

技术进化定律引导的多冲突混合信息求解过程模型*

梁瑞^{1,2} 檀润华^{1,2} 张建辉^{1,2}

(1. 河北工业大学机械工程学院 天津 300130;

2. 国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心 天津 300130)

摘要: 针对多冲突求解过程中冲突不能反映系统动态进化过程,多冲突权重影响指标多的问题。通过九窗口法和系统进化定律对系统做出进化预测,从而提取出参数列表构建冲突 ENV 模型。冲突由控制参数和评价参数组成并受参数量值的变化影响,所以参数的权重是多冲突问题中冲突重要度的排序的重要指标。建立参数与技术进化定律之间的关系,然后从多个方面对参数的权重赋值。将这些混合信息的权重赋值指标通过混合关联度分别计算出控制参数和评价参数的权重,得到冲突的重要度排序确定出关键冲突。最后通过 ARIZ 算法求解得到创新改进方案,最终建立基于 ENV 模型的多冲突混合信息求解过程模型。以涂板机作为实例进行创新设计,验证了该过程模型的有效性。

关键词: TRIZ; ENV 模型; 多冲突; OTSM-TRIZ; 系统进化

中图分类号: TB472

Multi-contradiction Mixed Information Solving Process Model Guided by the law of Technological Evolution

LIANG Rui^{1,2} TAN Runhua^{1,2} ZHANG Jianhui^{1,2}

(1. School of Mechanical and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130;

2. National Engineering Research Center for Technological Innovation Method and Tool,

Hebei University of Technology, Tianjin 300130;)

Abstract: Aiming at the problems that the contradiction can't reflect the dynamics process of system and the weight of multi-contradiction influence on indexes in the process of solving multi-contradiction. It was predicted that it is based on the multiscreen scheme and the evolution law of system,so the parameter list is extracted to construct the contradiction ENV model.Contradiction is composed of control parameters and evaluation parameters and is affected by the change of parameter value, so the importance of parameters can be used as the ranking index of contradiction importance.Establishing the relationship between parameters and the law of technological evolution, and the weights of parameters are assigned from various aspects. The weights of the mixed information were calculated respectively through the mixed correlation degree to calculate the weights of the control parameters and the evaluation parameters. the order of importance of the contradictions was calculated to determine the key contradiction. Finally, an innovative and improved solution was obtained through ARIZ algorithm, and an ENV model-based multi-contradiction mixed information solution process model was finally established. The effectiveness of the process model is verified by the innovative design of the plate-coating machine as an example.

Key words: TRIZ; ENV Model; multi-contradiction; OTSM-TRIZ; System evolution

0 前言

产品的创新设计过程是一个不断解决冲突螺旋交替上升的过程^[1], 求解的冲突数量也从单个冲突向多个冲突发展。多冲突理论要解决如下两个难点:一是适用于复杂问题分析和工具;二是多冲突问题解决过程的表达与管理^[2]。TRIZ 是产品创新设计的系统化的成熟理论, ARIZ 算法是 TRIZ 中专门用于解决复杂和困难问题的高级工具。韦子辉提出 ARIZ 算法可以解决多冲突问题^[2]。随着系统功能复杂程度急剧增加, 复杂设计问题中隐含的冲突数量也急剧增加, OTSM 理论成为解决复杂问题新的方法^[3-4]。OTSM 是俄语中强大思维理论 (General Theory of Powerful Thinking) 的首字母缩写。它应用了经典 TRIZ 概念模型, 并引入了新的工具来按照层次结构分析复杂的问题, 从而识别出最关键的问题。KHOMENKO 提出 OTSM-TRIZ 理论并且使用四种冲突解决工具^[4-5]。CAVALLUCCI 完善了 OTSM 理论, 提出了问题流网络技术是用来解决多冲突问题的有效方法^[6], 并通过 ENV (Element-name-value) 元素-名称-量值模型来进行多冲突问题表达, 并通过模型中的参数关系构建参数网络最终进行问题求解。RAZMI 利用问题流网络的方法来识别、表述和解决方法来解决供应链管理中发生相互关联的有害影响^[7], 验证了该方法的可行性。

多冲突问题的解决基础是冲突的构建。传统 TRIZ 中主要研究的物理冲突和技术冲突是多冲突构建的基本冲突类型。韦子辉通过障碍树构建, 将产生不良结果的可控因素作为冲突构建的来源^[2]。马力辉分析系统进化方向, 通过必备树确定障碍从而构建冲突^[8]。传统 TRIZ 通过冲突矩阵和分离原理来寻找求解冲突的发明原理, 缺乏统一模型来表达冲突。ENV 模型将创造性问题统一成一种规范形式成为目前多冲突问题有效的构建模型。

OTSM 理论中冲突构建主要有两个参数, 控制参数 (control Parameter) 和评价参数 (evaluation Parameter)。并通过量值变化将参数联系起来构建 ENV 模型来表达冲突^[9]。杨洪超基于文献【10】提出的四种冲突确定方法来确定 ENV 模型中的参数。张建辉将问题通过物元模型表示^[11], 并将关键问题的物元模型中的量值转化为控制参数, 作用效果提取出评价参数, 从而构建 ENV 模型。刘尚通过技术

进化树来确定系统未来的发展目标^[12], 从而辅助构建 ENV 模型。

目前的多冲突问题求解研究主要是从复杂产品问题分析, 多冲突问题解决流程表达以及关键冲突的确定几个方面进行研究^[11]。其中关键冲突的确定是多冲突问题求解的关键。

Baldussu 基于 ARIZ-85 算法提出了冲突的七个特征指标来表达冲突的重要程度^[13]。Cavallucci 对冲突的权重在重要性、影响深度和广度三个方向进行量化, 构建了三个维度的冲突云图表来确定关键冲突^[14]。杨洪超通过冲突在多冲突网络中的结构特征, 提出三条求解策略来确定关键冲突^[15]。马力辉通过建立障碍树的最小割集和最小径集从定性和定量两个方面分析多冲突, 从而确定冲突在系统里的主次地位^[16]。张建辉将冲突网转化为参数网并从三个方面对参数进行赋值^[11], 将参数权重表达为冲突的重要度从而确定关键冲突。

系统进化过程中冲突是不断变化的, 而多个冲突之间的关系也是随着技术进化不断发生变化。现有的冲突参数提取大部分是基于系统现有状态分析, 较少从技术进化的方向和角度提取冲突参数。而且在求解多冲突问题时, 冲突的权重指标多, 权重的赋值方式也不尽相同, 缺乏统一的规范化评价方式。

针对多冲突求解过程存在的问题, 本文通过九窗口法和进化定律确定系统的进化目标并且分析出在进化过程出现的系统参数变化, 进而提取出控制参数和评价参数, 建立冲突的 ENV 模型进而构建多冲突。通过建立技术进化定律与参数之间的关系, 将技术进化定律权重赋值于冲突参数的权重, 并且在元件影响程度, 参数出现频率, 参数关联数量和专家评价多个方面对冲突进行重要度赋值, 将这些混合的赋值信息通过混合灰度关联计算得到一个综合的冲突排序, 将重要度最高冲突作为关键冲突结合 ARIZ-85 算法对冲突进行求解, 进而得到多冲突问题创新解决方案。最终建立基于 ENV 模型的多冲突混合信息求解过程模型。

