书刊胶印生产工艺生命周期评价案例研究

郭鹏瑛，霍李江，马海龙，王润桃
（大连工业大学，大连 116034）

摘要： 采用生命周期影响评价末端计量模型 LIME，对辽宁大连地区书刊胶印生产过程中的能耗、物耗及其各类排放等进行了环境影响量化分析。通过对评价结果的分析比较，指出各工序的主要环境影响因素，从而对书刊胶印的工艺设计、生产及其废弃物回收处理等各个阶段提出了具体的改善建议。

关键词： 书刊胶印；生命周期评价；环境影响
中图分类号： TS891 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001－3563(2011)03－0084－04

Case Study on Life Cycle Assessment of Offset Printing Production of Books and Periodicals

GUO Peng-ying, HUO Li-jiang, MA Hai-long, WANG Run-tao
(Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: Quantitative environmental impact analysis on energy and physical consumptions and emissions of book and periodical offset printing production in Dalian area of Liaoning province was carried out by using life cycle impact assessment based on ending model LIME. The main factors resulting in environmental impacts of each production process were pointed out through analysis and comparison on the evaluation results. Concrete improvement suggestions were put forward for technological design, production, and waste disposal of book and periodical offset printing production.

Key words: book and periodical offset printing; life cycle assessment; environmental impact

据统计，2006 年全国出版图书、期刊、报纸总印张已达到 2 307.83 亿，折合用纸量 534.11 万 t。其中，图书出版 233 971 种，总印张 511.96 亿印张，折合用纸量 120.37 万 t；期刊出版 9 468 种，总印张 136.94亿印张，折合用纸量 32.18 万 t[1]。而且书刊胶印的发展以每年 8%左右的速度稳步上升，书刊胶印生产工艺对环境所带来的影响越来越引起人们的关注。本研究以书刊胶印的生产工艺为研究对象，运用生命周期评价方法对其环境影响进行量化分析，并提出具体改善建议。

1 书刊印刷生产工艺

目前大连地区的书刊胶印已开始采用计算机直接制版（CTP）平版胶印方式，其工艺流程见图 1。即客户提供的印刷原稿由计算机设计排版，经 CTP 工艺制成可供印刷的印版，再根据客户的需求具体选择印刷所需的纸张、油墨等印刷材料，然后上机印刷。印刷后的半成品根据用户的要求进行折页、胶订、覆膜、裁切等一系列印后加工工序，最终得到印刷成品并打包入库，等待运输配送[2]。书刊胶印生产在消耗能源、资源的同时，其所使用的主要印刷材料及所产生的废液和固体废弃物，加之印刷机及各种胶印加工设备产生的噪音污染，均会造成不同程度的环境影响[3]。

2 生命周期评价方法

生命周期评价（LCA）是目前工业产品与生产系统环境影响评价的基本方法论。依据 GB/T24040－

收稿日期： 2010-10-30
作者简介： 郭鹏瑛（1985－），男，辽宁抚顺人，大连工业大学硕士生，主攻印刷生产系统的生命周期评价。
通讯作者： 霍李江（1966－），女，辽宁大连人，大连工业大学教授，主要研究方向为包装与印刷产品评价。

