

我国固体废物分类资源化利用战略研究

杜祥琬¹, 钱易², 陈勇³, 凌江⁴, 刘晓龙⁵, 杨波⁵, 姜玲玲⁵, 葛琴⁵,
呼和涛力³, 柳溪⁴, 孙笑非²

(1. 中国工程物理研究院, 四川绵阳 621900; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084; 3. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640; 4. 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; 5. 中国工程院战略咨询中心, 北京 100088)

摘要: 我国是人口大国, 也是世界上固体废物产生量最大的国家。作为一个人均资源有限, 环境容量远低于世界平均水平的发展中国家, 更要珍惜资源和保护环境。固体废物不是无用的废物, 而是有用的资源、宝贵的财富。我国固体废物不断增长, 处理不当会带来资源浪费、环境污染等问题, 影响社会稳定, 需要在生态文明建设中予以高度重视。本文分析了我国固体废物资源化利用现状及发展潜力, 认为我国固体废物分类资源化潜力和潜在效益巨大, 提出了我国固体废物分类资源化利用的战略方针和战略目标, 科学规划了发展路径, 并对我国固体废物资源化利用提出了政策建议。

关键词: 固体废物; 分类; 资源化利用; 战略目标; 政策建议

中图分类号: X32 文献标识码: A

A Study on the Classification and Resource Utilization of Solid Waste in China

Du Xiangwan¹, Qian Yi², Chen Yong³, Ling Jiang⁴, Liu Xiaolong⁵, Yang Bo⁵, Jiang Lingling⁵,
Ge Qin⁵, Huhetaoli³, Liu Xi⁴, Sun Xiaofei²

(1. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 4. Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Environmental Protection of the PRC, Beijing 100029, China; 5. The CAE Center for Strategic Studies, Beijing 100088, China)

Abstract: China is a populous country and the largest producer of solid waste in the world. With limited per capita resources and much lower environmental capacity than the world average, China should even more cherish its resources and protect its environment. Solid waste is not useless; on the contrary, it is useful resources and precious wealth. The amount of China's solid waste is continually increasing, and its improper handling wastes resources while causing problems such as environmental pollution and social instability. Therefore, due attention should be paid to ecological civilization construction in China. This paper analyzes the current situation and the development potential of solid waste resource utilization in China, and concludes that the capacity and potential benefits of classifying and resource utilization solid waste are huge. Strategic directions, strategic objectives, a development path, and policy suggestions for solid waste resource utilization in China are also proposed.

Keywords: solid waste; classification; resource utilization; strategic objective; policy suggestion

收稿日期: 2017-06-16; 修回日期: 2017-07-12

通讯作者: 杜祥琬, 中国工程物理研究院, 高级科学顾问, 中国工程院, 院士, 主要从事应用物理、强激光技术与能源战略研究;
E-mail: duxw@cae.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

一、前言

固体废物主要来源于工业生产、社会生活和农业生产。作为世界上人口最多、经济体量最大的发展中国家，我国对自然资源的消耗和由此产生的废物量均居世界第一位。我国目前各类固体废物的累积堆存量约为 8×10^{10} t，且随着人民生活水平的提高和城镇化的快速发展，固体废物产生量呈逐年增长态势，年产生量超过 1×10^{10} t [1]，其利用处置过程中的温室气体排放及有毒有害物质的跨区域环境影响也成为了全世界关注的焦点问题之一，给我国造成了巨大的环境压力。同时，如此巨大的废物产生量和累积量，如处理不当，还会造成资源浪费和影响社会稳定。然而，废物并不完全是无用的，在一定的技术和经济条件下，不同类别的废物可以分别转化为有用的资源和能源，成为宝贵的财富，是开发潜力巨大的“二次矿山”。如果对固体废物进行分类资源化利用，且从源头上进行减量化，就可以显著减少原生资源的使用量，提高资源利用率，从而带来显著的环境效益、经济效益和社会效益。在综合考虑《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中固体废物的分类方法及我国固体废物来源的基础上，将本文研究的固体废物主要分为“城市矿山”、乡村废物和工业固体废物三大类。

