

纸类产品的生命周期评价



作者简介: 陈 钢先生,
博士, 讲师; 主要研究方
向: 可持续设计制造。

陈 钢

(天津科技大学机械工程学院, 天津, 300222)

摘 要: 制浆造纸业的资源能源消耗量大, 且环境污染。生命周期评价方法广泛用于识别分析纸类产品的潜在环境影响, 但该方法的理论体系仍存在尚待解决的问题。通过回顾近年来发表的部分相关中英文期刊文献, 总结了这些文献的主要结论, 并基于文献初步探讨了生命周期评价方法的选择对结论可能产生的影响。

关键词: 纸类产品; 环境影响; 生命周期评价

中图分类号: TS7

文献标识码: A

DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2017.06.014

Life Cycle Assessment of Paper Products——A Review

CHEN Gang

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin, 300222)

(E-mail: chengang@tust.edu.cn)

Abstract: Pulp and paper making industry consumes large amount of resources and energy while making heavy pollution with current technology. Life cycle assessment (LCA) has been widely used to identify and analyze the potential environment impacts of paper products. However, LCA method is still immature with many unsolved problems. Through reviewing the literatures which have been published recently, the main conclusions in those papers are summarized. The difference of LCA methods applied may have influence on the conclusion.

Key words: paper products; environmental impact; life cycle assessment

制浆造纸业是耗用资源、能源较多的行业, 且带来一些环境污染^[1]。有必要识别、控制并改善制浆造纸业的环境影响^[2]。需从产品全生命周期的角度分析才能识别出造成环境影响的真正主因, 并提出恰当的改善措施, 否则可能会造成污染转移, 即孤立的改善措施可能会在减少局部某类环境污染时, 造成其他区域或其他形式的环境污染。

生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价。LCA 理论已经取得了很大的发展, 但由于产品系统及其环境影响的复杂性, LCA 理论体系中仍存在许多待解决的问题, 例如: 所涉及范围的确定、结论的不确定性评价等^[3]。已经有很多国内外的研究者针对纸类产品进行了生命周期评价, 黎的非等人曾于 2009 年探讨过当时 LCA 方法在造纸行业的应用^[4]。本文通过回顾新近发表的部分研究成果, 介绍了 LCA 技术在制浆造纸业中的当前应用情况。

1 针对纸类产品的 LCA 研究

分析各项相关 LCA 研究的主要内容、重大环境影响及其成因的识别。

Diogo 等人分析了巴西胶版印刷纸的生产过程^[5], 该 LCA 的范围涵盖了森林子系统 (包括土壤准备、桉树的种植和砍伐及运输、森林维护等过程) 和制浆造纸子系统 (包括硫酸盐法制浆和漂白、化学品回收、胶版印刷纸生产等过程), 未包括纸张的使用和废弃处置阶段, 其清单数据主要来自于相关的 LCA 文献; 该 LCA 使用 Gabi6 软件、以 EDIP1997 和 USEtox2008 方法进行影响评价; 该 LCA 的环境影响分析分为三个方面: 初级能源需求 (包括可再生能源、不可再生能源)、环境影响评价 (包括酸化、全球变暖等 8 个类别) 和土地使用。其主要评价结果表明:

- 制浆造纸子系统能耗占总能量消耗的 91%,

收稿日期: 2017-02-05 (修改稿)

而其中的胶版印刷纸生产过程和制浆漂白过程的能耗之和约占 94%。

- 由于化学品回收过程所排放的硫化氢、氮氧化物和二氧化硫，其对酸化影响的贡献最大，约占 62%。

- 胶版印刷纸生产和制浆漂白过程因其耗电而对全球变暖的贡献最大，共占约 93%，巴西部分电力来自化石燃料。

- 森林子系统和制浆造纸子系统对富营养化的贡献各约占 50%。森林子系统的贡献主要来自于氮磷钾肥的施用以及木材砍伐和运输中所使用的柴油，制浆造纸子系统的贡献主要来自于燃烧柴油及生物质产生热能。

- 对平流层臭氧耗竭的贡献主要来自于胶版印刷纸生产过程（近 57%）和制浆漂白过程（近 36%），具体归因于这两个过程的输电及耗电所排放的 R11 和 R144。

- 森林子系统和制浆造纸子系统对光化学氧化剂的贡献分别占 35% 和 65%。森林子系统的贡献主要来自于木材砍伐和运输过程排放的挥发性有机物；制浆造纸子系统的贡献主要来自于燃烧柴油及生物质产生热能时排放的一氧化碳和挥发性有机物。

