

TRIZ 真的是创新“点金术”吗

——对浙江省 TRIZ 应用效果的分析

姚威 储昭卫 胡顺顺¹

(1. 浙江大学 公共管理学院;

2. 浙江大学 中国科教战略研究院, 浙江 杭州 310058)

【摘要】: TRIZ 在宣传中被誉为创新“点金术”,但在实际应用中却毁誉参半。为回答 TRIZ 是否真的能够“点石成金”,对 TRIZ 的适用性、工具效果和综合效益进行研究。基于浙江省 148 个 TRIZ 应用案例进行统计分析,研究发现:第一,TRIZ 行业适用性广,能够实现多样化目标;第二,不同 TRIZ 工具效果差异较大,技术矛盾与 40 条发明原理是最有效的 TRIZ 工具,概念方案中有 37.73%都与之相关,运用该工具平均每产生 3.98 个概念方案就会生成一个解决方案;第三,TRIZ 工具的经济效益和知识效益比社会效益更显著。据此,工程师应根据问题和任务需求灵活选择 TRIZ 工具,对效率不高的 TRIZ 工具进行优化,重视和提高 TRIZ 的社会效益。

【关键词】: TRIZ 创新“点金术” 方法适用性 工具效果 综合效益

【中图分类号】: F403.6 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-7348(2022)04-0010-10

0 引言

TRIZ 是俄文中关于“发明问题解决理论”的罗马字母缩写,由原苏联发明家根里奇·阿奇舒勒开发,随后被广泛运用于各种技术创新活动中。TRIZ 因能够提高个人创新能力和增强企业创新实力,在一些科技宣传和媒体报道中被誉为创新“点金术”^[1,2]。然而,正如“点金术”拥趸者和质疑者并存一样,TRIZ 在实践中也是毁誉参半,有学者质疑 TRIZ 到底能否产生如宣传中那样的巨大效果。

导致争议的原因有很多方面:第一,TRIZ 开发过程未经同行评议,不符合科学理论诞生的一般程序,存在天然的“合法性危机”^[3]。第二,运用 TRIZ 解决技术问题的过程难以重复,解题结果往往因人而异^[4,5]。第三,在实际应用过程中存在学习 TRIZ 理论困难^[6]、推广人员夸大 TRIZ 使用效果、使用者误用 TRIZ 工具^[7]、导入和应用 TRIZ 工具体系效率低下^[8]以及使用 TRIZ 理论存在产业情景差异等问题^[9,10,11]。回应这些争议能够扩大 TRIZ 理论传播范围,有助于工程师认识 TRIZ 使用规律,从而提升技术创新成果等级,创造更大的社会效益。基于此,本文通过对 TRIZ 应用过程进行调研和分析,厘清 TRIZ 应用特点和效果,对

¹**作者简介:** 姚威(1980—),男,吉林长春人,博士,浙江大学公共管理学院、中国科教战略研究院副教授、博士生导师,研究方向为创新管理;储昭卫(1993—),男,陕西旬阳人,浙江大学公共管理学院、中国科教战略研究院博士研究生,研究方向为创新管理;胡顺顺(1992—),男,安徽阜阳人,浙江大学公共管理学院、中国科教战略研究院博士研究生,研究方向为教育经济学。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71974172)

企业运用 TRIZ 理论开展技术创新实践具有一定借鉴意义。

1 文献综述

1.1 TRIZ 适用性研究

当前，对 TRIZ 适用性的研究主要体现在行业和应用目的两个方面。其中，行业适用性研究以 Moehrle 等为代表，主要结论如表 1 所示。从中可见，TRIZ 具有广泛的行业适用性，几乎覆盖了全部制造业领域以及生物、管理等非制造业领域。以 Ilevbare 等为代表的学者研究 TRIZ 目的适用性，结果如表 2 所示。研究表明，TRIZ 能够帮助工程师解决技术、产品开发与设计、技术预测、计算机辅助创新等各种问题，并不局限于解决特定类型技术难题或其它单一用途。

1.2 TRIZ 应用效果与效益

当前，学者对 TRIZ 效果的研究主要集中在 TRIZ 工具使用方面，如使用频次和工具有效性等。TRIZ 工具使用频次研究结果如表 3 所示，可见不同 TRIZ 工具之间的使用频次差异较大，学者基本认可矛盾是最常用的 TRIZ 工具，但未就工具使用频次及导致使用频次差异的原因达成共识。

表 1 TRIZ 行业适用性

研究者	主要结论
Spreafico 等 ^[4]	适用于能源和电气、家用电器、通用机械等行业，较少用于生物医学、化学、纺织等行业
Chechurin ^[12]	TRIZ 应用领域从最初解决技术问题逐渐拓展至解决生物、管理等非技术问题
Moehrle ^[13]	TRIZ 应用不存在行业差别，适用于所有行业
Zlotin 等 ^[14]	涉及创造性教育、生物学、医药等技术领域，用于解决科学问题、安全问题、社会和商业问题以及其它非技术领域问题
Cavallucci ^[15]	适用于汽车、通信和电气装备、电子工业等行业，较少用于培训和商业、纺织业、化学等行业

表 2 TRIZ 目的适用性

研究者	主要结论
Ilevbare 等 ^[8]	用于解决技术问题，实现产品或技术创新、技术战略预见等目的
Spreafico 等 ^[4]	有助于提高公司产品质量，降低环境污染，研发新产品
Chechurin ^[11]	可用于生物或仿生学、计算机辅助创新 (CAI), 提高创造力

