周浩明

专题主编简介

清华大学建筑学学士、东南大学硕士、博士，2003和2013年分别以高级访问学者和交换教授身份赴芬兰阿尔托大学艺术、设计与建筑学院(原“赫尔辛基艺术与设计大学”)留学、讲学。现为清华大学美术学院环境艺术设计系长聘教授、博士生导师；清华大学艺术与科学研究中心可持续设计研究所所长；清华大学生态文明研究中心骨干研究员；中国建筑学会室内设计分会常务理事；中国建筑学会专家库专家；芬兰阿尔托大学艺术、设计与建筑学院教授聘任委员会国际专家。

自上世纪90年代起就已开始致力于“可持续建筑与环境”的设计与研究，是我国最早研究可持续室内环境设计的学者之一。多次成功策划并主办以绿色设计为主题的《持续之道》系列国际学术研讨会与可持续设计国际展览。在国内主编或撰写出版有关城市与建筑设计、环境艺术设计、家具设计等方面的著作、教材10余部，著有《生态建筑——面向未来的建筑》、《可持续室内环境设计理论》、《可持续的室内设计》(译著)和《生态文明十五讲》(主要作者)等，发表学术论文150余篇。曾多次获国家级和省部级教学、设计和学术成果大奖，其设计作品入选“第十届全国美展”，自2009年起作品多次入选芬兰赫尔辛基国际“生态设计特别展”，并获“卓越创新大奖”，被选登于芬兰最重要报纸《赫尔辛基日报》；专著《可持续室内环境设计理论》是我国首部全面阐述可持续室内环境设计理论的学术著作，填补了当时我国在该领域的研究空白，曾获得省市及国家级的各类奖项。

曾被中国建筑装饰协会和中国建筑学会室内设计分会授予中国首批“杰出中青年室内建筑师”，“全国百名优秀室内建筑师”，“杰出设计师”等荣誉称号。

2016年周浩明教授获颁芬兰总统签发的芬兰国家勋章“芬兰狮子骑士团一级骑士勋章”，以表彰其为中芬两国设计与文化交流所作出的巨大贡献。

专题序言

“可持续设计”理论与实践发展至今，无论是在观念层面，还是具体的实际操作层面都已经取得了巨大的进步和成就。从上世纪末还有人对可持续设计不屑一顾到今天的几近全民认可，“低碳”、“绿色”、“生态”、“可持续”已成为当今我国设计界使用最为普遍的词汇。但是，纵观现实世界，我们却仍然可以发现许多与此主流不相和谐的地方，出现这些问题的主要原因，一是对“可持续”概念的不解或误解，二是对“可持续”概念不怀好意的曲解，所谓“挂羊头卖狗肉”，为了一己私利，借“生态”、“可持续”之名，行“非生态”甚至“反生态”之实，这种行为被学界称为“漂绿”（Greenwash）。如果说第一种情况还只是一种因缺乏知识而呈现出来的客观表现，那么第二种情况就是一种素质低下甚至有违环境伦理的丑恶行径，为当今社会所不齿。但是不管是属于上述哪一种情况，都是“可持续发展”实施过程中的绊脚石。

党的十七大报告就明确提出要建设“两型社会”（资源节约型与环境友好型），十八大则进一步指出“必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位”，生态文明建设已经上升到了国家战略的层面。组建“可持续设计”专题是对这一国家战略的积极响应，同时也为设计界探索可持续设计的理论与实践提供了一个有效的窗口。

可持续设计的理论基础来自于生态学，因此首先必须符合生态原则。生态学的理论核心，是用科学的方法去解决生命有机体之间、有机体与环境之间的相互关系，促进人、自然和生物之间的平衡发展。绿色建筑或产品是可持续设计的终端成果，可持续设计的核心，则是如何使建筑或产品尽可能少地出现反生态的负效应，而尽可能多地发挥出有利于生态环境的建设性效益。可持续设计本身就是一个系统，其所涉及的具体内容十分复杂，牵涉到可持续设计的概念、可持续设计的原则、可持续设计的实施策略、可持续设计的具体方法、可持续设计的评估体系等，再落实到各个不同的专业领域，则又有各自不同的特点。本专题刊发的六篇论文，体现了作者们从各个不同角度对可持续设计的探索成果，可谓见仁见智，借以抛砖引玉。

专题主编：

[可持续设计]

基于“全生命周期评价”的可持续设计思路与方法

周浩明[1,2]