- 森林子系统和制浆造纸子系统对生态毒性的贡献分别占 62% 和 38%。森林子系统的贡献主要来自于施用草甘膦除草剂所引发的空气排放；制浆造纸子系统的贡献主要来自燃烧柴油及生物质时排放的氮氧化物，以及电力过程向空气中排放的重金属。

- 人体毒性主要来自于制浆漂白过程和胶版印刷纸生产过程，具体来自于电力过程中的重金属和挥发性有机物空气排放。

Dias 等人分析了葡萄牙印刷和书写用纸的全生命周期，对比了葡萄牙生产的纸张在本地消费及废弃处置以及运送至德国消费及废弃处置的环境影响^[8]。两种场景的差别主要有两方面：一是将纸张运送至德国消费者的平均距离远大于运送至葡萄牙消费者的平均距离；二是相对于葡萄牙，纸张在德国废弃后的回收比例较高而填埋比例较低。该 LCA 的清单数据主要来自于所收集的过程数据、相关的 LCA 文献和环境数据库，特征化因子来自于 IPCC2001 等相关文献。该 LCA 的范围主要涵盖了森林过程、制浆过程、造纸过程、纸张派送过程和最终废弃处置过程，评价了全球变暖、酸化等 5 种环境影响类别，主要评价结果表明：

- 在德国场景中，对全球变暖的贡献主要来自于与造纸过程中耗能（重油和得自化石燃料的电力）相关的 CO₂ 排放；而在葡萄牙场景中，对全球变暖的贡献主要来自于造纸过程和废弃处置过程，由于废纸的填埋比例较高，填埋所释放的 CH₄ 使产品系统总体全球变暖影响潜值高于德国场景。

- 在德国场景中，对酸化的贡献主要来自于与造纸过程中耗能相关的 SO₂ 排放；由于纸张派送过程中的运输距离较短，葡萄牙场景的酸化潜值较低。

- 在德国场景中，对富营养化的贡献主要来自于制浆过程（COD 和 NO_x）、造纸过程和纸张派送过程（NO_x）；同样由于纸张派送过程中的运输距离较短，葡萄牙场景的富营养化潜值较低。

- 在德国场景中，对不可再生资源消耗的贡献主要来自于造纸过程中所消耗的重油；同样由于纸张派送过程中的运输距离较短，葡萄牙场景中的不可再生资源消耗潜值较低。

- 对光化学氧化剂形成的贡献主要来自于废纸填埋所释放的 CH₄，因此葡萄牙场景要高于德国场景。

Ghose 等人讨论了挪威新闻纸和超级压光纸全生命周期的环境影响^[9]。该 LCA 的范围涵盖了制浆过程、造纸过程、将纸张运送至消费者的过程和工厂废弃物的处置等过程，未包括森林以及纸张的使用和最终废弃处置等过程。在 2008 年，1 t 新闻纸以 0.9 t 热磨机械浆、0.0081 t 硫酸盐浆和 0.37 t 的回收废纸为原料生产；同年的 1 t 超级压光纸以 0.56 t 热磨机械浆和 0.11 t 硫酸盐浆为原料生产，不使用回收废纸。从文章中给出的 2008 年和 2011 年的过程输入数据比对看，其间生产 1 t 新闻纸所需的热磨机械浆、硫酸盐浆、电耗和燃料消耗量减少，但填料用量、回收废纸占比、化学品用量以及总运输距离上升。该 LCA 使用 SimaPro7.3.2 软件，清单数据主要来自于挪威最大的造纸企业以及 Ecoinvent 2.2 环境数据库。该 LCA 依据欧洲 ReCiPe 方法评价了包括气候变化、臭氧耗竭等类别在内的 12 类环境影响以及累积能耗，给出以下主要结论：

- 在挪威的纸张生产过程中，生产热磨机械浆的过程由于其能耗较高而在多数环境影响类别中所占比例最大；以填料和回收废纸制浆替代部分热磨机械浆可降低新闻纸的能耗；但填料和回收废纸所占比例的增加，可能会引起输入运输距离的增加，以及工厂废弃物（如灰分）的增加。

