

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.11.004

基于功能关系模型和过程模型 的冲突区域确定方法研究*

张换高^{1,2}, 付剑剑^{1,2}, 高胜生^{1,2}, 赵文燕³

(1. 河北工业大学 机械工程学院, 天津 300401; 2. 国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心, 天津 300401; 3. 河北工业大学 经济管理学院, 天津 300401)

摘要:针对 TRIZ 中运用功能模型进行冲突区域确定过程中,因其无法表达与时间/顺序有关信息而造成的因果分析不全面,和冲突区域难以确定的问题,在对两类功能模型的本质进行研究的基础上,提出了一种综合功能过程模型和功能关系模型的冲突区域确定方法。首先建立了系统功能结构,分析了每个功能元实现的流转换的过程,根据实际功能元输入/输出流属性与期望属性的差值,确定了问题功能元;然后按照问题功能元对应的物理结构建立其功能模型,通过功能模型确定与问题相关的根原因及对应的冲突区域;最后运用 TRIZ 工具进行了求解,以自动售粮装置工作过程中出现的问题为例,应用该方法进行了分析与求解。研究结果表明:因为综合考虑了功能实现的过程及元件间作用,该方法能够更全面地分析确定系统中与问题相关的冲突区域。

关键词:TRIZ;功能关系模型;冲突区域;功能过程模型;自动售粮装置

中图分类号:TH122;TH692.62

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2019)11-1140-07

Conflict zone determination based on functional relation model and process model

ZHANG Huan-gao^{1,2}, FU Jian-jian^{1,2}, GAO Sheng-sheng^{1,2}, ZHAO Wen-yan³

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. National Engineering Research Center for Technological Innovation Method and Tool, Tianjin 300401, China;

3. School of Economics and Management, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: Aiming at the problem of incomplete causal analysis and difficulty in the determination of conflict area that are caused by the failure to express information related to time/sequence in the process of determining conflict area by using functional model in TRIZ, based on the research on the essence of the two types of functional models, a conflict area determination method for the comprehensive functional process model and functional relationship model was proposed. Firstly, the function structure of system was established and the process of flow conversion realized by each function element was analyzed. According to the difference between the input/output stream attributes and the expected attributes of the actual function unit, the problem function unit was determined. Then the function model was established according to the corresponding physical structure of the problematic function element. The root cause related to the problem and the corresponding conflict area were delimited based on the function model. Finally, the TRIZ tool was used to solve the problem. This method was applied to analyze and solve the problems in the operation of automatic grain selling device. The results show that this method can more comprehensively analyze and determine the conflict areas related to the problems in the system because of the comprehensive consideration of the process of

收稿日期:2019-04-01

基金项目:科技部创新方法工作专项资助项目(2017IM040100);河北省社会科学基金资助项目(HB17GL035);河北省创新能力提升计划项目(18215310D)

作者简介:张换高(1973-),男,河北南宫人,教授,硕士生导师,主要从事 TRIZ、机电产品创新设计、专利规避等方面的研究。E-mail:zhgzwy@hebut.edu.cn

function realization and the interaction between components.

Key words: TRIZ; function relation model; conflict zone; function process model; automatic grain selling device

0 引言

基于 TRIZ 求解工程问题,一般需要在建立技术系统功能模型的基础上,分析问题根本原因,确定冲突区域,然后修改根本原因,或者应用 TRIZ 的工具对问题进行求解。TRIZ 中的功能模型(有些文献称为组件模型)是一种与功能实现顺序无关仅表达系统元件作用关系的模型,实际上是一种从物质-场模型衍生出来的关系模型。对于由于元件间相互作用导致的问题,基于该模型进行因果推理,能够确定导致问题的所有根本原因以及与问题相关的所有冲突区域^[1]。因为功能模型无法表达功能实现的顺序,对于与功能实现顺序有关的问题,如能量、物料和信息转换过程中出现的问题,一方面因为制品不断变化难以通过一个功能模型进行分析,另一方面由功能模型也无法推理出与时间/顺序相关的原因。

