

我国“城市矿山”开发利用战略研究

孙笑非, 钱易, 温宗国, 刘丽丽, 单桂娟, 李金惠

(清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 我国人均矿产资源严重不足, 重要矿产资源对外依存度越来越高。“城市矿山”可作为再生资源循环利用, 这是实现经济可持续发展的新方向。本文概述了“城市矿山”的由来、内涵, 分析了 2006—2016 年我国十大类“城市矿山”资源的回收、利用和发展情况, 预测了废旧钢铁、有色金属、电子废物、报废汽车等典型“城市矿山”的开发利用潜力, 评估了其开发利用在节约资源、保护环境、碳减排和拉动经济方面的贡献, 并提出了我国“城市矿山”开发利用的战略及相关政策建议。

关键词: “城市矿山”; 循环经济; 资源节约潜力; 情景分析

中图分类号: X705 **文献标识码:** A

Research on Urban Mining Development in China

Sun Xiaofei, Qian Yi, Wen Zongguo, Liu Lili, Shan Guijuan, Li Jinhui

(School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: China is experiencing a serious shortage of certain mineral reserves, and several important mineral resources are increasingly supplied via foreign imports. This paper proposes urban mining as a promising means of conserving resources and facilitating sustainable economic growth. The author summarizes the origin and meaning of urban mining, and analyzes the development of the ten main types of urban mining in China from 2006 to 2016, which include: scrap iron and steel, scrap non-ferrous metals, electronic waste, and end-of-life vehicles. Next, the author predicts the resource development and utilization potential of urban mining, and evaluates the contribution of urban mining to resource conservation, environmental protection, carbon emissions reduction, and economic development. Based on these analyses, the author presents strategic and policy suggestions to promote urban mining development in China.

Keywords: urban mining; circular economy; resource conservation potential; scenario analysis

一、前言

“城市矿山”是指自然矿产经过人类的开采后, 由地下转移到地上, 蕴藏在消费产品、建筑物、城市基础设施中的各类资源的总称。“城市矿山”是

载能性、循环性、战略性的二次资源, 具有显著的资源节约与环境友好特性 [1]。通过对再生资源的多次回收利用, 发挥再生资源的乘数效应, 是实现资源的可持续利用的重要途径。我国对于“城市矿产”的定义, 是指在工业化和城镇化过程中产生的,

收稿日期: 2017-06-16; 修回日期: 2017-07-14

通讯作者: 李金惠, 清华大学环境学院, 教授, 博士生导师, 主要从事城市矿产与循环经济、固体废物污染控制工程、电子废物资源化技术、环境技术评价与风险评价、固体废物和危险废物的处理处置等; E-mail: jinhui@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“生态文明建设若干重大战略问题研究(二期)”(2015-ZD-16)

本刊网址: www.enginsci.cn

蕴藏在各类载体，包括废旧机电设备、电线电缆、通信工具、汽车、家电、电子产品、金属和塑料包装物以及其他废料中的，可以循环利用的钢铁、有色金属、稀贵金属、塑料、橡胶等资源，并强调“城市矿产”的利用量和价值相当于原生矿产资源。

“城市矿山”的开发利用可在回收利用再生资源的同时，减少对原生资源的开采，减少温室气体排放，同时减少废弃物，产生显著的环境效益。这也为我国应对气候变化，促进可持续发展，积极承担国际责任和义务，落实减排承诺提供强有力支持。此外，“城市矿山”的开发利用，能够有效地助力技术装备制造、物流等相关领域的发展，创造新的社会就业机会。

二、我国“城市矿山”的开发现状

2010年我国发布《关于开展城市矿产示范基地建设的通知》，标志着国家对“城市矿山”开发利用的重视，表明了国家资源观念和战略的转变。国家直接布局全国“城市矿山”的开发利用，截至2016年，我国批复建设了49家国家级的城市矿产示范基地。

2006—2016年我国“城市矿山”的资源回收利用总量持续增长（见图1）。2016年，我国废钢铁、废有色金属（铜、铝、铅、锌）、废塑料、废轮胎、废纸、废弃电器和电子产品、报废汽车、报废船舶（废旧纺织品）、废玻璃、废电池等十大类别的主要“城市矿山”种类回收总量达 2.56×10^8 t，产值为5 902.8亿元[2]。但仍然存在政策法规不完善，