二、我国固体废物分类资源化利用现状及效益分析

（一）我国固体废物分类资源化利用现状

我国较早确立了资源综合利用的战略方针，初步建立了资源化利用法规制度框架。近年来，我国分别对不同领域的固体废物资源化利用作出了试点示范安排，有力地推动了固体废物分类资源化利用产业和技术的发展。2015年，我国固体废物产生量约为 1.16×10^{10} t，其中，“城市矿山”为 3×10^9 t（以建筑垃圾、生活垃圾和再生资源为主）、乡村废物为 5.3×10^9 t（以畜禽粪便和农业废物为主）、工业废物为 3.3×10^9 t（尾矿占比最多）（见图1）[2]。目前，“城市矿山”方面，我国回收的再生资源基本实现资源化利用，生活垃圾焚烧占清运量的35%左右，而建筑垃圾资源化利用比例较低；乡村废物

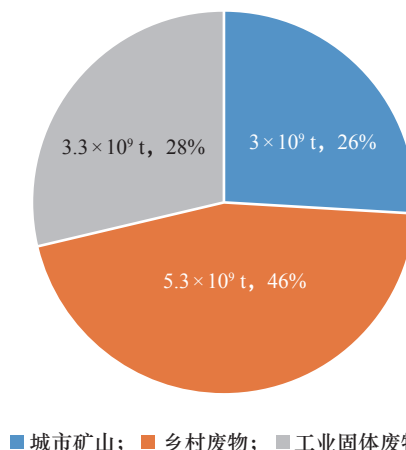


图1 2015年我国各类固体废物的产生量

方面，农村生活垃圾资源化利用比例不到2%，整体呈现乱堆乱放的状态，农林废物综合利用率为80%左右，养殖废弃物综合利用率为40%左右[3]；工业固体废物的综合利用率为60%左右。

（二）我国固体废物分类资源化利用效益分析

固体废物资源化利用不仅可以解决固体废物处理不当带来的生态环境破坏等问题，还可以减少对原生资源的开采、缓解我国资源短缺的压力、节省国土空间、拉动投资、增加税收、带动就业、增加农民收入、利于社会安定等，具有显著的环境效益、社会效益和经济效益。随着经济社会的发展，我国各类固体废物产生量将逐年增加，预测分析表明，固体废物资源化开发利用潜力巨大，效益分析如表1所示。预测到2030年，我国“城市矿山”的产量将达到 8×10^9 t，主要“城市矿山”的回收价值可达2.14万亿元；乡村废物的产生量将达 5.6×10^9 t，可资源化利用的乡村废物折合标准煤约 1×10^9 t，将产生3.97万亿元的投资效益；工业固体废物产量将达 3×10^9 t，重点工业固体废物资源化经济效益可达1.35万亿元。届时我国固体废物分类资源化利用将达到世界先进水平，可带动约4000万个就业岗位，将成为我国战略性新兴产业的重要支柱。

（三）我国固体废物分类资源化利用存在的突出问题

近年来，我国固体废物资源化利用虽然取得了一定的成绩，但同时存在着许多突出问题。首先，

表 1 我国固体废物资源化利用效益分析

废物类别	名称	2020 年	2030 年
城市矿山	产量 / $\times 10^8$ t	50	80
	主要再生资源回收价值 / 万亿元	0.93	2.14
	减排 SO_2 / $\times 10^4$ t	120	260
	就业人口 / 万人	2 000	3 000
乡村废物	产量 / $\times 10^8$ t	54	56
	资源化利用总量 / $\times 10^8$ tce	8.43	9.93
	拉动投资 / 万亿元	3.37	3.97
	减排 CO_2 / $\times 10^8$ t	22.51	26.51
	减排 SO_2 / $\times 10^4$ t	170	200
	就业人口 / 万人	1 475	1 142
工业固体废物	产量 / $\times 10^8$ t	35	30
	综合利用比例	70%	80%
	拉动投资 / 万亿元	1.08	1.35
	就业人口 / 万人	200	150

