

基于 TRIZ/FRT/Fuzzy 的产品创新设计研究与应用

李景丽, 徐志刚

(山东大学 机械工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 为快速产生有效创新方案, 提出了一种基于发明问题解决理论 (TRIZ)、未来现实树 (Future Reality Tree, FRT)、模糊综合评价 (Fuzzy) 的集成方法. 该方法通过绘制产品的功能模型图阐明产品设计中存在的潜在问题; 结合发明问题解决理论, 将潜在问题抽象化, 并产生可能的创新方案; 为提高评价效率, 利用未来现实树对各个方案进行初步评估, 并清楚表达产品创新设计的目标; 应用模糊综合评价法确定最优方案组合. 最后, 以一个蛙式打夯机的创新设计实例验证了该方法的可行性.

关键词: 功能模型图; TRIZ; FRT; 模糊评价

中图分类号: TU112 文献标志码: A doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2016.03.034

0 引言

如何快速产生有用的创新方案是产品创新设计的关键, 也是企业和各国学者关注的热点. 因此, 国内外学者提出了一些设计方法, 如头脑风暴法、发明问题解决理论 (TRIZ) 及约束理论 (TOC) 等. 然而, 每一种方法都有局限性, 方法的集成就成为产品创新设计过程的重要手段, Chou<sup>[1]</sup>提出了一种基于 TRIZ/Concept mapping/Fuzzy 的集成方法, 该方法利用基于语义技术完成新产品的的设计, 并用空气净化器的应用实例验证了该方法的适用性; 张建军等<sup>[2]</sup>提出了一种基于 TOC/TRIZ/Fuzzy 的集成方法, 并用番茄输送带的应用实例验证了该方法的有效性; Stratton<sup>[3]</sup>提出了将 TRIZ 与 TOC 结合使用的方法.

为了快速产生有效的新方案, 笔者提出了一种基于 TRIZ/FRT/Fuzzy 的集成方法, 该方法利用基于知识的分析工具加快新创意的产生, 并提供一种更有效的评价方法, 最后, 用蛙式打夯机的实例验证了该方法的可行性.

1 TRIZ、FRT 及 Fuzzy 的概述

1.1 TRIZ 理论

TRIZ 是针对创新问题找到解决方案的一种科学方法论, 它提供了矛盾矩阵、物质-场分析、功

能分析等分析工具以及用于解决相应问题的基于知识的工具. 例如, 使用 4 个分离原理解决物理矛盾、40 个发明原理解决技术矛盾、76 个标准解解决功能不理想的问题等<sup>[4-6]</sup>, 通过使用这些工具, 可以产生很多个可能的方案.

1.2 FRT 未来现实树

未来现实树 (Future Reality Tree, FRT)<sup>[7]</sup> 描述了注入后的未来前景图, 采用自底向上的方式, 验证新方案的注入是否能够实现期望的结果或者是否造成新的不良结果. FRT 有两个重要作用: 一是对方案进行初步评估, 通过方案的注入来预测系统将要产生的效应; 二是及时发现方案实施可能造成的负面效应, 并采取措施来防止或者消除负面效应. 将创新设计方案作为“注入”插入到相应的问题上, 得到相应的 FRT 图如图 1 所示.

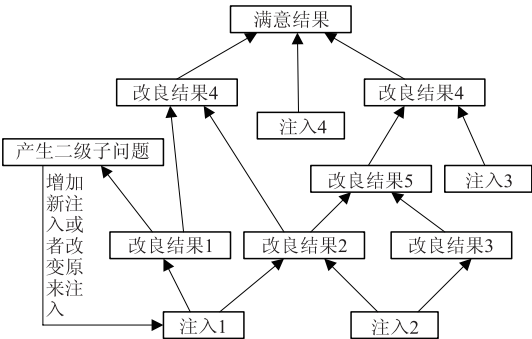


图 1 FRT 构造模式

Fig.1 Structure model of FRT

收稿日期:2015-10-06; 修订日期:2015-12-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272017)

通信作者:徐志刚(1966—),男,山东济南人,山东大学教授,博士,主要从事 TRIZ 理论、非流形体建模和设施布局规划研究, E-mail:zhgxu@sdu.edu.cn.