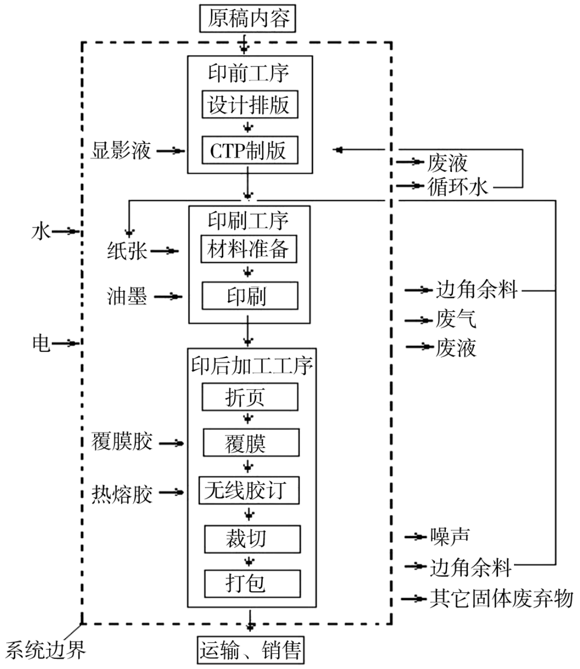

图 1　书刊胶印生产工艺流程

Fig. 1 Production process of book and periodical offset printing

2008 等系列标准[4]，书刊胶印生产工艺的 LCA 研究基本程序设计如下：

1）目的和范围的确定。定义研究对象的功能单位、系统边界、数据分配程序、环境影响类型、限制条件以及相关的数据要求等。

2）清单分析。量化描述书刊胶印生产系统的水、电、纸张、油墨以及其它辅助材料的消耗和书刊成品、边角余料、清洗废水及其它排放物的输出。

3）影响评价。对清单阶段所辨识出来的环境负荷影响进行定量和或定性的描述和评价。采用末端计量模型(LIME)对书刊胶印工艺的能耗、物耗以及排放等进行量化分析和特征化计算，将结果归入到全球变暖、致癌作用、慢性疾病、水体生态毒性、土地生态毒性、酸化、富营养化、光化学氧化、固体废物、资源消耗和能源消耗 11 个环境影响类型[5]，以便进行进一步的比较分析。

4）结果解释。根据量化和特征化的分析结果，系统地评估书刊胶印生产工艺在系统边界内削减能源、原材料消耗以及对环境排放的机会，并解释其局限性，提出具体改善环境影响的科学建议[6]。

3　案例分析

3.1　目标和范围的确定

本案例研究目标是采用 LCA 方法对某精装书刊(40 页 、4800 本)胶印生产工艺印前、印刷、印后加工三大工序的环境影响进行量化分析，并做出对比评价。功能单位定义为印刷生产 1 m^2 铜版纸(250 g/m^2，表面图文印刷面积约为总面积的 85%)。系统边界设定为从原稿设计排版到制得书刊成品的生产全过程，见图 1。在该系统边界内，生产过程所产生的边角余料作为纸张的生产原料统一回收利用。产品的运输距离短且方式不统一，仅局限于市区内，故其影响未在本案例研究的范围之内。此外，书刊加工过程中产生的飞尘等固体颗粒量微小，其影响忽略不计。研究中的工艺数据是通过对大连地区书刊胶印企业的实际调研而获得。

3.2　清单分析与影响评价

通过对大连地区书刊胶印生产企业的实际调研及计算，本研究对象在系统边界内功能单位输入、输出的量化结果以及噪声源见表 1—3。

表 1　书刊胶印生产工艺系统边界内输入数据清单

Tab. 1 List of input data for book and periodical offset printing production processes within system boundary

类别	名称	数量
原料/g	纸张	319.18
	油墨	2.38
	CTP 版材	5.66
	显影液	0.17
	洗车水	0.13
	润版液	0.03
	喷粉	0.07
	EVA 热熔胶	0.33
	覆膜胶	9.82
	塑料光膜	11.45
	打包带	5.00
	撕裂膜	5.13
	水	678.94
能源/(kW·h)	耗电	16.5×10^{-2}

依据 LIME 模型，采用 JEMAI-LCA Pro 及其数据库，计算得出每功能单位精装书刊胶印生产过程环境影响量化及其特征化结果，见表 4 和 5。

表 2 书刊胶印生产工艺系统边界内输出数据清单

Tab.2 List of output data for book and periodical offset printing production processes within system boundary

名称	数量/g
粉尘	0.38
制版用清洗废水	200.00
印刷机用清洗废水	478.94
边角余料	86.09
其他固体废弃物	5.00

表 3 书刊胶印生产工艺设备噪声源强统计[7]

Tab.3 equipment noise intensity of book and periodical offset printing production

噪声源	噪声级/dB	运行状态
方正雕龙 DL8500 CTP 制版机	60	连续
海德堡 CD-102 印刷机	90～105	连续
水泵	75	间歇
压力泵	80	间歇
Horizon AFC-744AKT 折页机	90～105	连续
FM1000 覆膜机	65	连续
Horizon SB-15 无线胶订联动线	85	连续
德阳利通 QZY920 切纸机	90～105	连续

表 4 系统边界内书刊胶印生产工艺环境影响量化结果

Tab.4 Results of environmental impacts of book and periodical offset printing production processes within system boundary

