

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Pollution Prevention Technology and Case Study
of Secondary Nonferrous Metal Industry

再生有色金属行业 污染防治技术与案例

李艳萍 乔琦 陈伟 等编著



化学工业出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Pollution Prevention Technology and Case Study
of Secondary Nonferrous Metal Industry

再生有色金属行业 污染防治技术与案例

李艳萍 乔琦 陈伟 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书通过对再生金属行业的发展现状、主要环境问题以及影响要素的识别和评估,建立我国再生金属行业环境污染防治污染源清单和主要污染物产排污系数。该书对再生铜、再生铝、再生铅和再生锌通过元素流分析,进行全系统源追踪,通过再生金属典型工艺冶炼过程重金属污染产生和排放种类、关键节点、形态和扩散途径的数据和特征,识别和评估重金属污染在各个产污和排污环节的污染贡献率,分析典型工艺过程重金属的物质流向、流量和流态等几个方面,分析重金属污染的特征;通过开展国内外再生金属行业重金属污染防治相关政策、法规、标准的调研和对比研究,评估现有的重金属污染防治政策体系,提出再生金属行业重金属污染防治技术政策和最佳可行性技术指南,为实施再生金属行业重金属污染源削减和全过程控制提供科学依据和技术支撑。

本书具有较强的技术性和借鉴价值,可供环境工程、冶炼工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也可供高等学校相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

再生有色金属行业污染防治技术与案例/李艳萍等
编著. —北京: 化学工业出版社, 2016. 1
(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)
ISBN 978-7-122-25775-8

I. ①再… II. ①李… III. ①二次金属-有色金属企
业-污染防治 IV. ①X758

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 286175 号

责任编辑: 刘兴春
责任校对: 边 涛

装帧设计: 张 辉

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: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16—印张 13¼ 字数 297 千字 2015 年 12 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 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: 85.00 元

版权所有 违者必究

“环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书”
编著委员会

顾 问：吴晓青

组 长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

《再生有色金属行业污染防治技术与案例》
编著人员

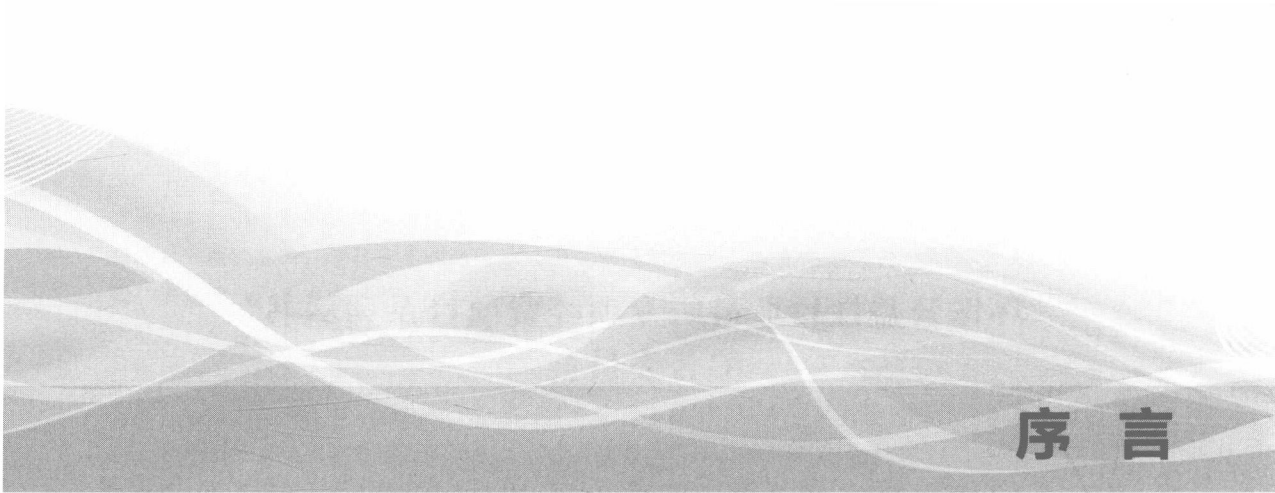
编著人员（排名不分先后）：

乔 琦 李艳萍 陈 伟 孙启宏 扈学文

苏 珍 白卫南 赵若楠 王 涛 万 斯

姚 扬 欧阳朝斌 拜冰洋 白 璐 谢明辉

张青玲



序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制订、修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科

