

C-K 理论视角下系统性创新方法比较及启示

——以经典 TRIZ、USIT、ASIT 为例

姚 威^{1,2}, 韩 旭^{1,2}

(1. 浙江大学 中国科教战略研究院; 2. 浙江大学 公共管理学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: C-K 理论为工程设计提供了一个清晰、明确的解释框架, 从而打开了工程设计及问题解决过程的黑箱。从 C-K 理论视角出发, 把系统性创新方法所提供的问题解决流程视为 C-K 理论中 4 个算子的有序排列, 并将每种方法所提供的知识库视为 K 空间中的元素, 考察经典 TRIZ、USIT 以及 ASIT 等系统性创新方法的概念方案产生过程。探讨每种方法解决问题过程中 K 空间结构或算子排列的缺陷, 并提出 C-K 理论视角下理想化创新方法应该具备的四大基本特征, 分别为问题提炼、问题化归、知识引入以及方案验证。

关键词: 系统性创新方法; TRIZ; C-K 理论; USIT; ASIT

DOI: 10.6049/kjbydc.2017050232

中图分类号: G301

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2018)12-0001-08

A Theory-Driven Comparison and Enlightenment of TRIZ, USIT and ASIT

Yao Wei^{1,2}, Han Xu^{1,2}

(1. China Institute of Science and Education Strategy, Zhejiang University;

2. School of Public Administration, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

Abstract: The CK theory provides a clear explanation framework for engineering design, which opening up the black box of engineering design and problem solving process. An analysis and comparison of different systematic innovative methods are carried out based on the CK theory, depicting their basic procedures to suggest that classical contradiction matrix of TRIZ, together with USIT and ASIT, have their own merits, limitations and possible ways of improvement. On the basis of previous theory driven comparison, four prominent features of an "idealized innovative method" can be concluded, namely problem refinement, problem standardization, introduction of knowledge and verification of solutions.

Key Words: Systematic Innovative Method; TRIZ; C-K theory; USIT; ASIT

1 背景介绍

创新方法是解决问题过程中所运用的科学思维、科学方法和科学工具的总称。加强创新方法研究与推广是从源头上增强自主创新能力和推进创新型国家建设的重要举措。

国内外上百种创新方法可分为两类, 即以前苏联 TRIZ 理论为代表的系统性创新方法和以头脑风暴等为代表的非系统性创新方法。系统性创新方法以科学思维和系统性流程为指引, 综合运用科学方法和科学工具, 为现实中的发明问题提供创新性解决方案, 其特点是通过系统性的分析流程, 将特定问题转化为标准问题, 进而运用结构化的知识库构建解决方案。TRIZ 理论以“理想化的方向、系统性的流程以及结构化的知

识库”为核心^[1], 在高效解决发明问题的同时具备良好的可推广性, 因此在我国得到了广泛研究和重点推广。在应用与推广过程中, 基于经典 TRIZ 方法也衍生了一批新的创新方法。如: 先进结构化发明思维(Advanced Structured Inventive Thinking, ASIT)、统一结构化发明思维(Unified Structured Inventive Thinking, USIT)等。在具体运用过程中, 每种方法在发挥其优势和特点的同时, 也不可避免地存在一些不足。因此, 有必要对不同系统性创新方法作横向比较, 为进一步完善现有方法或开发新的系统性创新方法提供洞见。

现有研究大多从产生背景、理论基础、分析框架、解题工具、操作流程等方面对若干典型的系统性创新方法进行分析与比较^[2]。大多数研究都倾向于采用定性方法, 在概念和流程层面进行比较分析。类似分析通常是描述性、介绍性的, 缺乏内在统一性。

收稿日期: 2017-08-17

基金项目: 教育部人文社会科学研究专项任务项目(17JDC038); 科技部创新方法工作专项(2016IM020100); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2016JC12040301)

作者简介: 姚威(1980—), 男, 吉林吉林人, 博士, 浙江大学中国科教战略研究院国际事务主管, 公共管理学院副研究员、博士生导师, 研究方向为工程创造力及科教战略; 韩旭(1990—), 男, 黑龙江大庆人, 浙江大学中国科教战略研究院、公共管理学院博士研究生, 研究方向为工程创造力。

另一种比较思路是用不同方法解决同一个典型问题,旨在考察解决问题的流程以及结果,比较不同创新方法的优缺点,同时发掘不同方法适用的问题类型。如 Bahill 等^[3]选取交通灯岗设计作为基准问题,设计 11 种系统方法,由精通这些方法的专家用各自最熟悉的方法去解决这个基准问题,并展示每个方法得到的解决方案。这种思路的难点在于为保证结论的客观性必须找到合乎要求的“基准问题”,即具有可行性的问题;同时,“基准问题”的分析结论要具有普适性。从整体上讲,解决这两个难点是一个耗费精力的过程。Bahill 等选取的是图灵机系统设计领域中得到公认的基准问题,对于传统工程领域中的基准问题仍没有定论。此外,即便使用不同的创新方法解决相同问题得到了直观的比较结论,但仍无法回答一个本质问题,即这些“结果”产生差异的根本原因是什么?回答这个问题就必须打开创新过程的黑箱,构建不受限于领域以及流程的、更具解释力的统一分析框架,以有效剖析和比较不同的创新方法。

