# 基于简化 LCA 与工艺板块理论的制革工艺生态问题的识别与评价

温会涛[1,2]，牛　泽[2,3]，刘　琳[2,3]，林可心[2,3]，韦永红[2,3]，
王小卓[2,3]，但卫华[1,2]

（1. 四川大学制革清洁技术国家工程研究中心，成都　610065；
2. 福建省皮革绿色设计与制造重点实验室，福建晋江　362271；
3. 兴业皮革科技股份有限公司国家企业技术中心，福建晋江　362271）

**摘要：**为了评价制革工艺或皮革产品的生态性能，识别其生态问题，提出了一种基于简化生命周期评价（life cycle assessment，LCA）与板块理论的制革工艺生态问题的识别与评价方法。应用板块理论，将制革工艺按功能分为若干板块，应用简化 LCA 进行生命周期评价，并结合价值工程进行生态问题识别。研究结果表明，将制革工艺分为鞣前准备工艺板块、鞣制工艺板块、湿态染整工艺板块和干态整饰工艺板块，应用 LCA 后，发现对生态性能影响的大小次序为鞣前准备工艺板块、湿态染整板块、鞣制板块和干态整饰板块，结合工程价值理论，可分析出亟待解决的生态问题入手点。

**关键词：**毛皮与制革工程；生命周期评价；工艺板块；生态性能；生态产品
**中图分类号：**TS 54　　**文献标识码：**A
**文章编号：**1674-2850(2022)04-0542-09　　**开放科学（资源服务）标识码（OSID）：**

# Identification and evaluation of ecological problems in leather-making process based on simplified LCA and plate theory

WEN Huitao[1,2], NIU Ze[2,3], LIU Lin[2,3], LIN Kexin[2,3], WEI Yonghong[2,3],
WANG Xiaozhuo[2,3], DAN Weihua[1,2]

(1. *National Engineering Research Center of Clean Technology in Leather Industry*, *Sichuan University*, *Chengdu*　610065, *China*;
2. *Fujian Key Laboratory of Green Design and Manufacture of Leather*, *Jinjiang*, *Fujian*　362271, *China*;
3. *National Enterprise Technology Center*, *Xingye Leather Technology Co*., *Ltd*., *Jinjiang*, *Fujian*　362271, *China*)

**Abstract:** To evaluate the ecological performance of tanning process or leather products and identify ecological problems, a method for identifying and evaluating ecological problems of tanning process based on simplified life cycle assessment (LCA) and plate theory was proposed. Based on the plate theory, the leather-making process is divided into several plates according to its function, the simplified LCA is used for ecological assessment, and combined with value engineering, the ecological problem is identified. The research results show tanning process is divided into pre tanning preparation process, tanning process, wet dyeing and finishing process and dry finishing process. After applying LCA, it is found that the order of

**基金项目：**福建省自然科学基金项目（2019J06025）
**作者简介：**温会涛（1980—），高级工程师，主要研究方向：高性能皮革绿色设计与智造技术开发及产业化应用
**通信联系人：**但卫华，教授，主要研究方向：制革清洁化生产、高性能皮革绿色设计与制造研究. E-mail: danweihua_scu@126.com

impact on ecological performance is pre-tanning preparation, wet dyeing-finishing plate, tanning plate and drying-finishing process plate. Combined with the engineering value theory, the starting point of the unsolved ecological problems in each process plate can be analyzed.

**Key words:** fur and leather engineering; life cycle assessment (LCA); process plate; ecological performance; ecological products

# 0 引言

皮革可以说是人类的第一件衣服，在社会发展、技术进步以及经济、军事、艺术和日常生活中都发挥了重要的作用[1]。制革工业是我国的传统产业、特色工业和轻工业的支柱产业，在出口创汇、强国富民以及在国民经济体系中占据着相当重要的地位[2]。生命周期评价（life cycle assessment，LCA）[3]是对产品系统的整个生命周期的输入、输出和潜在环境影响的汇编及其评估[4]，可用于评估和改进特定产品系统，特别是用于产品和工艺的设计阶段[5]。将 LCA 应用于皮革产品或制革工艺的生态设计与评价[6]，有助于从根本上减少或避免制革生产中的环境影响，提高制革工艺的清洁生产程度，从源头上理清并解决制革工艺产生的污染问题；有助于提高消费者的环保和健康意识，使绿色的、环保的、生态的皮革成为消费者的首选[7]，从而促进皮革业的良性的、绿色的高质量发展。

但 LCA 在制革工业中的应用时间较短、规模较小，缺失全产业链的基础数据与背景数据，评价体系不统一、不规范[7]。同时，制革工艺存在周期长、工序多、反应慢和评价难的问题，如制革过程需要至少 2 周以上的时间，加入数十乃至上百种的皮革化学品，排放出污染物含量高、成分复杂、处理困难的废液，以及需要单独处理的含硫、含铬的危险废物[8]。因此，皮革传统的 LCA 往往难以发现其存在的生态问题，难以得到高质量的、获得广泛认可的评价结果。