1. 清华大学 美术学院，北京 100084；2. 清华大学艺术与科学研究中心可持续设计研究所，北京 100084

摘要：艺术设计是一个十分重要的专业领域，在全球倡导可持续发展的今天，可持续设计已成为全社会实现可持续发展的一个重要支撑，肩负着自己独特的使命。通过对“从摇篮到摇篮”的“全生命周期评价”概念的阐述，从建筑与工业产品全生命周期中的五种能量（内含能量、灰色能量、诱发能量、运行能量、处废能量）消耗，以及各能量消耗阶段对环境的影响的分析中，导出可持续设计的思路与方法，即使用健康、低碳、可自然降解或可回收利用的绿色材料；充分利用回收的旧材料；节约用材，利于回收；扁平包装，节约储藏和运输成本；长效耐用，维护方便；使用功能合理，产品本身符合人性化原则，为设计师践行可持续设计提供指导。

关键词：全生命周期评价；可持续发展；思路与方法

中图分类号：J525 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-6946（2020）03-0025-10

DOI：10.19798/j.cnki.2096-6946.2020.03.003

Thinking and Methods of Sustainable Design Based on Life Cycle Assessment

ZHOU Haoming[1,2]

1. Academy of Arts & Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Sustainable Design Research Institute, Research Center of Art and Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Art design is one of the important professional fields nowadays. While the concept of sustainable development is advocated worldwide, the sustainable design has become a main support for the social sustainable development and shoulders its own unique mission. By setting forth the concepts of “cradle to cradle” “life cycle assessment”, the thinking and methods of sustainable design are derived from the analysis on five types of energy consumption (embodied energy, grey energy, induced energy, operating energy, disposal energy) during the life cycle of a building or an industrial product and based on the influence of each energy consumption stage on the environment, i.e. the use of green materials featured by health, low carbon, natural degradation or recycling; making full use of recycled materials; saving materials for recycling; saving storage and transport costs through flat packaging; durability and convenient maintenance; reasonable use function and compliance with humanistic principles that can provide guidance for the sustainable design made by the designer.

Key words: life cycle assessment; sustainable development; thinking and methods

加勒特•哈丁（Garrett Hardin）在他的名著《公共地悲剧》中描绘了一个村庄的公共牧场，在那里放牧的成本由大家均摊，而利益却归个人所有，因此每个村民都尽可能的在公共牧场上放养更多的牛，最终导致牧场因过度放牧而沙漠化[1]。哈丁以公共牧场比喻当前的全球生态环境，事实上，生态学、环境科学等多门学科

收稿日期：2020-04-13

作者简介：周浩明（1964—），男，江苏人，博士，清华大学美术学院长聘教授、博士生导师，清华大学艺术与科学研究中心可持续设计研究所所长，主要研究方向为可持续建筑与环境设计。

已通过研究得出的具体数据支持了哈丁的这一主张，并且证实了如几百年来人们所熟知和称颂的那样——人类所有的一切都是相互联系、相互依存的，在全球面临环境挑战的今天，没有一个国家、一个行业可以独善其身，艺术设计当然亦是如此。

可持续发展是人类发展必须遵循的总体原则，而生态原则则是实现可持续发展的必由之路。基于可持续发展的艺术设计，无论是从宏观还是微观的角度，首先也必须符合生态原则，艺术设计自身的特殊性及其在整体生态系统中的地位，决定了在当今社会可持续发展的进程中艺术设计应担负的社会责任，同时也决定了其与其他学科为可持续发展作贡献的不同方式。

一、建筑或产品的“全生命周期评价”

除了普遍、传统的美学法则，可持续设计更注重产品在减量、环保、高效（长效）、健康等方面的因素。“减量”、“环保”、“长效”、“健康”是衡量一个设计是否“可持续”的四个最基本的方面，但具体的实现与评价途径则是多种多样的。“全生命周期评价法”（Life Cycle Assessment，LCA）则是已经被广泛接受，对综合评价以上四个方面最为科学的评价方法。从“全生命周期评价法”的具体内容来看，可以理出实现和提升设计（包括建筑、环境、产品设计）可持续性的思路和具体手法。

对于设计产品的评价，除了产品本身的使用质量和艺术质量外，以前人们对于产品的关注点主要在于产品的成本，也就是说主要是从经济角度考虑的。然而，在从工业文明走向生态文明的今天，还必须从可持续发展的角度加以考虑，树立“从摇篮到摇篮”（Cradle to Cradle）的“全生命周期评价”的概念，即学习大自然的循环方式，将所有东西都视为某种养分，都可以回归自然。从“养分管理”的概念出发，从产品设计之初就构想好产品的结局，使产品最终报废时还能够继续进入其他循环程序，成为其他生态链的新养分，使物质得以不断循环使用。“从摇篮到摇篮”的循环可分为两种方式：生态循环和工业循环。生态循环的产品由可生物降解的原料制成，降解后回到自然生态循环过程，成为新的养分；工业循环的产品材料则是继续进入新的工业循环过程，将可再利用的材料同等级或升级回收，重新用于新产品的制造，比如塑料、金属、纸张等[2]。“从摇篮到摇篮”的理念要求评估现有产品及其生产和使用流程，用无毒的原材料、清洁的能源及节水的流程取代有害的环境和耗能、耗水的原料及流程，并合理地规划好回收渠道，使产品的供应链、产品本身及回收再利用方式等均对环境达到最大程度的友好，实际上，最好的做法应该是用生态循环的原理来指导工业设计和生产，因此，只要措施合理，上述两种循环是可以合二为一的[3]。