缺乏长期稳定的财税政策，再生资源回收渠道商业模式缺失等问题，制约“城市矿山”的回收利用。

三、我国典型“城市矿山”开发利用潜力分析

以2010年为基准年，预测我国废钢铁、废有色金属、电子废物、报废汽车、建筑废物、生活垃圾的产生情况（见图2~4），结果表明2030年前我国“城市矿山”的开发利用潜力巨大。

废钢铁：到2030年，建筑、交通、机械、耐用消费品和其他行业将共产生约 5.3991×10^8 t废钢铁[3]。

废有色金属：到2030年，电力、家用电器、交通、电子设备、建筑和其他行业共报废铜资源约 7.79×10^6 t；包装一直是铝使用量最大和报废量最大的行业，到2030年废铝回收利用潜力可达 6.701×10^7 t；电池行业是铅使用量和报废量最大的行业，到2030年将产生废铅约 1.444×10^7 t。

电子废物：根据表观消费量与生命周期方法，以全国统计年鉴中每百户家庭的家用电器拥有率和手机普及率为基础，计算得出未来我国报废家电和报废手机的产生量[4]（见图3）。结果表明，全国报废家电的数量将呈现持续快速增长态势，到2030年将达 1.5162×10^7 t，其中电视机8 278.5万台，冰箱8 771.3万台，洗衣机7 239.7万台，空调13 435万台，电脑8 666.7万台，手机48 177.4万部。

