

文章编号: 1007-7588(2014)08-1618-08

城市矿产理论研究综述

王昶, 徐尖, 姚海琳

(中南大学商学院, 长沙 410083)

摘要:城市矿产变废为宝, 可有效替代原生矿, 减少能源消耗, 是重要的战略资源。本文首先回顾了城市矿产的概念发展, 并将其与循环经济、再生资源、固体废弃物3个相近概念做了对比辨析。然后, 从城市矿产资源的发展潜力、开发价值、开发主体行为动机、回收网络以及政策工具5个方面梳理了近年来城市矿产资源理论研究成果。实证及案例研究表明, 城市矿产中含有多种有价值成分并且在城市当中资源蓄积量已达到一定规模。尽管具有显著的生态价值, 但是在现阶段开发城市矿产对个体企业来说并不经济。而经济利益是驱动企业回收行为的主要因素, 因此需要通过构建回收网络以及应用政策工具来协调回收企业的经济利益。最后, 本文指出了现有研究存在的不足之处。

关键词:城市矿产; 资源化利用; 回收利用; 综述

1 引言

在自然资源逐渐枯竭的今天, 城市矿产社会存量却以废弃物形态在不断增加, 城市将是未来最大的资源集中地。经过工业革命以来300多年的开采和利用, 全球80%可工业化利用的矿产资源已经从地下转移到地上, 以垃圾的形式堆积在我们周围, 总量已达数千亿t, 并以每年100亿t以上的速度增长^[1]。城市矿产可以为工业生产提供替代原生资源的再生原料, 也可直接为社会生活提供再生产品。在西方发达国家, 开发“城市矿产”已经成为一个新兴的朝阳产业。美国在开发利用“城市矿产”资源方面, 每年的销售额高达2360亿美元。我国也从2005年开始了循环经济试点, 2006年进行回收体系试点, 2010年开展“城市矿产”基地试点工程。

城市矿产变废为宝, 有效替代原生矿, 减少能源消耗, 是未来支撑经济发展的重要战略资源。这也引发了越来越多的学者关注, 城市矿产理论得到了新的发展。本文将就城市矿产概念发展、城市矿产开发潜力、开发价值、开发主体行为动机、回收网

络及政策工具相关热点研究话题展开梳理, 分析现有文献的研究缺口, 指出未来理论研究的方向。

2 城市矿产的概念界定

2.1 概念提出与发展

“城市矿产”的概念最初来源于20世纪80年代的日本。当时进入工业化后期的日本国内废旧家电日益增多, 为应对金属资源特别是稀贵金属资源匮乏的问题, 回收废旧家电中的有价金属成分变得极具资源战略性和环保紧迫性。1988年, 日本学者南条道夫从金属资源回收的角度首次定义了“城市矿产”的概念。他提出, 把地上积累的工业制品资源看做是可再生的资源, 可称为“城市矿产”^[2]。2006年, 白鸟寿一等提出“人工矿床”的设想, 把可回收的资源蓄积均视为“矿床”^[3]。2010年, 山莫英嗣等将电器、汽车、建筑物等单独废弃物品称为“城市矿石”, 并提出从资源高效利用的角度来看“城市矿石”的概念对于资源贫乏的国家十分关键^[4]。从这些概念的定义来看, “城市矿产”、“城市矿石”等概念更加强调可循环利用的资源本身, 而“人工矿

收稿日期: 2014-03-07; 修订日期: 2014-05-08

基金项目: 国家社会科学基金青年项目: “产业链视域下我国‘城市矿产’产业发展研究”(编号: 13CJY029); 国家社会科学基金: “中国工业化中后期稀有金属资源安全态势与供给保障机制研究”(编号: 13BGL105); 湖南省软科学重点项目: “中国工业化中后期稀有金属资源安全战略研究”(编号: 2013ZK2003); 国家社科基金重大项目: “产能过剩矛盾突出的行业发展趋势和调整化解对策研究”(编号: 13&ZD024)。

作者简介: 王昶, 男, 湖南怀化人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为金属资源战略。E-mail: changw1000@163.com