为了精准地发现制革工艺存在的生态问题，应用制革工艺板块理论[9]，按功能划分为鞣前准备板块（准备板块）、鞣制板块、湿态染整板块（染整板块）和干态整饰板块（整饰板块）等若干板块；并对 LCA 过程进行简化，减少不必要的研究范围、删除所评价产品的部分体系的层级、尽可能选用数据库数据等，使评价结果符合制革工艺生态设计的需要，同时具有一定的准确性和较低的评价成本。这样可较好地评价制革工艺的生态性能，并准确地识别存在的生态问题，为制革工艺的生态设计与优化提供支撑。

# 1 简化 LCA

## 1.1 研究对象与系统边界

研究对象为牛纳帕鞋面革，功能单位为加工 1 张的轻磅阉公牛盐湿皮（盐湿皮按 25 kg/张、蓝湿革按 12.5 kg/张、坯革按 6 kg/张、成品革 50 sf/张计算）。数据来源于国内某知名大型鞋面革生产企业的统计报表、清洁生产审核报告，其中部分数据经试验验证。

系统边界定义为制革的整个工艺流程，从牛盐湿皮开始，经准备、鞣制、染整、整饰等工艺板块处理后，至得到成品革为止，即“从摇篮到产品”。需要说明的是，工艺板块中每个工序产生的废液、废弃物与废气等工业废物的处理均纳入相应的工序。

## 1.2 软件与数据库

LCA 采用亿科环境科技有限公司研发的在线 LCA 分析软件 eFootprint（产品碳足迹及生命周期评价与管理系统），其内置了中国生命周期基础数据库（CLCD）、欧盟 ELCD 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库，支持全生命周期过程分析，在工艺或产品的 LCA 中得到了广泛的应用。

### 1.3　取舍规则与数据评估

取舍规则根据LCA规则并根据制革工艺特点做适当简化。以各种皮革化学品的使用量占皮革在制品质量的百分比为依据，当使用量＜1%且对生态影响较小时，或当使用量＜0.1%但对生态影响较大或含稀贵或高纯成分时，可不追溯该化学品的上游生产数据；低价值废物的简单处置，可忽略其下游相关处理数据；已建筑的厂房、使用的生产设备、配套的生活设施等暂忽略；在工艺对比中通用的材料可忽略。

涉及上下游的数据优先选用CLCD，其次为ELCD或Ecoinvent数据库。如果数据库中均没有相关数据，关键数据进行生产或处理过程的追溯，不太关键的产品可选择同类产品、具有相同功能的产品或成分比较一致的产品等进行替代。对比较关键的数据不能采用缺失处理，以尽可能提高数据质量和评价结果的可靠性。

### 1.4　环境影响类型

环境影响类型选用归一化方案为CN—2015，权重方案为ECER—135，单项评价指标共7项，分别为：初级能源消耗（PED）、二氧化碳（$CO_2$）、二氧化硫（$SO_2$）、氮氧化物（$NO_x$）、氨氮（$NH_3$-N）、化学需氧量（COD）和工业用水量（IWU），详见表1。另额外增加气候变化（GWP）评价指标。

**表1　主要环境影响类型指标**

Tab. 1　The main environmental impact indicators

| 环境影响类型指标 | 单位 | 主要物质清单 | 指标类型 |
|---|---|---|---|
| 初级能源消耗（PED） | MJ | 硬煤、褐煤、天然气等 | CN—2015 |
| 二氧化碳（$CO_2$） | kg | $CO_2$ | CN—2015 |
| 二氧化硫（$SO_2$） | kg | $SO_2$ | CN—2015 |
| 氮氧化物（$NO_x$） | kg | $NO_x$ | CN—2015 |
| 氨氮（$NH_3$-N） | kg | $NH_3$-N | CN—2015 |
| 化学需氧量（COD） | kg | COD | CN—2015 |
| 工业用水量（IWU） | kg | 淡水、地表水、地下水等 | CN—2015 |
| 气候变化（GWP） | kg $CO_2$ eq | $CO_2$，$CH_4$，$N_2O$ 等 | 额外增加 |

## 2　结果与讨论

### 2.1　制革工艺板块界定

将制革工艺视为一技术系统，生态设计需要明确研究对象及其技术系统。显然，皮革是研究对象，但技术系统却相对比较复杂，这是因为制革工艺周期长、工序多、控制难，相应地，输入和输出的物质种类和数量都很多。因此，应用工艺板块理论理念[9]，将整体制革工艺分割、组合、集成为几个功能相对独立的工艺板块。在这里，将制革工艺界定为准备板块、鞣制板块、染整板块和整饰板块等4个工艺板块（图1），每个板块均包含其废弃物处理。

工艺板块划分的目的是为了便于制革工艺的研究、优化、评价与应用，方便发现问题与改善问题。与制革工段不同的是，工艺板块更侧重于工序的功能。应用TRIZ理论[10]，准备板块的功能为去除制革无用物，鞣制板块的功能为交联胶原纤维，湿态染整板块的功能为改善坯革内部（理化性能），整饰板块的功能为改善坯革表面（感官性能），从物质流动上看分别为减、联、填、涂，从而使皮革的结构发生巨大的变化。

