**以TRIZ系统思维支撑可持续创新**

卢彦群 卢玉坤 河北工程大学

**摘要：**可持续创新是实现社会及经济可持续发展的重要途径，然而如何获得工业发展的可持续性创新方法，是一个涵盖诸多知识领域且十分具有挑战性的问题。针对这一问题，提出了一种新工具：可持续指南。该工具基于TRIZ的两个关键内容：一是描述工程系统进化的规律，二是系统算符。为阐明这一方法的逻辑关系，并使没有TRIZ背景的人员也可以理解，特地引入洗衣领域的案例研究进行陈述。

**关键词：**可持续创新，系统思维，进化规律，可持续指南

**0 可持续发展**

尽管“可持续性”这一词在目前被不时地不当应用，甚至滥用，但可持续发展陷入困境的观点确实已在世界范围内获得共识。尽管“可持续发展”是市场营销领域里的一个关键“酷”词，尽管“绿色”已经显示出它的很强的资金吸引能力，但是研究领域仍是提法多余办法。

从许多文献中都可以看到：可持续性是指“满足当前需求而不损害子孙后代利益的能力”，这一定义看似简单，但直接关系到技术、经济、社会、生态及政治等各个方面，然而，几乎没有文献提出具体而精准的行动方案。表1列出一组可持续发展的最低需求条件，强调了造福人类的生态、经济和文化之间的协调发展。

表1 可持续发展最低需求

|  |  |
| --- | --- |
| 生态可持续性需求 | 地缘政治安全可持续性需求 |
| 1.产品和服务的经济消费与生态圈的生产率相一致 | 1.社会满足物质公平和社会公正的基本准则； |
| 2.经济消费产生的废品在生态圈的同化能力之内 | 2.治理机制到位，使知情者能够在决策中发挥有效的参与性作用； |
| 3.经济活动能够保护生态圈的基本生命维持功能，并保护地球生态系统的生物多样性和弹性 | 3.人民分享积极的社区凝聚力和对未来的集体责任感 |

有趣的是，从生态学和地缘政治的观点来看，这些条件与人类社会过去的发展条件并没有很大差别：从第一个条件看，史前人类就已经开始在生产和服务方面采用技术进化的手段和大自然进行了斗争。因此，可持续发展并不是一个新概念，但在当前条件下有不同的含义和不同的实现方法【1】。人类意识的潜在影响正在不断增加，因为人类与自然之关系的平衡一直都在发生着变化，比如，在原子弹的破坏力被证实之后，这一变化就更加清晰。

此外，产品及其生产过程所带来的消极影响改变了人类对自然的感知，从而使人民意识到，大自然已经不再支持我们现代的发展，一个可持续发展的新时代已经到来。

尽管在全球范围内完全一致的战略并不存在，但对生态变化紧迫性的认识有着普遍共识：我们必须在若干方面做出努力以达到可持续发展的目标。

**1 产品设计的可持续性**

在概念设计阶段，设计师就应该对与可持续发展密切的问题做出相关的选择。但是，由于传统工程学科的课程设置缺乏社会和环境能力的培养，所以多学科、可持续产品设计仍是一种挑战。

从实践的角度看，这是一种能力，需要新的教育模式来培养。从研究的观点出发，有两种途径可以实现：一是按一定的规程，集成其他领域知识要素，开发一种方法，旨在实现一个工程师真正的多学科综合；二是采用单一学科法，集成其他领域各学科专家的知识，旨在利用各学科单独的专门技能开展多学科讨论。

目前在各种文献中，第一种选择最为常见，而社会专家在设计工具的应用中很少扮演相关的角色，这就是说，任何特定领域的专家都不能完全理解其他领域的专业工具，因此，非常有必要开发出一个有用的方法，它能够综合性地概括不同学科的相关内容，即使没有专业知识，也很容易理解。后面提出的可持续性指南，可以实现这一目标。

