

引用格式:何朋蔚,王昶,左绿水,等. 基于废弃手机的高技术矿产可供性研究[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 589-599. [He P W, Wang C, Zuo L S, et al. Availability analysis of high-tech minerals in waste mobile phones[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 589-599.] DOI :10.18402/resci.2018.03.13

基于废弃手机的高技术矿产可供性研究

何朋蔚¹, 王 昶^{1,2}, 左绿水¹, 孙 桥¹

(1. 中南大学商学院, 长沙 410083;

2. 国土资源部国土资源战略研究重点实验室, 北京 100812)

摘 要: 高技术矿产是国家战略性新兴产业发展的关键原材料, 而废弃手机中含有丰富的高技术矿产。随着经济发展, 手机成为生活中常见的电子产品, 中国已成为全球最大的手机生产地和消费国, 每年产生大量废弃手机。尽管现有研究开始关注手机废弃量测算, 但并未考虑“水货”和“山寨”手机对实际手机量的影响, 也少有将功能型手机与智能型手机蕴含物质的差异作区分, 使得废弃手机高技术矿产的可供种类、规模等问题缺乏深入研究。因此, 本文在区分功能型手机和智能型手机的基础上, 运用动态物质流方法, 测算出手机废弃量及其所蕴含的高技术矿产社会存量, 并讨论相关因素对高技术城市矿产成矿种类、品位、规模和速度的影响。研究结果表明: ① 1987—2016年, 中国手机废弃总量超过33.26亿台; ② 1987—2016年, 中国废弃手机中蕴含各类高技术矿产总社会存量超过1.53万t; ③ 受多重因素影响, 未来废弃手机高技术矿产的可供存量还将在种类、品位、成矿规模和成矿速度等方面发生显著变化。基于上述分析, 本文针对合理开发中国高技术城市矿产, 保障高技术矿产资源供给安全, 提出相关建议。

关键词: 废弃手机; 高技术矿产; 物质流; 可供性研究

DOI :10.18402/resci.2018.03.13

1 引言

高技术矿产是国家战略性新兴产业发展的关键原材料, 它们在地球上存量稀少, 由于技术和经济因素等原因提取困难, 主要用于在低碳经济条件下生产精密的高科技产品及环保型产品^[1], 尤其在新能源部门中扮演重要角色^[2], 因此也被称作能源金属(energy metal)或新时代金属(new age metal)^[3]。随着新一轮科技革命与产业变革的来临, 高技术矿产日益成为各国利益争夺的焦点。从需求侧来看, 美国提出“再工业化战略”、日本提出“人工智能”发展战略、德国提出“工业4.0”、中国提出“中国制造2025”, 这些国家战略的实施均离不开关键原材料的可持续供应。因此, 世界各主要经济体均对高技术矿产表现出强劲且持续的高需求。从供给侧来

看, 高技术矿产在地球上存量稀少, 且通常是主要工业金属如铜、锌、铝开采和加工的副产品, 其资源可供性主要受主产品资源可供性的制约^[4]。未来随着各主要工业金属需求陆续进入峰值, 开采和加工步伐放缓, 高技术矿产供应风险日益提升, 供需矛盾将进一步突出。

然而随着经济发展和人民生活水平不断提高, 自然资源被不断地生产和消费, 造成大量的矿产资源蓄积在电子电器等产品中, 并以废弃物的形式堆积在现代城市中, 形成规模日益庞大的城市矿产。伴随着中国工业化、城市化进程的加快, 在2004年, 中国已成为全球最大的手机生产地和消费国, 蓄积在现代城市中的高技术矿产种类日益丰富。以废弃手机为例, 废弃功能型手机主要含有钴和钨两种

收稿日期: 2017-08-09; 修订日期: 2018-02-08

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(14ZDB136); 国家自然科学基金重点项目(71633006); 国家社会科学基金一般项目(15BGL147)。

作者简介: 何朋蔚, 男, 广东兴宁人, 博士生, 主要研究方向为资源经济与管理。E-mail: hepengwei@csu.edu.cn

通讯作者: 王昶, E-mail: changwang@csu.edu.cn

2018年3月

矿产资源可供性是指在一定技术经济条件下,根据矿床或矿山的地质、技术、经济指标,建立特定的可供性系统,采用矿产资源技术经济评价方法,分析其未来进行工业开发利用的经济性,计算出某种矿产在一定的技术经济条件下,可为社会提供的矿产资源储量^[18]。矿产资源可供性是一个动态的、综合的、系统的概念,随边际条件的变化而变化。本文中高技术矿产可供性是指在一定的技术和社会经济条件下,依据城市矿产中各类高技术矿产的特征建立特定的可供性分析系统,采用城市矿产资源相应技术评价方法、评价系统,计算和分析其未来开发利用的可行性,得出为国家或社会提供高技术城市矿产资源可供储量,即高技术城市矿产社会存量。

2.2 系统界定

中国废弃手机物质流程图如图1所示。

中国手机市场上销售的手机产品可分为功能型手机和智能型手机。功能型手机和智能型手机受到材料、技术等因素的影响,其内含金属种类与含量具有较大差异,尤其是在高技术矿产的种类与含量方面大有不同。高技术矿产开采提炼之后以原材料的形式进入手机生产制造环节,国内手机产量加上净进口量,最终形成国内手机销售量。消费者购买并使用一定时间后,形成废弃手机。废弃手机中内含各类高技术矿产经回收提炼成为二次资源,再次循环进入下一轮手机产品的生产制造。

