

基于 TRIZ 与实例推理原理的 产品绿色创新设计方法

刘志峰 高 洋 胡 迪 张敬东
合肥工业大学,合肥,230009

摘要:为开发环境友好型绿色产品,提高绿色产品的创新效率,提出了基于 TRIZ 和实例推理原理的产品绿色创新设计方法。以本体论为基础,给出了绿色产品设计实例的表达机制,构建了绿色产品设计实例的本体库,实现了产品绿色创新设计案例知识的检索、重用和修正。建立了绿色设计属性与 TRIZ 冲突矩阵 48 个工程参数之间的关联表,实现了绿色设计属性向 TRIZ 工程参数的快速转化。建立了基于 TRIZ 和实例推理原理相结合的产品绿色创新设计支持平台,并以洗碗机底板的创新设计为例讨论了所提出方法的正确性和有效性。

关键词:创新设计;绿色设计;TRIZ;基于实例的推理;本体论

中图分类号:TH122

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.09.021

Green Innovation Design Method Based on TRIZ and CBR Principles

Liu Zhifeng Gao Yang Hu Di Zhang Jingdong
Hefei University of Technology, Hefei, 230009

Abstract: To assist designers to develop green products with better environment-friendly performance, and improve the efficiency of the green product innovation, a product green innovation design method was proposed based on TRIZ and CBR principles. The case representation mechanism of green products was proposed based on ontology, and the ontology database of green products' design cases was constructed, which realized the retrieve, reuse and revise for innovation knowledge of product green design case. To achieve the rapid transformation from green design attributes to TRIZ engineering parameters by building the associated table between TRIZ engineering parameters and green design. Finally, a green innovation design support platform for products was developed based on TRIZ and CBR, and the correctness and feasibility of this method were illustrated in a bottom part design of dishwasher.

Key words: innovation design; green design; TRIZ; case-based reasoning(CBR); ontology

0 引言

近年来,产品创新设计方法及理论的研究得到了充分的发展,尤其是发明问题解决理论(theory of inventive problem solving, TRIZ)和其他产品设计方法的集成,成为了很多学者研究的重点。在产品创新设计冲突消解研究方面,何川等^[1]将 TRIZ 理论应用于产品概念设计阶段的冲突消解,解决了产品创新设计方案的生成问题;刘晓敏等^[2]将 TRIZ 与约束理论(theory of constraints, TOC)相结合,利用所构造的产品当前实现树、冲突解决图表和 TRIZ 矛盾冲突矩阵解决产品设计冲突问题。在基于知识的产品创新设计研究方面,姜亮等^[3]将本体概念和语义网技术与 TRIZ 相结合,提出了基于本体的技术创新设计方法,实

现了知识重用和知识共享在产品创新设计中的应用;为了实现客户知识在产品创新设计中的应用,杨育等^[4]提出了基于 TRIZ 的客户协同产品创新设计方法,并建立了面向知识利用的协同产品创新框架,能够实现从客户知识→产品工程参数→产品创新原理解的理解的映射。在产品的快速创新设计研究方面,张付英等^[5]将 TRIZ 进化理论集成到产品创新解的产生环节,能够预测未来技术的可能结构状态,指导设计者沿着正确的方向产生创新解,实现产品快速创新设计;高常青等^[6]基于 TRIZ 中的问题解决工具及分解重构原理,建立了支持原理、结构集成化创新设计的实例表达机制及其编码规则,提出了支持产品原理、结构创新的统一设计流程,能够支持产品结构的快速创新设计。在产品创新设计系统开发方面,王冀强等^[7]将 TRIZ 工具作为构建实例库的规则,并据此开发了基于 TRIZ 与实例的计算机辅助创新系

收稿日期:2011-02-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(5077501);广东省重大科技专项(20090803)

统;杨伯军等^[8]根据标准解方法在产品创新设计中的应用过程和已有标准解的方法流程,开发了基于标准解方法的计算机辅助创新软件;镇璐等^[9]开发了基于 TRIZ 理论创新知识查询平台,实现了面向产品创新设计的知识查询;黄兆飞等^[10]从功能、结构和作用原理三个方面研究了专利信息的获取方法和规范描述,构建了专利知识库查询系统,用于支持产品创新设计。

上述研究取得了一系列的研究成果,但是在产品绿色创新设计的研究上还较为匮乏,尤其是在利用 TRIZ 方法与实例知识来实现产品绿色创新设计的研究方面。本文将实例推理方法和 TRIZ 相结合,提出了基于 TRIZ 与实例推理原理的产品绿色创新设计方法,并在该方法指导下开发了产品绿色创新设计支持工具,用于产品的绿色创新设计。

1 基于实例推理与发明问题解决理论的产品绿色创新设计

1.1 基于实例的推理

根据调查,产品设计活动中大约有 75% 左右的设计是基于实例的产品设计^[11]。基于实例推理方法(case-based reasoning, CBR)将知识的表达与实例库建立相结合,以过去实例属性为特征来实现产品的设计,所以 CBR 方法成为近年来人工智能领域的一个研究热点^[5]。基于实例推理的过程如图 1 所示,主要分为 4 个步骤,即检索、重用、修正和保存。CBR 的优点主要有:①能够迅速检索相关成功案例并解决新的问题,缩短产

