



香皂产品生命周期评价报告



北京生态设计与绿色制造促进会

项目成员名单

王金柱 张宇峰

免责声明

本报告由上海家化联合股份有限公司委托北京生态设计与绿色制造促进会编写。报告基于国际和行业通用的 ISO14040/44 标准，报告中的信息和数据由上海家化及其供应商所提供，力求但不能保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为报告结果和结论适用于各种情况。未经书面许可授权，任何机构和个人不得以任何形式刊发或转载本报告。此外，授权的刊发和转载，需注明出处，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

目录

1. 生命周期评价.....	5
2. 目标与范围定义	5
2.1 研究目的	5
2.2 研究范围	6
2.2.1 功能单位.....	6
2.2.2 环境影响指标.....	6
2.2.3 系统边界	6
2.3 数据取舍规则	7
2.4 数据质量要求	8
2.5 软件和数据库	9
3. 数据收集	10
3.1 产品生产过程数据收集	10
3.2 原料生产过程数据收集	10
3.3 外材生产数据收集.....	11
3.4 能源生产及运输数据收集	11
3.5 使用及废弃数据收集.....	11
4 产品生命周期清单分析	12
4.1 内材原料	12
4.1.1 皂粒	12
4.1.2 冰片	14
4.1.3 合成薄荷脑.....	15
4.2 香皂生产过程	16
4.3 外材.....	17
4.3.1 外材部件原料.....	17

4.3.2 外材部件生产	17
4.3.3 外材运输	18
4.4 产品的运输过程	18
4.5 产品使用及废弃回收	19
4.5.1 产品使用过程	19
4.5.2 产品废弃过程	19
5 产品生命周期影响分析	21
5.1 产品生命周期环境影响评价结果	21
5.2 香皂内材造成的环境影响	22
5.3 香皂外材造成的环境影响	24
5.4 产品生命周期碳足迹指标结果	25
6 生命周期解释	26
6.1 假设和局限性	26
6.2 数据质量评估	27
6.2.1 代表性	27
6.2.2 完整性	27
6.2.3 可靠性	27
6.2.4 一致性	28
6.3 结论	28
参考文献	29

1. 生命周期评价

生命周期评价方法(Life Cycle Assessment, LCA)是系统化、定量化评价产品生命周期过程中资源环境效率的标准方法^[1-3]，它通过对产品上下游生产与消费过程的追溯，帮助生产者识别环境问题所产生的阶段，并进一步规避其在产品不同生命周期阶段和不同环境影响类型之间进行转移^[4]。国内外很多行业都开展了产品 LCA 评价，用于行业内企业的对标和改进、行业外部的交流，并为行业政策制定提供参考依据。

2. 目标与范围定义

2.1 研究目的

上海家化联合股份有限公司（以下简称“上海家化”）在化妆品研发和制造领域处于国内行业领先水平，拥有佰草集、高夫、六神、美加净等知名品牌。上海家化是上海市高新技术企业，拥有国家级企业技术中心和国家级工业设计中心；入选了国家工信部首批生态（绿色）设计示范企业创建计划。按照工信部对生态设计工作的要求，产品生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）是完成示范企业创建的重要工作内容。

基于以上研究背景，本项目按照 ISO14040/44 的要求，建立香皂产品从原材料生产到产品出厂的生命周期模型，编写 LCA 分析报告，结果和相关分析可用于以下目的：

- 得到产品的生命周期环境影响指标结果，用于作为香皂产品生产企业比较不同工艺下产品的资源环境效率的基础，为未来选择更为环境友好的工艺技术创造条件。
- 报告可用于评估选用不同原材料造成的环境影响，用于辅助香皂产品的绿色设计。
- 报告可用于市场宣传，展示企业产品在资源环境效率方面的优势，建立良好的产品形象。
- 本报告中包含产品全球变暖潜势（GWP）指标结果，可作为企业开展产品碳足迹认证的基础。

2.2 研究范围

2.2.1 功能单位

上海家化生产的香皂产品种类较多，本项目选取销量最大的六神清凉香皂（125g 规格）作为典型产品，代表香皂类产品进行研究。香皂产品包括香皂（内材）以及外包装（外材）两部分。功能单位定义为规格为 125g 的香皂产品。

2.2.2 环境影响指标

环境影响类型和指标的选择取决于研究的目的，它将影响数据收集的范围。环境指标选择可考虑报告的受众和应用，如目标市场、客户、相关方所关注的环境问题，以及产品特有的环境影响类型。

鉴于本研究所评价对象生产过程的特点，且任一产品的生产都会同时造成能源与资源的消耗，均涉及到多目标的评价与综合分析，本研究选择 CML-IA(baseline)方法体系进行生命周期环境影响评价。CML-IA(baseline)是莱顿大学环境研究中心发表的一种生命周期环境影响评价方法体系。该方法考虑的影响被分成 3 个大类：材料和能源（非生物和生物资源的消耗）的消耗，污染（全球变暖、富营养化、酸化等）和损害。该方法是面向问题的方法，是基于传统生命周期清单分析特征及标准化的方法，采用中间点分析减少了假设的数量和模型的复杂性。该方法在国内外生命周期评价领域被大量应用，并得到了广泛认可。根据产品特点，本研究考虑的环境影响类别包括化石燃料资源耗竭（ADP-化石燃料）、全球变暖（GWP）、酸化（AP）、光化学臭氧生成（POCP）和富营养化（EP）。

以上指标中，全球变暖（GWP）即为碳足迹，该指标可以帮助企业发现减少产品温室气体排放、实现节能减排的途径，同时也是一种促进绿色消费的重要手段，从而支持可持续的生产与消费。通过对产品碳足迹的评估和针对性的改进，可以提高企业和供应链在原材料和产品生产上的使用效率，这也有利于企业成本的降低。