2.3 手机废弃量测算方法

韦伯(Weibull)分布被广泛应用到电子、电气、材料等寿命范围更广的产品模拟中并在数据相对有限的情形下提供较为准确的分析图表^[19]。已有学者利用韦伯分布来进行产品的寿命分析并计算电

子产品的废弃量^[20]。双参数韦伯分布主要由规模参数 ω 和形状参数 β 决定,Balde等分别对荷兰、法国和比利时多种产品相应的参数进行修正^[21]。本文利用双参数韦伯分布表征不同类型手机的生命周期分布,并通过Minitab17软件制作密度函数曲线:

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/\omega)^\beta] \quad (1)$$

式中 $F(t)$ 为双参数累计韦伯生命周期分布函数(报废函数)($F>0$); t 为产品生命周期($t>0$); ω 是规模参数,决定曲线尺度的缩小或增大($\omega>0$); β 是形状参数,决定曲线的整体形状($\beta>0$)。

手机等电子产品在经过一段时间的使用后将逐步进入报废阶段。假设手机的报废规律符合韦伯分布,参考相关学者的研究成果^[8, 22-24],基于中国国情,结合动态物质流(DMFA)方法计算出每个目标年份功能型手机和智能型手机的报废量。二者之和即为目标年份中国手机的总报废量。假设第 n 年的报废率为 $f(n)$,该年的累计报废率为 $F(n)$,则可得该年的报废率从 $F(n)$ 到 $F(n-1)$ 变化,记为 $F'(n)$:

$$F'(n) = \exp\left[-\left(\frac{n-1}{\omega}\right)^\beta\right] - \exp\left[-\left(\frac{n}{\omega}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

在不考虑库存、已知手机各目标年份出货量的条件下^[25],假设 t 年的手机最终销售量为 $S(t)$, n 年相对应的报废率为 $F(n)$,则可得出:

$$P(1) = S(0) \times F'(1)$$

$$P(2) = S(0) \times F'(2) + S(1) \times F'(1)$$

$$P(3) = S(0) \times F'(3) + S(1) \times F'(2) + S(2) \times F'(1)$$

依次类推,则可得出每一目标年份手机废弃量相关等式:

$$P(n) = \sum_{t=0}^{n-1} S(t) \times F'(n-t) \quad (3)$$

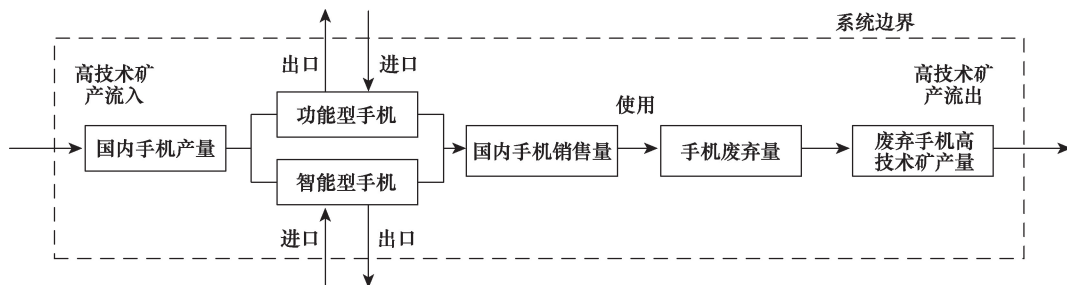


图1 中国废弃手机物质流程图

Figure 1 System boundary of material flow process of waste mobile phones in China

2.4 废弃手机蓄积的高技术矿产社会存量测算方法

基于每一目标年份手机废弃量,结合相关学者的研究成果^[5,17],假设 G_t^i 为在 t 年的高技术矿产 i 的社会存量,则可依据如下模型等式分别计算出功能型手机和智能型手机在目标年份的高技术矿产社会存量:

$$G_t^i = P(n) \times p_i = \sum_{t=0}^{n-1} S(t) \times F'(n-t) \times p_i \quad (4)$$

式中 $P(n)$ 表示目标年份 n 的手机废弃量; p_i 代表 i 种高技术矿产在每单位手机中的含量。

2.5 数据来源与相关统计

2.5.1 数据来源

自中国移动通讯网络1987年正式投入商业运营以来,手机逐渐在中国市场上销售。因此,本文选取的研究时段为1987—2016年。具体来看,由于中国智能型手机大概兴起于2000年以后,因而在2000年之前有关手机的统计数据,本文统一将其归为功能型手机^[26,27]。本文所使用的数据主要有以下几个部分:

(1) 中国手机出货量数据。中国功能型手机1987—2000年的出货量数据来源于文献^[26],中国功能型手机和智能型手机2000—2016年的出货量数据来源于国际数据公司(IDC)的行业研究报告^[25]。