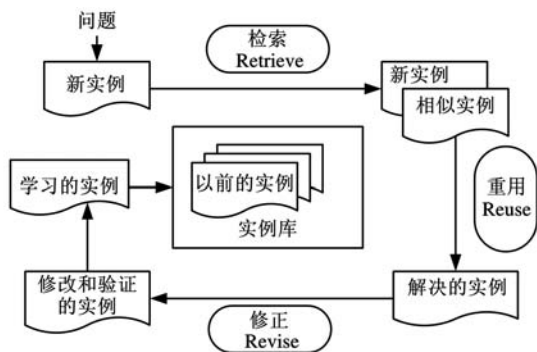


图 1 基于实例的推理过程

品开发时间;②具有学习能力,通过学习将新的案例存储于数据库中,便于下次案例的检索和使用。但是将 CBR 方法应用于产品绿色创新设计中存在一些不足:①当案例库中没有相似案例时,不能给出问题的解决方案;②目前的 CBR 技术多针对某类产品和特定领域的应用而展开,不涉及所有的技术领域^[5];③CBR 是基于以前成功案例来解决问题的,创新水平不高,不能系统地指导设计人

员进行创新设计;④缺乏有效的实例表达机制。

1.2 发明问题解决理论

以 Altshuller^[12-13]为首的研究人员在分析世界各国 250 万件专利的基础上,提出了发明问题解决理论,即 TRIZ,它是一种创新性解决问题的理论。在 TRIZ 理论中,设计过程遇到的问题是冲突来描述的,设计人员在设计过程中首先要保证或提高产品的某些内部性能,但这种提高往往导致产品其他内部性能的下降,即设计中往往存在冲突^[7],TRIZ 解决冲突的流程如图 2 所示。TRIZ 的优点体现在它为创新设计过程中矛盾问题的解决提供了新思路,能够系统地进行创新设计,而且最重要的是 TRIZ 涉及各种技术领域的创新。但是其缺点是:①从零开始创新,解决问题的时间较长;②没有自我学习能力,不能积累成功的案例;③设计人员需要具有丰富的设计经验和知识,以及具备能够使用 TRIZ 解决实际问题的能力。

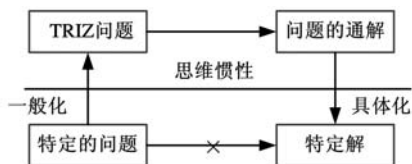


图 2 TRIZ 求解的一般过程

1.3 基于 CBR 与 TRIZ 的产品绿色创新设计

基于 CBR 与 TRIZ 的产品绿色创新设计,是在 CBR 方法的基础上,结合 TRIZ 理论,利用两者的优点弥补相互的不足(两种方法的比较见表 1^[14])从而实现产品的绿色创新设计。基于 CBR 与 TRIZ 的产品绿色创新设计流程如图 3 所示,其具体步骤如下:

表 1 CBR 与 TRIZ 的比较

CBR	TRIZ
限于特定的技术领域,有碍于创新	拓展到所有技术领域,利于创新
规则设计	创新设计
从已有的案例中给出解决办法,如果案例库中没有相似案例的话,不能找到解决办法	无借鉴,从零起点开始寻找问题的解决办法
具有记忆能力	没有记忆能力,每次需要重新开始
容易操作,易使用	要具有一定经验,操作难

(1)相似案例的检索。根据待改进的绿色性能查找案例库中的相似案例,套用案例的解决办法,或者借鉴案例的思路对其进行修改以形成产品绿色创新设计的解决方案。

(2)设计问题向 TRIZ 工程参数转化。当案例库中没有相似案例时,需要 TRIZ 工具的指导

来进行系统的创新设计。分析设计问题,确定冲突并明确要改进和恶化的设计属性,然后利用关联表将其转化成冲突矩阵相应的工程参数。

(3)利用冲突矩阵进行创新设计。针对上步得到的工程参数,利用 TRIZ 冲突矩阵中相应的发明原理消解冲突,形成创新设计方案。

(4)方案的可行性分析。当有多个创新设计方案满足冲突消解的要求时,需要从创新设计方案的经济性、技术性、拆卸性和回收性上对创新设计方案进行评价,来确定最优的创新方案。