报废汽车：统一按照汽车使用寿命12年进行计算，未来报废汽车产生量增长迅速（见图4），到2030年，年报废汽车将达3 000万辆。

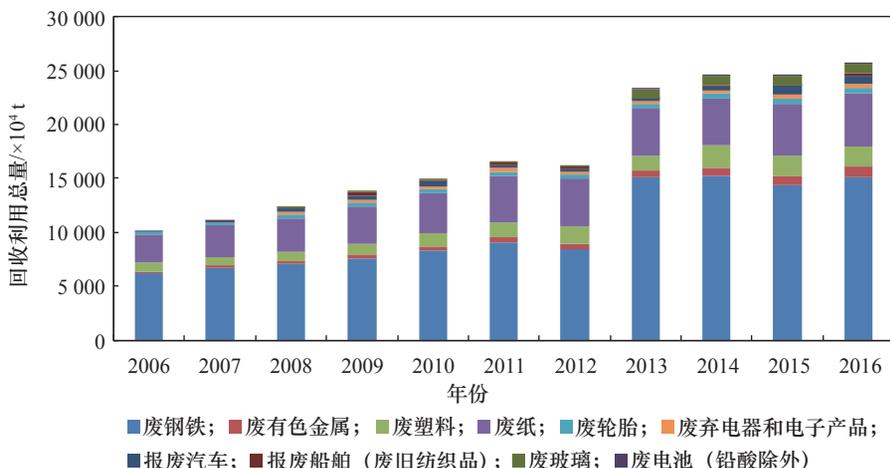


图1 2006—2016年我国主要“城市矿山”回收利用现状

数据来源：商务部《中国再生资源回收行业发展报告》（2006—2016）

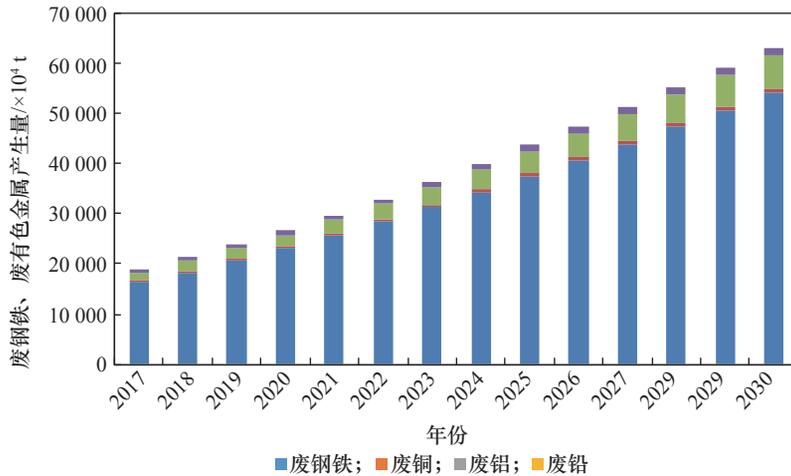


图2 2017—2030年我国废钢铁、废有色金属产生量预测

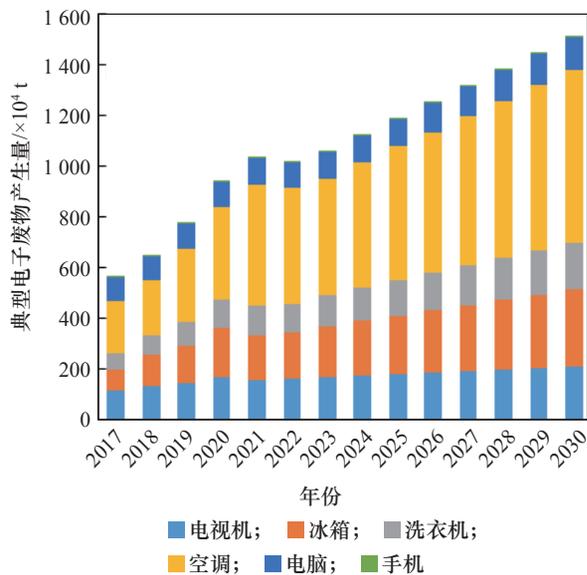


图3 2017—2030年我国典型电子废物产生量预测

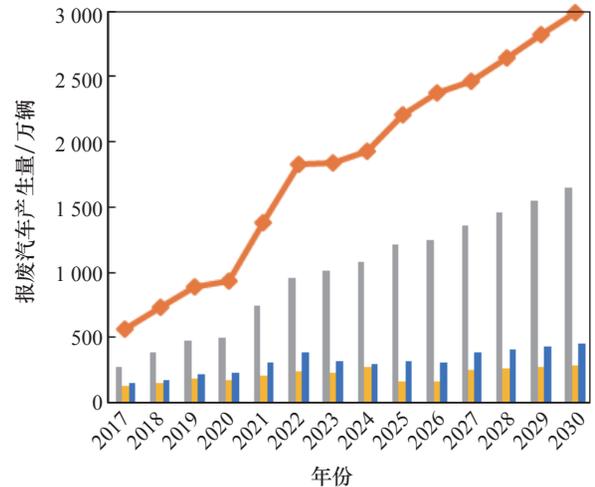


图4 2017—2030年我国报废汽车产生量预测

四、废弃资源减量化及环境效益评估

在“城市矿山”开发潜力预测的基础上，本研究选择回收利用价值较高的几种代表性金属资源，结合消费结构调整、提升资源利用率、降低资源消耗、强化回收利用等减量化措施，评估资源再生利用潜力及减量化水平，定量评估再生资源替代的能源环境效益 [5~12]。基于我国当前采取的政策措施，假设了三种不同的减量化措施，包括基准情景、低资源消费情景及强化回收情景。结果表明，在源头措施消费结构的根本性调整、资源利用率的提升，以及末端措施强化回收利用等三类不同措施均实现理想效果的情景下，在减少钢铁、铜、铝、铅等资

源需求的同时，再生资源的替代效益，资源环境效益显著（见图5）。

在减量化措施下，废钢铁的节能效益显著，到2020年将节能 2.459×10^6 tce，到2030年将节能 5.4×10^6 tce；在四种金属资源中，再生铅的节水效益和固体废物减排效益优于其他金属；再生铝的节能、节水效益、固体废物减排效益不明显，但在 SO_2 减排方面，将有望做出重要贡献。

五、我国典型再生金属资源替代效果综合分析

我国现阶段金属资源的对外依存度较高 [4]，在基准情景下，结合物质流核算，预测四种金属资源的再生资源替代比例明显提升，尤其是钢

铁和铜（见图6(a)）；四种金属资源的对外依存度呈现下降趋势，其中钢铁和铜的下降趋势较明显（见图6(b)）。

由于工业生产过程中产生的再生金属资源主要用于替代原生矿产资源，对于进口资源影响不大，因此对进口资源具有替代效果的主要是“城市矿山”中的再生金属资源。基于“城市矿山”中的再生金属资源，分析不同减量化措施对再生金属资源替代效果的影响。在低资源消费情景下，资源需求量总体大幅下降，并带动进口需求量下降。与基准情景相比，尽管两种情景下的措施，均能提升再生资源的替代比例，降低对外依存度，但强化回收利用从根本上改变了资源的代谢特征，对于再生资源的替

