

我国城市生活垃圾回收利用率测算及其统计数据收集对策

周传斌^{1*}, 吕 彬¹, 施乐荣², 陈朱琦², 刘懿颀¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2. 华中科技大学环境科学与工程学院, 湖北武汉 430074)

【摘要】 我国将生活垃圾分类收集定位为重要民生工程和生态文明建设的工作内容, 并对实施生活垃圾强制分类的示范城市明确提出了“生活垃圾回收利用率”的绩效考核目标。由于城市生活垃圾处理和再生资源回收利用由不同职能部门负责管理, 不同来源的生活垃圾回收利用统计数据未有效整合, 目前还缺乏我国城市生活垃圾回收利用率指标测算的相关研究。本文界定了“生活垃圾回收利用率”的科学内涵, 并以城市建设、再生资源利用等统计资料和物质流分析文献为基础, 初步测算了全国尺度的城市生活垃圾回收利用率。研究表明, 我国2006—2015年的城市生活垃圾回收利用率从12.1%上升至17.0%, 然后又缓慢下降至15.6%, 由于数据缺乏, 该数值可能在-28%~+32%波动。生活垃圾中回收利用量较大的再生资源分别为废纸、废塑料、废钢铁、废玻璃等。本文还分析了目前测算生活垃圾回收利用率的数据不确定性和局限性, 提出了面向生活垃圾分类管理实际评价的统计数据收集对策。

【关键词】 生活垃圾; 分类收集; 再生资源; 回收利用; 评价; 数据

【中图分类号】 X705

【文章编号】 1674-6252 (2018) 03-0070-07

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2018.03.070

生活垃圾分类收集可以降低垃圾后续处理难度, 为再生资源利用行业提供原料, 提升全社会的循环经济水平^[1,2]。日本、德国、美国等发达国家都建立了同国情相适应的生活垃圾分类管理体系^[3-5]。我国从2008年起就选择了北京、上海、广州等8个城市试点生活垃圾分类收集, 但目前尚未建立具有较高覆盖度的城市生活垃圾分类管理模式^[6,7]。2016年底习近平总书记提出“垃圾分类是重要民生工程”, 2017年3月国务院转发了国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部的《生活垃圾分类制度实施方案》, 提出至2020年, 直辖市、省会城市、计划单列市和首批垃圾分类管理试点城市需要全面实施垃圾分类收集^[8]。评价指标是规划、实施和考核生活垃圾分类管理工作的关键。我国现行的生活垃圾分类评价指标包括分类收集知晓率、分类收集参与率、容器配置率、容器完好率、车辆配置率、生活垃圾分类收集率、资源回收率和末端处理率^[6,9]。生活垃圾分类收集的本质在于促进再生资源物质循环利用, 上述指标虽然能够在一定程度上衡量城市生活垃圾分类收集工作开展的水平, 但是难以全面、直观地反映城市垃圾分类管理的实绩。

《生活垃圾分类制度实施方案》中首次创新性提出

“各试点城市的生活垃圾回收利用率要达到35%以上”的刚性指标^[8]。“生活垃圾回收利用率”是一项基于物质回收利用实绩的评价指标, 在引导我国垃圾分类工作“由虚向实”转变方面具有重要作用, 但目前我国还缺乏相关统计数据以完成对该指标的测算。由于我国生活垃圾处理和回收利用管理工作分别由环卫和商务部门负责, 长期以来我国生活垃圾处理、再生资源回收利用等统计数据口径不同, 不同来源数据没有整合^[10]。《中国城市建设统计年鉴(年报)》每年由各城市环境卫生行业主管部门负责收集进入卫生填埋场、焚烧厂、堆肥厂等生活垃圾处理设施的垃圾重量, 每年报送生活垃圾清运量、卫生填埋处置量、焚烧处理量、堆肥处理量等数据^[11]。《中国再生资源行业发展报告》每年由商务和经贸主管部门、行业协会负责数据收集, 数据来源主要是利废企业和进出口海关, 统计废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料、废弃电器电子产品、废电池、废玻璃等再生资源的利用量、进口量等数据^[12]。由于再生资源利用企业具有跨城市、跨省份回收的特点, 目前的数据还无法区分不同省、市之间以及城乡之间的再生资源交换量。另外, 利废企业仅上报利废总量, 没有将生活源、工业源、其

基金项目: 国家自然科学基金(71533004); 国家重点研发计划(2016YFC0502804); 中国科学院青年促进会(2017061)。

* 作者简介: 周传斌(1981—), 男, 副研究员, 博士, 主要研究方向为废弃物资源化与城市代谢, E-mail: cbzhou@rcees.ac.cn。

他来源的再生资源利用量分开统计, 因此也难以直接获得测算“生活垃圾回收利用率”最重要的数据——“生活源”的再生资源回收利用量。

城市环卫系统和再生资源系统的“两网融合”运行模式正在大力推动^[13], 其中不同部门的数据采集、统计和分析也应同步“融合”, 为科学推动和评价我国生活垃圾分类管理工作提供数据支撑和评价依据。本文界定了“生活垃圾回收利用率”的科学内涵, 并以城市建设、再生资源利用等统计资料和物质流分析文献为基础, 对全国尺度 2006—2015 年的城市生活垃圾回收利用率进行初步测算, 并提出面向垃圾分类管理实绩评价的统计数据收集对策。