在产品设计领域，有很多与评估、改进、管理和沟通相关的方法：比如，面向对象设计、生态设计和包括寿命周期评估在内的ISO 14000系列标准等。这些方法处于比较成熟的阶段，而且如果研究内容开放的话，相关公司可以成功运用。但是，对一个企业来说，要想集成运用生态设计常常比较困难，因为一些对设计资源有着重要影响的设计工具（这些工具有时会顾及经济准则但更加侧重于环境保护）仍属于专家理解的范畴。

根据拉索和雷加佐尼的说法，TRIZ的主要优势就是为生态设计提供了一套通用的指导方针和详细规则，以增强产品的可持续性【2】。在TRIZ文献中，涉及该领域的大多数论文都对生态设计和TRIZ核心概念作了对比，只有少数学者提出了设计工具的集成。以上两种情况中，学者们关注的是技术系统所使用的资源的减少，虽然他们考虑了技术系统的生命周期及其相关过程，但他们忽略了技术系统满足人类愿望的环境。因此，TRIZ领域并没有以系统性视野（比如用产品服务系统的方法）来研究可持续性发展。事实上，TRIZ学者通常会分析技术系统的环境足迹，但在资源消耗对环境的危害方面，没有考虑到可持续性应该将资源的使用与人类需求的满足联系起来。

高德库普将产品服务系统定义为一种产品、服务、参与者网络和支持基础设施的系统，这些基础设施力争保持优势，满足客户需求，并比传统商业模式对环境造成的影响更小。韦佐利指出：如果实现了人类“满足”的产品以外的创新，能够促进可持续性消费的根本性转变。从TRIZ的视角看，服务的引入是向超系统的过渡，也是在技术系统不存在的情况下的一种功能传递【3】。但有些学者认为，产品服务系统常常与可持续性联系在一起，只有韦佐利等人把该系统看作最终目标。美国国际环境规划署指出，产品服务系统不一定会带来可持续性解决方案，而且有时会产生意想不到的副作用【4】。

最近，在可持续性设计领域提出了一些指南，这些指南可用来对过程和客户之间的关系进行建模，以显示总体组织状况和客户需求。这些模型通常比较简单，所以许多不同知识背景的人都可以理解。这些指南和系统算符，从一个单一要素逐渐上移到超级系统，以助于复杂系统的理解。

一般情况下，可持续性设计会引入所有领域所分析的变量，从技术视角看，设计必须阐明新的需求及其预期值的显著变化（比如，从产品到服务常常需要修正技术系统）。

为满足这些变化的功能所引入的更适宜的技术系统都会产生新的冲突，解决了这些冲突，就可以避免在向可持续性过渡的过程中所产生的意想不到的副作用。传统的TRIZ有助于完成这一任务，其实，它已经广泛应用于冲突解决和技术转化领域，以提高过程效率。下面的“洗衣机按次付费”的研究案例可以说明传统TRIZ方法在上述系统中的应用：顾客不拥有洗衣机，只按洗涤次数缴费。在实验一段时间后，公司决定停止该项目，因为根据客户提议，需要设计一款新的洗衣机，以达到效率高、寿命长的目的。新的方案修改了引起新的冲突或改变它们的相对权重的一些参数值，例如，由于劳动成本的变化，使得安装和维护时间变得更加重要。

尽管经典的TRIZ可以有效地解决新兴的冲突，然而从另一方面讲，对于一个设计师来说，掌握基本的TRIZ知识也是不太容易的。因而，以“系统演化的客观规律是现实存在”为基础，对技术系统演化进行了较为一般化的描述，以提供一种无须TRIZ背景的工具，用以识别技术系统可能经历的进化方向。

**2、可持续性指南方案探究**

在可持续发展背景下，为满足某种需求，提出一种工具，以期帮助设计者系统地识别创新机遇。这项工作希望提供一种简单而系统的工具来指明给定技术系统的进化方向。已经辩清进化方向的具体设计不包括在该项工作内。

由于缺乏技术细节，所以利用更加抽象的分析以及以人为中心的工具，可以快速确定优先事项。

支持该项工作的一些理论基础将在后面介绍。探索开始于弗洛伦斯基文化视野的并行说:“科学和技术可以被解释为空间构成中的活动，而科学与技术的中间区域则是把现实视野与抽象洞察力结合在一起” 【5】。