研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

前言

近年来,随着资源和环境压力与日俱增,再生金属行业已成为我国有色金属工业的重要组成部分。“十二五”以来,中国再生有色金属年产量均突破千万吨,达到有色金属总产量的近 1/3。然而,重金属污染事件的频发将重金属污染防控重点由原生金属冶炼扩展到再生金属行业。随着行业的快速发展与环境保护矛盾日益凸显,开展污染防控技术研究和成功案例推广已成为行业转型升级迫在眉睫的首要工作。目前国内针对再生有色金属行业污染防控的评估和技术案例很少。因此,为了配合行业污染全防全控并实现节能减排目标,我们编著了《再生有色金属行业污染防治技术与案例》。本书可为再生技术行业的环境管理者、环境保护专业学生以及再生金属行业企业管理者提供技术参考。

本书主要由李艳萍、乔琦、陈伟等编著,其中绪论由李艳萍、乔琦、王涛负责;第一篇第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章由扈学文、李艳萍负责,第一篇第 3 章、第二篇第 3 章、第三篇第 3 章、第四篇第 3 章由赵若楠、孙启宏、姚扬负责;第二篇第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章由白卫南、李艳萍、拜冰洋负责;第三篇第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章由苏珍、陈伟、万斯、欧阳朝斌、谢明辉负责;第四篇第 1 章、第 2 章、第 4 章和第 5 章由王涛、李艳萍、白璐、张青玲负责。全书最后由李艳萍统稿、定稿。

本书编著过程中得到了中国有色金属协会、中国有色金属协会再生金属分会、江苏春兴集团、河南豫光、浙江汇同、山东金升、湖北金洋、山东方圆、张家港再生铜、河南金利金铅、江西自立、安徽大华等单位领导、专家、学者的帮助。另外,中国有色金属协会的邵朱强、汪靖,再生金属分会的张希忠、李士龙、李晓鹏、徐庭芳、尚辉良、周森,江苏新春兴再生资源集团的杨春明、龙晨曦,河南豫光金铅股份有限公司卢迪,浙江汇同的矫坤远,北京矿业研究总院的邵立南、杨晓松等领导 and 学者对于本书编著给予了大力支持,同时,对本书所有引用和参考的文献和科研成果的有关人员,在此一并表示感谢。

限于编著时间和水平,书中不妥和疏漏之处在所难免,敬请专家、读者指正。

编著者

2015 年 10 月于北京

目 录

绪论	1
----	---

参考文献	8
------	---

第一篇 再 生 铜

第 1 章	10
铜及再生铜	

1.1 铜及其应用	10
1.1.1 铜的基本性质	10
1.1.2 铜的应用	10
1.1.3 铜资源	11
1.2 再生铜行业	13
1.2.1 铜的可再生性	13
1.2.2 再生铜行业	13
1.2.3 原料类型及来源	16

第 2 章	18
再生铜行业污染全过程识别	

2.1 生产工艺及环境污染	18
2.1.1 主导生产工艺类型	18
2.1.2 行业主要环境问题	20
2.2 污染源全过程识别	21
2.2.1 大气污染物及产生节点	21
2.2.2 废水污染物及产生节点	22
2.2.3 固体废物及产生节点	22

第3章

再生铜行业污染全过程监管

24

3.1 污染源头预防政策	25
3.1.1 原料回收技术规范	25
3.1.2 行业规范准入条件	25
3.2 污染过程控制政策	26
3.2.1 行业污染防治技术政策	26
3.2.2 清洁生产标准	27
3.3 末端治理政策	27

第4章

再生铜行业污染全过程防治技术

33

4.1 原料预处理污染预防技术	33
4.2 熔炼过程污染防控技术	34
4.2.1 直接熔炼技术	34
4.2.2 反射炉冶炼技术	34
4.2.3 NGL 炉冶炼技术	34
4.2.4 倾动炉冶炼技术	35
4.2.5 氧气顶吹浸没式熔池熔炼技术	35
4.2.6 氧气顶吹旋转炉冶炼技术	36
4.2.7 富氧强化熔炼技术	37
4.3 电解精炼污染防控技术	37
4.4 污染物末端治理技术	38
4.4.1 烟气除尘技术	38
4.4.2 二噁英治理技术	39
4.4.3 废水循环及治理技术	39

