

基于报废量预测的电子废弃物回收产业现状与对策 —— 以长三角为例

李 虹^a, 姚 莉^a, 姚沛帆^b, 胡梦鑫^a, 许梦想^a

(上海第二工业大学 a. 经济与管理学院; b. 电子废弃物研究中心, 上海 201209)

摘 要: 长三角为我国经济最活跃、电子废弃物回收产业发展相对完善的地区之一。运用 stata 多元回归分析报废量的影响因素, 用 Holt 模型预测长三角区域电子废弃物报废量。结果显示, 2050 年电视机累计报废量将达到 35 亿台, 手机报废量将达到 65 亿部。通过分析长三角电子废弃物回收产业规模、回收体系、地方性法律政策及公共意识 4 个方面, 发现在回收体系构建方面, 仍然存在非正规回收渠道占据主要市场, 正规企业产能过剩以及回收点覆盖不合理等问题。结合未来电子废弃物报废量与回收产业现状, 提出了系统性的政策建议。

关键词: 长三角; 电子废弃物; 回收量预测; 回收产业

中图分类号: X705

文献标志码: A

Current Situation and Countermeasures of Electronic Waste Recycling Industry Based on Recycling Volume Forecast: An Example of the Yangtze River Delta

LI Hong^a, YAO Li^a, YAO Peifan^b, HU Mengxin^a, XU Mengxiang^a

(a. School of Economics and Management; b. WEEE Research Center, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

Abstract: The Yangtze River Delta is one of the most active economic regions and the relatively complete development of the e-waste recycling industry in China. The stata multiple regression analysis is used to analyze the influencing factors of scrap volume, and Holt model is for predicting the scale of e-waste scrap in the Yangtze River Delta. The result shows that the cumulative scrap of TV sets and mobile phones will reach 3.5 billion and 6.5 billion in 2050. However, by analyzing four aspects of the scale of the e-waste recycling industry in the Yangtze River Delta, recycling systems, local laws and policies, and public awareness, there are still problems in the construction of recycling system, such as informal recycling channels that still occupy the main market, overcapacity of formal enterprises, and unreasonable coverage of recycling points. Combined with the current situation of the recycling industry and the amount of discarded e-waste in the future, systematic policy suggestions are proposed.

Keywords: Yangtze River Delta; e-waste; forecast of recycling volume; recycling industry

收稿日期: 2021-01-31

通信作者: 姚 莉 (1973-), 女, 甘肃兰州人, 教授, 博士, 主要研究方向为国际商务, 循环经济, 区域经济学。

E-mail: yaoli@sspu.edu.cn

基金项目: 新能源汽车动力蓄电池回收网点国家/行业标准研制 (C80JG186004), 上海绿色物流与碳中和研究中心 (智库)(A10GY21H004-22) 资助

0 引言

电子废弃物 (waste electrical and electronic equipment, WEEE) 是指包括电视机、电冰箱、空调、洗衣机等传统家电和手机、电脑等通信电子产品在内的废弃不再使用的电子电器产品^[1]。我国是 WEEE 产生大国, 2018 年其产生量已超过 700 万 t, 居世界第一。然而, 我国 WEEE 规范收集和处理量不到 20%, 远低于世界先进水平^[2]。长三角作为我国经济最活跃的地区之一, 废弃电子电器产生量巨大。大量的 WEEE 如不进行妥善的回收、处理和处置, 不仅将对资源造成巨大的浪费, 而且会对环境造成严重的污染。一方面, 以手机为例, 2020 年, 长三角地区的手机预测报废量高达 12 000 部 (后文中计算所得), 根据 2019 年苹果公司发布的《环境责任报告书》^[3] 显示, 每 10 万部手机可回收 1.1 kg 金、6.3 kg 银、1 000 kg 铜、1 500 kg 铝、790 kg 钴、29 kg 锡等有色金属, 经计算得, 长三角 2020 年废旧手机中可提取的有色金属价值高达 3 200 万元; 另一方面, 电视机、手机的主要零部件中含有镉、砷、铍等约 20 余种有毒有害物质^[4], WEEE 处置不当则极有可能导致有害物质迁移至土壤和地下水中, 造成极大污染。

2020 年 5 月 14 日, 国家发展和改革委员会发布关于印发《关于完善废旧家电回收处理体系推动家电更新消费的实施方案》(《方案》) 的通知, 强调废旧家电回收行业应以形成强大国内市场为目标, 完善回收处理体系, 聚焦生产、消费、回收、拆解全链条中的薄弱环节和关键领域。因此, 科学、合理规划 WEEE 回收产业、探究 WEEE 回收体系建设对于《方案》的实施具有重要意义。