二、基于“全生命周期评价”的五种能量消耗及其对环境的影响

按照“全生命周期评价法”，对一座建筑或一件设计产品而言，其在整个生命周期中所消耗的能量可分为五个部分。以工业产品为例，其对能量的消耗应该是指与该产品直接或间接相关的一切能量消耗，包括原材料的开采、加工，零配件的加工、制造，材料、零配件及成品的运输，产品的加工组装，产品使用和维护时的能量供给，直至产品的最终报废、拆卸与旧材料的回收等过程中所耗费的所有能量，根据各阶段能量消耗的不同特征，这些能量可分为内含能量、灰色能量、诱发能量、运行能量和处废能量[4]。当然产品对于环境的影响，也可以从这五个部分进行分析。

（一）内含能量

内含能量（Embodied Energy），即在产品使用的原材料（如钢铁、水泥、矿石等）的开采加工、零配件（如电线、螺丝）的加工制造中所消耗的能量，其中很大部分为非再生矿物燃料的消耗。

从内含能量的消耗和此阶段可能对自然环境造成的破坏来看，在进行产品设计时，应该从产品全生命周期的最源点开始考虑问题。在设计思路上，首先，要充分考虑原材料本身的绿色性能，比如在家具设计中，尽量不要使用资源稀缺的红木，可以使用材料来源丰富的普通木材，或者是普通木材经过加工改良后的胶合木、层压木等。北欧人情化与地域性倾向的代表人物、芬兰设计大师阿尔瓦·阿尔托（Alvar Aalto）就是这方面最有代表性的开拓者。他所设计的6号坐凳（Stool 60）、帕米欧椅（Paimio Chair）（见图1）就是利用芬兰蕴藏丰富的普通木材，经过胶合、层压、弯曲加工后制作而成的。这样的设计思路，不仅大大提升了木材的使用潜能和使用价值，使得资源充足但原始性能不是很好的普通木材也可以得到最大程度的利用，而且由此还激发出了传统材料的新的表现形式。帕米欧椅在视觉形式上彻底打破了传统木质家具四条腿加座板、靠背和扶手的常规造型规律，椅子的座面和靠背浑然一

体，扶手与椅腿一气呵成，曲线流畅优雅，富有弹性。

开发使用新的量多价廉的替代材料，这是降低内含能量阶段对环境影响的另一种途径。比如在我国，竹材在传统民间工具与日常生活用品中的使用十分广泛，但在现代设计中的应用却远远不足。竹子在我国南方分布广泛，生长迅速、产量高，如果不加以利用，大量的野生竹子每年也会自然死亡，资源浪费非常严重，开发竹制产品将是一个很有前途的新的方向。好在我国已经有很多科研人员、材料企业和设计师都已经开始了这方面的探索，竹胶合板家具《方·圆》（设计师：陈合彩）即是例子，见图2。

另外，在考察内含能量阶段的能量使用和对环境的影响时，还应该考察材料的来源和加工是否正当。举个通俗的例子，同样是竹子，如果用来加工竹胶合板的竹材是盗窃所得，或者加工过程不符合环保的要求，那么这样的竹胶合板也是不符合要求的，如果使用这样的材料，那么在进行综合评价时，其绿色得分就会大大降低，甚至彻底丧失。

（二）灰色能量

灰色能量（Grey Energy），即材料和构件从产地运送到施工现场，或成品在运输过程中所消耗的能量，如运输工具所耗费的汽油、电力及人工费用等，降低这部分能量可以通过发展地方工业和利用本地材料来达到，对于那些没有地产资源的地区，则需要详细计算和考虑运输距离和运输方式。

从设计的角度来说，要降低灰色能量的消耗，以及其此阶段对环境的影响，主要的途径就是在设计时选择的材料和零配件是无需经过长途运输的。以建筑和景观设计为例，要尽可能地使用当地材料，选择当地植物，这样不仅可以避免材料的长途运输，而且当地的材料和植物具有强烈的地域特性，对地域文化的保持和传承大有裨益。此外，当地植物更能适应当地的环境条件，利于成活和管理，可以极大地降低维护成本。反观设计中盲目追求进口材料的做法显然是不符合这一原则的。

