

基于LCA的智能卡产品碳足迹研究

钱大伟 彭绍波 吴新云

(武汉天喻信息产业股份有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要: 中国政府制定了“碳达峰”和“碳中和”行动方案, 需要智能卡行业做出积极贡献。该文使用全生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 的方法, 对一个智能卡产品进行全生命周期的温室气体 (GHG) 排放量化研究。系统边界为“从摇篮到大门”类型, 包括原材料获取、生产制造、成品运输和回收再利用4个阶段的碳排放量化研究。结果表明, 在智能卡产品全生命周期中, 原材料和辅料获取阶段产生的碳排放最多, 因此对智能卡产品进行设计优化时应重点关注开发新材料、新技术, 合理选择供应商工厂的位置, 促进智能卡全生命周期的节能减排。

关键词: 碳足迹; 全生命周期评价; 智能卡; 节能减排

中图分类号: X 828

文献标志码: A

智能卡行业是碳排放量较大的行业之一, 但目前国内外关于智能卡产品碳足迹的研究基本为零, 缺少对智能卡全生命周期碳足迹的方法研究和量化研究。需要注意的是, 进行碳足迹研究并不是一件容易的事情, 需要投入大量人力、物力和财力。此外, 即使进行了碳足迹研究, 也不一定能够完全消除碳排放, 但可以帮助企业更好地了解自身碳排放情况, 制定更科学合理的减排计划, 从而实现可持续发展。

鉴于智能卡市场的不断扩大, 该文课题将基于生命周期评价 (LCA) 的方法, 以具体的智能卡产品为例进行碳足迹量化评估。采用英国标准协会 (British Standards Institution, BSI) 编制的 PAS 2050: 2011 标准中规定的碳足迹核算方法^[1]等准则体系, 结合智能卡产品的工序路线, 按照6个步骤进行研究: 1) 智能卡的工艺路线。2) 智能卡的回收利用。3) 建立智能卡产品全生命周期框架。4) 确定智能卡产品的碳足迹系统边界和核算内容。5) 核算内容数据的搜集和计算。6) 对智能卡产品进行碳排放量化分析。

1 智能卡的工艺路线

设计好智能卡产品工艺路线后, 需要对智能卡的生产工序制作相应的作业指导书。作业指导书中会标明所需生产工序、工序对应的设备和设备对应的生产效率, 物料清单中会标出所需原材料的数量与质量。智能卡的生产流程图如图1所示。

主要原材料包括基片1、中间层、基片2、膜带、油墨1、铜线、模块以及油墨2等。生产制造工序包括制版1、胶印、制版2、丝印、中间层制造、装订、层压、冲切、全检、热贴、封装以及个人化等一系列工序。各工序不仅会消耗电能, 同时也会使用一定量的辅助材料。

2 智能卡的回收利用

智能卡公司与银行等终端客户达成协议, 如同号换卡和协助销毁等。根据银行统计的数据, 接近50%以上的终端客户在智能卡到期后会交回银行, 银行月底会委托天喻信息进行报废处理。天喻信息会与供应商合作回收, 再次生成基片供天喻信息使用。智能卡回收利用流程如图2所示。

