

大幅提升纸罐可回收性



摘要

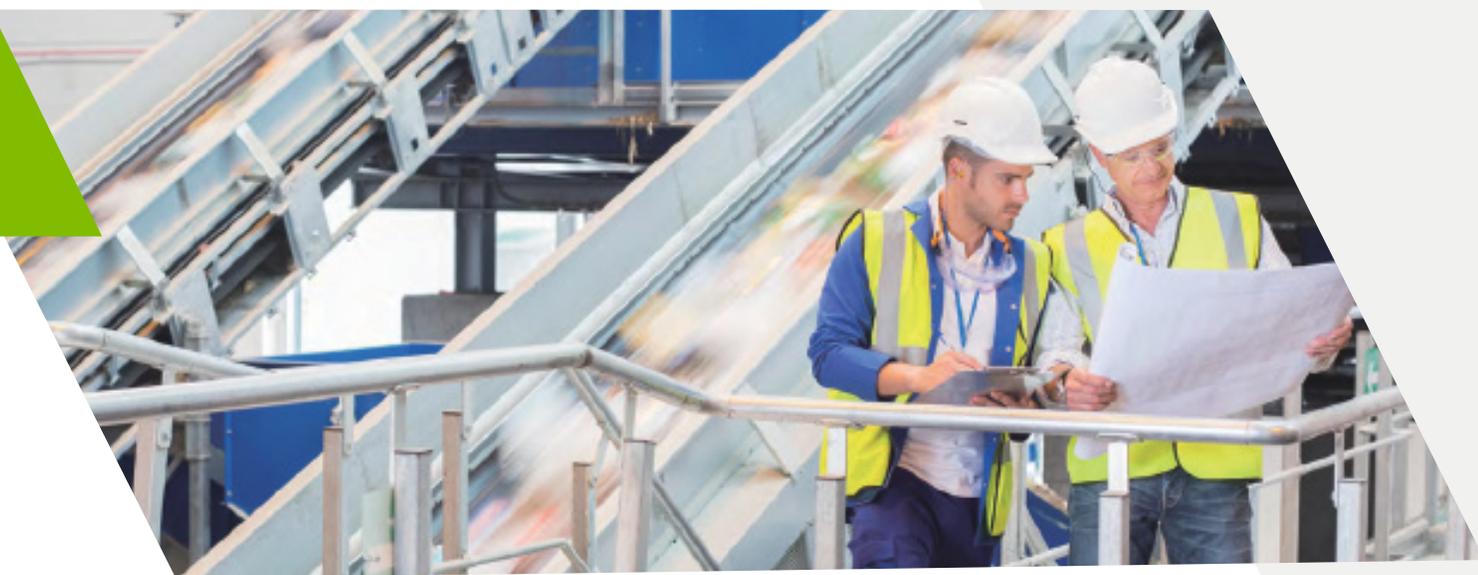
当前，全球约 60% 至 85% 的纸制品被回收，4evergreen 报告称欧洲纸包装的回收率已达 82%，且期望在未来几年内将这一比例提升至 90%。因此，最大限度回收包括包装在内的纸制品显得至关重要。据估算，全球纸与纸板包装市场规模达 2044.6 亿美元，Sonoco 推测复合纸罐（亦称纸罐）约占全球纸包装市场的 1.0%。复合纸罐是纸制品中再生材料的重要来源，其回收后可显著降低碳足迹及二氧化碳当量排放。

回收系统调研显示，欧洲和美国新建及现有纤维分拣的再生资源回收中心（Material Recovery Facilities）具备充足能力，能够将纸质包装从残余物中有效分离，并准确导入纤维打包流程以实现回收利用。纸罐等纸制品在再制浆及回收过程中，实现了纤维材料的有效回收，并在标准化及专业化纸厂中转化为高质量的目标纸制品。

本白皮书旨在阐述纸罐可回收性的四个关键环节：收集、分拣、处理（或称技术性回收）及终端市场。有效的纸罐分拣与处理，再结合完善的终端市场，将有助于高纤维含量纸罐被纳入欧洲、美国及全球的回收收集清单。当然，全球各地区仍需持续推进相关工作并不断深化学习；因此，本白皮书可作为信息参考来源，供回收协会、认证机构及生产者责任组织评估纸罐可回收性时参考使用。

目录

摘要	1
复合纸罐	3
谁需要回收纸包装?	3
关于复合纸罐, 你需要了解什么?	3
回收复合纸罐有哪些环境效益?	4
现有回收体系如何回收复合纸罐?	5
路边回收与分拣处理	5
近红外分拣技术	8
造纸厂回收处理	8
制浆造纸与回收过程模拟	10
金属底纸罐	11
自投式回收站 (Bring Bank) 或定点回收投放点	12
回收处理与终端市场	13
总结	14
致谢	14