### 2.2　不同板块的LCA

对准备、鞣制、染整和整饰板块进行LCA，结果见表2；并将评价结果进行归一化和加权化处理，得到ECER—135节能减排指标，见图2。

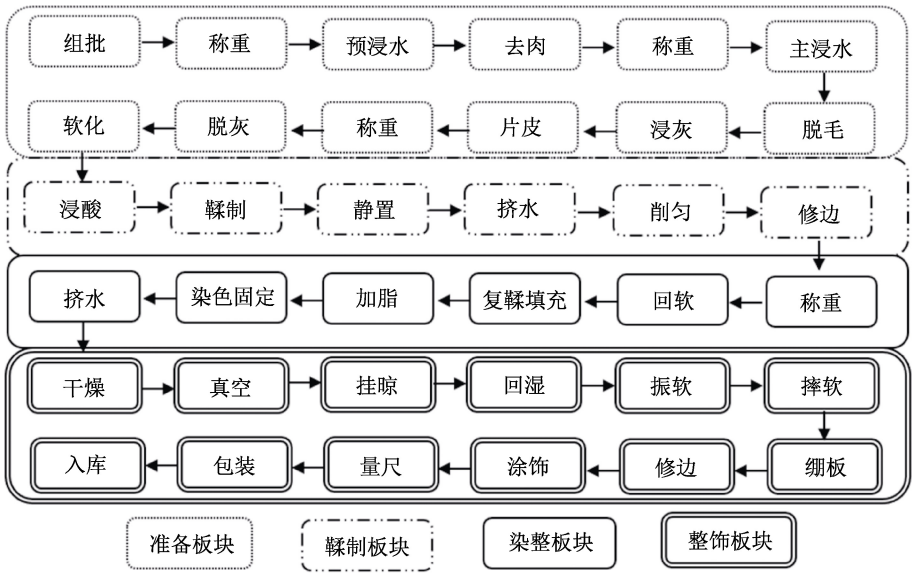



图 1 制革基础工艺板块的划分

Fig. 1 The division of basic process plate in leather manufacturing

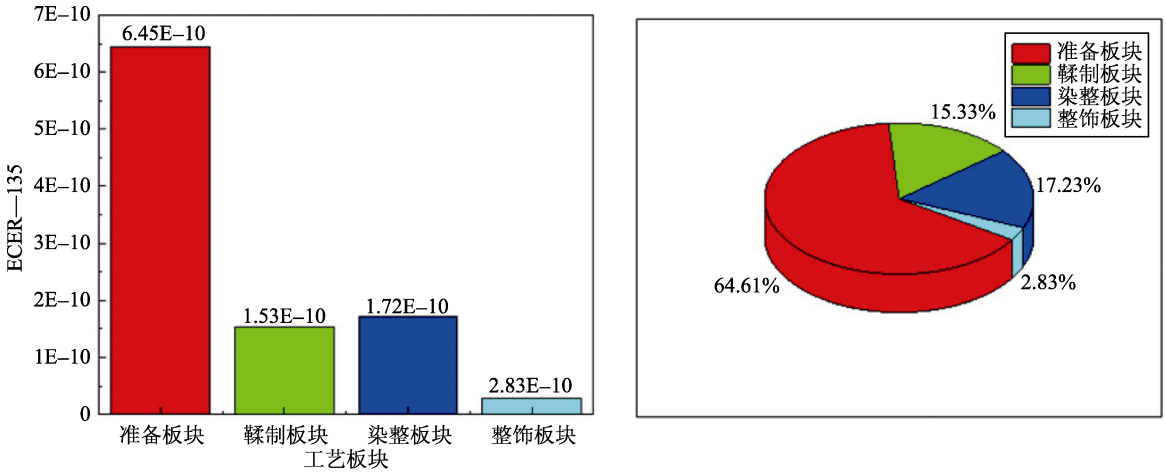
**表 2 制革工艺的 LCA**

Tab. 2 LCA of leather-making process

| 过程名称 | GWP/(kg$CO_2$ eq) | PED/MJ | $SO_2$/kg | $CO_2$/kg | $NO_x$/kg | $NH_3$-N/kg | COD/kg | IWU/kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 预浸水 | 1.59E+00 | 2.63E+01 | 4.80E−03 | 1.46E+00 | 3.70E−03 | 2.57E−02 | 4.92E−01 | 1.10E+02 |
| 去肉 | 1.28E+00 | 3.41E+00 | 7.84E−04 | 1.24E+00 | 1.18E−03 | 1.92E−03 | 5.08E−02 | 2.56E+01 |
| 主浸水 | 2.17E+00 | 3.82E+01 | 7.00E−03 | 1.98E+00 | 5.32E−03 | 3.85E−02 | 6.76E−01 | 2.20E+02 |
| 浸灰脱毛 | 7.00E+00 | 1.07E+02 | 2.56E−02 | 6.32E+00 | 3.22E−03 | 1.86E−01 | 2.24E+00 | 2.31E+02 |
| 片皮 | 5.32E−01 | 7.48E+00 | 1.70E−03 | 4.92E−01 | 1.36E−03 | 8.80E−03 | 1.06E−01 | 7.80E+01 |
| 脱灰软化 | 1.42E+00 | 2.05E+01 | 7.00E−03 | 1.23E+00 | 1.37E−02 | 9.64E−02 | 4.44E−01 | 1.12E+02 |
| 小计 | 1.40E+01 | 2.03E+02 | 4.68E−02 | 1.27E+01 | 2.85E−02 | 3.57E−01 | 4.00E+00 | 7.76E+02 |
| 直接贡献 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.89E−02 | 3.23E+00 | 0.00E+00 |
| 能耗 | 2.85E+00 | 4.15E+01 | 1.45E−02 | 4.96E+00 | 1.78E−02 | 5.89E−06 | 2.39E−03 | 1.91E+01 |
| 工业用水 | 2.90E−02 | 3.95E−01 | 1.40E−04 | 5.08E−02 | 1.79E−04 | 1.23E−07 | 2.01E−03 | 2.79E+02 |
| 含铬鞣剂 | 7.49E+00 | 9.14E+01 | 6.00E−02 | 1.31E+01 | 3.56E−02 | 1.22E−04 | 4.38E−02 | 3.20E+01 |
| 其他化料 | 3.54E+00 | 6.81E+01 | 2.10E−02 | 6.11E+00 | 1.60E−02 | 1.40E−03 | 7.18E−02 | 4.45E+01 |
| 包装材料 | 1.48E−01 | 2.04E+00 | 5.58E−04 | 2.56E−01 | 6.75E−04 | 1.51E−06 | 4.06E−04 | 1.05E+00 |
