

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2015.0436

李博 杨建新 吕彬 等. 2015. 中国废旧手机产生量时空分布研究 [J]. 环境科学学报, 35(12): 4095-4101

Li B, Yang J X, Lü B, et al. 2015. Temporal and spatial variations of retired mobile phones in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 35(12): 4095-4101

中国废旧手机产生量时空分布研究

李博¹ 杨建新^{1,*} 吕彬¹ 宋小龙²

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. 上海第二工业大学 上海电子废弃物资源化产学研合作开发中心 上海 201209

收稿日期: 2015-01-20 修回日期: 2015-04-23 录用日期: 2015-04-23

摘要: 手机是人们生活中最为常见的电器电子产品, 中国则是全球最大的手机生产地和消费国, 相应的每年产生大量的废旧手机。废旧手机是一类典型的废弃电器电子产品, 因其具有资源与污染的双重属性而受到了国际社会的广泛关注, 如何构建高效的管理体系实现废旧手机的可持续管理是全球各界近年来面临的共同课题。产生量是废弃电器电子产品管理的重要基础信息。目前国内外有关废弃电器电子产品产生量的数据主要通过估算获得, 估算结果的准确性尚有提升空间。本文基于权威数据, 采用市场供给 A 模型、消费与使用模型、注册更新模型等 3 种不同的方法对中国的废旧手机产生量进行了估算。其中, 基于注册更新模型的结果显示, 1998 年与 2013 年中国废旧手机产生量分别为 28.00 万部与 7.99 亿部。在此基础上针对中国废旧手机产生量空间区域分布的研究显示, 经济发达的东部区域产生了接近半数的废旧手机。由于考虑“水货”和“山寨”手机对销售量进行了校正, 本文的结果明显高于已有研究, 更加符合实际, 可以为中国的废旧手机管理工作提供科学依据。

关键词: 手机; 产生量; 废弃电器电子产品; 电子废弃物

文章编号: 0253-2468(2015)12-4095-07

中图分类号: X171

文献标识码: A

Temporal and spatial variations of retired mobile phones in China

LI Bo¹, YANG Jianxin^{1,*}, LÜ Bin¹, SONG Xiaolong²

1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

2. Shanghai Cooperative Centre for WEEE Recycling, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209

Received 20 January 2015;

received in revised form 23 April 2015;

accepted 23 April 2015

Abstract: Mobile phones have become the most ubiquitous electrical and electronic equipment. China has the biggest production and possession of mobile phones, with a huge amount of retired mobile phones generated each year. The retired mobile phones are a typical category of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), which call for a sustainable management system around the world for potential in becoming both resource and pollution. The generation estimation provides fundamental information to construct the sustainable management system of retired mobile phones and other WEEE. Efforts should therefore be paid in improving its reliability. This article estimates the amount of retired mobile phones in China with market supply A method, consumption and use approach and sales & update method, respectively. The results show that the sales & update method is the most proper approach for the generation estimation of retired mobile phones. The estimation result shows that there are 799.46 million retired mobile phones in 2013, in comparison with 0.28 million in 1998. The prosperous eastern region generates nearly half of the retired mobile phones in China. Due to the consideration of the smuggled and counterfeit mobile phones, the results of this study are significantly higher than the previous ones, but are more accordance with the reality and therefore helpful in developing the sustainable management system of retired mobile phones in China.

Keywords: mobile phone; generation; waste electrical and electronic equipment (WEEE); E-waste

1 引言(Introduction)

作为实现移动通信功能所不可或缺的载体, 手

机已经成为人们生活中最为常见的电器电子产品。经过二十余年的发展, 中国已经成为全球最大的手机生产地和消费国。国际电信联盟的数据显示, 截至

基金项目: 国家自然科学基金(No. 71303231); 城市与区域生态国家重点实验室资助项目(No. SKLURE2013-1-1)

Supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 71303231) and the Program of State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology (No. SKLURE2013-1-1)

作者简介: 李博(1984—), 男, E-mail: orange387387@gmail.com; * 通讯作者(责任作者), E-mail: yangjx@rcees.ac.cn

Biography: LI Bo(1984—), male, E-mail: orange387387@gmail.com; * Corresponding author, E-mail: yangjx@rcees.ac.cn