- 超级压光纸由于不使用回收废纸制浆、纸浆中硫酸盐浆的比例较高（8% ~ 10%）、造纸过程中所

使用的填料(高岭土)比例较高(近33%)、化学品用量较高以及运输距离长,因而其环境影响比新闻纸高10%~15%。

- 由于挪威造纸业很多原料来自国外,其输入运输过程以及纸制品和工厂废弃物的输出,运输过程对许多环境影响类别的贡献超过20%。

- 如果将所用能源从以水电为主的挪威电网改变为以化石燃料及核电为主的北欧电网,则所得到的环境影响结果大幅增加。因此,在进行生命周期评价时,需明确所用能源及电力的来源。

- 2011年,使用北欧电网时,生产1 t新闻纸和1 t超级压光纸的碳排放量分别为512 kg和626 kg CO₂当量,而使用挪威电网时,生产1 t新闻纸和1 t超级压光纸的碳排放量分别为211 kg和363 kg CO₂当量。

Garcia等人分析了在西班牙以蓝桉为原料、采用全无氯漂白方式生产的硫酸盐浆的环境影响^[8]。该LCA的范围涵盖森林子系统和制浆子系统,未包括桉树幼苗的生产过程、纸制品的生产、配送及废弃处理过程。该LCA使用SimaPro 7.0软件、特征化因子来自于CML2000方法。清单数据主要来自于西班牙一家纸浆年产量超过42万t的企业以及Ecoinvent环境数据库。该LCA评价了非生物资源消耗、全球变暖等10个环境影响类别。分析结果表明,在除光化学氧化剂形成(其中森林子系统的贡献约占49%)之外的其他影响类别中,制浆子系统所占的比例均远超过森林子系统。具体评价结果如下:

- 非生物资源消耗:主要来自于制浆化学品(特别是漂白过程中所使用的螯合剂)的生产。

- 全球变暖:制浆子系统中的石灰窑燃烧燃料油、化学品生产过程以及森林子系统中燃烧化石燃料对该影响类别的贡献最大。

- 臭氧层耗竭:生产丙烷和燃料油等化石燃料的过程以及生产蒸煮漂白中所使用的化学品(特别是过氧化氢)的过程对该影响类别的贡献最大。

- 人体毒性:化学品(特别是过氧化氢和氢氧化钠)的生产过程以及化石燃料的生产过程的空气排放(如多环芳烃和镍)和水体排放(多环芳烃和钡)对该影响类别的贡献最大。

- 淡水水生生态毒性:生产化学品(特别是过氧化氢)及处理废弃物(主要指化学品回收过程中绿液渣和灰的填埋)时所排放的铜、钒和镍对该影响类别的贡献最大。

- 海洋水生生态毒性:化学品的生产、过程废弃

物的处理及能源的生产对该影响类别的贡献最大。

- 陆地生态毒性:氢氧化钠生产中向空气排放的汞和过氧化氢生产中向空气排放的钒对该影响类别的贡献最大。

- 光化学氧化剂形成:森林子系统对其贡献约为49%,主要来源于西班牙高度机械化的森林过程中燃烧化石燃料时所排放的一氧化碳;该文章认为化学品回收单元中生产能源的过程对该影响类别也有贡献。

- 酸化:制浆子系统中,生产能源的过程对其贡献最大(如石灰窑中使用燃料油会排放二氧化硫和氮氧化物);森林子系统的酸化贡献超过25%,同样来自于高度机械化的森林过程中所燃烧的柴油和汽油,以及施用的氮肥。

- 富营养化:制浆子系统中,废弃物的处理(绿液渣填埋渗出所致的COD排放)、生产能源过程的氮氧化物排放以及废水处理厂的COD排放对其贡献最大;森林子系统对富营养化的贡献超过25%,来自于森林过程中所施用的磷肥和氮肥。

无元素氯漂白(使用二氧化氯代替元素氯)所排放的有机氯降低,但成本高。酶法漂白使用可生物降解的酶来部分替代传统漂白过程中所使用的化学品,成本较低且环境污染小。对若干种氧化酶的研究表明,以氧化酶漂白纸浆不会产生被氯离子污染的废水。Zhi等人对比了加拿大造纸业以酶法漂白替代无元素氯漂白所造成的环境影响的变化^[9]。加拿大所使用的针对针叶木浆的无元素氯漂白方式为三段二氧化氯漂白阶段与两段碱提取阶段的交替进行;而酶法漂白方式将第一段二氧化氯漂白替换为酶法漂白,其他阶段不变。该LCA仅涵盖纸浆的漂白阶段,所评价的环境影响包括能耗、温室气体排放等10个类别。该LCA使用SimaPro 4.0软件,以Eco-indicator 95中的影响类别对清单数据进行特征化。清单数据的来源包括:加拿大一家采用无元素氯漂白方式的企业、实验室数据、文献、SimaPro中的环境数据库等。对此类酶法漂白过程的分析表明二氧化氯仍是造成其环境影响的主要原因,酶法漂白过程的具体分析结果如下:

