.4.3 永磁搅拌技术及装置	122
4.4.4 蓄热式燃烧技术及装置	123
4.5 铝灰渣回收利用技术	125
4.6 我国废杂铝回收现状	130
参考文献	131
5 铅循环利用技术	135
5.1 含铅废料来源与分类	135
5.1.1 含铅废料来源	135
5.1.2 含铅废料分类	136
5.2 废铅蓄电池循环利用技术	136
5.2.1 废铅蓄电池结构及成分	137
5.2.2 废铅酸蓄电池拆解和预处理工艺	138
5.2.3 火法回收铅技术	139
5.2.4 湿法回收铅技术	141
5.2.5 制备高质量红丹技术	143
5.2.6 制备高质量二氧化铅	145
5.2.7 制备三盐基硫酸铅	145
5.2.8 其他回收再利用技术	146
5.3 废弃 CRT 回收再利用技术	146
5.3.1 废 CRT 含铅玻璃的结构及成分	147
5.3.2 制备泡沫玻璃技术	149
5.3.3 制备复合玻璃陶瓷	149
5.3.4 真空碳热还原技术	150
5.3.5 金属冶炼助熔剂	150
5.3.6 其他回收再利用技术	151
5.4 其他含铅废料回收再利用技术	152
5.4.1 含铅尘泥回收技术	152
5.4.2 废铅膏回收技术	153
5.5 我国再生铅回收现状	153
参考文献	155

6 锌循环利用技术	160
6.1 含锌废料来源与分类	160
6.1.1 含锌废料来源	160
6.1.2 再生锌的分类	161
6.2 锌锰干电池的回收再利用技术	163
6.2.1 锌锰干电池的结构与成分	164
6.2.2 破碎预处理技术	165
6.2.3 湿法回收技术	166
6.2.4 火法回收技术	168
6.2.5 生物淋浸技术	170
6.2.6 制备锰锌铁氧体技术	171
6.2.7 其他回收再利用技术	173
6.3 镀锌废料回收再利用技术	174
6.3.1 热镀锌渣回收技术	174
6.3.2 热镀锌灰回收技术	177
6.3.3 热镀锌废液中锌的回收再利用	181
6.4 含锌尘灰回收再利用技术	183
6.4.1 浸出提锌法	183
6.4.2 火法富集法	186
6.5 我国再生锌回收现状	187
参考文献	188

1 废旧金属概述

金属材料是不可或缺的基础材料和重要战略物资，在国民经济中占有举足轻重的地位。金属材料产业高耗能、高耗水、高污染等特点决定了它是发展循环经济的重点领域。面临环境压力、资源匮乏危机等诸多问题，废旧金属循环利用产业可大幅度节能、降低资源消耗、保护环境，也是最具潜力的产业之一。废旧金属回收技术被广泛应用于报废手机、汽车、废钢等资源化领域。废旧电路板含多达 60 种元素，每种金属元素是否具有回收价值取决于其浓度和可回收性。比如，贵金属、铂族金属是废旧电路板回收的主要金属，同时可回收相对低值的铜、锑、钨，但是钽、镓、锗和稀土等金属元素被氧化进入渣相^[1]。原则上金属可无限地循环利用，但受社会行为、产品设计、回收技术等因素制约，实际上是不可能的。通过提高金属回收技术、增加废品收集率等可以提高废旧金属循环利用率^[2]。Hannon Bruce^[3]早在 1982 年提出美国应通过提高废钢利用率达到节能目的，也可以通过提高钢材价格来降低钢铁消耗达到节能目的。节能是可持续的工业过程，其愿景是产品绿色设计、降低能源消耗、减少浪费、生产更有效的产品、废品易循环利用^[4]。自 20 世纪 90 年代，我国金属循环利用产业主要集中在钢铁、铜、铝、铅、锌四大主要的金属，在能耗降低、物耗减量、副产品利用、三废处置利用、生态产业链五个方面取得了显著成绩^[5]。

1.1 废旧金属的定义、特点和分类

废旧金属是指使用和生产过程中剩下的余料、丧失使用价值的金属屑末及制品、含有金属成分的生产废物等。按材料性质分，废旧金属可分为废旧黑色金属和废旧有色金属两大类。废旧黑色金属主要为钢铁废料，富含铁、钴、锰等三种元素；废旧有色金属主要包括废旧铜、铝、铅、锌、稀有金属、稀贵金属、稀散金属和稀土金属等。按来源分，废旧金属可分为生产性废旧金属和非生产性废旧金属。生产性废旧金属是指用于冶金、机械、化工、建筑、交通、通信、电力、水利、油田、国防及其他生产领域，在生产过程中已失去原有使用价值的金属材料、金属制品和生产设备，主要包括：生产过程中产生的刨钢、渣钢、切头、板边、废次材、氧化铁皮、钢屑、铁屑、边角料；废铸钢、铸铁件、废半成品、废零件、废次产品、散碎铁；报废和淘汰的生产设备；废铁器材、城市公用废金属