C-K 理论将工程设计及问题解决的过程理解为:在 4 个算子作用下,通过未知概念集和已知知识集之间的相互作用及转化,逐步产生可行的解决方案^[4],从而打开了创新过程的黑箱。C-K 理论具有两个显著特征:①能够用统一的、模型化的体系,清晰描述工程设计及问题解决过程;②能够有效发掘并解释上述过程及最终方案所展现出的创造力(Reich, 2012)。因此,C-K 理论适合作为分析框架,对不同系统性创新方法进行比较研究。

本文选取 C-K 理论作为创新方法比较的理论框架,对若干具有代表性的系统性创新方法(包括经典 TRIZ 中的矛盾分析工具、先进结构化发明思维 ASIT 以及统一结构化发明思维 USIT)进行评价,挖掘其优势以及需要改进之处,并在此基础上提炼更加完善的系统性创新方法所应具备的特征。

2 C-K 理论及应用

2.1 C 空间与 K 空间

C-K 理论依托现代集理论,定义了两个相互独立并且结构不同的空间,分别为概念空间(Concept space, 下简称 C 空间)和知识空间(Knowledge space, 本文简称 K 空间)。C 空间和 K 空间的本质是两个没有共同元素的非空集合,两个空间中的元素可以通过一定法则相互转化,若干种不同类型的法则在 C-K 理论中被称为算子^[5]。

关于 C 空间、K 空间的定义及相关性质可以作如下理解:K 空间内包含一些已经得到验证的设计命题(成立或者不成立)以及相关知识。具体来讲,先提出

一个新的设计命题 D_i :“有一个实体 x , 包含若干种在 K 空间中单独验证能够成立的属性 A_1, A_2, \dots, A_i , 现要求 A_1, A_2, \dots, A_i 等若干种属性同时存在于实体 x 上。”如果设计命题 D_i 能够被直接验证成立或者不成立,则属于 K 空间;如果暂时无法验证其是否成立,则属于 C 空间。

将位于 C 空间中无法确定的设计命题逐步转化为位于 K 空间中可以确定成立与否的命题。设计命题从 C 空间转化到 K 空间的基本方式是在 4 种算子的作用下完成,即: $c \rightarrow k, k \rightarrow c, c \rightarrow c, k \rightarrow k$ 。其中前两者被称为外部算子(算子在 C 空间和 K 空间之间发挥作用),后两者被称为内部算子(算子在 C 空间或 K 空间内部发挥作用)。4 个算子的不同内涵决定了 C 空间与 K 空间的结构和逻辑均不相同,这构成了 C-K 理论的核心部分。

2.2 四个算子的内涵

$c \rightarrow k$:本算子的功能是在 K 空间中搜寻有关知识和属性,以验证某个命题 C_i 是否在 K 空间中成立。如能够确认成立,则宣告某个设计命题完结;若不能确认,则发展出位于 C 空间的命题 $C_i + 1$ 。 $c \rightarrow k$ 算子的常见表现形式为专家咨询、开展试验、开发原型机、模拟仿真等。通过这一系列探索性验证,可以为设计者提供有关 C_i 的新知识,所以 $c \rightarrow k$ 算子在验证 C 空间中命题有效性的同时,还有在 K 空间中扩展新元素的能力,二者是内在统一的。

$k \rightarrow c$:本算子的功能是实现设计命题从 K 空间向 C 空间转化,具体有两种表现形式:①通过增加或替换某些来自 K 空间的属性(其中削减属性也可视为增加负向属性),使得处于 K 空间中的设计命题 K_0 转化为 C 空间中的 C_0 ,为方便后续区分,称之为 $k \rightarrow c$ 算子 α ;②通过增加或替换某些来自 K 空间的属性,使得 C 空间中的设计命题 C_i 转化为新的命题 $C_i + 1$,从而激发新一轮设计过程,这种类型称之为 $k \rightarrow c$ 算子 β 。 $k \rightarrow c$ 算子的常见表现形式为头脑风暴,从创新方法解决问题流程或者结构化的知识库中获得提示,从而构建概念解等。因此,与 $c \rightarrow k$ 算子相对称, $k \rightarrow c$ 算子在提出新的试探性设计命题的同时,具有在 C 空间中扩展新元素的能力。 $c \rightarrow k$ 算子尝试将设计命题的不确定性(在 C 空间中)转化为确定性(在 K 空间中),因此发挥了连接功能;而 $k \rightarrow c$ 尝试将设计命题的确定性(在 K 空间中)转化为不确定性(在 C 空间中),因此发挥了脱离连接功能。

$c \rightarrow c$:本算子的功能是在 C 空间内进行设计命题细分。具体有两种表现形式:①在 $k \rightarrow c$ 算子基础上产生细分概念,也就是对设计命题 C_i 进行操作,增加或削减某一个来自 K 空间的属性,这种表现形式称为限制性

细分,用 $c \rightarrow c$ 算子 α 表示;②直接在 C 空间内对设计命题 C_i 进行操作,增加或削减某一个不属于 K 空间的属性,这种表现形式称为扩展性细分,用 $c \rightarrow c$ 算子 β 表示。扩展性细分能够产生前所未有的新设计方案,因此是 C-K 理论中创造力的重要源泉。综上所述, $c \rightarrow c$ 算子可以单独存在,也可以依附于 $k \rightarrow c$ 算子,作为后续步骤。 $c \rightarrow c$ 算子的内在逻辑决定了 C 空间呈现出的树状分叉结构,而 $c \rightarrow c$ 算子正是树状结构内部分叉运行的基本法则。