1 研究方法

1.1 生活垃圾回收利用的内涵界定

我国《固体废物污染环境防治法》释义中指出: “生活垃圾是指人们在日常生活、工作中产生的废物, 以及为人们日常生活提供服务的餐饮业、宾馆、招待所、车站、码头、医院、商店等在提供社会服务中产生的各类固体废物”^[14]。在“两网融合”背景下的生活垃圾应包含: ①进入填埋场、焚烧厂、堆肥厂等集中处理设施, 或被简易处置的生活垃圾; ②人们生活中产生和利用的可再生资源(也称为可回收物), 包括废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料、废弃电器电子产品、废电池、废玻璃、废旧纺织品等。我国的《固体废物污染环境防治法》释义中虽然没有直接说明“回收利用”的内涵, 但在释义“资源化”的内容中提到“使之转化为可以利用的二次原料或再生资源”。世界银行(World Bank)、美国环境署(USEPA)将生活垃圾堆肥和废弃材料回收作为资源化利用类型^[3,15]。据此, 生活垃圾回收利用可定义为经生物、物理、化学转化后作为二次原料的生活垃圾处理, 包括生活源再生资源回收和有机垃圾生物处理及利用。

1.2 生活垃圾统计数据来源

本研究选择全国为研究尺度, 研究年限为 2006—2015 年, 使用的数据包括各职能部门统计数据^[11,12]和物质流分析领域相关的科技文献。

(1)《中国再生资源行业发展报告》: 提供废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料、废弃电器电子产品、废电池、废玻璃等再生资源的利用量、进口量等年度数据。废弃电器电子产品利用量的数据一般采集于拆解利用企业, 拆解后的材料流向资源再生终端企业, 实际已经计入废塑料、废金属、废玻璃再生资源的统计数据中, 本研究未做计算。我国自 2017 年起才开始统计废旧纺织品回收情况, 本文仅在讨论部分对其进行了说明。

(2)《中国城市建设统计年鉴(年报)》: 提供生活垃圾清运量、卫生填埋处置量、焚烧处理量、堆肥处理量等数据。未清运的生活垃圾量、餐饮垃圾产生和处理

量等数据目前还未纳入统计范围, 故本文的计算结果中未计入。

(3)物质流分析(material flow analysis)科技文献: 为厘清生活源再生资源利用量的比例系数, 对科技文献中我国废钢铁、废铜、废铝、废铅的物质流研究结果进行了分析(见表 1)。物质流研究综合使用统计数据、局地调研、模型(如 lifespan)、经验参数等方法, 是对现有统计数据的补充。Wang 等(2017)的研究表明, 2012 年我国回收的报废钢铁产品(end-of-life products)来自建筑垃圾、工业废弃装备、废旧车辆、家庭消费、其他来源, 生活源废钢铁回收利用量占废钢铁社会采购量的 11.1%^[16]。Graedel 等(2004)的研究表明, 1994 年我国生活源铜废弃物回收利用量为 15 万吨, 占铜废弃物总回收利用量的 23.4%^[17]。Liu and Müller(2013)的研究表明, 2008 年我国生活源铝废弃物回收利用量为 90 万吨, 占铝废弃物总回收利用量的 20.9%^[18]。生活源铅废弃物主要来自铅酸电池和 CRT 显示器。据估算, 2002 年我国铅酸电池和 CRT 显示器废铅的回收利用量分别为 10.1 万吨和 1.5 万吨^[19,20], 占当年再生铅产量的 68.2%(中国物资再生协会, 2013)。假定生活源铅酸电池和 CRT 显示器占 50%, 则生活源铅废弃物回收利用量占再生铅产量的 34.1%。另外, 废锌在我国有色金属回收中虽然也很重要, 但是废锌的回收利用主要在采矿和加工制造阶段^[21,22], 故在本研究中未计入。

表 1 生活源钢铁和有色金属废弃物占再生资源回收量比例系数

再生资源类型	生活源占再生资源回收量比例	参考资料
废钢铁	11.1%	[16]
废铜	23.4%	[17]
废铝	20.9%	[18]
废铅	34.1%	[19, 20]