2014 年底,全球移动电话用户数已经超过 70 亿,其中近 13 亿在中国(中华人民共和国工业和信息化部 2014)。核心技术的不断进步,功能款式的推陈出新,连同手机生产商、运营商与零售商基于自身利益考量的宣传鼓动等因素共同驱使着消费者频繁地更换手机。

退出使用阶段的废旧手机具有以下几种主要流向:被闲置、再次进入使用阶段、经过拆解进入零部件再使用和资源再生流程。在许多国家和地区,废旧手机被列入废弃电器电子产品(Waste Electrical and Electronic Equipment,简称 WEEE)进行管理。广义的废弃电器电子产品(电子废弃物)涵盖了全部品类的依靠电流或电磁场进行工作的及产生、转换与测量电流或电磁场的废弃设备。由于兼具资源再生与环境污染的双重潜力,废弃电器电子产品受到了国际社会的广泛关注(Ogunseitan *et al.*, 2009; Stone, 2009; Li *et al.*, 2014, 2015; Xue *et al.*, 2014; Zeng *et al.*, 2014)。作为一类典型的小型废弃电器电子产品(Small WEEE),废旧手机具有产生数量大、单位体积小、回收比例低、资源价值高等特点(Yu *et al.*, 2010; Martinho *et al.*, 2012; Solé *et al.*, 2012; Yin *et al.*, 2014)。此外,因为废旧手机具有复杂的材料组成,不当的资源再生和处理处置过程会产生严重的环境污染和人体健康损害,因此,如何构建高效的管理体系实现废旧手机的可持续管理是全球近年来面临的共同课题(Wang *et al.*, 2009; Maragkos *et al.*, 2013; Paiano *et al.*, 2013; Hibbert *et al.*, 2014; Yadav *et al.*, 2014)。

产生量是实现包括手机在内的废弃电器电子产品可持续管理的重要基础信息。目前国内外有关废弃电器电子产品产生量的数据主要通过估算获得,估算结果的准确性尚有提升空间。现有废弃电器电子产品产生量估算方法可以归纳为以下 13 种:市场供给模型、市场供给 A 模型、斯坦福模型、卡内基梅隆模型、消费与使用模型、时间梯度模型、MFA 模型、饱和市场模型、时间序列模型、因子模型、计量经济学分析、使用阶段分析与直接分析法。各种估算方法因其在设计思路、数据需求与适用范围等方面的差异而具有自身不同的特点。理论上,上述方法均可用于各类电器电子产品的废弃量估算;实际应用中,估算方法的选择受到系统边界、参数设置与数据来源等因素的共同影响,以具体情景下的主观选择为主。为了提高估算结果的准确性,有研究提出了

废弃电器电子产品产生量估算方法的选择策略,即综合考虑估算对象的系统边界、产品类别、数据来源与质量等特征选取适宜的估算方法(李博等, 2015)。

国内外现有针对废旧手机产生量的研究中,采用的方法集中在市场供给模型、市场供给 A 模型、时间梯度模型、MFA 模型和时间序列模型。这些研究普遍存在方法与数据等方面的不足,估算结果的准确性尚有提升空间。此外,尚未发现关于废旧手机产生量空间区域分布的相关研究。因此,本文尝试选取适当的方法与数据对中国的废旧手机产生量进行估算,提高估算结果的准确性,在此基础上研究中国废旧手机产生量的空间区域分布,以期为中国废旧手机管理及其他国家的废旧手机产生量估算提供参考。

2 研究方法 with 数据来源(Methods and data)

2.1 废旧手机产生量估算方法介绍

遵循上述选择策略,本文分别选取市场供给 A 模型、消费与使用模型及基于 MFA 模型的注册更新模型对中国的废旧手机产生量进行估算。

2.1.1 市场供给 A 模型 该模型根据手机的销售量和平均使用寿命估算废旧手机的产生量。该模型认为手机按照一定比例围绕平均使用寿命渐次退出使用状态,成为废旧手机。估算公式为:

$$R_i = \sum_j S_{i-j} P_j \quad (1)$$

式中 R_i 为某一年份的废旧手机产生量(部), S_{i-j} 为从该年算起 j 年前手机的销售量(部), P_j 为实际使用寿命为 j 年的手机的比例。

手机年度销售量可以通过以下公式计算:

$$S_i = P_i - E_i + I_i \quad (2)$$

式中 P_i 为某一年份中国的手机生产量(部), E_i 为同年中国的手机出口量(部), I_i 为同年中国的手机进口量(部)。在已有研究中,高颖楠等(2010)利用该模型估算了中国 2010—2020 年的废弃手机产生量, Polák 等(2012)利用该模型估算了捷克 1995—2020 年的废弃手机产生量。