1 OTSM 理论的发展

1.1 ARIZ 算法

TRIZ 是产品创新设计的系统化的成熟理论, ARIZ (Algorithm for Inventive -Problem Solving), 发明问题解决算法是 TRIZ 理论中的一种重要工具, 是用于求解发明问题的系统化算法^[14]。ARIZ 用于管理冲突与理想解演化的关系, 一方

*国家创新方法工作专项 (2018IM040300) 国家自然科学基金资助项目 (51675159) 中央引导地方科技发展专项 (18241837G)

面，任何技术系统总是朝理想化进化，另一方面，在一个技术系统中存在待解决的冲突，则该问题就可作为创新问题来求解。

ARIZ 集成了 TRIZ 的多数工具^[17]并不断进行版本的更替，其中 ARIZ85-AS 成为目前应用最为广泛的版本^[18]。ARIZ 流程思想为通过问题分析和表述，系统分析及冲突描述，确定理想解及物理冲突，利用外部物质/场资源和效应库五个步骤将初始问题转化为冲突并进行求解，如果没有得到解决方案，重新再对问题进行定义和求解，最后对问题解进行评价。

1.2 OTSM 理论

在 ARIZ 算法中，需要在前期做大量的工作进行冲突的确定，TRIZ 大师 Altshuller 提出：如何将无限数量的创造性问题统一成一种规范形式，并提供相应的解决方案？进而白俄罗斯大师 khomenko 提出 OTSM 理论用来对多冲突问题分析和解决过程的管理^[19]成为 ARIZ 未来进化方向如图 1 所示。

OTSM 主要包括四个技术：新问题技术、典型解技术、冲突技术和问题流技术^[5]。其中冲突技术就是将冲突是用 ENV 模型表达，且利用 ARIZ 算法求解，获得半效解及聚合解，使得对前期问题情景描述中的子问题及其根源因的更清晰，便于求解。

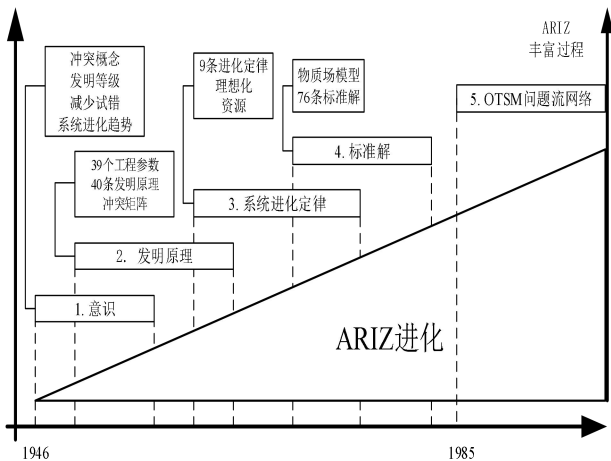


图 1 ARIZ 算法进化过程^[19]

2 冲突的构建

G.s.Altshuller 将冲突分为三类：管理冲突 (administrative contradictions)，物理冲突 (physical contradictions) 和技术冲突 (technical contradictions)。后两类冲突作为传统 TRIZ 的主要研究内容。通过对冲突进行规范化的图形描述，可以将系统进化发展过程中的冲突进行有效的管理，为后续多冲突构建求解提供参数支持。

2.1 ENV 模型描述

OTSM 理论的冲突表示方法是 ENV 模型，它是由元素，名称及其量值组成。控制参数和评价参数均由其各自的名称及其量值组成，量值分为正值和负值。

元素主要是指对所研究的系统的关键参数有意义的一部分。元素可以指系统内部的子系统结构或者系统的外部资源组成部分。从语法的观点来看，可能是一个名称或一组名称。根据设计者观点的描述，元素的性质也会相应发生变化。例如描述“开口扳手驱动螺母脱离螺栓”这个系统动作的时候，元素 E=开口扳手。其他设计者可能描述为“开口扳手内壁驱动螺母转动”，此时元素 E=开口扳手内壁，当专家提议“男人拧螺母”时，元素 E=男人。因此，在用不同的观点描述相同的情况时，为了使分析具有一致性，需要用规范化的参数对冲突进行定义，该元素可以表达关键参数的控制部分。并且关键参数可以体现元素的设计要求。

在 ENV 模型中参数通过赋予元素一个特异性来描述元素，它反映了设计者对该区域的明确观察和了解。参数的表达的形式是多样，主要是名称、设计对象，或者副词。主要分为两类：控制参数 (Control Parameter) 和评价参数 (Evaluate Parameter)。

控制参数是用于评估设计任务的标准，它由产品的设计者控制，是产品系统的固有属性表达。产品系统的控制参数可以表示约束功能价值，控制参数的值域发生变化可以影响评价参数的选择。这类参数一般有两个方向可能导致对物体或其超系统有正面影响。

评价参数是用于描述控制参数的，评价参数受一个或多个控制参数值的变化影响。该参数不能对产品设计对象进行设计，但是可以影响产品的设计方向。控制参数可以由设计者或者使用者直接选择。

量值描述参数在限制下的状态，是参数数值量化浮动的范围描述，控制参数的量值可以表现为元素内需要两种相反的特性来实现某种功能。而评价参数量值表现为积极或消极两个方面。通过量值可以将控制参数和评价参数连接起来，最终通过规范化图形表达冲突。

2.2 ENV 模型规范化表达冲突

在 ENV 模型中，单个控制参数类似于 TRIZ 理论中的物理冲突，为了实现某种功能，一个子系统或元件应具有一种特性，但同时出现了与此特征相反的特性。两个评价参数类似于 TRIZ 理论中的技术冲突，即指控制参数向一个量值方向发生作用同时导致一个评价参数积极作用及另一个评价参数有害作

用的两种结果如图 2 所示。

TC 冲突		元素	
		控制参数 CP	
		Va↑	Va↓
元素	评价参数 EP _x	☑积极	☒消极
元素	评价参数 EP _y	☒消极	☑积极

图 2 ENV 模型

2. 3ENV模型中参数的提取

在ENV模型中，参数是冲突的关键组成部分。需要有一种结构化的方法来收集这些参数数据，以确保覆盖整个产品系统设计领域，并且可以和整个系统的演变规律联系起来，以便日后能够将冲突之间规律的联系起来。在TRIZ知识体系中，可以通过九窗口法和技术进化定律寻找冲突参数。

九窗口法表达了系统在其超系统及其内部子系统相关的背景下的一个永久性的持续演化^[20]。系统未来的进化主要是消除目前的设计冲突，使系统向着理想解的方向发展。在系统的演化机制过程中，系统参数沿着正向或负向方式进行演化。通过使用九窗口法，可以发现系统参数的演化规律如图3所示。