国内外学者也对于 WEEE 回收产业方面进行了研究, 其主要集中于 WEEE 回收的经济效益以及政策制定方面。在 WEEE 回收的效益指标评价方面, Cucchiella 等^[5] 测算了包括 LED 灯在内的 14 种 WEEE 的回收潜在收入, 分析了回收过程中某些关键变量对回收经济效益的影响; Awaasthi 等^[6] 发现全球 WEEE 增长与 GDP 之间具有很强的线性关系, 回收不断增长的 WEEE, 将会带来巨大的经济效益; Kang 等^[7] 利用技术成本模型 (TCM) 评估了回收 WEEE 的经济效益, 分析并计算在回收过程中产生的收入与成本; Lee 等^[8] 分析了日本、韩国和中国

等国家的 WEEE 回收系统, 对其中的成本分摊、环境经济影响和回收合作可能性三方面进行了探索; 陈盼等^[2] 全面系统地评估了京津冀地区的 WEEE 产生量及回收利用的资源环境效益, 通过 WEEE 协同精准管理来解决资源环境问题, 提供科学依据和方法支撑。就 WEEE 回收政策制定而言, Cao 等^[9] 研究了中国自 2009 年建立的基于生产责任延伸制为原则的 WEEE 回收管理系统, 从政府政策、企业和公众意识三方面对中国的 WEEE 回收产业进行了分析; Lin 等^[10] 从国家政策制定的角度, 利用层次分析法 (AHP) 评估包括手机在内的 3 种 WEEE 进行回收的可能性及回收优先顺序; Wei 等^[11] 通过回顾中国 WEEE 回收的发展历程和法律制度, 分析了当前 WEEE 回收产业中的问题与障碍, 借鉴发达国家管理经验, 提出解决措施; 鲁修文等^[12] 在分析了中国 WEEE 回收处理现状及存在问题的基础上, 提出了 WEEE 的回收政策。综上所述, 在 WEEE 回收产业管理方面, 国内外研究大多集中在 WEEE 回收产业经济效益影响和相关法律政策方面, 极少有研究基于 WEEE 预测量, 分析某区域 WEEE 回收产业发展现状。

本文通过时间序列预测模型及改进的消费使用模型预测长三角地区 WEEE 的报废量, 预估了未来 30 年的长三角地区 WEEE 回收规模以及潜在回收利用空间。针对长三角地区 WEEE 回收产业存在的问题, 提出了相应的解决措施及改善路径。

1 长三角 WEEE 回收产业发展现状

1.1 回收产业规模

2010 年 6 月, 国家发改委印发《长江三角洲地区区域规划》, 规划范围包括上海市、浙江省、江苏省在内的两省一市, 辐射泛长三角地区, 规划期为 2009—2015 年, 展望至 2020 年。2019 年 12 月, 国家发改委印发《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》, 将长三角地区规划范围扩大至安徽省, 共上海市、浙江省、江苏省和安徽省四省一市全域, 规划期至 2025 年, 展望至 2035 年。由于本文关于 WEEE 报废量预测方面采用了 2001—2017 年的数据, 到 2017 年为止, 长三角地区仍采用《长江三角洲地区区域规划》, 因此, 本文界定的长三角地区为上海市、浙江省和江苏省。

20 世纪 90 年代以来, 以上海、江苏、浙江为代表的长三角区域形成了包括 WEEE 在内的废旧资源回收产业^[13]。如表 1 所示, 2018 年长三角废弃物回收企业总产值达到了 416.02 亿元, 占 GDP 0.23%。其中, 上海市废弃资源综合利用企业总产值达 37.37 亿元, 占当年 GDP 的 0.11%; 浙江省废弃资源综合利用企业总产值达 234.57 亿元, 回收企业 135 个, 年平均促进就业 1.18 万人; 江苏省废弃资源综合利用企业总产值达 144.08 亿元, 回收企业 128 个, 年平均促进就业 0.86 万人。

表 1 2018 年长三角区域废弃物资源回收利用企业发展状况
Tab. 1 Enterprises development status of waste resource recycling in the Yangtze River Delta in 2018

地区	废弃物回收企业 总产值/ 亿元	GDP/亿元	产值 占比/%	废弃物回收企业 个数/个	用工人 数/万人
上海市	37.37	32 679.87	0.11	—	—
浙江省	234.57	56 197.01	0.42	135	1.18
江苏省	144.08	92 595.40	0.16	128	0.86
总计	416.02	181 454.28	0.23	263	2.04

注: 数据来源上海统计年鉴, 浙江统计年鉴, 江苏统计年鉴

总体来看, 长三角区域废弃物资源综合利用企业产值可观, 但所占产值比例仍然太低, 企业发展环境不容乐观。由表 1 可知, 2018 年浙江省有 135 家废弃资源综合利用企业, 但其中有 30 家濒临破产, 废弃物回收产业的发展仍存在很多问题。