本文将综合功能过程模型和关系模型,提出一种能够综合考虑与时间相关和与元件属性相关的因果推理方法,并最终确定与问题相关的冲突区域。

1 研究现状

1.1 冲突区域及其确定方法

冲突区域是功能模型中与问题相关的区域,一般由两个元件及其之间存在问题的作用组成。冲突区域的确定需要根据问题的表象进行因果推理。文献^[1]在功能模型基础上,通过冲突区域转换进行了根原因分析,并最终确定了问题的根本原因和相应的冲突区域。目前冲突区域的概念主要在 TRIZ 中,但是类似研究还有很多:FMEA 分析是在明确潜在的故障模式基础上,对各单元可能存在的故障,以及故障所产生的后果进行评定^[2,3];预期失效分析是一种失效分析工具^[4],能够挖掘已存在问题的根本原因并预测未发现的系统问题,让设计者主动思考如何让产品失效,然后再去思考如何避免这些失效;类比设计方法通过利用已有系统的问题解决方案或过程来解决相似系统目标问题,对问题冲突区域的分析具有一定的借鉴作用^[5,6];"5W1H"方法^[7]通过回答 Who? What? When? Where? Why? How? 6 个问题来发现深层次的问题区域;故障树分析法是一种特殊的倒立树状逻辑因果关系图,它用事件符号、逻辑门符号和转移符号描述了系

统中各事件的因果关系,具有直观、明了、思路清晰、逻辑性强等特点^[8];鱼骨图法以头脑风暴法为支撑,从人、机、料、法、环、测量 6 个方面(5M1E)去寻找问题发生的原因及问题区域^[9];5-why 分析法的基本思想是从特定事实入手^[10],通过不断地询问“为什么”,穿过具体层面,逐渐深入挖掘不同抽象层面的原因,其对设计者经验的依赖程度较高,且比较抽象,适合链式因果关系。

以上研究为基于因果推理确定与问题相关区域提供了理论依据和方法基础,但是在寻找问题原因和相关区域过程中,属于基于经验的枚举罗列,缺乏思考的逻辑。

1.2 产品功能模型研究现状

1.2.1 功能过程模型

功能是技术系统存在的目的,是输入到输出的变换。功能结构表达了能量流、物料流和信息流在系统中的转换过程。P&B 理论基于功能分析给出了建立功能结构的过程和方法,在产品设计和分析中具有重要的作用^[11]。功能结构的建立过程是将产品总功能分解成子功能,再将子功能分解为功能元,各功能元之间用能量流、物料流和信息流的输入和输出进行连接,最终用功能元及其之间流的关系来描述产品功能的过程^[12-13]。

功能结构是描述功能实现过程的过程模型,描述了能量、物料和信息在系统内部的转换过程,每一次转换都是通过一个功能元实现的。通过对问题所涉及及能量/物料/信息转换过程的分析,可以确定与问题相关的功能元(问题功能元)。但是在功能结构中功能元是用“动词+名词”的形式描述的,而解决工程问题最终改变的对象是系统的物理结构,因此在进行问题分析时,在确定问题功能元基础上,需要进一步把问题原因定位在产品中具体元件的物理属性上。在功能元与对应的物理结构的映射方面,BAYSAL^[14]在产品信息的不同抽象层次上对其功能、行为、结构和相互关系进行了表示;MALMIRY^[15]提出了一种建立定量的功能-行为-结构关系的方法,将能量流模型应用于特征-属性模型(CPM),CPM 创建了一个包含产品功能和结构的框架,这些方法可以实现从功能元到物理结构的映射。

1.2.2 功能关系模型

TRIZ 认为系统功能表现为系统对制品参数的改

变,基于该功能的定义,ALTSHULLER 提出了物质 - 场模型定义元件的功能,由此衍生出由系统边界内的元件及其相互作用关系组成的功能网络、制品和超系统共同构成的技术系统的功能模型。该模型表达了制品、系统和超系统组成元件间的作用关系及其属性,本质上是一种表达功能实现情景元素间作用的关系模型。

对于以能量和/或信号传递和变换为主要功能的技术系统,由于系统制品和元件间作用是通过能量流和/或信号流连接起来的,除了能量流产生的机械作用之外元件间的作用很多时候难以描述,甚至有时都很难明确制品,因此对系统建立功能模型比较困难。