被誉为“城市森林”的赫尔辛基维吉教堂（Viikki Church），全部采用胶合木结构，无论是建筑隐喻还是外观和室内乃至细部装饰，都与芬兰的森林这一主题有着密切的关联，建筑外墙所使用的木质挂瓦，随着时间的推移从木材原始的浅黄色变为灰黑色，象征着建筑像生命体一样的成长与衰老过程。这样的设计构思，既充分利用了地域材料，又赋予建筑以深刻的哲学含义，使传统材料焕发出新的光芒。赫尔辛基维吉教堂见图3—5。

（三）诱发能量

诱发能量（Induced Energy），即建筑建造或产品制造过程本身所消耗的能量或资源，比如水、电等。对于建筑来说，建筑师应该监督建造者并对施工过程制定完善的节能措施，包括避免材料的浪费、节约用水和生态化的废料处理等，而且这些措施的采用应该贯穿于建筑与室内环境施工的全过程。对于工业产品来说，设计师也应该在设计过程中考虑好产品组装的便利性，尽量在设计时就考虑好产品组装工艺和流程，使制造过程发挥更大的效率，花费最少的人力与物力，实现最少的能量和资源消耗。同时在建筑的使用和产品的加工制造过程中尽可能减少对环境的污染，其中包括不太被人注意的噪声污染和尘土污染等。

建筑采用工厂的预制构件能够很好地减少现场的湿作业量，减少水的使用和水污染，减少灰尘的产生，同时还能够大大缩短施工周期，使其对环境的影响降到最小，这也不失为一种很好的降低诱发能量的办法。基本没有湿作业的芬兰预制装配式住宅见图6。

（四）运行能量

运行能量（Operating Energy），即在建筑交付或产

图1　层压弯曲木家具——帕米欧椅

图2　竹胶合板家具《方·圆》

图3　赫尔辛基维吉教堂

图4 赫尔辛基维吉教堂屋面木瓦

图5 赫尔辛基维吉教堂祭坛

品购买后实际使用和维护运行中所耗费的能量，包括建筑中各种水、暖、电设施（供水、采暖、排污等），生活办公所用的各种仪器设备（电话、电脑、监控、灯具、炊事等）所耗费的所有能量和资源（油、气、煤炭、水、消耗品等），是研究者、设计师及立法者最关注的能量形式之一。只要房屋存在，这种能耗就得维持，有的甚至会持续上百年。可持续发展的设计理念要求设计师设计的建筑或产品能够尽可能地延长使用寿命，建筑或产品的寿命越长，运行能量在整个生命周期中所占的比例就越大，就越应该受到重视。节能型建筑是解决这一问题的良好方法，诸如尽可能地减小建筑的表面积以缩小建筑的散热（吸热）量，采用保温隔热效果良好的建筑材料和构造方法，尽可能地利用自然采光等，如美国国立美术馆东馆中庭的自然采光，见图7。此外，在建筑中选用节能设备（节能的冰箱、洗衣机、空调、灯具等），也是降低运行能量的有效方法。

运行能量的多少还与建筑或产品使用者的使用习惯与素质有着直接的关联，同样的建筑或产品，使用者不同，其使用寿命和运行能量的消耗也会有着巨大的不同。养成节约能源的良好工作和生活习惯，也是降低运行能量的有效途径，比如人走灯灭、调节合适的空调温度、重复使用耗材（如纸）等，都是有助于节约运行能量的良好习惯。当然，设计师不可能去控制使用者的行为，但却可以为使用者养成良好的工作和生活习惯提供便利，比如在适当的地方设置旧物回收空间，在方便的地方设置控制开关，在灯具设计中设置可调节灯光亮度的调节开关等。

（五）处废能量

处废能量（Disposal Energy），即建筑或产品在最终报废、拆除和旧材料回收、处置等过程中所耗费的能量，这类能量同样不能忽视。尽可能地延长建筑或产品的使用年限，或者对旧建筑改造后继续加以利用，可以较好地降低这部分能量在整个生命周期中所占的比例。例如利用旧厂房改造而成的芬兰图尔库艺术学院，见图8—9。然而我国目前在城市建设中出现的大拆大建的做法，正是导致处废能量大大增加的重要原因，应该彻底杜绝。

图6 基本没有湿作业的芬兰预制装配式住宅

图7 美国国立美术馆东馆中庭的自然采光

图8 芬兰图尔库艺术学院

图9 芬兰图尔库艺术学院室内

建筑或产品在报废过程中的拆除（卸）、销毁、垃圾处理等过程，都会产生大量的粉（灰）尘、污水和其他的污物，除增添环境负担外，处理它们还需要耗费更多的能源。此外，拆除旧建筑，这意味着该建筑在前期建造、运行过程中投资能量、产生效益这一过程的终止，从能源的投入与产出比来看，这也是很不经济的。因此，如果建筑物还没有达到彻底无用之前，就应该尽可能地加以利用，不要轻易拆除，这样才能使建筑的潜能得到最大程度的发挥。再者，拆除旧建筑必定会产生大量的建筑和装潢垃圾，而这些垃圾大部分是很难自然降解的，处理这些垃圾，将耗费更多的能源，垃圾填埋场的增加，将进一步造成土地的占用，这与可持续发展策略是背道而驰的。建筑拆除过程中所产生的灰尘会加剧空气的污染，使城市空气质量下降，拆除过程中产生的噪声，也会加剧城市环境中的噪声污染。