2.2.3 系统边界

本研究的系统边界包括上游原料、外材、能源的生产阶段，香皂产品生产阶段，原料和产品运输阶段，以及使用废弃阶段。如图 1 所示：

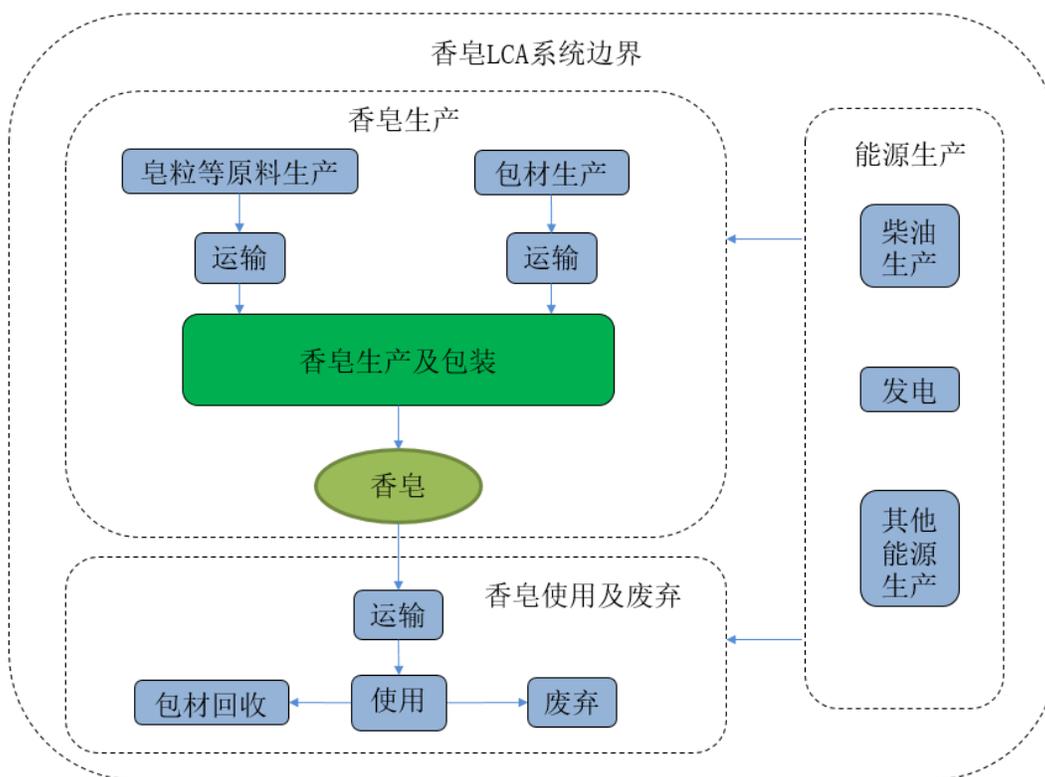


图1 香皂产品生命周期系统边界

2.3 数据取舍规则

在选定系统边界和环境影响指标的基础上，应规定一套数据取舍准则，忽略对评价结果影响不大的因素，从而简化数据收集和评价过程。本研究取舍准则如下：

a) 原则上可忽略对 LCA 结果影响不大的能耗、原辅料、使用阶段耗材等消耗。例如，小于产品重量 1% 的普通消耗可忽略。日化产品内材涉及精细化工原料，其数据往往难以获得。对于难以获得的精细化工原料可以忽略，但忽略的单个原料占产品内材重量比不应大于 3%；

b) 道路与厂房等基础设施、生产设备、厂区内人员及生活设施的消耗和排放，可忽略；

c) 原则上应包括与所选环境影响类型相关的所有环境排放，但在环境排放数据不可得或缺失的情况下，可忽略，但应在报告中解释说明。

2.4 数据质量要求

数据质量评估的目的是判断LCA结果和结论的可信度，并指出提高数据质量的关键因素。本研究数据质量可从四个方面进行管控和评估，即代表性、完整性、可靠性、一致性。

1) 数据代表性：包括地理代表性、时间代表性、技术代表性三个方面。

- 地理代表性：说明数据代表的国家或特定区域，这与研究结论的适用性密切相关。
- 时间代表性：应优先选取与研究基准年接近的企业、文献和背景数据库数据。
- 技术代表性：应描述生产技术的实际代表性。

2) 数据完整性：包括产品模型完整性和数据库完整性两个方面。

- 模型完整性：依据系统边界的定义和数据取舍准则，产品生命周期模型需包含所有主要过程。产品生命周期模型尽量反映产品生产的实际情况，对于重要的原辅料（对某一环境影响指标超过 5%的物料）应尽量调查其生产过程；在无法获得实际生产过程数据的情况下，可采用背景数据，但需对背景数据来源及采用依据进行详细说明。未能调查的重要原辅料需在报告中解释和说明。
- 背景数据库完整性：背景数据库一般至少包含一个国家或地区的主要能源、基础原材料、化学品的开采、制造和运输过程，以保证背景数据库自身的完整性。

3) 可靠性：包括实景数据可靠性、背景数据可靠性、数据库可靠性。

- 实景数据可靠性：对于主要的原辅料消耗、能源消耗和运输数据应尽量采用企业实际生产记录数据，环境排放数据应优先选用环境监测报告数据。所有数据将被详细记录相关的数据源和数据处理算法。采用经验估算或文献调研所获取的数据应在报告中解释和说明。
- 背景数据可靠性：重要物料和能耗的上游生产过程数据优先选择代表原产地国家、相同生产技术的公开基础数据库，数据的年限优先选择近年数据。在没有符合要求的背景数据的情况下，可以选择代表其他国家、代表其他技术的数据作为替代，并应在报告中解释和说明。

- 数据库可靠性：背景数据库需采用来自本国或本地区的统计数据、调查数据和文献资料，以反映该国家或地区的能源结构、生产系统特点和平均的生产技术水平。

4) 一致性

所有实景数据（包括每个过程消耗与排放数据）应采用一致的统计标准，即基于相同产品产出、相同过程边界、相同数据统计期。若存在不一致的情况，应在报告中解释和说明。

2.5 软件和数据库

本研究采用“上海家化产品生命周期评价系统（SJPLCAS）”和北京工业大学材料环境协调性评价基础数据库(SinoCenter)，建立产品生命周期模型并计算分析。部分原辅料数据采用了瑞士 Ecoinvent 数据库的数据。

上海家化产品生命周期评价系统（SJPLCAS）是基于生命周期评价国际标准，结合上海家化主要产品特点设计的产品生命周期评价系统。该系统旨在搭建上海家化产品的生命周期评价模型，指导产品绿色（生态）设计与优化，寻求减少产品生命周期环境影响的技术途径，最终提高企业绿色产品竞争力、降低对资源环境的影响。

北京工业大学材料环境协调性评价基础数据库(SinoCenter)的 LCI 数据集，是在国家“863”计划、“973”计划等国家支持计划和北京重点基金的支持下，与主要工业及行业部门合作，在企事业单位的密切配合下，取得的材料生产过程环境负荷资料，并基于 LCA 方法，通过建立相应的模型，开发完成的各类材料及公用系统的编目清单数据集。经过 10 多年的不懈努力和努力，SinoCenter 数据库已具有较大的规模，积累材料生命周期分析基础数据近 10 余万条，并在技术和商业上开展了具体的应用^[5]。

Ecoinvent 数据库^[6]是国际上用户最多的 LCA 数据库之一，包含欧洲及世界多国的 7000 多个单元过程数据集以及相应产品的汇总过程数据集。Ecoinvent 数据库适用于含进口原材料的产品或出口产品的 LCA 研究，在本项目中也用于代替中国本地缺失的数据。

