

DOI:10.11992/tis.201610012

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20170227.2217.024.html>

基于因果分析的事元蕴含系及其应用

花黄伟^{1,2}, 杨春燕^{1,2}

(1. 广东工业大学 可拓学与创新方法研究所, 广东 广州 510006; 2. 广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 可拓学中的事元蕴含系方法和 TRIZ 中的因果分析方法都是寻找问题产生原因的有效方法。首先介绍事元蕴含系的相关概念, 研究事元蕴含系的类型及模型, 提出基于因果分析的事元蕴含系, 并建立相应的模型, 最后通过案例分析论证该模型的合理性。该研究为利用计算机帮助人们分析和处理问题提供了便于操作的形式化、模型化方法。

关键词: 蕴含分析; 事元蕴含系; 因果分析; TRIZ; 可拓学

中图分类号: TP18; TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2017)01-0060-07

中文引用格式: 花黄伟, 杨春燕. 基于因果分析的事元蕴含系及其应用[J]. 智能系统学报, 2017, 12(1): 60-66.

英文引用格式: HUA Huangwei, YANG Chunyan. Affair-elements implication system and its application based on causal analysis [J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2017, 12(1): 60-66.

Affair-elements implication system and its application based on causal analysis

HUA Huangwei^{1,2}, YANG Chunyan^{1,2}

(1. Research Institute of Extenics and Innovation Methods, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Everything happens for a reason. Both the affair-elements implication system in Extenics and the causal analysis in TRIZ are effective ways to determine the reasons for the problems. In this paper, the concept of an affair-elements implication system was introduced and its types and models were studied, then the affair-elements implication system based on causal analysis was provided, and the corresponding models were established. Finally, the rationality of the models was proven through a case study. This research provides easy-operating formalization and modeling methods using a computer to help people analyze and manage problems.

Keywords: implication analysis; affair-elements implication system; causal analysis; TRIZ; Extenics

可拓学中的蕴含分析是根据物、事和关系的蕴含性, 以基元为形式化工具而对物、事或关系进行的形式化分析^[1]; 蕴含分析方法又称为蕴含系方法, 是分析问题、找到核问题或问题源头的一种常用方法。对于所有矛盾问题, 找到问题产生的根本原因, 是彻底地解决问题的基础。问题的产生方式有很多种, 形成问题的形式也有多种, 它不会平白无故地产生, 问题的产生必定是有原因的。我们想解决问

题, 最好的方法就是找到问题的源头, 从根本上解决问题。

因果分析是 TRIZ 中一种常用的分析问题的方法, 可以快速、有效地梳理和收敛问题^[2]。在因果分析中最常见的是“追问法”, 即就所看到的问题的现象, 进行一步一步地追问, 直到找到可以消除问题的根本原因为止。

对因果分析和蕴含系的研究, 目前已有的文献成果较少。文献[3]提出了因果分析的概念, 对因果分析进行了详细的阐述, 并给出了相关的性质, 分析了流程方法; 文献[4]介绍了蕴含系的定义, 还介

收稿日期: 2016-10-13. 网络出版日期: 2017-02-27.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61273306); 广东省科技计划项目(2016A040404015).

通信作者: 杨春燕. E-mail: 276519106@qq.com.

绍了如何运用蕴含系来分析解决问题;文献[5]对蕴含系进行了进一步的研究,丰富了蕴含系的性质及其方法。蕴含系和因果分析既有共同之处,又有所区分。本文尝试基于因果分析对事元蕴含系进行研究,有助于丰富事元蕴含系的理论基础和方法,为正确地分析问题和解决问题提供可操作的方法。

1 事元蕴含系概述

1.1 事元蕴含的定义

文献[1]给出了基元蕴含的定义,本文只研究事元的蕴含,因此只介绍事元蕴含的相关定义。

定义 1 设 A_1, A_2 为两个事元,若 A_1 实现必有 A_2 实现,则称 A_1 蕴含 A_2 ,记作 $A_1 \Rightarrow A_2$ 。通常“ A_i 实现”可记为“ $A_i @$ ”($i=1,2$)。