2.1.2 消费与使用模型 该模型基于手机的社会保有量与平均使用寿命,假设手机的平均使用寿命不变,两者的比值即为废旧手机的产生量。估算公式为:

$$Q_i = H_i/n \quad (3)$$

式中 Q_i 为某一年份的废旧手机产生量(部), H_i 为

同年中国手机的保有量(部),可以用同年的中国手机在网用户数 U_i 替代, n 为手机的平均使用寿命。在已有研究中,廖程浩等(2012)基于同一套销售量数据,分别采用消费与使用模型、时间梯度模型与市场供给模型对 2005—2010 年中国大陆地区的废旧手机产生量进行了估算。

2.1.3 注册更新模型 该模型基于手机的社会保有量与销售量,是 MFA 模型用于估算废旧手机产生量的特殊形式。该模型基于物料守恒的原理,将手机的社会保有量视为一个整体,基于一定时间内社会保有量的变化和销售量估算废旧手机产生量。估算公式为:

$$W_i = S_i - N_i \quad (4)$$

式中, W_i 为某一年份的废旧手机产生量(部); S_i 为同年中国手机的销售量(部),计算过程同 2.1.1 节; N_i 为同年中国手机保有量的变化(部),可以用同年与上年的中国手机在网用户数差值替代。在已有研究中, Jang 等(2010)和 Yu 等(2010)分别应用该模型估算了韩国和中国的废弃手机产生量。

2.2 废旧手机空间区域分布估算方法

基于中国废旧手机产生量、常住人口数目、通讯行业数据与宏观经济指标,可以对废旧手机空间区域分布情况进行分析(代颖等 2010)。本文的废旧手机空间区域分布精确到省级行政区级别,基于某一区域的地区生产总值、常住人口与移动电话在网用户数等 3 项指标占全国总量百分比的平均数,对废旧手机的空间区域分布进行分配。

2.3 数据来源与质量控制

2.3.1 销售量 用于计算手机销售量的生产量与进出口量的数据可以从工业和信息化部出版的《中国电子信息产业统计年鉴》(中华人民共和国信息产业部经济体制改革与经济运行司,2003—2008;中华人民共和国工业和信息化部运行监测协调局,2009—2014)中获得,具有良好的延续性。由此得到的手机销售量数据涵盖了所有具有工业和信息化部发布的“手机入网许可”和独立移动设备国际识别码(International Mobile Equipment Identification,简称 IMEI)的全新手机,这类手机可以在中国市场合法的销售,一般被称为“行货”手机。

需要注意的是,自中国的移动通讯网络从 1987 年正式投入商业运营以来,市场上始终存在被称为“水货”的走私手机。据估计,“水货”手机的销售量

约为同年统计数据的 10%~30%,在有些年份甚至可以达到 50%。此外,2004 年手机芯片设计企业联发科发布了开创性的手机芯片组统一解决方案,大大降低了手机生产企业的技术需求与准入门槛,由此产生了另一种游离于官方统计数据以外的手机类型,即通常所说的“山寨”手机。“山寨”手机行业一经产生便获得蓬勃发展,在短短数年内达到了 2 亿余部的年生产量。

由于“水货”和“山寨”手机的销售量占有相当比例,如果将其忽略则会严重影响废旧手机估算结果的准确性,所以需要统计年鉴中的销售量进行校正。由于“水货”和“山寨”手机销售量数据的缺失,本研究开展了一次大规模的问卷调查以获取相关数据。问卷调查开展于 2012 年 3 月到 4 月,分别通过网络(<http://www.sojump.com/jq/1370980.aspx>,面向全国范围)和实地(面向上海、保定、百色)进行投放。调查对象覆盖各种职业与年龄阶段,最终回收有效问卷 5160 份。结果显示,调查对象最近一次更换的手机中,“行货”、“水货”与“山寨”手机的占比分别为 80.42%、12.06%与 7.52%。假设 3 类手机平均使用寿命接近,则可以推算“水货”与“山寨”手机的销售量分别约为“行货”手机的 15%与 10%。由此可以得到手机销售量的校正公式:

$$S'_i = S_i + S_i^S + S_i^C \quad (5)$$

式中, S'_i 为校正后的手机销售量; S_i 为“行货”手机的销售量(部); S_i^S 为“水货”手机的销售量(部); S_i^C 为“山寨”手机的销售量(部)。