- 除温室气体排放、夏季烟雾和富营养化之外的其他影响类别,酶法漂白的表现都好于无元素氯漂白;酶法漂白的温室气体排放和夏季烟雾影响较严重是由介体的国际运输(假定由德国经8000 km空运至加拿大)所致,而富营养化影响较严重则是由于酶的生产过程及原材料的种植过程所致。

• 能耗主要由 3 部分组成: 二氧化氯的制备能耗较高且用量大, 燃料的开采和处理过程的能耗, 介体从德国至加拿大的运输能耗。而由煤、石油和铀等制备能源的过程中排放的哈龙 1301 对平流层臭氧耗竭的贡献最大。

• 温室气体排放主要来自于: 氯酸钠和二氧化氯制备过程中的能耗, 介体从德国至加拿大的运输, 以及氢氧化钠的制备。

• 酸化影响主要来自以下几个方面: 二氧化氯制备中以硫酸和氯酸钠为原料会造成氯化氢排放, 能源制备过程中排放的硫氧化物, 运输中排放的氮氧化物, 以及氢氧化钠制备过程中排放的硫氧化物、氮氧化物和氯化氢。

• 与二氧化氯制备相关的能源制备过程中排放的多环芳烃和镍等是产生致癌性影响的主要原因; 而该过程中排放的铅、铬、砷、钡等则是产生重金属影响的主要原因。

• 除运输之外, 夏季烟雾影响的其他主要来源包括: 与二氧化氯消耗相关的氯化钠和氯酸钠的生产, 以及氢氧化钠制备过程中所排放的碳氢化合物。

• 冬季烟雾影响主要来自于制备二氧化氯所需的硫酸、能源制备过程和氢氧化钠制备过程中排放的硫氧化物。

Kasah 针对欧盟地区完全以回收纤维为原料的新闻纸机进行了生命周期评价^[14]。该类纸机年产 36 万 t 新闻纸, 使用年限为 40 年。所考察的造纸过程包括脱墨、网部、压榨、干燥等部件以及所需的蒸汽、冷凝系统和液压部件。该 LCA 的范围涵盖了纸机的制造 (包括原材料的生产及废弃物处理)、运输至客户、操作使用以及废弃处置等阶段。以纸机为产品对象, 这是一个完整的 LCA; 如果是纸为产品对象, 则仅为纸类产品生产阶段中的一部分。该 LCA 的目的在于识别造纸机械生命周期中的重大环境影响, 以及在制浆造纸 LCA 中是否可以将纸机作为固定设备而忽略。该 LCA 所评价的环境影响包括全球变暖、酸化等十几个类别, 比分析了热电联产、来自于德国电网及来自于 EU25 电网等 3 种不同能源场景。该 LCA 使用 GaBi 软件, 其影响评价按照 ReCiPe 中点指标法进行, 清单数据主要来自一家纸机制造商以及 GaBi 软件中的环境数据库, 主要结论如下:

• 造纸机械全生命周期中最大的环境影响是化石燃料消耗和全球变暖。

• 人体毒性、酸化、颗粒物、光化学臭氧形成等环境影响值依赖于所使用的能源类型, 例如, 热电联

产方式一般要优于电网方式。

• 除金属资源消耗主要来自于纸机的制造阶段之外, 其他类别的环境影响主要是在纸机的操作使用阶段中产生的, 原因是纸机的使用能耗高且使用年限长; 在热电联产能源场景下, 海水生态毒性影响约 30% 来自于纸机的制造过程。

• 因此, 在以纸为产品对象的 LCA 中, 除非金属资源消耗和海水生态毒性是主要关注的环境影响, 否则可仅考虑纸机的操作使用阶段, 而忽略其制造、废弃等阶段。

由于非木原材料在制浆造纸中的应用增加, Garcia 等人评价了用作造纸原料的西班牙大麻和亚麻作物的生命周期环境影响^[15]。该 LCA 涵盖 3 个主要阶段: 农业生产子系统、秸秆处理子系统、将纤维捆运送至制浆厂。该 LCA 所评价的环境影响包括全球变暖、酸化以及农药使用等类别。该 LCA 使用 SimaPro7.0 软件, 其影响评价按照 CML2000 方法进行。农作物的清单数据主要来自于种植者, 而化学品、农药等背景数据则来自于 Ecoinvent 数据库。该 LCA 得出以下主要结论:

• 全球变暖: 对大麻作物来说, 化肥的生产和使用是造成此类环境影响的最主要原因; 而对于亚麻作物来说, 田间作业中的灌溉是其最主要原因。

• 酸化: 对大麻作物来说, 化肥的生产及使用和田间作业中的打麻是造成此类环境影响的最主要原因; 而对于亚麻作物来说, 田间作业中的灌溉和打麻是其最主要原因。

• 富营养化: 对大麻和亚麻作物来说, 化肥的使用和生产都是造成此类环境影响的最主要原因。

• 光化学氧化剂形成: 对大麻作物来说, 田间作业中的打麻和磷基化肥的生产是造成此类环境影响的最主要原因; 而对于亚麻作物来说, 田间作业中的灌溉和打麻是其最主要原因。

• 不可再生能源消耗: 对大麻作物来说, 田间作业 (如打麻及收割) 和化肥生产的能耗占比最大; 而对于亚麻作物来说, 田间作业中的灌溉能耗占比最大。

• 农药使用: 大麻作物无需施用农药, 而亚麻作物需要施用除草剂。

从节约木材及纸浆的角度出发, Manda 等人以斯洛伐克一家联合制浆造纸厂为例分析了改变纸张配比所造成的环境影响变化^[12]。纸张配比包括两个方面: 一是指不同类型的纸浆 (无漂白的原生硫酸盐浆、回收纤维制浆、高得率的原生预热化学机械浆); 二

是指在纸浆中加入不同类别不同比例的 TiO_2 颗粒（微米级、纳米级）和研磨碳酸钙颗粒，文中评价了这两个方面的不同组合所形成的纸张配比。新纸张配比可从 3 个方面减少木材消耗：一是添加研磨碳酸钙颗粒等会替代部分纸浆；二是由于 TiO_2 颗粒可使未漂白纸浆达到所要求的白度，从而避免漂白并增加纸浆得率；三是回收纤维制浆可减少木材消耗。该 LCA 的范围涵盖了木材生长、制浆、造纸、厂内发电及化学品的生产等阶段，清单数据主要来自于所考察的生产商及 Ecoinvent 数据库，以 ReCiPe 方法评价了不可再生能源消耗和温室气体排放等几个环境影响类别，得出以下主要结论：

- 以当前工艺制备纳米级 TiO_2 颗粒的不可再生能源消耗较高。

- 纳米级 TiO_2 颗粒加 50% 回收纤维浆加 50% 未漂白硫酸盐浆的配比可节约木材 64%；微米级或纳米级 TiO_2 颗粒加未漂白硫酸盐浆的配比可节约木材 28.5%；微米级 TiO_2 颗粒加预热化学机械浆的配比可节约木材 37%。

- 采用归因式 LCA，在各种纸张配比中，10% 纳米级 TiO_2 颗粒加 90% 研磨碳酸钙加 50% 回收纤维浆的配比的总能耗最低；而传统纸张（即采用无元素氯漂白的硫酸盐浆）的温室气体排放和不可再生能源消耗最低。但该 LCA 未考虑纳米级 TiO_2 颗粒的生态毒性及人体毒性。

Wang 等人分析了以 4 类废纸为原料制备生物乙醇（作为可再生的运输燃料使用）的环境影响，并与回收废纸制浆及带能量回收的焚烧等另外 2 种废纸处置方式进行了对比^[3]。废纸制备生物乙醇的 LCA 涵盖 3 个主要阶段：废纸的收集和运输、以废纸制备生物乙醇、生物乙醇的配送及其在燃油汽车中的使用。该 LCA 所评价的环境影响包括全球变暖、非生物物质资源消耗等 9 个类别。该 LCA 使用 SimaPro7.3 软件，按照 CML2000 方法进行影响评价，清单数据主要来自于实验数据、过程仿真结果及相关文献和数据库，得出以下主要结论：