根据基元的逻辑运算规则^[6],蕴含系主要包括了“或蕴含”和“与蕴含”。

定义 2 或蕴含。设有事元 A, A_1 和 A_2 ,若 A_1 或 A_2 实现都有 A 实现,则称 A_1, A_2 或蕴含 A ,记作 $A_1 \vee A_2 \Rightarrow A$;反之,若 A 实现有 A_1 实现或者 A_2 实现,则称 A 蕴含 A_1 或 A_2 ,记作 $A \Rightarrow A_1 \vee A_2$ 。

定义 3 与蕴含。设有事元 A, A_1 和 A_2 ,若 A_1 与 A_2 同时实现必有 A 实现,则称 A_1, A_2 与蕴含 A ,记作 $A_1 \wedge A_2 \Rightarrow A$;反之,若 A 实现必有 A_1 与 A_2 同时实现,则称 A 蕴含 A_1 与 A_2 ,记作 $A \Rightarrow A_1 \wedge A_2$ 。

1.2 蕴含系的类型及模型

上述定义是针对两个事元间的蕴含及两个事元的“或蕴含”“与蕴含”所给出的定义。实际上,事件之间的蕴含关系有时是非常复杂的,往往是多层级的^[7]。根据上面蕴含的定义,当多个事元之间具有更复杂的蕴含关系时,形成如下类型的蕴含系统^[8],简称蕴含系。条件蕴含系具有类似的类型,此略。

1.2.1 事元的“或蕴含系”

事元的“或蕴含系”有如下两种类型:

1)若事元 A 实现是由于事元 A_1 或事元 $A_2 \cdots$ 或事元 A_n 实现导致的,而事元 A_1 实现是由于事元 A_{11} 或事元 $A_{12} \cdots$ 或事元 A_{1m} 的实现导致的。事元 A_2, A_3, \dots, A_n 实现的原因都可用类似事元 A_1 的表示方法来表示,此时便形成事元的“或蕴含系”,可用如图 1 所示的蕴含系模型表示。

上述事元“或蕴含系”模型也可表示为

$$A \Leftarrow \bigvee_{i=1}^n A_i \Leftarrow (\bigvee_{j=1}^m A_{ij}) \vee \cdots \vee (\bigvee_{j=1}^k A_{nj})$$

图 1 给出的是三层事元或蕴含系,实际应用中事元“或蕴含系”可能有更多层,要具体问题具体分析。

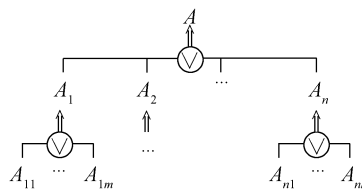


图 1 事元“或蕴含系”模型一

Fig.1 The first model of affair-elements OR implication system

例 1 如果某人需要支付 150 元钱,可以通过现金、支付宝、微信钱包或网上银行等方式来支付;而现金可以用面值为 100 元或面值小于 100 元来支付,支付宝可以用朋友转账、零钱包或余额宝来支付,微信钱包可以用朋友转账、零钱包或银行卡来支付,网银可以用朋友转账、余额或存款来支付,其蕴含系的模型如图 2 所示。

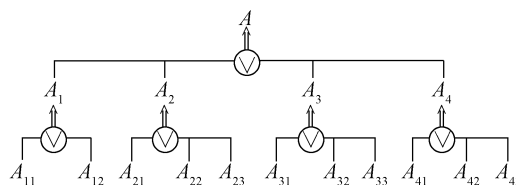


图 2 例 1 的模型图

Fig.2 Model figure of case 1

图 2 中,

$A = (\text{支付}, \text{支配对象}, 150 \text{ 元})$

$A_1 = (\text{支付}, \text{方式}, \text{现金})$

$A_2 = (\text{支付}, \text{方式}, \text{支付宝})$

$A_3 = (\text{支付}, \text{方式}, \text{微信钱包})$

$A_4 = (\text{支付}, \text{方式}, \text{银行转账})$

$A_{11} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{现金} \\ & \text{面额}, & 100 \text{ 元} \end{bmatrix}$

$A_{12} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{现金} \\ & \text{面额}, & < 100 \text{ 元} \end{bmatrix}$

$A_{21} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{支付宝} \\ & \text{来源}, & \text{朋友转账} \end{bmatrix}$

$A_{22} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{支付宝} \\ & \text{来源}, & \text{零钱包} \end{bmatrix}$

$A_{23} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{支付宝} \\ & \text{来源}, & \text{余额宝} \end{bmatrix}$