设施；废拖拉机、废收割机；报废输电器材；报废机动车辆、船舶及其零件；报废和退役的武器装备；废刀具、丝锥、板牙、钻头；废轴承、弹簧、不锈钢容器；有色金属切头、屑末、边角料；机械设备中的废有色金属零部件、废有色金属丝、管、棒、带；废电缆电线、废铜漆包线、废导电板、废铅电瓶、废飞机铝、废汽车水箱、废有色金属器皿；含金银的废液、镀金银的废电子元件等。非生产性废旧金属，是指已失去原有使用价值的城乡居民和企业、事业单位的金属生活用具和农民用于农业生产的金属小型农具，主要包括：废炉具、炊具、金属餐具，废缝纫机、自行车、人力车及其废零件；废镰刀、锄头、犁铧和报废小型粮食加工设备；废金属生活用品、杂件，废牙膏皮、有色金属废药管等。废旧金属是最重要的二次资源，通过循环利用技术，可以生产出有价值的金属材料^[6]。再生金属产业已经成为世界主要国家竞相发展重要产业。

废旧金属具有资源性和污染性的双重特性。废旧金属富含大量金属元素，其品位远高于原矿，现已成为金属原材料最重要的来源。绝大部分废旧金属的品位均高于其原矿的品位。表 1-1 为废旧金属及其对应的原矿工业品位和边界品位。

表 1-1 部分金属原矿与废旧金属原料品位一览表

原 矿				品位（质量分数）		废旧金属原料
				工业品位	边界品位	
有 色 金 属	铜			0.4%~0.5%	0.20%	20%~99%
	铅 锌	铅	硫化矿	0.7%~1.0%	0.3%~0.5%	8%~40%
			混合矿	1.0%~1.5%	0.5%~0.7%	
			氧化矿	1.5%~2.0%	0.5%~1.0%	
		锌	硫化矿	1.0%~2.0%	0.5%~1.0%	10%~35%
			混合矿	2.0%~3.0%	0.8%~1.5%	
			氧化矿	3.0%~6.0%	1.5%~2.0%	
	铝土矿 (Al ₂ O ₃)	露采		≥55%	≥40%	>90%
		坑采		≥55%	≥40%	
	钨	黑钨		0.12%~0.18%	0.08%~0.1%	5%~80%
		白钨		0.15%~0.2%	0.1%~0.12%	
		砂钨		0.04%	0.02%	
	钼			0.06%~0.08%	0.03%~0.05%	30%~80%
	镍			0.3%~0.5%	0.2%~0.3%	10%~40%
	锡			0.2%~0.4%	0.1%~0.2%	5%~35%
	镁	白云岩矿		≥19%		3%~30%
		菱镁矿		≥42%~46%		

续表 1-1

原 矿			品位（质量分数）		废旧金属原料	
			工业品位	边界品位		
有 色 金 属	锑		1. 50%	0. 70%	—	
	汞		0. 08% ~ 0. 10%	0. 04%	—	
	钴	硫化钴（及砷化钴）	0. 03% ~ 0. 06%	0. 02%	5% ~ 60%	
		钴土矿	0. 50%	0. 30%		
	铋		0. 50%	0. 20%	—	
黑 色 金 属	铁	平炉	磁、赤、假象赤铁矿	55%	50%	50% ~ 98%
		富矿	褐、针铁矿	50%	45%	
		高炉	磁铁矿	50%	45%	
		富矿	赤、假象赤铁矿	45% ~ 50%	40% ~ 45%	
		褐、针铁矿		40% ~ 45%	35% ~ 40%	
		菱铁矿		35% ~ 40%	30% ~ 35%	
		自熔性矿石		35% ~ 38%	28% ~ 32%	
		磁铁矿		25%	20%	
		赤铁矿		28% ~ 30%	20%	
		菱铁矿		25%	20%	
		褐铁矿		30%	20%	
	钛	原生矿	金红石	≥ 3%	≥ 2%	10% ~ 76%
			钛铁石	≥ 8%	≥ 5%	
		砂矿	金红石	≥ 2kg/m ³	≥ 1kg/m ³	
			钛铁石	≥ 15kg/m ³	≥ 10kg/m ³	
	钒	单独矿床	V ₂ O ₅	0. 5% ~ 0. 7%		—
		钒为伴生组分矿床		≥ 0. 1% ~ 0. 5%		
	锰	氧化锰	富矿	≥ 30%	≥ 20%	—
			贫矿	≥ 20%	≥ 10%	
		碳酸锰	富矿	≥ 25%	≥ 15%	
			贫矿	≥ 10%	≥ 8%	
		铁锰矿		≥ 10%		
	铬	原生矿	富矿	≥ 32%	≥ 25%	—
			贫矿	≥ 8%	≥ 5%	
		砂矿		≥ 3%	≥ 1. 5%	