国家为了促进 WEEE 回收行业健康发展, 基于生产责任制的要求, 向电子电器产品生产企业征收废弃产品处理费用, 建立基金机制, 以补贴正规 WEEE 回收拆解企业。2012 年, 国家财政部等部门公布了第一批 WEEE 回收处理企业基金补贴名单, 并自 2015 年起, 基金补贴企业一直维持在 109 家。其中, 长三角区域一共有基金补贴的再生资源回收拆解企业 19 家, 具体分布如图 1 所示^[14]。长三角平均各企业年处理废家电能力在 120~150 万台左右, 其中, 江苏省 8 家电子电器拆解处理企业年处理能力高达 1 053 万台^[15]; 自 2009 年实行“以旧换新”政策的 29 个月以来, 上海新金桥环保有限公司共处置各类废旧家电共计 374 万台^[16]。

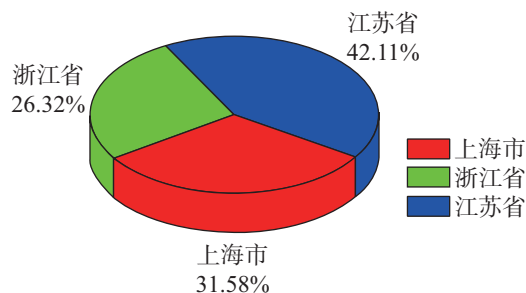


图 1 基金补贴回收企业分布图

Fig. 1 Distribution of fund subsidy recovery companies

但是废弃物正规回收拆解企业一直面临产能不够的问题。根据调查数据显示^[9], 目前正规的废旧电气电子处理企业的处理能力远远大于实际的 WEEE 处理量, 80% 的 WEEE 仍流向非正规回收部门, 正规企业实际回收量不到企业处理能力的 50%, 企业产能过剩, WEEE 规范回收处理偏低^[17]。2013 年, 浙江省 3 家基金补贴企业的年处理能力可达 350 万台^[9], 但实际加工处理总量为 182 万台, 只占全部处理能力的一半。

1.2 回收体系

1.2.1 回收渠道

长三角区域回收体系中, 从政府角度看, 回收渠道主要包括正规渠道、非正规渠道两种。正规渠道包括家电生产、销售、回收、拆解企业和电商平台, 发展废旧家电回收逆向物流; 非正规渠道包括个体维修经营者通过社区设置回收点或走街串巷进行回收。

以浙江省为例, Cao 等^[9] 走访调查研究浙江省居民对回收渠道的选择 (见表 2), 平均 27.57% 的居民在废弃物回收时选择正规渠道 (以旧换新、官方售后服务中心), 28.22% 的居民选择非正规渠道 (私人商贩、二手商店), 选择其他 (闲置、送人等) 占比 44.21%。由表 2 可知, 居民在对各类废旧家电选择回收渠道时, 对手机、电脑、笔记本电脑等具有私密性的个人物品选择正规回收渠道较多, 对于其他类似电视机、洗衣机等传统废旧家电, 居民仍大多选择非正规渠道, 但正规与非正规渠道选择差距并不大。

非正规回收渠道出现在正规渠道之前, 由于规模小、成本低、利润高, 占据了较大的市场规模, 目前, 仍是 WEEE 回收市场的主力军。2007 年, 我国 WEEE 回收行业从业人员超出 70 万人^[5], 其中 98% 的人员在非正规回收行业就业。

表 2 浙江省居民对各类废旧家电回收渠道选择意向^[9]

Tab. 2 Intentions of residents in Zhejiang Province on choosing recycling channels for various types of used home appliances %

类别	正规渠道	非正规渠道	其他
电视机	31.01	33.60	35.39
洗衣机	29.44	34.80	35.76
空调	30.96	34.30	34.74
冰箱	31.09	34.70	34.21
电脑	26.97	25.90	47.13
手机	19.55	15.25	65.2
照相机	22.87	23.24	53.89
笔记本电脑	28.65	24	47.35
平均值	27.57	28.22	44.21

1.2.2 回收方式

长三角区域,从消费者角度出发,主要存在 5 种回收方式:小商贩上门回收、社区固定回收点回收、以旧换新、二手市场回收以及事业单位统一交投^[18-23]。除此之外,长三角区域创新新型回收方式,完善回收体系。一是经销商自行开展“以旧换新”活动,在 2012 年全国范围的“以旧换新”政策到期后,我国越来越多家电零售商和生产商每年对其产品进行 1~3 次的短期“以旧换新”活动作为推广;二是鼓励发展“互联网+”绿色回收渠道,长三角区域积极响应国务院发布的《关于积极推进互联网+行动的指导意见》,提倡利用互联网平台,拓宽废弃物回收渠道,建立 WEEE 线上交易平台。其中,格林美企业在武汉积极推广回收哥 WEEE 回收平台,包括 APP、微信、网站和 400 电话等联系方式,消费者若有需求,即可通过以上方式呼叫附近回收哥上门回收。回收哥要求回收资源价格公开透明,回收之后直接进入正规回收拆解企业,促进了当地的废旧资源回收市场发展。