| 工业废水 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.96E−02 | 0.00E+00 |
| 含铬废液 | 1.38E+00 | 1.88E+01 | 6.46E−03 | 2.38E+00 | 9.44E−03 | 5.48E−06 | 1.08E−01 | 1.29E+01 |
| 含铬革屑 | 4.71E+00 | 6.80E+01 | 2.36E−02 | 8.21E+00 | 2.93E−02 | 8.25E−02 | 4.51E−03 | 4.81E+01 |
| 小计 | 2.01E+01 | 2.90E+02 | 1.26E−01 | 3.51E+01 | 1.09E−01 | 1.13E−01 | 3.50E+00 | 4.36E+02 |
| 回湿 | 2.58E+01 | 3.97E+02 | 8.43E−02 | 2.27E+01 | 6.10E−02 | 1.97E−01 | 3.17E+00 | 9.32E+02 |
| 中和 | 3.45E+01 | 6.13E+02 | 1.11E−01 | 3.03E+01 | 7.80E−02 | 1.24E−01 | 1.20E+00 | 9.20E+02 |
| 复鞣 | 1.09E+02 | 2.17E+03 | 3.30E−01 | 9.40E+01 | 2.18E−01 | 5.00E−01 | 3.50E+00 | 1.21E+03 |
| 填染 | 1.28E+02 | 3.00E+03 | 3.45E−01 | 1.07E+02 | 2.48E−01 | 1.18E−01 | 2.43E+00 | 5.65E+02 |
| 加脂 | 2.82E+01 | 9.98E+02 | 8.65E−02 | 2.08E+01 | 5.35E−02 | 2.68E−01 | 5.20E+00 | 4.17E+02 |
| 套色 | 1.85E+01 | 4.43E+02 | 5.95E−02 | 1.70E+01 | 3.15E−02 | 3.35E−02 | 1.36E+00 | 8.68E+02 |
| 小计 | 3.45E+02 | 7.62E+03 | 1.02E+00 | 2.92E+02 | 6.90E−01 | 1.24E+00 | 1.68E+01 | 4.92E+03 |
| 干燥 | 2.32E+00 | 3.27E+01 | 7.40E−03 | 2.14E+00 | 5.95E−03 | 3.82E−05 | 1.09E−03 | 9.30E+00 |
| 做软 | 4.25E−01 | 6.00E+00 | 1.36E−03 | 3.93E−01 | 1.10E−03 | 5.80E−07 | 4.22E−05 | 1.64E+00 |
| 平整 | 4.07E−01 | 5.75E+00 | 1.30E−03 | 3.76E−01 | 1.05E−03 | 5.55E−07 | 4.03E−05 | 1.52E+00 |
| 涂饰 | 3.92E+00 | 7.35E+01 | 1.02E−02 | 3.52E+00 | 7.75E−03 | 2.66E−03 | 3.68E−02 | 5.65E+00 |
| 处理 | 1.72E+00 | 2.45E+01 | 5.50E−03 | 1.59E+00 | 4.42E−03 | 2.70E−06 | 2.12E−04 | 6.40E+00 |
| 小计 | 8.80E+00 | 1.43E+02 | 2.58E−02 | 8.00E+00 | 2.03E−02 | 2.70E−03 | 3.82E−02 | 2.45E+01 |
| 总计 | 7.57E+02 | 9.94E+03 | 3.44E+00 | 9.88E+02 | 2.61E+00 | 2.43E+00 | 4.84E+01 | 8.58E+03 |

