

The Algorithm of Sustainable Design Index Based on Costing Data

Hui Zhao

Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang
Email: zhaohv@163.com

Received: Sep. 18th, 2019; accepted: Oct. 3rd, 2019; published: Oct. 10th, 2019

Abstract

In order to illustrate the sustainability of a product and/or its materials, an algorithm of Sustainable Design Index (SDI) is established based on the costing data and dynamics, which covers the dynamic costing of materials, processes, assemble/disassemble and transportation. The research of SDI aims to evaluate or compare some products' sustainability by number instead of feeling. When the SDI is implemented in the Computer Aided Design (CAD) software, such as windows and/or doors, the CAD program will be effective in guiding the sustainable designer, who tries to designing a product to meet the need of present and future generations.

Keywords

Sustainable Designing Index, Dynamic Costing, CAD, Algorithm

基于成本数据的可持续设计指标算法

赵 辉

东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨
Email: zhaohv@163.com

收稿日期: 2019年9月18日; 录用日期: 2019年10月3日; 发布日期: 2019年10月10日

摘 要

为了说明一种产品或者其材料的可持续发展性能, 本文建立了一种基于成本数据和动态的可持续设计指标, 涵盖了材料、加工、拆装和运输。可持续指标的研究旨在通过数值而不是感觉来对比一些产品的可持续设计性能。当SDI被植入CAD软件, 例如用于门窗的设计, 这个CAD程序将会有效指导设计者进行可持续设计, 使其设计出符合将来下一代需求的产品。

关键词

可持续设计指标, 成本波动, 计算机辅助设计, 算法

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

Brundtland 委员会定义可持续发展为: 发展不仅要迎合现有的需要, 而且还有考虑下一代的需求[1]。然而, 在产品设计与发展的实践中, 有必要利用一定的工具和方法对产品的可持续发展性能进行评估。自从 1990 年, 学者们开始致力于可持续发展的研究, 并衍生出了多种可持续发展的评价方法。国内, 李超利用 FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Possess)方法对新中式家具进行了可持续设计与研究[1], 方凡对机床的可持续性进行了理论建模与实验[2], 汪路对汽车产品建立了可持续评价方法与研究[3]。国外主要有 PSR 模型法, 强弱模型法, 以及 ESI、WI 和 EU 可持续发展指示器[4] [5] [6]。PSR 模型由加拿大统计学家在 1970 年建立并发展, 但仅限于环境, 后来被修改涵盖了社会和经济方面的应用[7], 强弱模型应形式而生, 集中利用扩展数据, 同时考虑环境、经济、社会与学术方面的可持续发展。然而, 这一领域的巨大进步尚未导致关于最佳可持续发展框架的共识, 人为判定的影响因素起着决定性作用。

可持续设计指标(SDI, Sustainable Design Index)是应用一定的算法, 并结合工程设计的具体环境, 用于满足工程实践中可持续性设计的评价指标[8]。成本因素是影响可持续发展指标多样性和不一致性的主要因素之一, 其在可持续设计中可以有相对精确和完整的表达。本文基于材料成本数据及其动态波动, 提出了可持续设计指数的计算方法。以家具设计为例, 在计算机辅助设计环境下对 SDI 的计算进行了探讨。目的是结合现有的 CAD 工具开发 SDI, 使设计者能够以一种工业可行和有效的方式进行可持续的产品设计和开发。

2. 基于材料成本因素的可持续设计指标

近年来, 虽然提出了很多种可持续发展的评估方法, 但还是难以确定哪种方法更有利。以婴儿的尿布为例, 一次性尿布产生的固体废物是可重复使用尿布的 90 倍(占城市总废物的 2%), 而可重复使用的布尿布产生的水污染(包括清洁剂)是一次性尿布的 10 倍, 消耗的能源是 3 倍[9]。然而, 可重复使用的尿布寿命长, 可用于多个孩子[10]。这一论点的争论目前尚未得到解决, 这说明可持续性设计指标的确定有诸多影响困难和负责性。

在家具制造业中, 木塑复合材料(WPC, Wood-plastic Composites)被认为是一种绿色环保材料。然而, 如何评估其在产品设计和开发中的可持续性作用, 还是基于个别家具设计师或开发商的“可持续”评价, 而不是在家具设计过程中的定量分析。如果在家具中使用原始木材单板, 会产生树木破坏, 但在加工过程中消耗更少的能量。木塑复合材料很容易回收利用, 可以吸收废木粉和塑料。所以很难通过感觉来判断哪一个可持续发展的。

在设计中还要注重家具材料与现有资源利用的平衡, 如果林业能在不破坏环境的情况下提供足够的木材, 就不需要生产木塑复合材料和增加碳排放。在大多数国家, 木材的需求总是大于林业的产出。作为一个典型的发展中国家, 2007 年中国木材需求量为 3.71 亿立方米, 而国内林业转化仅为 2.02 亿立方