1.2.3 回收点覆盖

根据调研研究显示,江苏省扬州市作为长三角区域较早一批开始着力 WEEE 回收的地区,在回收网点布置、回收网络设计上相对较为合理,具有参考意义。

据资料显示^[24],扬州市市内 WEEE 回收网店根据规模大小主要分为大型、中型、小型中转站以及回收站点 4 种。其中,大型中转站作为回收网络中的第 3 级,每年回收 WEEE 数量在 30~40 万台左

右,由于规模较大,为形成规模效益及方便管理,主要回收某一种 WEEE,兼顾回收其他 WEEE;中型中转站每年回收 WEEE 近 10~20 台,其种类较多,会定期将 WEEE 送到正规处理拆解企业;小型中转站的 WEEE 来源主要为小型回收站点,但小型回收站点的 WEEE 回收数量较少,大约每年在 1 000 台。扬州市的“三级”网络回收设置目前基本建成,配合政府出台的相关管理办法,能够满足居民目前的回收要求,使再生资源得到有效回收和利用。

表 3 扬州市回收站点 WEEE 年回收数量^[24]Tab. 3 Annual WEEE recycling quantity in Yangzhou city recycling sites^[24]

	WEEE 回收站			
	大型 中转站	中型 中转站	小型 中转站	小型 回收站点
年回收数量/万台	30~40	10~20	5	0.1

在回收点设置方面,长三角地区回收网络覆盖全面,层级设置比较合理,其中,江苏省扬州市设置“三级”回收网络;上海聚焦完善废旧资源专项回收系统,打造“点、站、场”回收网络布局;浙江省杭州市推广先进回收模式,对标准化回收网点连续补贴 3 年等。

1.2.4 处理技术

废弃物处置技术是对废家电正确无害化处置的关键^[20,25-31]。一般应用最多的为机械物理法和冶金处置法,一般正规的回收处理企业采用机械物理法和火法冶金技术相结合的方法,非正规回收处理的个体回收户缺乏专业的拆解工具和拆解技能,拆解手法较为粗放,一般采用机械物理法。这两种方法虽然应用广、存在时间较长,但仍会带来的较大环境问题。目前,相关企业及科研人员正在开发气化、热解、微生物法等新技术,这些新技术可以减轻二次污染,具有较好的应用前景。

综上,长三角区域 WEEE 回收体系已初具规模,回收渠道较为健全,回收方式多样,回收点设置覆盖合理,但其中非正规渠道占比过高,不利于市场规范管理;回收处理技术过于基础,非正规回收处理的个体回收者仍大多采用粗暴简陋的拆解处理技术,导致环境污染。政府应落实基金补贴制度,引导支持回收处理企业发展,加大市场份额;鼓励企业创新引

进新型回收处理技术,降低回收处理过程产生的污染影响。

1.3 地方性法律政策

以上海市、江苏省、浙江省为代表的长三角区域制定了以下主要政策文件(见表4)。截至2019年,长三角区域地方政府共颁布了8部主要政策文件,用于完善WEEE行业规范以及回收网络的规划,主要集中在WEEE的污染防治方面。以上海市为例,从2012年起,上海市人民政府、环保局发布了《上海市再生资源回收管理办法》、《上海市电子废物、废轮胎、废塑料、废旧衣服、废家电拆解等再生利用行业清理整顿工作方案》和《废弃电器电子产品拆解处理情况审核工作指南(2019年版)》等文件,要求建设再生资源回收网络,规范废旧资源回收市场,建立审核监察体制机制,以促进废旧再生资源行业的健康发展。

表4 长三角主要政策文件

Tab. 4 Main policy documents of the Yangtze River Delta

年份	政策文件
2006	《浙江省固体废物污染环境防治条例》
2010	《上海市家电以旧换新实施细则》
2011	《江苏省家电“以旧换新”拆解处理企业环境管理办法》
2012	《上海市再生资源回收管理办法》
2017	《上海市电子废物、废轮胎、废塑料、废旧衣服、废家电拆解等再生利用行业清理整顿工作方案》
2019	《上海市可回收物体系规划实施方案》 《废弃电器电子产品拆解处理情况审核工作指南(2019年版)》(上海) 《江苏省废弃电器电子产品规范化精细拆解技术指南》

由此可见,长三角区域以地方性政府政策文件为主导进行区域性的WEEE回收产业的管理^[32]。长三角区域出台关于WEEE回收政策相对来说较为全面,明确规定了WEEE回收的种类以及针对回收处理企业的各项规定,在政府政策支持下,回收处理企业基本可以正常运转,并朝着良好的态势发展。特别是上海,出台的政策标准相对较为完善、细致,包括WEEE的回收网络体系规划、具体的拆解技术指南等。未来,长三角区域在进行WEEE产业管理时,应不断完善相关政策的制定和鼓励支持回收拆解企业基础设施的建设。