从表 2 可以看出，准备板块、鞣制板块、染整板块和整饰板块各工序对 GWP、PED、$CO_2$、$SO_2$、$NO_x$、$NH_3$-N、COD 和 IWU 等环境影响类型指标的影响。针对某一指标而言，可以找到最大的影响因素，从而加以改善。以 GWP 为例，总的影响为 7.57E+02，其主要来源于鞣制板块和染整板块；鞣制板块又主要来源于化料，而染整板块则主要来源于复鞣和填染工序。若要改善制革工艺对 GWP 的影响，需要关注的鞣制所用的皮革化学品，以及染整的复鞣与填染工序。

图 2 为制革工艺板块对 LCA 结果指数 ECER—135 的影响。显然准备板块对环境影响最大，染整板块与鞣制板块次之，且两者较为接近；而整饰板块对环境影响则相对较小。准备板块、鞣制板块、染整板块和整饰板块的 ECER—135 值分别占整个制革工艺的 64.61%, 15.33%, 17.23%, 2.83%。




a—数值　　b—百分比

图 2　制革工艺对 LCA 结果指数 ECER—135 的影响

Fig. 2　Influence of leather making process on result index ECER—135 of LCA

### 2.2.1　准备板块 LCA 结果

准备板块的 LCA 结果见图 3。图 3a 为准备板块各工序对 LCA 结果的影响，图 3b 为准备板块各工序对各环境影响类型指标的影响。从图 3a 可以看出，准备板块各工序中对 LCA 结果影响最大的为浸灰脱毛工序，其次为主浸水工序，再次为预浸水工序和脱灰软化工序，而其他工序则影响相对较小。而在这些环境影响类型指标中，对工业用水量（IWU）的影响最大，对初级能源消耗（PED）有一定的影响，而对其他环境影响类型指标则影响较小。

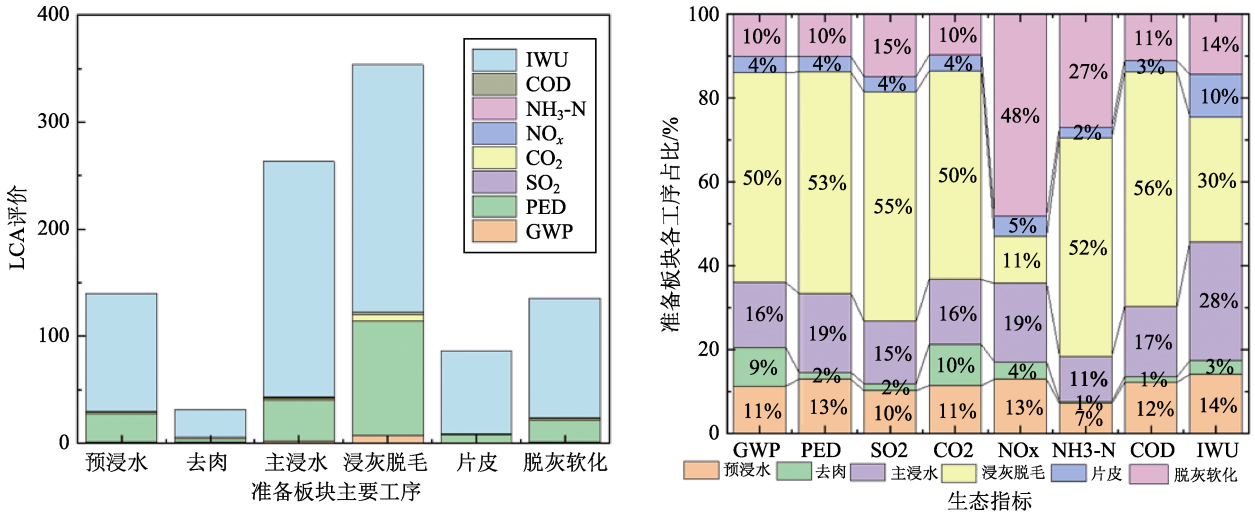
从图 3b 可以看出，除氮氧化物（$NO_x$）外，对其他环境影响类型指标影响最大的为浸灰脱毛工序，绝大多数超过了 50%（IWU 为 30%）。另脱灰软化对 $NO_x$ 影响也较大，为 48%。主浸水、脱灰软化和预浸水对环境影响类型指标也有一定的影响。综上所述，准备板块生态性能改善应侧重于减少工艺用水和化工材料用量，需要关注的重点工序为浸灰脱毛工序。

### 2.2.2　鞣制板块 LCA 结果

鞣制板块的 LCA 结果见图 4。

从图 4a 可以看出，鞣制板块对 LCA 评价结果影响最大的因素主要为工业用水、鞣剂、含铬革屑、其他化料、能耗和含铬废液等。就环境影响类型指标而言，对 IWU 和 PED 影响较大，对 GWP、COD 和 $CO_2$ 有一定的影响，而对 $SO_2$、$NH_3$-N 和 $NO_x$ 影响较小。这可能与鞣制板块中的水用量较多、鞣剂及