3 智能卡碳排放过程的计算方法

3.1 智能卡碳排放的计算边界

选取的功能单位为X张智能卡, X值由客户决定。产品的

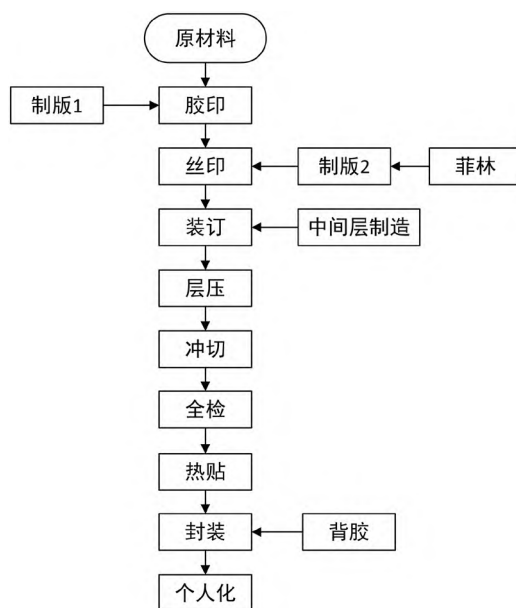


图1 智能卡的生产流程图

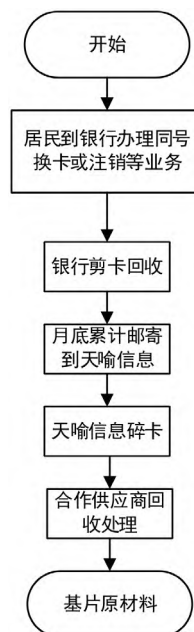


图2 智能卡回收利用流程



系统边界属于“从摇篮到大门”的类型,将智能卡的全生命周期分为4个阶段,分别为原材料获取阶段、生产制造阶段、成品运输阶段和回收利用阶段。智能卡产品的系统边界如图3所示,旨在为其他同类型智能卡产品碳足迹分析做好规范。

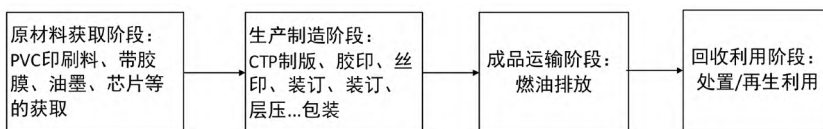


图3 智能卡产品碳足迹系统边界

3.2 智能卡碳排放的核算模型

智能卡碳排放量化方法采用碳排放因子法^[2],该方法已被世界各地政府、组织和企业广泛采用,并得到了国际社会的认可。

智能卡全生命周期的碳足迹如公式(1)所示。

$$E = (G_{\text{原材料}} + G_{\text{制造}} + G_{\text{运输}} + G_{\text{回收}}) / X \quad (1)$$

式中: E 为智能卡全生命周期的碳足迹, $\text{kgCO}_2\text{-eq/片}$; $G_{\text{原材料}}$ 为原材料获取阶段碳排放量; $G_{\text{制造}}$ 为生产制造阶段碳排放量; $G_{\text{运输}}$ 为运输阶段碳排放量; $G_{\text{回收}}$ 为回收阶段碳排放量; X 为智能卡订单数量。

3.2.1 原材料获取阶段

在智能卡生产过程中,原材料的碳足迹主要经过上游供应商的开采、加工并运送到工厂,不考虑原材料运送卡车的回程。原材料获取阶段的GHG排放量如公式(2)所示。

$$G_{\text{原材料}} = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot EF_i) + \sum_{i=1}^n (M_i \cdot d_i \cdot EF_{\text{truck}}) \quad (2)$$

式中: $G_{\text{原材料}}$ 为主料获取阶段的GHG排放量; M_i 为智能卡中第*i*类物质材料的质量; EF_i 为第*i*类物质的排放因子; d_i 为智能卡中第*i*类物质材料的运送距离; EF_{truck} 为卡车的碳排放因子^[3]。

3.2.2 生产制造阶段

生产阶段将根据机料法的4个方面,全面核算与智能卡相关的碳排放。

在智能卡的制造中,不同的工序方法对应机器、原料会有一定影响。在生产阶段,该文将根据工序的顺序获取各道工序中产生的碳足迹。

各工序的碳排放总和如公式(3)所示。

$$G_{\text{制造}} = E_{\text{工序}} \times K + G_{\text{辅料}} = \sum_{j=1}^n (P_j \times t_j) \times K + \sum_{i=1}^n (M_i \times EF_i) + \sum_{i=1}^n (M_i \times d_i \times EF_{\text{truck}}) \quad (3)$$

式中: $G_{\text{制造}}$ 表示工序制造过程中的GHG排放量; $E_{\text{工序}}$ 表示工序设备的能耗; K 表示电的碳排放系数; $G_{\text{辅料}}$ 表示辅助材料获取阶段GHG排放量; P_j 表示第*j*个设备的功率; t_j 表示第*j*个设备运行时间; EF_i 表示第*i*类物质排放因子; M_i 表示智能卡中第*i*类物质材料的质量; d_i 表示智能卡中第*i*类物质材料的运送距离; EF_{truck} 表示卡车的碳排放因子。

