

国际铝业协会：饮料容器废料管理物质流模型分析方法

Eunomia 公司 James Brooke

2022 年二月

1.0 介绍

Eunomia 公司受托国际铝业协会 (IAI)，建立了针对铝罐、PET 瓶和玻璃瓶的废料管理系统物质流模型，包括欧洲¹，美国、日本、巴西和中国五个国家或地区。

2.0 饮料容器废料管理物质流分析

模型反映的是 2019 年的情况，系统边界包括饮料容器投放市场—报废—收集—分类—回收或丢弃，包括每个过程的损失。模型区分了闭环循环和开环循环，以显示每个国家每种材料的关键回收路线。

2.1 投放市场 (PoM) 数据

包装的 PoM 数据来源多样化，由各国铝业协会及波尔公司提供，Eunomia 公司进行核对²。PET 和玻璃饮料容器的 PoM 数据来自区域和国家协会的文献和指导文件。

1 表 2-1：PoM 数据来源

地区/国家	材料类型	消费量 (千吨)	数据源
欧洲	铝	644	欧洲铝业协会 ³
	PET	2,589	EFBW, Petcore&PRE ⁴ , Eunomia 预计
	玻璃	17,330	FEVE ⁵
美国	铝	1,244	美国铝协和制罐协会 ⁶

	PET	3,031	Eunomia ⁷
	玻璃	9,085	
日本	铝	330	日本铝罐回收协会 ⁸
	PET	539	PET 瓶回收委员会 ⁹
	玻璃	1,267	玻璃瓶 3R 推广协会 ¹⁰
巴西	铝	375	巴西铝业协会 ²
	PET	515	国家固体废物管理信息系统 (SINIR) ¹¹
	玻璃	1,041	
中国	铝	1,150	安泰科 ²
	PET	4,796	Eunomia 预计
	玻璃	36,386	

¹欧洲的定义是欧盟27个成员国，冰岛、挪威、瑞士和英国。

²个人交流

³拉伯顿·M.(2021年)2019年铝饮料罐回收仍保持在76%的高位; 链接: [here](#)

⁴ EFBW、Petcore Europe 和 Plastics Recyclers Europe 欧洲的PET市场-情况:生产、收集和回收数据, 2020年

⁵FEVE(2021)玻璃回收统计(2018);链接: [here](#)

⁶铝罐协会, 和罐料制造商协会(2021)铝罐优势可持续发展关键性能指标

⁷Eunomia (2021年)《50个州的回收:各州对容器和包装回收率的评估》

⁸日本铝罐回收协会(2021年):<http://www.alumi-can.or.jp/publics/index/62/>

⁹PET瓶回收委员会(2021年):<https://www.petbottle-rec.gr.jp/english/>

¹⁰玻璃瓶3R推广协会(2021年):<https://www.glass-3r.jp/>

¹¹SINIR(2018)《改变包装物流系实施协议》附件iii - iii - iv - v

2.2 数据收集

容器使用过后被收集回收或处理。欧洲某些国家和美国实施了押金返还计划 (DRS)。在实施 DRS 的地方, Reloop 的《2020 年全球押金报告》提供了有关范围内的容器数量和产品类型的信息, 以及按材料类型划分的退还率¹²。根据这些信息和 PoM 数据, 计算了每个国家 DRS 范围内的容器百分比。然后应用退还率计算通过 DRS 收集的容器吨数。那些不在范围内的容器是通过单独的收集来收集的。表 2-2 显示了用于汇编模型中使用的收集率的数据来源。

2 表 2-2: 收集数据的数据来源

地区/国家	材料类型	回收率 (%)	数据源
欧洲	铝	因国家而异	欧洲铝业协会 ³ , Reloop ¹²
	PET	因国家而异	UNESDA ¹³ , Reloop ¹²
	玻璃	因国家而异	FEVE ⁶ , Reloop ¹²
美国	所有	因州而异	Eunomia ⁷ , Reloop ¹²
日本	铝	99.7%	日本铝罐回收协会 ⁸
	PET	92.2%	PET 瓶回收委员会 ⁹
	玻璃	86.2%	玻璃瓶 3R 推广协会 ¹⁰
巴西	铝	98.6%	巴西铝业协会 ²
	PET	55.0%	Abipet (2019) ¹⁴
	玻璃	47.0%	Sphera 的波尔公司报告 (2020) ¹⁵
中国	铝	98.0%	安泰科 ³
	PET	75.0%	假设
	玻璃	35.0%	假设

¹²Reloop (2020) 全球积押金报告 2020: 单向饮料容器押金系统概述

¹³UNESDA (2020) 欧洲 PET 收集率; 链接: [here](#)