2.3.2 平均使用寿命 废旧手机的平均使用寿命数据同样来自于上述问卷调查,约为 1.9 年。另外,30.87%的调查对象表示每年更换手机,22.68%的调查对象表示 1~2 年更换手机,28.11%的调查对象表示 2~3 年更换手机,18.34%的调查对象表示 3 年及以上更换手机。由此可以推算出平均使用寿命为 1 年以内、1~2 年、2~3 年与 3 年及以上的手机分别占比 30%、25%、25%与 20%。

2.3.3 保有量 中国手机保有量可以用同期的手机在网用户数代替,后者可以从工业和信息化部网站(<http://www.miit.gov.cn>)获得,具有良好的延续性。

2.3.4 常住人口数目与地方生产总值 常住人口数目与地方生产总值可以从国家统计局网站(<http://www.stats.gov.cn>)获得,具有良好的延续性。

3 结果(Results)

3.1 废旧手机产生量

本文基于校正后的手机销售量(S_t') ,利用3种不同方法对中国的废旧手机产生量进行了估算,估算的相关数据见表1,估算结果见图1.结果显示,中国废旧手机产生量随手机销售量的增加呈现上升

趋势.其中 2001 年与 2013 年基于市场供给 A 模型的废旧手机产生量分别为 0.35 亿部与 8.17 亿部; 1998 年与 2013 年基于消费与使用模型的废旧手机产生量分别为 0.13 亿部与 6.47 亿部; 1998 年与 2013 年基于注册更新模型的废旧手机产生量分别为 28.00 万部与 7.99 亿部.

表 1 中国废旧手机产生量估算的相关数据

年份	P_t	E_t	I_t	S_t	S_t^S	S_t^C	S_t'	U_t	N_t
1998	8.00	0.15	1.64	9.48	1.42	-	10.91	23.86	-
1999	23.10	4.21	3.01	21.90	3.29	-	25.19	43.24	19.38
2000	36.64	9.51	6.00	33.13	4.97	-	38.10	84.53	41.29
2001	80.69	39.68	7.50	48.51	7.28	-	55.79	145.22	60.69
2002	118.94	41.09	17.20	95.05	14.26	-	109.31	206.61	61.39
2003	183.21	89.38	22.07	115.90	17.38	-	133.28	268.69	62.08
2004	228.79	146.05	12.72	95.47	14.32	-	109.79	334.82	66.13
2005	304.35	162.76	12.75	154.34	23.15	15.43	192.92	393.43	58.60
2006	476.31	385.72	28.92	119.51	17.93	11.95	149.38	461.08	67.65
2007	543.44	361.28	16.83	198.99	29.85	19.90	248.74	547.29	86.20
2008	559.87	314.29	17.72	263.30	39.49	26.33	329.12	641.23	93.94
2009	616.39	378.26	24.47	262.60	39.39	26.26	328.25	747.38	106.15
2010	991.36	497.93	18.65	512.08	76.81	51.21	640.10	859.00	111.62
2011	1129.37	507.81	9.25	630.81	94.62	63.08	788.51	986.25	97.77
2012	1179.35	496.24	9.59	692.70	103.91	69.27	865.88	1112.16	125.90
2013	1454.24	729.12	8.00	733.13	109.97	73.31	916.41	1229.11	116.95

注: P_t 、 E_t 与 I_t 分别为 t 年中国手机的生产量、出口量与进口量; S_t 为根据当年中国手机的生产量、出口量与进口量计算得到的 t 年的中国手机销售量; S_t^S 与 S_t^C 分别为 t 年“水货”与“山寨”手机销售量; S_t' 为 t 年经过校正的中国手机销售量; U_t 和 N_t 分别表示 t 年中国手机在网用户数与新增在网用户数.