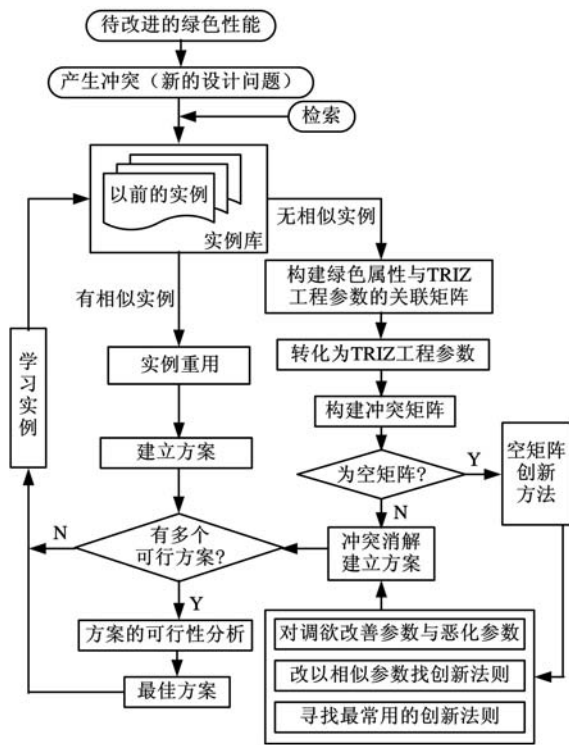


图3 基于 CBR 与 TRIZ 的绿色产品创新设计流程

2 面向绿色产品创新设计的实例推理技术

2.1 产品设计知识

产品设计知识是人类在产品设计过程中总结的经验和规律。任何产品设计都是利用一定的知识和经验、从定性到定量,综合运用各种知识的过程^[15]。因此实现设计知识的有效利用,能够支持产品快速设计,缩短产品开发时间,提高产品创新设计水平。产品设计实例知识的表达是基于实例推理的产品设计方法中的关键部分之一,但是当前产品实例知识表达不能很好地满足产品功能、行为等语义信息描述,不能有效地支持产品设计。

2.2 基于本体的绿色产品设计实例表达

本体论(ontology)是一种概念化的说明,是对客观存在的概念及其关系的一种描述^[16]。本体定义了共享的词汇,提供了概念的分类和关系,

有力地支持了知识的表达。另外本体能够从形式化上描述知识,能够实现产品设计知识跨学科和跨领域的应用和共享^[17]。因此基于本体的实例设计知识表示方法可以弥补 CBR 方法在实例表达机制上的欠缺,有效地支持绿色产品创新设计实例的表示。文献[16]给出了本体的定义。

定义 1 本体是某一领域 D 的概念化描述,它可以用一个四元组 $Ont = (D, Con, Att, Ass)$ 表示。其中, D 为本体应用的领域集; Con 为领域 D 中的概念实体的有限集; Att 为概念实体属性的有限集; Ass 是概念实体之间的关联函数。

产品绿色设计属性的改进一般通过产品系统、部件或零件的绿色性能的改进而实现,而系统、部件绿色性能的改进最终也归结于零件绿色性能的改进,因此可以用基本元和复合元来描述产品绿色创新设计实例的组成,图4给出了绿色产品设计实例本体结构。

定义 2 基本元(basic unit)。基本元是描述实例的最小基本单元,不可再分,用 BU 来表示。

定义 3 复合元(complex unit)。复合元由若干个基本元组成,可以再分,用 CU 来表示,其中 $CU = (BU_1, BU_2, \dots, BU_n)$

定义 4 复合元本体的描述。复合元是由若干个基本元组成的复合体,其描述如下:

$$CU_{Ont} = (CU_D, CU_Con, CU_Att, CU_Ass)$$

其中, CU_D 为绿色产品设计实例的复合元域; CU_Con 为绿色产品设计实例复合元的概念实体,具体组成见表2; CU_Att 为绿色产品设计实例复合元的概念实体属性,具体组成见表2; CU_Ass 为绿色产品设计实例复合元的概念实体关联,具体组成见图4。

表2 复合元概念实体的组成

概念实体	属性
系统/部件功能	字符属性
系统/部件名称	字符属性
所属产品	字符属性
零件组成	字符属性
回收性能	字符属性
拆卸性能	字符属性
成本	货币属性

定义 5 基本元的本体描述。根据本体的概念,用4元组来定义基本元的本体:

$$BU_{Ont} = (BU_D, BU_Con, BU_Att, BU_Ass)$$

其中, BU_D 为绿色产品设计实例的基本元域; BU_Con 为绿色产品设计实例基本元的概念实体,主要由基本信息(BC_Con)、绿色设计属性

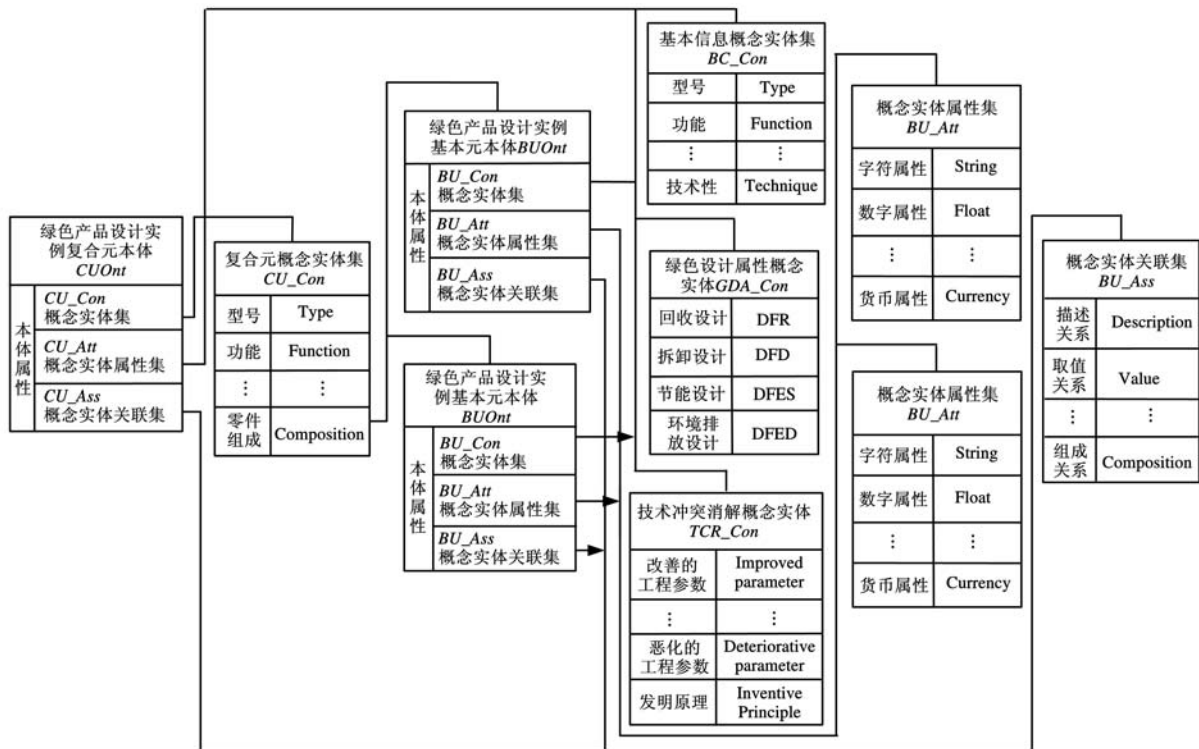


图 4 面向绿色设计的产品实例本体结构

(GDA_Con)和技术冲突消解(TCR_Con)三类概念构成,具体组成见表 3;BU_Att 为绿色产品设计实例基本元的概念实体属性,具体组成见表 3;BU_Ass 为绿色产品设计实例基本元的概念实体关联,具体组成见图 4。

表 3 基本元概念实体的组成

概念实体	属性	概念实体	属性		
基本信息	零件名称	绿色设计属性性	材料种类		
	零件功能		材料重量		
	所属产品		可降解/再生		
	所属系统部件		材料识别		
	回收性能		无毒无害		
	拆卸性能		拆卸设计	连接数量	
	技术性			连接材料	
	经济性			连接类型	
	几何特征		零件可达性	能源/资源节约设计	动力/传动系统
	零件材料		零件形状		结构设计
	环保法律法规		零件数量		工作模式
	改进方案		技术冲突消解	环境排放设计	能源/资源转化
欲改善的实际参数	长寿命设计				
恶化的实际参数	固体、液体和气体排放				
改善的 TRIZ 工程参数	噪声				
恶化的 TRIZ 工程参数	辐射				
采用的 TRIZ 发明原理					

2.3 实例的检索

为了提高检索效率,本文采用检索机制和过滤机制两种机制(图 5)相结合的方法来进行绿色产品设计实例的检索。

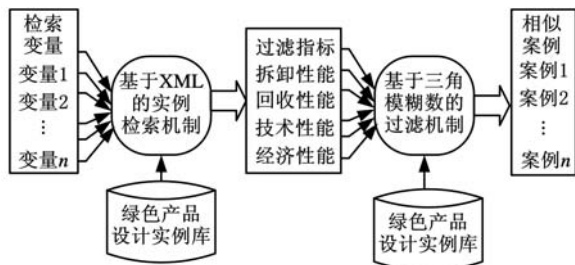


图 5 绿色产品实例检索模型

2.3.1 基于 XML 的实例检索机制

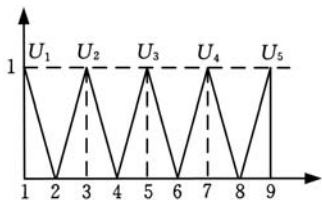
本文采用 XML 技术表示本体,采用 XML-QL 查询语言实现实例检索。基于 XML 格式的表达方法具有很强的表达能力,易于阅读,便于组织、管理、维护和搜索知识点,而且可以利用 XML 结构中的元素类型和属性表示本体对象和属性,利用 XML 的嵌套结构描述本体中的层次关系,从而实现领域本体在 XML 结构中的映射,形成领域本体知识的 XML 表示^[18]。

采用 XML-QL 查询语言实现实例检索,该语言基本语法结构是 WHERE/CONSTRUCT,其中 WHERE 指明要检索的对象、变量以及条件,而 CONSTRUCT 部分指明要检索出的结果。

2.3.2 基于三角模糊数的过滤机制

通过检索机制检索到的实例虽然从绿色设计属性和冲突消解方面满足要求,然而这些实例可能在回收性、拆卸性、经济性和技术性方面不能满足用户的要求,因此本文建立一个基于三角模糊数的过滤机制对检索到的实例进行筛选,提高检

索的效率。回收性、拆卸性、经济性和技术性的语言变量的三角隶属函数如图 6 所示,表 4 给出了三角模糊数及其与语言变量的对应关系。假设通过检索机制得到的绿色设计实例集合为 M_f 。



U_1 —很差 U_2 —差 U_3 —一般 U_4 —良好 U_5 —很好

图 6 语言变量的三角隶属函数图

表 4 语言变量及对应的三角模糊数

符号	语言变量	三角模糊数
U_1	很差	(1, 1, 2)
U_2	差	(2, 3, 4)
U_3	一般	(4, 5, 6)
U_4	良好	(6, 7, 8)
U_5	很好	(8, 9, 9)

(1) 定义一个阈值 $\delta, \delta \in [0, 1]$ 。

(2) 定义目标实例过滤指标集合 $P_f, P_f = \{\tilde{a}_i\}$; 定义待检索实例过滤指标集合 $Q_f, Q_f = \{\tilde{b}_i\}$ 。