我国固体废物资源化利用的制度体系不完善、分类回收体系不健全、回收效率低、回收不规范、资源化利用体系不健全等弊端仍然存在 [4]。其次,缺乏基于全生命周期分析的顶层设计。在我国传统的发展模式下,国家在制度设计上按照生产环节、生活环节和循环利用环节管理职能划分,未能从物质流动的客观规律进行统筹设计。在制度落实方面,国家工业和信息化部、国家发展和改革委员会及环境保护部等部门管理职责分割、管理边界不清晰,缺少宏观战略指导。市场发展缺乏政府资金引领,市场激励机制不足,缺少惩罚性财税制度,产业缺乏内生动力等。再次,资源化利用意识不足,社会参与度不高。长期以来,政府和企业对固体废物分类收集、利用与处置的相关信息公开不够,加上对利用处置过程中的二次污染防治水平不高,公众对固体废物资源化认识不足,导致“邻避效应”凸显。最后,技术储备不足,产业发展缺乏支撑。我国尚未形成从源头到末端全过程减排增效的重大集成技术和产品体系,以及跨产业的固体废物协同利用技术,整体上与国际先进水平相差约 10~15 年 [5]。

我国需尽快化解上述挑战和问题,才能促进固体废物分类资源化利用及其产业的蓬勃发展,并在建设美丽中国、实现伟大复兴中国梦的过程中,为促进中国经济逐步转向可持续发展、绿色发展发挥其应有的作用。

三、我国固体废物分类资源化利用的战略方针、目标和路线图

(一) 战略方针

为实现我国经济发展的绿色转型和生态文明建设,需要将固体废物分类资源化作为国家资源环境战略的重要组成部分,以“政府引领、产业支撑,源头减量、处置限制,精细分类、充分循环”作为指导方针,将固体废物分类资源化逐步打造为支撑我国可持续发展的重要战略性新兴产业。

政府引领、产业支撑。实现政府的宏观引导与市场资源配置的相互协调,合理分配资源化利用过程中相关方的责、权、利,形成多方效益共享、共赢的长效机制,培育产业市场内生动力。以科技创新引领产业发展,大力推进具有自主知识产权的高附加值的清洁生产、有价资源提取、规模化利用技术工艺的产业化,保障二次资源的有效供应能力和生产能力。

源头减量、处置限制。统筹我国经济社会发展总体战略,降低全社会资源消耗和废物产生强度。以降低在生产过程中和产品全生命周期对环境的影响、提高资源回收利用效率为目标,逐步降低金属矿产资源的开采强度、限制非金属矿产资源的开采活动,推进工业生态设计、产品生态设计、绿色供应链建设,大力发展清洁生产、循环经济、生态工业园区,促进传统工业全产业链绿色转型,从源头

减少固体废物产生量和提高可资源化利用量，扩大绿色产品供给规模。限制可资源化和能源化利用的固体废物进入填埋、焚烧等最终处置环节，倒逼固体废物资源化。

精细分类、充分循环。统筹我国资源的供给能力和战略需求，对固体废物按资源禀赋情况实施精细分类管理，由“无害化”提升到“资源化”，优先提取铁、十种有色金属等对经济发展有支撑作用的战略资源，对含有重要战略资源（如稀散金属、稀土元素等）的固体废物实施战略储备，着力提高再生资源的回收能力，并分类变为非金属矿产资源、能源（如电、热、沼气）及肥料等资源。积极参与国际资源循环，充分利用国际优质进口矿产资源和再生资源。

（二）战略目标

到2020年（战略攻坚期）实现固体废物资源化利用总量规模显著扩大，资源循环回收发展取得可观效益，固体废物对环境质量和人居环境的不利影响和潜在风险得到有效控制。到2025年（转型关键期）实现我国资源化利用产业总体规模持续扩大，产业发展达到国际中高端水平，初步形成资

源高效循环的发展模式，经济社会发展与资源能源消耗相对脱钩。到2030年（可持续发展期）经济社会发展与资源能源的消耗、固体废物的产生实现脱钩，届时我国固体废物分类资源化利用将达到世界先进水平，产值规模达到7万亿~8万亿元，带动4000万~5000万个就业岗位，将成为我国战略性新兴产业的重要支柱（见图2）。

（三）路线图

1. 构建绿色消费模式，促进“城市矿山”开发到2020年，扩大再生资源回收总量规模，着力构建多渠道分类回收体系，推进城镇地区再生资源回收与垃圾清运处理网络体系“两网融合”，地级以上城市生活垃圾分类收集覆盖率达到25%，生活垃圾回收利用率达到35%；到2025年，提高生活垃圾、再生资源的精细化分类回收效率和分类收集能力，地级以上城市生活垃圾分类收集覆盖率达到65%，生活垃圾回收利用率达到45%；到2030年，结合绿色建筑和绿色建材产业战略，推动建筑垃圾资源化利用，建筑废物成为建材生产行业的主要原料，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%。