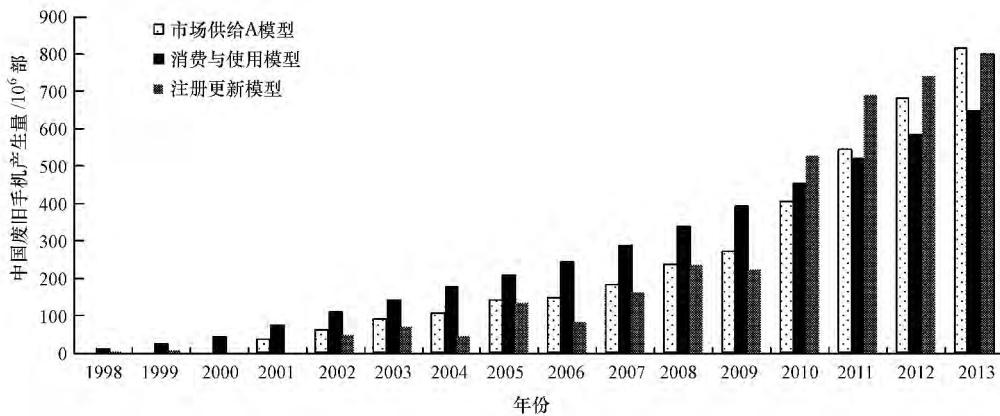


图 1 中国废旧手机产生量

Fig.1 Generation amount of retired mobile phones in China

基于注册更新模型的废旧手机产生量在 2000 年与 2001 年连续出现负值,分析历史数据可以得

知,这两个年份是中国移动通信高速发展和用户大量增长的开端,表明在中国移动通信行业快速发展

的初期全新手机的供给无法满足市场的需求,加之此时手机售价较高,部分废旧手机重新进入使用状态。随着 2002 年开始国内手机产能的逐渐释放,手机供给相对不足的情况得到改善,开始有大量的手机逐年退出使用状态,这一现象再未出现。

3.2 中国废旧手机的空间区域分布

基于注册更新模型的估算结果显示,2013 年中国废旧手机产生量为 7.99 亿部,在此基础上本文分析了同期中国废旧手机空间区域分布情况,相关数

据详见表 2。结果显示,广东、山东、江苏、河南、浙江与四川等区域废旧手机产生量居前,分别为 7911.03、6033.83、5785.85、4772.28、4203.52 与 4067.31 万部;西藏、青海、宁夏、海南等区域废旧手机产生量较少,分别为 153.10、320.13、373.09 与 495.18 万部;经济发达的东部区域(包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东等区域)产生了接近半数的废旧手机,中西部的人口大省河南与四川亦产生了大量的废旧手机。

表 2 中国废旧手机产生量空间区域分布的相关数据

Table 2 Data of the regional distribution of retired mobile phones in China

区域	地方生产总值/亿元	常住人口/万人	在网用户数/万户	地方生产总值占比	常住人口占比	在网用户占比	平均值
北京	19500.56	2115.00	3373.80	3.10%	1.56%	2.74%	2.47%
天津	14370.16	1472.00	1323.20	2.28%	1.09%	1.08%	1.48%
河北	28301.41	7333.00	6006.20	4.49%	5.41%	4.89%	4.93%
山西	12602.24	3630.00	3105.50	2.00%	2.68%	2.53%	2.40%
内蒙古	16832.38	2498.00	2690.60	2.67%	1.84%	2.19%	2.23%
辽宁	27077.65	4390.00	4583.60	4.30%	3.24%	3.73%	3.76%
吉林	12981.46	2751.00	2372.10	2.06%	2.03%	1.93%	2.01%
黑龙江	14382.93	3835.00	3020.40	2.28%	2.83%	2.46%	2.52%
上海	21602.12	2415.00	3200.70	3.43%	1.78%	2.60%	2.61%
江苏	59161.75	7939.00	7943.30	9.39%	5.86%	6.46%	7.24%
浙江	37568.49	5498.00	7071.80	5.96%	4.06%	5.75%	5.26%
安徽	19038.87	6030.00	3958.90	3.02%	4.45%	3.22%	3.56%
福建	21759.64	3774.00	4303.30	3.45%	2.78%	3.50%	3.25%
江西	14338.50	4522.00	2806.90	2.28%	3.34%	2.28%	2.63%
山东	54684.33	9733.00	8333.40	8.68%	7.18%	6.78%	7.55%
河南	32155.86	9413.00	7200.20	5.10%	6.95%	5.86%	5.97%
湖北	24668.49	5799.00	4416.80	3.92%	4.28%	3.59%	3.93%
湖南	24501.67	6691.00	4570.00	3.89%	4.94%	3.72%	4.18%
广东	62163.97	10644.00	14706.10	9.87%	7.85%	11.96%	9.90%
广西	14378.00	4719.00	3285.60	2.28%	3.48%	2.67%	2.81%
海南	3146.46	895.00	858.30	0.50%	0.66%	0.70%	0.62%
重庆	12656.69	2970.00	2380.80	2.01%	2.19%	1.94%	2.05%
四川	26260.77	8107.00	6283.30	4.17%	5.98%	5.11%	5.09%
贵州	8006.79	3502.00	2662.60	1.27%	2.58%	2.17%	2.01%
云南	11720.91	4687.00	3395.80	1.86%	3.46%	2.76%	2.69%
西藏	807.67	312.00	265.60	0.13%	0.23%	0.22%	0.19%
陕西	16045.21	3764.00	3512.50	2.55%	2.78%	2.86%	2.73%
甘肃	6268.01	2582.00	1976.20	0.99%	1.91%	1.61%	1.50%
青海	2101.05	578.00	542.40	0.33%	0.43%	0.44%	0.40%
宁夏	2565.06	654.00	627.20	0.41%	0.48%	0.51%	0.47%
新疆	8360.24	2264.00	2133.90	1.33%	1.67%	1.74%	1.58%