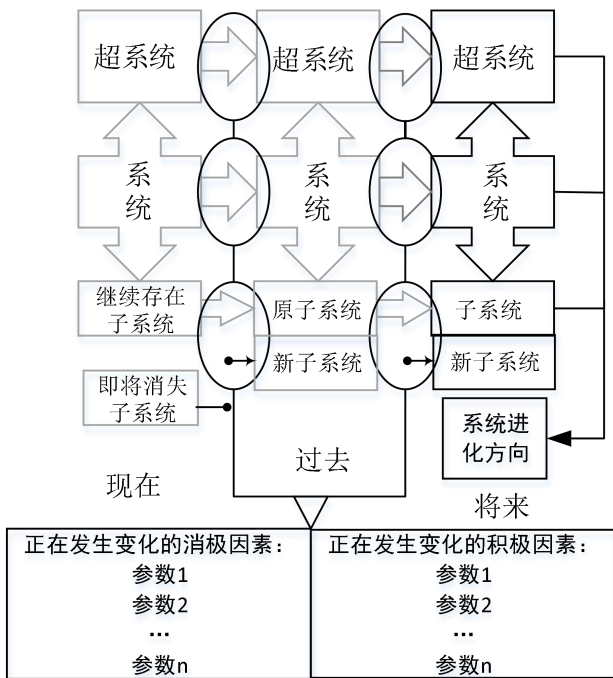


图 3 九窗口法提取参数

技术进化定律是TRIZ的基本公理之一，文献【20-21】给出九项定律描述了技术进化的发展，表

1给出的技术进化定律^[22]相较于文献【20-21】内容基本一致只是顺序做了调整以适应后续的定律权重赋值。每条定律在产品系统生命周期的特定阶段发挥着重要作用。

表1 九条技术进化定律^[22]

技术进化定律	
定律1 (L1)	系统完备性法则
定律2 (L2)	能量传递
定律3 (L3)	协调性
定律4 (L4)	理想化水平
定律5 (L5)	子系统的均衡发展
定律6 (L6)	向超系统进化
定律7 (L7)	向微观系统进化
定律8 (L8)	动态化
定律9 (L9)	系统内部物质-场建立

在这里，每一条定律都是对所观察研究的系统在“s”曲线发展演化过程的描述。按照每条定律的系统进化过程对研究的系统进行讨论得到系统进化过程的变化参数并添加到九窗口法提取出来的参数列表中，构成更加全面的参数列表。并建立参数与技术进化定律之间的联系。有助于后续求解多冲突问题。

由于进化定律给出的是技术系统进化的通用方向，在冲突和定律之间引入技术进化预测将其联系起来。进化预测是对技术进化定律的描述。通过句子形式的描述表达技术系统在某一技术进化定律的发展方向下可能产生的结果。与技术进化定律相比，该语义描述的技术进化定律可能会更详细的描述出冲突内部参数和新元素。通过分析这些元素在列表的参数下如何发展，从而建立参数到特定的技术进化预测的接近程度并与之相联。建立如下图4所示的关系图：

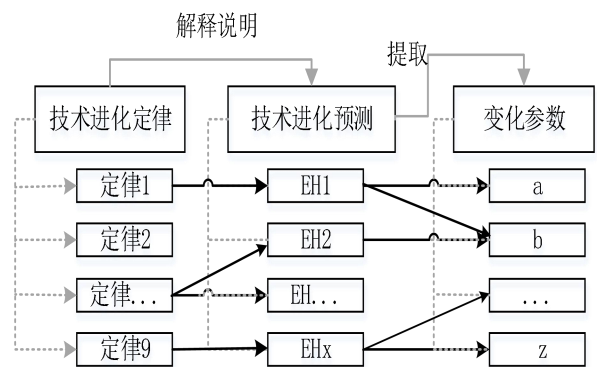


图 4 参数与进化定律的关系

针对产品系统分析技术进化定律的可实施性不一定都能获取技术进化预测。而且多个技术进化预测结果可能会作用于同一个参数。

通过九窗口法在分析系统的同时，已经对未来的超系统，系统和子系统做出了进化的预测。从而建立了第一系列的系统进化预测EH (EH1. x)。通过

对系统进化定律的逐条分析可以获取第二系列的系统进化预测EH (EH2. xy “x”表示来自技术进化定律Law1-9, “y”表示出现的顺序)。在EH1和EH2. xy之间可能会出现冗余, 为了简化, 创建第三种EH (EH3. x), 将意义相同的EH1和EH2进行融合, 同时可以消除之前的EH1和EH2. 如图5所示。

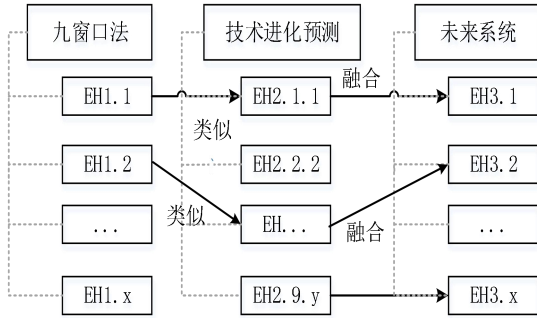


图5 假设融合过程^[14]

在进化预测的描述中提取相关参数, 并与九窗口法提取的参数进行列表, 将参数按照性质划分为控制参数和评价参数。将特定值 (Va) 给定一个控制参数 (CPx) 会导致评估参数 (EPn) 向用户满意的方向发展。而相反的特定值 (-Va) 会使另一个评价参数 (EPm) 向用户满意的方向发展。这样就构成了一个冲突TCn=[CPx:EPn, EPm]。

3 冲突求解

基于上述方法提取的参数可以构成多个冲突, 如何优化这些冲突, 寻找出最关键的冲突是解决系统在进化过程中出现的障碍的基础。这就要求对多个冲突进行权重排序。在此之前建立了参数与技术进化定律之间的联系。所以技术进化定律的权重显得尤为重要。

3.1 技术进化定律权重确定

对系统沿着“s”曲线进化到下一时刻的位置定位研究可以确定某一技术的成熟度。如下图6所示, 通过两条“S”曲线可以定位系统的技术现在和将来所处的位置。

当前光标 (P) 代表当前情况。基于技术成熟度预测可以确定当前技术所处区域。A区为婴儿期, B区为成长期, C区为成熟期。通过收集当前产品相关技术的专利数量, 专利等级、产品的获利能力和性能四个指标数据建立曲线的形状与技术成熟度预测曲线进行比较, 确定当前产品的技术成熟度。

未来光标 (F) 代表系统研究的目的。他将清晰的描述公司是要开发一个全新的概念还是对原有产品稍加改进。在研究过程中, 设计者应该提出较为

清晰的目标愿景, 以便确定设计的未来产品的系统所处的区域。

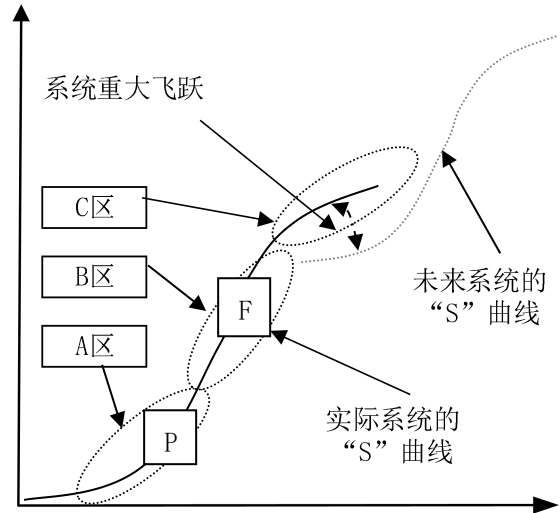


图6 技术进化“S”曲线^[22]