谁需要回收纸包装？

诸多行业利益相关方，如政府机构、立法机关、生产者责任组织 (Producer Responsibility Organizations) 及纤维制品回收商，均致力于提升纤维材料的回收率。政府立法机构已加强对各类材料的消费者回收规定。随之而来的是生产者延伸责任制度 (Extended Producer Responsibility) 的扩展，该制度要求消费品品牌方对其所选用的可回收与可持续来源包装负责，因为他们是包装决策的主要制定者。

因此，纸包装回收对消费品行业至关重要。目前，欧洲市场上每年有超过 5350 万公吨的纸包装用于运输和保护消费类及工业类产品。值得关注的是，纸包装通过市政及路边回收系统实现了 82% 的回收率。尽管如此，纸包装行业仍在积极推动通过路边收集方式，提高类似家庭用类纸包装的整体回收率。

65% ~ 85%

当前纸制品的回收率

未来纸制品的
回收目标

90%

图注：创新型纸罐（含纸底、薄膜及纸盖）



关于复合纸罐， 你需要了解什么？

据估算，全球纸及纸板包装市场规模达 2044.6 亿美元，Sonoco 推测复合纸罐（亦称纸罐）约占全球纸包装市场的 1.0%。这类纸罐在消费品包装行业中扮演着重要角色，广泛应用于休闲食品、香料、咖啡、烘焙食品以及多种日常消费类食品与基础商品的包装。

复合纸罐在运输和储存过程中能为产品提供优异的物理保护，且通过采用高阻隔水氧材料，可显著延长产品保质期。这类纸罐主体为纸材，同时包含可热封的铝箔或金属化薄膜内衬、复合材料或金属顶部封口，以及复合纸底部封口。此外，通常还配有纸质或塑料可再封盖，方便消费者重复使用。

近年来，为推动纸罐的可持续创新，已有设计将顶部、底部结构及盖子的金属与塑料部件替换为纸基结构。这类包装中，消费者在开启包装时会将盖子或顶部结构与罐体分离，并通常将其单独丢弃或分类回收。

回收复合纸罐有哪些环境效益？

复合纸罐是由高比例的再生纤维制成，同时可产生高含量的可回收纤维成分。若这些纸罐未被回收而是被填埋，在厌氧环境中分解时它们会释放出甲烷 (CH₄)、二氧化碳 (CO₂) 等有害温室气体，对大气造成负面影响。但根据纸类废弃物生命周期评估的**多项元分析**，回收纸制品通常优于填埋或焚烧处理。

此外，经第三方验证的简化生命周期评估显示，与相似尺寸的其他硬质包装相比，复合纸罐的碳足迹更低（见图 1）。采用纸底或钢底结构的纸罐，在环境影响方面表现更佳。

根据生命周期评估的多项元分析结果

回收纸制品比填埋或焚烧更环保。

另外，根据 Planet Paper Box Group 开展的生命周期分析 (LEO-SCS-002 框架)，在整个 [书写纸、印刷纸和全漂白硫酸盐纸板] 市场中，采用 100% 再生材料生产的涂布纸，相比原生纤维产品具有显著更低的环境影响——包括减少 25% 的用水量、避免采伐约 12,000 英亩林地，且对气候变化与海洋酸化的影响控制在 1% 以下。