对于以物料变换为主要功能的技术系统,同一制品在功能执行过程中不同阶段具有不同的属性,甚至在不同阶段的制品也会变化,如组装生产线,因为功能模型对时间/顺序属性表达的缺失,对于这类问题表达起来也很困难。

2 基于功能关系模型和过程模型冲突区域确定方法

2.1 冲突区域确定原理

通过对功能模型和功能结构两种功能的描述方式的分析发现,利用功能结构和功能模型对产品的功能进行描述,都有其自身独特的优势与不足:功能结构表达了功能实现过程,但无法反映系统具体物理结构;功能模型能够表达系统物理结构构成,但无法反映功能与时间/顺序相关的信息。

针对上述应用功能模型不易表达的技术系统,为了能够更加全面地分析系统出现问题的原因,也是为因果推理提供推理的路径,并最终确定问题相关的冲突区域,将功能结构与功能模型结合起来。

基于功能过程模型与关系模型的冲突区域确定原理如图 1 所示。

图 1 中,首先建立了系统功能结构,分析每个功能元实现的能量/物料/信息(E/M/I)流转换的过程,根据实际功能元输入/输出流属性(含属性取值)与期望属性的差值,确定问题功能元;然后按照问题功能元对应的物理结构建立其功能模型,通过功能模型来确定与问题相关的根原因(元件属性)及对应的冲突区域。