事实上，如果要让一个人思考一个系统，他很可能会想象一件真实的东西；相反，如果让他指出技术系统的边界，他将会把想象力集中在更加抽象的层面上，因为许多复杂问题在抽象层面上更易解决。此外，除了“大、小”等要素外，技术系统的轮廓并不能体现技术系统的进化。然而，技术系统是通过属于实际边界空间的交互作用来“通讯”的，因此，可以认为这种相互作用反应了它们的进化踪迹，因而，利用相互作用的空间来描述进化过程是可行的。

**2.1 参考模型**

在提出的工具结构上，所采用的主要参考模型是马斯洛需求层次理论、阿特舒勒工程系统演化定律(LESE)和系统算符【6】。其他一些TRIZ模型只是在工具构建过程被考虑过，但没有明确地列出。

由于文献中缺乏必要统一的定义，特地提出了一些参考命名，以更清楚地描述下述概念。在给定的环境中，即在给定的空间和时间范围内，个体的预期利益，被定义为“部分需求”。最终的需求，也是最重要的需求，是人类的基本预期。结构上的定义以及在集体层面所赋予的最终需要的重要性，都与社会可持续性有关。

因为需求进化不在该项研究的范围之内，所以引入需求定义只是为讨论创造必要的条件。为了更加简单明了地展示该工具的工作机理，采用了马斯洛的需求层次结构说，从生存需求到自我实现，再到人类潜能的发挥，最终需求被分成不同的类型，而需求的层次结构通常被描绘成金字塔状【7】。

尽管省略了对工程系统进化定律和系统算符的详细描述（因为它们是TRIZ领域所熟知的），但是，对其中与该项研究有关的内容进行了讨论。虽然工程系统进化定律在抽象层次上概括了系统演化的路径，但当它们被具体化至特定模式时，它们在物理层面上提供了更详尽的指向，因而可视为经典TRIZ创新标准体系所涵盖的内容。

系统算符是一种描述系统思考方法的模型，它是“天才的”、“创造性问题”求解器，但从实用的角度来说，它也是一种强大且易于使用的复杂情况建模工具【8】。横坐标的含义之一是时间序列，鉴于可用性原因，该工具只分析流程的当前列；当求解器向超系统移动时，对画面上方同一列中的元素也在同一时刻进行分析；但是，如果最后一批元素是它们的一部分，它们的寿命通常比子系统元素长。从这个角度考虑，工具结构应能扩展问题分析的时间边界，因此，该工具能够考虑初始画面中超出技术系统运行时间的一些问题。

前面介绍了可持续性指南的参考模型，下面引入构成其特征要素的两个主干基础：

其一：人类与自然的关系，由涉及技术系统的一系列的相互作用所组成，是工业社会固有可持续性的最重要的关系，这些交互作用能够提供与可持续性相关的信息。每个技术系统都有它的配置模式，钱德拉斯卡兰把配置模式定义为一个技术系统与其环境之间的关联（结构关系及活动）描述【9】；

其二：技术系统，在抽象级别上，连接需求和资源。如上所述，部分需求是紧密联系在一起的，而最终需求的层次是由“马斯洛金字塔”来描述的【10】。

前述概念由图1所示。

**2.2 工具描述**

这里，对工具结构及其应用方法作如下描述：首先需要对相关的TRIZ模型和关键概念进行一些参照；此外，如前所述，没有TRIZ背景的用户也能够使用该工具；之后，设计人员被看作是这一工具的使用者。

该工具源自于对配置模式的辨别，现在已经满足或者部分地满足了特定的需求，此后，设计者在系统算符的超系统环境下，来研究与满足部分需求相关的技术系统，直到满足最终需求。除了要求设计者使用一种主观模型来分析这些配置模式之外，还必须考虑物料流和能量流。