注: 平均值为地方生产总值占比、常住人口占比、在网用户占比的平均。

4 讨论(Discussion)

4.1 交叉检验

基于消费与使用模型的设计逻辑可以得到以下结论:手机保有量与废旧手机产生量之比为手机

的平均使用寿命,据此可以对本文的废旧手机产生量估算结果进行交叉检验,其结果详见表 3。 L_R 、 L_Q 与 L_W 分别表示根据本文市场供给 A 模型、消费与使用模型与注册更新模型估算结果推导得到的废旧手机平均使用寿命,其中 L_Q 的数值因为消费与使用模

型的参数设置保持恒定 L_R 与 L_W 的数值总体呈下降趋势,反映出相应的两种模型可以较好地体现中国移动通信市场快速发展并逐步饱和的现实.

表 3 中国废旧手机产生量的估算结果与交叉检验

Table 3 Estimation and crosscheck of retired mobile phones generation in China

年份	$R_i / 10^6$ 部	$Q_i / 10^6$ 部	$W_i / 10^6$ 部	L_R / a	L_Q / a	L_W / a
1998	0	12.56	0.28	-	1.90	85.21
1999	0	22.76	5.81	-	1.90	7.44
2000	0	44.49	-3.19	-	1.90	-26.50
2001	33.21	76.43	-4.90	4.37	1.90	-29.64
2002	57.74	108.74	47.92	3.58	1.90	4.31
2003	85.01	141.42	71.20	3.16	1.90	3.77
2004	104.72	176.22	43.66	3.20	1.90	7.67
2005	137.53	207.07	134.32	2.86	1.90	2.93
2006	145.17	242.67	81.73	3.18	1.90	5.64
2007	179.37	288.05	162.54	3.05	1.90	3.37
2008	227.87	337.49	235.18	2.81	1.90	2.73
2009	268.84	393.36	222.10	2.78	1.90	3.37
2010	390.57	452.11	528.48	2.20	1.90	1.63
2011	521.45	519.08	690.74	1.89	1.90	1.43
2012	671.28	585.35	739.98	1.66	1.90	1.50
2013	810.15	646.90	799.46	1.52	1.90	1.54

注: R_i 、 Q_i 与 W_i 分别表示本文基于市场供给 A 模型、消费与使用模型与注册更新模型估算得出的中国废旧手机产生量 L_R 、 L_Q 与 L_W 分别表示其对应的废旧手机平均使用寿命.

4.2 估算方法的选取

在本文涉及到的 3 种方法中,平均使用寿命是市场供给 A 模型及消费与使用模型不可或缺的关键参数.但手机的更替频繁,导致精确的平均使用寿命不易获得,而不精确的平均使用寿命则会影响估算结果的准确性.

注册更新模型基于 MFA 模型,是后者专门用于预测废弃手机产生量的一种形式,其基本思路为:忽略少量的闲置在网号码和“双卡单待”、“双卡双待”等多个号码共用一部手机等情况,假设每一个在网号码对应一部手机,因此,所有在网号码对应的手机设备需求总量可以视为一个使用中手机的“库”,确定时间内该“库”容量确定不变;一定时间内的新增在网用户数可视为“库”的新增容量,同期销售的手机数量可以视为进入这个“库”的“输入源”,而“输入源”代表的新增手机数量如果大于“库”的新增容量则将对其中原有的存量发生“挤出”效应,被“挤出”的部分可视为该时间段的废旧手机数量.在操作层面,该模型的计算公式为用一定时间内的手机销售量减去同期新增用户数,数据需

求少且容易获得.

