

我国工业固体废物资源化战略研究

陈瑛, 胡楠, 滕婧杰, 柳溪, 李岩, 凌江

(中华人民共和国环境保护部固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029)

摘要: 本文针对我国工业固体废物产生量大、综合利用不足的突出问题, 研究了我国资源开发、工业活动与工业固体废物产生的客观规律, 以及未来发展趋势和资源化利用潜力。针对我国在工业固体废物资源化管理模式、法制体系建设、经济调节措施、技术及产业市场等方面存在的突出问题, 结合我国生态文明建设中关于环境保护和资源循环利用的总体要求, 提出了应将工业固体废物资源化战略作为我国资源、环境战略重要补充的总体战略目标, 并提出了未来的发展路线图、阶段目标及重点任务。

关键词: 工业固体废物; 资源化; 环境管理; 战略

中图分类号: X32 **文献标识码:** A

A Study on the Resource Utilization Strategy for Industrial Solid Waste in China

Chen Ying, Hu Nan, Teng Jingjie, Liu Xi, Li Yan, Ling Jiang

(Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Environmental Protection of the PRC, Beijing 100029, China)

Abstract: This paper discusses the outstanding problem of the large quantity of industrial solid waste in China and its insufficient comprehensive utilization. Scientific laws regarding resource development, industrial activity, and industrial solid waste production are analyzed, along with the development trends and future utilization potential of industrial solid waste. In view of major issues related to industrial solid waste management patterns, legal system construction, economic adjustment measures, and the technical and industrial market, in addition to the overall requirements of environmental protection and resource recycling for ecological civilization construction in China, this study suggests that the resource-utilization strategy for industrial solid waste should be performed as an important part of China's resource and environmental strategy. The study also puts forward a development roadmap with stage objectives and major future tasks.

Keywords: industrial solid waste; resource; environmental management; strategy

一、前言

工业固体废物产生于工业活动, 既富集了各类有毒有害物质, 也富集了未能利用的金属、非金属

等资源。我国工业活动强度世界第一, 每年新产生的工业固体废物超过 3×10^9 t, 但综合利用率仅为 60% 左右。部分地区由于工业固体废物大量堆存, 造成了十分严重的大气扬尘、土壤和地下水环境污

收稿日期: 2017-06-16; 修回日期: 2017-07-07

通讯作者: 胡楠, 中华人民共和国环境保护部固体废物与化学品管理技术中心, 高级工程师, 主要从事固体废物环境管理政策、规划及战略研究; E-mail: Hunan@mepscc.cn

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

本刊网址: www.enginsci.cn

染，影响区域环境质量改善，环境风险长期存在。但是，工业固体废物中也存在部分有价资源，在一定的技术和经济条件下可以回收，减少堆存量，实现环境、资源、经济的综合效益。

中国共产党第十八次全国代表大会以来，我国将资源节约集约循环利用与改善环境质量、控制环境风险作为生态文明建设的重点任务之一，并把资源循环利用体系的初步建立作为2020年全面建成小康社会的目标之一。相对于其他固体废物，工业固体废物是我国产生量、堆存量最大的一类固体废物，是资源循环利用的主要来源。但是，我国工业固体废物资源化的阶段目标、发展路径、重点任务等管理战略尚未明确。为此，本文分析了我国工业固体废物的增长趋势、资源化需求及潜力，提出了在我国生态文明建设中工业固体废物资源化发展的总体目标、发展路径和具体策略。

二、我国工业固体废物的总体情况

(一) 我国工业固体废物的产生情况与工业经济发展密切相关

我国工业固体废物产生量巨大，集中特征明显。近年来，在我国大力推动工业污染治理和产业结构调整推动下，资源循环利用效率有所提高；同时，煤炭、钢铁、有色金属三大行业需求不振，单位工业增加值的工业固体废物产生强度出现减弱趋

势（见图1）。但是，我国工业固体废物的产生总量仍很大。我国环境保护部环境统计调查数据显示，2014年重点调查的15.5万家工业企业（以下简称“环统调查企业”）工业固体废物产生量为 3.3×10^9 t [1]，单位工业增加值的工业固体废物产生强度为1.4 t/万元，人均产生量和总量分别是日本的3倍和30倍，且产生强度与地区经济发达程度呈反比。例如，东部地区工业固体废物产生强度约是全国平均水平的一半；而西部地区的产生强度约是全国平均水平的1.5倍，是东部地区的3倍。