3. 数据收集

3.1 产品生产过程数据收集

香皂制造工艺流程如图 2 所示：

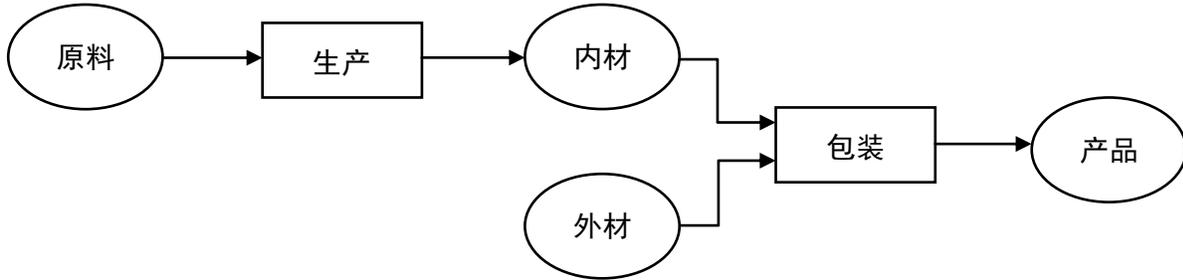


图 2 香皂产品制造工艺流程

根据 2.2.1 中功能单位的定义，产品生产的统计单位为 1 块 125g 规格的香皂。根据企业统计数据，产品生产的工艺流程可以简单划分为内材的配置生产以及包装过程。表 1 中列出了香皂生产过程主要原料消耗量。

表 1 生产 1 块 125g 香皂的原料直接输入

类别	名称	单位	数量
原料输入	皂粒	g	120.5
	冰片	g	0.0125
	合成薄荷脑	g	0.5

表 1 中列出的数据来源于上海家化提供的数据。香皂生产过程主要消耗电力，没有直接的空气污染物、液体废弃物和固体废弃物排放。香皂生产过程由上海家化位于浙江余姚的 OEM 工厂完成。香皂生产过程的电力消耗通过现场调研得到。

3.2 原料生产过程数据收集

本研究中所考虑的六神香皂主要原料包括表 1 中的原料输入，包括皂粒，合成薄荷脑和冰片。

其中，皂粒生产的清单数据采用现场调研的方法获取；其余原料采用问卷调研的方式通过上游生产厂商获取。

3.3 外材生产数据收集

本研究考虑的香皂产品外材部件包括花盒、塑袋、纸箱和封箱带等部分，各部分包含的材料如表 2 所示：

表 2 外材各部件及原材料

部件名称	原材料名称	重量 (g)
花盒	320g 玖龙肥皂专用纸	11.19
塑袋	FOHBOPP	0.7
纸箱	牛卡纸	248
	瓦楞纸	256
	芯纸	84
封箱带	BOPP	1.53
	丙烯酸丁酯	1.64

对于各外材部件，其生产包括部件生产过程以及原材料生产两部分。花盒由位于上海的包装材料企业生产，其生产数据根据现场实地调研获得。花盒所用原料“320g 玖龙肥皂专用纸”则采用 SinoCenter 数据库的背景数据。纸箱和封箱带的生产数据难以获得，近似的认为原材料生产造成的环境影响即为这两个部件的全部环境影响。两者原材料的生产采用 SinoCenter 数据库的背景数据。

3.4 能源生产及运输数据收集

本报告中的直接能源数据涉及原煤、电力、低压蒸汽等，运输过程数据涉及道路运输及海运。本研究涉及的能源生产数据以及运输基础数据来源于 SinoCenter 数据库。运输过程考虑内材原料的运输、外材原料的运输、外材部件的运输、产品的运输以及产品废弃过程的运输。内材原料的运输为皂粒、冰片等原料运输到香皂生产厂；外材原料运输为纸板等外材原料运输到外材部件生产厂；外材部件运输为花盒、纸箱等外材部件运输到香皂产品生产厂（即余姚 OEM 厂）；产品运输为产品运送到消费者手中；废弃运输为产品废弃物的运输。对于现场调研的过程，运输距离使用生产厂之间的道路运输距离，其余非现场调研过程涉及的运输距离采用估算得到。

3.5 使用及废弃数据收集

香皂属于日化产品，在使用过程中没有能耗或其他消耗，但在使用后进入生活污水中，从而造成环境影响。香皂的主要成分为皂粒，占比超过百分之九十，在这里假设香皂使用造成的

环境影响全部来自于进入生活污水的皂粒成分。而皂粒为脂肪酸钠盐的混合物，为简化分析，假设皂粒成分全部为硬脂酸钠（ $C_{17}H_{35}COONa$ ），根据完全氧化硬脂酸钠的耗氧量，将香皂使用的排放换算为化学需氧量（COD）。

香皂产品外材原料主要为纸和塑料，为两种常见的回收率较高的材料。其回收率及废弃数据采用文献调研数据。

4 产品生命周期清单分析

4.1 内材原料

本报告考虑的内材原料包括皂粒、冰片以及合成薄荷脑。由于日化原料涉及的生产流程通常比较长，涉及多种中间产品，且原料较为复杂，追溯到化工原料的最初源头较为困难，因此对于内材的原料仅考虑其本身的生产过程，对于其上游原料的生产不予以考虑。对于这三种原料，考虑的过程包括原料的生产过程以及原料的运输过程两部分。原料的运输指的是原料从原料生产厂运输到香皂生产厂的过程。

4.1.1 皂粒

（1）皂粒的生产过程

六神香皂皂粒由位于上海的原料供应企业生产。皂粒生产流程如图 3 所示。

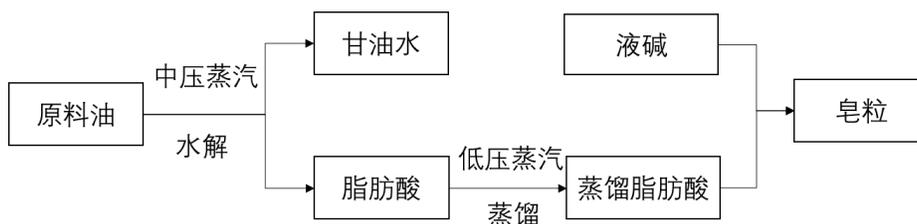


图 3 皂粒生产流程

原料油（棕榈硬脂）由中压蒸汽水解为甘油水和脂肪酸，脂肪酸经过蒸馏后与液碱等原料反应制得皂粒。其中，温度较高的中压蒸汽由企业的蒸汽锅炉生产，燃料为天然气，生产蒸汽需要消耗去离子水；脂肪酸蒸馏等过程则采用外购的低压蒸汽。