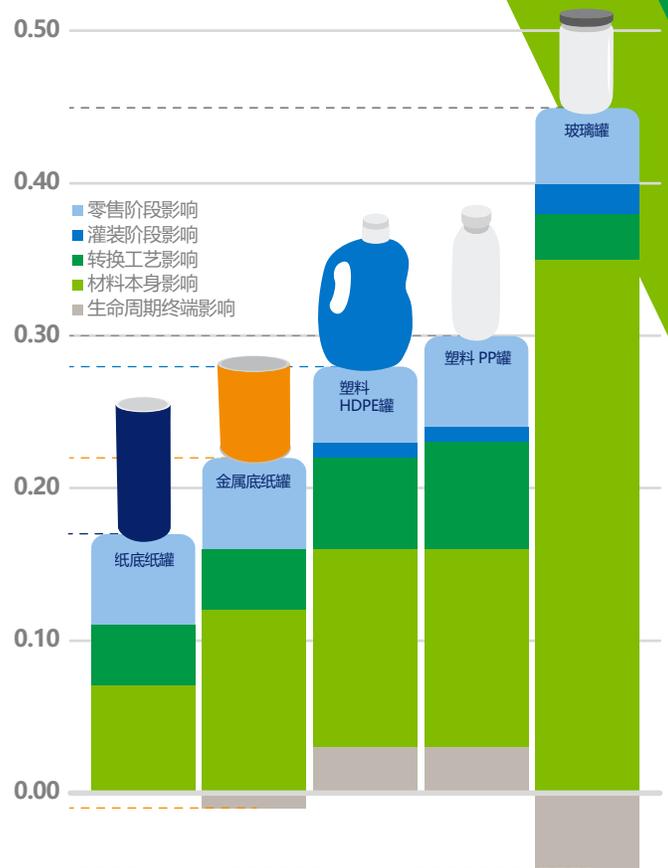
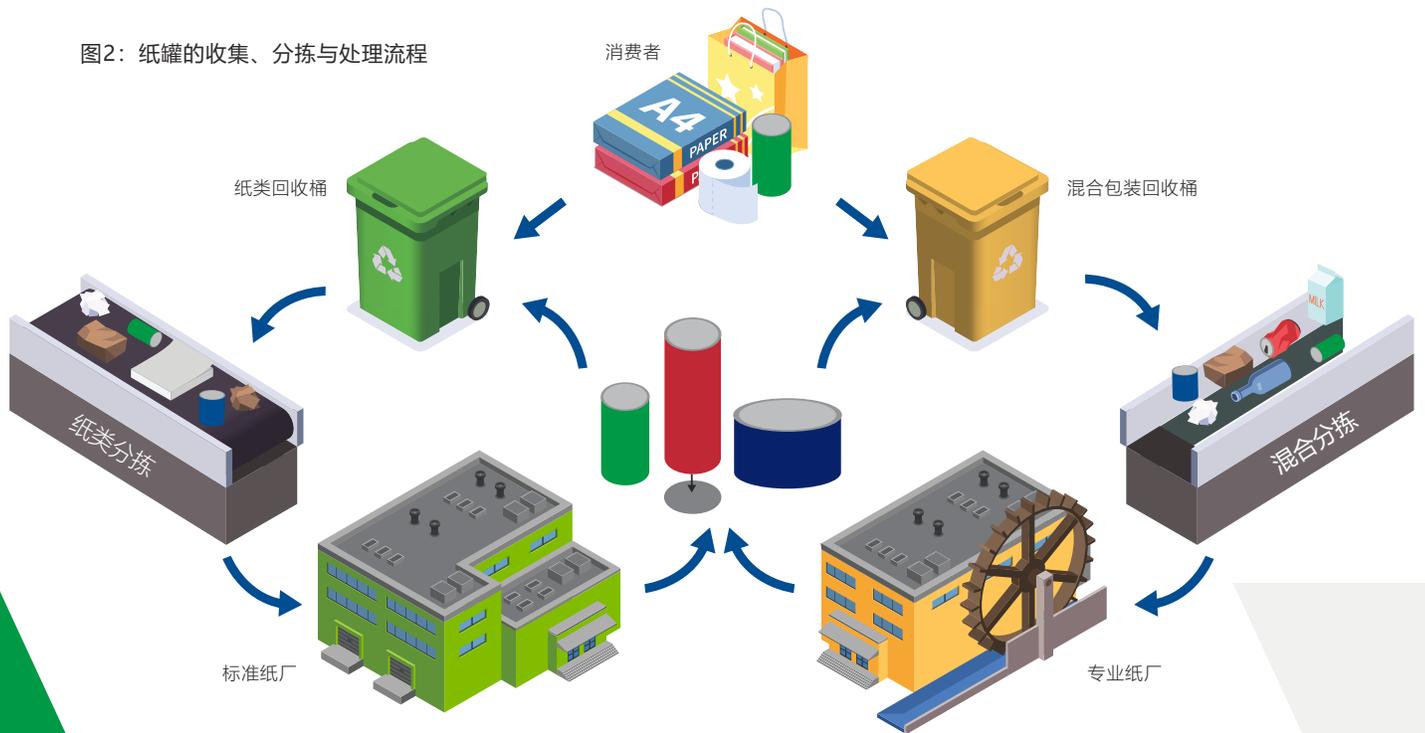