(2) 中国手机寿命数据。中国功能型手机和智能型手机寿命区间和平均使用寿命数据来源于的研究文献、研究报告、产品说明等^[6-8,12,13,26-29]。

(3) 中国手机中高技术矿产含量数据。中国功能型手机和智能型手机中各类高技术矿产单位含

量数据主要参考文献^[5]。

本文手机数据选取范围为中国大陆地区,不包括香港、澳门和台湾地区。

2.5.2 相关统计

中国手机市场上始终存在一种被称为“水货”的走私手机以及游离于统计数据以外的“山寨”手机。由于这两类别的手机实际销售量在手机销售中占有相当一部分比例,忽略其销售量,将会严重影响最终估算结果的准确性。根据李博等、Guo等的研究与相关统计报告^[8,13],本文假设中国市场上“水货”手机销售量为“行货”手机的15%，“山寨”手机销售量在2004—2016年间依次为“行货”手机的7.52%,10%,10.4%,19.6%,24.2%,24.8%,23.7%,15%,10%,8.94%,8.10%,5.79%,5.05%^[8,11]。考虑“水货”和“山寨”手机对实际手机销售量的影响,经过修正的中国手机销售量如图2所示。

本文在参考相关学者研究文献、研究报告及产品说明的基础上^[7,8,12,29],结合公式(1),通过使用Minitab17软件计算得出中国功能手机和智能手机的规模参数 ω 和形状参数 β 。其中,中国功能型手机规模参数 ω 为3.96,形状参数 β 为2.19;中国智能型手机规模参数 ω 为2.83,形状参数 β 为2.45。不同类别中国手机报废率公式详见表1。

结合公式(2),中国功能型手机和智能型手机分别对应的报废率则可通过Microsoft Excel 2016计算得出,详见图3。

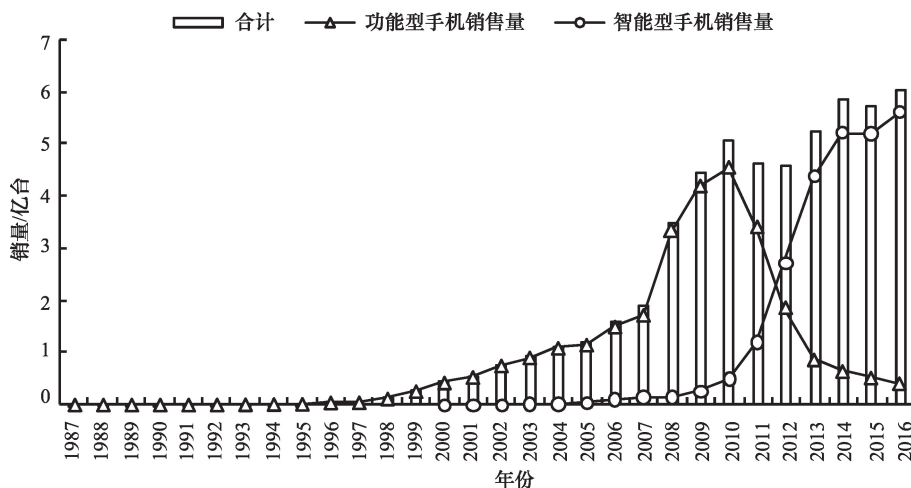


图2 1987—2016年中国功能型手机与智能型手机销售量

Figure 2 Sales number of feature phones and smartphones in China from 1987 to 2016

2018年3月

表1 不同类别中国手机报废率公式

Table 1 Equation of scrapped rate of mobile phone at different categories in China

手机类别	参数		函数公式
	ω	β	
功能型手机	3.96	2.19	$F(t)=1-\exp[-(t/3.96)2.19]$
智能型手机	2.83	2.45	$F(t)=1-\exp[-(t/2.83)2.45]$

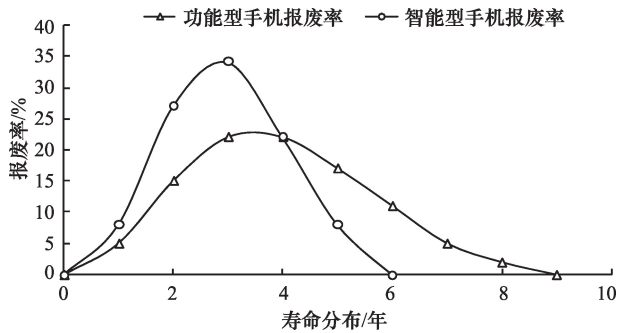


图3 功能型手机和智能型手机报废率

Figure 3 Lifespan distribution of feature phones and smartphones

通过计算中国功能型手机和智能型手机各目标年份相应的报废量,结合手机中高技术矿产含量,可以大致测算出中国功能型手机与智能型手机中内含高技术矿产量。手机中高技术矿产含量如表2所示^[5]。

3 研究结果与讨论

3.1 研究结果

3.1.1 手机废弃量

结合公式(3),可计算得出中国功能型手机和

表2 中国功能型手机和智能型手机中高技术矿产含量

Table 2 High-tech minerals composition of feature phones and

高技术矿产种类	产品类别	
	功能型手机	智能型手机
钴	3.800	6.300
钨	0.009	0.015
钼	—	0.050
锆	—	0.010
铍	—	0.003
锑	—	0.084
铂	—	0.004

智能型手机在1987—2016年间每年的报废量,如图4所示。

在1987—2016年间,中国手机年均废弃量从数百台增长至5.67亿台,累计超过33.26亿台。其中,功能型手机累计废弃量约为23.39亿台,约占手机累计总报废量的70.33%;智能型手机累计废弃量约为9.87亿台,约占手机累计总报废量的29.67%。