$A_{31} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{微信钱包} \\ & \text{来源}, & \text{朋友转账} \end{bmatrix}$

$A_{32} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{微信钱包} \\ & \text{来源}, & \text{零钱包} \end{bmatrix}$

$A_{33} = \begin{bmatrix} \text{支付}, & \text{方式}, & \text{微信钱包} \\ & \text{来源}, & \text{银行卡} \end{bmatrix}$

$$A_{41} = \begin{bmatrix} \text{支付, 方式, 网银} \\ \text{来源, 朋友转账} \end{bmatrix}$$

$$A_{42} = \begin{bmatrix} \text{支付, 方式, 网银} \\ \text{来源, 余额} \end{bmatrix}$$

$$A_{43} = \begin{bmatrix} \text{支付, 方式, 网银} \\ \text{来源, 存款} \end{bmatrix}$$

2) 若事元 A 实现必然导致事元 A_1 或事元 $A_2 \cdots$ 或事元 A_n 的实现, 而事元 A_1 实现必然导致事元 A_{11} 或事元 $A_{12} \cdots$ 或事元 A_{1m} 实现。事元 A_2, A_3, \cdots, A_n 实现导致的结果都可用类似事元 A_1 的表示方法来表示, 此时便形成事元的“或蕴含系”, 可用如图 3 所示的蕴含系模型表示。

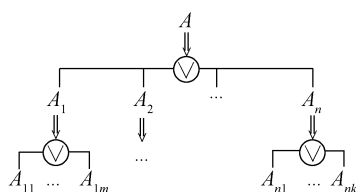


图3 事元“或蕴含系”模型二

Fig.3 The second model of affair-elements OR implication system

上述事元“或蕴含系”模型也可以表示为

$$A \Rightarrow \bigvee_{i=1}^n A_i \Rightarrow (\bigvee_{j=1}^m A_{1j}) \vee \cdots \vee (\bigvee_{j=1}^k A_{nj})$$

1.2.2 事元的“与蕴含系”

事元的“与蕴含系”有如下两种类型:

1) 若事元 A 实现是由于事元 A_1 与事元 $A_2 \cdots$ 与事元 A_n 同时实现导致的, 而事元 A_1 实现是由于事元 A_{11} 与事元 $A_{12} \cdots$ 与事元 A_{1m} 同时实现导致的。事元 A_2, A_3, \cdots, A_n 实现的原因都可用类似事元 A_1 的表示方法来表示, 此时便形成事元的“与蕴含系”, 可用如图 4 所示的蕴含系模型表示。

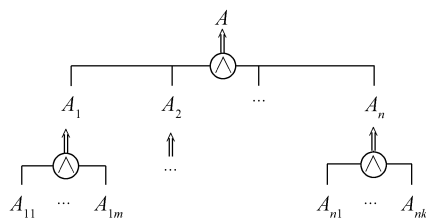


图4 事元“与蕴含系”模型一

Fig.4 The first model of affair-elements AND implication system

上述事元“与蕴含系”模型也可以表示为

$$A \Leftarrow \bigwedge_{i=1}^n A_i \Leftarrow (\bigwedge_{j=1}^m A_{1j}) \wedge \cdots \wedge (\bigwedge_{j=1}^k A_{nj})$$

例2 某人购买了燃油汽车, 想开车上路, 他就必须购买燃油、购买交强险、考取驾驶证、办理行车

证等。而购买燃油就一定要去加油站; 购买交强险就一定需要钱和去办理手续; 考取驾驶证就一定要参加培训、通过考试、领取驾驶证; 办理行驶证一定需要办理手续、缴费、领取行驶证, 如图 5 所示。