皂粒生产过程的原料消耗、中压和低压蒸汽消耗量、电耗、水耗以及生产中压蒸汽的资源能源消耗采用生产企业的现场调研数据，低压蒸汽的生产采用 SinoCenter 数据库的背景数据。天然气燃烧生产中压蒸汽产生的 CO₂ 排放采用《省级温室气体清单编制指南》中的燃料碳含量及碳氧化率计算。企业生产产生的固体废弃物主要为危险废弃物，由有资质的企业专门回收处理，故认为其没有造成环境影响。原料油（棕榈硬脂）的水解过程产生甘油水和脂肪酸两种产品，该过程的环境负荷按照质量分配给这一过程的两种主要产品。生产 1 吨皂粒的直接消耗与排放如下表所示：

表 3 生产 1 吨皂粒的直接消耗与排放

项目	名称	单位	数量
原料消耗	棕榈硬脂	kg	1195.6522
	液碱（50%）	kg	250
	盐	kg	5
	水	kg	1590.2174
能源消耗	天然气	m ³	0.1973
	电	kWh	65.9745
	低压蒸汽	kg	579.3478
空气污染物排放	CO ₂	kg	0.427
	SO ₂	kg	0.000000759
	NO _x	kg	0.000355
液体废弃物排放	COD	kg	0.005134
	NH ₄ ⁺	kg	0.001496

(2) 皂粒的运输过程

皂粒从原料生产厂运输到香皂生产厂的距离确定为 200km，运输方式为道路运输。道路运输的环境负荷采用 SinoCenter 数据库的背景数据。那么生产 1 块 125g 香皂皂粒运输的环境负荷如下表 4 所示：

表 4 生产 1 块 125g 香皂皂粒运输的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	1.77E-04
	天然气	m ³	6.27E-05
	原油	kg	1.83E-03
空气污染物排放	CO ₂	kg	4.92E-03
	CH ₄	kg	2.37E-07
	N ₂ O	kg	2.27E-07

	CO	kg	1.13E-05
	SO ₂	kg	8.05E-06
	NO _x	kg	5.12E-05
	NM VOC	kg	2.17E-06
	PM	kg	1.87E-06
液体废弃物排放	COD	kg	2.05E-08
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	2.84E-05
	炉渣	kg	6.38E-06

4.1.2 冰片

(1) 冰片的生产过程

香皂中的冰片由位于福建建阳的原料企业生产。冰片生产过程的直接消耗与排放数据通过问卷调研的方式从生产企业获得。生产 1 吨冰片的直接消耗与排放如下表 5 所示。

表 5 生产 1 吨冰片的直接消耗与排放

项目	名称	单位	数量
原料消耗	蒎烯	kg	1914.8936
	无水草酸	kg	478.7234
	液碱, 32%	kg	744.6809
能源消耗	柴油	kg	0.1
	电力	kWh	81.5

(2) 冰片的运输过程

冰片运输从原料生产厂运输到香皂生产厂的距离确定为 550km，运输方式为道路运输。道路运输的环境负荷采用 SinoCenter 数据库的背景数据。

表 6 生产 1 块 125g 香皂冰片运输的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	2.02E-06
	天然气	m ³	7.15E-07
	原油	kg	2.08E-05
空气污染物排放	CO ₂	kg	5.61E-05
	CH ₄	kg	2.71E-09
	N ₂ O	kg	2.59E-09
	CO	kg	1.29E-07
	SO ₂	kg	9.18E-08

	NO _x	kg	5.84E-07
	NM VOC	kg	2.47E-08
	PM	kg	2.13E-08
液体废弃物排放	COD	kg	2.34E-10
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	3.24E-07
	炉渣	kg	7.28E-08

4.1.3 合成薄荷脑

(1) 合成薄荷脑的生产过程

香皂中的合成薄荷脑由日本原料供应商在日本本土生产。由于原料在国外生产，现场调研不便，也采用问卷调研的形式进行。日本供应商没有直接提供合成薄荷脑生产的资源能源以及排放，仅提供企业整体的环境数据。通过企业整体环境数据可以得到所有产品生产的平均环境负荷。假设合成薄荷脑的生产的环境负荷与平均环境负荷相同，那么生产 1 吨合成薄荷脑的消耗与排放如下表 7 所示：

表 7 生产 1 吨合成薄荷脑原料的直接消耗和排放

项目	名称	单位	数量
原料消耗	合成薄荷脑原料	kg	1211.5955
	水	m ³	53.6923
能源消耗	天然气	m ³	113.3814
	燃料油	kg	18.4460
	液化石油气	kg	1.1039
	电力	kWh	1289.9862
空气污染物排放	CO ₂	kg	23.2803
	NO _x	kg	0.1153
	PM	kg	0.01648
液体废弃物排放	COD	kg	3.8157
	BOD ₅	kg	2.0446
	SS	kg	0.4481

(2) 合成薄荷脑的运输过程

合成薄荷脑在日本生产，运输到中国需要经过海运。假定合成薄荷脑从日本横滨港由海路运输到上海港，再由上海港陆路运输到香皂生产厂。合成薄荷脑的运输过程确定为海运 1900km，道路运输 200km。海路运输和道路运输的环境负荷采用 SinoCenter 数据库的背景数据。

表 8 生产 1 块 125g 香皂合成薄荷脑运输的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	5.71E-08
	天然气	m ³	2.02E-08
	原油	kg	5.89E-07
空气污染物排放	CO ₂	kg	1.58E-06
	CH ₄	kg	1.14E-10
	N ₂ O	kg	4.97E-11
	CO	kg	4.46E-09
	SO ₂	kg	2.59E-09
	NO _x	kg	1.80E-08
	NM VOC	kg	1.59E-09
	PM	kg	1.43E-09
	液体废弃物排放	COD	kg
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	9.15E-09
	炉渣	kg	2.05E-09

4.2 香皂生产过程

香皂的生产和包装由位于余姚的上海家化 OEM 工厂完成。香皂生产过程，是将皂粒等不同原料配置成各相后，按照工序将各相依次加入混合搅拌机搅拌，并经过精制、研磨、真空压条、切割打印等工序，从而生产出待包装的香皂。香皂的生产工艺相对简单，生产设备仅消耗电力，几乎不产生其他废弃物的排放。因此，香皂的生产过程仅考虑电力消耗。香皂生产的电耗来自于工厂现场调研，每生产一块 125g 香皂需要消耗电力 0.02358kWh。生产 1 块香皂的主要环境负荷如下表 9 所示：

表 9 生产 1 块 125g 香皂的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	1.11E-02
	天然气	m ³	7.38E-05
	原油	kg	1.82E-04
空气污染物排放	CO ₂	kg	1.94E-02
	CH ₄	kg	2.58E-07
	N ₂ O	kg	3.56E-07
	CO	kg	2.73E-05
	SO ₂	kg	1.32E-04
	NO _x	kg	8.96E-05
	NM VOC	kg	7.16E-07
	PM	kg	7.35E-06