2014年8月

床”等概念更强调蓄积资源的场所。

在我国,国家发改委、财政部于2010年下发《关于开展城市矿产示范基地建设的通知》后,“城市矿产”概念得以广泛使用。“城市矿产”指的是工业化和城镇化过程产生和蕴藏在废旧机电设备、电线电缆、通讯工具、汽车、家电、电子产品、金属和塑料包装物以及废料中,可循环利用的钢铁、有色金属、稀贵金属、塑料、橡胶等资源,“城市矿产”是对废弃资源再生利用规模化发展的形象比喻^[5]。随着经济、技术的发展,城市矿产的外延将进一步扩大。Brunner和Jones等多名学者指出,要更广泛和综合地理解“城市矿产”,“城市矿产”概念包含的对象不只是材料,还应该包含能源,如冶炼过程中产生的热能^[6,7]。

2.2 城市矿产与相关概念辨析

中国人口众多、资源人均占有量远远低于国际人均水平,“城市矿产”是我国国民经济发展的重要资源。尽管国家建立了多个“城市矿产示范基地”,并进行相关领域立法,但有关“城市矿产”的概念目前尚未形成统一的认识,存在争议,民众对“城市矿产”的认知和实际利用也尚未达到应有水平。下面尝试将城市矿产与相关概念做进一步的比较与辨析。

2.2.1 城市矿产与循环经济 循环经济是指对物质闭环流动性经济的简称,就是把清洁生产和废弃物的综合利用融为一体的经济,本质上是一种生态经济,要求运用生态学规律指导人类社会的经济活动,按照自然生态系统物质循环和能量循环规律重构经济系统,使得经济系统和谐地纳入到自然生态系统的物质循环中,建立起一种新形态的经济。城市矿产是循环经济的重要组成部分,循环经济研究的废弃物利用部分与城市矿产的研究内容在很大程度上相互重叠,因此,关于城市矿产的研究很多散落于以“循环经济”为关键词的相关研究中。

2.2.2 城市矿产与再生资源 再生资源是指在社会生产和生活消费过程中产生的,已经失去原有全部或部分使用价值,经过回收、加工处理,能够使其重新获得使用价值的各种废弃物。城市矿产与再生资源的概念十分相似,二者的区别在于:第一,两个概念侧重的性质不一样。再生资源概念强调的是

废旧资源的自然属性,即可以被二次利用的自然禀赋。城市矿产概念更多着眼于社会属性,强调资源的战略性及开发的环保价值。第二,两个概念侧重的对象不一样。过去开发再生资源,主要以工业废弃物为原料。然而,城市矿产的提出正值城市化进程加速,城市居民消费结构发生重大改变,城市的生活废弃物大量产生。因此,如今开发城市矿产,更多以生活废弃物为原料。

2.2.3 城市矿产与固体废弃物 固体废弃物是指人类在生产、消费、生活等活动过程中产生的固态、半固态废弃物质。固体废弃物俗称垃圾,是废弃物的一种形态。城市矿产是具有经济价值、环境价值和社会价值的资源,并不是所有固体废弃物在现有的技术条件下都能转变为城市矿产资源开发利用。但随着科学技术的进步,将有越来越多的固体废弃物转化为城市矿产。

3 城市矿产开发的理论与方法研究

3.1 城市矿产开发潜力理论和方法研究

3.1.1 城市矿产构成的理论研究 废旧机电设备、电线电缆和塑料包装物中,含有可循环利用的钢铁、有色金属、塑料、橡胶等资源,这类废弃物中含有材料相对单一,成分易确定。而电子废弃物中含有的金属成分种类复杂、价值高、开发难度大。随着近年来电子废弃物增多,电子废弃物中所含金属成分的问题逐渐引起学者关注。据测算,电子废弃物中约含有钢铁50%,塑料21%和有色金属13%^[8],其中有色金属成分中包含大量稀有贵金属。根据日本学者的测算,电子废弃物中含有金、银、钨、硼、铬、铜、镍、铅、镉、锡、锑、锌、钴、铈、铝、铁、锂、钽、铂、稀土等资源,并分别测算了这些金属在日本的储量。其中金和银的数量分别为6 800t和60 000t,储量高于南非等自然资源丰富的国家^[9]。