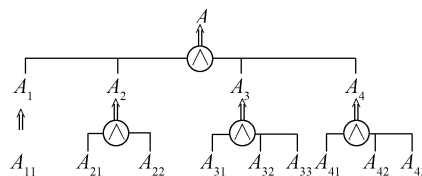


图5 例2的模型图

Fig.5 Model figure of case 2

图 5 中,

$A = (\text{驾驶, 支配对象, 汽车})$

$A_1 = (\text{购买, 支配对象, 燃油})$

$A_2 = (\text{购买, 支配对象, 交强险})$

$A_3 = (\text{考取, 支配对象, 驾驶证})$

$A_4 = (\text{办理, 支配对象, 行驶证})$

$A_{11} = (\text{去, 支配对象, 加油站})$

$A_{21} = (\text{支付, 支配对象, 保险费})$

$A_{22} = (\text{办理, 支配对象, 保险手续})$

$A_{31} = (\text{参加, 支配对象, 驾驶培训})$

$A_{32} = (\text{通过, 支配对象, 驾照考试})$

$A_{33} = (\text{领取, 支配对象, 驾驶证})$

$A_{41} = (\text{办理, 支配对象, 行车手续})$

$A_{42} = (\text{缴纳, 支配对象, 费用})$

$A_{43} = (\text{领取, 支配对象, 行驶证})$

2) 若事元 A 实现必然导致事元 A_1 与事元 $A_2 \cdots$ 与事元 A_n 同时实现, 而事元 A_1 实现必然导致事元 A_{11} 与事元 $A_{12} \cdots$ 与事元 A_{1m} 同时实现。事元 A_2, A_3, \cdots, A_n 实现导致的结果都可用类似事元 A_1 的表示方法来表示, 此时便形成事元的“与蕴含系”, 可用图 6 所示的蕴含系模型表示。

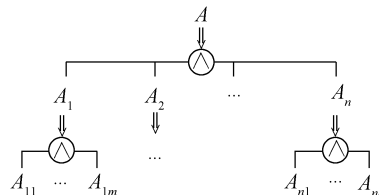


图6 事元“与蕴含系”模型二

Fig.6 The second model of affair-elements AND implication system

上述事元“与蕴含系”模型也可以表示为

$$A \Rightarrow \bigwedge_{i=1}^n A_i \Rightarrow (\bigwedge_{j=1}^m A_{1j}) \wedge \cdots \wedge (\bigwedge_{j=1}^k A_{nj})$$

1.2.3 事元的混合蕴含系

事元的混合蕴含系有如下两种类型：

1)若事元 A 实现是由于事元 A_1 与事元 $A_2 \cdots$ 与事元 A_n 同时实现导致的,而事元 A_1 实现是由于事元 A_{11} 或事元 $A_{12} \cdots$ 或事元 A_{1m} 实现导致的。事元 A_2, A_3, \cdots, A_n 实现的原因都可用类似事元 A_1 的表示方法来表示,此时便形成事元的一种与、或混合蕴含系,可用如图 7 所示的蕴含系模型表示。

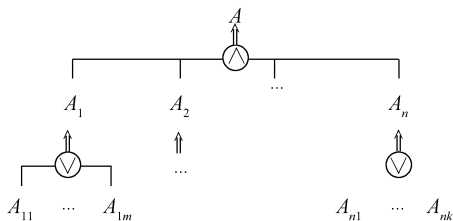


图7 事元的混合蕴含系模型一

Fig.7 The first model of affair-elements mixture implication system

上述事元的混合蕴含系模型也可以表示为

$$A \Leftarrow \bigwedge_{i=1}^n A_i \Leftarrow (\bigvee_{j=1}^m A_{1j}) \vee \dots \vee (\bigvee_{j=1}^k A_{nj})$$

2)若事元 A 实现必然导致事元 A_1 与事元 $A_2 \cdots$ 与事元 A_n 同时实现,而事元 A_1 实现必然导致事元 A_{11} 或事元 $A_{12} \cdots$ 或事元 A_{1m} 至少某一个实现。事元 A_2, A_3, \cdots, A_n 实现导致的原结果都可用类似事元 A_1 的表示方法来表示,此时便形成事元的一种与、或混合蕴含系,可用如图 8 所示的蕴含系模型表示。

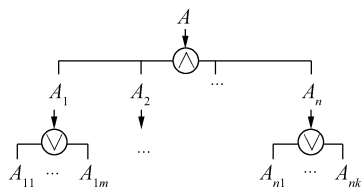


图 8 事元的混合蕴含系模型二

Fig.8 The second model of affair-elements mixture implication system

上述事元的混合蕴含系模型也可以表示为

$$A \Rightarrow \bigwedge_{i=1}^n A_i \Rightarrow (\bigvee_{i=1}^m A_{1j}) \vee \dots \vee (\bigvee_{i=1}^k A_{nj})$$