液体废弃物排放	COD	kg	1.37E-06
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	1.89E-03
	炉渣	kg	4.25E-04

4.3 外材

4.3.1 外材部件原料

香皂所涉及的外材如上表 2 所示。香皂的纸箱装箱数为 72 块/箱。则每盒香皂产品消耗的外材数量如下表 10 所示：

表 10 一块 125g 香皂产品的外材原料

外材部件	原材料	单位	数量
花盒	肥皂专用纸	g	11.2
塑袋	FOHBOPP	g	0.7
纸箱	牛卡纸	g	3.44
	瓦楞纸	g	3.56
	芯纸	g	1.167
封箱带	BOPP	g	0.02125
	丙烯酸丁酯	g	0.02278

花盒、塑袋和纸箱的原材料生产数据调研较为困难，因此均采用背景数据。对于部分数据缺乏的材料（肥皂专用纸、FOHBOPP、BOPP、芯纸），采用相近材料的背景数据替代。肥皂专用纸采用白卡纸的数据替代，FOHBOPP 和 BOPP 都采用定向聚丙烯薄膜的数据替代，芯纸采用普通纸的数据替代。

4.3.2 外材部件生产

花盒由上海外材部件供应商生产，生产过程的直接消耗与排放由企业现场调研得到。下表 11 所示：

表 11 花盒生产过程的直接消耗与排放

项目	名称	单位	数量
原料消耗	专用纸	g	20
能源消耗	电	kWh	0.004368
空气污染物排放	NM VOC	g	0.002404

纸箱和塑袋生产过程直接消耗和排放较难获取，且数量较少，此处予以忽略。因此，纸箱和塑袋仅考虑原料生产造成的环境影响。

4.3.3 外材运输

外材运输包括外材部件原料的运输及材料部件运输两部分。外材原料通常距离外材生产企业不远，假定原料运输距离均为 50km。花盒为上海外材部件供应商生产，到香皂生产厂的距离确定为 170km，其他外材部件的运输距离假定为 100km。外材原料及外材部件的运输方式均为道路运输。所有外材运输所造成的环境负荷如下表 12 所示：

表 12 外材原料及外材部件运输所造成的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	3.78E-05
	天然气	m ³	1.34E-05
	原油	kg	3.90E-04
空气污染物排放	CO ₂	kg	1.05E-03
	CH ₄	kg	5.06E-08
	N ₂ O	kg	4.84E-08
	CO	kg	2.40E-06
	SO ₂	kg	1.72E-06
	NO _x	kg	1.09E-05
	NM VOC	kg	4.62E-07
	PM	kg	3.98E-07
液体废弃物排放	COD	kg	4.38E-09
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	6.07E-06
	炉渣	kg	1.36E-06

4.4 产品的运输过程

六神香皂在全国有多个产地，且多个转运中心，产品从生产地运送到消费者所在地的距离难以估算。为简化分析，本研究将产品运输距离假定为家化余姚 OEM 工厂到武汉的距离。一块 125g 规格的香皂产品运输到消费者的环境负荷如表 13 所示：

表 13 一块 125g 规格的香皂产品运输到消费者的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	9.11E-04
	天然气	m ³	3.22E-04
	原油	kg	9.39E-03

空气污染物排放	CO ₂	kg	2.53E-02
	CH ₄	kg	1.22E-06
	N ₂ O	kg	1.17E-06
	CO	kg	5.79E-05
	SO ₂	kg	4.14E-05
	NO _x	kg	2.63E-04
	NM VOC	kg	1.11E-05
	PM	kg	9.59E-06
液体废弃物排放	COD	kg	1.06E-07
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	1.46E-04
	炉渣	kg	3.28E-05

4.5 产品使用及废弃回收

4.5.1 产品使用过程

香皂在使用过程没有直接的消耗，也没有废弃过程。但是香皂使用后，其成分会进入生活污水，从而造成环境影响。香皂的主要成分为皂粒，其含量超过百分之九十，假设香皂使用造成的环境影响全部来自皂粒。皂粒为脂肪酸钠盐的复杂混合物，在本报告中，为简化分析，假设皂粒的成分为硬脂酸钠（C₁₇H₃₅COONa），香皂使用后硬脂酸钠排入生活污水造成的污染程度由化学需氧量（Chemical Oxygen Demand，COD）表示。COD 是以化学方法测量水样中有机物被强氧化剂氧化时所消耗的氧当量，用以表示水中有机物量的多寡，反映了水中受还原性物质污染的程度。根据硬脂酸钠的化学式 C₁₇H₃₅COONa，可以计算得到每氧化 1g 氧化硬脂酸钠，需要消耗氧气 2.6g。那么，使用一块 125g 香皂造成的 COD 为 313.29g。

4.5.2 产品废弃过程

香皂本身使用完即为生命周期结束，其外包装会废弃成为生活垃圾。生活垃圾中，有一部分会回收利用，另一部分被焚烧或填埋。为简化分析模型，假定回收的部分直接减少了对应原材料的生产，降低了环境影响；没有被回收的废弃部分全部被焚烧，外材不同部分焚烧造成的环境影响相同。

根据相关文献^[7]，假定生活垃圾中，废纸回收率为 48%，废塑料回收率为 23%。焚烧单位数量生活垃圾造成的直接消耗和排放通过文献调研得到，如下表 14 所示：

表 14 生活垃圾焚烧的直接消耗和排放清单^[8]

项目	名称	单位	数量
能源消耗	柴油	kg	0.23
	电	kWh	61.6
能源回收	电	kWh	342
资源消耗	水	t	2.3
空气污染物排放	CO ₂	kg	256.21
	CO	kg	0.3
	SO ₂	kg	0.12
	NO _x	kg	0.9
	HCl	kg	0.06
	NM VOC	kg	0.18
	Hg	kg	0.0002
	Cd	kg	0.0002
	Pb	kg	0.002
	二噁英	kg	2E-10

产品废弃和回收的运输过程均假定为 30km。产品外材废弃和回收运输过程造成的环境负荷如表 15 所示：

表 15 一块 125g 规格的香皂产品外材废弃和回收运输过程造成的主要环境负荷

类别	项目	单位	数量
能源消耗	原煤	kg	4.59E-06
	天然气	m ³	1.62E-06
	原油	kg	4.73E-05
空气污染物排放	CO ₂	kg	1.27E-04
	CH ₄	kg	6.14E-09
	N ₂ O	kg	5.88E-09
	CO	kg	2.92E-07
	SO ₂	kg	2.08E-07
	NO _x	kg	1.33E-06
	NM VOC	kg	5.61E-08
	PM	kg	4.83E-08
液体废弃物排放	COD	kg	5.32E-10
固体废弃物排放	粉煤灰	kg	7.36E-07
	炉渣	kg	1.65E-07