3.1.2 城市矿产社会蓄积量计量的方法研究 现有文献没有明确界定城市矿产社会蓄积量(stocks)的具体概念。岳强等认为,城市矿产的社会蓄积量可以概括为,正在使用的建筑、基础设施、交通工具、机械设备、电子产品等物品中包含的金属、塑料等资源^[10]。现有蓄积量研究使用的方法主要是物质流分析方法:通过对经济活动中物质流动的流量和路径的分析,以建立物质投入和产出账户。具体的计

算方法又分为“由上至下”计算方法和“由下至上”计算方法。“由上至下”计算方法(top-down estimation),是指通过估计流入量与流出量的差来计算蓄积量的方法。“由下至上”计算方法(bottom-up estimation),是指先确定某资源的主要用途,通过估计最终产品中资源的含量最后加总确定社会的资源总蓄积量^[11]。两种方法的比较如表1所示。

运用以上成熟的计算方法,许多学者都已经测算出本国的某些金属的社会蓄积量。如岳强等计算得到了我国2006–2009年期间铝的社会蓄积量变化情况:到2009年铝社会蓄积量估测达到了8 890万t^[10]。Beers等测算出目前澳大利亚每年大约产出废铜7.2万t、废锌5.7万t。且废铜的回收率为70%,废锌回收率为40%^[13]。

3.1.3 城市矿产的分布特点研究 为了确定城市矿产资源的分布,大多运用物质流方法。从地域类型来看,Wallsten等的研究结果表明城市矿产的集中地是在城市中心^[12]。根据Beers等的测算澳大利亚的废旧铜和锌有70%~75%来源于城市地区^[13]。回收城市矿产的理想地点包括整修中的建筑物、城市的基础设施、交通部门;具体包括家庭中的水管、工业建筑的电力设施、配电变压器、机动车、轻轨设施、电缆等^[13]。从国家类型来看,城市矿产在发达国家更为富集。然而,城市矿产在亚洲发展中国家增长最快,尤其是中国和印度。一方面这些新兴经济体自身快速发展进而产生大量电子废弃物。据中国家用电器研究院估计,2006–2016年中国家电报废量逐年递增约20%^[14]。另一方面发达国家的倾倒也导致电子废弃物的快速增加,Ketai估计全球每小时

产生4 000t电子废弃物,其中80%被出口到亚洲,中国接收了其中的90%^[15]。

3.2 城市矿产开发价值理论研究

3.2.1 城市矿产开发经济价值理论研究 已有研究表明,城市矿产资源的开发在现阶段的经济性并不乐观。Krook等分析了回收瑞典电缆中铜和铝的经济性。分析结果表明,回收城市地区的电缆成本是(2~5)欧元/m电缆,收益仅为(3~16)欧元/m电缆。农村地区电缆由于含铜量较高,收益可达(5~60)欧元/m,成本与城市地区一致,总体而言在现有价格水平下对于企业来说回收仍然是不经济^[16]。来自重庆的案例研究也表明,回收建筑物中的金属、橡胶等资源在现阶段初始投资巨大,回收面临风险^[17]。为了解释这种回收利用不经济的现象,学者们对影响回收利用的各种因素进行了探讨。影响城市矿产资源开发经济性的因素主要包括以下几个方面:①回收网络因素。学者们将回收利用产业链初步分为回收阶段和加工利用阶段,多名学者指出回收阶段只是废弃物从产生源到加工厂的空間转换,并不创造价值,回收阶段的费用要靠加工利用阶段的利润来补偿。回收阶段费用的降低关键在于建立回收共生网络^[16]。共生网络的建立能使参与企业获取集群经济效益、规模经济和范围经济效益进而降低回收成本,使回收有利可图^[18];②经济因素。第一,相关要素的费用影响。案例研究表明,二氧化碳的价格、废物转化效率、电力价格、投资和运营费用都会影响回收的经济性^[19]。第二,初始投资的影响。回收工厂的初始投资越大,产品附加值越高,盈利性越强,同时环境效益也越好^[20,21];③政策因素。政策措施将对城市矿产回收的经济性产生很