代效益能起到更显著的提升作用，而且对于降低金属资源的对外依存度能产生长期而深远的影响，如图7所示。

六、我国“城市矿山”开发利用战略目标及建议

我国未来“城市矿山”的开发潜力巨大，如妥善回收，可对原生资源起到明显的替代作用，并产生显著的能源环境效益。以废钢铁为例，预计2030年将产生 5.3991×10^8 t，若联合采取降低资源消费和强化回收两种措施，2030年，将使钢铁对外依赖性降低8.7%，废钢铁的资源替代率将增加

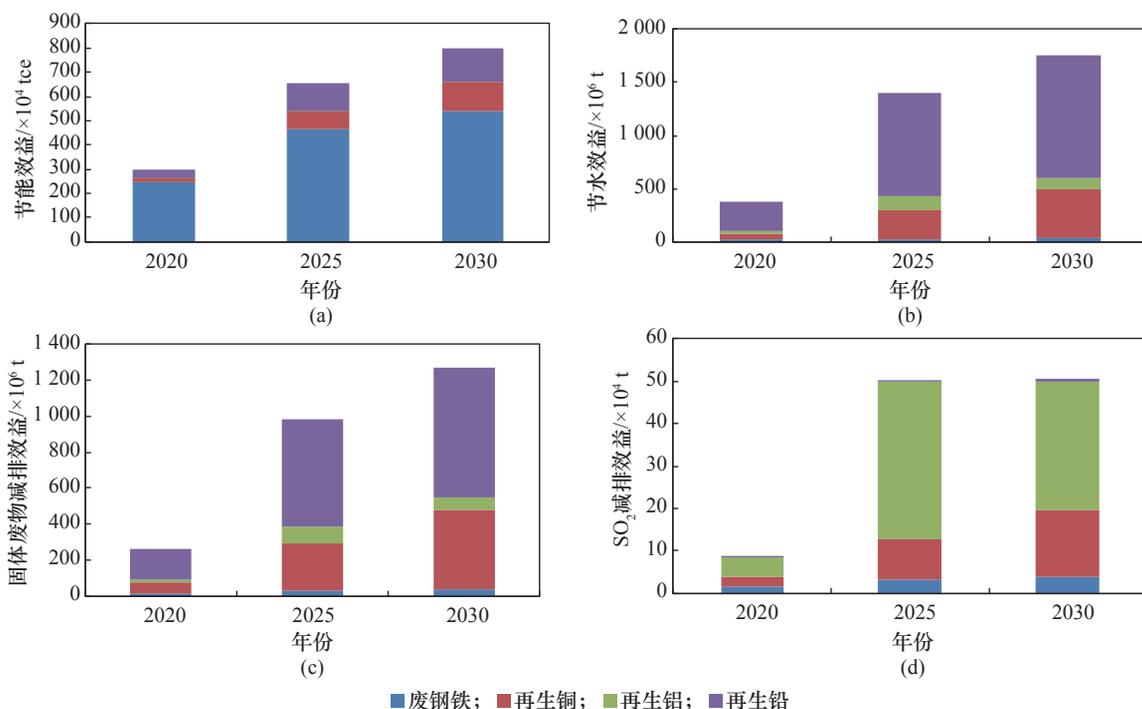


图5 减量化措施的能源环境效益

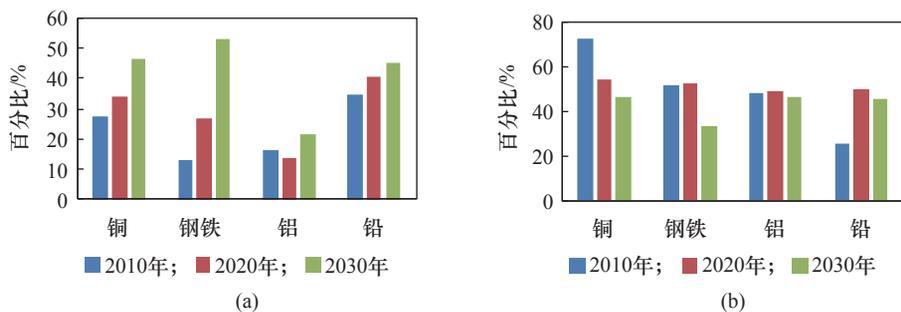


图6 基准情景下四种矿产资源的再生资源替代比例变化(a)与对外依存度变化(b)