图1：与其他硬质包装形式相比，纸罐具有更低的气候影响。

现有回收体系 如何回收复合纸罐？

提升任何类型包装的可回收性，均依赖现有回收基础设施中对其的收集、分拣与处理能力。值得注意的是，回收过程需具备经济价值，且需存在可接纳回收产品的终端市场。

图2：纸罐的收集、分拣与处理流程



路边回收与分拣处理

纤维含量为 85% 至 96% 的纸罐（配有纸底和纸盖），通常符合欧洲多数居民区回收项目中路边纸类回收桶的最低纤维含量要求。回收后，这类包装物会被运送至分拣设施，随后进入造纸厂进行制浆与回收处理。

为评估采用三种主要技术将此类纸罐纳入纤维回收流程的效率，已开展多项分拣试验。这些在试点工厂及分拣中心开展的试验，采用了近红外识别（Near Infrared）联合涡电流技术、人工智能 / 神经网络机器人技术及近红外数字水印识别技术的组合。结果显示：通过调整设备参数或训练神经网络模型，可提高纸罐的识别率，进而提升其进入正确材料打包流程的分拣效率。

由图 3 可见，概念验证阶段的试验显示，光学近红外分拣设备对纸罐的回收率仅为 33%。但通过对纸罐结构设计及设备识别参数的进一步研究和优化，后续试验中纸罐的回收率提升至 87%。进一步优化设置以区分涂层纸板与纸罐后，光学近红外设备最终实现了 91% 的纸罐回收率。

通过分拣技术的进一步优化，复合纸罐的回收率显著提升。采用 AMP Robotics 的高速摄像头、神经网络算法与机器人臂开展的一系列分拣测试显示，其可有效识别并回收目标物品。AMP Robotics 的软件具备自学习能力，通过反复训练可提高对已识别物品的识别率与分拣效率。在后续的机器人设备试验中，纸罐的识别率提升，导致纸罐回收率达到 95%。在另一项采用创新性近红外数字水印识别技术的研究中，研究人员在规模化试验中实现了高达 98% 的纸罐回收率。随着此类技术在再生资源回收站中的推广应用，各类材料的回收率有望进一步提升，分拣精度也将持续优化。

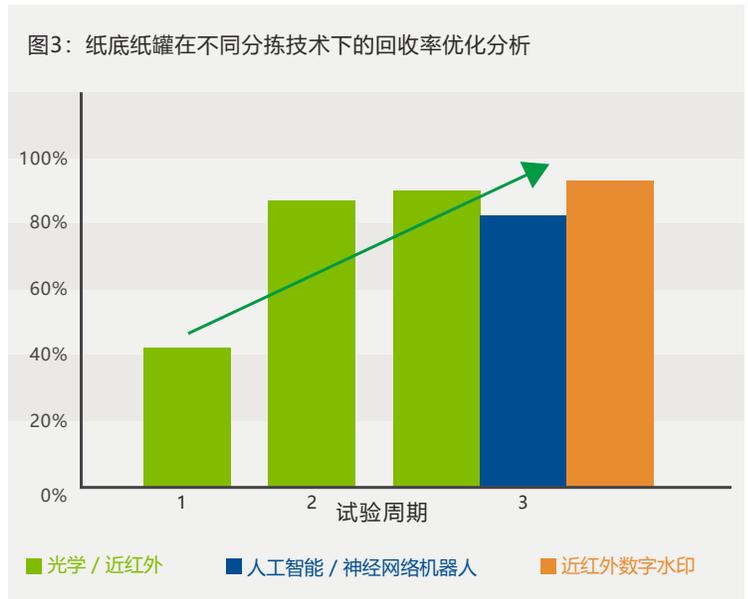


表1：带纸质封口的纸罐 —— 欧洲与美国多项再生资源回收中心的分拣试验结果汇总

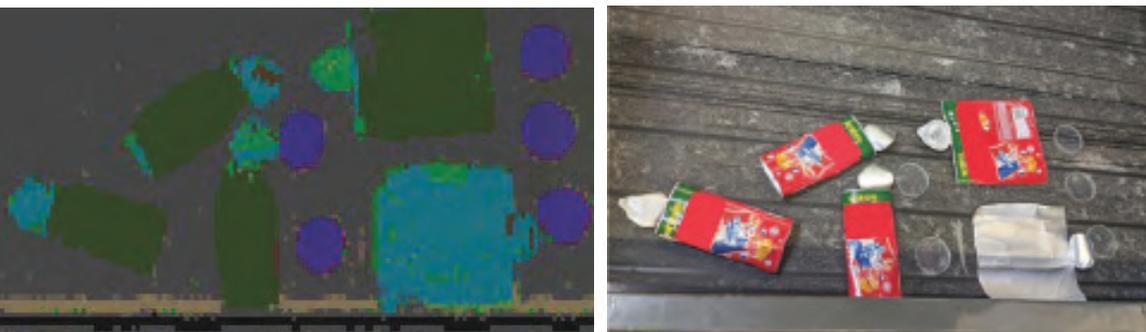
试验周期	分拣技术类型	设备品牌 / 组织方	投放纸罐的数量	分拣结果		
				纸类	铝类	残余物
1	光学近红外	多种 - INTERSEROH+	*30	~20%	~10%	~70%
2	光学近红外	多种 - CIRCPACK	793	~80%	~10%	~10%
3	光学近红外	多种 - CERTIFIER	2150	~80%	~10%	~10%
3	人工智能 / 神经网络机器人	AMP	**39	~80%	~10%	~10%
3	近红外数字水印	INNOVATION	360	~80%	~10%	~10%