此外,本文手机平均使用寿命、“水货”与“山寨”手机销售量等数据的获得均基于问卷调查的结果.专业的问卷设计、严格的受试筛选与合理的统计分析可以确保问卷调查结果最大限度的符合实际情况.本文在应用问卷调查数据前,通过其他来源对数据进行交叉检验以保证数据的准确性.但是,问卷调查得到的是一个静态的结果,在用手推演手机这一快速更替的消费电子产品类别的更新换代过程时还是可能带来一定程度的误差.

基于上述讨论,本文认为基于注册更新模型的估算结果可以更好的说明中国废旧手机的产生情况.在对废旧手机产生量进行估算时可以优先考虑选取注册更新模型.

4.3 与已有研究的对比

目前,已有一些研究采用市场供给模型、市场供给 A 模型和 MFA 模型等方法对中国废旧手机产生量进行了估算(Yu *et al.*, 2010; 高颖楠等, 2010; 廖程浩等, 2012).但上述研究存在模型选取不当、数据来源混乱或者统计口径不一等不足,数据详见表 4.另外,现有针对中国废旧手机产生量的研究均未考虑“水货”和“山寨”手机的销售量.这些因素均会影响估算结果的准确性.

表 4 不同研究中中国手机销售量的相关数据

Table 4 Sales data of mobile phones in China in previous studies

年份	10^6 部					
	P_t^1	E_t^1	I_t^1	S_t^1	S_t^2	S_t^3
1998	8.53	0.35	-	8.18	3.31	-
1999	22.68	0.25	-	22.43	19.15	-
2000	52.48	22.75	-	29.73	36.64	-
2001	75.93	45.20	15.29	46.02	80.69	-
2002	108.57	63.29	17.20	62.48	118.94	-
2003	147.06	95.34	22.07	73.79	183.00	64.00
2004	212.02	146.05	12.72	78.69	228.79	72.00
2005	303.61	228.30	12.75	88.06	304.35	85.00
2006	340.41	250.00	28.92	119.33	119.00	110.28
2007	549.51	482.80	16.83	145.00	150.00	149.13
2008	560.50	533.00	17.72	159.00	147.36	147.42
2009	-	-	-	-	157.00	156.55
2010	-	-	-	-	164.36	246.00
2011	-	-	-	-	169.06	-
2012	-	-	-	-	173.04	-
2013	-	-	-	-	-	-

注: P_t^1 、 E_t^1 与 I_t^1 分别为文献 1(Yu *et al.*, 2010) 中 t 年中国手机的生产量、出口量与进口量; S_t^1 、 S_t^2 与 S_t^3 分别为文献 1(Yu *et al.*, 2010), 文献 2(高颖楠等, 2010) 与文献 3(廖程浩等, 2012) 中 t 年的中国手机销售量.

遵循废弃电器电子产品产生量估算方法的选择策略,本文选取3种不同方法对中国废旧手机产生量进行估算。估算数据均源自国家相关统计,具有良好的延续性和权威性,且考虑“水货”和“山寨”手机对销售量进行了校正。因此,本文的估算结果更加符合中国废旧手机产生的实际情况,可以为中国废旧手机的可持续管理提供数据支撑。

5 结论(Conclusions)

本文基于权威数据,采用市场供给A模型、消费及使用模型与注册更新模型等3种不同的方法对中国的废旧手机产生量进行了估算。由于考虑“水货”和“山寨”手机对销售量进行了校正,本文的结果明显高于已有研究,更加符合实际。因其较少的数据需求与较好的数据可获性,本文认为基于MFA模型的注册更新模型能够简便高效精确的估算废旧手机的产生量,可以作为废旧手机产生量估算工作的优先选择。基于注册更新模型的估算结果显示,1998年与2013年中国废旧手机产生量分别为28.00万部与7.99亿部。此外,针对中国废旧手机产生量空间区域分布的研究显示,经济发达的东部区域产生了接近半数的废旧手机。