续表 1-1

原 矿				品位 (质量分数)		废旧金属原料
				工业品位	边界品位	
贵重 金属	金	岩金		3~5g/t	1~2g/t	20~10000g/t
	银			100~120g/t	40~50g/t	400~300000g/t
稀土	轻稀土	镧、铈、镨、 钕、钷、 钐、铕	含氟碳铈矿、 独居石原生矿	1%	0.50%	20%~30%
	(铈族)		独居石砂矿 及风化壳	300~500g/m ³	100~200g/m ³	
	重稀土	铈、钐、铈、 镨、钕、铕、 钐、铈、镨	含铈(磷铈矿、 硅铈矿)伟晶 岩、碳酸岩矿	0.05%~0.1%		0.5%~10%
	(钕族)		磷铈矿砂矿及 风化壳矿床	50~70g/m ³	30g/m ³	
稀有 金属	钽		露天	20~30g/m ³	10g/m ³	—
			地下	50~60g/m ³	20~25g/m ³	

废旧金属一般含有有机物、重金属，如果处置不当，容易造成环境污染。废旧金属通常含有污染环境的重金属，部分废旧金属含有大量的有机物。废旧金属回收利用过程中，重金属容易以气态（烟气）、液态（废水）和固态（废渣）等形式污染环境，有机物则以气态（如二噁英）形式污染空气。因此，废旧金属再生利用过程中，必须重视环保，避免污染事件发生。

此外，废旧金属分布广泛且不均匀，与人口和地域经济活跃度呈正相关。人口密度越大、经济活越发达，废旧金属量越大。废旧金属回收是逆向物流形式，即由个人、家庭流向居民回收点，再到回收站，最后到废旧金属再生工厂。

1.2 废旧金属循环利用现状

1.2.1 废钢循环利用现状

目前，全球年产废钢量达 10 亿吨以上，其中可回收利用的占 55% 左右。废钢是一种载能的绿色炼钢资源，与用铁矿石生产 1t 钢相比，用废钢生产 1t 钢可节约铁矿石 1.3t，能耗减少 350kg 标煤，减排二氧化碳 1.4t，可减少大气污染 86%，减少了废水排放量 76%，减少了尾矿、煤泥、粉尘、铁渣等固体排放物 97%^[6]。起源于 20 世纪 80 年代的废钢回收加工业，发展可谓困难重重，长期以来一直处于缓慢进步的态势。20 世纪 90 年代后，国家原有的物资和供销合作社两大废钢加工回收系统相继萎缩，大多转为民营或个体承包经营，普遍状况是规

模小、力量弱、设备差,规模以上的废钢铁回收加工企业少,使废钢铁回收利用处于极为分散的经营状态。直至步入 21 世纪,钢铁工业进入快速发展的轨道,中国的废钢产业才进入“现代化”长足发展阶段,但仍面临不少问题。就社会废钢回收体系而言,现状可以形象地概括为“三多、三差、三乱、三缺、三密”。“三多”是指经营企业多、从业人员多、物流环节多;“三差”是指行业集中度差、装备程度差、商业信誉差;“三乱”是指流通秩序乱、产业标准乱、税收项目乱(税收政策需要完善);“三缺”是指经营管理人才缺、技术研发人才缺、专业设备操作人才缺;“三密”是指资源密集、资金密集、劳动力密集。

鉴于上述情况,废钢产业应作为钢铁工业的前道工序,像矿山和炼铁一样,必须加速规模化、产业化发展,才能适应市场的需要。为此,中国废钢铁应用协会进行积极的推进和协助,近几年加大了废钢回收加工配送体系建设的工作力度。工业和信息化部于 2012 年正式发布《废钢铁加工行业准入条件》和《废钢铁加工行业准入公告管理暂行办法》,从企业资质、规划布局、产能、场地、工艺装备、产品质量、能耗、环保、安全、人员培训等方面对全国从事废钢加工配送的企业提出了要求,进行了规范,废钢回收加工配送体系建设更是获得了明确的政策支持。