1.3 数据分析方法

用于计算生活垃圾回收利用率的数据构成见图 1。图中的虚线框图是目前职能部门和相关行业协会尚未定期采集的数据, 本文做以下假设: ①计算当年回收利用量不考虑存量的增减。②由于未进入城市生活垃圾处理设施的垃圾量和进入低、小、散回收作坊的再生资源量目前都缺乏统计数据, 因此在计算生活垃圾产生量和回收利用量时不计入此部分。③我国废玻璃、废塑料、废纸等其他再生资源类型目前未见有物质流分析的科技文献, 参考部分城市的现状调查数据^[13], 假定生活源回收利用的废玻璃、废塑料、废纸占总回收利用量的 50%。④假定来自城市的生活源再生资源回收利用量占 70%。⑤本研究进行了数据的不确定性分析。首先分析废钢铁、废铜、废铝、废铅、废塑料、废纸、废玻璃的生活源比例系数和城市再生资源比例系数等单一参数值在 $\pm 20\%$ 范围内波动下对生活垃圾回收利用率指标的影响。然后

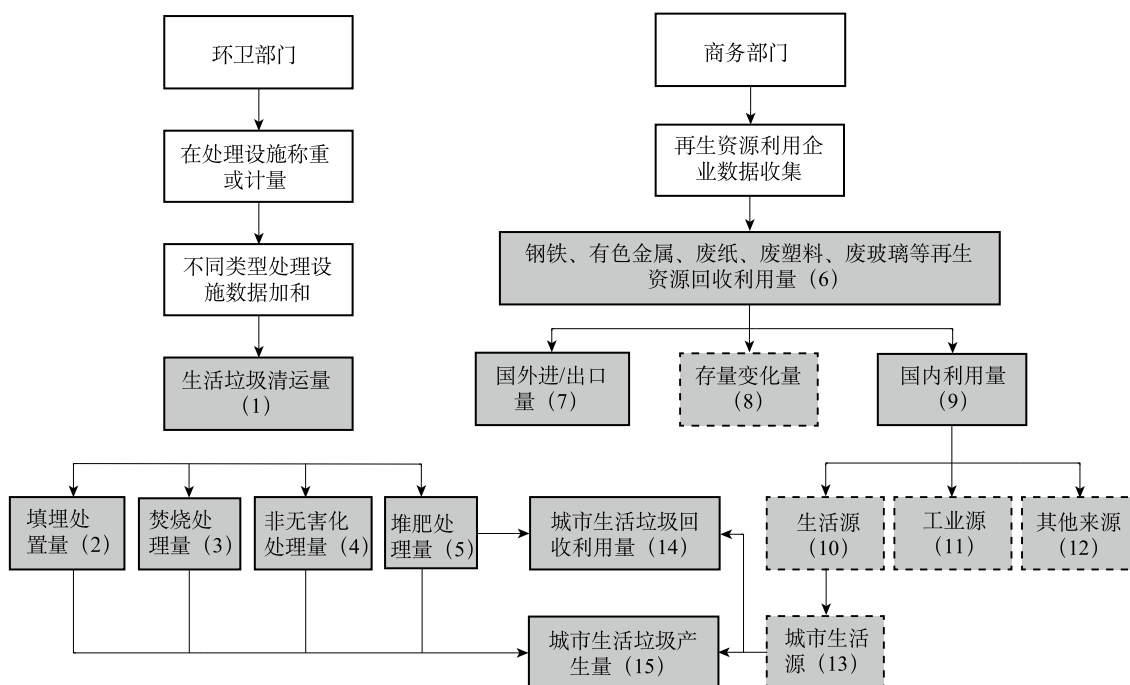


图1 生活垃圾回收利用率测算的统计数据构成

对假定的参数（铅废弃物、废纸、废塑料、废玻璃等再生资源的生活源回收比例系数和城市再生资源比例系数）同时取最低值（-20%）和最高值（+20%）时生活垃圾回收利用率指标的波动范围。本研究的数据和图像处理使用 Excel 2007 完成。

采用式（1）、式（2）测算我国生活垃圾回收利用率。

$$R = \frac{M_{\text{compost}} + \sum_{i=1}^n M_i}{M_{\text{generate}} + \sum_{i=1}^n M_i} \quad (1)$$

$$M_{\text{generate}} = M_{\text{landfill}} + M_{\text{incineration}} + M_{\text{compost}} + M_{\text{untreated}} \quad (2)$$

式中， R 为某年生活垃圾回收利用率； M_{landfill} 为卫生填埋处置量； $M_{\text{incineration}}$ 为焚烧处理量； M_{compost} 为堆肥处理量； $M_{\text{untreated}}$ 为非无害化处置量； M_{generate} 为生活垃圾清运量；数据来源为《中国城市建设统计年鉴》； M_i 为生活源中某类生活垃圾的回收利用率； $i=1 \sim 7$ 分别为 1 废钢铁、2 废铜、3 废铝、4 废铅、5 废塑料、6 废纸、7 废玻璃；在本研究中 n 取 7； M_i 的取值方法见 1.2 中的说明。