- 相比于办公废纸、旧杂志纸和废纸箱，以旧报纸制备生物乙醇（经氧化石灰预处理）的环境影响最低。

- 对旧报纸和旧杂志纸来说，回收废纸制浆方式的温室气体排放量最低；对办公废纸和废纸箱来说，能量回收比例较高的焚烧方式的总环境影响最小。

- 但以旧报纸制备生物乙醇的总环境影响要低于

能量回收比例较低的焚烧方式，而以旧报纸制备生物乙醇（经氧化石灰预处理）的方式在某些环境影响类别上要优于回收旧报纸制浆（替代机械浆和硫酸盐浆）的方式。

肖汉敏等人用 LCA 方法分析了造纸污泥干燥焚烧的环境影响^[4]。该 LCA 涵盖 3 个主要阶段：以除湿干燥机干燥经机械脱水后的污泥、污泥的焚烧发电过程、污泥和灰渣的运输过程。该 LCA 所评价的环境影响包括全球变暖、大气酸化、水体富营养化及烟尘灰尘共 4 个类别，清单数据主要来自于工厂实际运行数据及相关文献。结论为造纸污泥的焚烧发电过程是造成其环境影响的主要过程，但未考虑每功能单位最终输出电量所能减轻的环境影响。

2 LCA 方法现存问题的探讨

LCA 方法提出至今已超过 40 年，但如前所述，LCA 理论体系仍存在很多不完善的地方，归因式 LCA 与决策式 LCA 的选择就是问题之一^[5]。归因式 LCA 旨在描述在给定的产品系统边界内，为实现指定的功能单元而造成的环境影响；而决策式 LCA 则试图描述会对产品系统产生扰动的某项决策（如原材料的变化或是工艺的变化）将如何改变既有的环境影响，需要将研究范围扩展为涵盖与所关注产品相关的其他产品才可能进行决策式 LCA。这两种方法与 LCA 中的环境影响分配与系统边界扩展问题紧密相关。从理论上，决策式 LCA 可以更清晰地揭示产品生产及消费活动的环境后果，但由于其方法尚不完善以及缺乏必要的数据库，决策式 LCA 所得出的结论存在较大的不确定性。Ekvall 等人较早就分析对比了这两种方法，在 2005 年的一篇文献中，他们以这两种方法分析了从锡铅焊接转变为无铅焊接的过程^[6]，主要结论如下：

- 归因式 LCA：转变后，铅的消耗量及其相关负面环境影响会下降，但无铅焊接由于其耗电量较高而气候变暖影响潜值（GWP）上升。

- 决策式 LCA：由于铅会流向其他应用（如铅酸蓄电池或 CRT 显示器），因此铅的消耗量不会下降很多，而由于铅酸蓄电池的使用可以替代部分化石燃料，因此系统整体气候变暖影响潜值的上升会低于归因式 LCA 中的结果。

前面所列举的与纸类产品相关的 LCA 多数为归因式，仅 Manda 等人在分析纸张配比变化时部分采用了决策式 LCA 方法^[7]，提及将所节省的木材用于发电而部分替代化石燃料时所可能产生的环境影响变

化。Gaudreault 等人通过分析加拿大一家制浆造纸厂的 4 种工艺改善措施对耗电量的影响,探讨了采用归因式或决策式方法对 LCA 结论的影响程度^[4],这 4 种工艺改善主要是从实施热电联产及增加脱墨浆的占比着手,该文章的主要结论如下:

- 需考虑间接环境影响。与归因式 LCA 所考虑的直接环境影响(位于所划定的系统边界之内)相比,只在决策式 LCA 中会考虑的间接环境影响(位于所划定的系统边界之外,例如该文中提及的废纸的其他应用所造成的环境影响)可能相当显著而必须关注;而且间接环境影响可能以与直接环境影响相反的趋势变化,即直接环境影响表现为改善时,间接环境影响可能表现为恶化。

- 边界的划定。归因式 LCA 难以调查潜在的间接环境影响。例如,归因式 LCA 常采用摇篮到坟墓的边界划定方式。脱墨浆比例的增加会被转化为废弃纸产品及其环境影响的降低,但实际上,由于废纸制品市场的竞争,脱墨浆比例的增加有可能导致废弃纸制品在其他用途上的减少,而不会改变废弃纸产品的比例。扩展产品系统边界才可能较准确的评价此类变化所带来的真实影响。对于决策变化所引起的环境影响改变很大程度上发生在所考察的产品系统之外的情况,决策式 LCA 有可能更全面地反映决策的后果。文中在进行决策式 LCA 分析时,采用价格弹性法决定再循环纤维(用于生产脱墨浆)比例增加所带来的影响,假定所增加的再循环纤维中:62%来自于废弃纸产品,38%来自于废纸制品的其他应用。但所涉及范围的扩大会增加 LCA 结论的不确定性。