一座建筑或一件产品生命的终结就意味着需要一座新的建筑或一件新的产品来替代，这也意味着又将有新的能源和资源消耗，又会给环境增添一份负担。从这一点来讲，诸如现在手机设计和营销中所采用的限时淘汰旧手机，变相迫使人们购买新手机的方法（即时废止、用毕即弃）是不符合可持续发展原则的，不应该提倡。

不同类型，不同生产、销售和使用方式，不同寿命的产品的上述五个部分能量消耗，都会有不同的比例分配，在设计任何产品时都应该详细地考虑。比如对于某些产品来说，资源消耗的主要部分主要来自于产品的制造过程，它始于原材料的开采，直到最终产品的出产才会终止，尤其对于金属制品和一些技术密集型产品则更是如此。然而对于有些产品，其资源消耗的主要部分则可能来自于产品的使用过程，比如说一些电器产品等，其主要的能源消耗是产品使用时所消耗的电能，对于这样的产品，节能设计就显得非常重要。

综上所述，全生命周期评价是一种对产品从生产、运输、销售、维护使用到最终报废的整个生命周期所消耗的能量或资源，以及对环境所造成的影响、压力进行综合评价的客观过程。本文的目的并不是介绍“全生命周期评价”的具体方法和指标，而是希望通过对“全生命周期”概念的剖析导出设计师们进行可持续设计时所应该采用的具体措施和方法，从而使得每一件作品的设计都可以从一开始就确立正确的思路，把握正确的方向，沿着正确的轨道向前推进；使后期在加工、使用、报废的整个生命周期中都能够沿着可持续发展的主线向前推进[5]。

三、可持续设计的具体思路与方法

剖析“全生命周期”概念及建筑或产品在全生命周期五个阶段中能量消耗的形式和特点及其对环境的影响，结合可持续设计的“5R”原则，可以比较清晰地整理出可持续设计的一些具体思路和方法[6]。

（一）使用健康、低碳、可自然降解或回收利用的绿色材料

使用健康、低碳的绿色材料，是实现可持续设计最普遍、最直接的途径。“健康”是指材料中只含有少量或不含有对人体有害的成分，如甲醛等挥发性有机化合物（VOC）。“低碳”则是指所使用的材料在前期的生产（内含能量阶段）、运输（灰色能量阶段），中期的施工、加工（诱发能量阶段）和使用维护（运行能量阶段），以及后期的报废拆除（处废能量阶段）中尽可能少地消耗地球资源，尤其是煤、石油等不可再生的资源，减少温室气体排放。

值得注意的是，同样一种材料，使用条件不同，其最终绿色性能的呈现也将出现巨大的不同。关于这一点许多设计师可能会产生一定的困惑，其实只要真正理解产品“全生命周期”的概念，那么对这一问题的理解也就非常自然了。这里不妨以设计中最常用的木材为例来分析这一问题的产生原因。在人们通常的理解中，木材是一种自然生长的植物，取之不尽用之不竭；木材性情温润、色泽温暖、纹理丰富，而且大多数木材无毒无害，是自古以来人们日常生活中最为常用的天然材料，因此，很多人认为如果在设计中运用木材，一定是一种绿色环保的行为，但事实却并非如此。

首先，与阳光、风力、潮汐等无条件不可耗尽的可再生资源不同，木材是一种“有条件的可再生的资源”，只有在前代被砍伐后自然生长或人工重新栽种，并经过较长时间的生长才能重新成材，通常木质越硬的树种，其生长速度越慢，如果砍伐速度高于生长速度，那么木材资源就会匮乏，树木对于自然环境的保护作用就会减弱。因此，严格来讲，木材并非天然就是一种绿色材料，只有在严格的可持续林业管理体制下出产的木材，才可能是真正的绿色材料。因此，在我国林业资源高度缺乏的事实背景下，应该慎重地使用木材，至于用稀缺的红木（硬木）作为设计材料则更是不符合可持续发展原则的。然而如果是在芬兰、挪威等森林覆盖率高的国家，则又是另外一种情形。比如芬兰，是全球森林覆盖率最高的国家之一，其森林覆盖率达70%左右，而芬兰又是一个人口密度很低的国家，资料显示，