2 结果与分析

2.1 我国生活垃圾回收利用率分析

2006—2015 年我国各类生活垃圾回收利用率见图 2。10 年间我国生活垃圾回收利用量为 2 742.7 万 ~ 4 792.1 万 t，2006—2011 年增长迅速，2012—2013 年年总回收利用率略为下降后趋于稳定。回收利用率较大的生活垃圾类型分别为废纸、废塑料、废钢铁和废玻璃，2015 年的回收利用率分别为 2 416 万 t、900 万 t、454 万 t、425 万 t，分别占当年生活垃圾回收总量的

50.4%、18.8%、9.5%、8.9%，共占 87.5%。从 2006 年至 2015 年我国各类生活垃圾回收利用率的变化趋势看：废铅、废塑料、废铝增长最快，10 年间的年平均增长率分别为 19%、12%、11%；其次是废纸、废铜、堆肥，为 7%~10%；废钢铁和废玻璃回收则明显滞后，10 年间的年平均增长率分别为 0.7% 和 -0.1%，其中有 4 个年份呈现负增长。城市产生的再生资源回收量如按 70% 估算，则我国城市生活垃圾回收利用率修正为 1 919.9 万 ~ 3 354.5 万 t/a。

2.2 城市生活垃圾焚烧处理量和卫生填埋处置量

2011—2015 年我国城市生活垃圾的焚烧处理量、卫生填埋处置量、非无害化处置量见图 3。10 年间我国生活垃圾清运量为 14 841.3 万 ~ 19 141.9 万 t，卫生填埋处置、焚烧处理、非无害化处置总量为 14 553.4 万 ~ 18 787.5 万 t，呈现快速增长趋势，年平均增长率为 2.9%。在生活垃圾处理处置方式中，垃圾填埋仍然是最主要的处理方式，占 61.1%；垃圾焚烧厂 10 年间快速增长，生活垃圾年焚烧处理量增长了 5.4 倍；非无害化处置量逐年下降，以每年 18% 的速度下降，至 2015 年仅占生活垃圾处置量的 6%。

2.3 城市生活垃圾回收利用率测算

根据 2.1 和 2.2 的分析，按本文对生活垃圾的界定，10 年间我国城市生活垃圾的总产生量为 1.65 亿 ~ 2.22 亿 t，据此测算，2011—2015 年我国生活垃圾回收利用率如图 4 所示。总体而言，我国 2006—2015 年的城市生活垃圾回收利用率从 12.1% 上升至 17.0%（2006—2011

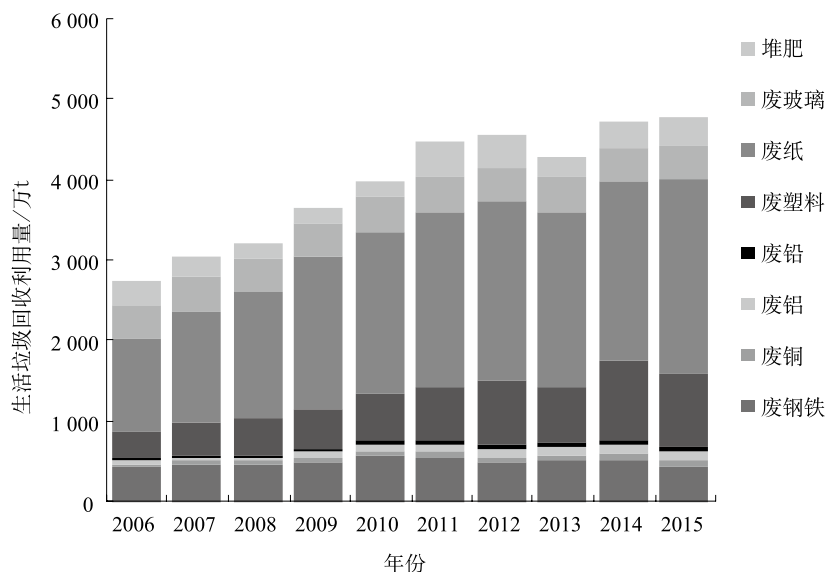


图2 我国不同类型生活垃圾的回收利用量 (2006—2015年)

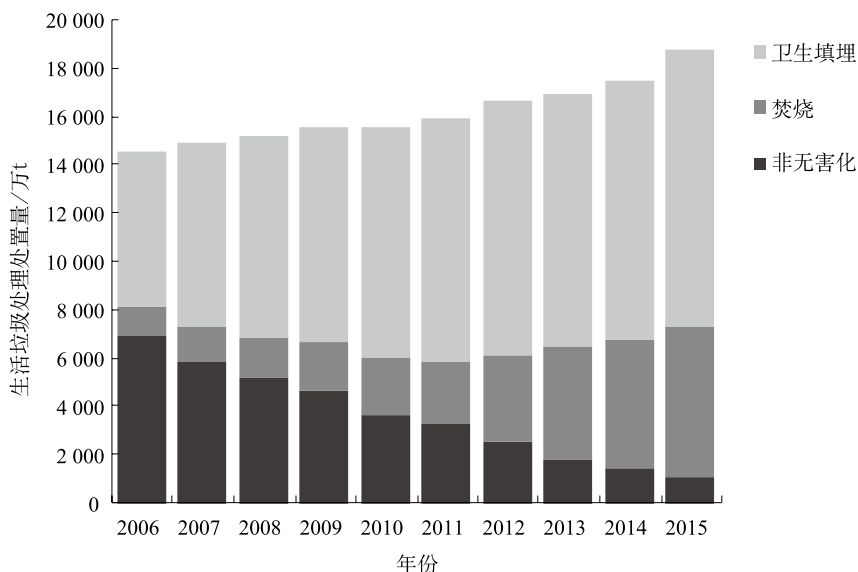


图3 我国生活垃圾的卫生填埋处置、焚烧处理和非无害化处置量 (2006—2015年)