在实际问题中更多的是用到该种混合蕴含系的方式,就是将或蕴含和与蕴含结合在一起,类似上述两种蕴含的例子,由于篇幅有限,在此不赘述。

2 基于因果分析的事元蕴含系

2.1 因果分析

问题不会无缘无故地产生,问题的背后总是隐藏着各种原因。通常,消除引起问题的原因比直接

解决原问题更加容易,也更有效,但有效找到问题的根本原因却不是一件容易的事情^[9]。因果分析就是一种帮助找到问题产生的根本原因的分析方法。因果分析中常用的方法是追问法,即就现有的问题现象,进行一步一步地追问,直到找到可以消除问题的根本原因为止。具体的分析步骤如图9所示。

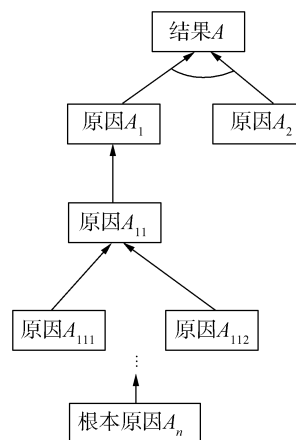


图 9 因果分析图

Fig.9 The figure of causal analysis

因果关系的画图规则^[3]为:长方框代表一个因果要素,一条连线表示有一个因果关系,箭头表示从因到果的方向,小圆弧表示两条以上因果连线存在“与”的关系,即同时具备两个(两个以上的)原因才能导致结果,如果没有小圆弧则是“或”的关系,有一个原因即可导致结果。

2.2 因果关系的事元模型表示

根据因果关系的画图规则可知,在长方框中代表一个原因或结果的事件,在可拓学中可用事元形式化表示该事件,其具体的模型为 $A = (O_a, c_a, v_a)$, 其中 O_a 表示动作, c_a 表示该动作的特征, v_a 表示该动作关于特征 c_a 的量值,而针对动作的多个特征进行形式化描述的模型是多维事元,其表示形式为

$$A = (O_a, c_a, v_a) = \begin{bmatrix} O_a, & c_{a1}, & v_{a1} \\ & c_{a2}, & v_{a2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{an}, & v_{an} \end{bmatrix}$$

根据可拓学中事元蕴含的定义,原因事元 A_1 和结果事元 A 之间的关系是因果蕴含关系,可以表示为 $A \Leftarrow A_1$ 。

2.3 因果关系的事元蕴含系

很多实际问题的因果关系都是非常复杂的,需要进行复杂的混合因果分析,其分析过程形成了事元蕴含系,包括本文 1.2 节中所述的各种与、或蕴含关系。以图 9 的因果分析为例,因果分析图^[10]可转

化为图10所示的事元蕴含系:

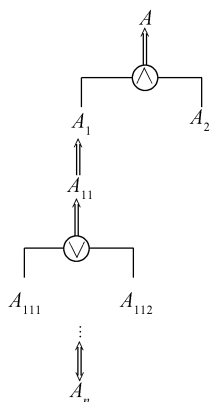


图10 基于因果分析的事元蕴含系

Fig.10 Affair-elements implication system based on causal analysis

通过建立基于因果分析的事元蕴含系,能够形式化地分析问题,找到用事元模型表示问题的根本原因,从而形成原问题的下位问题,进而再根据可拓学中问题可拓模型的建立方法,建立下位问题的可拓模型。一般而言,应用上述方法分析获得的下位问题都是比原问题易于解决的。然后就可以对于该问题可拓模型中的目标或条件进行拓展分析与可拓变换,从而获得解决问题的多种创意,再按照领域知识,确定相应的评价指标,对创意进行评价选优,获得解决矛盾问题的较优创意。下面的事元蕴含系具有同样的价值。

2.4 互为因果关系的事元蕴含系

“由因及果,由果及因”,因果关系在某些特定条件下是可以互相转换的,所以存在着一种互为因果关系的事元蕴含系,其蕴含系模型如图11所示。

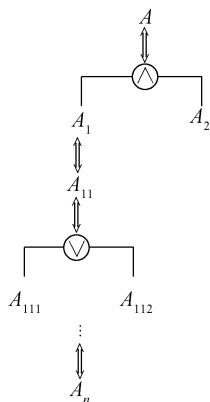


图11 互为因果关系的事元蕴含系

Fig.11 Affair-elements implication system of reciprocal causal relationship

在实际分析问题过程中,因果关系是互相关联的,其中:事元A蕴含事元A1,同时事元A1也蕴含事元A;