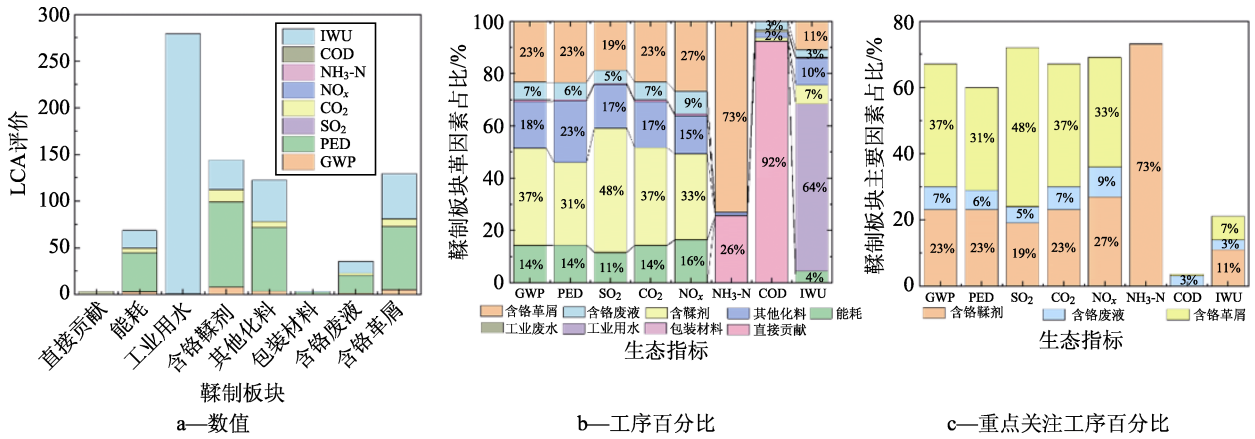
助剂用量较大有关。




a—数值　　b—工序百分比

图 3　准备板块 LCA

Fig. 3　LCA results of beamhouse plate




a—数值　　b—工序百分比　　c—重点关注工序百分比

图 4　鞣制板块 LCA

Fig. 4　LCA results of tanning plate

从图 4b 可以看出，GWP、PED、$SO_2$、$CO_2$ 和 $NO_x$ 的影响因素较为一致，主要来源于含铬草屑、含铬鞣剂、化料、能耗和含铬废液的处理，而 $NH_3$-N 的影响因素则主要为含铬鞣剂和鞣制板块排放的废液（直接贡献），COD 的影响因素主要来源于鞣制板块的废液（直接贡献），而 IWU 的影响因素则主要来源于鞣制板块工艺用水。

对影响生态指标的来源进一步分析，发现来源于铬的污染占比明显，除 COD（3%）和 IWU（21%）外，对其它评价指标均影响明显，对 $NH_3$-N 和 $SO_2$ 影响十分明显，分别占鞣制板块的 73%和 72%；对 $NO_x$、GWP、$CO_2$ 和 PED 的影响也都超过了 60%，分别达到 69%，67%，67%，60%（图 4c），这说明铬鞣板块产生的污染主要来源于铬，与认识中的铬污染状况比较一致[11]。这也间接地证明了基于铬鞣剂的鞣制板块的 LCA 结果的准确度和有效性。显然，鞣制板块主要的问题在于铬鞣剂的使用。

### 2.2.3　染整板块 LCA 结果

染整板块的 LCA 结果见图 5，其中图 5a 为染整板块各工序对 LCA 结果的影响，图 5b 为染整板块

主要因素对各环境影响类型指标的影响。从图 5a 可以看出，各工序对 PED 影响较大，IWU 次之，对 GWP、$CO_2$、COD、$NO_x$、$NH_3$-N、$SO_2$ 等影响较小。这暗示了染整工段对资源和能源的消耗比较大、用水量也较高，是制革技术亟待提升的关键所在。从工序上看，复鞣是对生态评价指标影响最大的工序，其次为填染工序，再次为加脂和中和，而回湿和套色等工序对环境的影响相对最小。这可能与复鞣工序使用了含铬的复鞣剂有关，填染工序加入了较多量的填料和染料，尤其是填料，与蓝湿革胶原纤维的结合率较低，造成了一定的污染[12]；而加脂剂也存在结合率低的问题。