当未来光标 (F) 和当前光标 (P) 位置确定时, 文献【22】提出对技术进化定律在不同状态下指导系统进化的重要程度是不同的, 其中技术进化定律L1-L5主要用于系统一条“S”曲线上的进化。技术进化定律L6-L9主要用于从一条“S”曲线向另一条“S”曲线跃进, 并实现突破性创新。给出了以下七种系统进化情况:

情况一: 当系统处于婴儿期光标P在A区, 未来系统进化也在婴儿期光标F在A区。这时产品系统还不太完善。原有的人工操作需要被能源以及控制装置替代。所以系统进化定律L1: 完整性的指导程度最高定义数值为4。控制等装置的引进会使系统能量可控性提高, 技术进化定律L2: 能量传递定义数值为3。产品在婴儿期, 功能不断完善, 子系统之间需要相互配合完成基本设计要求。所以技术进化定律L3: 理想化水平和技术进化定律L4: 协调性定义数值为2。随着系统越复杂, 子系统不均衡程度也会更高。所以系统技术进化定律L5: 子系统不均衡发展定义数值为1。

情况二: 当系统处于婴儿期光标P在A区, 未来系统进化在成长期光标F在B区。产品系统已经基本实现功能。执行装置和能源装置已经完备。此时需要缩短能量从能源装置到执行装置的过程。所以技术进化定律L2: 能量传递定义数值为4。技术系统最终是向最终理想解进化。所以当系统执行、传动、能源和控制部分完整后, 系统进入成长期以后都是提高向理想化水平方向进化。所以在此情况下技术进化定律L3: 理想化水平定义数值为3。技术进化定律L4和L5定义数值为2。

情况三：当系统处于婴儿期光标P在A区，未来系统进化在成熟期光标F在C区。相较于情况2系统的理想化水平提高的更高但是系统内部子系统发展不均衡产生的冲突可能会相应降低。所以L3定义数值为4，L5定义数值为1。

情况四：当系统处于成长期光标P在B区，未来系统进化在成长期光标F在B区。相较于情况3系统内部还需要解决冲突使系统得到进化，而且能量的流经路径也不如成熟期的系统优化。所以L2定义数值为3，L5定义数值为2。

情况五：当系统处于成长期光标P在B区，未来系统进化在成熟期光标F在C区。相较于情况4，系统内部各子系统进化已经较为成熟，不均衡程度降低。所以L5定义数值为1。

情况六：当系统处于成熟期光标P在C区，未来系统进化在成熟期光标F在C区。相较于情况5，系统的理想化水平已经较难提高。此时需要增加产品的新功能来满足不同的用户需求，使产品有不同的用途，所以此时系统非均衡程度有所提高。所以L5定义数值为2。

情况七：：当系统处于当前系统“s”曲线上光标P在A或B或C区，未来系统进化到另一条“S”曲线上。此时系统的进化路径发生了变化。系统向着多系统，微观系统或柔性化系统进化。使系统功能的实现方式的内部物质-场也发生变化。所以技术进化定律L6-L9定义数值为2。

将上述七种情况列表2所示：

表2：技术进化定律权重数值表

未来系统 当前系统 技术进化定律 权重	A区	B区	C区	另一“S”曲线
A区	L1=4 L2=3 L3=2 L4=2 L5=1	L2=4 L3=3 L4=2 L5=2	L2=4 L3=4 L4=2 L5=1	L6=2 L7=2 L8=2 L9=2
B区		L3=4 L2=3 L4=2 L5=2	L3=4 L2=3 L4=2 L5=1	
C区			L3=4 L4=2 L5=2	

情况中未给出的技术进化定律LX=0. 技术进化定律的重要性会影响与之相关的评价参数，上述情况对技术进化定律给定了0-5的固定数值，为了满足

系统动态变化的影响，对每个数值定义了一个可以变化的乘数系数如表3，专门用来提高某一评价参数的重要性。

表3 技术进化定律对评价参数影响的乘系数^[22]

0→X	0, 8
1→X	0.1
2→X	1, 2
3→X	1, 5
4→X	1, 8
5→X	0.2

3.2 参数权重的规范化处理

参数是冲突的核心，控制参数表达的产品元素在最初设计的固有参数。评价参数的评价指标不仅有数值表示，还有中间数、模糊数等形式的表示。有些指标可以用具体数值表示，性能和价格等可以用数值区间表示，而可靠性和维修性等指标在实际问题中往往很难用精确的数值进行量化，需要设计者通过模糊语言来量化，所以影响参数权重的属性值有多种形式，这些不同的赋值指标统称为混合信息。

称 $\tilde{a} = (a^L, a^M, a^U)$ 为三角函数，如果他的隶

属函 $\mu_a(x) : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ ，即

$$\mu_a(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a^L \\ \frac{x - a^L}{a^M - a^L}, & a^L \leq x \leq a^M \\ \frac{x - a^U}{a^M - a^U}, & a^M \leq x \leq a^U \\ 0, & a^U \leq x \end{cases} \quad (1)$$

三角模糊数十分直观，使用简便，易于理解，能很好表达多种语言变量，模糊值与语言表达的对应关系表4。

表4 三角模糊数表达

序号	语言评价	三角模糊数
1	差	(0, 0.1, 0.3)
2	中	(0.3, 0.5, 0.7)
3	中上	(0.5, 0.7, 0.9)
4	好	(0.7, 0.9, 1)

由于对权重影响的决策表现形式各不相同，需要标先将决策指标进行规范化，常见的规范化方法如下^[23]：

$$\text{精确值：} \quad x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (2)$$

区间数值：

$$x_{ij}^L = \frac{a_{ij}^L}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^L)^2}}, \quad x_{ij}^U = \frac{a_{ij}^U}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^U)^2}} \quad (3)$$

模糊数：

$$x_{ij}^L = \frac{a_{ij}^L}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^L)^2}}, \quad x_{ij}^M = \frac{a_{ij}^M}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^M)^2}},$$

$$x_{ij}^U = \frac{a_{ij}^U}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^U)^2}} \quad (4)$$

然后确定参考序列，即混合多种属性权重指标方案中的权重值最高的赋值方案。经过规范化处理的数据构建规范化指标矩阵 $A' = (x_{ij})_{m \times n}$ ，根据矩阵确定权重最高的理想方案：

$$x_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}) \quad (5)$$

在本文中，各赋值方式的权重是公平的，不存在任何重要高低，所以构建单目标最优化模型：

$$\begin{cases} \max F(W) = \sum_{i=1}^m r_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{w}_j r(x_{0j}, x_{ij}) \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n \bar{w}_j^2 = 1, \bar{w}_j > 0 \end{cases} \quad (6)$$

然后在此基础上构造拉格朗日函数：

$$L(W, \delta) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{w}_j r(x_{0j}, x_{ij}) + \delta (\sum_{j=1}^n \bar{w}_j^2 - 1) \quad (7)$$

求解各自的偏导数：

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \bar{w}_j} = \sum_{i=1}^m r(x_{0j}, x_{ij}) + 2\delta \bar{w}_j = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \delta} = \sum_{j=1}^n \bar{w}_j^2 - 1 = 0, j = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (8)$$