马斯洛的

需求层次

最终需求

技术系统n

技术系统i

资 源

部分需求

图1. 可持续性指南的主干结构

首先，可以用以上信息构建可持续性指南；接下来，对方案做出一组组定义；然后，设计者应该对新的研究做出进一步说明；第四，因为某些方案有时可以合并，因此会出现了一个新的“宏方案”，由于彼得罗夫提出的发展需求与工程系统进化定律的发展规律有很大的相似之处，所以，“宏方案”可以通过使用类似于工程系统进化定律的方法来识别【11】。

后面的三个步骤分别与静力学、运动学和动力学相关。值得强调的是，分析的焦点是由元素之间的交互所构成，而不是元素本身。

第五，该工具快速检测到当前配置模式的改进方向，包括生态效率方向；第六，提出未来可能发生的、能够改变当前资源消耗与需求之间关系的方案；最后，在新技术、新工艺、新材料的引入下，将当前的配置模式转变为新的配置模式。以上所提议工具的总体流程如图2所示。

2.2.1部分需求辨识

从给定技术系统的当前环境文开始，设计者将其动机定义为部分需求和与需求传递相关的要素。这里，经典TRIZ中“有效功能”的概念【12】，是指该工具具有满足部分需求的功能。当前环境的最终描述必须包括：

（1）一个完整的有效功能模型：技术系统、目标对象（个体、集体等）以及功能参数；

（2）部分需求：因为识别顺序取决于不同的因素：问题类型、部分需要、设计者的个人态度等等，所以并不能说它是先验的；有效功能通常是设计者识别的第一要素，而后是技术系统、目标对象，最后是功能参数。

2.2.2布局结构建模：

对当前的布局结构进行建模，涉及有效功能、潜在的能量流和物料流等要素；设计师可以利用自己擅长的技术背景和经验选择建模方法，如：草图，流程图等。

2.2.3从部分需求到最终需求

图2. 工具流程图

（1）如果识别出的部分需求不是最终需求，就要像第一步那样，对超级系统布局结构进行分析；这个布局结构利用了在这一分析中确定的最终功能参数。

部分需求辨识

配置方式建模

从部分需求到最终需求

从部分需求到最终需求

各系统层级资源重配路径

方案变化

从交互返回到技术进步

（2）在对新的布局结构的识别中，设计者重复步骤2.2.1和2.2.2。

（3）重复2.2.3，一直达到最终需求。

2.2.4可持续性指南

可持续性指南表达了设计者现有的知识，它不需要通过阶段检索整合外部信息。从前几步顺序的底端开始，配置结构模型占据了可持续性指南的不同层次。根据TRIZ第一进化定律，可以以类似于能够传递一种功能的最小技术系统模型的方式来分解这些模型【13】。

在每个层次上，设计人员都要详细地标识出工具、目标对象、使能者、供给和资源等：

●工具是指在步骤2.2.1中标识的实现有用功能的技术系统；

●目标是指步骤2.2.1中所定义的对象；

●使能者是指所有的技术系统，它们对工具进行有效补充，以保障其正确运行；

●供给是指所有的服务或基础设施，这些供给能够使资源对工具或使能者发挥有效作用；

●资源被标识为能量和物质流。

如果一个要素位于两个或多个不同的图框中，设计者可以将其视为一个独特的元素，或者可以将其分离，以便进行更详细的分析。图3为可持续性指南的生成结构。

需求层

目标

工具

使能者

供给

资源

图3.可持续性指南结构

该指南允许引入从资源流到需要满足的交互，对于每一个层次，设计人员要标识出元素之间的交互，然后，标识资源路径。资源路径从可持续性指南的左侧向右侧移动，它收集从资源移向需求的交互。它可以被分成不同的分支，例如，如果一个资源被两个元素所使用，那么这两个交互的分支都属于资源路径，就像图5中的案例所示的那样。

2.2.5重新安排每个系统层级的资源路径

（1）检查元素之间、元素和资源之间是否缺乏交互，缺乏之处则是当前配置模式改进的潜在方向。工程系统进化第一定律指出，在进化过程中，提高资源路径的灵活性水平，可以实现每个资源路径从单项交互到多项交互、从一个分支到多个分支的变化，从而提高配置结构的可控性；