我国工业固体废物的产生呈现出明显的集中特征。一是产生类别集中。尾矿、煤矸石、粉煤灰、冶炼渣、炉渣、脱硫石膏6大类一般工业固体废物总量占到总量的83.7%。二是产生源行业集中。钢铁、煤炭、有色金属的相关工业活动对工业固体废物的总贡献率超过70%。三是产生量集中于资源禀赋较高的区域。2014年一般工业固体废物产生量排名前10位的城市中有9个属于资源型城市 [1]。但是，每年新产生的固体废物中有40%~50%不能被综合利用。环统调查企业中，工业固体废物年综合利用率在60%左右，每年有超过 $1.3 \times 10^9 \sim 1.6 \times 10^9$ t的工业固体废物需要堆存和处置（见图2）。2012年以来受综合利用产品市场需求下降的影响，每年的综合利用总量出现负增长。

我国将在2020年基本完成工业化 [4]、2030年基本完成城镇化 [5]。在现有发展模式之下，未来工业固体废物产生量年均增长率将保持在5%左右，

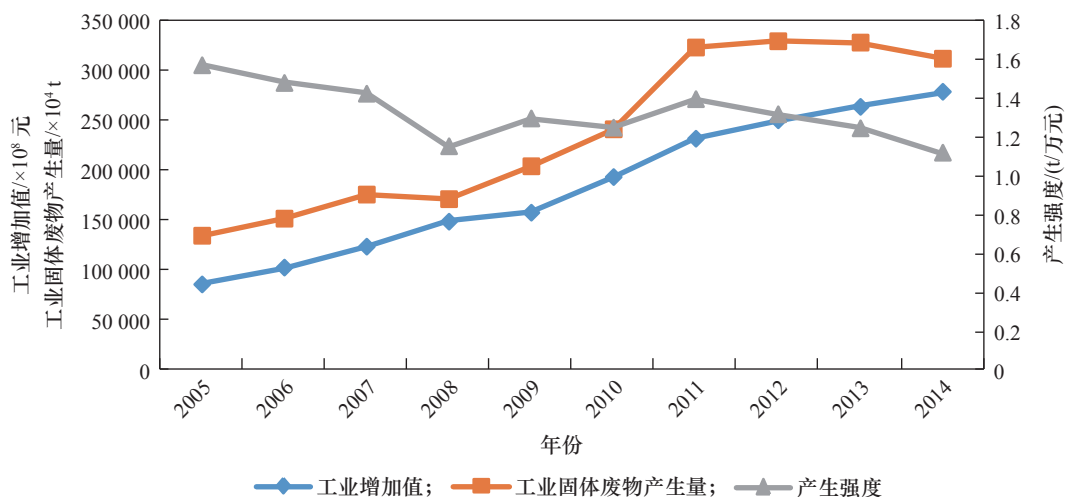


图1 我国工业固体废物产生量与工业增加值呈现正相关关系 [2, 3]

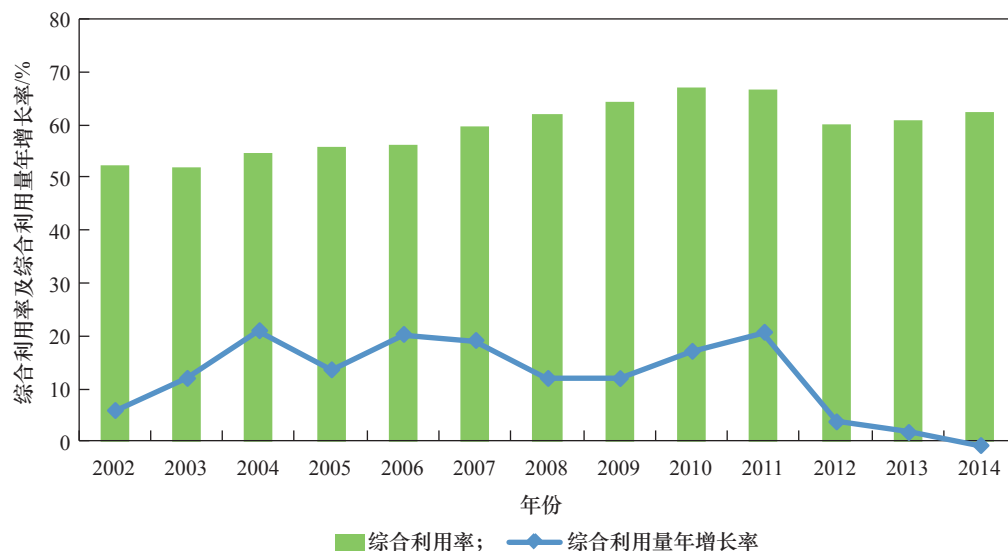


图2 近年来我国工业固体废物综合利用总体情况 [2]