1.4 公众意识

公众对WEEE的合理规范回收一般受到政府政策要求、公益广告宣传等方式影响。目前公众对WEEE的认知调查显示^[9],浙江省居民对WEEE处理不当造成的环境污染和健康损害的认识比例较高,约占74%。其中65.4%的居民了解WEEE处理不当的危害,8.52%的居民非常了解WEEE中含有的贵金属和有毒物质。大约81%的受访者已经收到关于WEEE污染危害和预防的出版物,甚至超过27%的受访者经常或通常会收到此类宣传。同时,86.4%的受访者愿意回应政府或社会团体的宣传活动。

2 WEEE 报废量预测

据中国再生资源回收利用协会数据统计,2019年废家电拆解行业年规范拆解量已经达到9000万台,年拆解能力达到了1.4亿台,有力解决了我国作为世界上最大的消费电子产品生产国和消费国的污染问题^[5,33-34]。经过多年发展,我国规范废家电企业的技术规范、拆解流程、环保措施和内部管理方面处于世界领先地位,相关政府主管部门对拆解企业的监控和相关拆解物的复核、废弃物流向管控等方面的管理日趋完善和规范,从拆解到监管已经形成具有中国特色的环境管理体系。

2.1 社会保有量预测

刘志峰等^[35]认为在建立WEEE预测模型时应充分考虑人均可支配收入、人口密度等因素对家电报废量的影响;Awaasthi等^[6]认为WEEE数量与国内生产总值GDP之间存在着强烈的线性关系;Ghinea等^[36]建立了城市固体废物数量预测模型,认为城市固体废物数量与人口密度、人民年龄等因素等因素有关。因此,本文以2001—2017年长三角区域手机、电视机社会保有量数据为基础(数据来源于上海统计年鉴、江苏统计年鉴、浙江统计年鉴),由于2013年与2014年的社会保有量数据为全国普查数据,与其他年份采用统计抽样方法的数据差别较大,不利于预测,故预测时去掉2013、2014年的数据。建立考虑地区GDP、人口密度以及人均可支配收入等因素的手机电视机的多元回归数据模型:

$$D_{it} = \beta_1 X_{it} + \beta_0 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: D_{it} 为第 t 年某 i 区域的社会保有量; β_1 为某

i 区域的自变量的系数; X_{it} 为第 t 年某 i 区域的自变量 (人均可支配收入, 元; 人口密度, 万人/ km^2 ; 地区生产总值, 亿元); β_0 为常数项; ε_{it} 为随时间而变的随机扰动项。

WEEE 社会保有量:

$$D_t = Q_t \cdot H_t \quad (2)$$

式中: D_t 为第 t 年的社会保有量; Q_t 为第 t 年每百户耐用品数量; H_t 为第 t 年的户数。

运用 stata 软件进行回归分析, 回归结果如表 6 所示。通过 Holt 模型预测人均可支配收入等相关变量, 预测长三角区域手机与电视机的社会保有量规模 (见图 2)。

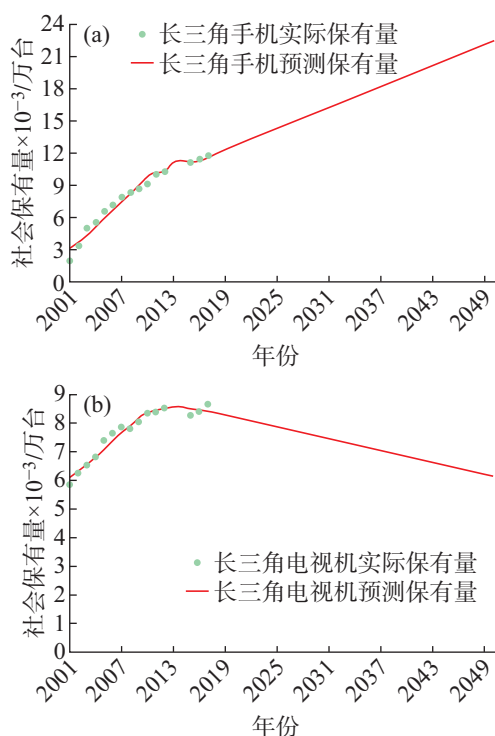


图 2 (a) 手机社会, (b) 电视机保有量

Fig. 2 Social inventory of (a) mobile phones, (b) TV sets

2.2 报废量预测

近年来, 国内外学者关于废弃报废量的预测研究创建了许多种数学模型, 李博等^[29]根据报废量现有预测方法在应用环境、数据要求方面的不同, 归纳总结出 13 种 WEEE 预测方法; 孙黎宏^[37]为提高预测准确性, 提出考虑科技进步和经济发展的因素下构建改进的消费使用模型以预测家电回收量; 刘志峰等^[35]在分析家电报废量影响因素的基础上, 运用多元回归方法建立了考虑人口密度、人均可支配收入等因素的废旧家电产生量预测模型。本文采