3.2.3 成品运输阶段

运输阶段的排放主要是在智能卡成品的运输过程中,其主要运输方式为货车公路运输。

$$G_{\text{运输}} = M_{\text{成品}} \times d \times EF_{\text{truck}} \quad (4)$$

式中: $G_{\text{运输}}$ 为将智能卡运送到终端客户的碳排放量; $M_{\text{成品}}$ 为成品卡的总质量; d 为智能卡运送距离; EF_{truck} 为卡车的碳排放因子。

3.2.4 回收利用阶段

智能卡的回收利用可以采用多种工序,例如物理回收法、

化学回收法、悬浮聚合法和密度分离法等。该文方案中采用的是密度分离法^[4]。回收阶段碳排放量 $G_{\text{回收}}$ 如公式(5)所示。

$$G_{\text{回收}} = M_{\text{回收}} \cdot EF_{\text{回收}} \quad (5)$$

式中: $M_{\text{回收}}$ 为回收的智能卡的质量; $EF_{\text{回收}}$ 为智能卡回收利用的排放因子^[5]。

4 智能卡碳排放过程的量化计算

该文以天喻信息生产的某款智能卡为例,订单量为2400片。

4.1 数据获取与处理

4.1.1 原材料数据收集

在ERP系统的物料清单模块中查找订单使用的主原材料名称、材质和质量,同时在供应链管理系统中查找供应商与公司工厂的距离,整理后见表1。

表1 智能卡主要原材料、质量和供应商与工厂的距离

主料名称	材质	质量/kg	供应商与工厂的距离/km
基片1	PVC	4.26	660
中间层	PVC	5.48	660
基片2	PVC	4.26	660
薄膜	PVC	2.41	11
油墨1	油墨	0.03456	1070
铜线	铜	0.576	1037
芯片	硅	0.24192	1178
油墨2	油墨	0.0576	948

4.1.2 生产制造数据收集

获取智能卡的工艺路线与作业指导书,整理出生产过程中各工序对应设备的工作功率、工作时间以及辅助材料名称、材质、质量,同时在供应链管理系统中查找供应商与公司工厂的距离。辅助材料会根据工艺变化,与主材料有所区别。整理后见表2和表3。

4.1.3 成品运输数据收集

案例中的终端客户在上海,距离是815km。运输方式为货运,中型货车。

4.1.4 回收利用数据收集

根据历史数据,有50%的智能卡能够回收利用,质量为7.33kg。

4.1.5 碳排放因子数据收集

从中国产品全生命周期温室气体排放系数平台获取碳排放因子,整理后见表4。

4.2 智能卡碳排放计算

4.2.1 原材料阶段排放

根据公式(2)的计算,原材料获取阶段的碳排放量为294.23 $\text{kgCO}_2\text{-eq}$ 。

4.2.2 生产制造阶段排放

根据公式(3)的计算,辅料获取阶段的碳排放量为513.68 $\text{kgCO}_2\text{-eq}$,设备使用电力的碳排放量为108.09 $\text{kgCO}_2\text{-eq}$,



表 2 各工序对应的设备、功率以及工作时长

工序	设备名称	功率/kW	时间/h
制版1	晒版机	5	0.10
	烘箱	10	4.50
	清洗机	1	0.12
	净化处理机	4.2	3.60
菲林	照排机	1	0.50
制版2	制版机	0.8	1.08
丝印	印刷机1	20	0.23
胶印	印刷机2	150	0.07
	过滤器	5	0.07
中间层	上线机	1.8	1.00
	层压机	22	0.83
装订	裱磁机	8	0.30
	立金机	10	0.30
	撕膜机	6	0.30
	点焊机	0.5	0.30
层压	层压机	22	0.83
冲切	冲卡机	10	0.16
全检	检测机	7.5	0.11
热帖	烫印机1	2	0.30
	烫印机2	2	0.30
封装	背胶机	5	0.80
	封装机	36	1.04
个人化	个人化机	3	1.33
	邮封设备	10	0.6
	邮封机	10	1
	打印机	3	0.48