$k \rightarrow k$:本算子的功能是在 K 空间内进行知识扩展。具体有两种表现形式:第一种形式是指传统的推理过程,包括分类、演绎、回溯推理、逻辑推理等。这意味着单独运用 $k \rightarrow k$ 算子也能够实现 K 空间的自我扩展,例如通过推导得到新的数学公式就仅用到了逻辑学,属于 K 空间内部的运算;第二种形式指在 $c \rightarrow k$ 算子的基础上产生的知识扩展,也就是验证 C 空间中设计命题在 K 空间是否成立时通过查询或试验得到的新知识。因此, $k \rightarrow k$ 算子既可以单独存在,也可以依附于 $c \rightarrow k$ 算子,作为其后续步骤。

2.3 C-K 理论在创新方法评价领域的应用

已有研究运用 C-K 理论,对各种设计理论以及创新方法进行了分析考察,其中具有代表性的是 Shai 等^[6],他们针对注入式设计方法(Infused design method,简称 ID 方法)开展了基于 C-K 理论的分析,并用实际工程案例加以佐证。ID 方法致力于将跨学科的知识有效运用在工程设计过程中,C-K 理论指出其创造力的源泉在于对不同学科领域 K 空间的拓展及融合,并为组织知识管理策略提供建议。该研究的贡献还在于,用 C-K 理论解构 ID 方法,在对后者形成清晰认识的同时,也让前者得到理论拓展,这也与 Hatchuel 对 C-K 理论的改进研究相契合。

Kroll 和 Masson^[7]基于 C-K 理论考察了参数分析法(Parameter analysis method,PAM)。传统的系统性创新方法追求全面,相对比较耗时,除非使用者具有非常深厚的专业背景(Pahl,1999);类似头脑风暴的方法灵活但是效果不稳定。PAM 则是二者的折中方案,聚焦于系统中最核心的参数改变及相应方案,实践证明尤其适合经验匮乏的新手解决工程问题(Kroll,2014)。具体来讲,PAM 将工程设计方案的过程视为概念空间以及配置空间(主要指头脑中构思的硬件实现)之间的相互作用,这与 C-K 理论具有高度的形式一致性。因此,运用 C-K 理论对其进行剖析,发掘 PAM 方法的创造力源泉可以用 C-K 理论中的逆向划分过程加以解释;同时,也阐明了 PAM 分析中内隐价值分配过程,该过程此前一直没有得到清晰认识。

Kroll(2013)运用 C-K 理论分析框架,横向对比了

参数分析法、功能分解法以及形态分析法 3 个工程设计领域的工具方法,深入挖掘 3 种方法的内在一致性及区别所在,从而提出了更好的整合方案。基于 C-K 理论对各具体领域及方法的分析研究层出不穷。Boujut^[8]将经典 TRIZ 方法应用在食品加工领域实际问题解决中,并用 C-K 理论进行剖析。他选用二者结合分析的原因在于,TRIZ 是基于专利分析以及实践的工具集合,没有经历传统科学理论的检验;而 C-K 理论是剖析解决工程问题过程中内在逻辑的抽象理论,没有提供解决问题的具体工具,二者具有良好的互补性。基于以上理念以及案例研究,Boujut 提出了 C-K 视角下的 TRIZ 流程,并基于 C-K 理论内在流程的启示,为食品行业研发提供了建议。

Elmquist 和 Segrestin^[9]则将 C-K 理论应用于新药物开发领域模糊前端的分析,指出现有筛选机制的不足并加以改进;Hatchuel 和 Weil^[10]对 C-K 理论进行了详细介绍,并用 C-K 理论解构了另外一个设计理论——耦合设计流程,更加清晰地展示出后者的流程,也表明 C-K 理论具有很强的解释力;Lenfle^[11]运用 C-K 理论考察了以“曼哈顿计划”为例的突破性创新过程,基于 C-K 理论的流程非常清晰地展示了“曼哈顿计划”各阶段设计方案的全貌,并为项目管理提供了启示;Arrighi 等探究了计算机辅助设计工具(CAD)能够有效帮助设计者提升设计原创性和鲁棒性的内在原因;Le Masson 和 Weil^[12]基于历史发展脉络,从 C-K 理论统一视角出发,分析了德国设计理论史上出现的若干重要理论,发现德国历史上曾经出现的设计理论都具有两个关键特征,其一是对未知的结构化表述,其二是持续增强理论自身产生方案的能力。

综上所述,诸多研究者基于 C-K 理论视角对各类设计方法进行了解读,得到的结论非常具有启发性。但是鲜有研究者聚焦于 TRIZ 理论发展过程中的代表性方法,并基于 C-K 理论的启示为未来 TRIZ 理论改进提供建议。本文应用 C-K 理论对实际工程问题解决中广泛使用的经典 TRIZ 矛盾矩阵法、USIT 以及 ASIT 方法进行横向比较,试图从根本上揭示 3 种方法的异同,为开发更理想创新方法指明方向。

3 经典 TRIZ 矛盾矩阵法评述

3.1 经典 TRIZ 矛盾矩阵法

经典 TRIZ 理论认为矛盾是发明问题的核心,而解决矛盾的有力工具之一就是矛盾矩阵。阿奇舒勒^[13]运用矛盾矩阵解决问题的基本流程是:将具体问题用规范化的 39 个工程参数表述,转化成为“A 参数改善导致 B 参数恶化”的标准问题。进而查询 39×39 的二维矛盾矩阵,在表格中二者交叉处根据相应发明原理的