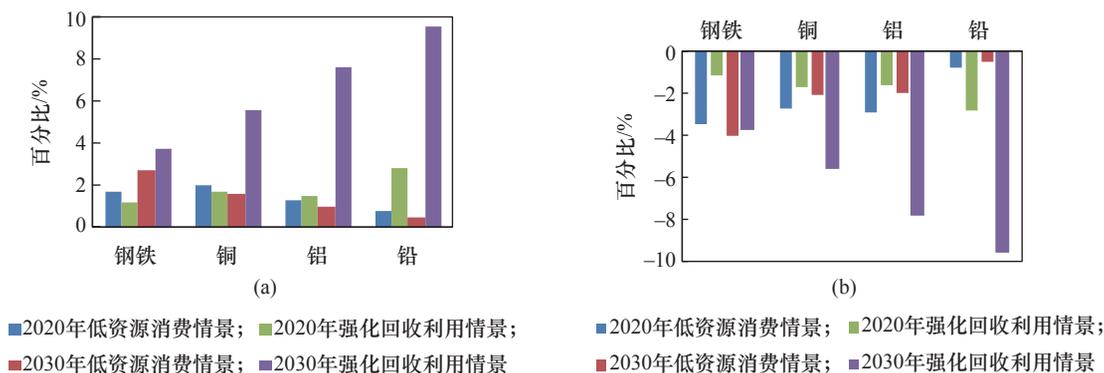


图7 低资源消费情景与强化回收利用情景下4种矿产资源的再生资源替代比例(a)与对外依存度(b)

7.3%，节能 5.4×10^6 tce、节水 2.66×10^7 t、减排固体废物 3.76×10^7 t、减排 SO_2 3.8×10^4 t。由此可见，“十三五”期间应将“城市矿山”的开发利用作为一个战略性新兴产业，重点支持发展。

(一) 我国“城市矿山”开发利用的战略目标

“十三五”期间的战略目标是，实现我国“城市矿山”开发利用的重点跨越式发展。

到2020年，建立并完善生产者责任延伸制度和完善的监管体系，进口废物管理制度和管理办法，以及生活垃圾分类制度和标准；建立“城市矿山”开发利用跨部门组织协调机制；全国主要城市建成网点布局合理、管理规范、回收方式多元、重点品种回收率较高的再生资源和生活垃圾回收体系；在全国范围内推广“城市矿山”示范基地的经验，在每个地级市建立一个规模化的“城市矿山”综合利用基地；将互联网、云平台技术普及到“城市矿山”开发利用中；人民群众的环保和资源再生意识全面得到提高。在实施生活垃圾强制分类的城市，生活垃圾规范化分类率达到25%，生活垃圾中再生资源回收利用率达到35%。

到2030年，落实生产者责任延伸制，以建立生产者逆向物流体系为重点，促进生产商、销售商开展城镇废弃的主要耐用消费品的分类回收。形成灵活配置的“城市矿山”资源化产业市场，有价值组分提取产业规模显著提高。“城市矿山”资源化利用产业总体规模持续扩大，达到世界先进水平，成为战略性新兴产业的支柱产业。地级以上城市生活垃圾分类收集覆盖率达到90%，生活垃圾回收利用率达到60%。

(二) 对我国“城市矿山”开发利用的政策建议

“城市矿山”从回收、处理到形成资源综合利用产品，涉及到居民、企业、政府等各个方面，需要全社会和国务院各部门统筹协调管理。在利用经济手段引导发展资源综合利用的过程中，要注重环境污染防治，使资源向污染防治可控、达标的大型园区、企业集聚，使综合利用集中化、规模化、产业化，实现环境污染防治与经济效益提高协同促进。具体措施如下。

(1) 提升“城市矿山”战略地位。确定循环经济和“城市矿山”开发在我国国民经济发展中的地位，将“城市矿山”作为战略资源的重要组成部分，确立“城市矿山”资源、原生资源、进口资源统筹的新资源观，确定我国资源开发的顺序为：“城市矿山”资源→原生资源→进口资源。