(3) 确定目标实例与检索实例的相似度 Sim_{PQ} :

$$Sim_{PQ} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n D(\tilde{a}_i, \tilde{b}_i)}{nD(\tilde{u}, \tilde{v})} \quad n = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$\tilde{u} = (\min(L(\tilde{a}_i), L(\tilde{b}_i)), \min(M(\tilde{a}_i), M(\tilde{b}_i)), \min(R(\tilde{a}_i), R(\tilde{b}_i)))$$

$$\tilde{v} = (\max(L(\tilde{a}_i), L(\tilde{b}_i)), \max(M(\tilde{a}_i), M(\tilde{b}_i)), \max(R(\tilde{a}_i), R(\tilde{b}_i)))$$

其中, $L()$ 表示取三角模糊数左边的数值, $M()$ 表示取三角模糊数中间的数值, $R()$ 表示取三角模糊数右边的数值。 $D(\tilde{a}, \tilde{b})$ 为两个三角模糊数间的距离, 距离越小说明两个三角模糊数越相似, 如图 7 所示。

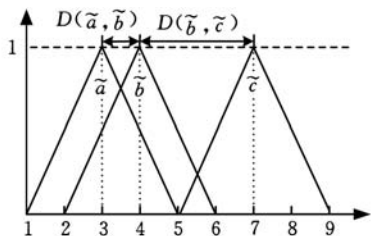


图 7 三角模糊数的距离

(4) 从实例集合 M_f 中过滤不满足要求的实例, 得到实例集 $J_f, J_f = \{M_f | Sim_{PQ} \geq \delta\}$ 。

3 基于 TRIZ 的绿色设计冲突消解

如果案例库中没有找到相似案例, 那么需要

利用 TRIZ 来解决产品绿色设计过程中遇到的冲突, 从而实现产品的绿色创新设计。基于 TRIZ 的绿色设计冲突消解, 需要先将绿色设计属性转化成 TRIZ 冲突矩阵的工程参数(表 5), 然后根据工程参数利用 TRIZ 冲突矩阵表获得发明原理。在绿色设计属性向 TRIZ 工程参数的转化中, 文献[19]把世界企业可持续发展委员会(world business council for sustainable development, WBCSD)提出的 7 个环境效率要素与 TRIZ 的工程参数相关联, 建立了环境效率要素与 TRIZ 工程参数的关联表。在此基础上, 笔者建立了绿色设计属性与 TRIZ 工程参数的关联表(表 6), 可方便、快速地将绿色设计属性转化为 TRIZ 工程参数。考虑产品设计的实际情况, 可能会出现无法确定 TRIZ 工程参数和遇到空矩阵(没有发明原理)的情形, 此时可以利用文献[20-21]中的方法解决该问题。

表 5 TRIZ 冲突矩阵的 39 个工程参数

No1. 动物重量	No11. 应力或压力	No21. 功率	No31. 物体产生的有害因素
No2. 静物重量	No12. 形状	No22. 能量损失	No32. 可制造性
No3. 动物长度	No13. 结构的稳定性	No23. 物质损失	No33. 可操作性
No4. 静物长度	No14. 强度	No24. 信息损失	No34. 可维修性
No5. 动物面积	No15. 运动物体作用时间	No25. 时间损失	No35. 适应性及多用性
No6. 静物面积	No16. 静止物体作用时间	No26. 物质或事物的数量	No36. 装置的复杂性
No7. 动物体积	No17. 温度	No27. 可靠性	No37. 监控与测试的困难程度
No8. 静物体积	No18. 光亮度	No28. 测试精度	No38. 自动化程度
No9. 速度	No19. 运动物体的能量	No29. 制造精度	No39. 生产率
No10. 力	No20. 静止物体的能量	No30. 物体外部有害因素作用的敏感性	

4 创新方案可行性评价

创新方案的可行性评价有两个作用: 第一, 作为过滤指标的评价结果; 第二, 可能多个创新方案可以实现设计冲突的消解, 因此需要对创新方案进行可行性评价, 选取最优的方案给予实施。绿色产品创新方案的可行性评价矩阵如表 7 所示, 用 S_{co} 表示绿色产品创新方案的可行性评价结果:

$$S_{co} = w_1 \sum_{i=1}^4 w_{1i} S_{coC1i} + w_2 \sum_{j=1}^3 w_{2j} S_{coC2j} + w_3 \sum_{k=1}^4 w_{3k} S_{coC3k} + w_4 \sum_{l=1}^3 w_{4l} S_{coC4l} \quad (2)$$

式中, w_1, w_2, w_3, w_4 分别为指标 C1、C2、C3、C4 的权重;

$w_{1i}, w_{2j}, w_{3k}, w_{4l}$ 分别为子指标 $C1i, C2j, C3k, C4l$ 的权重; $S_{co_{C1i}}, S_{co_{C2j}}, S_{co_{C3k}}, S_{co_{C4l}}$ 分别为子指标 $C1i, C2j, C3k, C4l$ 的评分。