事元A与蕴含事元A1,A2,...,An,同时事元A1,A2,...,An也与蕴含事元A;事元A或蕴含事元A1,A2,...,An,同时事元A1,A2,...,An也或蕴含事元A。

3 案例分析

下面以用铆钉枪铆接飞机蒙皮造成蒙皮局部凹陷质量问题的分析^[11]为例,应用本文的研究,说明建立事元蕴含系的方法。

在本案例中,初始状态是铆钉枪抵紧钉头,挡铁抵紧钉帽,蒙皮和桁架都处于铆钉轴向的一定范围内可移动状态。铆钉枪发力后,铆钉头逐渐发生预期的变形,让蒙皮和桁架可移动的范围越来越小,直至完全压紧。如果击打铆钉头时间过长,则导致蒙皮凹陷的质量问题,根据因果分析方法,可得如图12所示的飞机蒙皮凹陷问题的因果分析图。

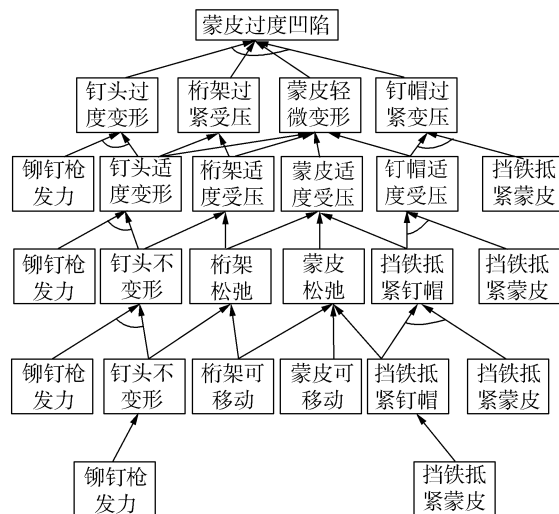


图12 飞机蒙皮凹陷问题的因果分析

Fig.12 The causal analysis on the sag problem of aircraft skin

再根据因果分析的事元蕴含系方法,将上述因果分析图用事元模型形式化表示后,可以建立如图13所示的飞机蒙皮凹陷问题的的事元蕴含系分析模型。

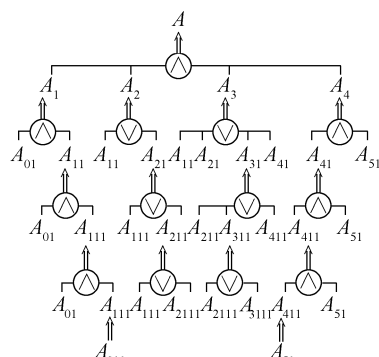


图13 飞机蒙皮凹陷问题的的事元蕴含系分析模型

Fig.13 The analysis model of affair-elements implication system on the sag problem of aircraft skin

图 13 中,

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{bmatrix} \text{凹陷, 接受对象, 蒙皮} \\ \text{程度, 过度} \end{bmatrix} \\
 A_1 &= \begin{bmatrix} \text{变形, 接受对象, 钉头} \\ \text{程度, 过度} \end{bmatrix} \\
 A_2 &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 桁架} \\ \text{程度, 过紧} \end{bmatrix} \\
 A_3 &= \begin{bmatrix} \text{变形, 接受对象, 蒙皮} \\ \text{程度, 轻微} \end{bmatrix} \\
 A_4 &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 钉帽} \\ \text{程度, 过紧} \end{bmatrix} \\
 A_{01} &= \begin{bmatrix} \text{发出, 支配对象, 力} \\ \text{施动对象, 铆钉枪} \end{bmatrix} \\
 A_{11} &= \begin{bmatrix} \text{变形, 接受对象, 钉头} \\ \text{程度, 适度} \end{bmatrix} \\
 A_{21} &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 桁架} \\ \text{程度, 适度} \end{bmatrix} \\
 A_{31} &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 蒙皮} \\ \text{程度, 适度} \end{bmatrix} \\
 A_{41} &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 钉帽} \\ \text{程度, 适度} \end{bmatrix} \\
 A_{51} &= \begin{bmatrix} \text{抵紧, 支配对象, 蒙皮} \\ \text{施动对象, 挡铁} \end{bmatrix} \\
 A_{111} &= \begin{bmatrix} \text{变形, 接受对象, 钉头} \\ \text{程度, 轻微} \end{bmatrix} \\
 A_{211} &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 桁架} \\ \text{程度, 松弛} \end{bmatrix} \\
 A_{311} &= \begin{bmatrix} \text{压, 支配对象, 蒙皮} \\ \text{程度, 松弛} \end{bmatrix} \\
 A_{411} &= \begin{bmatrix} \text{抵紧, 支配对象, 钉帽} \\ \text{施动对象, 挡铁} \end{bmatrix} \\
 A_{2111} &= \begin{bmatrix} \text{移动, 接受对象, 桁架} \\ \text{程度, 适度} \end{bmatrix} \\
 A_{3111} &= \begin{bmatrix} \text{移动, 接受对象, 蒙皮} \\ \text{程度, 适度} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