2.2 冲突区域确定过程

技术系统问题求解过程模型如图 2 所示。

图 2 中,过程模型分为问题功能元的确定、冲突区

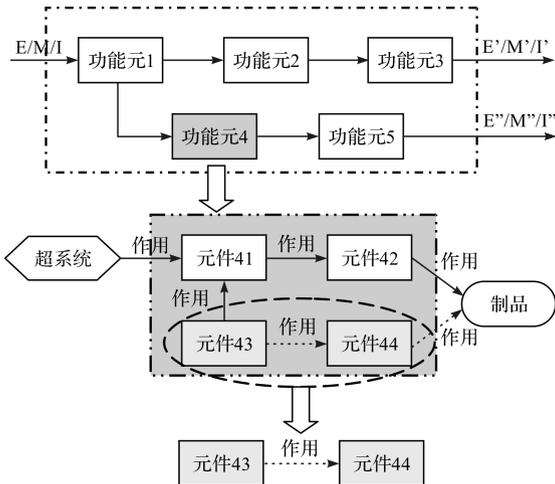


图 1 基于功能过程模型与关系模型的冲突区域确定原理

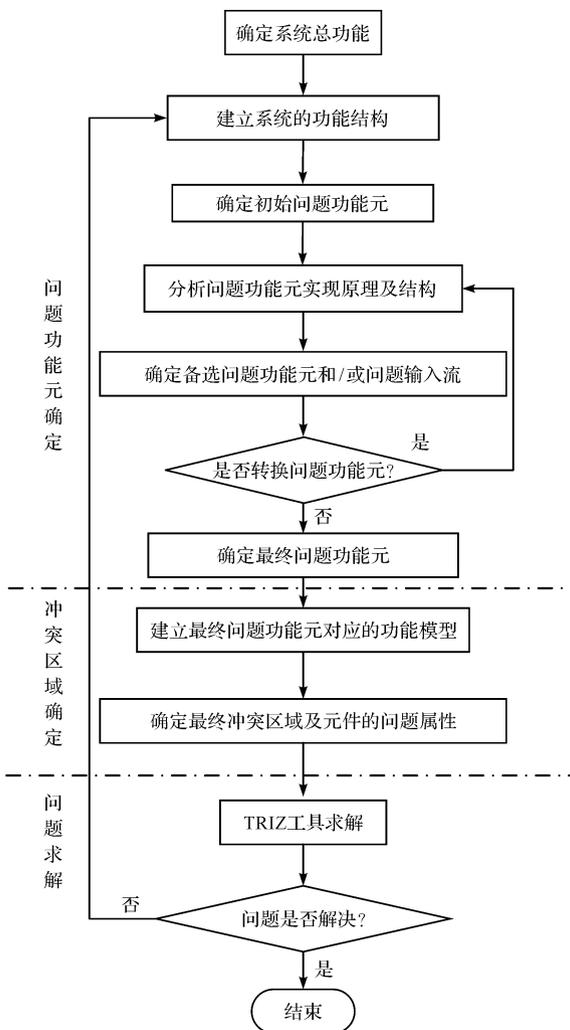


图 2 技术系统问题求解过程模型

域的确定和问题求解 3 个部分;通过将功能模型与功能结构相结合分析技术系统中出现的问题,确定冲突区域及最终的问题元件,并运用 TRIZ 进行求解。

2.2.1 问题功能元的确定

(1)确定系统总功能。用黑箱模型表示其物料/能量/信息流的输入输出关系,产品总功能以“动词 +

名词”进行描述;

(2) 建立系统的功能结构。系统实现功能的过程,就是将输入流转化为输出流的过程,将产品总功能分解到功能元,然后按照输入输出流关联性建立功能结构,功能结构可以清晰地表达产品功能实现过程中能量/物料/信息流的转换;

(3) 确定初始问题功能元。结合每个功能元实现的能量/物料/信息(E/M/I)流转换的过程,对问题表象进行分析,确定与问题表象直接相关的输出流,在功能结构中,与该输出流直接相关的功能元及输入/输出流与期望结果存在差值,该功能元即为初始问题功能元;

(4) 分析问题功能元实现原理及结构。分析问题功能元对应的实现原理及结构,以确定导致输出流不满足要求的原因。原因有两方面:①问题功能元的输入流具有的某种或某些属性;②功能元对应的原理解实际执行流转换的能力不足,表现为期望的转换水平未达到期望值,或者出现了有害的输出流;

(5) 确定备选功能元和/或问题输入流。如果导致输出流不满足要求的原因是因为功能元实现的原理和结构,则该功能元将作为备选功能元;如果是由输入流导致的,则导致问题的输入流为问题输入流;如果以问题输入流为输出,在功能结构上转换问题功能元,然后重复以上两个步骤;如果问题输入流是超系统输入的,则不再继续转换问题功能元;

(6) 确定最终问题功能元。根据上述过程分析结果,汇总所有备选问题功能元,从中选择解决相对简单,并且对其他部分影响较小的问题功能元作为最终问题功能元;如果不易判断,也可以对所有备选功能元进行后续分析。

2.2.2 冲突区域确定

(1) 建立最终问题功能元对应的功能模型。针对确定的问题功能元,按照其实现的原理及结构建立其功能模型,通过其功能模型,将问题功能元有关的所有元件及其之间的相互作用关系进行表示,根据问题功能元的表象确定初始冲突区域;

(2) 确定最终冲突区域及问题元件属性。按照文献[1]所述的基于冲突区域转换的根原因分析方法进行因果推理,确定最终冲突区域及问题元件的属性。

2.2.3 运用 TRIZ 工具进行问题求解

修改冲突区域元件的问题属性,依据空间耦合与相互作用耦合关系,分析是否导致新的问题,如果出现新的问题,转换为冲突问题进行求解;提取冲突区域应用物质-场模型表达,用标准解求解,或对冲突区域元件的功能重新求解。

3 实例验证

超市中传统售卖粮食采用的是将粮食盛放在货架中,由顾客自由挑选以及装袋称量的方式。这种方式虽然方便顾客查看粮食质量,但是也存在不卫生、购买过程麻烦等缺陷。自动售粮机是解决该问题的基本途径,但是在样机试验过程中,发现粮食经常无法正常输出。

3.1 系统总功能确定

自动售粮装置的黑箱模型如图 3 所示。



图 3 自动售粮装置的总功能

自动售粮装置总功能为售粮,总功能输入的能量、物质、信号分别为电能、人力、散装粮食、食品袋、标签和开关信号,其输出的能量、物质、信号分别为热能、转矩、动能、势能、打包称量好的粮食、开关信号和粮食重量。