- 分配。决策式 LCA 无需进行分配。而归因式 LCA 通常必须采用某种形式的分配,这可能未必反映真实情况。例如,脱墨浆比例增加所导致的原生纸浆使用量的下降会被转化为森林砍伐的减少,从而带来有益的环境后果。但如果原生浆是以锯木厂的副产品(其主要产品为原木,因此需要分配其环境影响)为原料制造,则无论原生浆的占比是否改变,锯木厂的副产品总是会产生,即原生浆的占比变化可能对于森林活动没有直接影响。文中分析了两种分配方法:截止区方法和开采负荷法。

- 边际技术与平均技术。归因式 LCA 通常采用平均技术水平,而决策式 LCA 则通常需识别所涉及的特定技术。例如:考虑用电量改变所引起的环境影响的变化,归因式 LCA 通常考虑电网电力的平均环境影响(火电、水电、风电、核电等方式的某种组

合),而决策式 LCA 则需识别所减少的用电量是来自哪种特定发电方式(边际技术),而不同发电方式的环境影响有很大差异。

- 热点识别。归因式 LCA 可以比较清晰地识别出造成某类环境影响的主要单元过程,而决策式 LCA 目前尚难以做到这一点。

3 结 论

3.1 在制浆造纸业中,除了可用于评价特定地区特定纸类产品全生命周期的环境影响之外,生命周期评价(LCA)方法还经常用于在以下阶段中比对各种选项的环境影响:制浆原材料、制浆方法、漂白工艺、造纸填料、废弃纸张的处置方式等。

3.2 LCA 中的各种假设,如系统边界、功能单元、分配方法、影响类别等,都可能会对结论产生极大影响,并进而影响企业的改善决策。LCA 报告中应明确指明并定量评价各种假设对于结论的影响程度。

3.3 LCA 的根本目的在于识别及改善产品系统的环境污染,归因式 LCA 不足以充分评价改善决策的有效性,有必要强化决策式 LCA 的理论研究及实用模型开发。

3.4 欲使 LCA 的评价结论便于造纸行业应用,有必要在 LCA 中进行敏感性分析,例如:分析碱回收率的变化对 COD 可能产生的影响;原始数据及模型的不确定性可能对 LCA 的结论产生重大影响,有必要进行不确定性评价(如蒙特卡洛分析);此外,有必要评价各类环境影响的相对严重程度(即标准化)。

参 考 文 献

- [1] LIN Qiao-yuan. Assessment and Forecast of Pollution Prevention of Non-Wood Pulping in China Paper Making Industry [J]. China Pulp & Paper, 2006, 25(5): 47.
林乔元. 中国造纸工业非木材制浆污染防治的评价与展望 [J]. 中国造纸, 2006, 25(5): 47.
- [2] Zhang Xin, Zhang Hui. The Progress in Green Development Made by a Benchmarking Pulp and Paper Mill in China [J]. China Pulp & Paper Industry, 2016, 37(22): 69.
张欣, 张辉. 我国现代浆纸标杆企业的绿色发展 [J]. 中华纸业, 2016, 37(22): 69.
- [3] Goran Finnveden, Michael Z Hauschild, Tomas Ekvall, et al. Recent Developments in Life Cycle Assessment [J]. Journal of Environmental Management, 2009, 91(1): 1.
- [4] LI Di-fei, CAO Zhen-lei, LU Bao-rong, et al. Life Cycle Assessment and Its Application in Pulp and Paper Industry [J]. China Pulp & Paper, 2009, 28(12): 62.