表 3 各工序对应的辅助材料、质量以及供应商与工厂的距离

工序	辅助材料名称	主成分	质量/kg	供应商与工厂的距离/km
制版1	网纱	涤纶	0.04	10
	自来水	水	20.00	/
菲林	感光片	PET	0.02	10
制版2	CTP版	铝Al	0.33	10
	显影液	氢氧化钾	1.00	10
丝网印刷	消泡剂	乙二醇	0.01	20
	橡胶手套	合成橡胶	0.02	10
胶印	异丙醇	异丙醇	1.67	10
	过版纸	白板纸	0.07	746
	橡皮布	合成橡胶	0.03	10
装订	胶膜	聚碳酸酯	0.02	1059
	磁条	磁性材料	0.02	1059
	立金	铜	0.14	1017
热帖	签名条	PVC	0.08	420
	全息标	PVC	0.08	420
	烫印膜	PVC	0.08	10
封装	焊锡丝	锡	0.04	5
	热熔胶	EVA	0.07	828
个人化	色带	PVC	0.04	5
	膜带	PVC	0.06	5
	卡函	办公用纸	10.48	5
	信封	办公用纸	10.00	14.3
	包装袋	牛皮纸	86.90	14.3

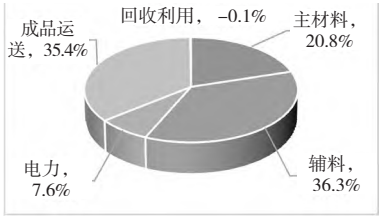


图 4 各阶段对智能卡碳排放的贡献比例

生产制造阶段的碳排放量为 621.77kgCO₂-eq。

4.2.3 成品运输阶段排放

根据公式 (4) 的计算, 运输阶段的碳排放量为 501.87kgCO₂-eq。

4.2.4 回收利用阶段排放

根据公式 (5) 的计算, 回收利用阶段的碳排放量为 -1.77kgCO₂-eq。

4.3 智能卡全生命周期碳足迹核算

根据公式 (1) 的计算, 单片智能卡全生命周期的碳足迹为 0.59kgCO₂-eq/片。

5 结论

在智能卡生产生命周期过程中, 原材料与辅助材料获取合计对碳排放贡献最大, 达 57.1%, 其次为成品运送的获取 35.4%, 再次为电力的 7.6%, 详情如图 4 所示。

在智能卡产品全生命周期中, 原材料和辅料获取阶段产生的碳排放最多, 对智能卡产品进行设计优化时应重点关注开发新材料、新技术, 合理选择供应商工厂的位置, 促进智能卡全生命周期的节能减排。

参考文献

[1] 一文讲透碳足迹的概念、核算、标准 [J]. 资源再生, 2023 (4): 16-19.
[2] 吴贵根, 龙苏华, 张铜柱, 等. 汽车零部件生命周期碳足迹核算研究 [J]. 中国汽车, 2023, 372 (3): 7-13, 25.
[3] 吕晨, 张哲, 陈徐梅, 等. 中国分省道路交通二氧化碳排放因子 [J]. 中国环境科学, 2021, 41 (7): 3122-3130.
[4] 熊秋亮, 黄兴元, 陈丹. 废旧塑料回收利用技术及研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2013, 41 (11): 111-115.
[5] Zheng J J, SANGWON, et al. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics [J]. Nature Climate Change, 2019 (4): 374-378.

表 4 原材料与电力等 CO₂ 排放因子

原材料	CO ₂ 排放因子 (kgCO ₂ -eq/kg)	来源	原材料/电力/运输/回收	CO ₂ 排放因子 (kgCO ₂ -eq/kg)	来源
PVC	1.760	中国产品全生命周期温室气体排放系数平台	白板纸	0.120	中国产品全生命周期温室气体排放系数平台
PET	2.730		合成橡胶	2.400	
油墨	2.081		聚碳酸酯	1.371	
铜	2.194		磁性材料	52.410	
硅	0.590		锡	0.490	
涤纶	0.537		EVA	2.430	
水	0.140		办公用纸	1.756	
铝Al	21.600		牛皮纸	2.528	
氢氧化钾	0.863		电力	0.570	
乙二醇	3.380		中型货车	0.042	
异丙醇	3.080		智能卡回收利用	-0.0242	