提示,构建若干概念解决方案,并进一步细化为具体方案。

3.2 C-K 理论视角的经典 TRIZ 矛盾矩阵方法

从 C-K 理论视角对矛盾矩阵的应用流程进行分析:

(1)基于现实中已经客观存在的矛盾,例如某个工程系统中“A 性能改善,B 性能恶化”,这是有关系统的已知的知识 K_s 。

(2)运用经典 TRIZ 中 39 个工程参数描述矛盾。使用者在 39 个工程参数模板指引下,将系统初始的 K_s “A 性能改善,B 性能恶化”描述为 K_{para} “A 参数改善,B 参数恶化”。此过程中 $k \rightarrow k$ 算子发挥作用,如图 1 中步骤①所示。

(3)围绕问题解决的目标,提出“A 参数改善的同时,B 参数不恶化(或改善)”,这是初始命题 C_0 ,暂时既不能证真也不能证伪,因此位于 C 空间中。这一步从已知的 K 空间转化到未知的 C 空间,此过程中 $k \rightarrow c$ 算子 α 发挥作用,如图 1 中步骤②所示。

(4)通过查询矛盾矩阵,对应 40 个发明原理的提示构建概念解决方案。矛盾矩阵(称为 K_{matrix})以及 40 个发明原理(称为 K_{prin})是已知的知识,该步骤以工程参数为前提(图 1 中, K_{para} 位于步骤③的连线中间,表示矛盾矩阵知识的引入需要以工程参数为前提),通过引入 K_{matrix} 以及 K_{prin} (此过程中 $k \rightarrow c$ 算子 β 发挥作用),使得初始命题 C_0 在查询到的若干发明原理(设为 n 个)的提示下,分别细分成为 $C_1, C_2 \dots C_n$,提出了 m 个创造性概念解 $C_1, C_2 \dots C_m$,如图 1 中步骤③所示。

(5)使用者在上述概念解的基础上,通过进一步改进和完善,形成新的概念解 $C_{12}, C_{22} \dots C_{m2}$ 。在此过程中 $c \rightarrow c$ 算子 β 发挥作用,是扩展性细分过程,如图 1 中步骤④所示。

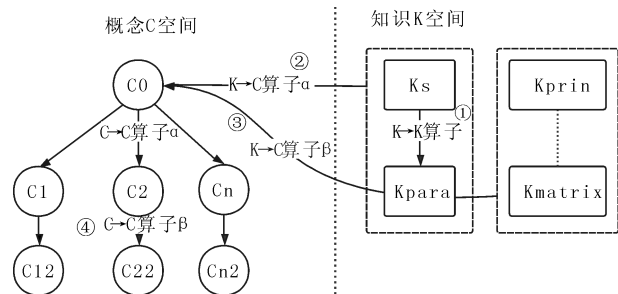


图 1 经典 TRIZ 矛盾矩阵方法流程

3.3 C-K 理论视角下经典 TRIZ 矛盾矩阵法评述

综上所述,从 C-K 理论视角来看,经典 TRIZ 矛盾矩阵法有以下特征:

(1)基于“工程参数—矛盾矩阵—发明原理”矛盾分析流程清晰简单,知识 K 空间的元素($K_{para}/K_{matrix}/K_{prin}$)以矛盾矩阵为核心载体呈现,便于查询和应用。

通过以上流程分析,经典 TRIZ 矛盾矩阵法也暴露出需要改进的方面,例如: $c \rightarrow k$ 算子的缺失。经典 TRIZ 矛盾矩阵法在提出若干概念方案后,没有明确建议实施进一步验证的措施,发明原理更多地是为问题解决者提供打破思维惯性的建议,而没有保证解决方案可行性的有效手段。

(2)工程参数知识 K_{para} 的改进。在实际应用过程中,不同使用者对参数理解不同,所选择的工程参数和构建的矛盾往往不一致。针对此问题,大量研究者致力于对工程参数以及矛盾矩阵进行深化和扩展。例如 Darrel Mann 开发了基于 48 个工程参数的 2003 矛盾矩阵(现最新版已扩充到 50 个工程参数);也有研究者深入分析了易混淆工程参数的区别,以便设计推广和应用(姚威等,2015)。此外,还有部分学者尝试运用属性分析或功能分析等替代性分析工具挖掘矛盾背后的影响因素^[14]。

(3)发明原理知识 K_{prin} 的改进。现有 40 条发明原理是根据上世纪中叶专利分析总结出来的,因此在解决当代新兴产业以及非技术领域问题时存在局限,为此有研究者将矛盾矩阵应用到生物领域、信息技术领域、商业管理领域,开发出了一系列面向特定学科领域的矛盾矩阵以及相应发明原理,使得矛盾矩阵的 K_{prin} 知识得以扩充^[15-16]。

4 USIT 理论评述

4.1 USIT 方法综述

“结构化创新思维”(Structured inventive thinking, 简称 SIT)致力于简化 TRIZ 使其被更多人接受。其创始人 Filkosky 根据 TRIZ 的“聪明小人法”开发出“以色列法”,随后 Horowitz 开发出闭世界法和质变图,与以色列法相结合成为 SIT。1995 年, Sickafus 将 SIT 理论进行结构化形成“统一结构化、创新思维”(Unified structured inventive thinking, 简称 USIT)。此外,日本学者中川彻(Nakagawa)对 USIT 流程的完善也作出了很大贡献。概括来讲,USIT 理论从功能和属性视角出发,使用物体、属性以及功能这 3 个基本概念来分析系统中的元素,将 TRIZ 的众多工具和方法重新整合成统一结构化的体系,帮助使用者在较短时间内接受和掌握该体系。