功能型手机和智能型手机呈现出不同的废弃趋势。功能型手机废弃量呈现出“稳定发展-快速增长-逐渐衰退”的趋势。从1990年的约400台平稳增长至2000年的约498万台,随后进入快速增长期,并于2013年达到顶峰,当年报废约3.3亿台。自2013年以后,功能型手机废弃数量逐渐回落。智能型手机废弃量则经历了一个“前期缓慢增长、后期急速增长”的过程。具体来看,智能型手机废弃量

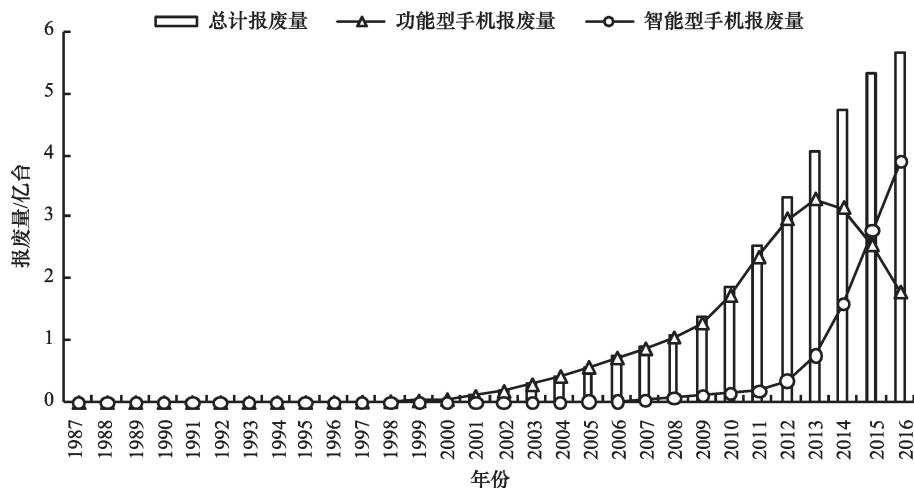


图4 1987—2016年中国功能型手机和智能型手机报废量

Figure 4 Generation amount of feature phones and smartphones in China from 1987 to 2016

从2001年的约3000万台增长至2011年的约1901万台,此后,进入急剧增长期,2016年报废量达3.88亿台,在短短5年间增长了近20倍。

3.1.2 蓄积在废弃手机中的高技术矿产社会存量

结合公式(4),可计量得出1987—2016年间中国废弃手机内含高技术矿产社会存量,如图5、图6所示。在1987—2016年间,废弃手机中蕴含高技术矿产社会存量总计超过1.53万t。

废弃功能手机和智能手机中均含有存量可观的钴、钯等高技术矿产。1987—2016年间蕴藏于废

弃手机中的钴、钯的社会存量分别累计达到15105.22t和35.85t。虽然近年来随着功能型手机废弃量减少,蕴含于其中的钴、钯的社会存量逐渐下降,但这一趋势被智能型手机废弃量的急剧增加缓冲,最终使得钴、钯呈现出快速增长的趋势。2016年,中国废弃手机中钴的社会存量达3125.14t,约占当年钴产量的43.4%(据美国地质调查局统计,2016年中国钴产量为7700t)。而钯作为中国紧缺的战略性金属,2016年蕴藏在废旧手机中钯的社会存量达7.43t,接近于除美国、加拿大、俄罗斯、南非、津巴布

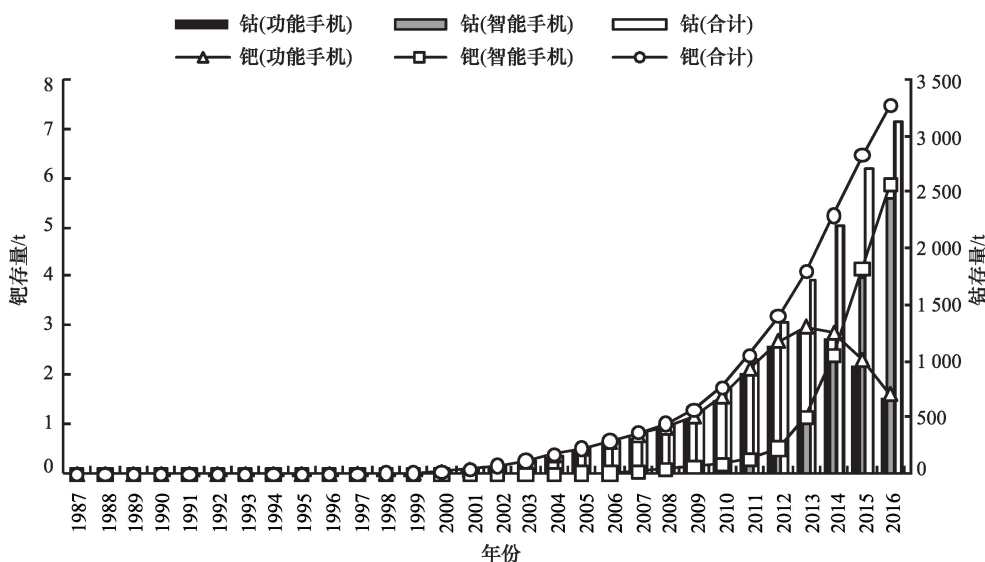


图5 1987—2016年废弃手机中高技术矿产社会存量(钴、钯)