作为概念验证：*首次光学近红外（联合涡电流）试验采用了较小的样本量；
**机器人试验同样采用了较小的样本量。

带纸质封口的复合纸罐极有可能满足纸类回收桶对纤维含量的接收要求。然而，在极少数欧洲国家，此类包装需投入混合包装回收桶。不论纸罐被投入何种收集桶，一旦进入分拣中心，最终都会以不同的分拣回收率进入纤维回收流程。在以下情境中，可实现较高的纸罐回收率：操作人员针对近红外设备设定了最佳识别参数；神经网络模型已被训练识别纸罐形态；应用了诸如近红外数字水印识别等新兴创新技术。分拣结果由以下因素共同决定：再生资源回收中心的分拣技术类型，设备配置与调节能力，包装材料组成及包装尺寸参数。

值得注意的是,表 1 中的试验周期 1 显示,67% 的纸罐虽被成功回收,却误分拣至铝回收流。该结果虽不典型,但再次强调了设备的参数设置对于包装材料回收精度的重要性。在该试验中,铝回收设备的参数设定导致大量铝含量低于 3% 的纸罐被归入铝材打包流程。后续试验周期 2 与 3 则证明,通过设定正确的参数,纸罐可更有效地被回收到纤维打包流中。

图片1: 近红外材料识别 (左) 与对应纸罐图像 (右)