USIT 理论的核心理念如图 2 所示。中川彻^[15]将 USIT 程序分为问题定义、问题分析、概念产生、方案构建以及实施 5 个阶段。

(1)在问题定义阶段(图 2 中过程①),使用者需要明确想要着重解决的问题(方框 1),并用清晰规范的语言加以详细描述(方框 2);其次,在问题分析阶段(图 2 中过程②),对当前系统的认识使用闭世界法(以物

体—属性—功能分析为核心),对理想系统的认识则采用粒子法(以追求最终理想解为核心)。

(2)概念产生阶段(图 2 中过程③)则提供了 5 种方法,分别是物体多元法、属性维度法、功能配置法、方案组合法以及方案转换法,这 5 种方法可进一步细分为 32 种子方法,帮助使用者迅速产生大量理想解,并确定具有可行潜力的“核心理想解”,进一步细化落实成为概念解(图 2 中过程④)。

(3)使用者综合考虑技术、经济以及社会因素,将概念解落实成为针对初始现实问题的具体解决方案(图 3 中过程⑤),此过程中 USIT 方法退居其次,质量功能展开、计算机辅助设计方法发挥功效。

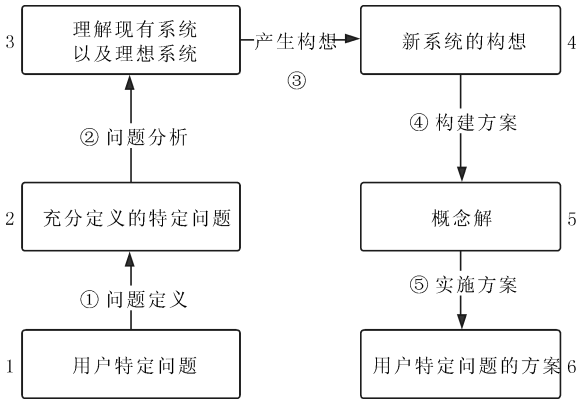


图 2 USIT 的核心理念

总而言之,在上述“六框解题流程图”中,1、6 两个框属于现实世界,2~5 四个框属于 USIT 的理论世界,尤其是 3、4 框之间的过程③更是 USIT 方法的核心,是创造力的源泉。在此过程中,USIT 致力于改变系统内各元件的属性以及相互之间实现的功能,达到创造性地解决问题的目标。

4.2 C-K 理论视角的 USIT 方法

基于 C-K 理论视角对 USIT 方法的应用流程进行评述,可以重新表述为以下步骤(见图 3):

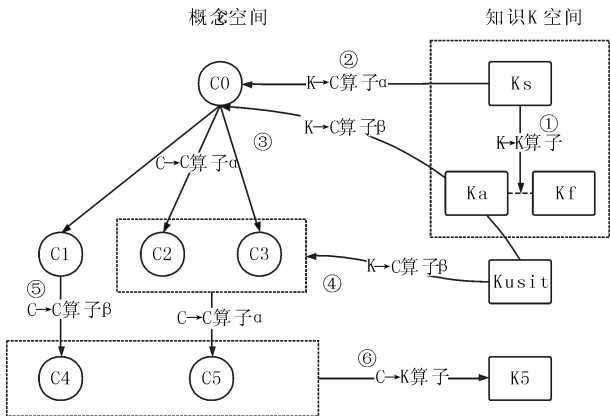


图 3 USIT 方法流程

(1)在问题分析阶段,基于属性以及功能视角(USIT 建议从功能入手,寻找物质之间相互作用的属性),

通过闭世界法将工程系统已知知识 K_s 展开成 K_a (a 代表 attribute,属性)以及 K_f (f 代表 function,属性)。此过程中 $k \rightarrow k$ 算子发挥作用,如图 2 中步骤①所示。

(2)USIT 理论建议采用粒子法,通过虚拟粒子,得到解决构想问题的理想状态,从而提出概念设计方案 C_0 ,此过程中 $k \rightarrow c$ 算子 α 发挥作用,如图 2 中步骤②所示。

(3)在后续概念产生阶段,问题解决者运用 USIT 提供的 5 种产生理想解的方法(及其下属的 32 种子方法),构建大量理想解并细化成为概念解决方案。此过程中,5 种产生理想解的方法来自 K 空间的已知知识,将其命名为 K_{usit} 。在 K_{usit} 指导下,对位于 C 空间的概念设计方案进行细分。具体如图 3 中步骤③、④所示。步骤③包括 USIT 提出的对象多元法、属性维度法以及功能配置法三大类技巧,对工程系统属性以及功能进行操作,实现问题的解决。图 2 中, K_a 以及 K_f 位于该作用过程的连接线上,意味着该过程需要基于上述功能以及属性分析,把初始概念方案 C_0 细分成为新的方案 C_1, C_2, C_3 ;步骤④则包括 USIT 提出的后两类技巧,包括方案组合法以及方案转换法,这两类建议致力于将已有概念方案整合,形成更加完善的概念方案 C_5 。

(4)在对若干处于 C 空间的概念解进行整合以及发散时,会运用到问题解决者的创造力,将 C_1 扩展性细分成为 C_4 ,这是 $c \rightarrow c$ 算子 β 发生作用的过程,如图 3 中步骤⑤所示。