（2）在当前要素的“供给-使能者-工具-对象”链中寻找路径跳转：一个跳转确定了一个新的调研方向，以利于改进配置模式的整体效率；

（3）每个资源路径都有其运行时间，它们的重叠显示了提高满意度的新方向。

2.2.6方案变化

这一步可以确认在配置模式中引发重要变化的各元素之间的相互作用。根据可持续指南所描述的当前发展层次，有两个可能的方向：一是提出增强各层次之间的相互作用的方案;二是根据工程系统进化定律描述的卷积趋势，来提出指南交互作用的“去物化”【14】。

（1）类型相似的元素（如工具）保留在可持续性指南的同一栏。交互占用了栏与栏之间的空间（例如使能者和工具之间的空间）。如果两栏之间有若干相互作用，那么这些相互作用就会整合它们的物理效应（例如用蒸汽取代水和热能）。如果一个元素位于两个栏中，那么在其上面和下面的交互作用将趋于整合。

（2）当可持续性指南刚刚覆盖前面步骤中所描述的进化路径时（如，只有一个层次可以满足最终需求），唯有工具与对象之间保持交互以利于需求传递过渡到超系统。资源路径消失并非因为缺乏，而是因为它们隐藏于超系统中。

通过后面提出的案例研究，最终进化方向便更容易理解。但是很明显，过渡到超系统可能会导致服务需求的增容，因此必须强调，过渡可能是由最终需求之间的相互关系来导向的。

2.2.7从交互返回到技术开发

在建立新的可持续性指南以适应新的改进方向之后，常常会需要设计一个或多个技术系统，这一阶段继续使用产品开发的标准技术。

**3.案例研究：清洗衣物**

为了更好地阐明所提出的工具，这里引用了一个衣物清洗领域的案例研究。家用电器龙头企业之间的相互竞争，首先要完成的任务是，实现资源消费的彻底变化。这是一个有趣的案例，因为洗衣机的批量投放，导致了区域核算的大量资源消耗，而且技术系统与人类重大需求的满足有很大关系。该案例研究是国家级节能节水项目的一个子项目，它既重视主要步骤，也强调了更加关键的环节。

3.1 部分需求辨识

以一个普通的、通常都用洗衣机来清洗衣物的城市家庭作为参考背景，清洗过程要实现“消除污渍、去除异味和病原体”的目的。一个通用的功能参数“衣物清洁度”可以涵盖这些目的，于是，清洗后的衣物的可用性就成为部分需求，这里衣物是对象，而有用功能就是“清洁”。

3.2 布局结构建模

衣物清洗模式的构建由“收集”、“分类”、“清洁”、“干燥”和“熨烫”等几个步骤组成。该案例中，用凯斯克茵所提出的模型进行技术系统分析，并整合了其他参考模型中的能量、材料和信号模型【15】。图4描述了衣物清洗的一般技术系统的功能模型。

3.3 从部分需求到最终需求

在当前情境下，男士们会把干净衣服（部分需要）从衣柜里拿出来穿上。从功能的角度来看，是人（即对象）穿着（功能参数）干净的衣服。用马斯洛的层次理论可以确定最终的需求是:“衣服”。