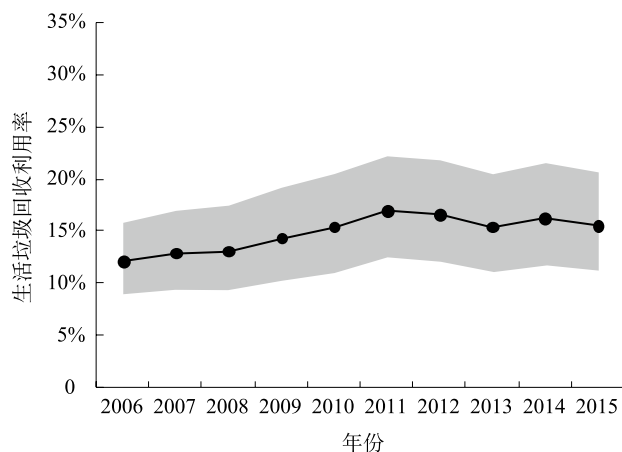


图4 我国生活垃圾回收利用率测算结果 (2006—2015年)

年), 最近 5 年呈现出略为下降的趋势, 至 2015 年生活垃圾回收利用率下降至 15.6%。从城市生活垃圾回收利用率的总体水平看, 目前全国平均生活垃圾回收利用率距《生活垃圾分类制度实施方案》中提出的“实行生活垃圾强制分类的城市 2020 年达到 35%”的目标还有差距。近 5 年生活垃圾回收利用率的下降趋势可能有两个方面的原因: ①虽然我国再生资源回收量略有上升, 但是进入填埋场、焚烧厂的垃圾处理处置量增长速度更快; ②钢铁、玻璃等大宗再生资源受到原材料价格、回收成本等方面的影响, 近几年的回收利用量呈现下降趋势。

由于本研究对铅废弃物、废纸、废塑料、废玻璃等再生资源的生活源回收比例系数假定为 50%, 对城市产生的再生资源比例假定为 70%, 研究结果可能具有一定的不确定性。因此, 本文进一步分析了上述参数在 $\pm 20\%$ 范围内波动下, 对生活垃圾回收利用率的影响 (图 4 中的灰色范围)。结果表明, 废塑料、废纸、废玻璃等再生资源的生活源比例在 $\pm 20\%$ 范围内波动下, 2015 年全国城市生活垃圾回收利用率在 11.2%~20.6% 范围内变化, 对生活垃圾回收利用率计算结果的影响为 $-28\%\sim+32\%$ 。表 2 进一步分析了假定每项计算参数在 $\pm 20\%$ 范围内波动下对城市生活垃圾回收利用率计算结果的不确定性影响。结果表明, 城市再生资源比例系数对计算结果的影响幅度最大, 在 $-1.86\%\sim2.40\%$ 范围内波动; 生活源再生资源比例系数的不确定性影响大小分别为废纸>废钢铁>废玻璃>废铝>废铜>废铅。

算结果的影响幅度最大, 在 $-1.86\%\sim2.40\%$ 范围内波动; 生活源再生资源比例系数的不确定性影响大小分别为废纸>废钢铁>废玻璃>废铝>废铜>废铅。

3 讨论

3.1 数据不确定性分析

由于数据来源缺乏, 对本研究结果的不确定性分析如下: ①再生资源回收利用中生活源的比例系数的不确定性。本文假定铅废弃物、废纸、废塑料、废玻璃的生活源占 50%, 该比例系数在 $\pm 20\%$ 范围内波动 (该比例为 40%~60%), 对生活垃圾回收利用率指标的影响为 $-28\%\sim+32\%$ 。本文参考了不同年份的物质流分析的科技文献确定钢铁和有色金属的生活源比例系数, 也可