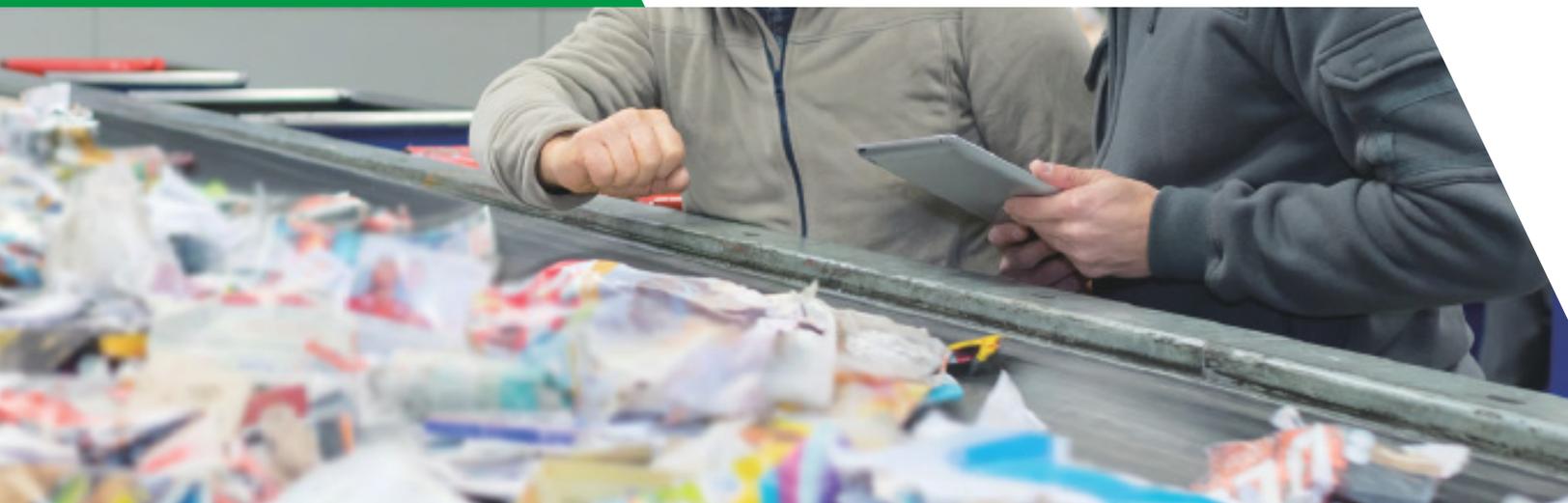


采用创新性数字
水印识别技术, 试验中
纸罐回收率高达

98%

近红外分拣技术

图片 1 显示了对纸罐内各类材料的准确识别结果。在该示例测试中,纸罐包含了带可再封口的聚丙烯 (PP) 盖。图中紫色部分表示系统成功识别出塑料盖;绿色部分表示设备准确识别出罐体中的纸质或纤维成分;而蓝色区域则显示纸罐内层的聚乙烯 (PE) 密封层 (为热封结构的一部分,附着于罐体内层或高阻隔内衬材料上)。一旦系统识别出盖子为塑料材质、罐体为纸质结构,包装组件就能被正确分拣至相应的材料回收流中。



图片 2 展示了纸罐在输送带上传送至近红外分拣设备的过程：左侧圆圈为纸罐进入近红外扫描区域前的状态，右侧圆圈为纸罐经扫描识别后，被系统有序弹出至目标分拣路径中的状态。

造纸厂回收处理

目前所生产的纸罐约由 40% 原生纤维与 60% 再生纤维构成，是产品循环经济的典范。当纸罐被导入现有造纸厂进行回收处理时，其纤维成分可被回收再生为纸板材料，用于制造新产品，甚至是新的纸罐。为验证纸罐的可再制浆性，已在欧洲与美国开展了七项独立制浆试验。

考虑到纸厂工艺配置的多样性，试验在不同的设备组合与工艺条件下进行。这些试验涵盖了标准造纸厂和专业造纸厂。与标准纸厂相比，专业纸厂通常会使用更高浓度的浆料，且制浆处理时间更长。延长的制浆时间使专业纸厂能够接受与处理比标准造纸厂更广泛的来料，这包括双面聚合物复合材料包装或含抗湿强度助剂的纤维材料。制浆试验中，纸厂采用间歇式或连续式制浆工艺，其浆料浓度范围约为 3% 至 10%。

部分纸厂还引入缠绕物清除装置以辅助回收处理。且纸厂流程中均配备除杂处理系统（包括拦杂装置、液力清洗装置与连续除杂设备）。不同类型的设备配置与组合，为评估纸罐在各类纸厂工艺条件下的可回收性，提供了全面且有效的数据基础，也反映了当前纸制品行业内多样化的再加工路径。



图片2：近红外分拣设备显示纸罐的分拣过程

纸罐以 5% 至 15% 的比例与其他再生纸制品（如瓦楞纸箱（OCC）、混合纸类、利乐包装与屋顶型纸盒一同投入纸类回收流中进行处理。参见下方图片 3。

图片3：纸罐由叉车装载（左）；纸罐被投入制浆系统，与其他再生纸制品混合处理（右）



将纸罐材料纳入回收进料流，对制浆工艺、造纸流程或最终纸张质量均无不良影响。试验过程中产出的纸张在光学均匀性与机械强度方面保持一致，未出现粘性杂质或纤维断裂等常见缺陷。纸张的生产过程在标准运行速度下顺利进行，无需任何工艺调整或干预。有关试验参数设定及所有纸厂中观察到的共通结果，详见表 2。

表2：欧洲与美国多项纸类的回收试验结果汇总

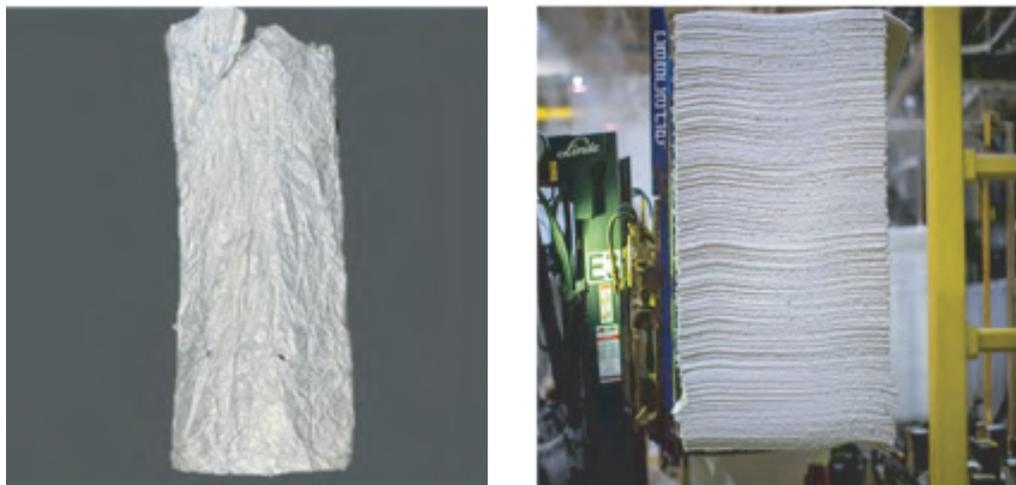
造纸厂业主	国家	机械设备	纸罐数量	投料比例	纸浆质量	弃料特性	制浆效率
SONOCO	意大利	标准型	4 吨	10%	无影响	<0.1% 涨幅	无变化
SONOCO	美国	标准型	6.5 吨	5.5-7.5%			
第三方纸厂	比荷卢地区	标准型	<1 吨	无数据			
第三方纸厂	法国	标准型	<1 吨	无数据			
SONOCO	英国	标准型	3.4 吨	10%			
SUSTANA	美国	专用型	1 吨	未测量			
SONOCO	英国	专用型	5.5 吨	100%			
SONOCO	英国	标准型	15 吨	10-15%			