芬兰本国全年的木材使用量只相当于芬兰森林一个月的生长量，芬兰的森林资源因此拥有“绿色黄金”的美称。在这样的背景下，在芬兰使用木材就是一种受到鼓励的方法，但即便如此，也只有从实行“可持续林业管理”的林场上出产的木材，即拥有森林管理委员会（FSC）认证的木材，才被认为是真正绿色的木材。由于芬兰最常见的树种是桦木和松木，其质地和强度都不是很好，所以如何通过后期的技术处理来提升木材的强度和其他的物理和美学特性，就成为芬兰设计师们一个重要的探索目标，包括早期的设计大师阿尔瓦·阿尔托、塔比奥·威勒卡拉（Tapio Wirkkala）和后起的设计新秀们。塔比奥·威勒卡拉的旋切胶合木雕塑见图10。

芬兰设计师塔比奥·安蒂拉（Tapio Anttila）设计的“KIEPPI LAMP”台灯就是一个创新运用改良后的绿色层压胶合木与当代前沿科技相结合的典型例子，见图11。设计采用了最新的LED技术，由一个免接触式的传感器来控制开关和调整灯光亮度，还可根据需求更换照明组件。创新的层压木生产工艺使它能够很好地将绿色的木质材料与高技术结合起来，并在生产过程中达到零浪费。材料的选择和使用体现着“生态轻足迹”的原则，突出了自然的生物可降解材料与高新科技结合所带来的优势。1 200 lm的LED灯泡及4 000 K的色温可以为任何地方提供充足的照明，又不会产生眩光。此作品80%以上的材料为获得FSC认证的绿色木材，不到20%为其他生态可持续材料，其外形优美、轻便、干净、简约。

由于资源的稀缺程度或者开采提炼过程的难易程度不同，各种材料开采加工过程中所耗费的内含能量比重也是不同的。有些材料，如金属等，虽然也可以回收使用，但是其加工过程所耗费的内含能量较大，而且回收使用时所耗费的再加工能耗也较大。有些材料的回收加工过程还可能会产生污水、有毒气体等各种环境污染物。因此，在选择材料时，应该慎重采用那些内含能量高的材料。在常规设计中，那种一味追求使用新型材料的做法是不可取的。

（二）充分利用回收的旧材料

充分利用回收的旧物、废料进行新的设计创作，这是可持续设计的又一主要途径，属于上文所提到的“从摇篮到摇篮”循环方式中的工业循环。当旧材料作为垃圾废弃时，不仅会造成资源的浪费，而且还会增加垃圾的处理量，增加环境压力。由于旧材料本身的内含能量早已融于其上一个生命周期之中，所以当其被重新使用而进入新的生命周期时，内含能量几乎为零，从而可以大大降低新生命周期的总体能量消耗，减轻环境压力。

利用回收材料进行设计创作并没有什么固定的方法，回收材料物理特性和形式的多样性，为设计师的设计创作提供了无限的可能，不管属于哪个专业领域，设计师们都可以根据自己的专业特点进行自己独特的设计创作。例如芬兰阿尔托大学学生将废旧汽车安全带经过纤维拆删而精心制成的人物肖像，见图12；清华美院访问学者、安徽农业大学袁金龙老师用旧牛仔衣裤精心裁剪拼贴的作品《徽韵》，局部节选见图13；笔者用旧酒瓶加工而成的灯具《新韵——酒瓶灯》，见图14；美国艺术家Willie Cole用旧鞋子创作的动物头像，见图15，这些设计都是很好的实例。

（三）节约用材，利于回收

节约用材，是达到“减量、环保”目的的最基本手段。上文介绍的芬兰“KIEPPI LAMP”台灯就是一个很好的例子，在设计师的精心设计之下，这款灯具的材料被减到了最少，可谓是“极简主义”设计的典范。

上文提到的以竹胶合板制作的东西方系列椅，见

图10 塔比奥·威勒卡拉的旋切胶合木雕塑①

图11 “KIEPPI LAMP”台灯②

①《Tapio Wirkkala：Eye, Hand and Thought》，Museum of Art and Design Helsinki，2000年。

②图片来源周浩明主编，《持续之道》，中国建筑工业出版社，2014年。

图16-17，是一款由中国和芬兰的设计师、工匠共同合作，融合了东西方设计思想的家具作品，体现了芬兰著名家具设计大师约里奥·库卡波罗先生的设计经验以及中国传统家具设计元素与制作工艺的和谐结合，从东西方系列椅的形态上，一眼就能看出其同时蕴含的东方和西方的影子。

以最少的用料达到最完善的功能和最完美的视觉效果，这是东西方系列椅的一大特点。东西方系列椅吸取了中国传统圈椅的结构和形象特点，但在许多方面又有创新。首先在吸取中国传统扶手特点时简化了扶手的形式；另外，中国的传统家具，尤其是大家较为常见的清代及以后的家具，一般皆用料粗壮，但东西方系列椅的设计师们在设计时充分考虑了“减量”这一关键的绿色理念，在兼顾作品视觉形式的同时，将所有构件的断面减到最小，从而尽可能地节约产品的用材。正如此款家具的主设计师之一约里奥·库卡波罗先生所说：“对于家具中的绿色设计，设计者无法对其作宏观调控，只能具体体现在设计之中，那就是用最少的材料做最多的工作，生产最多的产品，减少浪费，减少污染……”