表2 生活源和城市源再生资源比例系数波动对垃圾回收利用率计算结果的影响

参数 / 年份		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
假定数值的 -20%											
生活源比例系数	废钢铁	-0.33%	-0.33%	-0.32%	-0.34%	-0.37%	-0.34%	-0.29%	-0.31%	-0.30%	-0.24%
	废铜	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.04%
	废铝	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.05%	-0.06%	-0.06%	-0.06%	-0.07%	-0.06%
	废铅	-0.01%	-0.01%	-0.02%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%
	废塑料	-0.26%	-0.29%	-0.31%	-0.33%	-0.39%	-0.41%	-0.47%	-0.41%	-0.56%	-0.48%
	废纸	-0.85%	-0.99%	-1.10%	-1.26%	-1.31%	-1.33%	-1.33%	-1.31%	-1.26%	-1.30%
	废玻璃	-0.32%	-0.31%	-0.30%	-0.28%	-0.28%	-0.27%	-0.25%	-0.25%	-0.24%	-0.23%
城市再生资源比例系数		-1.86%	-2.04%	-2.16%	-2.35%	-2.51%	-2.52%	-2.51%	-2.45%	-2.54%	-2.43%
参数 / 年份		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
假定数值的 +20%											
生活源比例系数	废钢铁	0.33%	0.33%	0.32%	0.33%	0.37%	0.34%	0.29%	0.30%	0.29%	0.24%
	废铜	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%
	废铝	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.05%	0.06%	0.06%	0.06%	0.07%	0.06%
	废铅	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%
	废塑料	0.26%	0.28%	0.31%	0.33%	0.38%	0.41%	0.46%	0.40%	0.56%	0.48%
	废纸	0.83%	0.97%	1.07%	1.22%	1.27%	1.29%	1.29%	1.27%	1.22%	1.26%
	废玻璃	0.32%	0.30%	0.30%	0.28%	0.27%	0.27%	0.25%	0.25%	0.24%	0.23%
城市再生资源比例系数		1.79%	1.95%	2.05%	2.23%	2.37%	2.38%	2.37%	2.32%	2.40%	2.29%

能对结果的准确性有一定影响。②物质流分析文献结果的不确定性。物质流分析往往基于统计资料、行业资料、模型计算或局地调查数据分析，在全国尺度的研究中，往往也会具有一定的不确定性。③城乡生活垃圾统计数据的不确定性。本研究的范围是城市生活垃圾，而近年来我国城乡环卫一体化进程加速，农村生活垃圾通过“村收—镇转—县市处理”系统运输到集中处理厂处理，因此部分城市上报的城市生活垃圾处理数据实际是包括一定的农村生活垃圾和存量垃圾的。另外，我国农村再生资源回收体系也一直存在，对城市、农村不同来源的再生资源回收量也很难精确地分离。本文假定生活源的再生资源有 70% 来自城市，该参数的假定对垃圾回收利用率的结果影响幅度最大。④废旧纺织品数据缺乏的不确定性。我国 2016 年废旧纺织品回收量约为 270 万 t^[23]，对当年全国生活垃圾回收利用率的影响可能约为 0.1%。⑤再生资源存量变化的不确定性。废钢铁、废有色等再生资源生产对国际一次原材料价格的变动非常敏感，企业可能在价格高的年份增产、在价格低的年份减产，因此采用当年的利用量数据和再生材料产量数据去评估当年的“回收利用”水平，也会存在一定的误差。⑥垃圾生物处理和焚烧处理数据的不确定性。《中国城市建设统计年鉴》2010 年统计堆肥处理量，而 2011 年起将“堆肥”修改为“其他”，这可能是考虑到我国堆肥厂、综合处理厂、餐厨垃圾处理厂等处理方式。无论上述哪种方式，数据统计的是进厂量，处理过程中仍然

会有一定量不能处理的垃圾排放回到填埋场或焚烧厂处置，因此可能存在高估堆肥量的问题。我国有部分焚烧厂对焚烧灰渣进行了资源化利用（如制砖），按照《固体废物污染环境防治法》对资源化的释义，焚烧灰渣利用应属于资源化范畴，但是我国目前对灰渣利用量还缺乏统计数据。

3.2 我国生活垃圾回收利用率水平比较

本研究表明，我国 2006—2015 年的生活垃圾回收利用率呈现出先增后降趋势，2015 年为 15.6%（可能在 11.2%~20.6% 变化）。世界银行的报告显示，全球生活垃圾回收利用（包括再生资源回收和堆肥）的平均水平约为 26%，其中高收入国家的平均水平在 33%^[15]；美国近 10 年来生活垃圾的回收利用率（包括再生资源回收和堆肥）的水平为 34%~35%^[3]。仅比较生活垃圾回收利用率水平，目前我国和美国等发达国家之间还有一定差距。其原因可能有以下方面：①同回收制度有关，如美国的路边回收制度（curbside recycling）中包含的可回收垃圾种类较多^[24]。而我国目前的生活垃圾回收利用主要是依靠废品回收，废弃物回收的品种相对较少。②近年来，钢材、玻璃等原材料的价格不断下降，同时受土地租金、人力成本、期望收入等多重因素的影响，我国城市生活垃圾回收的成本也在不断提高^[12]。③我国城市生活垃圾中的可回收垃圾比例低于发达国家。例如，我国生活垃圾组分中废金属、废玻璃、废纸、废塑料等可