表1 蓄积量两种算法的比较

Table 1 The application of the estimation methods for urban mining stocks

	“由上至下”方法	“由下至上”方法
计算公式	$S_t = \sum (Inflow_t - Outflow_t) + S_0$	$S = \sum I_i C_i$
参数含义	S_t 为 t 时间的社会蓄积量; $Inflow_t$ 为某段时间内流入社会的资源量; $Outflow_t$ 为某段时间内流出社会的资源量; S_0 为原有的社会蓄积量	S 为社会蓄积量; I 为某种最终产品的数量; C 为最终产品中所含的资源数量
方法评价	根据大规模统计数据及估计相关系数估测社会蓄积量,停留在理论上的推演,数据在计算过程中可能发生较大偏差。此外,实际历史上的资源流入量数据有时难以确定	可以具体测算某一地区,某一行业的金属蓄积量,有利于集成开发。但是这种计算会丢失一部分数据。此外,这种方法数据收集工作庞大,且有些部门的数据不易获得

2014年8月

大影响。細田衛士研究表明,在规范的政治制度框架下市场经济能很好地促进材料循环^[22]。Steven Passel也说明了对城市矿产的支持的不同决定了内部回报率的不同^[19];④技术因素。技术水平越高,越能从回收过程中获益。Achillas 比较了不同拆解水平下电子废弃物的收益后指出,拆解得越彻底收益越高^[23]。

3.2.2 城市矿产开发的生态价值理论研究 学者们普遍使用生命周期评价法来定量评价城市矿产开发的生态价值,即综合评定产品在生命周期内的环境影响。已有研究表明,与原生矿开采相比城市矿产资源的开发利用具有显著的环境效益:需要的资源更少,排放的污染物更少。日本学者 Yamasue 研究说明了与原生矿相比从笔记本电脑中回收金、银、铜、铁、铝、钼所需要投入的能源及资源更少,仅相当于开发原生矿投入总物质量的 60%,甚至低于尾矿开采的投入物质量^[24]。Yahaya 等基于电消耗量研究了在电子废弃物中回收金的过程中压碎和磨碎这道工序对环境的影响,综合考量各种污染因素后发现,传统制粉工序对环境的负面影响为 399pt,而回收制粉工序对环境的负面影响仅为 1.8pt^[25]。但是,在回收处理过程中的不恰当行为会造成对环境的二次污染。Schluep 指出由于缺少安全指导方针以及合理的回收技术,中印两国回收电子废弃物的地区的空气、土壤、水、灰尘中都含有大量的铅等有害物质,测量的指标值有时甚至超过了标准值的好几倍^[26]。城市矿产的开发目的是环保节能,但是不当的开发手段会造成污染,要减少对环境的负面效应,还需要发展合理、科学的回收方法。

4 城市矿产实证分析研究

4.1 城市矿产回收主体的行为实证研究

城市矿产回收主体主要分为回收企业和居民个体两类,对于不同的回收主体,影响回收行为的主要因素并不一样,学者们进行了分类探讨。

对于回收企业而言,影响回收的最重要的因素是经济性利益。Gottberg 等人的研究表明,回收行为取决于相关费用和可行性^[27]。王兆华等的研究也证实了电视、冰箱、洗衣机、空调、电脑之所以比其他产品回收率更高是因为企业能从中获得更大的

收益^[28]。其次,政策性因素也发挥着重要作用^[27]。王兆华指出,回收法规与环境政策的潜在惩罚性对企业的回收行为具有重要的影响作用^[28]。而付小勇等的研究也表明:当企业构建逆向物流的成本大于收益及基金补贴之和时,政府采取管制策略的概率越大,企业构建逆向物流的可能性也越大^[29]。其他影响因素还包括产业链压力、回收配套设施等。