总体而言，纸罐在回收处理中实现了约 85% 至 95% 的纤维回收率，其所含的聚合物 / 铝箔复合材料或其他非纤维材料在制浆过程中被有效地分离为大块杂质，未对制浆工艺流程或废水系统产生不良影响。试验证实，带纸质封口的纸罐在当前标准型及专业型纸张回收设备中均具有良好的可制浆性。试验结果具有高度可复制性，并为行业提供信心，即不受以下因素影响：

- 1) 纸厂所使用的除杂设备类型；
- 2) 投入制浆机的材料浓度参数；
- 3) 采用的制浆系统为间歇式或连续式，及对应的工厂类型为标准厂或专业厂。

下方图片展示了回收过程中所得的合格纤维、从制浆系统中排出的非纤维废料及使用合格纤维生产的高质量纸板成品。

图片4：（左）排出的杂质废料，（右）再生纤维制成的纸制品



制浆造纸与回收过程模拟

实际操作中，造纸厂试验并非总能开展，因此将实验室制浆和回收测试结果与造纸厂试验结果进行对比，对于增强未来实验室可回收性评估的可信度具有重要意义。纸罐已由德国、法国、比利时、意大利以及美国的多家外部实验室与认证机构进行评估测试。典型的测试流程包括以下步骤：

- 1) 样品制备；
- 2) 在水中 对 80% 至 100% 的样本材料进行制浆处理（时长为 5、10、15 或 20 分钟）；
- 3) 采用粗筛与细筛进行筛分处理（不含清洗步骤）；
- 4) 制作实验纸样；
- 5) 对纸样进行评估（包括光学非均匀性、结构缺陷和大颗粒粘性杂质）。

在这些实验室制浆模拟试验中，纸罐在水中表现出良好的分解性（制浆过程），其阻隔材料大多保持完整的状态，并可通过粗筛或标准筛有效移除。非纤维成分若分解成较小颗粒，则主要通过细筛清除。根据这些实验结果，平均纤维回收率为 80% 至 90%。



金属底纸罐

金属底纸罐是纸底纸罐的前期产品，目前仍在市场中广泛应用。此类包装通过封盖机械接缝将金属底部牢固连接至罐体，主要用于包装需要更高抗压性和耐冲击性的重型产品。金属封口的刚性结构能在运输、搬运及分销过程中，为包装提供额外保护，减少因气压变化可能导致的变形或损坏。无论采用纸底还是金属底结构，其罐体部分基本相似，均采用再生纤维材料。

为了将此类包装材料有效被纳入循环再利用体系，确定其可回收路径尤为关键。通过分析四大关键可回收性维度——收集、分拣处理、处理与终端市场，可全面评估该类包装的可回收性。由于带金属

封口的纸罐可能不符合路边纸类回收桶的最低纤维含量要求，因此在双流回收系统中有时需投入混合包装回收桶，或在单流回收系统中统一投放至单一回收桶。

为评估此类纸罐进入纤维回收流的能力，共开展了多项分拣试验，主要采用三项技术进行验证。开展分拣试验的试点设施及实际分拣中心配备近红外识别、人工智能 / 神经网络机器人及近红外数字水印识别技术。试验结果表明，该系统能够准确识别带有金属封口的纸罐，并将其正确分拣至对应的材料打包流中。

根据图 4 所示，在概念验证试验中，近红外分拣设备对带金属封口纸罐的初始识别回收率为 24%。经过技术调整后，同批纸罐的回收率提升至 65%。进一步优化纸罐材质设计（模拟常规纸板包装结构）后，带金属封口的纸罐通过近红外光学分拣设备的回收率可达到 100%。