回收垃圾比例仅分别为 1%、2%、8%、10%^[25]；而我国垃圾填埋场中的可回收垃圾比例也远低于欧美发达国家^[26]。从目前的回收利用量和水平看，未来我国提高生活垃圾回收利用率的重点应在废纺织品、废玻璃、废塑料包装、有机易腐垃圾等产量大、现状回收利用率相对较低的生活垃圾上。

3.3 我国生活垃圾分类实绩评价的数据收集对策

生活垃圾领域的统计数据收集、数据质量、数据精度等是普遍存在的难题。例如，美国 SEPA 官方公布的生活垃圾产量数据比哥伦比亚大学定期发布的数据相差了约 1 倍^[3,27]。收集和分析生活垃圾数据也是一项创新性和系统性都很强的工作，需要政府部门、科研单位、企业和社会团体的共同参与，尽量消除数据的不确定性，提高数据质量。本文对提高“生活垃圾回收利用率”测算的数据质量提出以下对策建议：

(1) 应在我国《固体废物污染环境防治法》和生活垃圾管理条例的框架下，进一步明确“城市生活垃圾回收利用率”指标的内涵和计算方法。尽快开展相关试点城市的实际现状评价研究，在此基础上确定以“生活垃圾回收利用率”为指挥棒的不同阶段的垃圾分类管理目标，建立垃圾分类工作任务和“生活垃圾回收利用率”指标达标的对应关系。

(2) 由城市统计局牵头，环卫、商务、发改、工信等部门参与，尽快实现垃圾产生、利用、处理数据的融合。①末端固废企业应提高上报数据的精度，上报包括废弃物来源（省、市）、存量变化量、工业源和生活源的比例等在内的数据，并在城市、省和国家等不同尺度进行加和，以明确不同城市或区域实际利用的垃圾总量。②各城市应做好再生资源区域流动的数据管理，对于跨市转运的再生资源应明确其去向和流量，并纳入数据统计。③逐步完善废旧纺织品、餐厨垃圾、废玻璃等垃圾的产量和回收数据，确保回收利用数据的完整性。④应加强农村生活垃圾的数据收集、上报和管理。尤其是对已纳入“村收、镇转、县市处理”系统的垃圾量，应单独计量统计。这不仅有利于测算试点城市的垃圾回收利用率指标，也能为明确我国农村垃圾处理需求提供可靠的数据支撑。

(3) 创新垃圾数据采集方法。建立全市平台，整合和公开城市社区生活垃圾分类收集服务提供企业（机构）的数据是补充城市垃圾回收利用数据的重要渠道。目前我国很多城市都在试行“垃圾分类投放积分”，按居民投放的可回收垃圾量和类型确定积分补贴，这样在企业的信息平台就会有生活垃圾产生和分类利用的数据。这部分的数据公开不仅可以对计算城市生活垃圾回收利用率进行有效补充，还可以通过数据公开对相关企业和机构的工作成效进行有效监管。

4 结论

本文基于现阶段掌握的城市建设、再生资源利用统计数据和物质流科技文献，测算全国尺度 2006—2015 年的生活垃圾回收利用率从 12.1% 上升至 17.0%，然后又缓慢下降至 15.6%。我国回收利用量较大的生活垃圾类型分别为废纸、废塑料、废钢铁、废玻璃等。由于垃圾分类回收领域的统计数据缺乏，全国城市生活垃圾回收利用率的测算具有一定不确定性，该指标可能在 -28%~+32% 范围内波动，但总体而言，我国的城市生活垃圾回收利用率指标低于欧美发达国家水平。为充分发挥“生活垃圾回收利用率”的指挥棒作用，科学制定生活垃圾分类管理的工作目标和工作任务，我国亟需进一步明晰指标内涵和计算方法，尽快整合不同部门的垃圾统计数据，逐步提高垃圾统计数据采集精度，实现垃圾分类管理领域数据收集和分析的创新。