2020年和2030年工业固体废物总产量将分别超过 4×10^9 t和 5×10^9 t, 2035—2040年才能趋于稳定, 到2050年产生量可能超过 5.5×10^9 t。将进一步加剧工业固体废物堆存和处置导致的环境压力。

(二) 我国工业固体废物资源化管理取得了一定成效

我国在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国清洁生产促进法》和《中华人民共和国循环经济促进法》三部专项法律框架下初步构建了固体废物减量化、资源化、无害化的法律原则, 以及配套的制度体系。各部门在各自职能范围内, 出台了相关管理制度, 初步建立了多部门协调机制等。随着我国发展循环经济战略的推进, 废物资源化也成为国家宏观战略的重要组成部分, 并有了较为具体的工作安排。

近年来, 我国从财税补贴、产业政策、绿色采购等领域多措并举促进资源化利用产业的发展。资源综合利用企业可以享受综合利用产品增值税、资源税减免等税收优惠政策 [6]。中央财政安排专项资金支持固体废物的综合利用; 另一方面, 环境保护部门通过各类环保专项整治工作, 促进了资源化利用产业市场的提升和净化。

资源化利用技术的创新提高了资源利用效率。近年来, 我国在共伴生矿产资源提取技术方面取得了多项突破, 低品位、共伴生和难利用资源变成了

经济的可采资源。“十二五”期间, 部分尾矿和废石在混凝土中的应用技术达到了国际领先水平; 脱硫石膏、钢渣等固体废物综合利用技术实现规模化推广 [7]。

(三) 工业固体废物制约我国经济环境的健康发展

工业固体废物是制约我国环境治理工作取得实效的瓶颈问题。从总量上看, 2014年我国单位国土面积产生工业固体废物约为343 t, 是主要大气污染物(二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘)排放总和的57倍。从环境污染和环境风险的影响上看, 长期堆存的工业固体废物对大气扬尘、土壤和地下水环境污染比较突出, 环境风险长期存在。2010年, 据环境保护部不完全统计, 发现历史堆存危险废物共计343处, 合 7.35×10^7 t, 其中有100余处靠近河流、农田、居民区等环境敏感点。

工业固体废物综合利用不足在一定程度上影响我国经济社会的健康发展。国土资源部调查数据显示, 2015年, 全国尾矿、废石等工业固体废物累计堆存总量约为 6×10^{10} t [8]; 而据行业协会和相关专家估算, 累计堆存量可能高达 $7 \times 10^{10} \sim 8 \times 10^{10}$ t, 总占地面积为 $2.5 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6$ hm^2 。近年来, 工业固体废物堆存处置成本不断攀升, 已占到企业运行总成本的8%~40%; 综合利用不足导致末端处置能力结构性不足矛盾突出, 部分企业为避免危险废物长期堆存, 不得不采取限产减产措施。

三、我国工业固体废物管理存在的突出问题

(一) 单向式发展模式导致资源过度消耗和工业固体废物大量产生

我国资源禀赋特殊，以低品位、多元素共生资源为主，工业固体废物产生强度较高。例如，目前我国国内铁矿石平均品位为 25%~30%^[9]，平均每生产 1 t 铁矿石（按含铁 65% 计算）约产生 3 t 尾矿。在资源开发环节，重开发、轻利用，矿产资源的综合回收率不超过 50%。截至 2014 年年底，全国 11 359 座尾矿库中，只有 3.4% 开展了尾矿综合利用。

(二) 法律制度设计“重末端、轻源头、弱循环”

在法律基础方面，我国固体废物源头减量主要基于《中华人民共和国清洁生产促进法》，资源化主要基于《中华人民共和国循环经济促进法》，但这两部法律不是强制法；《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》对减量化、资源化只有原则性规定。