米，缺口超过 1 亿立方米。2020 年木材缺口将上升到 1~1.5 亿立方米，这将使木材成本增加。

2.1. 杨木单板的 SDI

选用 1270 × 840 × 2 mm 杨木单板作为家具制造中的常用材料，对其成本波动和 SDI 进行了分析，其国内木材信息网站 <http://www.wood168.net/> 的成本数据见表 1。

Table 1. Polar veneer (size 1270 × 840 × 2 mm)

表 1. 杨木单板(尺寸: 1270 × 840 × 2 mm)

年份	成本(元)	年份	成本(元)
2007	1.80	2013	2.44
2008	2.06	2014	2.77
2009	1.90	2015	2.60
2010	2.20	2016	2.30
2011	2.05	2017	1.50
2012	2.50	2018	2.10

通过最小二乘回归分析[11]和数学软件，将成本波动拟合到图 1 中。虚线是线性多项式拟合的结果，实线是立方多项式拟合。

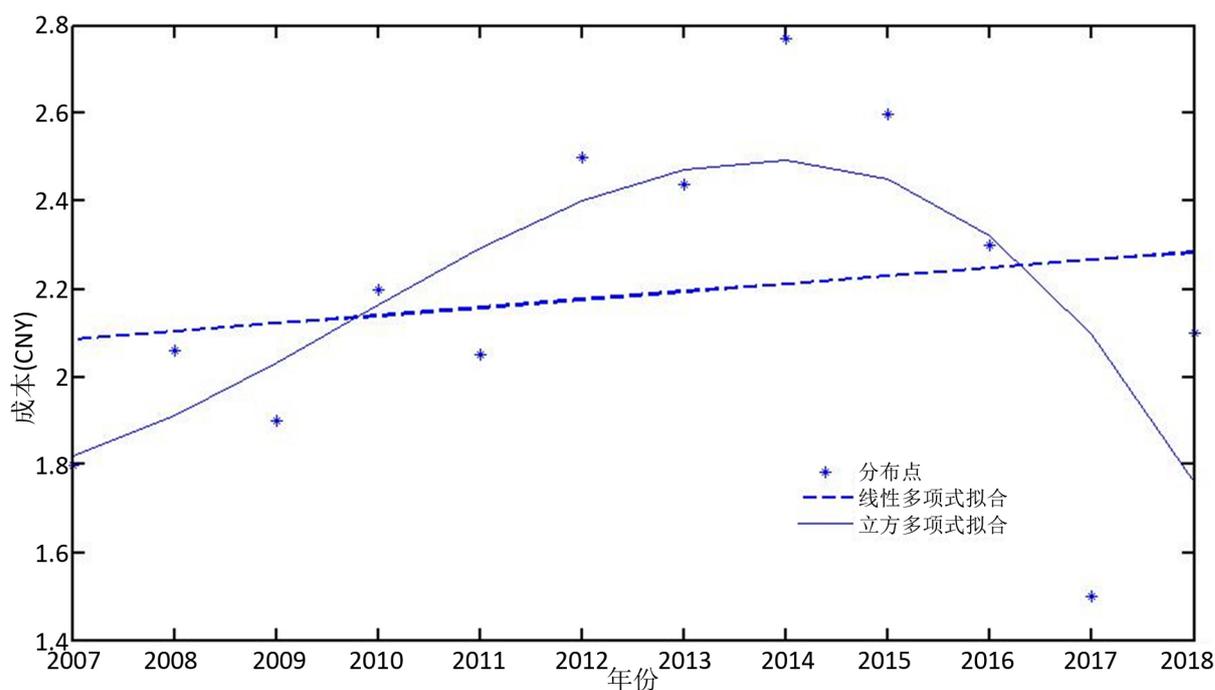


Figure 1. Polar veneer costing and its fluctuation fitting

图 1. 杨木单板成本及其波动拟合

立方多项式拟合可以反映短期内的成本波动，而线性多项式拟合则反映了长期的总趋势，两者都反映了供应缺口。为了反映长期供应缺口，采用线性拟合的斜率作为稳定参数，将其除以现行成本费用作为 SDI 值。杨木单板的 SDI 按以下公式计算：

$$S = K/V \quad (1)$$

S 表示 SDI,

K 是成本波动线性多项式拟合的斜率,

V 表示当前成本。

根据极性单板成本波动拟合, $K = 0.108214$ 元/年, 在 2018 年 $V = 2.10$ 元, 则 $S = 0.018/2.10 = 0.00857$ 。

2.2. 木塑复合材料的 SDI

木塑复合材料也是家具制造中的一种典型材料。近年来, 针对某种多孔木塑地板的成本计算见表 2, 采用最小二乘回归分析和数学软件, 2018 年 $K = -14.75$ 元/年, $V = 100$ 元, 因此 WPC 地板的 SDI, $S = K/V = -0.1475$ 。