(5)最终,USIT 方法要求解题者寻找一系列约束条件,诸如技术约束条件(材料、尺寸、蓝图、公差等)、商业约束条件(专利、供货商、竞争产品、截止日期等)以及行政管理约束条件(预算、环保要求、上级批准等等)。USIT 方法通过引入资源限制,验证若干概念解的可行性,可视为 $c \rightarrow k$ 算子发挥了作用,得到可以被验证的知识 K_5 ,也即被验证可行的问题解决办法,如图 2 步骤⑥所示。

4.3 C-K 理论视角下 USIT 方法评述

综上所述,USIT 方法的优势在于:问题分析阶段,强调“具体问题具体分析”,只对具体问题详细描述和解构,对现有系统和理想系统有充分的理解,从而规避了模糊的“标准化”过程;概念产生阶段,USIT 的五大类方法有具体可操作的指示,是对系统内特定参数进行改变的明确操作手段,而不是模糊抽象的暗示。使用者可以根据 USIT 的指示,产生数量较多的概念解。

然而,USIT 在带来新优势的同时也存在相应弊端:不论问题的类型,在概念产生阶段都必须遍历五类方法(32 种子方法),这意味着使用者需要不断重复 $k \rightarrow c \rightarrow c$ 方案产生连续算子。这样固然可以产生较多的概念解决方案,但是缺乏在概念产生过程中提供流程

化的筛选机制,使用者不得不遍历知识空间 K_{sit} ,形成另一种“试错”,从而降低解题效率。

5 ASIT 理论评述

5.1 ASIT 理论综述

先进结构化创新思维(ASIT)是对相对复杂的经典 TRIZ 体系的一种改进方式,其核心理念是一个限制条件(闭世界条件)、一个原理(定性变换原理)以及产生概念解的 5 个建议(合并、变异、分割、改变对称性以及移除对象)。ASIT 方法最大的特点是要求问题分析以及解决时满足闭世界条件,即不引入外部对象,仅仅通过系统内以及超系统中已有对象的变化产生概念解。

5.2 C-K 理论视角下 ASIT 方法的流程

(1)在“闭世界原则”指导下,对问题系统进行分析。其中,需要列出系统组件及其相互作用关系清单(该部分知识称之为 K_s ,其中字母 s 代表系统的单词 system), K_s 是某一工程系统的所有已知知识,包括系统组件及其相关关系、系统实现功能等。

列出不包含在 K_s 中的已知知识,用 K_e 表示(其中字母 e 代表环境 environment)。其范畴包含两个部分:①超系统中元件及其相关知识;②待研究系统相关领域常识或者常见科学知识,其可以较容易地应用在后续问题解决过程中,例如加热、钻孔等。需要注意的是,闭世界条件要求在问题解决过程中不能使用 K_s 、 K_e 之外的知识,在系统 S 中完全不存在的对象或者部件也不允许被引入。

(2)在系统分析基础上定义问题。包括确定组件之间的相互关系以及明确需要解决的问题,即定义负面效应,ASIT 提供的标准格式是“X 对 Y 产生负面作用”,其中 X 和 Y 表示系统中的某些组件。

(3)通过问题解决模板的特定表述,将在 K 空间中的待解决问题转化为 C 空间中表达潜在解决方案的概念 C_0 。使用模板描述去除负面效应动作,基本格式是“阻止 X 对 Y 产生负面作用”。此过程中 $k \rightarrow c$ 算子 α 发挥作用,如图 4 中步骤①所示。

设计过程从 C_0 开始。 C_0 提出了一个新系统 S ,其产生遵循闭世界条件,与原始系统 S 相比, S 只对系统内组件或者组件之间所实现的功能作了微小改变,ASIT 哲学理念认为,对系统改变越小,所得到的新概念解决方案可行性就越大。

(4)选择问题研究的核心部件,使得对潜在方案的描述更加完善。在方案产生阶段,用 ASIT 的 5 个建议依次进行分析,产生若干解决方案。此过程中,ASIT 产生概念解的 5 个建议是已知知识,因此属于 K 空间,用符号 K_{sit} 表示。通过 ASIT 操作建议产生新的概念解决方案 C_1 ,要求产生的方案不能超出 K_e 的范畴,因此

在流程图中, K_e 位于 K_{sit} 和 C_0 的连线中间,作为限制条件,如图 4 中步骤②所示。

(5)在上一步所产生方案 C_1 的基础上,继续运用 ASIT 的其它建议对方案进行深化和拓展,得到新的方案 C_2 ,此过程对应的仍是 $k \rightarrow c$ 算子 β 以及 $c \rightarrow k$ 算子 α ,如图 4 中步骤③所示。

(6)问题解决者在上一部得到概念方案 C_2 的基础上,用更加详细的语言对该方案进行描述,使方案 C_2 进一步细化和完善成为 C_3 ,此步骤中引发了扩展性分解,也即 $c \rightarrow c$ 算子 β 发挥作用,如图 4 中步骤④所示。

(7)将概念解 C_3 付诸实践的验证措施对应 $c \rightarrow k$ 算子,验证概念解在 K 空间中的可行性,如果验证成功则为 K 空间中的元素 K_3 ,设计结束,如图 4 中步骤⑤所示;如果验证不成功,则继续存留于 C 空间中等待进一步改进。

上一步验证的解决方案不一定完善,因为有可能最初的问题定义阶段忽视了系统内一些关键的元素或组件。因此可能需要重新回到第二步,定义系统中的组件并识别问题,再进行后续步骤。