窄板靠背，是中国古典家具的另一个重要特征。事实上，对于一般的椅子，其靠背中主要起作用的是其中间部分，中国古人早就注意到了这一点，而这一点恰恰又与设计小组“以最少的用料达到最完善的功能和最完美的视觉效果”的思想不谋而合，因此，东西方系列椅自然也被设计成了窄板靠背的形式。

除了节约用材，如何才能在产品寿命终结时方便对不同的材料进行分类与拆卸，这是可持续设计不得不考虑的一个重要问题。比如，现在很多食品包装袋常采用多层不同材料（纸、塑料膜、金属膜或镀层等）紧密粘合的方法，以有利于食品的保存，但同时却带来了在垃圾分类时无法将其彻底分开的麻烦，由此带来的懊恼和沮丧，最终导致人们抵触情绪的产生，但遗憾的是，很多设计师至今还没有意识到这方面的问题。

2010年中国世界博览会芬兰馆（“冰壶”）的设计，就在这一方面作了周密的考虑，见图18。芬兰馆主体采用钢结构，表面覆以可回收的纸塑瓦片，形成波浪形的表面图案，这与芬兰“千湖之国”的美称和波罗的海

图12　用废旧安全带制作的创意肖像

图13　《徽韵》（局部）

图14　《新韵——酒瓶灯》

图15　用旧鞋拼装而成的动物头像

的环境意象十分吻合。更为关键的是，整个钢架构件全部采用可拆卸的螺栓活动连接，见图19。由于世界博览会的绝大多数展馆都会在结束后面临拆除的命运，所以芬兰馆预先考虑了博览会建筑的这一特点，一旦展会结束，所有构件均可很方便地拆卸，需要时可以在任何适合的地方恢复重建。

在设计中，不同材料之间尽量采用灵活的可拆卸式连接，这是便于日后材料分类或再次利用的明智解决办法。

（四）扁平包装，节约储藏和运输成本

扁平包装，可以缩小产品的包装体积，减少产品储藏和运输过程中所占的体积，降低“灰色能量”的消耗，减少运输工具产生的碳排放，同时节约储藏和运输成本，提高产品在“全生命周期”中的绿色性能。“宜家”的家具之所以能够获得人们的青睐，在很大程度上有赖于其“自己动手”的DIY理念，同时所有的构件都可以装在一个扁平的包装盒里，人们通过自行车、公交车甚至手提肩扛就可以轻易带走，回家后利用赠送的简单工具就可以自己安装，这样的思路也增加了用户的参与感和成就感。

东西方系列椅采用的三角支撑的主体结构形式，除了其稳定的结构性能外，还有一个很重要的用意，那就是可叠摞性，如图17所示。与中国传统家具不同的是，在西方现代家具设计体系中，易叠摞放置也是衡量椅子设计好坏的主要内容之一。可叠摞式家具因叠置而能节省储藏空间，易于运输，减少运输成本。

芬兰设计师卡勒·洪博格（Kaarle Holmberg）设计的袋子椅的构思也是基于节省储藏空间，便于搬运这一思路，见图20。这款来自于芬兰的设计作品的主要材料是获得FSC认证的芬兰木材。该椅子靠背和座面以磁性闩锁连接在一起，合起来就是一个“袋子”，椅腿可以很方便地卸下，放入“袋子”就可以很方便地拎走，在一般搬运的情况下无需另外包装。可以拆分的组合式构件也有利于产品的批量生产，构思十分巧妙。

图16 东西方系列椅

图17 可叠摞的东西方系列椅③

图18 2010年上海世界博览会芬兰馆④

图19 芬兰馆的结构连接⑤

③由方海提供。

④Lucas Schifres拍摄。

⑤由芬兰驻华使馆提供。

图20　袋子椅[②]

折叠式家具、折叠式自行车等都是这一思路的典型例子。由笔者设计并在赫尔辛基“生态设计特别展”上展出的便携式竹胶合板折叠椅（见图21）吸收了传统“马扎”的折叠原理，以绿色竹胶合板、帆布为主体材料，既可以居家使用，又可以供野外踏青、钓鱼等休闲旅游时随身携带。通过优化受力结构和构造方式，本椅的构件被简化为三个长方形框架、一块亚麻布（或帆布）和四个金属螺丝。此椅子可拆卸、可折叠，操作简单，还便于更换受损构件，以避免因局部受损而导致椅子的废弃。折叠后的椅子占有极少的空间，便于移动、搬运，还有利于节约运输和储藏成本。