最终可以解得 w_j^* ，并进行归一化处理得到：

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^m r(x_{0j}, x_{ij})}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r(x_{0j}, x_{ij})} \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

$$\text{其中 } r(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{d_{\min} + \rho d_{\max}}{d_{ij} + \rho d_{\max}} \quad (10)$$

$d_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}|$ 表示与理想方案的数值距离。

$\rho \in (0, 1)$ 。 d_{\min} d_{\max} 分别表示与理想方案距离的最小值和最大值。

将每个权重赋值指标的权重求出后，根据混合关联度的值进行决策公式：

$$r_i = r(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^n w_j r(x_{0j}, x_{ij}) \quad (11)$$

根据公式 r_i 为参数的综合权重值，将其作为参数的权重系数。

3.3 参数的影响指标

参数的权重可以从以下几个方面进行分析和排序：

重要度：系统元素需要依赖于控制参数才能表现出相应的功能，TRIZ理论提出用39个通用工程参数可以描述冲突。控制参数一般包括：尺寸参数，属性参数，形状参数，物理参数，力学参数，温度参数，时间参数。将这些参数所影响的元件个数作为控制参数的重要度的权重指标。

普遍性：在一系列的冲突模型中，往往会发现某些评价参数会多次重复出现，说明该参数在产品系统问题中具有普遍性，通过统EPx的出现量作为评价参数的普遍性的权重指标。

振幅：在ENV模型中，一般是一个控制参数CPx和一对评价参数EPx相关联，但是更广泛的定义来看，一个控制参数通常与可变数量的EPx相关，有时一个控制参数只涉及一对评价参数并且对大量的其他评价参数产生影响，从而构成多对冲突。将同一控制参数相关的评价参数的数量作为控制参数的振幅的权重指标。

专家意见：如果设计专家认为某一参数在该设计领域比较重要，可以将该参数标记为重要，较重要，一般三个等级。

3.4 冲突优先处理排序

根据3.1和3.3对各影响冲突权重的组成部分的权重确定，提出冲突优先处理排序的公式：

$$TC_n = Coef .CP_x (coef .EP_n \times Coef .Laws + coef .EP_m \times Coef .Laws) \quad (12)$$

将所有冲突按照计算出来的数值进行排序，进而将

数值最高的冲突作为关键冲突进行优先处理。

3.5 基于ENV模型的多冲突混合信息求解过程模型

综合以上内容，建立基于ENV模型的多冲突混合信息求解过程模型如图7所示。该模型主要分为三个阶段。

第一阶段是构建ENV模型，首先对需要改进的系统建立功能模型从而进行功能组件分析，提取系统和子系统组件和功能，并进行超系统分析，通过九窗口法克服思维惯性，获取研究对象过去，现在和将来的系统进化过程，寻找系统发生变化的积极因素和消极因素并提取参数。对研究对象的将来状况分析可以获得部分进化预测。再通过九条技术进化定律分别对系统进行技术进化预测。将进化预测进行融合并提取参数与九窗口法获取的参数进行列表，从而构建ENV模型。

第二阶段是多冲突权重排序，首先对系统现在

和未来所处技术生命周期位置进行确定，从而明确研究对象符合7个案例中的哪一个并确定技术进化定律的权重。控制参数权重受影响元件个数，评价参数相关个数和专家意见三个赋值指标影响，评价参数受出现次数，和专家意见两个赋值指标影响，分别进行统计列表，并通过混合信息关联度计算出各自综合权重。然后通过公式12计算冲突的重要度。数值最大的即为重要冲突。

第三阶段是冲突求解，根据ARIZ85-AS算法，通过确定理想解和物理冲突，系统外部物质、场资源，效应等多种TRIZ工具对第二阶段确定的关键冲突进行求解，并最终获得系统创新性改进方案。

通过以上三个阶段，可以对多冲突问题进行有效的求解。该模型对机械产品系统的动态进化过程出现的各种冲突进行管理和分析。对于复杂的混合信息权重指标可以进行整合并进行数据处理。