3.2 系统功能结构建立

将产品总功能分解到功能元,然后按照输入输出流关联性建立功能结构,用功能结构来表达产品功能实现过程中能量/物料/信息流的转换。

自动售粮装置总功能分解后功能树如图 4 所示。

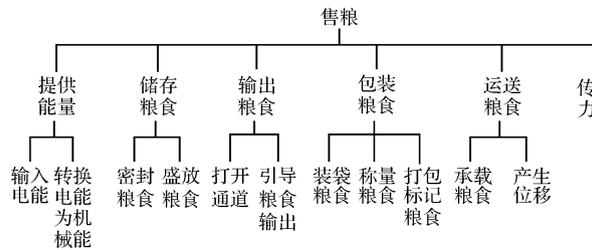


图 4 自动售粮装置功能树

将售粮总功能分解为多个容易实现的功能元,为接下来分析系统内部的输入输出流关键性做准备。

自动售粮装置的功能结构如图 5 所示。

通过对自动售粮装置实现售粮功能的过程中各个功能元及其输入/输出流进行分析,并将所有功能元进行组合。在自动售粮装置工作过程中,粮食预先存放在装置内部的密封粮仓中,顾客购买粮食时按动按钮,粮仓底部出粮开关打开,粮食从出口落下进入输送粮食通道,通过通道出口到达下方食品袋中。顾客在粮食输出达到满意数量时按动按钮,此时出粮开关关闭,称量装置开始称重,然后将数据信息传递到打印标签装置进行标签打印粘贴和封袋工作,最后通过支撑板向上移动将称量打包好的产品移动到一定高度,方便

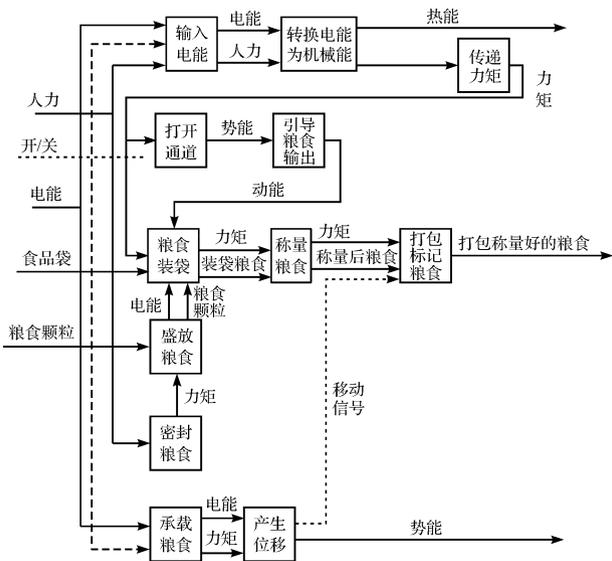


图5 自动售粮装置功能结构

顾客取用。

3.3 初始问题功能元确定

自动售粮装置在工作一段时间后,经常发生无法正常输出粮食的问题。直接表现出粮食无法输出的流是“打包称量好的粮食”,即“打包标记粮食”功能元出现问题。实际工作过程中,“打包标记粮食”功能元会出现无法输出的情况,确定“打包标记粮食”功能元为初始问题功能元。

3.4 问题功能元实现原理及结构分析

初始问题功能元涉及的问题属性包括:(1)执行此功能元的机构出现问题,由于其为自身原因导致,将其列为备选问题功能元1;(2)上一个功能元的输出流出现问题,由于其与上一个功能元有关,进行问题功能元转换。

3.5 备选功能元和/或问题输入流确定

根据“上一个功能元的输出流出现问题”进行问题功能元转换,转换到“称量粮食”功能元及其输入输出流。涉及的问题属性包括:(1)称量装置损坏;(2)粮食无法装袋。其中:称量装置损坏是功能元自身属性不足导致无法达到期望的输出结果,作为备选问题功能元2;粮食无法装袋涉及上一个功能元的输出流出现问题,对其进行问题功能元转换,为“粮食装袋”功能元出现问题。

对“粮食装袋”功能元进行分析,涉及到的问题属性包括:(1)粮食装袋装置损坏;(2)食品袋无法输入;(3)粮食颗粒无法输入;(4)引导粮食输出功能出现问题。其中:问题属性(1)为装置自身属性导致的无法达到期望的输出结果,作为备选问题功能元3;问题属