图4：带金属封口的纸罐 —— 各类分拣技术下的分拣性能提升分析



此外，结合机器学习软件的机器人试验表明，在再生资源回收站中，通过反复识别纸罐能显著提高识别准确性，并大幅提升回收率。在试验周期 2 与 3 中，采用 AMP 机器人与学习软件的回收率由 57% 提升至 87%。最终，在采用近红外数字水印识别技术的创新试验中，系统通过识别包装标签信息来判断其材质成分，显示纸罐在目标回收桶中的回收率高达 99%。随着此类技术在更多再生资源回收站中的普及，各类材料的回收率将进一步提升，分拣精度也将大幅优化。

表3：带金属封口的纸罐 —— 欧洲与美国众多再生资源回收中心的分拣试验结果汇总

试验周期	分拣技术类型	设备品牌 / 组织方	投放纸罐的数量	纸类	铁磁	金属	残余物	丢失量
1	光学近红外	多种 - CIRCPACK	600	■	■	■	■	■
2	人工智能 / 神经网络机器人	AMP	*87	■	■	■	■	■
2	光学近红外	TOMRA	*60	■	■	■	■	■
3	人工智能 / 神经网络机器人	AMP	*310	■	■	■	■	■
3	近红外数字水印	INNOVATION	271	■	■	■	■	■
3	光学近红外	多种 - 认证机构	100	■	■	■	■	■

*在这些测试 / 试验中，未配备用于铁磁金属回收的磁选装置。

自投式回收站 (Bring Bank) 或定点回收投放点

除了路边回收外，部分地区还设有私人运营的纸包装回收投放点或自助投放箱，由专用纸厂负责回收处理，通常用于聚合物涂层纸包装的再生利用。典型案例是英国 ACE UK 的自投式回收站收集系统。Sonoco 与英国 ACE UK 合作，使消费者可将带金属封口的纸罐投放至与食品及无菌饮料纸盒相同的自投式回收站。这两类包装会一同被压缩打包，并运送至英国 Stainland 的 Sonoco 专用纸厂，最终被回收再利用为全新纸制品。



回收处理与终端市场

鉴于金属底纸罐主要由纸材与钢材构成，多个组织已对其在环境效益、可分拣性及终端市场价值方面开展研究评估，以验证回收钢材与纸材的可行性与经济性。在钢铁行业中，钢铁的回收与再利用尤为关键——当前约 85% 的钢制产品是由再生钢材制成，因此将钢材导入钢铁回收流具有积极意义。与原生钢材相比，使用回收钢可减少约 75% 的温室气体排放与能耗。与此同时，纸包装的回收率为 60% 至 85%，最终会转化为新材料。整个纸制品行业依赖于纸张的循环再利用，以减少对原生纸浆资源的消耗。

当金属底纸罐进入造纸厂回收处理时，其可用纤维的回收率高达 90%，并被用于生产新的纸制品。非纤维成分可被有效剔除，且不会对制浆系统造成污染。图片 5 显示了钢底纸罐回收过程中的典型残渣物质。只有聚合物 - 铝箔复合膜、金属化薄膜及钢底部件会在过程中被排出。该图片清晰展现了纤维与非纤维部分的高效分离效果。金属封口部分可通过现有设备（如滚筒筛或砂分离器），在标准或增强型纸厂中作为粗杂质分离并移除。

图片5



总结

迄今为止, Sonoco 与行业内多家单位的协同合作已奠定坚实基础, 有助于向消费者、再生资源回收站中心、造纸厂、回收性认证机构等传递纸罐纳入纸类回收流程的适用性。通过与 Kellogg's、Circpack、ACE UK、TOMRA、Interseroh、MSS、AMP Robotics、Cyclos-HTP 等机构合作, 已对纸罐在分拣、加工处理及终端利用等核心环节进行系统性分析与验证, 并确立了可行的解决方案。

构建全球行业协作机制是持续提升纸罐的回收率、扩大全球纸质包装回收总量的重要举措。这些合作不仅支持创新解决方案, 还推动了对纸包装可回收性的技术认知提升, 以打破市场上对“某些类型的纸质包装(如纸罐)不可回收”的普遍误解。同样重要的是, 需理解以下三项之间实现平衡的必要性:

1.

纸包装结构设计
需延长产品保质期、
减少食物浪费;

2.

确保新一代纸质
包装设计中
具有高纤维含量;

3.

引入新型基础设施
设备与技术,
以提升纸包装回收效率。

致谢:



SONOCO

可持续发展实践