对于居民而言,回收意识是影响回收行为最为重要的关键因素。韩国^[30]、德国^[31]、瑞典^[31]等多个国家城市的案例分析都证明了这一点。Tonglet 认为,除了回收前的态度(包括回收知识、回收机会和设备)是影响回收行为的最重要因素之外,其他影响因素还包括物理障碍(时间、地点和方便度)、先前的回收经验、对社区的关心程度和回收的效果^[32]。但是对居民环保意识的培养是一个长期的任务,在一些居民回收意识没有建立、回收配套基础设施不完美的国家,回收企业提高服务质量在短期上会促进居民的回收行为,提高回收价格可以在长期上激励居民的回收行为^[33]。

4.2 城市矿产的回收网络构建实证研究

如前所述,构建城市矿产回收网络体系能改善回收利用的经济性。要使多个彼此独立的市场个体形成共生网络,关键在于网络中利益的协调与分配机制。张健指出,利润是将电子废弃物回收网络上各个主体凝聚起来的驱动力,能找到新的利润增长点的环境能成为共生网络核心,当某一环节“独赢”时,共生网络就面临崩溃的风险^[34]。由于回收产业中废弃物具有单价低运输成本高的特点,回收工厂的位置及数量的确定对于回收网络中各企业的利益有重要影响。Fleischmann Mortiz 通过对多个案例的总结发现,构建回收网络的中心任务是确定回收工厂的数量及位置,合理的布局有助于配套物流系统的有效运行^[35]。此外,政府相关政策也协调着利益的分配。Nnoroma 指出对于发展中国家而言,政府态度的转变、出台恰当的环境法律这一因素的影响作用尤为明显^[36]。其他影响因素还包括信息系统的匹配、投资水平和相关技术的发展等^[37]。

各国的实践表明,构建回收网络存在诸多不确定性因素。一些废弃物搜集者未经授权、回收机构缺乏有效的废弃物管理工具及管理人员培训

等^[36],这些障碍因素的存在,使得市场对回收的废弃物数量、废弃物中含有的成分以及回收商品的需求等情况缺乏完全信息,导致回收过程存在大量不确定性。对于回收系统的设计而言,如果不考虑这些不确定性因素的影响,设计的回收体系将没有操作价值^[35]。在发展中国家由于快速的城市化、不公平的经济增长、不健全法律、国际间影响等因素的存在,使得废弃物的管理变得更加复杂^[38]。发展中国家大规模发展城市矿产产业的一个重要障碍因素就在于不正规废弃物搜集者,他们对废弃物的粗放加工造成了城市矿产资源的流失及对环境的巨大污染。Soto分析里约热内卢的实践后指出,在发展中国家通过加强与废物回收者的合作才是构建稳定回收网络的途径^[39]。

5 城市矿产政策分析与应用研究

5.1 城市矿产政策工具研究

当前许多国家都订立了与城市矿产资源开发相关的法律政策,很多文献集中于研究各国的政策实践,介绍各国废弃物管理政策体系。总结各国实践经验,对于城市矿产的管理方法主要有生产者延伸责任制(EPR)、消费者丢弃废弃物时的垃圾收费、购买时预先支付循环费用等^[40]。其中,EPR原则指导下的政策又包括核定产品回收资质、征收原生材料附加税、发放回收补贴、以及颁布填埋禁令等^[36]。

各项政策工具比较如表2所示。

早期各国制定的循环政策主要以行政管制手段为主,通过投入产出约束、技术制约等手段直接干预市场机制。然而随着消费者生态意识日益增强,政策方向也开始调整。Rossem指出EPR概念的出现及普及代表了立法一些新趋势,包括:优先考虑预防性措施而非最终治理方法、强调全生命周期的思想、由命令式的过程管理转向目标导向^[44]。

5.2 城市矿产政策应用效应分析

多个案例及实证结果表明,政策工具能够促进城市矿产的开发。生产者延伸责任制通过规定一个有利于环境的统一标准,促进生产者以及非政府组织在回收利用中的合理行为,有助于正式回收市场的形成^[45,46]。但学者们的研究也表明,城市矿产的开发不能单纯靠政策推动,今天成功运行的循环工业共生体几乎都是依靠自身发展机制建立起来的。Lehtorant通过案例分析得出结论,政策工具没能系统地促进经营者的互利共生行为^[47]。只有能够降低废弃物交易、转移成本的政策才能真正促进城市矿产资源的开发^[48]。