表 6 绿色设计属性与 TRIZ 工程参数的关联表

设计原则	设计属性	TRIZ 工程参数编号
回收设计	材料种类	11,13,14,23,26,32,35
	材料重量	2,4,6,8,26
	可降解/再生	1,3,5,7,9,19
	材料识别	12,18
	无毒无害	23,26,28,30,31
拆卸设计	连接数量	1,2,10
	连接材料	14,17,26,27,34,35
	连接类型	9,10,12,13,14,27,32,35,36
	零件可达性	18,33,34
	零件形状	3,4,6,8,12,32
	零件数量	23,26,36
	能源/资源节约设计	动力/传动系统
结构		2,4,6,8,13,17,20,26,36
工作模式		21,25,35,38
能源/资源转化		19,20,21,22,23
长寿命设计		13,14,15,16,27,30,33,34,35,36
环境排放设计	固体、液体和气体排放	1,3,5,7,23,31
	噪声	13,19,31
	辐射	9,17,18,19,20,21,22,30,31,37

表 7 产品绿色设计创新方案的可行性评价矩阵

评价指标方面	评价指标	权重	方案 1	...	方案 n
拆卸性能 (C1)	拆卸时间(C11)	w_{11}	1	7	8
	拆卸可达性(C12)	w_{12}	2	3	5
	拆卸能耗(C13)	w_{13}	3	6	8
	拆卸工具(C14)	w_{14}			
回收性能 (C2)	材料毒性(C21)	w_{21}	1	3	9
	材料可回收性(C22)	w_{22}	6	2	7
	材料相容性(C23)	w_{23}	2	5	3
经济性 (C3)	材料成本(C31)	w_{31}	9	6	3
	制造成本(C32)	w_{32}	7	5	4
	回收成本(C33)	w_{33}	1	6	8
	拆卸成本(C34)	w_{34}	2	4	7
技术性 (C4)	技术设备(C41)	w_{41}	3	7	4
	技术时间(C42)	w_{42}	1	7	9
	技术知识(C43)	w_{43}	1	3	2
S_{co}			S_{co_1}	S_{co_2}	S_{co_3}

采用打分法对各指标进行评估,各指标的评分范围为 1(差)~9(优)。指标权重由模糊层次分析法 (fuzzy analytic hierarchy process, FAHP) 确定,其步骤可见参考文献[22]。

5 实例研究

笔者以上述方法为基础,利用可扩展标记 XML 语言,开发了产品绿色创新设计支持平台(其基本框架组成如图 8 所示),用于绿色产品的开发,以某型号洗碗机零部件为例阐述创新过程。

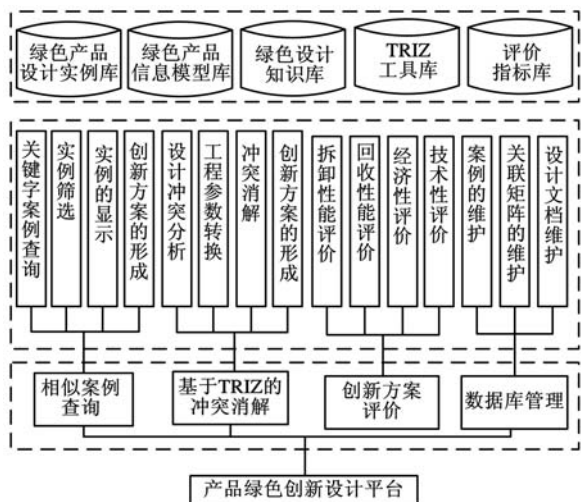


图 8 产品绿色创新设计支持平台基本框架组成

洗碗机属于 EuP (eco-design requirements for energy-using products directive) 指令监管的第十四类产品,因此对产品绿色性能有较高的要求。产品维修商和回收商对洗碗机底板的拆卸性提出了要求,洗碗机销售商要求广东某洗碗机制造企业改进其出口洗碗机底板的拆卸性能,使其能够实现非工具拆卸,并且成本变动范围要小。洗碗机的关键零部件(如水杯、洗涤泵和电热管等)位于洗碗机底部,原洗碗机的底板与下前横档和侧板用螺钉连接(图 9)。改进前的拆卸顺序为左右侧板→前提脚板→下前横档→下后横档→底板,而且洗碗机经长时间使用后螺钉容易锈死,因此不便于洗碗机的维护和维修以及废弃后的拆卸回收处理。

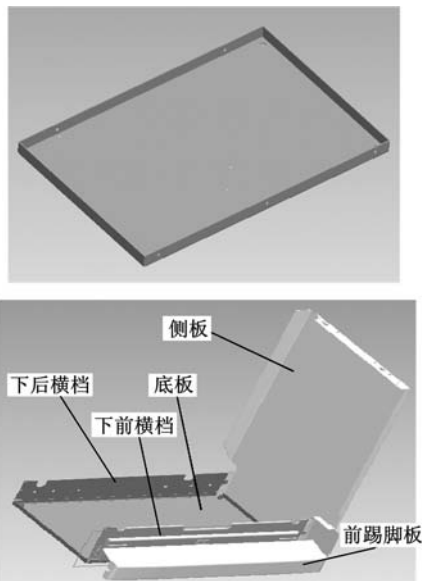


图 9 底板零件的三维模型及其连接关系

首先运用产品绿色创新设计支持平台的实例检索模块,通过借鉴以往成功案例的经验对洗碗机进行改进。为了借鉴其他类别产品的设计知

识,扩大实例检索范围,不限定产品类别、功能等参数,将材料设定为“钢材”,将绿色设计原则设定为“拆卸设计”,设计属性设定为“连接类型”。为了满足成本和拆卸性能的要求,在过滤条件中,将拆卸性能和经济性设定为“很好”,技术性能和回收性能设定为“良好”,然后进行实例检索。从实例库中搜索出的实例为电脑机箱侧板,特征是将螺钉连接改为卡槽连接,实现了非工具手工拆卸,目前卡槽连接在很多产品中得到广泛应用,技术十分成熟,因此本文借鉴该类型实例。