通常情况下,一架民用飞机上有上百万个铆钉,一般用挡铁抵紧铆钉帽,手持铆钉枪,以铆钉枪的气动高频锤头击打铆钉头部致使其发生变形,通过铆钉帽和变形的铆钉头所产生的定位、压紧与固定的作用,将飞机的蒙皮铆接在桁架上。

由上述事元蕴含系可以得出,影响蒙皮过度凹陷的两个主要因素分别是铆钉枪的打击力和挡铁抵紧程度,根据领域知识对铆钉枪和挡铁进行相关分

析,如图 14 所示。

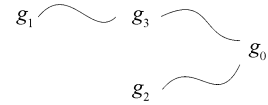


图 14 相关分析图

Fig.14 The figure of correlation analysis

在图 14 中:

$$g_0 = (\text{铆钉枪} \wedge \text{挡铁, 压应力, } v_0)$$

$$g_1 = (\text{铆钉枪, 功率, } v_1)$$

$$g_2 = (\text{挡铁, 抵紧程度, } v_2)$$

$$v_2 = \begin{cases} 1, & \text{很紧} \\ 0, & \text{适中} \\ -1, & \text{松弛} \end{cases}$$

$$g_3 = (\text{铆钉枪 打击力 } v_3)$$

由上述相关分析可知,铆钉枪的功率与铆钉枪的打击力相关,铆钉枪的抵紧程度、铆钉枪的打击力和铆钉枪与挡铁间的压应力相关。结合领域知识可知,造成蒙皮过度凹陷的根本原因是铆钉枪与挡铁间的压应力超过了蒙皮的屈服极限。

对此,可通过对 g_1 和 g_2 同时实施 2 个主动变换 $\varphi = \varphi_1 \wedge \varphi_2$, 即

$$\varphi_1 g_1 = (\text{铆钉枪, 功率, } \langle 20 \text{ kW}, 30 \text{ kW} \rangle) = g'_1$$

$$\varphi_2 g_2 = (\text{挡铁, 抵紧程度, } 0) = g'_2$$

再根据传导变换原理,上述主动变换 φ_1 必然会发生传导变换 T_{φ_1} , 使

$$T_{\varphi_1} g_3 = (\text{铆钉枪, 打击力, } \langle 200 \text{ N}, 250 \text{ N} \rangle) = g'_3$$

上述主动变换 φ_2 和传导变换 T_{φ_1} 的共同作用为

$$\varphi_0 = \varphi_2 \wedge T_{\varphi_1}$$

导致发生传导变换 T_{φ_0} , 使得

$$T_{\varphi_0} g_0 = (\text{铆钉枪} \wedge \text{挡铁, 压应力, } 250 \text{ N/mm}^2) = g'_0$$

再根据领域知识可知,蒙皮的屈服极限区间为 $\langle 251 \text{ MPa}, 256 \text{ MPa} \rangle$, 所以通过上述变换后铆钉枪与挡铁之间的压应力 g'_0 低于蒙皮的屈服极限,使得在保证铆钉变形的同时,又不会使蒙皮发生过度凹陷的问题,从而可以安全地将蒙皮铆接在飞机的桁架上。

4 结束语

在很多情况下,原问题很难直接得到解决,而一旦找到产生该问题的根本原因并消除该原因导致的结果,原问题就迎刃而解了。本文提出了基于因果分析的事元蕴含系方法,将 TRIZ 中的因果分析同可拓学中的蕴含分析方法相结合,吸取两者优点,既