第5章

再生铜行业污染防控技术案例

41

5.1 熔炼工段污染防治技术	41
5.1.1 全氧燃烧清洁生产技术	41
5.1.2 倾动炉冶炼技术	41
5.2 精炼工段污染防治技术案例	43

5.2.1 一元炉浸没式燃烧铜精炼技术..... 43

5.2.2 NGL 炉废杂铜精炼技术 45

5.2.3 大紊流自净液高效电解技术..... 48

5.3 冶炼废物综合回收利用技术案例 49

5.3.1 铜冶炼烟灰有价值元素综合回收技术..... 49

5.3.2 重金属冶炼烟气净化中污酸处理新技术..... 51

5.3.3 稀贵金属综合提取技术..... 53

参考文献 57

第二篇 再生铝

第 1 章 60

铝及再生铝

1.1 铝及其应用 60

1.1.1 铝的基本性质..... 60

1.1.2 铝的应用..... 60

1.1.3 铝资源..... 60

1.2 再生铝行业..... 61

1.2.1 铝的可再生性..... 61

1.2.2 再生铝行业..... 62

1.2.3 原料类型及来源..... 63

第 2 章 66

再生铝行业污染全过程识别

2.1 生产工艺及环境污染..... 66

2.1.1 主导生产工艺类型..... 66

2.1.2 行业主要环境问题..... 68

2.2 污染源全过程识别 69

2.2.1 大气污染物及产生节点..... 69

2.2.2 固体废物及产生节点..... 70

2.2.3 废水污染物及产生节点分析..... 70

第3章

再生铝行业污染全过程监管

71

3.1 源头预防政策.....	71
3.2 末端治理政策	72

第4章

再生铝行业污染全过程防控技术

75

4.1 原料预处理污染防控技术.....	75
4.1.1 分离轻质量杂质技术.....	75
4.1.2 分离涂层及有机非金属杂质技术.....	76
4.1.3 分选金属杂质技术.....	76
4.1.4 废铝的成分分选技术.....	77
4.2 熔炼过程污染防控技术	78
4.2.1 再生铝熔炼技术.....	79
4.2.2 再生铝净化精炼技术.....	80
4.2.3 杂质元素的去除技术.....	81
4.2.4 熔体除气技术.....	82
4.3 污染物末端治理技术	83
4.3.1 烟气治理技术.....	83
4.3.2 粉尘控制技术.....	85
4.3.3 废水治理技术.....	86
4.3.4 固体废物处理处置技术.....	86

第5章

再生铝行业污染防治技术案例

89

5.1 预处理工段污染防治技术案例.....	89
5.1.1 废铝浮选预处理技术.....	89
5.1.2 多重复合分选预处理技术.....	90
5.2 熔炼工段污染防治技术案例	92
5.2.1 低温快速熔炼技术.....	92
5.2.2 浸泡式快速冷却技术.....	92

5.3 净化精炼工段污染防治技术案例 93

5.4 污染防治综合技术案例 94

5.4.1 技术简介..... 94

5.4.2 标准铝锭生产工艺流程（熔炼） 94

5.4.3 铝渣处理生产工艺流程..... 95

5.4.4 主要设备工艺参数..... 96

5.4.5 绩效评估..... 97

参考文献 98

第三篇 再生铅

第1章 铅及再生铅 102

1.1 铅及其应用 102

1.1.1 铅的基本性质 102

1.1.2 铅的应用 102

1.1.3 铅资源 103

1.2 再生铅行业 104

1.2.1 铅的可再生性 104

1.2.2 再生铅行业 105

1.2.3 原料类型及来源 109

第2章 再生铅行业污染全过程识别 112

2.1 生产工艺及环境污染 112

2.1.1 主导生产工艺类型 112

2.1.2 行业主要环境问题 119

2.2 污染源全过程识别 122

2.2.1 大气污染物及产生节点 122

2.2.2 废水污染物及产生节点 123

2.2.3 固体废物及产生节点 123

第3章

125

再生铅行业污染全过程监管

3.1 源头预防政策	126
3.1.1 国外源头预防政策	126
3.1.2 国内源头预防政策	130
3.2 过程控制政策	132
3.3 末端治理政策	133