5 产品生命周期影响分析

5.1 产品生命周期环境影响评价结果

根据以上各阶段的数据收集，在 SJPLCAS 软件中建模计算得到香皂产品生命周期环境影响结果。表 16 列出了生产 1 块规格为 125g 的香皂产品生命周期特征化结果。

表 16 香皂产品生命周期特征化结果

环境影响类别	单位	数量
ADP-化石燃料	MJ	4.80E-01
AP	kg SO ₂ eq	4.99E-04
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	1.01E-02
GWP	kg CO ₂ eq	6.98E-02
HTP	kg 1,4-DB eq	1.19E-03
POCP	kg C ₂ H ₄ eq	1.53E-05

采用 World 2000 归一化基准值，到归一化结果，如表 17 所示；

表 17 香皂产品归一化结果

环境影响类型	数量
ADP-化石燃料	1.28E-15
AP	2.09E-15
EP	4.42E-14
GWP	1.60E-15
POCP	4.16E-16

由上表 17 的归一化结果可以看到，香皂产品最大的环境影响类别为富营养化（EP），比其他环境影响类别高出 1-2 个数量级。EP 主要来自香皂的使用过程的 COD 排放，且使用过程对 EP 贡献占比超过 99%。由于香皂使用过程只有 COD 造成的环境影响对 EP 有贡献，对其他环境影响类别的贡献为 0，因此后面的分析将不考虑使用香皂使用过程的环境影响。

去除香皂使用过程后，香皂外材、内材、香皂产品运输及香皂外材废弃造成的环境影响的归一化结果如图 4 所示：

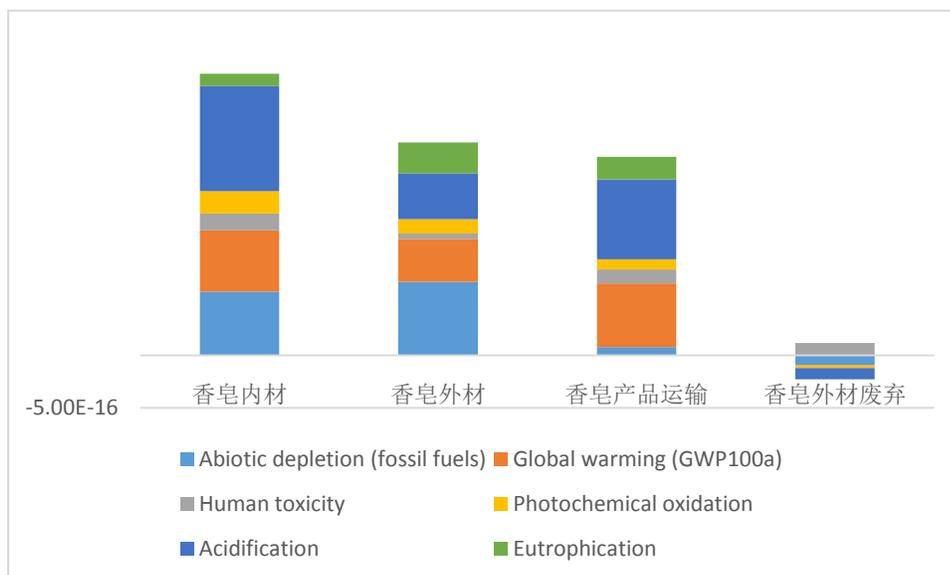


图 4 香皂内材、外材、产品运输及外材废弃过程所造成的环境影响

从图 4 可以看到，在不考虑使用过程的情况下，香皂内材造成的环境影响最大，占到总环境影响的 41.35%；外材造成的环境影响其次，占到总环境影响的 31.23%；产品运输造成的环境影响略小于外材生产的环境影响，占到总环境影响的 29.15%；而香皂外材造成的环境影响为负值-1.73%。之所以为负值，是因为香皂外材作为生活垃圾，在焚烧过程中会有电力回收。回收的这部分电力可以代替发电造成的环境影响。

5.2 香皂内材造成的环境影响

香皂内材造成的环境影响归一化结果如表 18 和图 5 所示：

表 18 香皂内材造成的环境影响归一化结果

影响类型	合计	皂粒	冰片	合成薄荷脑	香皂生产过程
ADP-化石燃料	6.03E-16	1.52E-17	0.00E+00	2.12E-18	5.86E-16
GWP	5.85E-16	1.19E-16	3.00E-20	1.79E-18	4.64E-16
HTP	1.60E-16	2.55E-17	1.00E-20	3.80E-19	1.34E-16
POCP	2.11E-16	1.88E-17	1.00E-20	2.70E-19	1.92E-16
AP	1.00E-15	1.48E-16	4.00E-20	2.15E-18	8.51E-16
EP	1.17E-16	4.26E-17	1.00E-20	9.10E-19	7.38E-17

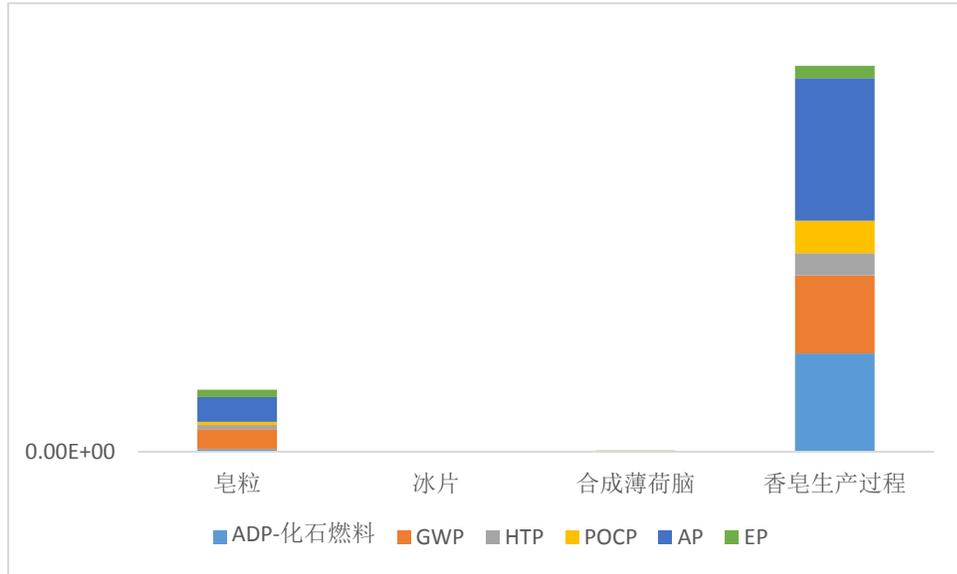


图 5 香皂内材造成的环境影响归一化结果

由表 18 和图 5 可以看到，香皂内材的环境影响主要由香皂生产过程造成，占到了总环境影响的 85.98%；其次为皂粒的生产，占到内材总环境影响的 13.79%。冰片与合成薄荷脑对环境影响的贡献相对来说可以忽略不计。香皂在生产过程中仅消耗电力，几乎没有其他消耗与排放，因此，香皂生产过程的电耗对香皂内材的环境影响具有决定性的贡献。