图 1 中每个“注入”为一个方案,经过逐层注入使问题逐层得到解决,最终实现期望结果。

若“注入”后实现期望结果,则该“注入”有效;若“注入”后能实现期望结果,但产生二级子问题,则该“注入”无效,需更改“原注入”或者增加“新注入”以解决子问题。

1.3 模糊综合评价法

模糊综合评价<sup>[8]</sup>是根据模糊关系、评价准则和实验数据,并通过评价准则对被评价对象隶属等级的程度进行量化分析。

(1) 确定评语集 A.

$A = (a_1, a_2, \dots, a_m) = (\text{好}, \text{一般}, \text{差}).$

(2) 确定评价因素集 T.

$T = (t_1, t_2, \dots, t_n) = (\text{创新性}, \text{可行性}, \dots).$

(3) 确定权重向量集 W.

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n).$

式中:  $0 < w_i < 1$ , 且  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ,  $w_i$  表示第  $i$  个评价指标下的权重系数。

(4) 确定隶属度和单因素评价矩阵. 对单个指标  $t_i$  的评价,得到单因素评价矩阵

$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}).$  (1)

(5) 计算综合评价矩阵 B(将权重考虑进去).

$B = W \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m).$  (2)

式中:  $b_j = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m).$

2 基于 TRIZ/FRT/Fuzzy 的产品创新设计

首先根据物质-场分析法建立待设计产品的功能模型,找出产品设计潜在的问题并将问题标准化,结合 TRIZ 中的分析工具得到可能的创新方案;然后利用 FRT 对得到的创新方案进行初步评估从而将明显不好的方案舍去,并将相似方案合并;最后通过 Fuzzy 评价确定最优方案组合,其过程如图 2 所示。

(1) 问题定义. 利用物质-场分析法建立待改进产品的功能模型,进而找到现有产品的潜在问题。

(2) 问题分类及工具选择. 在定义问题之后,将问题分为三类:物理冲突、技术冲突和不理想的功能结构,并选择相应的 TRIZ 工具。

(3) 产生可能的方案. 根据 TRIZ 工具得到通用解,设计人员给出相应的解决方案。

(4) 初步评价方案. 绘制产品的未来现实树,

找出图中的无效注入,通过改变原注入或者增加新注入来消除不良效应,不能消除的将被否决,并将相似的注入合并。

(5) 方案评价及最优方案组合的确定. 利用模糊综合评价法来评价有效注入,确定最优方案组合。

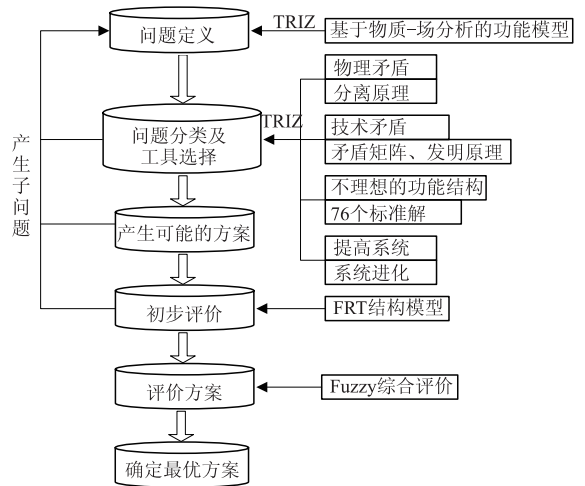


图 2 基于 TRIZ/FRT/Fuzzy 的产品创新设计流程图  
Fig. 2 Flow chart of product innovation design based on TRIZ/FRT/Fuzzy