第4章

139

再生铅行业污染全过程防控技术

4.1 原料预处理污染防控技术	140
4.1.1 破碎分离技术	140
4.1.2 炼前脱硫技术	141
4.2 熔炼过程污染防控技术	141
4.2.1 短窑熔炼技术	141
4.2.2 低温熔炼技术	142
4.2.3 熔池熔炼技术	142
4.2.4 富氧底吹-液态高铅渣直接还原技术	143
4.2.5 沉积电解技术	143
4.2.6 原子经济法回收铅膏技术	144
4.3 环境污染物末端治理技术	146
4.3.1 烟气治理技术	146
4.3.2 粉尘控制技术	147
4.3.3 废水治理技术	149
4.3.4 固体废物的处理处置	151

第5章

152

再生铅行业污染防治技术案例

5.1 预处理污染防治技术案例	152
5.1.1 CX 破碎预处理技术	152
5.1.2 预脱硫处理技术	155

5.2 熔炼过程污染防治技术案例 157

5.2.1 铅膏与铅矿混合熔池熔炼技术 157

5.2.2 栅板低温连续熔化技术 160

5.2.3 低温连续熔炼技术 161

5.2.4 铅膏预脱硫还原熔炼技术 164

5.2.5 湿法炼铅工艺技术 168

5.3 再生铅末端治理技术案例 172

5.3.1 废气治理技术 172

5.3.2 循环水再利用技术 176

5.3.3 硫酸浓缩技术 177

参考文献..... 178

第四篇 再 生 锌

第 1 章

锌及再生锌

1.1 锌及其应用 182

1.1.1 锌的基本性质 182

1.1.2 锌的应用 182

1.1.3 锌资源 184

1.2 再生锌行业 185

1.2.1 锌的可再生性 185

1.2.2 再生锌行业 186

1.2.3 原料类型及来源 188

第 2 章

再生锌行业污染全过程识别

2.1 生产工艺及环境污染 190

2.1.1 主导生产工艺类型 190

2.1.2 行业主要环境问题 193

2.2 污染源全过程识别 194

2.1.1 大气污染物及产生节点 194

2.1.2 废水污染物及产生节点 194

2.1.3 固体废物及产生节点	195
-----------------------	-----

第 3 章	
再生锌行业环境污染全过程监管	196

第 4 章	
再生锌行业污染全过程防治技术	200

4.1 等离子熔炼技术	200
4.2 真空蒸馏技术	201
4.3 威尔兹回转窑熔炼技术	201
4.4 转底炉熔炼技术	201
4.5 ZINCEX 技术	202

第 5 章	
再生锌行业污染防治技术案例	203

参考文献.....	206
-----------	-----

绪 论

有色金属是指除了黑色金属（铁、锰、铬和铁的合金）以外的其他金属。我国有色金属行业涵盖了 64 种金属的生产和制造，其产品广泛应用于汽车、建筑建材、电器、机械制造、航空航天、核能等领域，在经济建设和国防建设等领域发挥着重要的支撑作用。有色金属行业中，铜、铝、铅、锌、镍、镁、钛、锡、锑、汞十种金属产量最大且应用最广，通常也是作为有色金属行业发展统计的基本数据口径来源。2010~2014 年以来，中国十大有色金属总产量达到 18710 万吨，其中，铜、铝、铅、锌四大常用金属产量占比则达到 96.07%，成为有色金属行业的主导金属类型（见图 1）。

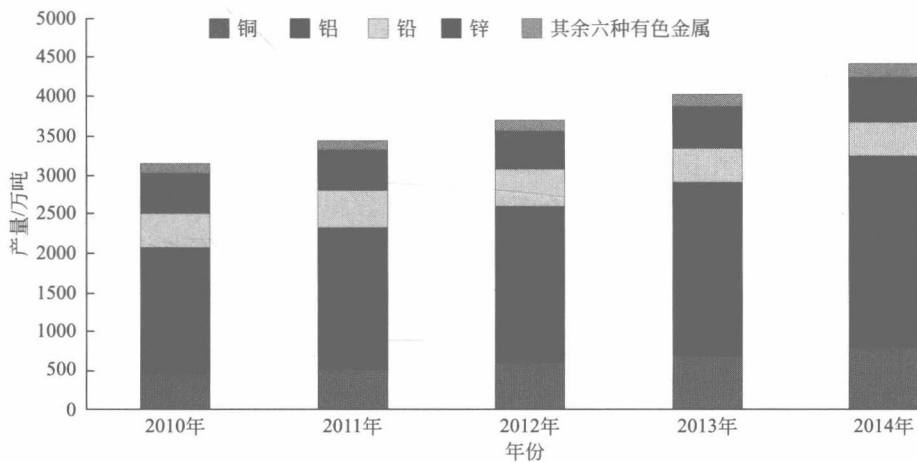


图 1 2010~2014 年中国十大有色金属产量及其组成

随着工业化水平的快速提升，中国已经发展成为世界有色金属的生产大国。据统计，2014 年中国精炼铜产量达到 796 万吨，约占全球精炼铜总产量的 35%；铝产量达到 2438 万吨，约占全球铝总产量的 50%；金属铅产量为 507 万吨，约占全球铅总产量的 45%；锌产量为 716 万吨，约占全球锌总产量的 53%。由此可见，中国四种常用有色金属的总产量已经达到世界总产量的近半壁江山。