用适用于社会保有量数据的改进的消费使用模型计算电子电器产品的报废量:

$$B_{(t+j)} = \sum_{j=a}^b D_t \cdot p_j \quad (3)$$

式中: $B_{(t+j)}$ 为第 $t+j$ 年某电子电器产品的报废量; D_t 为第 t 年某电子电器产品的社会保有量; p_j 为使用寿命为 j 的报废比例。

报废量预测结果如图 3 所示, 电子电器产品不同使用寿命下所对应的报废比例如表 5 所示。

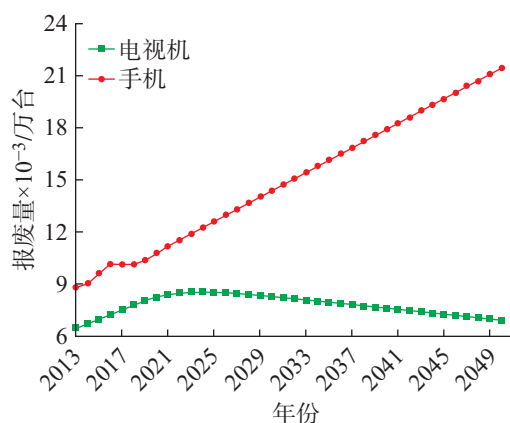


图 3 电视机、手机报废量预测

Fig. 3 Forecasting scrap of TV sets and mobile phones

表 5 电子电器产品不同废弃年限的废弃比例^[37]

Tab. 5 Electrical and electronic product life tables^[37]

电器种类	使用寿命范围/年	平均使用寿命/a	使用寿命/a	不同废弃年限的废弃占比/%
彩电	8~12	10	8	10
			9	15
			10	15
			11	25
			12	35
手机	1~3	2	1	10
			2	50
			3	40

2.3 预测结果分析

长三角区域 WEEE 回收市场潜力巨大。在社会保有量方面, 由图 2(a) 可知, 电视机社会保有量从 2001~2006 年呈现显著增长趋势, 增长量为 1 768 万台; 到 2011 年, 电视机社会保有量呈现短暂平稳状态; 2014 年, 社会保有量开始下滑, 平均增长率为 -0.92% 。由于当代手机的功能越来越强大, 很大程

度上代替了电视机的一部分功能, 所以电视机的数量在未来将会呈现负增长态势。与之相反, 图 2(b) 中手机社会保有量明显出现加速上升趋势, 长三角区域的手机保有量从 2001 年的 1 958 万台到 2011 年的 1 亿台, 10 年增长量为 8 042 台, 平均增长率为 15%, 预测到 2050 年, 长三角区域手机社会保有量将达到 2 亿台, 约为 2001 年的 11 倍, 增速明显。随着手机更新换代的加快, 可以预测未来手机的社会保有量将会持续增长。

由图 3 可知, 在报废量方面, 电视机报废量从 2013—2022 年呈现快速增长, 平均增长率为 3.12%; 从 2022 年起, 由于电视机社会保有量的减少, 报废量开始保持平稳, 不再增长; 2025 年报废量开始逐年下降; 手机报废量增长趋势明显, 未来 40 年, 平均增长率为 4.07%, 累计将报废 65 亿台手机。

由表 6 可知, $R^2 > 0.95$, 拟合程度理想; 其中, 自变量人口密度 $p < 0.01$, 说明人口密度与电视机、手机社会保有量显著相关; 地区生产总值 $p < 0.05$, 说明地区生产总值对电视机、手机社会保有量影响较为显著; 人均可支配收入的 p 值均 < 0.1 , 表明其对社会保有量影响程度不明显。所以, 在社会保有量预测中应充分考虑人口密度和地区生产总值的影响。

表 6 社会保有量回归结果
Tab. 6 Regression results of social inventory

社会保有量	长三角	
	电视机	手机
人均可支配收入	-0.011* (-0.064)	-0.22* (-0.316)
人口密度	51.558*** (-7.993)	130.920*** (-29.069)
地区生产总值	-0.011** (-0.013)	0.034** (-0.063)
常数项	-25 435.068*** (-4 721.234)	-76 572.622*** (-16 845.566)
N	15	15
R^2	0.964	0.970

注: * 为 $p < 0.1$; ** 为 $p < 0.05$; *** 为 $p < 0.01$; R 为表示拟合优度判定系数, 其值大小说明回归模型的拟合效果; N 为每组数据的样本量。括号内数据为回归方程中自变量的系数。