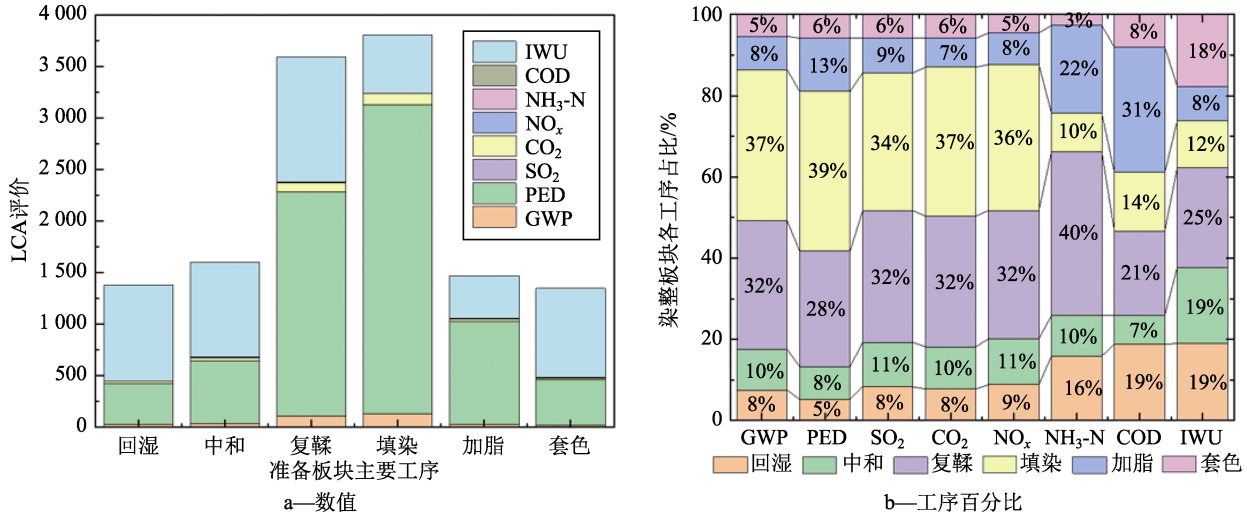



图 5　染整板块 LCA

Fig. 5　LCA results of dyeing-finishing plate

从图 5b 可以看出，填染工序对 PED、GWP、$CO_2$、$NO_x$ 和 $SO_2$ 的影响较大，均占到了染整板块的 30%以上，分别为 39%, 37%, 37%, 35.96%, 34%，对 COD, IWU 和 $NH_3$-N 的影响也在 10%左右，分别为 14%, 12%, 10%；而复鞣工序则对 $NH_3$-N 影响最大，达到染整板块的 40%，对 $SO_2$, $CO_2$, GTW 和 $NO_x$ 的影响均达到了 32%，对 PED、IWU 和 COD 的影响也达到了 20%以上，分别为 28%, 25%, 21%。加脂工序对 COD、$NH_3$-N 和 PED 影响较大，分别达到了 31%, 22%, 13%。综上所述，复鞣、填染和加脂对生态环境影响较大。

### 2.2.4　整饰板块 LCA 结果

鞣制板块的 LCA 结果见图 6。

从图 6a 可以看出，整饰板块各工序对 PED 影响较大，对 IWU、GWP、$CO_2$ 有一定的影响，而对 COD、$SO_2$、$NO_x$ 和 $NH_3$-N 等影响较小。这说明整饰工段存在最主要的问题可能是能源与资源消耗较大。从工序上看（图 6a），涂饰是整饰板块对生态评价指标影响最大的工序，其次为干燥工序，再次为成品前处理，而做软和平整等工序对环境的影响相对最小。这是因为涂饰工序包括底涂、面涂、顶涂等多层喷涂工序，每层涂饰又需要多次喷涂，并且包括相应的压光、抛光、滚光等机械操作。

从环境影响类型指标来看（图 6b），涂饰工序对 $NH_3$-N 和 COD 的影响较大，分别占到整个整饰板块的 98%和 96%，对 GWP、PED、$SO_2$、$CO_2$、和 $NO_x$ 的影响也在 38%～52%之间，对 IWU 的影响也达到了 23%。这可能与涂饰用较多的化工原料有关。

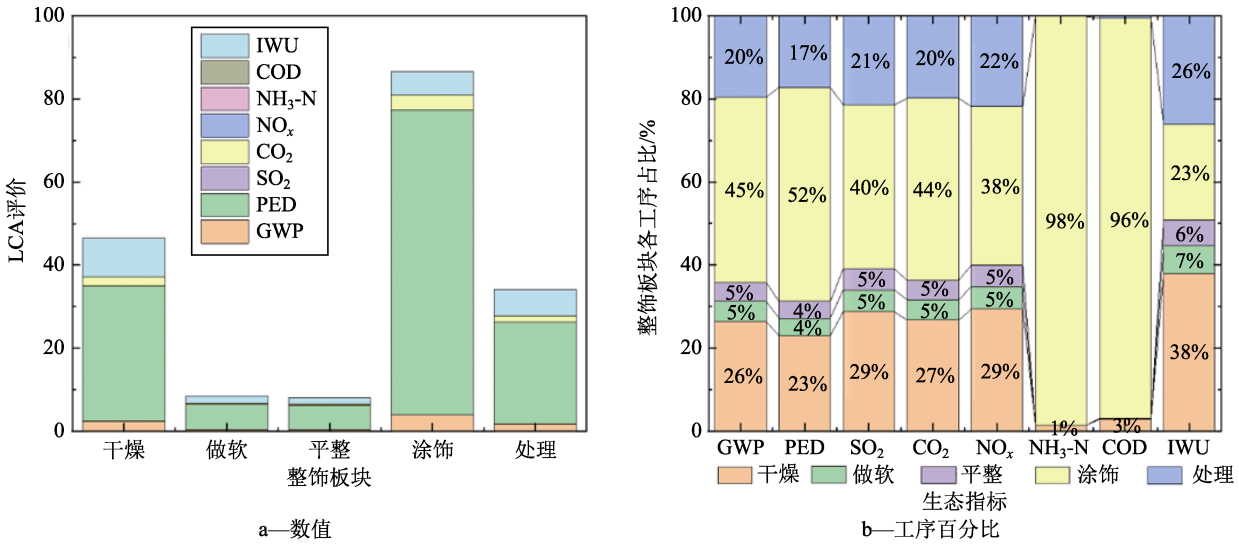



图 6 整饰板块 LCA

Fig. 6 LCA results of finishing plate

综上所述，经 LCA 结果与灵敏度分析确认，结合制革工艺实际情况，要提升整饰板块的生态性能，其关键工序为涂饰工序，希望通过改进涂饰剂提高皮革涂饰的产品属性以及生态性能。