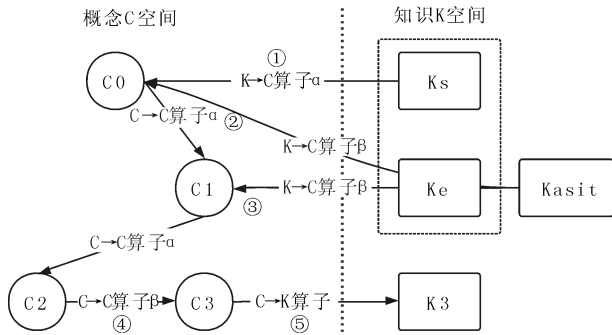


图 4 ASIT 理论流程

5.3 C-K 理论视角下 ASIT 方法评述

综上所述,ASIT 方法明显优点为:ASIT 提供了一个系统方式来产生发明问题的概念解,而这个过程不需要引入新知识或对系统进行大幅度改动,因此最大程度地挖掘了系统内部潜力,所有组件及相互关系都应该被仔细考虑,所有组件都应该被尝试移除或者分解成子部件,以发现更多可能性。通过如此方式,ASIT 提供了渐进式解决方案,具有一定可行性。此外,ASIT 简便易学,流程清晰。同时,从 C-K 理论的视角来看,ASIT 也存在一些缺陷。

(1)对 $k \rightarrow c$ 算子 α 的影响。由于闭世界条件的存在,导致 ASIT 不能迅速产生,甚至无法产生与初始系统有巨大差别的新概念系统 S ,也就是说难以直接形成颠覆性理想系统,该限制直接体现在系统初始 K_s 在 $k \rightarrow c$ 算子 α 的作用下转化成为初始概念方案 C_0 的过程中。

(2)对 $k \rightarrow c$ 算子 β 的影响。在概念方案产生过程

中,只能在 Ke 所规定的范围内进行思考和操作,因此 $k \rightarrow c$ 算子 β 也受到了 Ke 的限制,难以在 Ke 之外产生更多的概念解。

(3) 整个 ASIT 流程中缺乏 $k \rightarrow k$ 算子。很明显,ASIT 在问题解决过程中提出一部分概念解的同时也忽略了相当一部分,尤其是 ASIT 不允许知识扩展和新知识引入,这恰恰又是问题解决与产品创新的重要一步。

除闭世界条件带来的限制之外,ASIT 理论提供的产生方案的 5 个建议(也即 Kasit)仍然是依次尝试的,相比于 USIT 理论中 200 多条具体建议而言已经得到简化,但本质上仍然缺乏判断标准。应告知使用者针对不同问题类型应该采用哪些不同的原理,而不是机械地逐个尝试。

6 总结与研究展望

6.1 基于 C-K 理论的理想化系统性创新方法特征分析

综上所述,上述 3 种基于 C-K 理论的横向比较分析可以有效发掘 3 种创新方法的优势和不足。具体来讲,所有方法的 C 空间特征均类似,均呈现出发散性分叉结构,体现了系统化创新方法相似逻辑演绎过程,即把具体问题标准化,为标准问题寻找标准解法。

而每种方法的 K 空间特征则有所不同,具体体现在 K 空间的检索方式以及 K 空间的可扩展性上。矛盾矩阵法通过配套工程参数及矛盾矩阵知识实现对发明原理知识的检索,USIT 和 ASIT 则未提供检索方法,而使用穷举法对各自提供的五类方法进行逐个尝试。对概念方案可行性的考量上,在 K 空间拓展方面 3 种方法各有不同,矛盾矩阵法和 USIT 允许引入外部知识,更多依赖使用者的经验判断产生概念方案的可行性。USIT 尝试加入对概念方案的过滤,以保证其可行性,但效果有限;ASIT 则完全不允许引入外部知识,以避免对系统进行较大改动从而保证概念方案的可行性。

除差异外,3 种方法的 K 空间也有一些共同特征。首先,因为创新方法面对的工程系统都是客观存在的(即便是新系统的开发大多也有原型),所以 3 种方法都包含有关工程系统本身的基本知识 K_s 。其次,每种方法都包含有助于产生概念解的结构化知识,这也是系统化创新方法的特征之一,如经典 TRIZ 矛盾矩阵法中的发明原理知识(一种操作提示),USIT 中产生概念解的 5 种方法(及 32 种子方法)知识(不是提示,而是明确的操作指导方案),ASIT 中产生概念解的五类方法(一种操作提示)。

C-K 理论视角下 3 种创新方法的具体实施过程表现为 4 个算子的完备性及有序逻辑排列。3 种方法在

以上两方面各有缺陷,而特定算子的缺失或算子排列不合理,恰恰是导致该方法产生缺陷的重要原因。如矛盾矩阵法缺乏 C-K 算子,所以无法验证所产生概念方案的可行性;而 ASIT 缺乏 $K \rightarrow K$ 算子,知识空间无法扩展,为了保证解的可行性,牺牲了突破性创新的可能性;USIT 虽然 4 个算子较为齐备,但在流程中 $K \rightarrow C$ 算子不断重复(逐个尝试 200 余条操作建议),效率较低。

通过比较以上 3 种系统性创新方法发现,更加理想化的方法应该完整地包含 C-K 理论提出的 4 个算子,并能在算子之间构建逻辑连接,从而高效地获得问题解决方案,并有效保证一部分概念方案具有可行性。具体如下:

(1) 理想化的系统性创新方法能够提炼和发现新问题(来自工程实践的现实问题)。问题来自于客观现实及工程实践(也就是已知的知识空间 K),但是问题解决是一个新命题,不能肯定或否定其存在性,因此处于概念空间 C 中。一个理想化的创新方法,能够准确地提炼并抽象出问题本质,形成初始问题(对应 $k \rightarrow c$ 算子 α),并能运用一系列问题分析和解决工具加以处理。

(2) 能够提供问题分解和化归(标准化)工具,通过问题分析工具将初始问题逐步分解,并最终转化为已经得到解决的标准化问题,通过查询知识库(K 空间)内部相对应的知识资源(K 空间内元素),构建初始问题的概念解(对应 $c \rightarrow c$ 算子)。

(3) 在分析和解决问题过程中,能够保证新知识引入(对应 $k \rightarrow c$ 算子 β),最大化地扩展获得概念解的范围;有相应机制保证探索过程中所得到的新知识以及最终解决方案可以保留在知识空间中,并且能够与原知识空间元素之间建立新链接,保证知识体系的开放性,形成可拓展的结构化知识库(对应 $k \rightarrow k$ 算子);理想化创新方法的 K 空间需要包含有助于产生概念解的知识,更多地是明确的操作指导方案,而不仅仅停留在对使用者进行模糊提示的层面。对知识空间的检索方式需要科学高效,不建议使用低效的地毯式穷举法。

(4) 能够提供验证概念解是否可行的工具。在此过程中,可能需要 CAI 或者 CAX 辅助,以及行业领域专家的参与及协作(对应 $c \rightarrow k$ 算子)。

6.2 系统性创新方法发展展望

本文尝试通过 C-K 理论构建统一的分析框架,更深入地理解各系统性创新方法的运作过程,揭示其内在运行机制及创造力源泉,从而发掘不同创新方法各自的局限,探求可能的改进方向,为构建更为理想的系统性创新方法奠定理论基础。在此过程中验证了 C-K 理论用于系统性创新方法比较分析的可行性,可为未来类似比较研究提供借鉴。此外,本文还回应了对很

多系统性创新方法都是源自工程实践,其效度缺乏科学理论审视和检验(Ilevbare, 2013)的质疑,许多对TRIZ理论存在缺陷的探讨,都能在C-K理论的指导下进行深入探索与分析。

未来研究仍需要探索的内容包括:第一,进一步运用C-K理论考察更多的创新方法(以及多方法之间的集成),以提供更多洞见;第二,完善并丰富C-K理论,进一步增强其理论解释力。原有C-K理论并不包含 $C \rightarrow K$ 算子 α , $C \rightarrow K$ 算子 β 这样的概念,只有 $C \rightarrow K$ 算子的笼统称谓。本研究基于系统性创新方法基本流程,将 $C \rightarrow K$ 算子深化分为 α 和 β 两个分支,未来对C-K理论本身的改进也将进一步持续;第三,对理想化系统性创新方法特征作进一步深化,本文尝试定性描述其应该具有若干特征,未来应该进一步深化这些特征,并根据研究结论开发出新的系统性创新方法。

参考文献:

[1] 姚威,朱凌,韩旭. 工程师创新手册:发明问题的系统化解决方案[M]. 杭州:浙江大学出版社,2015.

[2] 周贤永,陈光. 国际主流技术创新方法的比较分析及其启示[J]. 科学学与科学技术管理,2010,(12):78-85.

[3] BAHILL A T, ALFORD M, BHARATHAN K, et al. The design-methods comparison project[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C Applications & Reviews, 1998, 28(1):80-103.

[4] HATCHUEL A, WEIL B. A new approach to innovative design:an introduction to C-K theory [C]. International conference on engineering design ICED03, Stockholm,2003.

[5] 杨少鲜,皮成功,贾小漫. 基于C-K理论的军民两用技术与产品创新[J]. 科技进步与对策, 2014(7):84-88.

[6] SHAI O, REICH Y, HATCHUEL A, et al. Creativity and scientific discovery with infused design and its analysis with C - K theory[J]. Research in Engineering Design, 2013, 24(2):201-214.

[7] KROLL E, MASSON P L, WEIL B. Steepest-first exploration with learning-based path evaluation;uncovering the design strategy of parameter analysis with C-K theory[J]. Research in Engineering Design, 2014, 25(4):351-373.

[8] BOUJUT J F, CAROLINE L. Innovative design methods in the food processing industry;discussion on C-K and TRIZ [C]. International Conference of Engineering Design, Stanford, 2009:1-12

[9] HATCHUEL A, WEIL B. C-K design theory:an advanced formulation[J]. Research in Engineering Design, 2009, 19(4):181-192.

[10] HÄLLGREN M, LENFLE S. Exploration, project evaluation and design theory;a rereading of the Manhattan case [J]. International Journal of Managing Projects in Business, 2012, 5(3):486-507.

[11] MASSON P L, WEIL B. Design theories as languages of the unknown:insights from the German roots of systematic design (1840—1960)[J]. Research in Engineering Design, 2013, 24(2):105-126.

[12] 张武城,赵敏,陈劲,等. 基于U-TRIZ的SAFC分析模型[J]. 技术经济, 2014(12):7-13.

[13] NAKAGAWA T. Education and training of creative problem solving thinking with TRIZ/USIT[J]. Procedia Engineering, 2011, 9(9):582-595.

[14] ILEVBAR E I M, PROBERT D, PHAAL R. A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice[J]. Technovation, 2013, 33(s 2-3):30-37.

(责任编辑:陈福时)