参考文献

- [1] 陈海滨, 章程, 潘绮. 生活垃圾减量化的综合效益及优先地位分析 [J]. 环境科学与技术, 2006, 29(S1): 84-86.
- [2] XU W, ZHOU C B, LAN Y J, et al. An incentive-based source separation model for sustainable municipal solid waste management in China [J]. Waste Management & Research, 2015, 33(5): 469-476.
- [3] US EPA. Advancing Sustainable Materials Management: 2014 Tables and Figures [R]. Washington DC: EPA, 2016.
- [4] 吕维霞, 杜娟. 日本垃圾分类管理经验及其对中国的启示 [J]. 华中师范大学学报 (人文社会科学版), 2016, 55(1): 39-53.
- [5] 杨帆, 邵超峰, 鞠美庭. 城市垃圾分类的国外经验 [J]. 生态经济, 2016, 32(11): 2-5.
- [6] 邓俊, 徐婉莹, 周传斌. 北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效机制研究 [J]. 环境科学, 2013, 34(1): 395-400.
- [7] 陈绍军, 李如春, 马永斌. 意愿与行为的悖离: 城市居民生活垃圾分类机制研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(9): 168-176.
- [8] 国务院办公厅. 关于转发国家发展改革委住房城乡建设部生活垃圾分类制度实施方案的通知 [EB/OL]. (2017-03-18) [2017-08-20]. http://www.gov.cn/jzhqce/content/2017-03/30/content_5182124.htm
- [9] 广州市市容环境卫生局. 城市生活垃圾分类及其评价标准: CJJ/T102—2004 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [10] 曹占峰. 浅议生活垃圾分类收集评价指标 [J]. 环境卫生工程, 2012, 20(6): 38-39, 44.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城市建设统计年鉴 (2015 年) [M]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- [12] 中国物资再生协会. 中国再生资源行业发展报告 (2015—2016) [M]. 北京: 中国财富出版社, 2016.
- [13] 潘永刚, 周汉城, 唐艳菊. 两网融合——生活垃圾减量化和资源化的模式与路径 [R/OL]. 北京: 中国再生资源回收利用协会, [2017-04-14]. <http://opinion.people.com.cn/n1/2017/04/14/c1003-29212058.html>.
- [14] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国固体废物污染环境防治法 [M]. 北京: 法律出版社, 2004.
- [15] HOORNWEG D, BHADA-TATA P. What a waste: a global review

- of solid waste management [R]. World Bank Report, 2012.
- [16] WANG P, LI W, KARA S. Cradle-to-cradle modeling of the future steel flow in China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, (117): 45-57.
- [17] GRAEDEL T E, VAN Beers D, BERTRAM M, et al. Multilevel cycle of anthropogenic copper [J]. *Environmental science & technology*, 2004, 38(4): 1242-1252.
- [18] LIU G, MÜLLER D B. Mapping the global journey of anthropogenic aluminum: A trade-linked multilevel material flow analysis [J]. *Environmental science & technology*, 2013, 47(20): 11873-11881.
- [19] MAO J, YANG Z, LU Z. Industrial flow of lead in China [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2007, 17(2): 400-411.
- [20] 王锋. 我国废CRT含铅玻璃回收量预测研究 [D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [21] YAN L, WANG A, CHEN Q, et al. Dynamic material flow analysis of zinc resources in China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, 75: 23-31.
- [22] 张江徽, 陆钟武. 锌再生资源与回收途径及中国再生锌现状 [J]. *资源科学*, 2007, 29(3): 86-93.
- [23] 商务部. 中国再生资源回收行业发展报告 2017 (摘要) [EB/OL]. (2017-05-02) [2017-08-18]. <http://ltfzs.mofcom.gov.cn/article/date/201705/20170502568040.shtml>
- [24] The Recycling Partnership. The 2016 state of curbside report [R]. Falls Church, The Recycling Partnership, 2016.
- [25] CHEN X, GENG Y, FUJITA T. An overview of municipal solid waste management in China [J]. *Waste Management*, 2010, 30: 716-724.
- [26] ZHOU C B, XU W Y, GONG Z, et al. Characteristics and fertilizer effects of the soil-like materials obtained from landfill mining [J]. *Clean—Soil Air Water*, 2015, 43(6): 940-947.
- [27] VAN Haaren R, Themelis N, Goldstein N. The state of garbage in America [J]. *BioCycle*, 2010, 51: 16-23.

Assessment of Municipal Solid Waste Recycling Rate and Its Statistic Data Collecting Strategy in China

ZHOU Chuanbin^{1,*}, LÜ Bin¹, SHI Lerong², CHEN Zhuqi², LIU Yijie¹

(1. State Key Lab of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco- Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Chinese government determined to list municipal solid waste (MSW) source separation as a crucial work to promote people's well-being and eco-city development. Recently, the central government put forward an indicator, known as the municipal solid waste recycling rate, to assess the performance of the local governments who are going to promote MSW source separation. However, MSW was under the governance of several departments in China, the statistics for MSW disposal and MSW recycling are not well integrated, therefore, it's difficult to get an accurate assessment of this indicator at city-level based on current statistics. In this work, the concept of the indicator was defined, and the MSW recycling rate in China between 2006 and 2015 was roughly assessed by use of the MSW disposal data, secondary material recycling and production data, and several material flow analysis literatures. We found that it increased from 12.1% to 17.0%, and then decreased slowly to 15.6% in recent ten year, while the indicator may vary by -28% ~ +32%. The quantities of recycled paper, plastic, metal, and glass were higher than other types of wastes. Recycled quantities of plastic, aluminum, and lead increased much more rapidly than other recyclables; differently, recycled quantities of steel and glass were increased very slowly; while the quantity of landfilled and incinerated MSW was increased fast during the recent ten years. Limitations of current statistics, as well as the strategy on improving data-collecting method, were also discussed in this study.

Keywords: municipal solid waste; source separation; recyclables; recycling; assessment; data