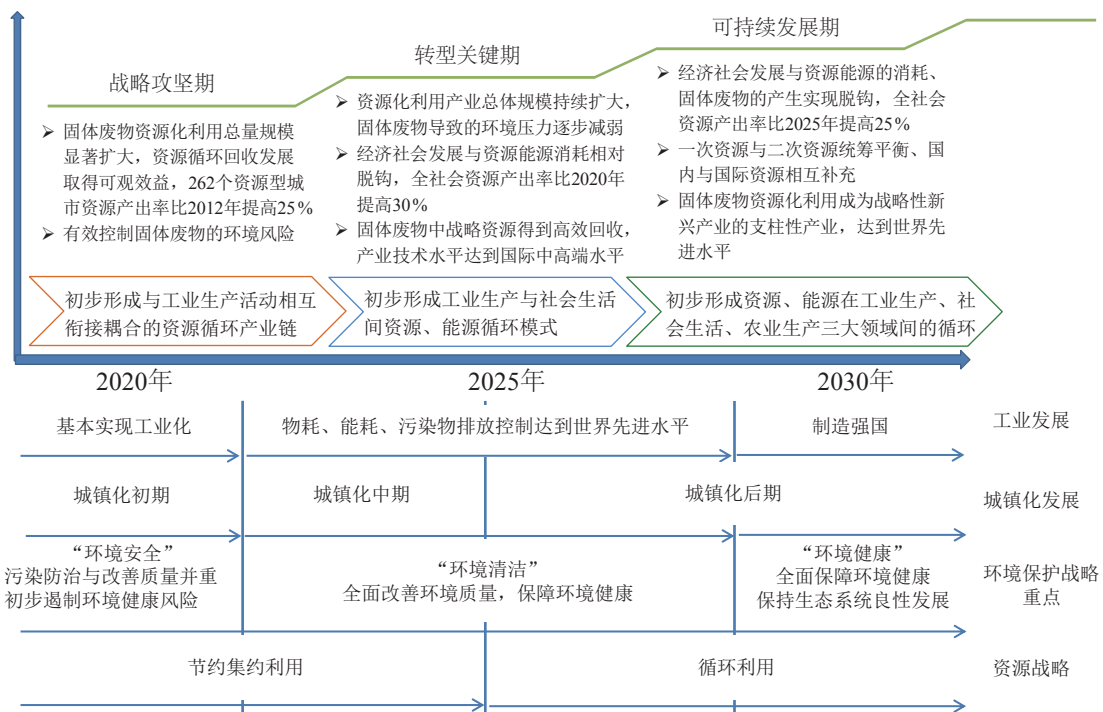


图2 我国固体废物资源化利用战略目标

2. 推动生态农业生产模式，促进乡村废物资源化
改进农业生产模式，推广生态农业建设，促进以能源和有机质回收为主的农业生产废弃物、生活垃圾等就近资源化利用和协同资源化，开发农业剩余物多联产系统、林业剩余物资源化与能源化利用系统、畜禽粪便能源化工系统，提升乡村废物资源化利用率。到2020年全面消除农村垃圾乱扔乱放、农林生物质废物露天焚烧、畜禽养殖废水随意排放现象，农业主产区基本实现区域内农业资源的循环利用；到2025年农村生活垃圾基本得到无害化治理；到2030年以实现美丽农村并确立农业可持续发展新格局为目标，形成生物质资源充分利用的生态循环农业，乡村废物基本实现就近资源化循环利用。

3. 推动工业发展绿色转型，提高资源利用效率
到2020年，提高钢铁、有色金属、化工等重点工业全产业链清洁生产水平，降低固体废物产生强度，减少末端处置。环境风险得到有效控制，资源化总量规模显著扩大。到2025年，提升工业产品生态设计和绿色供应链设计水平，工业固体废物精细化分类水平显著提高。工业固体废物产生量与工业增加值增长实现绝对脱钩。到2030年，构建工业固体废物资源化利用的企业微循环、园区小循环、区域中循环和社会大循环。二次资源成为工业生产活动的重要补充。