主机箱侧板的卡槽不承受主机箱的重量,主要保证连接的可靠性,而洗碗机底板需要承受洗碗机以及餐具的重量,其强度要求较高,需要对原有实例进行修改后再用。利用 TRIZ 对原有实例进行修改,可将其对应为改善的工程参数 No14“强度”,恶化的工程参数 No11“应力或压力”。调用基于 TRIZ 的冲突消解模块对这一技术冲突进行问题求解,发现可采用发明原理 3“局部特性”来进行求解,即将一物体或外在环境(动作)由相同成分组成的结构转变成由不同成分组成的结构。由此产生的绿色创新方案即在底板的左边和右边增加卡槽,使其共同承担洗碗机的重量,从而改善底板应力状况。为了验证改进后底板的可靠性,在 Abaqus 的环境下进行应力分析,卡槽受到的最大应力为 286MPa,小于底板材料的抗拉强度 500MPa,满足强度要求。改进后,只需将洗碗机底板直接从洗碗机底部抽出就可完成拆卸操作。

利用表 7 对绿色创新设计方案进行评价,其评价结果见表 8。根据各评价指标的最大值和最小值以及表 4 中的语言变量,建立语汇转换标准,将评价结果转换为评价语汇。最后根据绿色设计实例存储结构将该设计案例存储到数据库中。

6 结语

(1) 将 TRIZ 与实例推理方法有效地集成,提出了基于 TRIZ 与实例推理原理的产品绿色创新设计方法,能够很好地实现产品绿色创新设计。

(2) 以本体论为基础,结合 TRIZ 工具,给出了绿色产品设计实例的描述模型和检索模型,实现了绿色产品设计实例的检索、重用和修正。

(3) 建立了绿色设计属性与 TRIZ 工程参数的关联表,便于设计人员将绿色设计属性转化为 TRIZ 工程参数,缩短绿色创新设计的时间。

表 8 绿色产品创新方案的可行性评价

方面	评价指标	综合重要度	评分	加权结果	语汇转换	语汇转换标准
拆卸性能	拆卸时间	0.0826	8	1.397	很好	max:1.539 min: 0.171 加权结果 $q \leq 0.445$:很差 $0.0445 < q \leq 0.718$:差 $0.718 < q \leq 0.992$:一般 $0.992 < q \leq 1.265$:良好 $1.265 < q \leq 1.539$:很好
	拆卸可达性	0.0245	8			
	拆卸能耗	0.0347	8			
	拆卸工具	0.0292	9			
回收性能	材料毒性	0.0756	9	1.203	很好	max:1.287 min: 0.143 $q \leq 0.372$:很差 $0.372 < q \leq 0.601$:差 $0.601 < q \leq 0.829$:一般 $0.829 < q \leq 1.058$:良好 $1.058 < q \leq 1.287$:很好
	材料可回收性	0.0508	7			
	材料相容性	0.0166	7			
经济性	材料成本	0.2333	6	3.217	良好	max:4.347 min:0.483 $q \leq 1.256$:很差 $1.256 < q \leq 2.029$:差 $2.029 < q \leq 2.801$:一般 $2.801 < q \leq 3.574$:良好 $3.574 < q \leq 4.347$:很好
	制造成本	0.0980	7			
	回收成本	0.0826	7			
	拆卸成本	0.0691	8			
技术性	技术设备	0.1074	7	1.470	良好	max:1.827 min:0.203 $q \leq 0.528$:很差 $0.528 < q \leq 0.853$:差 $0.853 < q \leq 1.177$:一般 $1.177 < q \leq 1.502$:良好 $1.502 < q \leq 1.827$:很好
	技术时间	0.0721	8			
	技术知识	0.0235	6			

参考文献:

- [1] 何川,张鹏,陈利琼. TRIZ 在概念设计中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2003, 35(5): 19-23.
- [2] 刘晓敏,檀润华. 约束理论中当前实现树与冲突解决图表驱动创新设计研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(12): 1442-1445.
- [3] 姜亮,孙铁兵,屈福政. 基于本体的技术创新研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(15): 1853-1857.
- [4] 杨育,杨洁,王小磊. 基于发明问题解决理论的客户协同产品创新设计方法[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 8-16.
- [5] 张付英,张林静,王平. 基于 TRIZ 进化理论的产品创新设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 116-119.
- [6] 高常青,黄克正,赵方. 基于实例推理的原理及结构快速创新设计的研究与实现[J]. 中国机械工程, 2007, 18(24): 2907-2913.
- [7] 王冀强,温正忠,孙华丽. 基于 TRIZ 与实例的计算机辅助创新系统[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2003, 30(6): 827-830.
- [8] 杨伯军,田玉梅,檀润华. 基于标准解的计算机辅助创新软件系统研究与开发[J]. 中国机械工程, 2009, 20(6): 704-708.