Figure 5 Social stocks of high-tech minerals in waste mobile phones from 1987 to 2016 (Cobalt, Palladium)

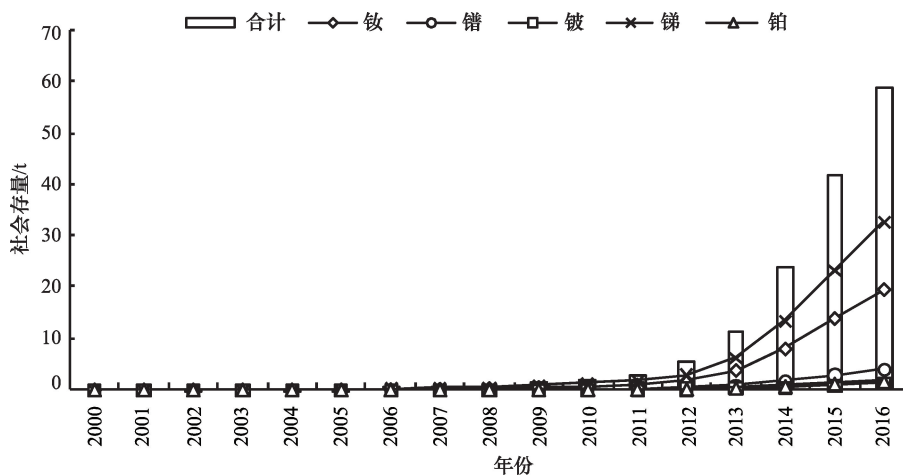


图6 2000—2016年废弃手机中高技术矿产社会存量(钕、镨、铍、锑、铂)

Figure 6 Social stocks of high-tech minerals in waste mobile phones from 2000 to 2016 (Neodymium, Praseodymium, Beryllium, Antimony, Platinum)

2018年3月

韦外的世界其他国家合计产量(据美国地质调查局统计,2016年除了这5国外的其他所有国家合计产量仅为8t)。由此可见,有效开发城市矿产中的钴、钪,将显著降低对原生矿的开采,缓解紧缺战略性矿产供应的紧张局势。且随着消费水平的提高,手机报废量的持续增长,未来废弃手机中高技术矿产开发的资源效应将更为显著。

随着产品功能的增加,手机中内含高技术矿产也越来越丰富。较之功能型手机,智能型手机中还另含有存量可观的钨、镨、铽、铈、钕等高新技术金属。如图6所示,随着智能型手机报废量的快速增长,蕴含其中的此5种高技术矿产社会存量也急剧增加。在2000—2016年,此5种高技术矿产社会存量累计达149t,其中钨49.34t、镨9.87t、铽2.96t、铈82.90t、钕3.95t。在2016年,钨、镨、铽、铈、钕当年社会存量分别为19.41t、3.88t、1.16t、32.61t、1.55t,总计为58.62t。这些高技术城市矿产若能得到有效开发,资源效应将十分显著。以钨为例,钨为中国紧缺战略性金属,据美国地质调查局统计,2015年除钨资源最为丰富的前5个国家之外,世界其他国家产量合计仅为4.8t。而在2016年,蕴含在中国废旧手机中的钨资源占到前述产量的32.3%。若考虑到其他含钨的废弃产品,如笔记本电脑等,其潜在可开发的社会存量将更为可观,对原生资源的替代效应将更为显著。

3.2 进一步讨论

研究表明,废弃手机中蕴含的高技术矿产种类丰富、品位较高。以钨为例,在中国自然界中钨的平均品位约为0.4g/t,而在废弃手机中品位可达到约200g/t^[6]。但这些仅是理论上的资源品位,高技术城市矿产社会存量的实际回收量还受到以下因素的多重影响,如产品技术创新、回收网络、回收技术、消费升级和政策导向等因素。

(1)产品技术创新因素。随着功能手机逐渐向智能手机转换,与手机相关的技术不断创新升级,所需高技术矿产种类也在不断增加。未来随着手机智能化的进一步发展,对高技术矿产的需求种类将更为丰富。以金属机壳为例,根据《2014—2018年手机外壳市场研究及预测报告》显示^[30],相对于平板等终端设备,手机中的金属机壳比例还较低,但

随着无线通信屏蔽技术的创新,未来金属机壳在手机中持续渗透将有更大的潜力和空间。2016年手机金属手机壳渗透率已由2012年的10%达到38%左右。而镁铝合金是金属机壳的主要材料。产品技术的创新与主材料的应用,将扩展高技术城市矿产蓄积种类。

(2)回收网络因素。废弃手机中的高技术矿产能否最终成为可供储量,再次进入生产制造环节,关键取决于回收。实际上,一方面,由于手机体积小,涉及到用户隐私等特征,大多数的废弃手机并没有被回收,而是成为了隐伏存量。相关研究结果显示,全球的手机回收率不超过10%^[31];另一方面,传统线下回收模式面临成本高、污染重、市场信息不畅、资源配置不合理等问题,回收效率不高。而互联网的兴起给中国电子废弃物回收利用行业带来了新的发展机遇,互联网的交互性、共享性特质契合了回收行业的特点,近年来在中国诞生了典型的电子废弃物互联网回收平台,如爱回收、回收哥等,这些互联网回收平台打破了传统的时空边界,为废弃手机的回收提供了便捷的渠道。回收网络的通畅,极大地提升了高技术城市矿产的回收效率。