目前,已有 130 家企业成为废钢回收准入企业,其中 60 多家企业被中国废钢铁利用协会授予“废钢铁加工配送中心和示范基地”称号。这些企业加工能力已达到 5000 万吨以上,提前实现废钢产业“十二五”发展规划的目标(目标为 2015 年年底,全国范围的年加工配送能力 15 万吨以上的废钢铁加工配送企业应达到 100 家以上,年加工配送废钢总量提高到 5000 万吨,占全国废钢消耗总量的 50%以上)。

由于我国钢铁工业主要以转炉炼钢工艺为主,电炉炼钢发展较为缓慢,废钢价格相对较高、电力成本高昂、废钢回收加工体系的不完善以及废钢行业税收等问题导致的不公平竞争等因素,制约着废钢资源的回炉炼钢。因此,我国废钢炼钢比例低,电炉钢产量仅占粗钢产量的 10%左右。

根据相关的测算,我国废钢资源量将快速增加,有利于废钢加工配送体系的发展,也将有助于实现钢铁企业“精炼入炉”、“节能环保”的目标,中国钢铁工业提高综合废钢比大有可为。针对废钢产业的发展存在的问题,急需国家有关部门对废钢产业的现状予以重视,采取措施缓解企业的困境,扶助和支持废钢铁产业的发展,如对废钢物资增值税政策的改革和调整,对规范的利废企业多用废钢予以差别电价、减免环保费用、节能基金补贴等政策,帮助废钢回收体系的建立和完善,鼓励钢铁企业多用废钢资源等。

1.2.2 废有色金属循环利用现状

以废旧有色金属制品和工业生产过程中的有色金属废料为原料炼制而成的有

色金属及其合金称为再生有色金属。早在铜器时代就使用再生有色金属,即将废旧金属器物回炉重熔。到 20 世纪,出现了专业化的再生金属工业,并得到蓬勃发展。有色金属的废料回收,有利于环境保护和资源的利用,具有投资省、能耗少、经济效益显著的特点。因而,再生有色金属产量在各国总产量中的比重逐年上升。

当前,我国有色金属资源保障危机不断升级,资源紧缺与市场需求之间的矛盾日益加剧,同时,无节制的粗放式开采也导致矿区生态环境急剧恶化。例如,稀土储量已由 20 世纪 70 年代占世界总储量的 74% 下降到目前的 23%,世界最大的共伴生复合稀土矿床——内蒙古白云鄂博主矿、东矿,如果持续目前的 1000 万吨/年的开采速度,20 年多后,我国将从稀土资源大国变为全球最紧缺稀土的国家。我国铂族金属的储量不到 400t,年产铂钯仅 3t,仅为需求量的 2.14%,对外依存度高达 97.86%。铜、铝、铅、锌储量的保障程度分别为 27.4%、27.1%、33.7% 和 38.2%,其中,铜储量只有 6251 万吨,只能维持 6~8 年的开采。稀散金属镓、铟、锗、铼由于过度开采,导致地质储量急速下降。

另外,我国有色金属社会保有量越来越大。根据统计数据显示,我国稀土(按氧化物折算)社会保有量约 300 万吨、铂钯等稀贵金属 1000 吨以上、镓、铟、锗、铼等稀散金属约 7000~8000t、铜约 7900 万吨、铝约 2.12 亿吨、铅约 6000 万吨、锌约 7500 万吨。按 15 年生命周期计算,平均年报废有色金属达到 4500 万吨(不包括稀土)。因此,提高有色金属再生利用率前景广阔,预计到 2030 年再生量接近表观消费量(约 6000 万吨)的 55%,年减少原矿开采数十亿吨。

发达国家十分重视再生有色金属产业,再生产量占总产量平均超过 50%。与之相比,我国差距明显,2015 年,我国主要再生有色金属产量达到 1200 万吨,占总量的约 21.5%。我国再生有色金属前景广阔,潜力巨大,形成了一批年产 10 万吨以上的再生铜、再生铝、再生铅、再生锌等规模化企业。

废旧有色金属成分越来越复杂,再生利用难度越来越大,对再生利用科技水平要求日益提高。铜铝铅锌再生利用产业存在铜铝降级使用,铅锌再生利用造成的重金属污染严重等。在铜再生利用方面,现有的预处理、熔炼、连铸连轧等工艺难以实现再生铜产品保级升级利用,产品品级较低,如再生铜用于电子信息产业的铜键合丝还处于空白,没有形成对我国电子信息产业支撑作用。此外,以废杂铜作为捕集金属协同回收金、银、铂、钯、铋、铼等贵金属共性技术没有突破,再生产品主要为阴极铜,造成资源利用率低、行业效益差。在铝再生利用方面,存在再生铝降级使用、烧损率高(10%)、铝灰渣堆存等问题,关键原因是再生铝科技水平不高,特别是再生铝合金除杂除气、成分和组织控制等共性技术有待突破,智能化蓄热式液下冶炼大型熔炼炉核心装备有待研制。在铅锌再生利