在制度设计方面，缺少生产者主体责任制度顶层设计，资源化利用环境管理存在盲点和堵点。产业源头准入缺乏调控，固体废物产生量大的产业布局集中，局部地区资源化利用能力不足、矛盾突出。而回收环节是监管盲区，“小、散、乱”情况普遍。资源化利用产业发展缺少技术规范引领，消费者对综合利用产品的安全性存在疑虑，相关产品市场接受程度低，导致大量可综合利用的危险废物或其综合利用产品被迫进入处置设施。

(三) 经济措施调节力度不足

固体废物的产生和处置缺少限制性财税政策。我国拟于 2018 年起实施的环境税制度中，按照目前与排污费平稳衔接的设计思路，针对工业固体废物收费标准低、收费范围小，在遏制固体废物的大量产生和促进资源化方面几乎发挥不了作用。

综合利用财税激励政策力度不足，优惠政策覆盖面较窄。现行政策中，工业固体废物综合利用可适用的财税优惠政策只有《资源综合利用产品和劳务增值税优惠目录（2015 年）》，仅对 12 类工业固体废物，以及 36 种综合利用产品实施 50% 或 70%

的退税，覆盖面非常有限，优惠力度较弱，企业开展资源化利用缺乏动力。

(四) 资源化技术能力不足，产业市场发育缓慢

在资源化产业技术水平方面，我国与欧美发达国家大约有 5~10 年的差距，未能充分发挥补充金属资源和替代建材资源的作用，有色金属冶炼渣等部分高风险工业固体废物中的有毒有害成分与有价元素高效解离与安全回收问题尚未解决。在已经实现工业化的综合利用技术中，制备建材等低端利用占比较高。2014 年，我国综合利用的工业固体废物中用于提取有价资源的高价值利用比例不足 11%^[9]。盲目利用导致部分目前不具备提取技术条件的稀缺资源不可挽回的浪费。在产业发展方面，我国目前大宗固体废物综合利用企业平均每家产值不到 2 000 万元、从业人员不足 170 人，超过 80% 为小型工业企业，产业市场不成熟。

四、我国工业固体废物资源化发展战略建议

(一) 我国工业固体废物资源化潜力十分可观

未来一段时间，我国工业发展依赖资源能源投入的总体趋势难以发生根本性改变，资源需求刚性增长趋势将持续相当长的时期。在经济结构、技术条件没有明显改善的条件下，工业固体废物保持高位运行是客观现实。如果能够切实提高我国工业固体废物资源化利用能力，将为我国经济社会发展的资源保障能力提供重要支撑。仅尾矿一项，如果能将提取有价资源的比例提高到 2%，将增加 3.5×10^7 t 有价资源的供给量；在替代非金属资源方面，现有工业化技术条件可利用工业固体废物替代 60%~70% 的建材矿产资源，减少建材矿山开采强度。在经济效益方面，在我国现有技术条件下，平均综合利用 1 t 工业固体废物，可产生 370 元产值，到 2020 年和 2030 年，我国工业固体废物综合利用量可达到约 2.6×10^9 t 和 2.9×10^9 t，产值可达到 1.0 万亿~1.6 万亿元。

(二) 发展路线图及阶段目标建议

为了有效促进资源节约集约循环利用，并逐步消除工业固体废物对生态环境质量和人民群众环境健康风险的持续影响，建议以降低工业固体废物对

环境质量的影 响、控制环境风险为主要调控目标，通过建设“资源-废物-资源”的闭合管理系统，充分提高资源综合利用总量，尽快实现工业固体废物产生量与经济发展绝对脱钩，实现工业固体废物的限制增长模式。到2030年将我国工业固体废物产生量控制在 3×10^9 t以内，之后实现总量逐步削减，到2050年争取将产生量控制在 2.5×10^9 t左右。

按照到2020年资源化利用总体规模显著扩大、到2025年初步实现资源化量质双提升、到2030年初步实现废物与资源统筹管理的发展路径，在我国工业经济发展进入稳定期阶段，基本实现资源能源消耗与社会经济发展达到平衡状态。工业固体废物成为“新型矿山”，堆存量开始下降，历史遗留环境风险基本消除（见图3）。