性(2)食品袋的输出与粮食输出是并列关系,一方出现问题不对另一方产生影响,进行排除;问题属性(3)盛放粮食后的输出由问题属性(4)决定,因此排除。

“引导粮食输出”功能元出现问题属于上一级功能元的问题,因此对其进行转换,涉及到的属性包括:(1)引导装置出现问题;(2)上一级输出流产生问题,即“打开通道”功能元出现问题。其中:问题属性(1)属于自身属性导致的无法达到期望的输出结果,归为备选问题功能元4;“打开通道”功能元在实现功能过程中,由于系统问题总是在工作一段时间后出现,因此其开关闭道的输入流不存在问题,因此“打开通道”功能元装置自身可能出现问题,作为备选问题功能元5。

3.6 最终问题功能元确定

备选问题功能元汇总如表1所示。

表1 备选问题功能元

备选问题功能元	问题产生可能性分析	可控性及改变难度
1 打包标记粮食	由于问题反复出现,且只需清理后重新装粮食即可解决问题,因此备选功能域1、2和3装置出现问题可能性低。	容易控制,改进简单
2 称量粮食		
3 粮食装袋		
4 引导粮食输出	可能性较高,引导装置不足易造成粮食无法顺利输出	不易控制,改进难度高
5 打开通道	可能性较高,开闭装置功能不足易造成无法出粮	不易控制,改进难度高

表1表示了上述分析过程中所有可能出现的备选问题功能元,以及对其产生的问题可能性和可控性的分析。笔者分析问题出现表象及表1所示备选问题功能元,确定最终问题功能元为“引导粮食输出”和“打开通道”功能元。

3.7 最终问题功能元对应的功能模型建立

其最终问题功能元的功能模型如图6所示。

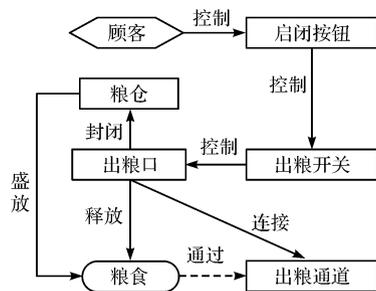


图6 最终问题功能元的功能模型

最终问题功能元是“引导粮食输出”和“打开通道”功能元,按照其功能元实现原理及结构建立功能模型,将问题功能元有关的所有元件及其之间的相互

作用关系进行表示。

通过功能模型初步确定初始问题区域:问题表象是粮食无法输出,因此直接涉及的元件是出粮通道和粮食,将初始问题区域确定为粮食和出粮通道组成的初始冲突区域。

出粮通道无法出粮的原因有:(1)出粮通道的材料和斜度;(2)粮食自身的材料特性;(3)粮食没有进入出粮通道。由于出粮通道的材料以及斜度和粮食自身的材料特性由原始设计导致,属于冲突区域内原件自身的属性,可作为备选根原因;粮食没有进入出粮通道则属于输入流的属性,属于外部流属性的物质约束,而粮食的输入由上一级功能元盛放粮食输出,其原因涉及粮仓以及出粮口对粮食的作用。

转换冲突区域。冲突区域转换到粮食与出粮口以及粮仓之间的作用。涉及的问题属性包括:(1)粮食自身所受重力;(2)粮仓材料与形状;(3)粮仓以及出粮口形状参数;(4)粮食的状态。其中:问题属性(1)和(2)是区域内元件固有属性,作为备选根原因;问题属性(3)由设计参数导致;问题属性(4)决定于粮食在粮仓中的受力作用。

按照上述分析过程形成因果逻辑展开图,其根原因分析如图 7 所示。

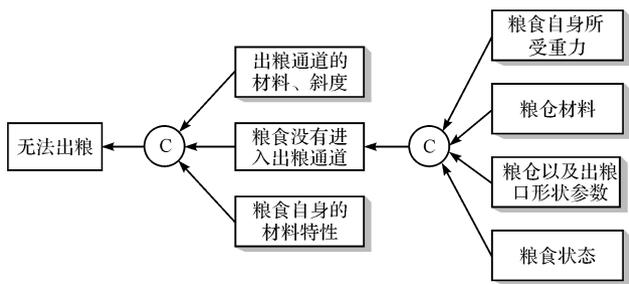


图 7 根原因分析

阴影框—备选根原因

所有无法出粮备选根原因列表如表 2 所示。

表 2 无法出粮备选根原因

备选根原因	可采取的措施	实现难度
出粮通道的材料、斜度	选用光滑材料、增加倾斜度	比较容易
粮食自身的材料特性	改变材料特性	困难
粮食自身所受重力	无	
粮仓材料	选用光滑材料	容易
粮仓以及出粮口形状参数	通过增加结构或重新设计改变形状	较容易
粮食状态	通过机构改变状态	较容易