用方面,以废杂铅作为捕集金属协同回收铜、锡、铋、锑、砷、碲共性技术没有突破,二次资源未实现综合利用;含重金属的铅锌冶炼渣无害化高值化利用科技基础薄弱,未突破铅锌冶炼渣微晶玻璃的产业化技术,没有核心装备和工程研发平台等,重金属污染形势十分严峻。

1.3 废旧金属循环利用原则

废旧金属循环利用要遵循 3R (Reducing Reusing and Recycling) 原则,以资源的高效利用和循环利用为核心,符合可持续发展理念的经济增长模式^[2]。从资源利用的技术层面来看,通过“节约资源”、“梯级利用”和“循环利用”三条技术路径来实现。节约资源是指依靠科技进步和制度创新,提高资源的利用水平和单位要素的产出率;梯级利用是指通过构筑产品梯级利用产业链,建立起生产和生活中产品由高级到低级利用通道,达到资源的有效利用,减少向自然资源的索取,在与自然和谐循环中促进经济社会的发展;循环利用是通过对报废产品的无害化处理和再生,减少生产和生活对生态环境的影响。

参 考 文 献

- [1] Bloodworth, Andrew. Resources: track flows to manage technology-metal supply [J]. Nature, 2014, 505 (7481): 19-20.
- [2] Reck Barbara K., Thomas E. Graedel. Challenges in metal recycling [J]. Science, 2012, 337 (6095): 690-695.
- [3] Hannon Bruce, James R. Brodrick. Steel recycling and energy conservation [J]. Science, 1982, 216 (4545): 485-491.
- [4] 韩群慧, 郑季良. 我国金属产业循环经济发展进程述评 [J]. 科技管理研究, 2011, (3): 125-127.
- [5] Collier, Paul, Carina Maria Alles. Materials ecology: An industrial perspective [J]. Science, 2010, 330 (6006): 919-920.
- [6] 王明玉, 隋智通, 涂赣峰. 我国废旧金属的回收再生与利用 [J]. 中国资源综合利用, 2005, 2: 10-13.

2 钢铁循环利用技术

废钢铁是钢铁工业的重要原料，被誉为“第二矿业”，在钢铁工业中处于越来越重要的地位，具有广阔的发展前景。废钢铁循环利用具有环保、节能、减排、缓解铁矿石资源危机等优点，世界各国都重视废钢铁循环利用。世界废钢铁循环利用率为48.3%，我国仅为19.9%。我国钢铁工业仍然受制于铁矿石，以废钢铁为主要原料的钢铁工业没有形成。因此，我国发展废钢铁循环利用具有十分广阔的前景。

2.1 废钢铁的来源、分类和用途

2.1.1 废钢铁的来源

废钢铁主要包括失去原有使用价值的报废钢铁制品、被更新淘汰的钢铁制品、钢铁冶炼和加工过程中产生的废品、边角余料和废弃物等。废钢铁按来源可分为三大类^[1]：因报废折旧而产生的废钢铁；钢材加工、生产过程中产生的下脚料及废品；进口废钢铁。

2.1.1.1 折旧性废钢铁

折旧性废钢铁是指因经济技术指标落后、使用成本增高、寿命期满等原因，被淘汰下来的钢铁制品，如工业废钢铁、农业废钢铁、基建废钢铁、铁路废钢铁、矿山废钢铁、民用废钢铁、军用废钢铁等。折旧性废钢铁产生量主要取决于国家的钢铁制品社会保有量、设备平均使用寿命等，占废钢铁总量的40%左右。

(1) 工业废钢铁报废的机械设备、装备及其他产品制造过程中产生的下脚料。这类废钢铁的质量好，化学成分易检测，钢水回收率较高，属于优质废钢铁。然而，工业废钢铁中封闭性物质较多（如瓶、罐、釜等），封闭性物质里如有气体遇热时可能会危害到人员及设备的安全。

(2) 农业废钢铁来源于损坏的各种农业设施（如闸、坝、桥、涵等），报废的农业机械及器具等，绝大部分是废铸铁和工具钢。我国农业现代化起步较晚，尚不发达，因此，这类废钢铁的数量相对较少。