（五）长效耐用，维护方便

延长产品的生命周期，这是有效降低“全生命周期”中总体能量消耗及对环境影响的有效方法，而保证产品长效耐用则是实现这一思想的直接办法。

在产品设计中，保证产品的多功能性是实现产品长效性的基本办法。“成长的宝贝”，是一款为0~5岁儿童设计的日常用具，见图22—23，产品包含一套标准的木质零部件和极少量的金属构件，这些标准的零部件可以通过多种方式组合成不同功能的产品，从而满足儿童不同阶段的不同需求。孩子呱呱坠地时，它是一个摇床，稍大一点又可变成一个摇摆木马，再大些则又可以组装成一辆三轮小车或小推车。其“随着孩子成长”的设计思路使得产品能够很好地达到多功能的使用目的，延长了材料与产品的生命周期。产品以零件的方式扁平包装，也降低了运输成本。

（六）使用功能合理，产品本身符合人性化原则

作为一件供人们日常使用的产品，功能合理、使用

图21　便携式竹胶合板折叠椅

图22　“成长的宝贝”

图23　“成长的宝贝”实物展览

方便是其最基本的要求，虽然可持续发展理念的注入，使得设计的内涵随之扩展，但是满足人们的使用要求这一点却不会改变。

然而可持续设计比以往的任何设计都更加关注产品对人在生理与心理上的影响，更关注设计的使用功效。与以往的传统设计相比，可持续设计还在适应性和人性化等方面更为突出。

产品使用的舒适性是产品设计尤其是家具设计所要追求的最主要目标，而遵循人体工学的要求则是实现这一目标的基础。东西方系列椅的每个细部尺寸都经过了人体工学的精确实验，如椅子的长、宽、高，背板与座面、座面与椅腿的角度，以及其他各个方面的尺寸等都经过了精详的考量，充分体现了设计者“以人为本”的人性化思想。在这款家具设计中，对于涉及人体工学的一些具体尺度，设计者的考量都是以毫米来计算的。

竹躺椅是笔者探索人体工学的一件设计作品，见图24—25。这是一款因笔者希望躺着工作而催生的休闲型躺椅。躺椅靠背的倾斜度可以在三个档位之间自由调节，靠背上部的枕垫也可以根据使用者的身高上下调节，躺椅的两边扶手上各有一个翻板，可以放书，也可以搁放平板电脑。除了八副金属螺栓以外，竹胶合板是此款家具的唯一材料。躺椅的所有部件都可以拆卸，从而可以达到扁平化包装，方便运输和储藏的目的。

图24 竹躺椅

图25 竹躺椅的实际使用情况

四、结语

综上所述，可持续发展是未来人类社会发展的根本方向，可持续发展原则是人类未来发展的根本指针。各学科领域响应可持续发展召唤的目标是唯一的，但具体的实现思路和手段却是不同的，所切入的角度也是多样的。“全生命周期评价”，是目前较为全面的对建筑或产品的可持续性进行综合评价的科学方法。艺术设计作为一个横跨理工与人文、技术与艺术的特殊专业领域，也是人类实现可持续发展目标的一个基本支点，基于“产品全生命周期评价”而导出的可持续设计思路和方法，可以为设计师实现可持续设计目标提供指导。

参考文献

[1] CROSBIE M J. Green Architecture：A Guide to Sustainable Design[M]. Massachusetts：Rockport Publishers，1994.

[2] 360问答. C2C-从摇篮到摇篮[EB/OL]. (2017-11-24)[2020-01-02]. https://wenda.so.com/q/1530199175215177.
360 A&Q. C2C-From Cradle to Cradle[EB/OL]. (2017-11-24)[2020-01-02]. https://wenda.so.com/q/1530199175215177.

[3] 威廉·麦克唐纳，迈克尔·布朗嘉特. 从摇篮到摇篮：循环经济设计之探索[M]. 中国21世纪议程管理中心/中美可持续发展中心，译. 上海：同济大学出版社，2005.
MCDONOUGH W，BRAUNGART M. Cradle to Cradle：Remaking the Way We Make Things[M]. China Agenda 21 Management Center/China American Center for Sustainable Development，Translate. Shanghai：Tongji University Press，2005.

[4] THOMASS G，LOREN E A，THOMAS A F，et al. Living Spaces：Sustainable Building and Design[M]. Cologne：Könemann，1999.

[5] 周浩明. 可持续室内环境设计理论[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.
ZHOU Haoming. Theory of Sustainable Interior Environment Design[M]. Beijing：China Building Industry Press，2011.

[6] 周浩明. 可持续设计的实践之道[J]. 艺术与设计，2015(1)：164-169.
ZHOU Haoming. The Way of Practice of Sustainable Design[J]. Art and Design，2015(1)：164-169.