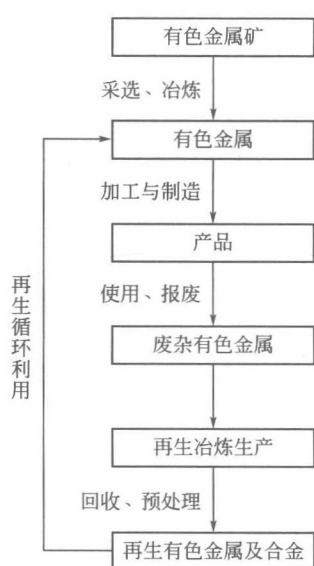


图 2 再生有色金属行业示意

但是，受重工业化发展阶段资源依赖型特征影响，中国有色金属资源供给仍然呈现短缺状态，特别是有色金属工业中举足轻重的四大金属——铜、铝、铅、锌矿产资源供给严重不足。以铜矿为例，2013 年中国铜矿查明资源储量为 9111.9 万吨（以金属铜含量计），2014 年新增铜矿查明资源储量 441.9 万吨（以金属铜含量计），2014 年中国铜产量 796 万吨，按照目前生产和消费速度，中国铜储量静态开采年限仅仅只有 12 年，原生矿产资源的匮乏已经成为制约中国有色金属工业可持续发展的重要因素之一。

正是在原生资源匮乏和社会经济发展迫切需求的双重刺激下，再生有色金属行业应运而生（见图 2）。再生有色金属是指以废杂有色金属为原料，经过冶炼再次生产出的有色金属及其合金。

经过了近几十年的发展，中国再生有色金属行业呈现出如下特征。

（1）工业化快速发展促进了再生有色金属成为有色金属的主要来源之一

第二次世界大战结束后，全球工业化速度加快，有色金属生产及消费量不断增长，为了确保有色金属产业的可持续发展，解决该行业的资源、能源和环境问题，世界各国开始重视并逐步形成独立的再生有色金属工业体系，将其发展成为有色金属产业必要和有益的补充，也使其成为满足有色金属消耗、弥补原生有色金属矿产资源匮乏的重要和必要途径。由于铜、铝、铅、锌化学性质相对稳定，有利于循环再生利用，并且占有有色金属产量的绝对优势占比，因此，目前再生有色金属行业主要涉及再生铅、再生铜、再生铝和再生锌的金属再生行业。

“十二五”以来，中国再生有色金属年产量均突破千万吨，并呈现逐年快速增长的趋势。2010~2014 年中国十大金属总产量从 3135 万吨增长到了 4417 万吨，增长 1.41 倍；铜、铝、铅、锌四大金属产量从 3012 万吨增长到了 4239 万吨，增长了 1.41 倍；在此期间，再生有色金属产量从 912 万吨增长到了 1153 万吨，增长 1.26 倍，达到有色金属总产量的 30.28% 占比。如图 3 所示。

2010~2014 年，中国再生有色金属产品产量一直处于世界第一大生产国的地位，其次为美国、日本和德国。2014 年全球再生有色金属产业重要品种（铜、铝、铅、锌）总产量约为 3185 万吨（见图 4），约占当年同类有色金属产量的 29%。

中国再生有色金属产业经过十几年的发展，产业发展已初具规模，2014 年提前一年达到工业和信息化部《再生有色金属利用专项规划》（2010~2015 年）中提到“到 2015 年，主要再生有色金属产量达到 1110 万吨”的发展目标，中国成为再生有色金属的生产大国。2014 年中国主要品种再生有色金属总产量达 1153 万吨，约占全球总产量的 36%；其中再生铜产量约 295 万吨，再生铝产量约 565 万吨，再生铅产量约 160 万吨，再生锌产量约 133 万吨。如图 5 所示。