收集收集

分类收集

清洁收集

干燥收集

熨烫收集

收集的脏、皱衣物

分类后的脏、皱衣物

分类的净、湿衣物

分类的净、干衣物

干净平整分类衣物

图4. 衣物清洗通用技术系统功能模型

3.4 可持续性指南

图5所示的可持续性指南本身概括了元素及其交互状况的识别过程，而模型的建立主要基于家用电器的通用信息。

为缩减讨论篇幅，当无需进一步阐释工具的应用时，就会去除诸如衣物筐之类的一些元素。

能量

水

洗涤剂

空气

自我实现

尊重

属性

安全

生理需求

人

衣橱

熨斗

衣架

衣物

洗衣机

资源

供给

使能者

工具

对象

需求层次

图5. 可持续性指南

（为分辨资源路径的分支，同一资源路径下的交互用同一颜色表示，但所有交互途径相似。）

3.5 重置各系统层次的资源路径

3.5.1 观察图4，能源路径由两种相互作用组成，但与衣架没有交互作用。一种新的改进措施是在这个元素中引入能量，可这项措施并不新颖，因为在某些情景中使用烘干机已经很普遍了，而有趣的是，方案中并未提出节约资源需求，但却显示了工具搜索相关信息的能力。的确，在这种情况下，烘干机的存在显而易见，但它并不具备普遍特征。空气路径显示了当今需要拓展的研究方向：在熨斗和洗衣机里使用空气。

3.5.2 无需任何补给，所有资源都被传送至工具。为提高洗涤有效性，可在洗衣机的水里引入新元素（例如水质柔顺剂）。新的技术系统应该利用水的特性来改善一个特定领域，它与引入一种新物质并不对应。

3.5.3 案例研究表明，设计人员需要对该子步骤给予比其他子步骤更多的关注，因为可持续性指南并未指明时间顺序。利用基于可持续性指南的近邻准则对组成不同资源路径的交互情况进行审视：围绕熨斗的能量和水的相互作用具有相同的有效时间；与之相反，空气与衣架的相互作用在不同的时刻发生。如果这些相互作用发生在同一时刻，那么当空气干燥衣物的时候，熨斗也作用于衣架，反之亦然。

3.6方案变化

3.6.1当关注能源和使能者空间时，需要把针对熨斗的能量流（热）和物料流（水）整合起来。然而，这并不是说要引入一个外部蒸汽发生器，因为它是熨斗的一部分。早期的洗衣机缺乏能够整合两种资源的供给。这种供给可以是锅炉，也可以是未涵盖在可持续指南中的不同的手段，如：国家电力系统和供水系统，一个太阳能加热系统或者一个热力分配系统。

该步骤中提出的场景通常发生在上一步指令完成之后。在前面的例子中，衣架和熨斗努力利用水、能量或它们的混合物而达到整合，与此同时，新的资源和衣橱之间的相互作用随即出现，继而，衣服和熨斗、衣架与衣服以及衣服与衣橱之间的相互作用的统一也随之出现。在这一点上，衣橱就变为一种技术系统，它可以利用蒸汽和空气来改变潮湿和皱巴巴的衣物。如果只是为了解释这一子步骤，那么这个演化瞬间应该达到：

3.6.2 通过新技术的发展，衣橱可以替代洗衣机本身。最终，可持续性指南仅提供工具-对象交互以及空气、“蒸汽”和清洁路径。如果超系统完成了衣物的清洗和熨烫，前面的这些交互将会消失，但当新的情境出现时，会引起工具应用程序的重复。

3.7 从交互返回到技术进步

为寻求新技术，本案例研究采用了一种面向功能的方法，但其结果与本文的目标不同。该工具的应用为这一案例研究提供了几种方案：依据源自于主要项目活动的信息对这几种方案进行了分类（见表2）。

表2. 指南为案例研究所提出的方案

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 方案 | 不可理解的方案 | 宏观方案 | 旧方案 | 发展中的方案 | 可实行的方案 |
| 18 | 6 | 4 | 3 | 3 | 6 |

▲“方案”是指应用工具所辨认的方向；

▲某些方案非常相似，他们被概括为“宏观方案”;

▲某些方案以现今的技术视角无法理解；换句话说，为了给予其合理解释，需要获取外部知识；

▲“旧方案”是指只仅应用于过去场合的方案;

▲“发展中的方案”是指他们首次应用于市场或仍处于研究阶段的方案；

▲“可行性方案”是指行业中出现的新方案。

尽管发展中的方案用于理解当前研究方向很有优势，但3.5所提供的可行性方案明显地表现出更具实用性；相反，衣物清洗领域里的专家对3.6中可行性方案所提供的机会并不感兴趣。这些专家们的判断主要方向是用户与技术系统之间的全新交互的引入问题，然而，常常可以看到，引入过于创新的交互，对于生态设计和产品服务系统方法论**[16]**来说具有风险。与此同时，专家们一致认为，这些可行的方案肯定会提高人们的满意度，并能节约资源。