6 结论与建议

本文在明确城市矿产概念的基础上从城市矿产资源的发展潜力、开发价值、开发主体行为动机、回收网络以及政策工具五个方面梳理了近年来城

表2 各项政策工具比较^[41-43]

Table 2 The comparison of different policy instruments

类型	政策工具	政策对象	对循环利用的影响
非经济政策	禁止私自丢弃及强制性分类回收	消费者	直接影响
	回收资质和产品回收率标准	再生资源利用者	直接影响,统一标准限制了企业灵活性
	再生产品的公共采购政策	公共部门	间接影响
	支持回收利用研发活动	公共部门	间接影响
	填埋禁令	垃圾处理者	间接影响
	生产者有责任回收生产产品	产品生产者	直接影响,有效性取决于运作方式
经济政策	消费者预付循环费用	消费者	无影响,减少“高废”产品竞争力
	收费		
	垃圾收费	消费者	直接影响
	押金返还	消费者	直接影响,同时抑制消费
	原材料附加税	产品生产者	直接影响,使企业寻找再生材料
经济政策	填埋税	垃圾处理者	间接影响,但可能导致非法丢弃
	循环补贴	再生资源回收者或利用者	直接影响
	专项拨款(一次性补贴)	再生资源回收者或利用者	间接影响,由于缺乏边际效应
	循环利用信贷	再收资源回收者或利用者	间接影响
	税收减免	再收资源回收者或利用者	直接影响

2014年8月

市矿产资源化利用的理论研究进展。这些研究表明,城市矿产中含有多种有价值成分并且在城市当中资源蓄积量已达到一定规模。尽管理论上开发城市矿产已具备可行性且有显著的生态价值,但是在现阶段开发城市矿产对个体企业来说并不经济,而经济利益是企业回收行为的主要驱动因素。构建合理的回收网络以及有效的政策工具可以降低回收成本,协调回收企业的经济利益,保证回收系统持续运行。

当然,现有文献研究仍未全面。第一,理论界对城市矿产成矿规律缺乏研究。明确成矿规律是加快城市矿产开发利用的理论前提,目前尚待解决的问题包括:对城市矿产成分的测定、社会蓄积量的统筹计量及其时空分布规律的分析、城市矿产影响因素的识别及作用机制的分析、城市矿产对部分原生金属资源的替代效应的研究等;第二,对不同典型区域城市矿产的开发利用模式与管理机制缺乏探索。大都市圈、小城镇、工业园区等不同区域的成矿条件、富集程度及构成特征各不相同。今后的研究需要根据不同区域的特点,有针对性地探索不同典型区域城市矿产的开发利用模式与管理机制,做到因地制宜、因地施策;第三,对城市矿产发展机制问题缺乏统筹考量。现有文献偏重从政策工具角度研究城市矿产开发利用,对市场、政策、社会三种机制的协同作用还缺乏探讨。以上问题的深入研究,将有助于发挥城市矿产的巨大潜力,促进循环社会的形成。

参考文献(References):