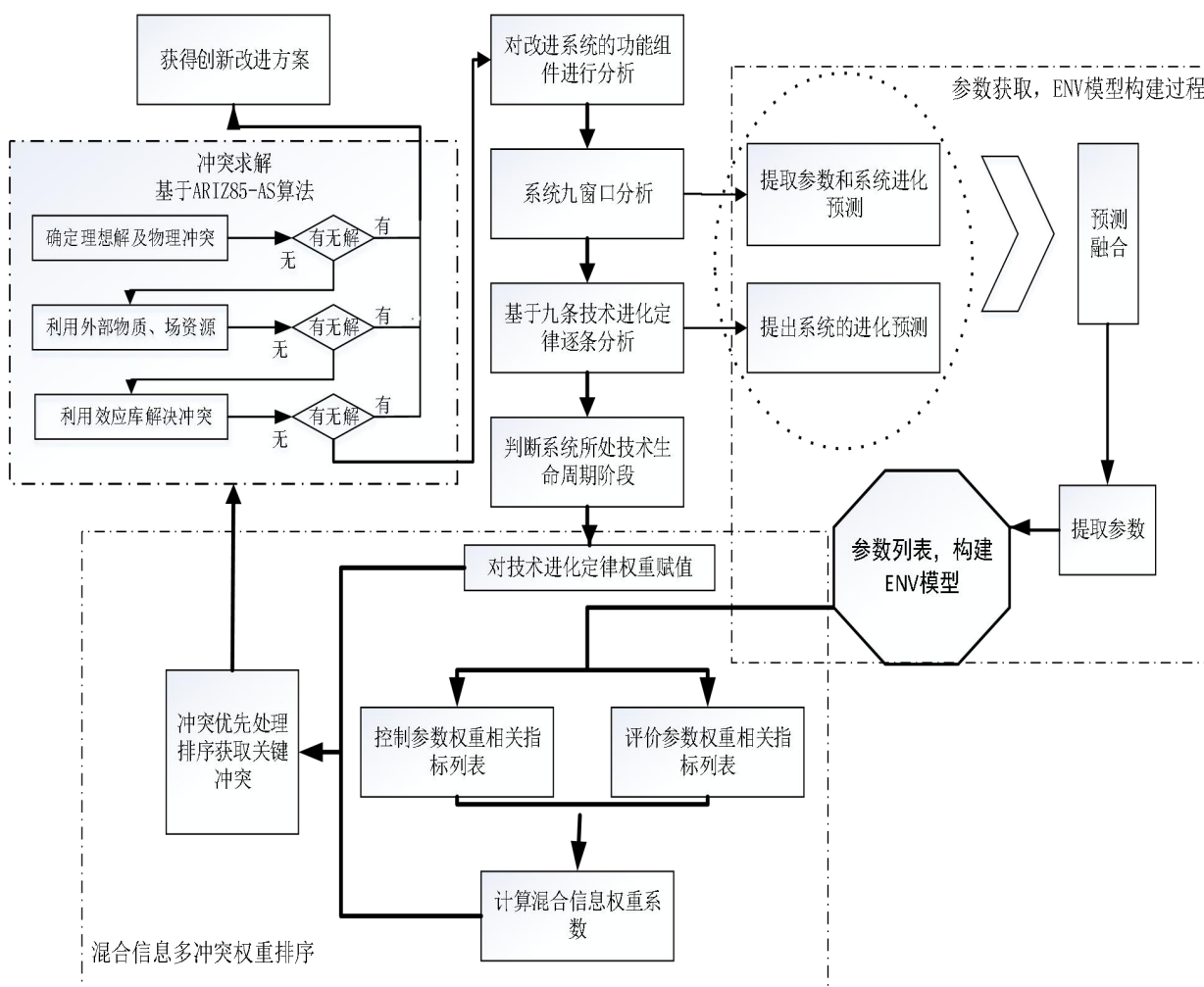


图7 基于ENV模型的多冲突混合信息求解过程模型

4 案例验证

普兰特(G.Plante)于1859年发明铅酸蓄电池,单因为其价格低廉、原材料易于获得,经历了150多年的发展。在通讯设备,摄像,电力控制机车,机械工具启动器等领域中成为不可或缺的主要能源,而在紧急设备,后备电源等领域作为备用能源也成为新型绿色能源体系的发展热点。其中极板是蓄电池电化学反应的主体部分。现在极板主要通过涂板机将活性物质配比好的铅膏均匀填涂到涂板带上有空隙的板栅上,然后经过固化和干燥得到生极板。目前主要的涂板机为水平带式涂板机^[24-25]。

水平带式涂板机主要包括:送料装置、膏斗装置、涂板带、出料装置、压辊和整体机架组成。构建如下图所示功能结构模型图8所示。

根据文献【26】中的单面涂板机作为涂板机的过去系统。通过九窗口法构建涂板机系统的进化过

程。如图9所示。正在发生变化的消极因素:板栅上下厚度,涂板带清洁和涂板带形变。正在发生变化的积极因素:板栅形变、板栅带膏量和涂板效率。

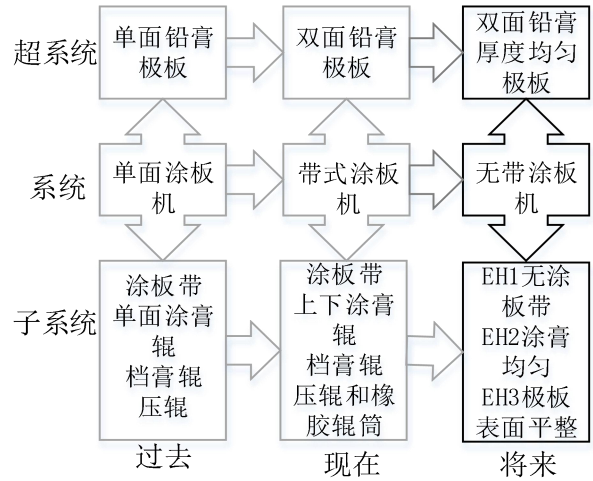


图9 九窗口中涂板机的进化

然后根据九条技术进化定律对涂板机进行技术预测。预测如下表5所示。

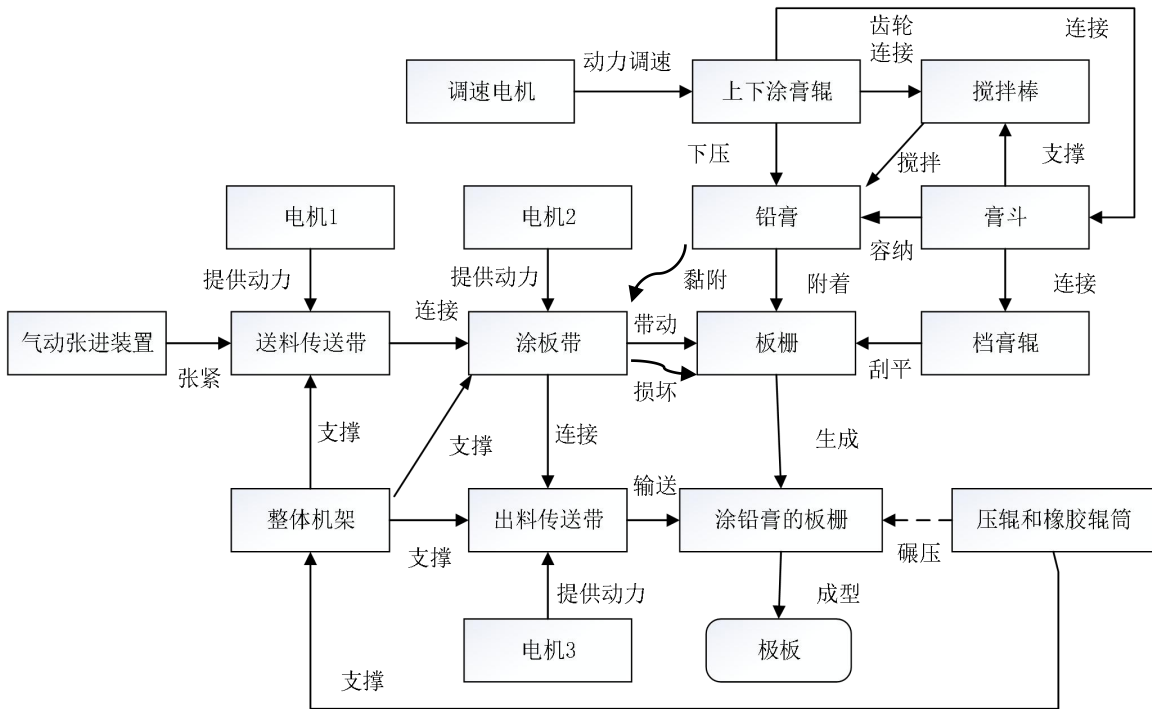


图8 水平带式涂板机功能结构模型

表5 基于九条技术进化定律的技术预测

EH1.1 铅膏出膏斗后只作用于板栅
EH1.1 板栅无摩擦损伤
EH8.1 适应多种板栅尺寸要求
EH9.1 增强系统铅膏出料均匀
EH9.2 提高极板表面平整度

基于九窗口法和技术进化定律,提取涉及的控制参数和评价参数,构建如下列表6。然后基于ENV模型,构建冲突如图10:

表6 参数列表

控制参数	评价参数
铅膏出料速度 (CP ₁)	涂膏稳定性 (EP ₁)
涂板带材质柔性 (CP ₂)	极板平整度 (EP ₂)
涂板带速度 (CP ₃)	生产速率 (EP ₃)
板栅和涂板带摩擦力 (CP ₄)	成品率 (EP ₄)
	磨损程度 (EP ₅)

TC. 1

		膏斗	
		铅膏出料速度CP1	
		快↑	慢↓
涂板机	生产速率EP3	<input checked="" type="checkbox"/> 高	<input checked="" type="checkbox"/> 低
极板	涂膏稳定性EP1	<input checked="" type="checkbox"/> 差	<input checked="" type="checkbox"/> 好

(a)冲突1

TC. 2

		涂板带	
		涂板带材质柔性CP2	
		强↑	弱↓
板栅	磨损程度EP5	<input checked="" type="checkbox"/> 低	<input checked="" type="checkbox"/> 高
极板	涂膏稳定性EP1	<input checked="" type="checkbox"/> 差	<input checked="" type="checkbox"/> 好