Table 2. WPC floor costing

表 2. 木塑地板价格

年份	成本(元/m ²)	年份	成本(元/m ²)
2009	240	2014	130
2010	210	2015	120
2011	180	2016	115
2012	150	2017	103
2013	140	2018	100

2.3. 产品的可持续性指标算法

产品由多个零件组成, 零件制造成本主要包括材料和加工费, 整个产品包括的运输装配和拆卸费用。在产品可持续性计算中, 应考虑上述因素。例如, 将产品分为第 1 零件, 第 2 零件, …… , 第 i 零件, …… , 第 n 零件, 第 i 零件的 SDI 缩写为 S_i , 按照下式计算:

$$S_i = K_{mi}/V_{mi} + K_{pi}/V_{pi} \tag{2}$$

K_{mi} 和 K_{pi} 是指第 i 零件的材料和加工的 K 值。

V_{mi} 和 V_{pi} 是指第 i 零件的材料和加工的当年 V 值。

因此, 整个产品的 SDI (缩写为 S) 由

$$S = \sum S_i + S_T + S_{A/D} \tag{3}$$

S_T 是指交通工具的 S 值,

$S_{A/D}$ 是指组装和拆卸的 S 值。

对于复杂的组装和拆卸过程, 可将其分为多个部件, 相关零件组装在一起成为一个部件[12]。SDI 算法也是是一个接一个部件递推形成的, 如表 3 所示。

Table 3. Algorithm for product SDI

表 3. 产品的可持续性指标算法

零件号	材料	加工	拆装			运输
			部件 1	部件 2	...	
零件 1	$S_{m1} = K_{m1}/V_{m-1}$	$S_{p1} = K_{p1}/V_{p1}$	$S_{A/D1-2} = K_{A/D1-2}/V_{A/D1-2}$	$S_{A/D1-5} = K_{A/D1-5}/V_{A/D1-5}$...	K_T/V_T
零件 2	$S_{m2} = K_{m2}/V_{m-2}$	$S_{p2} = K_{p2}/V_{p2}$				

Continued

零件 3	$S_{m3} = K_{m3}/V_{m-3}$	$S_{p3} = K_{p3}/V_{p3}$				
零件 4	$S_{m4} = K_{m4}/V_{m-4}$	$S_{p4} = K_{p4}/V_{p4}$	$S_{A/D3-5} = K_{A/D3-5}/V_{A/D3-5}$			
零件 5	$S_{m5} = K_{m5}/V_{m-5}$	$S_{p5} = K_{p5}/V_{p5}$				
...
小计	S_m	S_p	$S_{A/D1}$	$S_{A/D2}$...	S_T

$$S = S_m + S_p + \sum S_{A/D} + S_T$$

2.4. 讨论

在此 SDI 算法中采用的是长期线性拟合的 K 值, 短期内 K 值变化较大不能形成稳定的 SDI 值, 计算得出的 SDI 越低, 说明其采用的原料成本、加工、组装、运输的费用在逐年减少, 耗费的资源也在逐年减少, 符合可持续发展要求。

如果某一零件的 SDI 为负值并被恶意降低, 会使整个产品的 SDI 值降低, 则 SDI 算法会显现不合理性。为了避免这种情况, 可将整个产品集成一个零件, 而不是分成多个部分。公式简化为:

$$S = SI + S_{A/D} + S_T \tag{4}$$

SI 是指综合产品的成本波动。

在某些地区, 关于碳排放或环境保护的规定不是很严格。虽然产品对环境、生态或社会有很大的负面影响, 但其成本并没有大幅度增加, 致使 SDI 也很低, 这时也会显现出公式的不合理性。此时需要监管部门提高生产标准, 使企业增加环保方面的投入, 这将导致成本的增加, 进而加大 SDI 值, 此算法公式也会恢复合理性。