¹⁴Abipet (2020) 巴西第 11 次 PET 回收普查

¹⁵Sphera 的波尔公司报告 (2020): 比较生命周期评估。

值得注意的是，巴西和中国当下的收集系统与欧洲、美国和日本明显不同。在巴西和中国，由于形成饮料容器的铝、PET 和玻璃的内在价值，大量的可回收材料是由非正式部门收集的。铝材由于货币价值最高，它的回收率最高，玻璃的回收率最低。因此，在这些国家很难找到真实收集率的准确数据。在这种情况下，收集率是根据区域铝协会向 Eunomia 公司提供的“分类回收率”进行反向推算的。由于收集系统的差异，中国和巴西的数据不能直接与欧洲、美国和日本的数据相比较。

那些没有回收的容器通过焚烧或填埋处理。通过每种方法处理的比例如表 2-3 所示。

3 表 2-3：处置方法数据的数据来源

地区/国家	处置方法			数据源
	填埋场	焚化	其他	
欧洲 (平均)	75.2%	14.7%	10.1%	欧盟统计局 ¹⁶
美国	80.9%	19.1%	—	环境保护署 ¹⁷
日本	98.1%	1.9%	—	Sakai (1996) ¹⁸ , Tanaka (1999) ¹⁹ , Niyati (2015) ²⁰
巴西	100.0%	—	—	Alfaya 等人 (2017) ²¹
中国	55.0%	45.0%	—	Lee 等人 (2020) ²²

¹⁶ 欧共体统计局 (2021 年) 按废物管理业务分列的城市废物; 链接: [here](#)。

¹⁷ 环境保护署 (2020) 推进可持续材料管理: 2018 年概况介绍

¹⁸ Sakai, S. (1996) 日本城市固体废物管理, 《废物管理》, 第 16 卷

¹⁹ Tanaka, M. (1999) 日本的回收活动和废物管理的最新趋势, 材料循环与废物管理, 第 1 卷, 第 1 - 10 页

²⁰ Niyati, M. (2015) 印度和日本城市固体废物管理的比较研究

²¹ Alfai, R., Costa, A., and Campos, J. (2017) 巴西城市生活垃圾: 综述, 废物管理与研究: 可持续循环经济, Vol. 35, No. 12, pp. 1195-1209。

对于铝罐，还考虑了从焚烧炉底灰 (IBA) 中回收铝。从 IBA 回收的铝（占总焚烧吨位的 3.0%）包括在开环循环利用中。它被归类为可回收，因为它的下一个用途通常是汽车工业中的铸造合金。²³

2.3 分拣数据

收集后，对材料进行分类，以去除产品残留物、非目标材料和其他形式的污染。对于 PET 和玻璃饮料容器，还有一个颜色分类阶段，以使回收的材料具有足够的质量。这些在分拣过程中损失的材料通过焚烧或垃圾填埋来处理。表 2-4 显示了用于确定模型内分拣效率的数据源。需要注意的是，日本所有材料类型的分类损失类型（污染、非目标材料或颜色分类）没有具体规定。在日本没有分拣数据的情况下，所示的数据是基于以下各组织提供的质量流推导出来的。

4 表 2-4：分拣数据的数据源

地区/国家	材料类型	分拣类型	损失 (%)	数据源
欧洲	铝	非目标材料	1.0%	行业访谈
	PET	颜色分类	10.0%	行业访谈
	玻璃	颜色分类	15.0%	苏格兰零废物（2012） ²⁴
		非目标材料	1.5%	Sphera 的波尔公司报告 (2020) ¹⁴
美国	所有	因州而异		Eunomia ⁷ ，基于 RRS（2015）和美国各地的各种 MRF 研究。
日本	铝	未指定	1.6%	日本铝罐回收协会 ⁸
	PET	未指定	9.4%	PET 瓶回收委员会 ⁹
	玻璃	未指定	15.0%	玻璃瓶 3R 推广协会 ¹⁰

Eunomia 没有提供专门针对巴西或中国的分拣数据。在没有这些数据的情况下，采用欧洲分拣损失来计算巴西和中国的分拣损失。

2.4 再处理数据

分拣后，对材料进行再处理，以便它们用于其他用途。每种材料都有一种独特的再处理方法。分拣后的铝罐经过脱漆，重熔，铸成锭；分拣后的 PET 瓶经过清洗和剥落，玻璃瓶则被压碎并熔化。在每一个过程中，一定比例的目标材料会损失，并通过焚烧或填埋处理。

表 2-5 显示了用于量化再处理阶段损失的数据源

5 表 2-5：再处理数据的数据源

地区/ 国家	材料类型	再处理阶段	损失 (%)	数据源
欧洲/ 美国	铝	脱漆	2.0%	利益相关者采访
		重熔	4.5%	Boin & Bertram (2005) ²⁶
	PET	清洗&剥落	26.5%	GVM ²⁷
		挤压	1.0%	PET 拉丝模工艺 ²⁸
	玻璃	碎玻璃生产	20.0%	行业采访
日本	铝	未规定		日本铝罐回收协会 ⁸
	PET	清洗&剥落	26.5%	GVM ²⁷
		挤压	1.0%	PET 拉丝模工艺 ²⁸
	玻璃	碎玻璃生产	4.1%	玻璃瓶 3R 推广协会 ¹⁰