3 结论和建议

3.1 结论

本文通过时间序列 Holt 模型对长三角区域 WEEE 报废量预测。结果显示, 2020—2050 年电视机社会保有量将保持在 0.6 亿台左右, 累计报废量达到 35 亿台。手机社会保有量为 2.2 亿台, 是 2010 年的 2 倍, 且增速为 15%, 其累计报废量将达到 65 亿台。因此, 长三角 WEEE 回收潜力巨大, 具有丰富的可再生资源。在对 WEEE 回收量预测的基础上, 通过对长三角区域 WEEE 回收产业发展现状分析, 发现长三角区域 WEEE 回收产业规模较大, 但产值占比较低; 回收体系中非正规回收渠道相对占比较大, 导致正规回收企业产能过剩; 地方性法律政策制定比较全面, 涵盖 WEEE 回收的各项规定以及对回收企业的标准要求; 公众对 WEEE 回收的意识比较强, 宣传 WEEE 的危害以及合理规范回收在一定程度上起了一定的影响作用。未来, 长三角地区 WEEE 回收产业的蓬勃发展将离不开地方政府政策的大力支持和指导。该行业的早期发展虽主要由政府驱动, 随着废弃物回收需求的大量增加, 政府主导将逐渐转为市场驱动。因此, 政府应将积极引导回收需求, 不断增强市场驱动力, 对当地正规回收企业给予政策支持。本文虽对长三角地区的 WEEE 报废量进行了相关预测, 但未对 WEEE 中关键金属, 如金、银和钯等进行定量评估。因此, 未来的研究方向应关注 WEEE 中多种关键金属回收量的评估。

3.2 政策建议

长三角区域 WEEE 回收产业已初见规模, 为了更好地管理 WEEE 回收行业, 促进其行业健康有序发展, 本文提出以下建议: 一是提倡区域合作, 共用环境基础设施, 降低基建成本, 形成回收产业链, 扩大规模经济; 二是建立建设合理的废旧电子电器产品回收体系, 整合正规与非正规回收渠道, 鼓励发展新型“互联网+”绿色回收渠道, 提高正规回收渠道所占比例, 保证回收拆解企业“原材料”充足; 三是完善 WEEE 回收网络体系, 合理设置回收点覆盖范围, 保证居民方便投放 WEEE; 四是搭建回收平台, 规范回收流程, 官方统计各区域的 WEEE 回收量, 通过正规渠道和非正规渠道处理的数量, 为制定政策提供决策依据; 五是补贴鼓励回收拆解处理企业研发处理技术, 减少污染环境可能性, 降低 WEEE 回

收处理成本;六是规范明确 WEEE 回收机制及补贴标准,加速更新周期,完善商业模式,促进 WEEE 回收产业发展;七是地方性政府既要加大支持力度,制定相关扶持政策,借鉴其他地区效果比较好的方法,又要发挥牵引作用,帮助回收企业保证 WEEE 的回收量。

参考文献:

- [1] BRESSANELLI G, SACCANI N, PIGOSSO D C A, et al. Circular economy in the WEEE industry: A systematic literature review and a research agenda [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2020, 23: 174-188.
- [2] 陈盼, 施晓清. 京津冀电子废弃物回收利用潜力预测及环境效益评估 [J]. *环境科学*, 2020, 41(4): 1976-1986.
- [3] INC A. Environmental responsibility report [M]//2019 progress report, covering fiscal year 2018. [s.l.]: [s.n.], 2019.
- [4] 王洁, 刘颖杉, 张西华, 等. 生产者责任延伸视角下中德电子废物环境管理对比研究 [J]. *环境与可持续发展*, 2020, 45(5): 200-205.
- [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] AWASTHI A K, CUCCHIELLA F, D'ADAMO I, et al. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 613/614: 46-53.
- [7] KANG H Y, SCHOENUNG J M. Economic analysis of electronic waste recycling: modeling the cost and revenue of a materials recovery facility in California [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(5): 1672-1680.
- [8] LEE S-C, NA S-I. E-waste recycling systems and sound circulative economies in East Asia: A comparative analysis of systems in Japan, South Korea, China and Taiwan [J]. *Sustainability*, 2010, 2(6): 1632-1644.
- [9] CAO J, LU B, CHEN Y Y, et al. Extended producer responsibility system in China improves e-waste recycling: Government policies, enterprise, and public awareness [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 62: 882-894.
- [10] LIN C-H, WEN L, TSAI Y-M. Applying decision-making tools to national e-waste recycling policy: an example of analytic hierarchy process [J]. *Waste Management*, 2010, 30(5): 863-869.
- [11] WEI L, LIU Y S. Present status of e-waste disposal and recycling in China [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 16: 506-514.
- [12] 鲁修文, 刘在平, 李明高. 我国电子废弃物回收处理现状、问题及对策 [J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(S1): 455-457.
- [13] 周宏春. 我国再生资源产业发展现状与存在问题 [J]. *再生资源与循环经济*, 2008, 1(5): 5-8.
- [14] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于公布第三批废弃电器电子产品处理基金补贴企业名单的通知 [EB/OL]. [2021-07-06]. http://www.gov.cn/zwggk/2013-12/06/content_2543339.htm
- [15] WANG F, KUEHR R, AHLQUIST D, et al. E-waste in China: A country report [R/OL]. (2013-04-05). E-waste in China: a country report - UNU Collections.
- [16] WANG Z H, ZHANG B, YIN J H, et al. Willingness and behavior towards e-waste recycling for residents in Beijing city, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(9/10): 977-984.
- [17] 龙朝辉. 广东省电子废弃物治理的政府作用研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [18] 寇江泽. 完善废旧家电回收处理体系 [EB/OL]. [2020-07-06]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1671434705570771039&wfr=spider&for=pc>.
- [19] 朱小林, 贾雨生. 随机环境下多种类废旧电子产品再制造物流网络选址 [J]. *江苏科技大学学报 (自然科学版)*, 2016, 30(6): 614-621.
- [20] 杨进军, 陈依纯, 李德生, 等. 电子废弃物回收管理及经济效益评估 [J]. *商场现代化*, 2015(25): 242-244.
- [21] 温小琴, 董艳茹. 基于企业社会责任的逆向物流回收模式选择 [J]. *运筹与管理*, 2016, 25(1): 275-281.
- [22] 王晶, 赵然. 基于企业社会责任的闭环供应链运营优化研究 [J]. *生态经济*, 2017, 33(4): 85-91.
- [23] 王蓉, 尹海萍. 北京市再生资源产业发展实证研究 [J]. *中国农业大学学报*, 2009, 14(1): 77-83.
- [24] 张桐. 基于逆向物流理论的扬州市废旧家电回收网络体系构建与资源化对策研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2016.
- [25] 何朋蔚. 电子废弃物回收产业管理的中印比较 [J]. *求索*, 2018(6): 51-58.
- [26] 余福茂, 钟永光, 沈祖志. 考虑政府引导激励的电子废弃物回收处理决策模型研 [J]. *中国管理科学*, 2014, 22(5): 131-137.
- [27] 刘雨浓, 王景伟, 陈斌, 等. 上海市电子废弃物处理处置现状研究 [J]. *绿色科技*, 2017(6): 51-55.
- [28] 姚凌兰, 贺文智, 李光明, 等. 我国电子废弃物回收管理发展现状 [J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(S1): 410-414.
- [29] 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.
- [30] 王羽. 我国电子废弃物回收处置法律制度研究 [D]. 大连: 东北财经大学, 2017.

- [31] 许妮娅. 废旧家电逆向物流发展的国际比较研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- [32] 乌力吉图, 邹松涛. 静脉产业视角下电子废弃物回收再利用研究: 以长三角地区为例 [J]. 华东经济管理, 2009, 23(9): 22-26.
- [33] AMIN C, JULIO M, MUSTAPHA O, et al. Vehicle routing problem for reverse logistics of end-of-life vehicles (ELVs) [J]. Waste Management, 2021, 120: 209-220.
- [34] GEYER R, BLASS V D. The economics of cell phone reuse and recycling [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 47: 515-525.
- [35] 刘志峰, 张雅堃, 黄海鸿, 等. 家电报废量预测模型与安徽省实例分析 [J]. 环境工程学报, 2016, 10(1): 317-322.
- [36] GHINEA C, DRĂGOIE N, COMĂNIȚĂ E-D, et al. Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis [J]. Journal of Environmental Management, 2016, 182: 80-93.
- [37] 孙黎宏. 改进型消费使用模型 WEEE 城乡回收量预测: 以福建省为例 [J]. 合肥学院学报 (综合版), 2017, 34(5): 25-32.

简 讯

我校青年教师获批上海市青年科技英才扬帆计划

日前, 由上海市科委批准的 2021 年度上海市青年科技英才扬帆计划人员名单出炉, 我校 3 名青年人才获批立项, 是历年来最多的一次。项目分别为工学部环境与材料工程学院教师李一凡负责的“基于扫描热显微镜 (SThM) 的自组装二维材料的热障区域识别与热物性研究”、文理学部理学院教师张燕负责的“以 GABA 为靶标的新型含磺酰亚胺基的间二酰胺类化合物的设计、合成及生物活性研究”和经济与管理学院教师于欢负责的“‘双循环’背景下双重价值链嵌入推动上海企业高质量创新研究”。

上海市青年科技英才扬帆计划是上海市科委于 2014 年设立的一类上海市优秀科技创新人才培育计划, 今年我校首次突破 3 人成功获批, 标志着我校新生力量的不断成长, 这对鼓舞青年人才投身科研士气, 激发青年人才发挥科研潜能具有深远意义。近年来, 学校积极探索青年人才培养机制, 注重发挥青年人才创新活力, 不断加大青年人才指导力度, 今后也将持续为这些崭露头角的优秀青年科技人才创造条件、铺平道路、搭建舞台, 助推他们尽快成长为学校中坚力量, 提升他们的使命和责任担当, 助力学校科技创新加速发展。