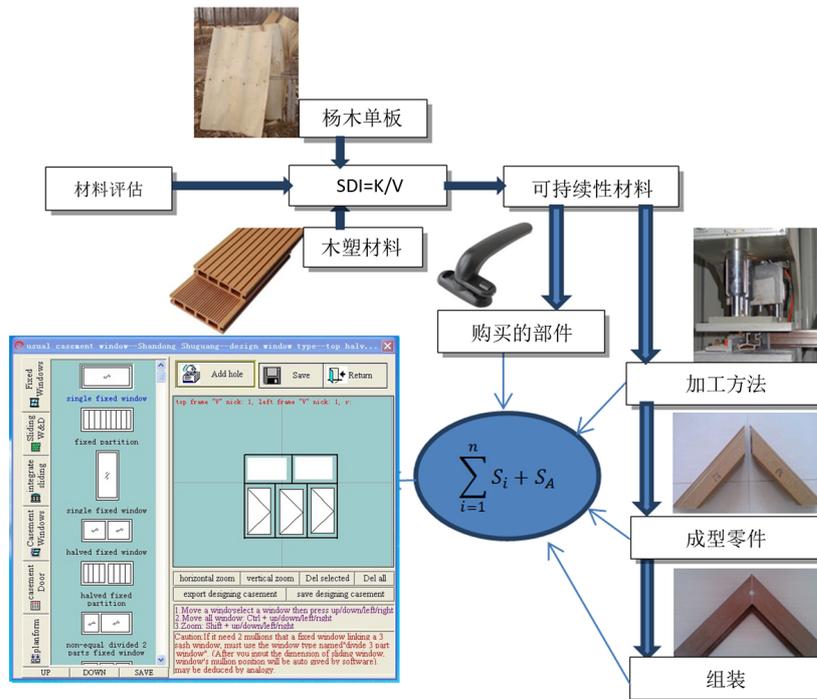


Figure 2. CF CAD software connected with SDI
图 2. 与 SDI 连接的 CF CAD 软件

3. 在 CAD 环境中实现 SDI

在中国的家具制造业中, 长风(CF)公司开始开发一个用于木材和 PVC 结构设计和优化的软件工具, 被来自英国、德国、韩国、俄罗斯等国的客户使用。如果软件与 SDI 连接(如图 2 所示), 设计者将很容易观测到产品的可持续性, 并调整其可持续设计指标, 得到更符合可持续发展的产品。其中, 配置文件实施的重要部分是由客户、经销商和制造商创建的材料及其加工成本数据库。CF 软件可以通过链接材料及加工数据库, 通过本文提出的公式算法实时计算并显示设计对象的 SDI 值, 作为不同方案的参考, 使设计者在产品的设计阶段, 尽可能考虑产品对社会、生态和环境的影响, 设计出可持续性发展的产品。

4. 结论

影响成本核算的因素很多, 包括政府主导因素, 如资源保护、碳排放和能源消耗。这些因素对家具材料成本的波动或设计制造过程也有很大的影响。在良好的监管体制下, 成本核算能够反映产品对将来生态、碳足迹、资源需求的影响。产品的可持续性受到诸多复杂因素的影响, 本算法尽可能把各种因素量化集中反应到成本核算中, 最后形成一个指标数值, 以利于产品之间的对比与决策。本文提出的 SDI 算法也符合企业效益, 因为低 SDI 不仅意味着产品的可持续性良好, 在材料、加工工艺等方面也是在追求降低成本。该算法易于 CAD 软件中实现, 连接完整的成本数据库, 在设计中就可以观测产品的可持续发展性能。

基金项目

黑龙江省科学基金项目(LC2016014); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(DL12CB02)。

参考文献

- [1] 李超. 基于 FAHP 的新中式家具可持续设计研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2018.
- [2] 方凡. 机床可持续设计指数的理论建模与实验研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [3] 汪路. 汽车产品设计阶段的可持续评价方法与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2015.
- [4] World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- [5] Puljiz, J., Tisma, S. and Pavicic-Kaselj, A. (2010) *Measuring Sustainable Development—The Case of Croatia*.
- [6] Barrera-Roldán, A. and Saldivar-Valdés, A. (2002) Proposal and Application of a Sustainable Development Index. *Ecological Indicators*, **2**, 251-256. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00058-4)
- [7] Hardi, P. and Pinter, L. (1995) *Models and Methods of Measuring Sustainable Development Performance*. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg. http://www.iisd.org/pdf/measure_models_methods_sd.pdf
- [8] Gerbens-Leenes, P.W., Moll, H.C. and Schoot Uiterkamp, A.J.M. (2003) Design and Development of a Measuring Method for Environmental Sustainability in Food Production Systems. *Ecological Economics*, **46**, 231-248. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00140-X)
- [9] Ayres, R.U. (1995) Life Cycle Analysis: A Critique. *Resources, Conservation and Recycling*, **14**, 199-223. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(95\)00017-D](https://doi.org/10.1016/0921-3449(95)00017-D)
- [10] Bhamra, T. and Lofthouse, V. (2013) *Design for Sustainability: A Practical Approach*. Gower Publishing, Ltd., England.
- [11] Geladi, P. and Kowalski, B.R. (1986) Partial Least-Squares Regression: A Tutorial. *Analytica Chimica Acta*, **185**, 1-17. [https://doi.org/10.1016/0003-2670\(86\)80028-9](https://doi.org/10.1016/0003-2670(86)80028-9)
- [12] Andreasen, M.M., Kähler, S., Lund, T. and Swift, K.G. (1983) *Design for Assembly*. Ifs Publications, London.