名称	印前工序	印刷工序	印后加工工序
Al 片基	4.38×10^{-3}	—	—
CO_2	6.85×10^{-2}	5.20×10^{-1}	3.75×10^{-1}
CH_4	2.24×10^{-7}	1.48×10^{-5}	6.72×10^{-8}
N_2O	7.12×10^{-6}	2.63×10^{-5}	7.15×10^{-7}
NO_x	1.41×10^{-4}	6.88×10^{-4}	1.37×10^{-5}
SO_2	2.50×10^{-4}	1.20×10^{-3}	2.57×10^{-5}
SO_x	4.43×10^{-6}	1.53×10^{-6}	2.98×10^{-7}
碳氢化合物	1.79×10^{-6}	1.26×10^{-4}	1.71×10^{-7}
烟尘颗粒	1.86×10^{-5}	1.61×10^{-4}	2.10×10^{-6}
COD	7.56×10^{-6}	1.04×10^{-4}	1.42×10^{-3}
N 含量	1.01×10^{-3}	1.50×10^{-3}	3.67×10^{-6}
P 含量	—	5.00×10^{-5}	—
纸张废物	—	2.68×10^{-2}	6.93×10^{-2}
塑料废物	—	—	6.53×10^{-4}
低放射性废物	1.09×10^{-7}	8.66×10^{-8}	5.77×10^{-9}

表 5 系统边界内书刊胶印生产工艺环境影响特征化结果

Tab.5 Characterization results of environmental impacts of book and periodical offset printing production processes within system boundary

影响类型	印前工序	印刷工序	印后加工工序	总计
全球变暖	1.33×10^{-2}	9.83×10^{-1}	8.24×10^{-2}	1.078
人类健康影响(致癌作用)	1.89×10^{-7}	5.20×10^{-7}	4.17×10^{-7}	1.13×10^{-6}
人类健康影响(慢性疾病)	2.81×10^{-10}	7.76×10^{-10}	6.21×10^{-10}	1.68×10^{-9}
水体生态毒性	1.08×10^{-6}	1.35×10^{-6}	4.89×10^{-7}	2.92×10^{-6}
土地生态毒性	1.11×10^{-5}	3.06×10^{-5}	2.45×10^{-5}	6.62×10^{-5}
酸化	2.86×10^{-3}	1.20×10^{-1}	1.62×10^{-2}	0.138 9
富营养化	2.54×10^{-2}	1.05×10^{-1}	2.26×10^{-4}	0.130 3
光化学氧化	2.47×10^{-5}	1.42×10^{-3}	2.02×10^{-4}	0.001 4
固体废物	5.02×10^{-4}	1.24×10^{-2}	3.22×10^{-2}	0.045 0
资源消耗	4.24×10^{-4}	2.75×10^{-2}	2.65×10^{-3}	0.030 6
化石能源消耗	0.221	1.80	0.997	2.363 8

3.3 结果与讨论

评价分析结果表明,本书刊胶印生产工艺对环境的主要影响是化石能源消耗、全球变暖、酸化和富营养化等。由书刊胶印印前、印刷以印后加工三大工序环境影响的对比分析可知,其环境影响总量分别为0.262 6,3.047 9和1.130 5 point,即对环境产生影响最大为印刷工序,其次是印后加工工序,采用CTP制版的印前工序所致环境影响相对最小,见图2。

印刷工序的用电量约占到总工序用电量的51%,印后加工工序的用电量也达到37%,这两大工序的用电量是导致本研究案例化石能源消耗环境影响指标的主要因素;并且燃煤发电过程中排放的气体对环境造成了全球变暖和酸化的影响。此外,印后加工工序过程中热熔胶、覆膜胶等胶体的挥发以及废弃撕裂膜、打包带的回收热处理也是导致该案例全球变暖和酸化环境影响指标的因素。

含有有机溶剂和乙醇等成分的废液是造成富营养化环境影响的主要原因。书刊胶印三大工序中,印刷工序的印刷机用清洗废水中含有颜料、树脂、有机溶剂和乙醇等化学物质,其富营养化影响占总工序富

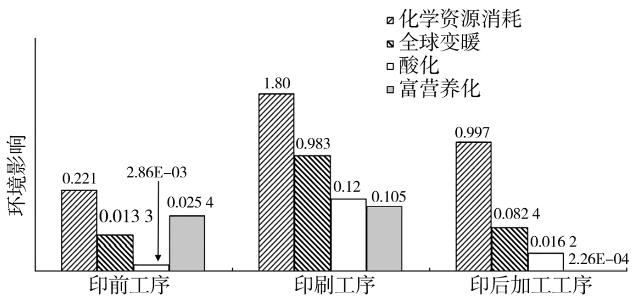

图 2　书刊胶印生产工艺三大工序主要环境影响比较

Fig. 2 Comparison of the main environmental impacts of three production processes of book and periodical offset printing