丰富了可拓学中的蕴含分析理论,又能够比较容易地找到问题产生的根本原因。文中以用铆钉枪铆接飞机蒙皮造成蒙皮局部凹陷质量问题的分析为例,详细介绍了基于因果分析的事元蕴含系的方法,该方法通过建立事元模型,分析各事件间的蕴含关系,能够形式化地分析问题,便于找到问题产生的根本原因,从源头上解决问题,该方法同样也适用于其他问题的分析,具有一定的普适性。

通过建立事元蕴含系模型分析问题,使得对问题的描述更加简洁、规范化,易于计算机或者人工分析,且对于比较复杂的问题,采用该种分析方法更加清晰、准确。对因果关系进行的形式化、模型化研究,为利用计算机帮助人们分析和处理问题提供了便于操作的方法,这是研究矛盾问题智能化处理的基础性工作之一。

参考文献:

- [1] 杨春燕, 蔡文. 可拓学[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 46-48, 133-137.
- [2] ALTSHULLER G S. Creativity as an exact science[M]. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1984: 28-56.
- [3] 赵敏, 张武城, 王冠珠. TRIZ 进阶及实战: 大道至简的发明方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [4] 左静. 蕴含系及其性质[J]. 华东理工大学学报, 2001, 27(5): 547-551.
ZUO Jing. Implication systems and their properties [J]. Journal of east China university of science and technology, 2001, 27(5): 547-551.
- [5] 左静. 蕴含系分析法[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(2): 249-257.
ZUO Jing. Implication system analytic method [J]. Mathematics in practice and theory, 2006, 36(2): 249-257.
- [6] 汤龙, 杨春燕. 基元的算术运算[J]. 数学的实践与认识, 2015, 45(4): 259-267.
TANG Long, YANG Chunyan. Arithmetical operations of basic-elements [J]. Mathematics in practice and theory, 2015, 45(4): 259-267.
- [7] LI Z M, YANG C Y, JIANG J J. Research progress in affair-element and its application[C]// Proceedings of the International Symposium on Extenics and Innovation Methods. London: Taylor & Francis Group, 2013: 81-88.
- [8] 杨春燕. 利用事元蕴含系统寻找开拓市场的策略[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 17(8): 32-37.
YANG Chunyan. Search for tactics on developing market by using affair-element implication system [J]. Systems engineering-theory & practice, 1999, 19(8): 32-37.
- [9] NAKAGAWA Toru. Extension of USIT in Japan: a new paradigm for creative problem solving[C]//4th TRIZ Symposium in Japan. Shiga, Japan, 2008: 1-7.
- [10] 郝爱语. 因果图分析法研究与实现[J]. 现代商贸工业, 2009(23): 217-218.
HAO Aiyu. Research and realization of causal map analysis method [J]. Modern business trade industry, 2009(23): 217-218.
- [11] 刘岩, 贾若. 铆接冲击力对飞机蒙皮的影响[J]. 辽东学院学报: 自然科学版, 2013, 20(4): 261-263.
LIU Yan, JIA Ruo. Influence of impact force of riveting on aeroplane coating [J]. Journal of eastern Liaoning university: natural science, 2013, 20(4): 261-263.

作者简介:



花黄伟,男,1991 生,硕士研究生,主要研究方向为可拓学、车辆工程、智能系统。已授权专利 1 项,获软件著作权 1 项,发表学术论文 1 篇。



杨春燕,女,1964 年生,研究员,广东工业大学可拓学与创新方法研究所所长,中国人工智能学会可拓学专业委员会主任,中国人工智能学会常务理事,广东省未来预测研究会副理事长,国家自然科学基金项目、“863”计划、广东省自然科学基金项目通信评议专家,全国可拓学研究领域的学术带头人之一,主要研究方向为可拓学、知识管理、决策科学、创新方法与创新设计、数据挖掘、智能系统。主持 3 项国家自然科学基金项目、3 项广东省自然科学基金项目和 2 项广东省科技计划项目。获广东省科学技术奖二等奖 1 项、三等奖 2 项,获中国人工智能学会首届“吴文俊人工智能科学技术奖创新奖”一等奖 1 项。在科学出版社等出版专著 9 部,发表学术论文 90 多篇。