3 实例验证

在传统蛙式打夯机的基础上对其进行创新,设计一款低能耗、低劳动强度、低噪音和低振动的“四低”蛙式打夯机。

3.1 问题定义

根据蛙式打夯机创新设计的目的建立其功能模型图,如图 3 所示. 问题可描述如下。

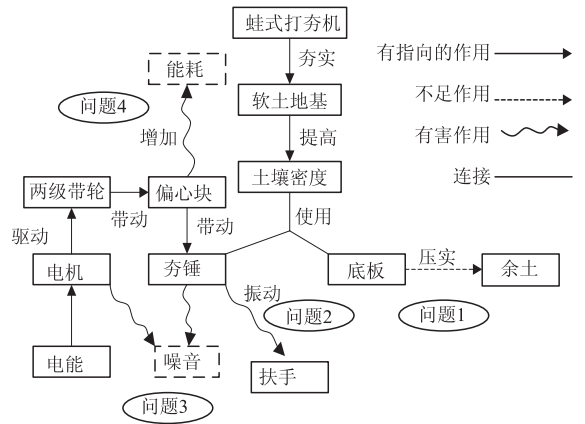


图 3 蛙式打夯机的功能模型图  
Fig. 3 Function model chart of frog rammer

问题 1: 在夯实软土地基时,蛙式打夯机每夯实地基一次,就会有多余的土在底板前方,一部分

由底板压实,一部分挡在底板前方,积土分布的不均匀性将导致蛙式打夯机偏移,从而需要人工将其拉回原方向,劳动强度大.

问题 2:偏心块的转动产生的横向离心力带动打夯机向前移动,产生横向振动;夯锤升降产生垂直方向振动;另外,电机的转动也会产生一定的振动.

问题 3:蛙式打夯机在工作的过程中由于电机的转动、打夯机的前移及夯锤的升降产生巨大的噪音.

问题 4:由于偏心块的笨重导致蛙式打夯机启动较慢,能耗较大.

3.2 问题分类及 TRIZ 工具选择

问题 1 可看作不理想的功能结构,可使用 76 个标准解解决此类问题.从图 3 可以看出,问题 1 属于非有效完整功能,问题 1 及解决问题 1 的物质-场分析模型如图 4 所示.

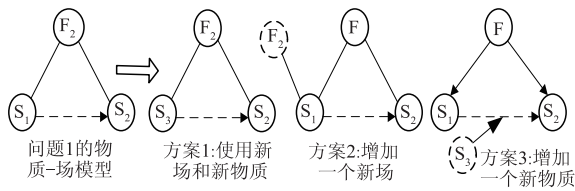


图 4 问题 1 及解决问题 1 的物质-场分析  
Fig. 4 Material and field analysis of problem 1 and the solving of problem 1

问题 2 与问题 3 相同,都可以看作技术冲突,提高打夯机打击力度的同时会增加振动和噪音.其中改善参数为 10,恶化参数为 31.

问题 4 可看作一组物理冲突,偏心块质量大时提供的离心力大,打击力力度大,但会导致打夯机启动缓慢,能耗较大.可采用分离原理的空间分离来解决问题.

3.3 方案产生

问题 1:根据图 4 的提示,给出以下几个可能的方案.①方案 1 增加一个新物质,在夯架上增加一个小夯锤,位于底板前方,在大夯锤夯实地基的同时,小夯锤夯实底板前方积土.②方案 2 增加一个新物质:在底板前方安装“前扫结构”,由凸轮和齿轮齿条组成,凸轮安装在中间轴的两端,凸轮和弹簧共同作用带动齿条的往复移动,进而带动齿轮的往复转动,齿轮和摆杆做成一体的结构,进而扫除积土.③方案 3 增加一个新场和一个新物质:在底板前方安装小电机,小电机带动风扇吹走多余的土.

产生子问题 1.1:小电机的安装位置.

问题 2:使用矛盾矩阵解决问题,根据其查询结果给出以下几个方案:①方案 4 增加中介物:在电机下增加减振垫吸收由电机转动产生的振动.②方案 5 反向:增加一个与现有偏心块转向相反的偏心块抵消横向离心力,进而抵消横向振动.③方案 6 增加中介物:在扶手处安装减振材料,吸收传递过来的振动.

产生子问题 2.1:打夯机不能靠离心力自动前行.

问题 3:使用矛盾矩阵中的发明原理,根据查询结果给出一种可能的解决方案:方案 7 增加中介物:增加电机罩,降低因电机转动产生的噪音.

问题 4:属于物理矛盾,采用分离原理来解决问题,根据空间分离原理给出以下几种可能的方案:①方案 8 分离原理(分离):使偏心块可移动,当偏心块向上转动时,偏心块自身向上移动;当其向下转动时,偏心块自身向下移动.②方案 9 分离原理(局部质量):偏心块做成中空的,在里面添加磁性钢球,在偏心块靠近轴孔出安放磁铁.