(b)冲突2

TC. 3

		涂板带	
		涂板带速度CP1	
		快↑	慢↓
涂板机	生产速率EP3	<input checked="" type="checkbox"/> 高	<input checked="" type="checkbox"/> 低
涂板机	成品率EP4	<input checked="" type="checkbox"/> 低	<input checked="" type="checkbox"/> 高

(c)冲突3

TC. 4

		涂板带	
		板栅和涂板带摩擦力CP4	
		大↑	慢↓
板栅	涂膏稳定性EP1	<input checked="" type="checkbox"/> 强	<input checked="" type="checkbox"/> 弱
板栅	磨损程度EP5	<input checked="" type="checkbox"/> 高	<input checked="" type="checkbox"/> 低

(d)冲突4

TC. 5

		电机	
		涂板带速度CP3	
		快↑	慢↓
涂板机	生产速率EP3	<input checked="" type="checkbox"/> 高	<input checked="" type="checkbox"/> 低
极板	极板平整度EP2	<input checked="" type="checkbox"/> 差	<input checked="" type="checkbox"/> 好

(e)冲突5

TC. 6

		涂板带	
		板栅和涂板带摩擦力CP4	
		大↑	小↓
涂板机	生产速率EP3	<input checked="" type="checkbox"/> 高	<input checked="" type="checkbox"/> 低
极板	极板平整度EP2	<input checked="" type="checkbox"/> 差	<input checked="" type="checkbox"/> 好

(f)冲突6

图10 ENV模型表达冲突

通过功能结构模型分析控制参数影响的元件个数,通过ENV模型构建的冲突获得控制参数影响的评价参数个数和评价参数出现的次数,然后结合专家意见得到如下表6所示混合信息的评价指标内容。

表6 参数的权重评价打分表

(a) 评价参数表

评价指标 控制参数 (CP)	影响元件个数	评价参数相关个数	专家意见
铅膏出料速度	4	2	一般
涂板带材质柔性	4	2	较重要
涂板带速度	3	3	较重要
板栅和涂板带摩擦力	4	4	重要

(b) 控制参数表

评价指标 评价参数 (EP)	出现次数	专家意见	相关技术进化定律权重
涂膏稳定性	3	一般	0
极板平整度	2	重要	4
生产速率	4	较重要	2
成品率	1	较重要	2
磨损程度	2	重要	8

将控制参数权重评价指标进行规范化处理得到归一化矩阵:

$$X_{cp} = \begin{bmatrix} 0.5298 & 0.3050 & (0.25 & 0.33 & 0.33) \\ 0.5298 & 0.3050 & (0.42 & 0.46 & 0.47) \\ 0.3974 & 0.4575 & (0.42 & 0.47 & 0.47) \\ 0.5298 & 0.6100 & (0.76 & 0.67 & 0.67) \end{bmatrix}$$

确定参考序列即权重最理想方案:

$$X_0 = [0.5298 \quad 0.6100 \quad (0.76 \quad 0.67 \quad 0.57)]$$

求得各权重评价指标权重:

$$w_1 = 0.524 \quad w_2 = 0.236 \quad w_3 = 0.239$$

然后计算混合关联度,获得控制参数的权重系数:

$$r_1(\text{coef.CP}_1) = 0.68 \quad r_2(\text{coef.CP}_2) = 0.74$$

$$r_3(\text{coef.CP}_3) = 0.40 \quad r_4(\text{coef.CP}_4) = 0.68$$

按照上述方法同样计算评价参数的权重系数得到:

$$r_1(\text{coef.EP}_1) = 0.41 \quad r_2(\text{coef.EP}_2) = 0.62$$

$$r_1(\text{coef.EP}_1) = 0.68 \quad r_4(\text{coef.EP}_4) = 0.44$$

$$r_5(\text{coef.EP}_5) = 0.62$$

然后根据公式(12)计算各个冲突的权重:

$$TC1 = 0.68 \times (0.68 \times 1 + 0.41 \times 0) = 0.462$$

$$TC2 = 0.74 \times (0.62 \times 8 + 0.41 \times 0) = 3.671$$

$$TC3 = 0.40 \times (0.68 \times 2 + 0.44 \times 2) = 0.896$$

$$TC4 = 0.68 \times (0.41 \times 0 + 0.62 \times 8) = 3.370$$

$$TC5 = 0.40 \times (0.62 \times 4 + 0.68 \times 2) = 1.535$$

$$TC6 = 0.68 \times (0.68 \times 2 + 0.62 \times 4) = 2.610$$

根据上述计算结果分析, TC2的权重最高, 应该作为关键冲突进行求解。由于板栅通过与涂板带之间面接触的摩擦力被带动前进, 在涂抹铅膏过程磨损严重。而且涂板带为柔性结构, 伸缩容易破坏板栅表面铅膏。通过ARIZ85-AS算法的冲突求解过程得到一种新式的无涂板带的辊式涂板机, 如下图11所示:

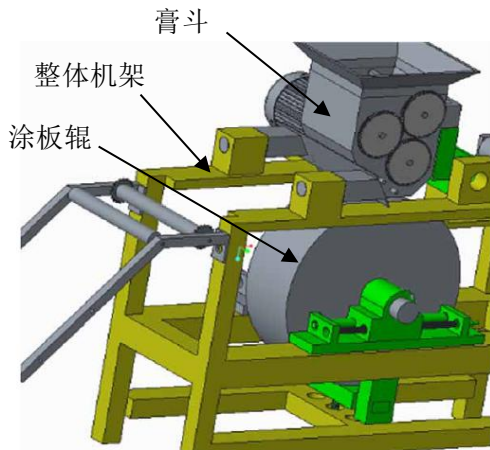


图11 无带式辊式涂板机

将涂板辊固定在整体机架上并置于膏斗的正下方, 涂板辊与膏斗之间有空隙, 可以涂抹铅膏并通过不同型号的板栅。涂板辊通过电机控制旋转带动板栅移动。该方案将涂板带换成涂板辊, 使板栅与支撑运输结构的接触由面接触改为线接触, 减少了接触面积, 大大降低了板栅的磨损程度。而且涂板辊为刚性结构。不会对已涂抹好的铅膏进行破坏。

5 结论

(1) 本文详细描述了构成冲突的ENV模型各个组成部分, 并通过九窗口法和系统进化定律提出了提取冲突参数的具体方法。该方法可以对系统进化过程出现的冲突进化整理和归纳。

(2) 对冲突重要度的影响因素有很多, 通过技术进化定律, 功能影响程度, 参数出现频率, 参数关联数量和专家评价多个方面对冲突参数进行较全面的分析, 通过混合信息关联度计算得到的参数权重并进而计算出冲突的重要度较为客观的描述了冲突在系统进化过程中的影响程度。关键冲突的判断也比较准确。

(3) 建立的基于ENV模型的多冲突混合信息求解过程模型通过涂板机案例验证了其合理性。但是

今后还需要通过更多工程案例加以验证并逐步完善。

(4) 在用TRIZ工具求解冲突时, TRIZ中提到的39个工程参数还不能完全与ENV模型的控制参数和评价参数相匹配。在今后需要研究出新的求解策略来消除关键冲突的ENV模型中参数之间的相互作用关系。