从图 7 及表 2 中可以发现:要想解决自动售粮装置无法出粮问题,应从粮仓以及出粮口形状参数和粮食状态两方面入手解决,而粮食的状态是其自身属性

无法改变,因此根原因是解决粮仓以及出粮口形状参数和粮食之间造成冲突导致的结拱问题,最终冲突区域在粮仓结构和出粮口形状参数之间。

3.8 运用 TRIZ 中工具进行求解

自动售粮装置无法正常输出粮食的最终冲突区域确定为粮仓和出粮口形状参数之间:由于输出粮食的出粮口必须较小,且粮仓以及出粮口的形状参数是固定不变的,导致粮食极易在重力作用下挤压堆积在出粮口附近达到一种平衡状态,从而造成结拱现象,使出粮变得困难,机器出现故障。

若要清除结拱的粮食就必须对结拱进行破坏,这意味着需要额外增加一个功能,相对应的就要增加结构和能耗,这样一来肯定会增加系统的复杂性,所以应优先考虑运用系统内资源解决问题。

由于粮仓以及出粮口的形状参数是固定不变的,在粮食输出时势必会造成粮食汇聚在出粮口附近,造成聚集,为了防止此现象,必须改变出粮口尺寸参数。此时可应用 TRIZ 工具中的物理冲突解决理论进行求解,为了防止粮食聚集在出粮口附近造成结拱,需要增大出粮口尺寸参数,但是为了控制精确,需要减小出粮口尺寸参数。解决物理冲突需要利用分离原理,包括时间分离、空间分离、基于条件的分离、整体与部分的分离原理。经过分析后选择时间分离对应的发明原理:动态化原理。根据选定的动态化发明原理可知:粮食之所以结拱是因为粮仓和出粮口都是静止的,粮食在输出过程中由于重力逐渐汇聚到出粮口堆积起来导致结拱,如果它们无法在出粮口堆积,所谓的结拱现象也就不存在。

确定改进后的设计方案。由于售粮装置本身比较复杂,应尽量减少额外增加装置的方案,所以尽可能运用系统已有资源进行改进。

改进后粮仓及开关示意图如图 8 所示。

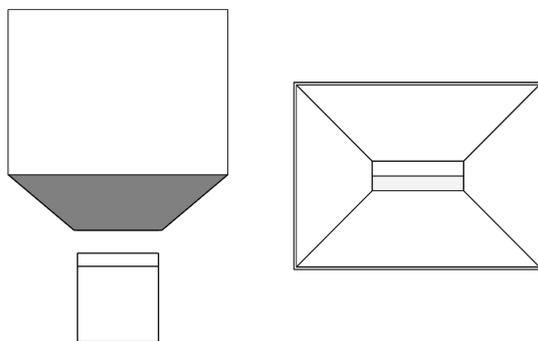


图 8 改进后粮仓及开关示意图

图 8 中,由于原有售粮机构的出粮开关在出粮时向下移动,并位于某一位置静止不动,售粮停止时出粮

开关产生向上移动封闭出粮口,该过程中粮仓和出粮口以及粮食处于相对静止状态,为粮食堆积结拱提供了条件。因此,笔者采用的方法是对出粮开关进行改进,利用开关元件本来需要执行的开关动作(运动),在出粮口上下往复运动,从而破除粮食结拱的条件,同时对出粮开关结构进行变形改进,在不改变其与出粮口水平方向配合的参数情况下,增加其竖直方向尺寸,使其在封闭出粮口时能够深入粮仓,从而使其在出粮时往复运动时能够接触粮食,打破粮食结拱,使粮食能够顺利进入出粮通道,完成售粮机的自动售粮功能。