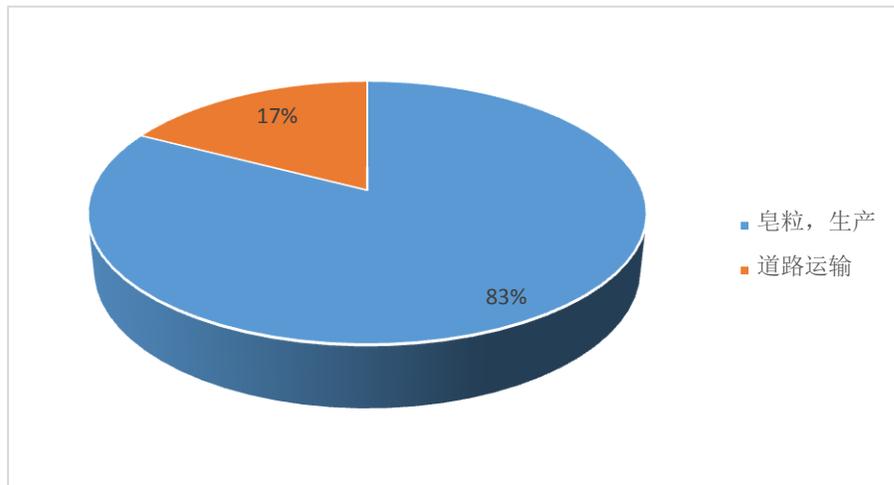


图 6 皂粒生产与运输对皂粒环境影响的贡献

如图 6 所示，皂粒生产对环境影响的贡献占 83%，处于绝对优势，而运输对皂粒环境影响的贡献也达到了 17%，不可忽视。

5.3 香皂外材造成的环境影响

香皂外材造成的环境影响归一化结果如表 19 和图 7 所示：

表 19 香皂外材造成的环境影响归一化结果

影响类型	合计	外材原料生产	香皂花盒生产	外材原料及部件运输
ADP-化石燃料	6.96E-16	5.85E-16	1.09E-16	3.25E-18
GWP	4.09E-16	2.98E-16	8.60E-17	2.51E-17
HTP	5.32E-17	2.30E-17	2.48E-17	5.43E-18
POCP	1.34E-16	9.46E-17	3.56E-17	4.02E-18
AP	4.37E-16	2.48E-16	1.58E-16	3.15E-17
EP	2.92E-16	2.70E-16	1.37E-17	8.98E-18

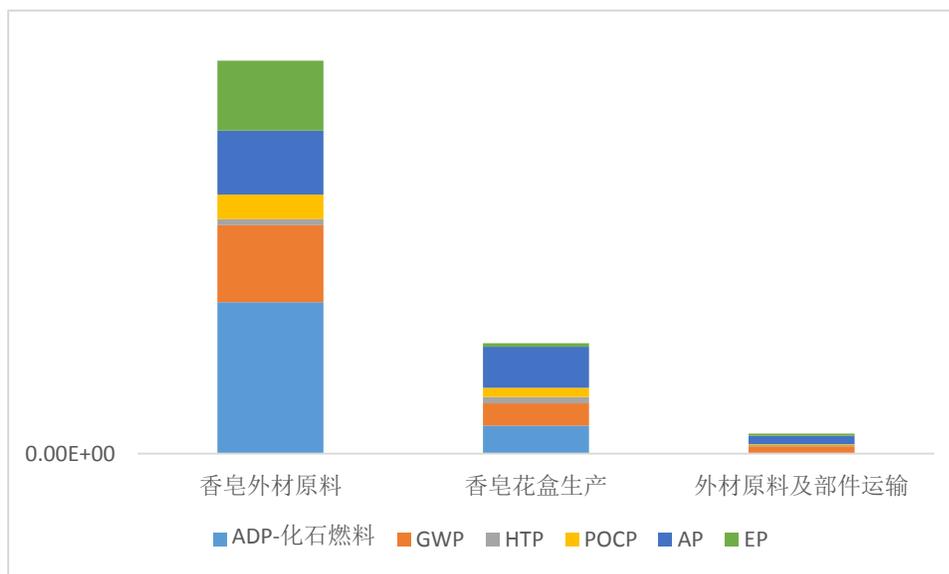


图 7 香皂外材造成的环境影响归一化结果

由表 19 和图 7 可以看到，香皂外材造成的环境影响主要由外材原料生产造成，占到总环境影响的 75.13%；香皂花盒生产对总环境影响的贡献为 21.13%；外材原料运输以及部件运输对总环境影响的贡献较小，仅为 3.87%。

各个外材原料生产过程对外材原料总环境影响的贡献如图 8 所示：

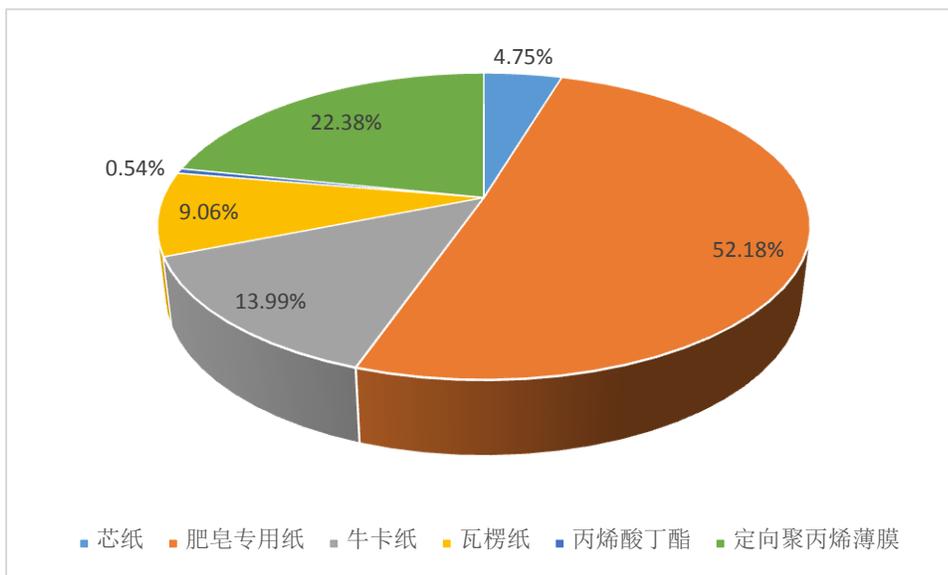


图 8 各外材原料生产对外材原料总环境影响的贡献

由图 8 可以看到肥皂专用纸的生产过程对外材原料总环境影响的贡献最大，达到 52.18%；其次为定向聚丙烯薄膜，占到 22.38%；再次是牛卡纸和瓦楞纸，分别占到总环境影响的 13.99% 和 9.06%。