参 考 文 献

- [1] ALTSHULLER I. G. And suddenly the inventor appeared: TRIZ, the theory of inventive problem solving[M]. Worcester: Technical Innovation Center, 1996.
- [2] 韦子辉, 檀润华. 产品设计中多冲突问题解决过程研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(03): 263-267.
WEI Zihui, TAN Runhua. Research on multi-contradictions problem solving in product design[J]. China Mechanical Engineering, 2012, 21(3): 263-267.
- [3] FIORINESCHI L, FRILLICI F S, RISSONE P. A Comparison of Classical TRIZ and OTSM-TRIZ in Dealing with Complex Problems[J]. Procedia Engineering, 2015, 131: 86-94.
- [4] KHOMENKO N, ASHTIANI M. Classical TRIZ and OTSM as a scientific theoretical background for non-typical problem solving instruments[J]. Frankfurt: ETRIA Future, 2007.
- [5] KHOMENKO N, GUIO R, LELAIT L, et al. A framework for OTSM-TRIZ based computer support to be used in complex problem management [J]. International Journal of Computer Applications in Technology, 2007, 30(1/2): 88-104.
- [6] CAVALLUCCI D, ROUSSELOT F, ZANNI C. Initial situation analysis through problem graph[J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2010, 2: 310-317.
- [7] RAZMI J, HAGHIGHI D, BABAZADEH R. A knowledge-based algorithm for supply chain conflict detection based on OTSM-TRIZ problem flow network approach[J]. Scientia Iranica, 2018, 25(6): 3700-3712.
- [8] 马力辉, 檀润华. 基于TRIZ进化理论和TOC必备树的冲突发现与解决方法[J]. 工程设计学报, 2007, 3: 177-180.
MA Lihui, TAN Runhua. Contradiction discovery and solving method based on TRIZ evolution theory and TOC prerequisite tree[J]. Journal of Engineering Design, 2007, 3: 177-180.
- [9] CAVALLUCCI D, KHOMENKO N. From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design[J]. International Journal of Product Development, 2006, volume 4(1-2): 4-21(18).
- [10] SOUCHKOV V. Value-Conflict Mapping (VCM) to structure innovation strategy [C]//TRIZ Future 2008-Synthesis in Innovation. Enschede, Netherlands,

- 2005: 235-241.
- [11] 张建辉,梁瑞,韩波,等. 面向复杂产品的问题流网络构建及求解过程模型[J]. 机械工程学报,2018,54(23): 160-173.
ZHANG Jianhui,LIANG Rui,HAN Bo,et al. The Problem Flow Network Building and Solving Process Model for Complex Product[J]. Journal of Mechanical Engineering,2018,54(23): 160-173.
- [12] 刘尚,高超,何春江,等. 基于技术进化树辅助的TRIZ解领域化方法研究[J]. 机械设计与研究,2018,34(05): 12-16.
LIU Shang,GAO Chao,HE Chunjiang,et al. Research on Transferring Process from TRIZ Solution to Specific Solution Based on Technical Evolution Tree[J]. Machine Design & Research,2018,34(05): 12-16.
- [13] BALDUSSU A, BECATTINI N, CASCINI G. Network of contradictions analysis and structured identification of critical control parameters[J]. Procedia Engineering, 2011: 3 - 17.
- [14] CAVALLUCCI D, ROUSSELOT F, ZANNI C. On contradiction clouds[J]. Procedia Engineering, 2011,9: 368 - 378.
- [15] 杨洪超,张建辉,梁金豹,等. 面向多冲突网络求解的产品创新设计过程模型[J]. 机械设计.2014,31(4): 11-17.
YANG Hongchao,ZHANG Jianhui,LIANG Jinbao,et al. Product innovation design process model oriented multi-contradiction network solving [J]. Journal of Machine Design, 2014,31(4): 11-17.
- [16] 马力辉. 面向多冲突问题的 TRIZ 关键技术研究[D]. 河北工业大学,2007.
MA Lihui. Research on TRIZ key technology for multi-contradictions[D]. Tian Jin: Hebei University of Technology, 2007.
- [17] 韦子辉,阎会强,檀润华. TRIZ 理论中 ARIZ 算法研究与应用[J]. 机械设计,2008(04): 57-61.
WEI Zihui,YAN Huiqiang,TAN Runhua. Research and application of ARIZ algorithm in TRIZ theory[J]. Journal of Machine Design,2008(04): 57-61.
- [18] 檀润华,王庆禹,苑彩云,等. 发明问题解决理论:TRIZ——TRIZ 过程、工具及发展趋势[J]. 机械设计,2001(07): 7-12+53.
TAN Runhua,WANG Qingyu,YUAN Caiyun,et al. Theory for solving the inventive problems (TRIZ) —— The process, tools and developing trends of TRIZ[J]. Journal of Machine Design,2001(07): 7-12+53.
- [19] KHOMENKO N, KUCHARAVY D. OTSM-TRIZ problem solving process: Solutions and their classification[C]. in Proceedings of TRIZ Future Conference, Strasbourg, France ,2002.
- [20] 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.
TAN Runhua. TRIZ and application: the technological innovation process and the method [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [21] FEY V,RIVIN E. Innovation on demand[M]. NewYork:Cambridge Univesity Press,2005.
- [22] CAVALLUCCI D, ROUSSELOT F. Evolution hypothesis as a means for linking system parameters and laws of engineering system evolution[J]. Procedia Engineering, 2011,9: 484 - 499.
- [23] 夏勇其,吴祈宗. 一种混合型多属性决策问题的 TOPSIS 方法[J]. 系统工程学报,2004(06): 630-634.
XIA Yongqi,WU Qizong. A technique of order preference by similarity to ideal solution for hybrid multiple attribute decision making problems[J]. Journal of Systems Engineering,2004(06): 630-634.
- [24] 李亚涛. 双面涂板工艺的应用[J]. 电源技术,2009,33(10): 893-895
LI Yatao. Technology application of double side pasting machine[J]. Chinese Journal of Power Sources,2009,33(10): 893-895
- [25] 周龙瑞,王俊. 动力型铅酸蓄电池生产设备的现状及改进[J]. 蓄电池,2009,46(04): 177-180.
ZHOU Longrui,WANG Jun. Status quo and improvement of manufacturing equipment for motive power lead-acid batteries[J]. Chinese Labat Man,2009,46(04): 177-180.
- [26] 刘建民,王建保. 浅谈铅酸蓄电池涂板[J]. 蓄电池,2007(02): 82-84.
LIU Jianmin,WANG Jianbao. A brief analysis of pasting for lead-acid batteries[J]. Chinese Labat Man,2007(02): 82-84.

作者简介: 梁瑞, 男, 1990 年出生, 博士研究生。主要研究方向为创新设计。

E-mail: liangruilr@163.com

檀润华(通讯作者), 男, 1959 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为创新设计, TRIZ 理论及应用, 技术创新过程管理等。

E-mail: rhtan@hebut.edu.cn

张建辉, 男, 1974 年出生, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为创新设计、计算机辅助设计/制造。

E-mail: zjh2031@126.com