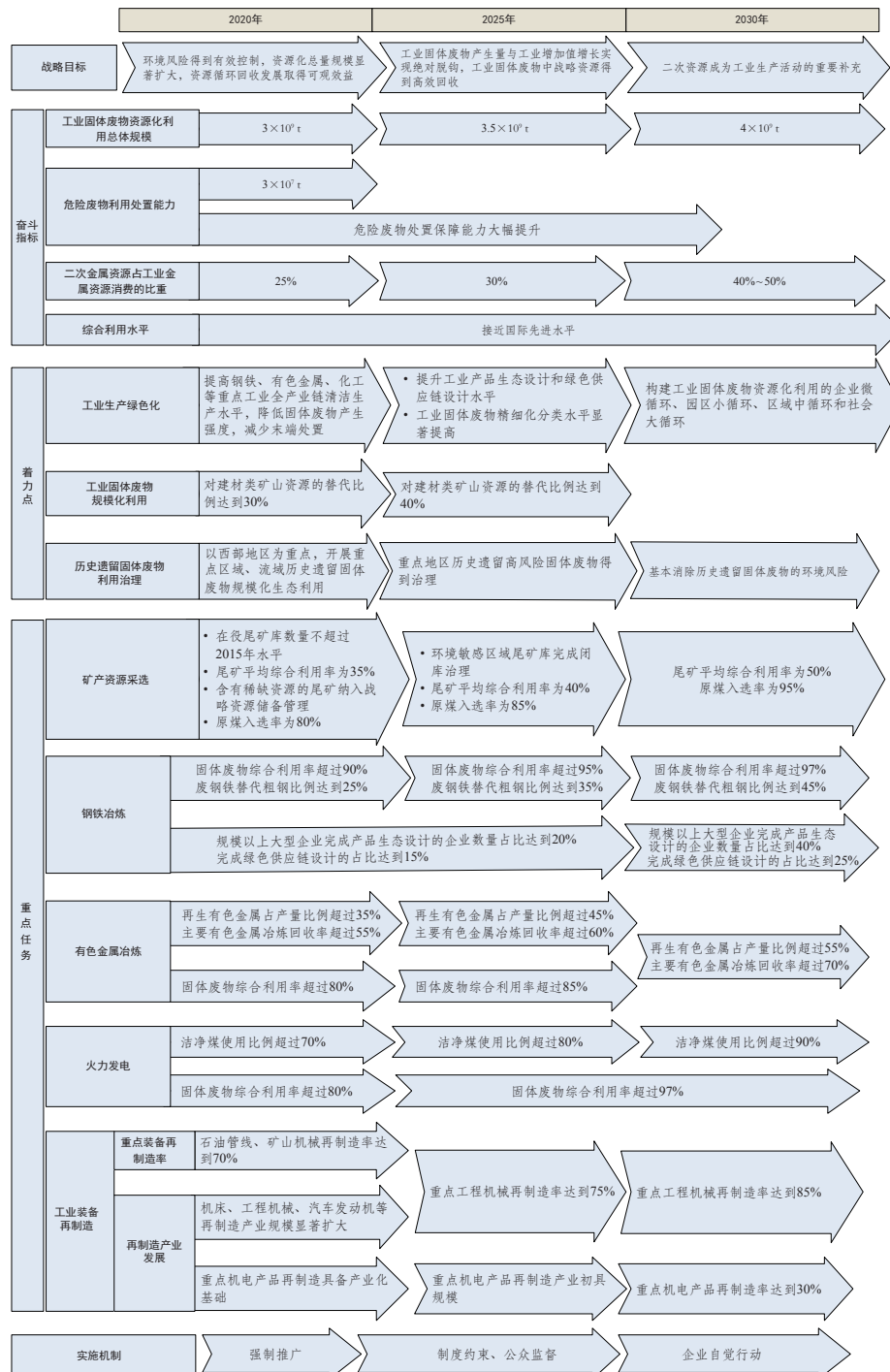


图3 我国工业固体废物资源化发展路线图

(三) 重点任务建议

1. 建立资源环境统筹管理法律制度体系

构建资源节约集约循环利用与固体废物污染防治统筹管理的法制体系，建立生产者责任延伸制度，明确产品的全生命周期设计、源头分类、强制回收、再利用等法律责任，促进开展有利于资源循环和回收利用的产品生命周期生态设计以及绿色供应链设计。