(2) 完善生产者责任延伸制度。完善各层级制度设计，完善回收体系，促进回收方式创新，建立资金营运机制，鼓励企业投资回收利用，开展综合利用活动，推动建立示范企业。

(3) 扶持“城市矿产”示范基地发展。建立有利于“城市矿产”示范基地发展的政策扶持和经济激励措施，包括：制定税费优惠，拓宽融资渠道，协调行业政策。在价格机制中体现资源属性挂钩，加强“城市矿产”示范基地发展经验的推广。

(4) 创新“城市矿山”开发利用技术。强化跨部门、跨区域组织协调机制，实行多元化的资金投入保障机制，组织各方力量开展“产学研用”联合攻关，建立科技成果转化应用的商业化模式，促进固体废物资源化国际科技合作。

(5) 加强对“城市矿山”开发利用的宣传教育。

学校、媒体和公共团体都应负起开发利用“城市矿山”宣传教育的责任，提倡绿色消费，减少资源浪费和废物产生。生产者、销售者、消费者、回收者、管理者等责任相关方应充分意识到各自的责任。生产者应开展生态设计，从源头节约资源、减少废弃物的产生，消费者应积极参与垃圾分类回收，管理者应大力推行垃圾分类并制定与之配套的政策法规。

参考文献

- [1] Li J H. Wastes could be resources and cities could be mines [J]. *Waste Management & Research*, 2015, 33(4): 301–302.
- [2] 中华人民共和国商务部流通业发展司, 中国物资再生协会. 中国再生资源回收行业发展报告(2016) [R]. 北京: 中华人民共和国商务部流通业发展公司, 中国物资再生协会, 2017. Ministry of Commerce of the PRC. Department of Circulation Industry Development, China National Resources Recycling Association. Report on the renewable resources recovery industry in China (2016) [R]. Beijing: Ministry of Commerce of the PRC. Department of Circulation Industry Development, China National Resources Recycling Association, 2017.
- [3] Wen Z G, Zhang C K, Ji X L. Urban mining's potential to relieve China's coming resource crisis [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2015, 19(6): 1091–1102.
- [4] 李金惠, 宋庆彬. 中国城市矿产开发潜力、问题及对策研究 [J]. *环境污染与防治*, 2014, 36 (12): 96–99. Li J H, Song Q B. Studying on the developing status, problems and suggestions of urban mining in China [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2014, 36 (12): 96–99.
- [5] Pauliuk S, Wang T, Muller D B. Moving toward the circular economy: The role of stocks in the Chinese steel cycle [J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46 (1): 148–54.
- [6] Melo M T. Statistical analysis of metal scrap generation: The case of aluminium in Germany [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 1999, 26 (2): 91–113.
- [7] 岳强, 陆钟武. 中国铜循环现状分析(I) ——“STAF”方法 [J]. *中国资源综合利用*, 2005 (4): 6–11, 21. Yue Q, Lu Z W. An analysis of contemporary copper cycle in China (I)—“STAF” method [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2005 (4): 6–11, 21.
- [8] Chen W Q, Shi L. Analysis of aluminum stocks and flows in mainland China from 1950 to 2009: Exploring the dynamics driving the rapid increase in China's aluminum production [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2012 (65): 18–28.
- [9] 郭学益, 钟菊芽, 宋瑜, 等. 我国铅物质流分析研究 [J]. *北京工业大学学报*, 2009 (11): 1554–1561. Guo X Y, Zhong J Y, Song Y, et al. Substance flow analysis of lead in China [J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2009 (11): 1554–1561.
- [10] 王岭, 江飞涛. 中国钢铁工业节能减排效果分析与前景 [J]. *产经评论*, 2012 (5): 81–91. Wang L, Jiang F T. The current situation and prospect of energy saving and emission reduction in China's steel industry [J]. *Industrial Economic Review*, 2012 (5): 81–91.
- [11] 闫启平, 李银雪. 低碳经济与废钢铁利用 [J]. *钢铁研究*, 2011(2): 1–6, 10. Yan Q P, Li Y X. Low carbon economy and iron and steel scraps application [J]. *Research on Iron and Steel*, 2011(2): 1–6, 10.
- [12] 张城, 李一夫, 陈东, 等. 中国再生铝产业的现状、发展机遇及挑战 [J]. *四川有色金属*, 2010 (4): 6–10. Zhang C, Li Y F, Chen D, et al. The status, opportunities and challenges of recycled aluminum industry in China [J]. *Sichuan Non-ferrous Metals*, 2010 (4): 6–10.