(3)回收技术因素。最近苹果公司颁布的《2017年环境责任报告》显示^[32],通过发展回收技术,使得接近100%的回收材料可用来生产产品,未来将逐步停止开采稀有矿产和金属;为了提高电子产品的回收利用率,德国于2015年10月开始实施新的《电子电气设备法》^[33],通过提高回收技术水平,到2019年,德国的电子垃圾回收率至少将达到65%;澳大利亚政府于2011年推出免费的电子产品回收项目“国家电子产品回收计划”^[34],该项目的目标是通过发展回收技术,使得到2022年前后将手机和电脑的等电子产品回收率由17%提高到80%。与上述发达国家相比,中国现阶段在回收技术领域还存在较大的差距。为此,中国政府相继出台了《“十三五”资源领域科技创新专项规划》^[35]、《“十三五”国家科技创新规划》^[36]及《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》^[37],从不同方向明确资源循环、科技创新等领域的技术突破。回收技术的提高和突破,极大地提升了高技术城市矿产的回收质量和回收水平。

(4)消费升级因素。2016年,中国经济规模总

量位居世界第二,GDP总量超过74.41万亿元,人均GDP达到5.4万元。改革开放三十多年以来,中国从最初解决温饱问题到现在基本达到小康水平,人民的生活质量得到了极大的改善。随着生活水平提高,手机等电子产品迅速普及,淘汰周期越来越短。据统计,10年前中国居民手机平均使用寿命为5年左右,而到了2015年,缩短至1.9年左右。根据联合国环境总署(UNEP)的报告显示,到2020年中国市场上源自手机方面的电子废弃物相对于2007年将增长600%。消费升级进程加快,缩短了产品的实际使用寿命,加快了高技术城市矿产的成矿速度,扩大了成矿规模。

(5)政策导向因素。《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》^[37]指出要深入推进资源循环利用,大力推动“城市矿产”开发,并将“城市矿产开发”明确列为战略性新兴产业之一,提出到2020年,力争当年替代原生资源13亿t,资源循环利用产业产值规模达到3万亿元;《矿产资源规划2016—2020》^[38]提出要开展钢铁、有色金属、稀贵金属等城市矿产的循环利用,缓解原生矿产资源利用的瓶颈约束,到2020年,基本建立安全、稳定、经济的资源保障体系,基本形成节约高效、环境友好的绿色矿业发展模式,塑造资源安全与矿业发展新格局;《循环发展引领行动》^[39]提出壮大资源循环利用产业,促进再生资源回收利用提质升级,提升“城市矿产”的开发利用水平。国家对城市矿产开发、资源循环利用、生态文明建设的重视和政策引导,推动了城市矿产的供给和消费,加快了高技术城市矿产的成矿速度。

综上所述,未来废弃手机高技术矿产的可供存量还将在种类、品位、成矿规模和成矿速度等方面发生显著变化,预计可供种类将日益丰富、品位将越来越高、成矿规模将不断扩大、成矿速度将不断加快。

4 结论与建议

本文从中国国情出发,在对中国手机进行功能区分的基础上,考虑“水货”手机和“山寨”手机量对实际手机销售量的影响,并利用修正后的手机销售量,测算出手机废弃量及其所蕴含的高技术矿产社会存量。主要得出以下结论:

(1)在1987—2016年期间,中国手机废弃总量超过33.26亿台,其中,功能型手机累计废弃量约为

23.39亿台;智能型手机累计废弃量约为9.87亿台。

(2)在1987—2016年期间,中国废弃手机中所蕴含的各类高技术矿产总社会存量超过1.53万t,其中,功能型手机中所蕴含的各类高技术矿产社会存量约为8909t,其中钴8888t、钨21.05t;智能型手机中所蕴含的各类高技术矿产社会存量约为6381t,其中钴6217t、钨14.80t、钼49.34t、镨9.87t、铍2.96t、铈82.90t、铂3.95t。

(3)受产品技术创新、回收网络、回收技术、消费升级和政策导向等因素的多重影响,手机中高技术矿产的种类、品位、成矿规模和成矿速度在未来还将发生显著变化,预计种类进一步丰富、品位越来越高、成矿规模不断扩大、成矿速度不断加快。

为合理、高效开发中国高技术城市矿产,保障国家高技术矿产供给安全,本文提出以下建议:

(1)明确国家高技术城市矿产的主要来源,确立高技术城市矿产勘查战略,摸清中国高技术城市矿产资源家底。

(2)加强互联网资源回收平台的建设,构建互联网+回收的生态系统,促进回收企业线上线下相结合,促进高技术城市矿产回收。

(3)提升废弃手机拆解的核心技术,加大手机拆解行业技术研发的投入,做好技术攻关。

(4)积极开展宣传和教育,倡导居民绿色环保消费理念,提升消费者回收意识。

(5)完善高技术城市矿产管理机制,动态监测高技术城市矿产流向,建立高技术城市矿产供给体系,保障国家高技术矿产可持续供应。

参考文献(References):