完善经济调节手段。优化资源税征收环节及征收方式，促进矿产资源的综合利用。强化环境税的调节作用，对固体废物资源化利用的给予减征环境税等激励政策。扩大资源综合利用税收优惠政策覆盖范围，扶持产业发展。

构建资源循环的倒逼促进机制。对于钢铁、铜、铝等重要战略资源实施“以废定产”战略，以国内经济社会发展实际需求量，以及同类再生资源生产能力核定总体产能规模。对于可资源化的工业固体废物实施“限制处置”政策，限制可代替的矿产资源或能源的开采和消费。

强化利用技术标准规范产业发展。完善基于有毒有害物质环境风险控制 and 有利于资源化的工业固体废物资源化过程污染控制等技术标准体系，建立有利于资源替代、综合利用的环境标准体系和副产品质量国家标准体系，规范固体废物资源化利用处置活动。

2. 实施资源环境统筹战略

以生态红线为指导，统筹矿产资源开发和环境功能区划保护等空间规划。位于生态红线内的矿产资源，原则上严格管控，全部保护，禁止开发；已经开采的，停止开发，并逐步恢复；位于生态红线外的，推进尾矿回填、矿山地质环境恢复，减少尾矿库建设运营压力。限制露天开采矿产资源，严格控制地下开采。

统筹绿色制造战略，全面实施清洁能源战略。推广主要工业产品和主要耐用消费品的生态设计和绿色供应链设计，提高全产业链的清洁生产水平和固体废物精细化分类水平，减少工业固体废物的产生量。大力提高煤炭入洗率，提升能源利用效率，促进工业余热余压综合利用，降低全社会煤炭消费强度。

3. 优化资源化产业布局

根据经济活动中物质的流动规律，构建资源开发利用与固体废物资源化循环产业链，推进生态工业园区建设和现有园区循环化、生态化改造，打造

固体废物资源化利用的企业微循环、园区小循环、区域中循环和国家大循环，推进企业间、行业间、产业间共生耦合，形成循环链接的产业网络，促进固体废物就近综合利用，鼓励产业集聚发展。

4. 强化高值化综合利用科技支撑

设立工业固体废物资源化国家科技专项，支持我国工业固体废物资源化利用关键技术研发，关键技术引进和集成，重大装备研发，以及产业化应用示范。优先推进深度资源化利用技术研发及产业化。加快重点工业装备再制造技术攻关和产业化应用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 全国环境统计公报(2015年) [R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2017.
Ministry of Environmental Protection of the PRC. Environmental statistics bulletin 2015 [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the PRC, 2017.
- [2] 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国环境保护部. 2015年中国环境统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
National Bureau of Statistics of the PRC, Ministry of Environmental Protection of the PRC. China statistical yearbook on environment 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 2005—2014年国民经济和社会发展统计公报 [R]. 北京: 中华人民共和国国家统计局, 2006—2015.
National Bureau of Statistics of the PRC. Statistical communique on national economic and social development 2005—2014 [R]. Beijing: National Bureau of Statistics of the PRC, 2006—2015.
- [4] 中华人民共和国国务院. 中国制造2025 [M]. 北京: 人民出版社, 2015.
The State Council of the PRC. China manufacturing 2025 [M]. Beijing: People's Publishing House, 2015.
- [5] Wei H K. Urbanization process and prospect in China [J]. China Economist, 2015 (2): 102—121.
- [6] 中国国土资源经济研究院. 2015中国矿产资源节约与综合利用报告 [R]. 北京: 中国国土资源经济研究院, 2015.
China Academy of Land and Resource Economics. Report on saving and comprehensive utilization of mineral resources in China (2015) [R]. Beijing: China Academy of Land and Resource Economics, 2015.
- [7] 陈甲斌, 贾文龙, 余良晖. 铁矿尾矿资源调查及评价[J]. 矿业研究与开发, 2010, 30(3): 60—63.
Chen J B, Jia W L, Yu L H. The investigation and evaluation of resources of iron tailings [J]. Mining Research and Development, 2010, 30(3): 60—63.
- [8] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 2014中国资源综合利用年度报告[R]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2014.
National Development and Reform Commission of the PRC. Annual report on comprehensive utilization of resources in China 2014 [R]. Beijing: National Development and Reform Commission of the PRC, 2014.