- Injection Molded Parts[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, 126(4):733-738.
- [9] Chien R D, Jong W R, Chen S C. Study on Rheological Behavior of Polymer Melt Flowing Through Micro-channels Considering the Wall-slip Effect [J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2005, 15(8):1389-1396.
- [10] 徐斌, 于同敏, 王敏杰, 等. 微尺度聚合物熔体粘性耗散效应对流变行为影响[J]. 机械工程学报, 2010, 46(14):47-52.
- [11] 蒋炳炎, 沈龙江, 彭华建. 微注射成形中变模温控制技术[J]. 中国塑料, 2006, 20(3):99-102.
- [12] Yao D G. Development of Rapid Heating and Cooling Systems for Injection Molding Applications[J]. Polymer Engineering and Science, 2002, 42(12): 2471-2481.
- [13] Yao D G, Kim B. Developing Heating and Cooling Systems Using Pyrolytic Graphite [J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23: 341-352.
- [14] Yao D G, Kimerling T E, Kim B. High-frequency Proximity Heating for injection Molding Applications [J]. Polymer Engineering and Science, 2006, 46(7): 938-945.
- [15] Michaeli W, Klaiber F. Development of a System for Laser-assisted Molding of Micro and Nanostructures[J]. Journal of Vacuum Science and Technology B, 2009, 27(3):1323-1326.
- [16] Chen S C, Peng H S, Chang J A, et al. Simulation and Verifications of Induction Heating on a Mold Plate[J]. Int. Comm. Heat Mass Transfer, 2004, 31(7): 971-980.
- [17] Chang P C, Hwang S J. Experimental Investigation of Infrared Rapid Surface Heating for Injection Molding[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 102: 3704-3713.
- [18] Huang M S, Tai N S. Experimental Rapid Surface Heating by Induction for Micro-injection Molding of Light-guided Plates[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113: 1345-1354.
- [19] 杨灿. 注塑微结构复制性能及形态研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [20] 徐斌. 微注塑充模流动尺度效应及其模具关键技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- (编辑 王艳丽)
- (上接第 1111 页)
- [9] 镇璐, 蒋祖华, 苏海. 知识网格辅助产品创新平台及其关键技术[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(6): 876-880.
- [10] 黄兆飞, 李彦, 熊艳. 面向创新设计的专利知识库系统研究[J]. 机械设计与制造, 2009(9): 240-142.
- [11] 于芳芳, 黄翔, 廖文和. 实例推理在冲模设计中的应用[J]. 机械制造与研究, 2005, 34(1): 11-17.
- [12] Altshuller G S. Suddenly the Inventor Appeared [M]. Worcester: Technical Innovation Center, Inc., 1994.
- [13] Altshuller G S. The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity[M]. Worcester: Technical Innovation Center, Inc., 2000.
- [14] Guillermo C R, Stephane N. Case-based Reasoning and TRIZ: a Coupling for Innovative Conception in Chemical Engineering[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2009, 48(1):239-249.
- [15] Rosenman M A. An Exploration into Evolution Models for Non-routine Design[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 1997, 11(3):287-293.
- [16] 王生发, 顾新建, 郭剑锋. 面向实例推理的产品设计本体建模研究及应用[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 112-117.
- [17] 邓志鸿, 唐世渭. Ontology 研究综述[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(5):730-738.
- [18] 张东民, 廖文和, 胡建. 基于本体的设计知识建模[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2005, 33(5): 26-31.
- [19] 张祥唐. 整合 TRIZ 与可拓方法之绿色创新设计研究[D]. 台南: 台湾成功大学, 2004.
- [20] Chen J L, Liu C C. An Eco-Innovative Design Approach Incorporating the TRIZ Method without Contradiction Analysis[J]. Journal of Sustainable Product Design, 2001, 1(4):263-272.
- [21] 王仁庆. TRIZ 创新设计方法的改良研究[D]. 台南: 台湾成功大学, 2003.
- [22] Sun C C. A Performance Evaluation Model by Integrating Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(12): 7745-7754. (编辑 王艳丽)

作者简介: 徐斌, 男, 1975 年生. 西南科技大学制造科学与工程学院讲师. 主要研究方向为微模具技术及高分子材料微注塑成形技术. 获中国专利 1 项. 发表论文 17 篇. 高春雨, 男, 1979 年生. 国家安全生产监督管理总局研究中心工程师. 王敏杰, 男, 1958 年生. 大连理工大学机械工程学院教授、博士研究生导师. 于同敏, 男, 1953 年生. 大连理工大学机械工程学院教授.

作者简介: 刘志峰, 男, 1963 年生. 合肥工业大学机械与汽车工程学院院长、教授、博士研究生导师. 主要研究方向为产品的绿色设计理论与方法、拆卸理论与方法、回收理论、回收工艺方法与回收装备制造. 出版专著 6 部, 发表论文 20 余篇. 高洋, 男, 1981 年生. 合肥工业大学机械与汽车工程学院博士研究生. 胡迪, 男, 1983 年生. 合肥工业大学机械与汽车工程学院博士研究生. 张敬东, 男, 1985 年生. 合肥工业大学机械与汽车工程学院硕士研究生.