- [1] 张新安,张迎新.把“三稀”金属等高技术矿产的开发利用提高到战略高度[J].国土资源情报,2011,(6):2-7. [Zhang X A, Zhang Y X. Put the utilization and development of “Three Rare” high tech metals to a strategic perspective[J]. *Land and Resources Information*, 2011, (6): 2-7.]
- [2] Fthenakis V. Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13 (9): 2746-2750.
- [3] Huston D L. New age metals: the geology and genesis of ores required for a changing economy and a carbon-constrained world—preface to a thematic issue on critical commodities[J]. *Mineralium*

2018年3月

- Deposita*, 2014, 49(8): 885–887.
- [4] Frenzel M, Tolosanadelgado R, Gutzmer J, *et al.* Assessing the supply potential of high-tech metals—a general method[J]. *Resources Policy*, 2015, 46(2): 45–58.
- [5] Cucchiella F, D’Adamo I, Koh S C L, *et al.* Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 51: 263–272.
- [6] Yu J, Williams E, Ju M. Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(8): 4135–4141.
- [7] 廖程浩, 张永波. 废旧手机产生量测算方法比较研究[J]. 生态经济, 2012, (3): 124–126. [Liao C H, Zhang Y B. The estimation study on the amount of discarded mobile phones in mainland China[J]. *Ecological Economy*, 2012, (3): 124–126.]
- [8] 李博, 杨建新, 吕彬, 等. 中国废旧手机产生量时空分布研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(12): 4095–4101. [Li B, Yang J X, Lv B, *et al.* Temporal and spatial variations of retired mobile phones in China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, 35(12): 4095–4101.]
- [9] Li B, Yang J, Lu B, *et al.* Estimation of retired mobile phones generation in China: A comparative study on methodology[J]. *Waste Management*, 2015, 35(1): 247–254.
- [10] Babayemi J O, Osibanjo O, Weber R. Material and substance flow analysis of mobile phones in Nigeria: a step for progressing e-waste management strategy[J]. *Journal of Material Cycles & Waste Management*, 2017, 19(2): 731–742.
- [11] Liu T, Mahdi M, Yao L. Life Cycle Assessment of Waste Mobile Phone Recycling—A Case Study in China[C]. Chengdu: International Conference on Management Science and Engineering Management, 2017.
- [12] 高颖楠, 徐鹤, 卢现军. 基于市场供给A模型的手机废弃量预测研究[R]. 北京: 2010中国环境科学学会学术年会论文集, 2010. [Gao Y N, Xu H, Lu X J. Research on Obsolete Mobile Phones Prediction Based on Market Supply A Method[R]. Annual Academic Meeting of Environmental Science in China, 2010.]
- [13] Guo X, Yan K. Estimation of obsolete cellular phones generation: a case study of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 575: 321–329.
- [14] Xuan Z, Ruth L, Werner T, *et al.* Modelling in-use stocks and spatial distributions of household electronic devices and their contained metals based on household survey data[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 120: 27–37.
- [15] Murakami S, Oguchi M, Tasaki T, *et al.* Lifespan of commodities, Part I: the creation of a database and its review[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(4): 598–612.
- [16] Oguchi M, Murakami S, Tasaki T, *et al.* Lifespan of commodities, part II: methodologies for estimating lifespan distribution of commodities[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(4): 613–626.
- [17] 王昶, 左绿水, 孙桥, 等. 基于资源-技术-环境的高技术城市矿产战略性筛选[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(7): 25–34. [Wang C, Zuo L S, Sun Q, *et al.* Strategic screening of high-tech urban minerals based on resource, technology and environment index[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(7): 25–34.]
- [18] 鹿爱莉, 谢承祥. 我国矿产资源可供性分析工作现状与建议[J]. 中国矿业, 2009, 18(5): 7–10. [Lu A L, Xie C X. Existing problem of mineral availability analysis work and suggestion in China[J]. *China Mining Magazine*, 2009, 18(5): 7–10.]
- [19] Yan L, Wang A, Chen Q, *et al.* Dynamic material flow analysis of zinc resources in China[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2013, 75(2): 23–31.
- [20] Oguchi M, Wang A, Chen Q, *et al.* Product flow analysis of various consumer durables in Japan[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2008, 52(3): 463–480.
- [21] Balde C P, Kuehr R, Blumenthal K, *et al.* E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators [M]. Bonn: United Nations University, 2015.
- [22] 李博, 杨建新, 吕彬, 等. 废弃电器电子产品产生量估算—方法综述与选择策略[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 7965–7973. [Li B, Yang J X, Lv B, *et al.* Generation estimation of waste electrical and electronic equipment: methods review and selection strategy [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(24): 7965–7973.]
- [23] 王俊博, 范蕾, 李新, 等. 基于物质流方法的中国铜资源社会存量研究[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 939–947. [Wang J B, Fan L, Li X, *et al.* Research on the social stock of copper resources in China based on the material flow analysis[J]. *Resources Science*, 2016, 38(5): 939–947.]
- [24] Park J A, Hong S J, Kim I, *et al.* Dynamic material flow analysis of steel resources in Korea[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2011, 55(4): 456–462.
- [25] Stofega W, Scarsella A. Just Like New: Understanding the Secondary Smartphone Market[EB/OL]. (2007–06–01)[2017–08–01]. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=WC20170613>.
- [26] 陈育平. 1999年中国蜂窝移动通信及手机市场走向分析[J]. 世界电信, 1999, (1): 42–45. [Chen Y P. Analysis of China cellular communications and cellular phone market trend in 1999[J]. *World Telecommunications*, 1999, (1): 42–45.]
- [27] Eugster M, Hirschier R. Key Environmental Impacts of the Chinese EEE-Industry—a Life Cycle Assessment Study[R]. St. Gallen: Material Science & Technology(Report), 2007.
- [28] Yin J, Gao Y, Xu H. Survey and analysis of consumers’ behavior of waste mobile phone recycling in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 65(1): 517–525.
- [29] Xu C, Zhang W, He W, *et al.* The situation of waste mobile phone