香皂花盒的生产过程主要消耗电力，其他消耗和排放物数量相对较小，因此花盒生产对环境影响的贡献主要来自电力消耗。

5.4 产品生命周期碳足迹指标结果

根据收集的数据，在家化产品生命周期评价软件系统中建模计算得到一块 125g 香皂生命周期碳排放情况。生产 1 块规格为 125g 的香皂产品的碳足迹结果为 6.98E-02 kg CO₂-eq。表 20 列出了各过程清单数据碳足迹贡献结果。

表 20 香皂各过程清单数据碳足迹贡献结果

过程	贡献百分比
皂粒生产过程	6.63%
冰片生产过程	0.00%
合成薄荷脑生产过程	0.10%

香皂生产过程	26.64%
芯纸生产过程	1.24%
肥皂专用纸生产过程	13.32%
牛卡纸生产过程	2.89%
瓦楞纸生产过程	1.13%
丙烯酸丁酯生产过程	0.05%
定向聚丙烯薄膜生产过程	2.03%
香皂花盒生产过程	4.80%
外材原料及部件运输过程	1.40%
香皂产品运输过程	39.97%
香皂使用过程	0.00%
香皂外材废弃过程	-0.20%

从表 20 中可以看到，香皂产品运输过程占到生命周期碳足迹的 39.97%，香皂生产过程占到生命周期碳足迹的 26.64%，肥皂专用纸生产过程占到 13.32%。这三个过程贡献了绝大多数产品生命周期碳足迹，三者占到生命周期碳排放总量的 79.93%。其余生命周期过程的碳足迹贡献比例均小于百分之十。由于生活焚烧过程中有电力回收，因此香皂外材废弃过程的碳足迹贡献为负值。

6 生命周期解释

6.1 假设和局限性

本次香皂产品 LCA 报告的实景数据中香皂产品生产过程数据来源于企业数据，背景数据来源于北京工业大学材料环境协调性评价基础数据库(SinoCenter)和瑞士的 Ecoinvent 数据库。香皂产品生产数据仅代表特定企业的生产水平，其他企业同类产品生产的实际数据可能与本报告有一定的偏差。

香皂产品生产过程的排放包含固体废弃物，但主要由企业自己回收，因此本报告中没有考虑。受项目调研时间及供应链管控力度限制，未调查所有原料的实际生产过程，计算结果与实际供应链的环境表现有一定偏差。建议在调研时间和数据可得的情况下，进一步完善调研缺失原材料的生产过程数据，有助于提高数据质量，为企业在供应链上推动协同改进提供数据支持。

6.2 数据质量评估

6.2.1 代表性

本次报告中各单元过程实景数据采用企业生产统计数据，数据代表特定生产企业的一般水平。背景数据库数据采用近 6 年的数据。

6.2.2 完整性

(1) 模型完整性

本次报告中产品生命周期模型均包含上游原辅料生产和运输、产品生产过程，满足本研究对系统边界的定义。在各单元过程中，除产品生产过程现场用水量和环境排放由于数量小、统计资料缺失被忽略外，其余的投入均被考虑在内。

(2) 背景数据库完整性

本研究所使用的背景数据库包括 SinoCenter 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库。SinoCenter 数据库包括中国国内能源、原材料、运输等基础数据集清单数据集，累积数据超过 10 万条。Ecoinvent 数据库包含欧洲及世界多个国家的 7000 多个单元过程数据集以及相应产品的汇总过程数据集。

以上两个背景数据库均包含了主要能源、基础原材料、化学品的开采、制造和运输过程，满足背景数据库完整性的要求。

6.2.3 可靠性

(1) 实景数据可靠性

本次报告中，各实景过程主要原料和能源消耗数据均来自企业资料统计或实测数据，数据可靠性高。

(2) 背景数据可靠性

本研究中 SinoCenter 数据库数据采用中国或中国特定地区的统计数据、调查数据和文献资料，数据代表了中国生产技术及市场平均水平，数据收集过程的原始数据和算法均被完整记录，使得数据收集过程随时可重复、可追溯。

6.2.4 一致性

本研究所有实景数据均采用一致的统计标准，即按照单元过程单位产出进行统计。所有背景数据采用一致的统计标准，其中 SinoCenter 数据库在开发过程中建立了统一的核心模型，并进行详细文档记录，确保了数据收集过程的流程化和一致性。

6.3 结论

本次报告主要得出以下结论：

- 规格为 125g 的香皂产品，全生命周期环境影响最大的是香皂的使用过程，该过程的大量 COD 排放导致了富营养化潜势归一化结果比其他环境影响类型高出 1 到 2 个数量级。
- 规格为 125g 的香皂产品，在不考虑使用过程的情况下，香皂内材、香皂外材、香皂产品运输和香皂外材废弃过程对总环境影响的贡献分别为 41.35%、31.23%、29.15% 和 1.73%。
- 内材的最主要环境影响来自于香皂的生产过程；外材最重要的环境影响来源于外材原料的生产；原料中肥皂专用纸生产的环境影响贡献最大。建议企业可以针对这两个过程进行改进，可以显著降低香皂产品的生命周期环境影响。
- 对于产品碳足迹贡献最大的是香皂产品运输过程，占到生命周期碳足迹的 39.97%；其次是香皂生产过程和肥皂专用纸生产过程，分别占碳足迹的 26.64% 和 13.32%。为降低产品生命周期碳足迹，除了降低香皂生产的能源消耗以外，还可以缩短产品从工厂到顾客的运输距离，以及选用能耗较低的纸张做香皂花盒。

参考文献

- [1] Iso I S O. ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006). [J]. International Standard Iso, 2006.
- [2] Iso I S O. ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044:2006). [J]. International Standard Iso, 2006.
- [3] GB/T 24040-2008. 环境管理生命周期评价原则与框架[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2008.
- [4] Birger Löfgren, Anne-Marie Tillman, Björn Rinde. Manufacturing actor's LCA [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19(17):2025–2033.
- [5] 龚先政, 聂祚仁, 王志宏,等. 中国材料生命周期分析数据库开发及应用[J]. 中国材料进展, 2011, 30(8):1-7.
- [6] Ecoinvent Database. <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- [7] 范满国. 我国可回收垃圾资源化分析[J]. 城乡建设, 2018 (2): 23-27.
- [8] 赵薇, 孙一桢, 张文字, 等. 基于生命周期方法的生活垃圾资源化利用系统生态效率分析[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7208-7216.