四、对我国加强固体废物分类资源化利用的政策建议

（一）提升战略地位，夯实政策与制度基础，健全技术标准体系，构建健康市场环境

要把固体废物资源化利用上升到国家生态文明建设的战略高度，落实规划，推动资源产出率、资源循环利用率等量化指标的广泛应用，将其作为生态文明建设的重要战略指标，纳入经济社会发展评价和政府绩效考核体系。整合和完善固体废物分类资源化法律法规体系，形成有利于资源化产业发展的政策环境。针对现行制度体系中的监管盲区，明确固体废物相关产业源头准入控制、回收和综合利用等环节相关方的法律责任和管理要求，推进生产、消费责任延伸制度建设。建立健全资源化利用过程中的污染控制标准体系、综

合利用产品质量控制标准体系，推动综合利用产品顺利进入消费市场。建立新型的社会管理制度和模式，化解固体废物资源化利用过程中可能发生的“邻避效应”。建立部门联合监管惩戒机制，清理整顿资源化产业市场。

（二）加强国家顶层设计，实施综合管理战略

贯彻落实国家“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，基于全生命周期分析，结合国家宏观战略，将工业固体废物分类资源化战略与产业结构调整、绿色制造、战略性新兴产业战略目标相统筹。固体废物能源化利用与国家清洁能源战略相衔接，将城市生活垃圾新兴发电技术、生物质废物能源化作为分布式能源发展的重点内容，提高生物质能源化利用率与促进工业固体废物的能源替代。衔接生态红线、国土空间规划，统筹一次资源、二次资源开发战略。统筹二次资源开发利用产业布局，引导资源深加工产业向传统资源聚集区域聚集。

（三）改革发展模式，促进资源充分循环，确立“无废国家”的长远目标

改革生产模式，构建资源正逆向流动相互耦合的生态产业链，改变资源依赖型发展路径。引导生活模式改革，树立绿色消费意识，提升全民资源环境意识水平，将固体废物分类资源化纳入国民教育体系工作内容，提高全社会对固体废物资源化利用紧迫性的认识，构建有效的社会监督机制。构建固体废物资源多级循环模式，逐步实现固体废物在工业生产、农业生产、城市和农村生活三大体系间的衔接循环。逐步构建全社会固体废物分类资源化循环体系，努力实现全社会资源能源消耗最小化、资源利用最大化，最终实现具有我国特色的循环经济社会发展模式，实现“无废国家”的长远目标。

（四）强化科技支撑，提速产业高端发展

设立国家科技计划（专项），加强固体废物资源化利用科技支撑能力建设，提高资源化利用的水平。重点支持开展固体废物分类资源化利用关键共性技术和重点设备（装备）研发；支持资源高效提取、工艺自动控制、再制造技术等关键技术和装备

的引进集成和自主创新。加快创新技术的推广应用,建设重大试点示范工程,加快推进固体废物分类资源化利用产业化进程。依托云计算、“互联网+”、物联网等现代化信息技术手段,构建固体废物综合管理和公共信息服务体系,将其纳入智能城市建设体系,提升固体废物环境管理的信息化水平。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2015 [M]. 北京: 国家统计局, 2015.
National Bureau of Statistics of the PRC. China statistical yearbook 2015 [M]. Beijing: National Bureau of Statistics of the PRC, 2015.
- [2] 常前发. 谈矿产资源的开发利用与可持续发展 [J]. 中国矿业, 2000, 9 (6):11-15.
Chang Q F. Development and utilization of mineral resources and sustainable development [J]. China Mining, 2000, 9(6): 11-15.
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中国资源综合利用年度报告(2014) [EB/OL]. (2014-10-09) [2016-04-01]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201410/t20141009_628795.html.
China National Development and Reform Commission of the PRC. Annual report on comprehensive utilization of resources in China (2014) [EB/OL]. (2014-10-09) [2016-04-01]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201410/t20141009_628795.html.
- [4] 鞠昌华, 朱琳, 朱洪标, 等. 我国农村生活垃圾处置存在的问题及对策 [J]. 安全与环境工程, 2015, 22(4): 99-103.
Ju C H, Zhu L, Zhu H B, et al. Problems and countermeasures for the disposal of rural domestic wastes in China [J]. Safety and Environmental Engineering, 2015, 22(4): 99-103.
- [5] 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]. 2014, 36(12): 96-99.