- [1] 曲永祥. 解读“城市矿产”[J]. 中国有色金属, 2010, (24): 30-31.
- [2] 南條道夫. 都市鉱山開発-包括的資源観によるリサイクルシステムの位置付け[J]. 東北大学選鉱製錬研究所彙報, 1988, 43(2): 141-152.
- [3] 白鳥寿一, 中村崇. 人工鉱床構想-Reserve to Stock の考え方とその運用に関する提案[J]. 資源と素材, 2006, (122): 325-329.
- [4] 山末英嗣, 南埜良太, 沼田健, 等. 都市鉱山に含まれる元素素材の関与物質総量を用いたリサイクル性評価手法の開発~都市鉱石TMRの枠組み構築~[J]. 日本金属学会誌, 2010, 74(11): 718-723.
- [5] 国家发展改革委, 财政部. 关于开展城市矿产示范基地建设的通知[EB/OL]. <http://www.ahpc.gov.cn/upload/xxnr/1002320122287780.pdf>, 2010-05-17/2014-03-07.
- [6] Brunner P H. Urban mining: A contribution to reindustrializing the city[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2011, 15(3): 339-341.
- [7] Jones P T, Geysen D, Tieleman Y, et al. Enhanced landfill mining in view of multiple resource recovery: A critical review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 55: 45-55.
- [8] Widmer R, Oswald-Krapf H, Sinha-Khetriwal D. Global perspectives on e-waste[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2005, 25(5): 436-458.
- [9] 原田幸明, 井島清, 島田正典, 等. 都市鉱山蓄積ポテンシャルの推定[J]. 日本金属学会誌, 2009, 73(3): 151-160.
- [10] 岳强, 陆钟武. 我国铝的社会蓄积量分析[J]. 东北大学学报, 2011, 32(7): 944-947.
- [11] Wang J L, Graedel T E. Aluminum in-use stocks in China: A bottom-up study[J]. *Waste management*, 2010, 12(1): 66-82.
- [12] Wallsten B, Carlsson A, Frändegård P, et al. To prospect an urban mine assessing the metal recovery potential of infrastructure “cold spots” in Norrköping, Sweden[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 15: 103-111.
- [13] Beers D V, Kapur A, Graedel T E. Copper and zinc recycling in Australia: Potential quantities and policy options[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(8-9): 862-877.
- [14] 何逸林, 廖小红, 田晖. 我国家用电器理论报废量测算方法研究及结果分析[J]. 家电科技, 2010, (10): 76-77.
- [15] He K T, Li L, Ding W Y. Research on recovery logistics network of waste electronic and electrical equipment in China[J]. *Industrial Electronics and Applications*, 2008, 3: 1797-1802.
- [16] Krook J, Eklund M, Carlsson A, et al. Urban Mining: Prospecting for Metals in the Invisible City [C]. TNO ERSCP-EMSU Conference, Delft University of Technology, The Hague University of Applied Sciences, 2010.
- [17] Zhao W, Leeftink R B, Rotter V S. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-the case of Chongqing[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, 54(6): 377-389.
- [18] 靳现凯, 刘宇. 电子废弃物资源化共生网络生成机理分析[J]. 生态经济, 2011, (1): 116-119.
- [19] Passel S V, Dubois M, Eyckmans J, et al. The economics of enhanced landfill mining: Private and societal performance drivers [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 55: 92-102.
- [20] Coelho A, Brito J D. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal part I: Location, materials, technology and economic analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 39: 338-352.