- 黎的非, 曹振雷, 卢宝荣, 等. 生命周期评价及其在造纸行业中的应用 [J]. 中国造纸, 2009, 28(12): 62.
- [5] Diogo Aparecido Lopes Silva, Ana Laura Raymundo Pavan, Jose Augusto de Oliveira, et al. Life Cycle Assessment of Offset Paper Production in Brazil: Hotspots and Cleaner Production Alternatives [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 93: 222.
- [6] Ana Claudia Dias, Luis Arroja, Isabel Capela. Life Cycle Assessment of Printing and Writing Paper Produced in Portugal [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12(7): 521.
- [7] Agneta Ghose, Gary Chinga-Carrasco. Environmental Aspects of Norwegian Production of Pulp Fibres and Printing Paper [J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 57: 293.
- [8] Sara Gonzalez-Garcia, Almudena Hospido, M Teresa Moreira, et al. Environmental Impact Assessment of Total Chlorine Free Pulp from Eucalyptus Globulus in Spain [J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(11): 1010.
- [9] Gloria Zhi Fu, Albert W Chan, David E Minns. Preliminary Assessment of the Environmental Benefits of Enzyme Bleaching for Pulp and Paper Making [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2005, 10(2): 136.
- [10] Tarek Kasah. LCA of a Newsprint Paper Machine: a Case Study of Capital Equipment [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2014, 19(2): 417.
- [11] Gonzalez-Garcia S, Hospido A, Feijoo G, et al. Life Cycle Assessment of Raw Materials for Non-Wood Pulp Mills: Hemp and Flax [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(11): 923.
- [12] Krishna Manda B M, Kornelis Blok, Martin K Patel. Innovations in Papermaking: An LCA of Printing and Writing Paper from Conventional and High Yield Pulp [J]. Science of the Total Environment, 2012, 439: 307.
- [13] Lei Wang, Richard Templer, Richard J Murphy. A Life Cycle Assessment (LCA) Comparison of Three Management Options for Waste Papers: Bioethanol Production, Recycling and Incineration with Energy Recovery [J]. Bioresource Technology, 2012, 120: 89.
- [14] XIAO Han-min, HUANG Xi-peng, HUANG Wei-hao, et al. Life Cycle Assessment of Paper Sludge Drying and Combustion [J]. China Pulp & Paper, 2016, 35(3): 38.
- 肖汉敏, 黄喜鹏, 黄伟豪, 等. 造纸污泥干燥焚烧的生命周期评价 [J]. 中国造纸, 2016, 35(3): 38.
- [15] Tomas Ekvall, Anders S G Andrae. Attributional and Consequential Environmental Assessment of the Shift to Lead-Free Solders [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(5): 344.
- [16] Caroline Gaudreault, Rejean Samson, Paul Rene Stuart. Energy Decision Making in a Pulp and Paper Mill: Selection of LCA System Boundary [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2010, 15(2): 198. [CPP]

(责任编辑: 马 忻)

· 消息 ·

凯米拉南京工厂新施胶剂生产线投产

2017年6月12日, 服务于水密集行业的全球化学品企业凯米拉公司宣布, 其新建的位于江苏省南京市的AKD乳液及松香生产线正式投入运营。随着新生产线的投产, 凯米拉将为国内以及越南、日本、中国台湾和其他亚太地区的客户提供包括ASA、AKD、松香、表面施胶剂在内的各种施胶剂。这条新的施胶剂生产线的投入使用丰富了凯米拉造纸化学品的产品组合, 进一步夯实公司在纸浆和造纸化学品行业的领先地位。

在12日下午举行的新生产线投产开业庆典上, 凯米拉亚太区制浆和造纸部商务高级副总裁 Nicholas Kavander 表示 “亚太地区对高品质施胶剂, 特别是液体包装、食品包装和无菌包装等高档包装纸板用施胶剂的需求不断增加。依托南京基地的新项目, 我们将充分发挥现有基础设施的协同效应, 生产最高品质的施胶产品。我们的新生产线设在公司位于南京化工园区的南京工厂内, 这为我们利用公共基础设施和优质物流网络提供了极佳便利。”

施胶剂主要用于改善纸张和纸板的耐水性, 是

凯米拉全面化学品管理解决方案 (TCM) 的一个重要组成部分。凯米拉化学品解决方案能够确保客户采用最先进的化学技术及应用和智能流程管理技术。

新的AKD生产技术采用凯米拉现有的最先进技术 (BAT) 质量标准, 而这对为食品接触级纸板和液体包装纸板 (LPB) 等高端应用领域提供施胶剂至关重要。

“南京工厂是凯米拉利用先进生产技术打造的亚太区最为发达和现代化的生产基地,” 凯米拉亚太区制浆与造纸部制造业务副总裁 Hanspeter Enzmann 表示, “新生产线高度自动化、安全可靠, 确保最优秀的品质以及质量稳定性。该生产线利用凯米拉自己生产的原材料, 产品不仅品质更高, 也更富有竞争力。”

自2014年以来, 凯米拉就开始扩大南京生产基地的产能, 除此次投产的生产线外, 新的ASA施胶剂生产线也将于2017年底投产。同时, 公司还将继续投资中国市场和扩大南京基地产能。