3.9 系统功能是否能够正常实现的判断

经过改进后的自动售粮机设计方案通过利用不同顾客购粮时对开关的起闭,来不断打破粮食的聚集,实现粮食的破拱,从而阻止了粮食的结拱现象,最终使售粮机可以正常工作。其设计既实现了自动售粮的需求,也大大节省了维修所需要的人力物力,经判断符合产品设计的要求,方案可行。

4 结束语

综合了功能过程模型和关系模型,本文提出了一种能够综合考虑与时间相关和与元件属性相关的因果推理方法,确定了问题相关的冲突区域。当产品技术系统出现问题时,首先建立了系统功能结构,分析了每个功能元实现的流转换的过程,根据实际功能元输入/输出流属性与期望属性的差值,确定了问题功能元;然后按照问题功能元对应的物理结构建立了其功能模型,通过功能模型确定了与问题相关的根原因及对应的冲突区域;最后运用 TRIZ 工具进行了求解,根据提出的冲突区域确定方法,用自动售粮装置验证了其可行性。结果表明:改进后的自动售粮装置解决了无法正常出粮的问题。

参考文献 (References):

- [1] 张换高. 创新设计—TRIZ 系统化创新教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [2] 张 氢, 周兆伟, 孙远韬, 等. 基于 FMEA 和 FTA 的智能型制动器的失效分析[J]. 中国工程机械学报, 2016, 14(2): 109-113

- [3] PEETERS J F W, BASTEN R J I, TINGA T. Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner[J]. **Reliability engineering & system safety**, 2018(172): 36-44.
- [4] HUI L I, TAN R, BO X U, et al. Patent design around method based on afd for umbrella-type patent strategy[J]. **Journal of Mechanical Engineering**, 2016, 52(5): 1-11.
- [5] 刘晓敏, 王建辉, 李娇蓉, 等. 基于生物原型的产品创新设计[J]. 中国工程机械学报, 2017, 15(6): 504-512.
- [6] LIU Xiao-min, HUANG Shui-ping, WANG Jian-hui, et al. Conceptual design based on triz & function analogy for product innovation[J]. **Journal of Mechanical Engineering**, 2016, 52(23): 34-42.
- [7] SU Xiao. The application of “5W1H” in industrial design[J]. **Advanced Materials Research**, 2014, 1028(1): 346-349.
- [8] FAZLOLLAHTABAR H, NIAKI S T A. Fault tree analysis for reliability evaluation of an advanced complex manufacturing system[J]. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, 2018, 17(1): 107-118.
- [9] 陈 喜, 李文强, 李 彦, 等. 集成鱼骨分析与进化法则的产品失效预测及问题求解[J]. 工程设计学报, 2014, 21(2): 109-114.
- [10] 覃孟黎. 5 why 分析法在质量管理中的应用及实例研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 164(8): 94-95, 99.
- [11] PAHL G, BEITZ W. Engineering design[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- [12] 吕 冰, 陈梦佳, 李泽群, 等. 基于功能流模型的青贮机械模块化设计[J]. 机械设计, 2018, 35(8): 120-124.
- [13] AL-FEDAGHI S. Design functional decomposition based on flow[C]. IEEE International Conference on Systems, Budapest: IEEE, 2017.
- [14] BAYSAL M M, ROY U. Representation of function, behavior, structure and interrelationships at different abstract levels of product information[C]. ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Houston: ASME, 2015.
- [15] MALMIRY R B, DANTAN J Y, PAILHÈS J, et al. From functions to tolerance analysis models by using energy flow model in characteristics-properties modelling[J]. **Procedia CIRP**, 2016(43): 100-105.

[编辑: 周昱晨]

本文引用格式:

张换高, 付剑剑, 高胜生, 等. 基于功能关系模型和过程模型的冲突区域确定方法研究[J]. 机电工程, 2019, 36(11): 1140-1146.

ZHANG Huan-gao, FU Jian-jian, GAO Sheng-sheng, et al. Conflict zone determination based on functional relation model and process model[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019, 36(11): 1140-1146. *《机电工程》杂志*: <http://www.meem.com.cn>