- management in developed countries and development status in China[J]. *Waste Management*, 2016, 58: 341-347.
- [30] 刘涛. 2014—2018年手机外壳市场研究及预测报告[R]. 北京: 智研咨询有限公司, 2009. [Liu T. 2014-2018 Annual Market Research and Forecast Report of Mobile Phone's Shell [R]. Beijing, Zhiyan consulting co. LTD, 2009].
- [31] Tanskanen P. Electronics Waste: Recycling of Mobile Phones[R]. Finland: Post-Consumer Waste Recycling and Optimal Production, 2012.
- [32] Lisa Jackson. Environmental Responsibility Report[R]. Berlin: 2017 Progress Report, 2017.
- [33] Wörlitzer Platz. Electrical and Electronic Equipment Act[EB/OL]. (2017-04-07)[2017-06-30]. <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/product-stewardship-waste-management/electrical-electronic-waste/electrical-electronic-equipment-act>.
- [34] 徐一嫣, 李姿阅. 变废为宝: 唤醒沉睡的电子宝藏[EB/OL]. (2017-06-15)[2017-07-07]. http://www.xinhuanet.com/info/2017-06/16/c_136370201.htm. [Xu Y Y, Li Z Y. Turning Waste into Wealth: Waking up Hibernated Electrical Treasure. [EB/OL]. (2017-06-15)[2017-07-08]. http://www.xinhuanet.com/info/2017-06/16/c_136370201.htm.]
- [35] 中华人民共和国国土资源部. “十三五”资源领域科技创新专项规划[EB/OL]. (2017-05-21)[2017-07-15]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201705/t20170521_1508289.htm. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. “13th Five-Year Plan” of Science and Technology Innovation for Resource Realm[EB/OL]. (2017-05-21)[2017-07-08]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201705/t20170521_1508289.htm.]
- [36] 中华人民共和国国土资源部. “十三五”国家科技创新规划[EB/OL]. (2016-08-10)[2017-07-15]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201608/t20160810_1414077.htm. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. “13th Five-Year Plan” of National Science and Technology [EB/OL]. (2016-08-10)[2017-07-08]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201608/t20160810_1414077.htm.]
- [37] 中华人民共和国国务院. “十三五”国家战略性新兴产业发展规划[EB/OL]. (2016-11-29)[2017-07-15]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm. [The State Council of the People's Republic of China. “13th Five-Year Plan” of National Strategic Emerging Industries Development[EB/OL]. (2016-11-29)[2017-07-15]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.]
- [38] 中华人民共和国国土资源部. 矿产资源规划2016—2020[EB/OL]. (2016-11-30)[2017-07-15]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/dzdc/201611/t20161130_1423026.htm. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. “13th Five-Year Plan” of National Science and Technology [EB/OL]. (2016-11-30)[2017-07-15]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/dzdc/201611/t20161130_1423026.htm.]
- [39] 中华人民共和国国务院. 循环发展引领行动[EB/OL]. (2017-05-09)[2017-07-15]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-05/09/content_5192102.htm. [The State Council of the People's Republic of China. Leading Action by Cyclic Development [EB/OL]. (2017-05-09)[2017-07-15]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.]

Availability analysis of high-tech minerals in waste mobile phones

HE Pengwei¹, WANG Chang^{1,2}, ZUO Lyushui¹, SUN Qiao¹

(1. School of Business, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Key Laboratory of Strategic Studies, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: High-tech minerals are key raw materials in national strategic emerging industries; waste mobile phones contain a variety of high-tech minerals. With rapid economic development mobile phones have become one of the most common electronic devices. China became the largest producer and consumer of mobile phones in 2004, and a large volume of waste mobile phones are generated annually. Although current research has focused on the estimation of waste mobile phones, most studies have neglected the influence of ‘smuggled mobile phones’ and ‘shanzhai mobile phones’. Studies have only considered mobile phones as an integral subject and ignored differences between distinct types of mobile phones and their contained materials. This leads to a lack of advanced knowledge in high-tech minerals in waste mobile phones in terms of the type availability and scale availability. Here, we adopted a dynamic material flow method to calculate the amount of waste mobile phones and social stock containing high-tech minerals based on the differentiation of feature phones and smartphones. We found that from 1987 to 2016, the total amount of waste mobile phones in China exceeded 3.33 billion units. From 1987 to 2016, the total social stock of various high-tech urban minerals contained in China, overall waste mobile phones, exceeded 15.31 thousand tons. This is influenced by various factors, the future stock availability of high tech minerals in waste mobile phones will confront significant changes in terms of variety, grade, scale and mineralization speed. In conclusion, we put forward suggestions for the effective and efficient exploitation of high-tech urban minerals to ensure a sustainable supply of high-tech minerals in China.

Key words: waste mobile phone; high-tech mineral; material flow; availability analysis