营养化影响的 54%;印前工序过程中排放的制版清洗废水对富营养化造成的影响也占到本案例总富营养化影响指标的 45%。

另外,油墨使用过程中向空气中排放的有机化合物 VOC 给人类健康带来了负面影响;而且在书刊印刷生产过程中,印刷机、折页机、水泵等运行时发出了较大噪声,对工人的身体健康也产生不利影响。

3.4　改善建议

根据上述研究对象所致主要环境影响类型与成因分析,提出以下改善建议:

1) 改进生产设备,简化生产流程,采用节能技术,提高工业用电的使用效率,降低生产过程的耗电量,以此来削减化石能源消耗类环境影响。该研究案例中,印后加工工序从折页、覆膜到胶订、裁切,工艺流程繁多,而且生产设备耗电量大,可达 40 kW · h。通过计算得知,若本研究案例采用无线胶订联动线,将折页、胶订、裁切等集于一体,简化生产流程,可减少约 15%的耗电量及其人力物力的支出,则化石能源消耗和酸化 2 种环境影响分别可减少 1.25×10^{-1} 和 2.45×10^{-3} point。

2) 在书刊胶印生产系统中,边角余料占总固体废弃物的 80%,占原纸用量 17%左右。企业应优化纸张的使用,减少边角余料的输出。计算得知,若边角余料下降 5 个百分点,承印纸张用量将减少 1.85 个百分点,资源消耗、全球变暖环境影响也随之减少 0.85×10^{-4} 和 1.32×10^{-3} point。至于其它固体废弃物(如废弃的 CTP 版),可统一回收,进行可再生处理。

3) 本研究案例采取间接污水处理法,即对制版清洗废水和印刷清洗废水等废水定期回收,并将其运输到环境管理局或污水处理厂进行统一处理。若胶印企业根据工厂实际情况增加独立污水处理装置,从而达到废水零排放,则能更有效地减少富营养化所带来的影响。

除以上几方面以外,印刷企业应改善其作业环境。书刊印刷生产过程中工厂的作业环境处于半封闭状态(控制恒温恒湿),且油墨、胶体等原料在生产使用中向空气中排放多种对人体有害的有机化合物,对人体带来很大的危害。因此工厂应定期对车间进行排风措施,改善作业环境。同时建议对生产加工过程中噪声超标的设备采用隔声、消声、减振等降噪措施[8]。

4　结论

本研究从减少环境负效益的角度出发,利用 LIME 对大连地区目前常用的传统制版工艺和计算机直接制版工艺进行量化分析与比较,并针对导致环境影响的主要原因提出了相应的改善建议。然而本研究还存在一定的缺陷和不足:书刊印刷的生命周期过程还不完整,而且数据的精确性还有待提高。这不仅需要从印刷企业生命周期评价的案例研究入手,而且还要从印刷生产系统地域性环境影响计测方法和印刷生产系统可持续性评价方法两方面加以研究,以此积累研究数据和评价经验,为充实完善环境评价方法论及其在我国印刷领域中的应用提供科学参考。

参考文献:

[1]　高永清. 我国书刊印刷产业的现状和发展策略[J]. 今日印刷,2008(7):2－5.

[2]　胡更生. 印刷概论[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[3]　徐龙平. 环保印刷的积极实践者[J]. 中国包装工业,2009(9):28－29.

[4]　陈亮,刘雯. GB_T 24040_2008_环境管理生命周期评价原则与框架_国家标准解读[J]. 标准科学,2009(2):76－80.

[5]　任宪姝. 生命周期评价在印刷与包装领域中的应用研究进展[J]. 包装工程,2007,29(10):217－220.

[6]　HUO Li-jiang, SAITO K. Multidimensional Life Cycle Assessment on Various Moulded Pulp Production Systems[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 22(5):261－273.

[7]　GB 12348－90,工业企业厂界噪声标准[S].

[8]　任宪姝,霍李江. 瓦楞纸箱生产工艺生命周期评价案例研究[J]. 包装工程,2010,31(5):54－57.