如第 2.3 节所述，巴西和中国没有向 Eunomia 公司提供具体的再处理数据，因此采用了欧洲的再处理损失数据计算。

2.5 使用可回收材料的数据

总回收率包括闭环回收和开环回收。闭环回收中，饮料容器由回收材料形成；开环回收中，另一个产品由回收材料形成。表 2-6 突出了进入开环回收利用的可回收材料的比例。

6 表 2-6：可回收材料数据的数据来源

地区/国家	材料类型	其他用途	比例	数据源
欧洲	铝	重熔到非罐使用	37.5%	基于欧盟铝罐中 44.3% 的可回收含量的假设 ¹⁹
美国	铝	重熔到非罐使用	7.4%	美国铝业协会和罐料制造商协会 Error! Bookmark not defined.
欧洲/美国	PET	RPET 到非瓶使用	72.0%	EFBW, Petcore & PRE ⁴
	玻璃	碎玻璃到非瓶使用	30.0%	英国玻璃 ²⁹
日本	铝	出口回收	26.9%	日本铝罐回收协会 ⁸
		重熔到非罐使用	33.3%	
	PET	出口回收	33.3%	PET 瓶回收委员会 ⁹
	PET	家用 rPET 到非瓶使用	48.7%	PET 瓶回收委员会 ⁹
	玻璃	碎玻璃到非瓶使用	41.7%	玻璃瓶 3R 推广协会 ¹⁰
巴西	铝	重熔到非罐使用	35.0%	巴西铝业协会 ³
	PET	RPET 到非瓶使用	73.0%	Statista (2019) ¹

地区/国家	材料类型	其他用途	比例	数据源
中国	铝	重熔到非罐使用	99.0%	安泰科 ³
	PET	RPET 到非瓶使用	95.9%	Ma 等人（2020 年） ³¹
	玻璃	碎玻璃到非瓶用	60.0%	假设

在日本，处理过的回收铝和回收 PET 在被重新制造之前就已经出口了。以铝为例，这种材料被出口到韩国，在那里被制成饮料容器，因此可以进行闭环回收。从日本出口的 PET 薄片的最终目的地尚不清楚，因此不能归于开环或闭环回收。

²² Lee, R.P., Meyer, B., Huang, Q., and Voss, R. (2020)中国零废物城市的可持续废物管理:潜力、挑战和机遇,《清洁能源》,第4卷,第3期,第169-201页

²³ 信息提供: Marlen Bertram (IAI) 和 Maarten Labberton (欧洲铝业协会)。

²⁴ 苏格兰零废物组织 (2012)《苏格兰玻璃收集和再加工选项评估》; 可在此查阅。

²⁵ RRS (2015) MRF 物质流研究

²⁶ Boin, U.M.J., and Bertram, M. (2005)废铝熔炼过程中物料平衡模型的研究·JOM, vol. 57, no. 8, pp. 26 - 33

²⁷ GVM(2020)德国2019年PET 饮料瓶的生产和回收情况;链接 [here](#)

²⁸ Hannemann, A. (2020) PET瓶到瓶回收与MRS挤压概念;链接 [here](#)

²⁹ 英国玻璃(2021)对“押金返还计划咨询(英格兰, 北爱尔兰, 威尔士)”的回应;[here](#).

³⁰ Statista(2021) 2019年巴西回收PET目的地的领先行业; 链接: [here](#)。

³¹ 马卓·Ryberg, M.W., 王鹏·唐磊·陈炜强。(2020)中国进口废旧PET瓶对全球塑料循环性能的影响·化工学报·Vol.8, No.45, pp.16861-16868

2.6 非饮料容器用途的可回收性

虽然表 2-6 显示了一部分可回收的材料未进入闭环回收系统，但一些开环用途是可回收的。表 2-7 显示了可回收利用的非饮料容器用铝的比例。

7 表 2-7：非饮料容器用铝可回收性的数据来源

地区/国家	材料类型	年	非饮料容器使用目前可回收材料的百分比	数据源
欧洲	铝	2019	97.0%	国际铝业协会 ²
美国			98.0%	
日本			95.0%	
巴西			92.0%	
中国			96.0%	

对于回收的 PET，其他用途包括托盘、薄膜、纤维和捆带。在欧洲、美国和日本，预计目前有 20% 的托盘被回收利用。对于玻璃，由于主要的其他用途是用于聚合物，因此假定玻璃没有其他用途可供回收利用。