责任作者简介:杨建新(1965—),男,博士,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研究员,主要研究风向为产业生态学、环境经济与环境管理。

参考文献(References):

- 代颖,马祖军. 2010. 废旧家电回收处理体系及管理机制[M]. 北京: 科学出版社
- 高颖楠,徐鹤,卢现军. 2010. 基于市场供给A模型的手机废弃量预测研究[A]//2010中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷)[C]. 北京: 中国环境科学学会. 3597-3601
- Hibbert K, Ogunseitan O A. 2014. Risks of toxic ash from artisanal mining of discarded cellphones[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 278: 1-7
- Jang Y C, Kim M. 2010. Management of used & end-of-life mobile phones in Korea: a review [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1): 11-19
- 李博,杨建新,吕彬,等. 2015. 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*, 35(24), doi: 10.5846/stxb201408171623
- Li J, Gao B, Xu Z M. 2014. New technology for separating resin powder and fiberglass powder from fiberglass-resin powder of waste printed circuit boards[J]. *Environmental Science & Technology*, 48(9): 5171-5178
- Li J H, Zeng X L, Stevels A. 2015. Ecodesign in consumer electronics: past, present and future [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(8): 840-860
- 廖程浩,张永波. 2012. 废旧手机产生量测算方法比较研究[J]. *生态经济*, (3): 124-126
- Maragkos K G, Hahladakis J N, Gidarakos E. 2013. Qualitative and quantitative determination of heavy metals in waste cellular phones [J]. *Waste Management*, 33(9): 1882-1889
- Martinho G, Pires A, Saraiva L, et al. 2012. Composition of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling[J]. *Waste Management*, 32(6): 1213-1217
- Ogunseitan O A, Schoenung J M, Saphores J D, et al. 2009. The electronics revolution: from e-wonderland to e-wasteland [J]. *Science*, 326(5953): 670-671
- Paiano A, Lagioia G, Cataldo A. 2013. A critical analysis of the sustainability of mobile phone use[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 73: 162-171
- Polák M, Drůpalová L. 2012. Estimation of end of life mobile phones generation: the case study of the Czech Republic [J]. *Waste Management*, 32(8): 1583-1591
- Solé M, Watson J, Puig R, et al. 2012. Proposal of a new model to improve the collection of small WEEE: a pilot project for the recovery and recycling of toys[J]. *Waste Management & Research*, 30(11): 1208-1212
- Stone R. 2009. Confronting a toxic blowback from the electronics trade [J]. *Science*, 325(5944): 1055
- Wang J W, Bai J F, Xu J Q, et al. 2009. Biobleaching of metals from printed wire boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans* and their mixture [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2/3): 1100-1105
- Xue M Q, Xu Z M. 2014. Innovative platform and incentive mechanism are the keys for electronic waste collection in developing countries [J]. *Environmental Science & Technology*, 48(22): 13034-13035
- Yadav S, Yadav S, Kumar P. 2014. Metal toxicity assessment of mobile phone parts using Milli Q water[J]. *Waste Management*, 34(7): 1274-1278
- 杨彦,于云江,李定龙,等. 2012. 不同电子废弃物拆解场重金属经口暴露的健康风险研究[J]. *环境科学学报*, 32(4): 974-983
- Yin J F, Gao Y N, Xu H. 2014. Survey and analysis of consumers' behaviour of waste mobile phone recycling in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 65: 517-525
- Yu J L, Williams E, Ju M T. 2010. Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China [J]. *Energy Policy*, 38(8): 4135-4141
- Zeng X L, Song Q B, Li J H, et al. 2014. Solving e-waste problem using an integrated mobile recycling plant [J]. *Journal of Cleaner Production*, 90: 55-59
- 郑晶,陈可慧,陈社军,等. 2013. 电子废物拆解地区人群头发中持久性卤代有机污染物(PHCs)的污染特征[J]. *环境科学学报*, 33(11): 2928-2934
- 中华人民共和国工业和信息化部. 2014. 2014年11月电话用户分省情况[OL]. 2015-01-20. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11294132/n12858447/16336887.html>
- 中华人民共和国工业和信息化部运行监测协调局. 2009—2014. 中国电子信息产业统计年鉴2008—2013[M]. 北京: 电子工业出版社
- 中华人民共和国信息产业部经济体制改革与经济运行司. 2003—2008. 中国电子信息产业统计年鉴2002—2007[M]. 北京: 电子工业出版社