## 3 结论

为了评价制革工艺或皮革产品的生态性能，识别其生态问题，提出了一种基于简化 LCA 与板块理论的制革工艺生态问题的识别与评价方法。应用板块理论，将制革工艺按功能分为准备板块、鞣制板块、染整板块和整饰板块，应用简化 LCA 进行生命周期评价，结果表明：准备板块对环境影响最大，染整板块与鞣制板块次之，且两者较为接近；而整饰板块对环境影响则相对较小；准备板块、鞣制板块、染整板块和整饰板块的 ECER—135 分别占整个制革工艺的 64.61%, 15.33%, 17.23%, 2.83%。

进一步分析各板块主要工序对 LCA 结果的影响，发现准备板块生态性能改善应侧重于减少工艺用水和化工材料用量，需要关注的重点工序为浸灰脱毛工序；鞣制板块主要的问题在于含铬鞣剂的使用；染整板块的复鞣、填染和加脂工序对生态环境影响较大；整饰板块的关键工序则为涂饰工序，有望通过改进涂饰剂，从而提高皮革涂饰产品的生态属性以及生态性能；这为制革工业的生态设计与关键技术研发提供了依据。

### [参考文献] (References)

[1] 张淑华，徐永，苏超英. 中国皮革史[M]. 北京：中国社会科学出版社，2016.
ZHANG S H, XU Y, SU C Y. History of Chinese leather[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2016. (in Chinese)

[2] 周富春，周建华，李玉中. 中国皮革行业现状分析及发展展望[J]. 北京皮革，2021，46（8）：19-25.
ZHOU F C, ZHOU J H, LI Y Z. Current situation analysis and development prospect of China leather industry[J]. Beijing Leather, 2021, 46(8): 19-25. (in Chinese)

[3] 中国标准化研究院，中国轻工业清洁生产中心，北京工商大学. GB/T 32161—2015 生态设计产品评价通则[S]. 北京：中国标准出版社, 2015.
Chinese Institute of Standardization, Chinese Clean Production Center of Light Industry, Beijing Technology and Business University. GB/T 32161—2015 General rules for evaluation of eco-design products[S]. Beijing: China Standard Press, 2015.

(in Chinese)

[4] FINKBEINER M, INABA A, TAN R, et al. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2006,11(2): 80-85.

[5] BUDIG M, HECKMANN O, HUDERT M, et al. Computational screening-LCA tools for early design stages[J]. International Journal of Architectural Computing, 2020, 19(1): 6-22.

[6] RIVELA B, MOREIRA M T, BORNHARDT C, et al. Life cycle assessment as a tool for the environmental improvement of the tannery industry in developing countries[J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38(6): 1901-1909.

[7] 祝德义，鹿文慧，靳丽强，等. 全生命周期评价（LCA）在我国制革行业中的应用——研究进展与存在问题[J]. 中国皮革，2021，50（11）：102-106.
ZHU D Y, LU W H, JIN L Q, et al. Application of life cycle assessments in tanning industry: research progress and challenges[J]. China Leather, 2021, 50(11): 102-106. (in Chinese)

[8] 杨义清，梁永贤，孙辉永，等. 制革工业铬污染及其防治技术现状[J]. 北京皮革，2021，46（1）：28-35.
YANG Y Q, LIANG Y X, SUN H Y, et al. Status of chromium pollution and prevention-treatment technology in leather industry[J]. Beijing Leather, 2021, 46(1): 28-35. (in Chinese)

[9] 但卫华. 制革工艺板块模式[J]. 中国皮革，2000，29（9）：10-12.
DAN W H. Model of process plate of leather-making[J]. China Leather, 2000, 29(9): 10-12. (in Chinese)

[10] EKMEKCI I, NEBATI E E. TRIZ methodology and applications[J]. Procedia Computer Science, 2019, 158: 303-315.

[11] 温会涛，林可心，刘琳，等. 基于简化 LCA、TRIZ 与 DOE 的生态设计方法与应用[J]. 中国皮革，2022，51（3）：1-9.
WEN H T, LIN K X, LIN L, et al. Eco-design and application based on simplified LCA, TRIZ and DOE[J]. China Leather, 2022, 51(3): 1-9. (in Chinese)

[12] 林可心，刘琳，冯荣欣，等. 基于均匀设计的制革填充工艺设计与优化[J]. 皮革与化工，2022，39（1）：1-10.
LIN K X, LIU L, FENG R X, et al. Design and optimization of leather filling process based on uniform design[J]. Leather and Chemicals, 2022, 39(1): 1-10. (in Chinese)