3.4 方案的初步评估

创新方案确定后,建立蛙式打夯机的未来现实树如图 5 所示,每一个方案为一个“注入”,判断方案的实施是否能够解决相应的问题.例如“注入 1”即判断方案 1 的实施是否能够解决问题 1,若能够解决则注入有效;若注入后产生子问题,则注入无效,可修改原注入、增加新注入或者放弃该方案的实施,具体情况应具体分析.

从图 5 中可以看出方案 1、2、4、6、7、8、9 能够解决相应问题,为有效“注入”,而方案 3、5 产生了子问题,为无效“注入”.方案 3 可通过增大底板面积来安装新的电机,但该方案能耗大、效率低且电机和风扇的转动增加了噪声和振动,故放弃该方案.方案 5 使水平方向离心力的消失,导致打夯机不能靠水平离心力前进,而靠人工推动打夯机前行,大大增加了劳动强度,故不实施.

由上面的分析可知,方案 3 和 5 应舍弃,方案 4 和 6 属于相似方案,合并在一起表示为方案 46,下面只需对剩下的 6 个方案进行评价.

3.5 Fuzzy 综合评价

- (1) 确定评语集.评语集  $A = (\text{好}, \text{一般}, \text{差})$ .
- (2) 建立评价因素集.

$$T = \begin{pmatrix} \text{创新性 } t_1, \text{经济性 } t_2, \text{可行性 } t_3 \\ \text{相关性 } t_4, \text{材料使用量 } t_5 \\ \text{材料回收率 } t_6, \text{噪声污染 } t_7, \text{振动污染 } t_8 \end{pmatrix}$$

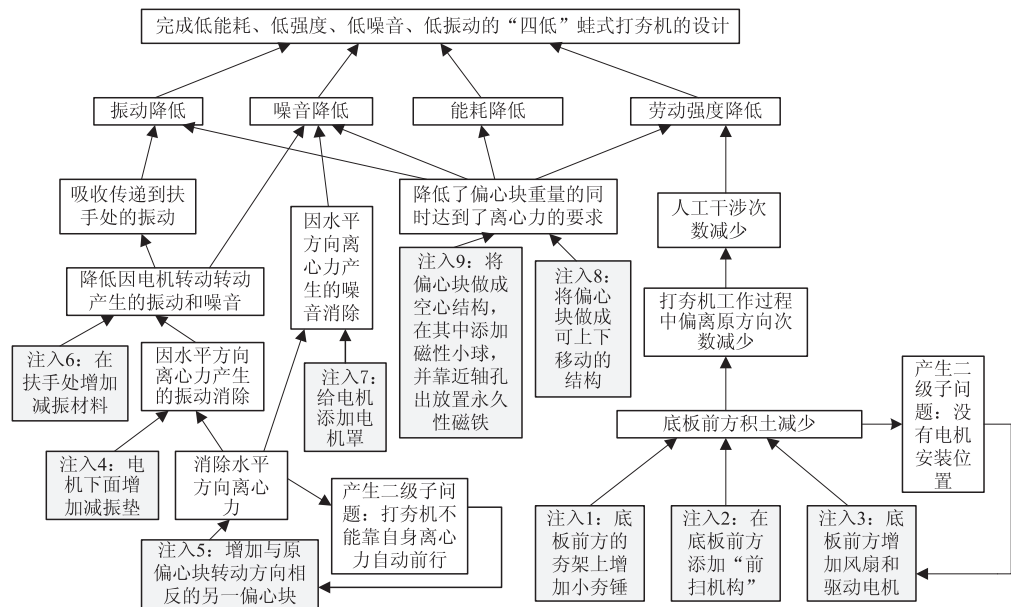


图 5 蛙式打夯机的未来现实树

Fig.5 The future reality tree of frog rammer

(3) 确定权重向量集. 依据层次分析法, 给出判断矩阵:

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 1 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{3} \\ 1 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 计算权重 } w_1 = 0.375, \text{ 同理}$$

可得  $w_2 = 0.125, w_3 = 0.125, w_4 = 0.375$ ; 同一因素下的因子可认为同等重要, 具有相同的权重, 因此, 权重向量集可表达为  $W = \left( \frac{w_1}{3}, \frac{w_1}{3}, \frac{w_1}{3}, w_2, \frac{w_3}{2}, \frac{w_3}{2}, \frac{w_4}{2} \right) = (0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.0625, 0.0625, 0.1875, 0.1875)$ .