- [21] Jung S, Dodbiba G, Chae S H, et al. A novel approach for evaluating the performance of eco-industrial park pilot projects[J]. *Journal of cleaner Production*, 2013, 39: 50–59.
- [22] 細田衛士. 廃棄物の処理と素材リサイクルの経済学的基礎[J]. *Journal of MMIJ*, 2007, 123(12): 582–590.
- [23] Achillas C, Aidonis D, Vlachokostas C, et al. Depth of manual dismantling analysis: A cost–benefit approach[J]. *Waste Management*, 2013, 33(4): 948–956.
- [24] Yamasue E, Minamino R. Novel evaluation method of elemental recyclability from urban mine[J]. *The Japan Institute of Metals*, 2009, 50(6): 1536–1540.
- [25] Yahaya N R, Murad M. Environmental impact of electricity consumption in crushing and grinding processes of traditional and urban gold mining by using Life Cycle Assessment (LCA) [J]. *Iranica Journal of Energy Environment*, 2012, 3: 66–73.
- [26] Schluep S, Schluep M, Renaud F G, et al. A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2010, 30(1): 28–41.
- [27] Gottberg A, Morris J. Producer responsibility, waste minimisation and the WEEE directive[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 17(2): 162–166.
- [28] 王兆华, 尹建华. 我国家电企业电子废弃物回收行为影响因素及特征分析[J]. *管理世界*, 2008, (4): 175–176.
- [29] 付小勇, 朱庆华. 中国版WEEE法规实施中政府和电子企业演化博弈分析[J]. *管理评论*, 2011, 23(10): 171–176.
- [30] Lee S, Paik H S. Korean household waste management and recycling behavior[J]. *Building and Environment*, 2011, 46: 1159–1166.
- [31] Zaman A U, Lehmann S. Urban growth and waste management optimization towards ‘zero waste city’ [J]. *City, Culture and Society*, 2011, 2(4): 177–187.
- [32] Tonglet M, Phillips P S, Read A D. Using the theory of planned behaviour to investigate the determinants of recycling behavior[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2004, 41(3): 191–214.
- [33] 钟永光, 钱颖, 尹凤福, 等. 激励居民参与环保化回收废弃家电及电子产品的系统动力学模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(4): 709–722.
- [34] 张健, 徐峰, 葛新权. WEEE资源化共生网络收益分析[J]. *生态经济*, 2009, (7): 75–77.
- [35] Fleischmann M, Krikke H R, Dekker R, et al. A characterisation of logistics networks for product recovery[J]. *Omega*, 2000, 28(6): 653–666.
- [36] Nnoroma I C, Osibanjo O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2008, 52(6): 843–858.
- [37] Zamorano M, Grindlay A, Molero E, et al. Diagnosis and proposals for waste management in industrial areas in the service sector: Case study in the metropolitan area of Granada (Spain) [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(17–18): 1946–1955.
- [38] Marshall R E, Farahbakhsh K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries[J]. *Waste Management*, 2013, 33(4): 988–1003.
- [39] Tirado-Soto M M, Zamberlan F L. Networks of recyclable material waste-picker’s cooperatives: An alternative for the solid waste management in the city of Rio de Janeiro[J]. *Waste Management*, 2013, 33(4): 1004–1012.
- [40] Ongondo F O, Williams I D, Cherrett T J. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes[J]. *Waste Management*, 2011, 31: 714–730.
- [41] 孙广生. 循环经济的运行机制与发展战略: 基于产业链视角的分析[M]. 北京: 中国经济出版社, 2013.
- [42] 周宏春. 变废为宝: 中国资源再生产业与政策研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [43] Shinichiro O, Hidetoshi Y. A general equilibrium analysis of waste management policy in Japan[J]. *Hitotsubashi Journal of Economics*, 2005, 46(1): 111–134.
- [44] Lindhqvist T, Tojo N, Rossem C V. Extended Producer Responsibility: An Examination of its Impact on Innovation and Greening Products[M]. Lund: IIEE, 2006.
- [45] Li J H, Brenda N, Lopez N, et al. Regional or global WEEE recycling. Where to go?[J]. *Waste Management*, 2013, 33(4): 923–934.
- [46] Manomaivibool P. Extended producer responsibility in a non-OECD context: The management of waste electrical and electronic equipment in India[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2009, 53(3): 136–144.
- [47] Lehtorant S, Nissinen A, Mattila T, et al. Industrial symbiosis and the policy instruments of sustainable consumption[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(16): 1865–1875.
- [48] Calcott P, Walls M. Waste, recycling, and Design for Environment: Roles for markets and policy instruments[J]. *Resource and Energy Economics*, 2005, 27(4): 287–305.

A Systematic Review of Urban Mining Theory

WANG Chang, XU Jian, YAO Hailin

(Business School, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: It is now a well-established fact that our city is gathering more waste materials and that this waste has implications for long-term local pollution concern and limitations on urban development. Urban mining has been suggested as a strategy to address such resource and pollution problems. Combining recycling plants for metals such as iron, aluminum and copper in cities with utilization of waste energy to fuel cities (heating and cooling, electricity) seems an attractive option for improving their sustainability. Here, we discuss the definition of urban mining and discriminate this concept from the concepts of renewable recourse, circular economy and solid waste. This study involves a literature review on urban mining covering five aspects: potential for exploitation, value of exploitation, recycling behavior, recycling networks and recycling political groups. The review shows that urban minerals contain a variety of valuable components and that social stocks have reached a certain size. Despite significant ecological value, urban mining is not presently profitable for enterprises. The economic benefit is the main factor driving enterprise recycling, so recycle networks and policy instruments to promote recycling are required. These would reduce the cost of recycling, coordinate recycling enterprise economic benefits and ensure the recovery system runs continuously. We conclude by discussing the shortage of studies and future research themes.

Key words: urban mining; exploitation; recycling; review