**4．结论与展望**

针对可持续性问题，提出了一种新的初步分析的方法，因该方法具有抽象特征，所以可以应用于不同的领域。而案例研究凸显了该方法的一些预期特征：一旦入门，就可以简单而快速地加以运用，并且可以程式化地对设计者进行引导。有趣的是应该注意到，在衣物清洗领域的一些创新，已经在主要项目进化取向的信息检索中得到了有效的应用。不管是从技术还是商业角度来看，有关相互作用演化的描述，似乎都是一种有效的手段，而且即使对可行性方案演变的理解存在困难，这些结果也得到了广泛的确认。因此，建议将该方法与企业已经建立的业务方法整合运用。

到目前为止，虽然该方法还没有将已确定的方案与它们实现可持续性的能力进行比较，但它提供了一种技术系统的进化方案的建模方法，该方法强调了资源和需求之间的关系，引导工程师趋于面向可持续性设计。这些方案的可持续性评估是下一步的研究方向，但模型似乎能够整合这方面的内容，从而提供一份专业信息摘要。

**参考文献**

[1] 檀润华，创新设计--TRIZ：发明问题解决理论[J]，机械工业出版社，2005，pp.20-89.

[2] Meadows D., Randers J., Meadows D., “The limits to growth. The 30-Year Update” [M], Chelsea

Green Publishing Company, 2004, ISBN 978-1-931498-58-6, pp. 235-263.

[3] 马建红，檀润华，基于TRIZ及ABD的创新设计研究，工程设计学报[J]，2006， 12（4）：193-198.

[4] 徐志刚，基于TRIZ的产品创新设计研究及软件开发，[D]，2009,6，pp. 20-49.

[5] Chen Zishun, Tan Runhua, Study on integrated application method for AD and TRIZ, Proceedings of PROLAMAT2006[C], IFIP TC5 International Conference, Shanghai, 2006, pp421-432

[6] 邓杰，基于TRIZ的机械产品创新设计[D]，2010,06，pp. 3-26.

[7] Kuo T., Huang S.H., Zhang H., 2001 “Design for manufacture and design for ‘X’: Concepts,

applications, and perspectives” Comput Ind Eng [J].2001 12; 41(3), pp. 241-260.

[8] Knight P., Jenkins J.O., , "Adopting and Applying Eco-Design Techniques: A Practitioners

Perspective", Journal of Cleaner Production[J], 200917(5), pp. 549-558.

[9] 檀润华，张瑞红，曹国忠，基于ＴＲＩＺ的产品创新设想产生，管理工程学报[J]，Vol.19(4):141-143

[10] 李向东，范玉青，段国林，檀润华，面向网络化制造的中小城市企业协同管理平台研究，计算机集成制造系统[J],2005，Vol11(11):1564-1570

[11] 刘芳，江屏，张瑞红，檀润华，基于自底向上法的功能相似产品平台设计，计算机集成制造[J]，2005，11（7）:947-952

[12] Ikovenko S., “Problem Identification Approaches in Sustainable Design”, TRIZ Developers Summit 2007[C], http://www.triz-summit.ru/en/section.php?docId=3738 (accessed June, 15 2010).

[13] Ecological and Economic Basics”, http://www.pre.nl/pss/download\_PSSreport.htm (accessed June, 15.)

[14] 曹东兴，檀润华，概念设计中行为矩阵模型的公理化验证，中国机械工程[J]，2005，16（4）：337-340

[15] Vezzoli C.A., 2010, “System Design for Sustainability. Theory, methods and tools for a sustainable “satisfaction-system” design” [M], Maggioli Editore, ISBN 978-88387-4440-8, pp. 1-88.

[16] Esty D.C., Winston A.S., 2006, “Green to Gold. How Smart Companies Use Environmental Strategy to Innovate, Create Value, and Build Competitive Advantage”, [M] Yale University Press, ISBN 977-0-300- 1997-8, pp. 7-64.