(4) 建立模糊评价矩阵. 假设由 10 位专家在评价因子经济性下对方案 1 进行评价, 其评价结果如表 1 所示.

表 1 经济性指标下 10 位专家对方案 1 的评价结果

Tab.1 Evaluation results of 10 experts on the scheme 1 under the economic index

因素	等级		
	好	一般	差
经济性	3	5	2

从表 1 可以得到方案 1 在经济性指标下的单因素判断矩阵  $R = [0.3, 0.5, 0.2]$ , 同理得到 6 个方案的模糊评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.3 & 0.2 & 0.5 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.8 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix},$$
$$R_{4,6} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.5 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}, R_7 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.3 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix},$$
$$R_8 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}, R_9 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}.$$

(5) 确定模糊综合评价矩阵及最优方案组合. 确定每个方案的模糊评价矩阵后, 根据公式 (2) 得到每个方案的综合评价矩阵:

$$B_1 = [0.55625, 0.30625, 0.1375],$$

$$\begin{aligned}
 B_2 &= [0.295\ 25, 0.289\ 00, 0.425\ 75], \\
 B_{4,6} &= [0.637\ 50, 0.162\ 50, 0.200\ 00], \\
 B_7 &= [0.524\ 25, 0.265\ 50, 0.210\ 25], \\
 B_8 &= [0.436\ 75, 0.253\ 00, 0.310\ 25], \\
 B_9 &= [0.557\ 00, 0.270\ 75, 0.172\ 25].
 \end{aligned}$$

从模糊综合评价矩阵中可看出:方案 1 和方案 2 相比,方案 1 较好;方案 4、6 及方案 7 都是不错的方案,可实施;方案 8 和 9 相比,方案 9 更优.最终得到最优方案组合  $\Omega = (\text{方案 1, 方案 4/6, 方案 7, 方案 9})$ .

#### 4 结论

TRIZ、FRT 与 Fuzzy 结合使用能够有效辅助产品的创新设计,根据物质-场分析法建立了产品功能模型找到产品设计中潜在的问题,且结合 TRIZ 分析工具得到了相应的创新设计方案,并利用 FRT 对产生的方案进行初步的评估并将相似方案合并成一个方案,继而应用模糊综合评价方法找出最优方案组合,最后用蛙式打夯机的创新设计验证了方法的可行性.

#### 参考文献:

[1] CHOU J R. An ideation method for generating new

product ideas using TRIZ, concept mapping, and fuzzy linguistic evaluation techniques [J]. Advanced engineering informatics, 2014, 28(4): 441–454.

- [2] 张建军,陈旭晖,张利,等.集成 TOC/TRIZ/Fuzzy 的产品概念设计方法的研究[J].机械设计与科学, 2011,30(7):1154–1158.
- [3] STRATTON R, MANN D. Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC [J]. Journal of materials processing technology, 2003, 13(9):120–126.
- [4] 袁峰,丁泽新,朱俊.基于 TRIZ 的传动片送料装置研究设计[J].郑州大学学报(工学版), 2012,33(6):88–91.
- [5] 陈思源,彭伟,姚春燕.基于 TRIZ 理论的新型线锯缠绕设备创新设计[J].机械设计与制造, 2013(1):4–6.
- [6] 檀润华. TRIZ 及应用技术创新过程与方法[M].北京:高等教育出版社,2010:1–18.
- [7] 刘晓敏,檀润华.约束理论中当前现实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.
- [8] 王正如,梁晋,王立忠,等.基于模糊综合评价的车身曲面品质分析[J].中国机械工程, 2011, 22(6):748–751.

### Research and Application of Product Innovation Design Based on TRIZ/FRT/Fuzzy

LI Jingli, XU Zhigang

(School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** To effectively generate novel and useful product ideas, a new method based on theory of the invention problem solving (TRIZ), the future reality tree (FRT) and fuzzy evaluation was presented. The aims of the proposed method were: 1) to identify potential problems through the product function model; 2) to abstract potential problems and generate novel product ideas by means of the theory of invention problem solving; 3) to develop an effective evaluation method and clearly describe the goal of product innovation using future reality tree as preliminarily evaluation tool; and, 4) to get promising product ideas with fuzzy evaluation techniques. Finally, the innovative design of frog ramming machine was used to illustrate the feasibility of this new method.

**Key words:** function model; TRIZ; FRT; fuzzy