表 3 不同 TRIZ 工具使用频次

研究者	主要结论
Moehrle ^[13]	使用最多的 TRIZ 工具为矛盾思维
Cavallucci ^[15]	使用最多的 TRIZ 工具为矛盾，使用最少的 TRIZ 工具为“小人法”
Spreafico ^[11]	使用最多的 TRIZ 工具为矛盾、发明原理，使用最少的 TRIZ 工具为九屏幕法、效应和资源
Ilevbare 等 ^[8]	使用最多的 TRIZ 工具为 40 条发明原理、理想度和 IFR, 使用最少的 TRIZ 工具为“聪明小人法”、ARIZ (Algorithm for Inventive-Problem Solving)

相关学者对 TRIZ 效益的研究主要关注解决方案产出和 TRIZ 应用效果，如表 4 所示。从中可见，这些研究大多从经验出发对 TRIZ 效果与效益进行评价，研究结论呈现出明显的“两极分化”态势。

表 4TRIZ 使用有效性评价

研究者	主要结论
Rutitsky ^[16]	要选择合适的 TRIZ 工具，否则将白费力气
Hernandez ^[13]	TRIZ 应用能够增加技术问题解决方案的多样性和新颖性，但会减少方案数量
Ilevbare 等 ^[8]	一方面，部分使用者认为能够有效帮助使用者解决技术问题，加快新概念方案产生速度，推动创新发展；另一方面，有学者认为 TRIZ 是“神秘理论”，工具使用过程武断且依赖直觉，学习和使用过程耗时耗力，总体来看效果很差
Chechurin 等 ^[7]	TRIZ 应用有助于提高创造力，但现有 TRIZ 科学文献“无一例外地夸大了 TRIZ 的应用价值”
Spreafico 等 ^[4]	TRIZ 应用有助于改善企业知识产权表现，但比较依赖个人才华，不能帮助使用者提供系统性解决方案

1.3 研究述评

总体来看，现有研究对 TRIZ 适用性及其效果效益进行了广泛研究，提高了人们对 TRIZ 的认识，但由于研究样本和设计存在一定局限，还不足以回答“点金术”之问。当前研究总体上存在 3 点不足：第一，不同研究结论差异较大。以应用行业为例，Moehrle^[13]认为 TRIZ 不存在行业适用性问题，但 Chechurin^[12]强调 TRIZ 在信息处理和仿生学/生物工程学中发挥着重要作用；Cavallucci^[15]认为 TRIZ 常用于汽车行业，Spreafico^[4]认为是能源行业，Zlotin 等^[14]则认为其适用于任何行业领域。除矛盾工具外，针对 TRIZ 工具使用频次、使用目的和有效性分歧的研究也较多。第二，对 TRIZ 工具效果的研究有待深入。现有研究主要是描述性统计分析，无法说明 TRIZ 工具特点及其对创新方案的贡献度，也未给出定量对比与评价。第三，忽视了 TRIZ 应用效益评价，且评价维度和视角较为单一。

综上所述，针对 TRIZ 在理论和实践中存在的问题，本文从以下 3 个方面展开研究：第一，通过分析 TRIZ 应用行业和应用目的考察其适用性。第二，通过分析不同 TRIZ 工具使用频次、方案新颖性、概念方案采纳情况，探究 TRIZ 工具使用效果。第三，基于综合效益视角考察 TRIZ 应用方法产生的效益，并探讨其对最终效益的贡献情况。

根据研究目的，本文从两个方面保障研究质量：第一，选取高质量样本。一是提高研究样本数量，以往学者如 Moehrle &

Ilevbare 的研究样本数量只有 40 左右,不足以获得规律性结论。二是克服抽样误差。现有研究取样存在两种“幸存者偏差”:研究样本来源于公开发表的期刊论文或网络文献,都是经过同行评议的成功案例;网络公开案例大都来源于咨询和推广企业,带有一定的宣传目的^[12]。第二,采用定量统计分析法对 TRIZ 工具使用效果进行分解,除采用描述性统计分析外,还采用多元线性回归分析和 logit 回归构建工具与效果效益之间的模型,对 TRIZ 应用贡献进行分析。

2 样本设计

2.1 研究样本

真实有效的数据是确保研究信度的关键,因此需要规范抽样过程,对 TRIZ 应用情况进行统计。由于 TRIZ 应用体系无法完全标准化,正式的研发活动也难以完全记录在册,所以最理想的样本来源是由研究者进入产业实践独立获取^[12]。本研究样本来源于科技部创新方法工作专项试点企业或个人在创新方法学习过程中解决的真实工程技术问题,样本由浙江省科技厅以结题报告形式收集整理,所有样本难题均通过中国创新方法研究会的认证考核,能够保证样本来源的真实性、收集过程的权威性、样本质量的可靠性。最终共收集 216 个案例,其中包括 148 个有效案例。

2.2 调查内容

调查内容主要包括 3 类数据:第一,TRIZ 适用性数据,如行业领域适用性、应用目的等。第二,TRIZ 工具应用数据和概念方案,包括 12 项 TRIZ 工具使用次数、概念方案总数(含重复和去重复),具体见表 5。第三,TRIZ 应用综合效益数据,主要包括经济效益、知识产权效益和社会效益。

本文通过如下方法获取上述调查内容:第一,客观统计。由两位有 TRIZ 使用经验的研究者对样本报告进行统计,并对统计结果逐一核对。在统计过程中,每应用某 TRIZ 工具产生一个概念解便记使用次数为 1,以后逐次增加,将使用次数小于 3 的工具归类为“其它”。第二,专家打分。经济效益、知识产权、社会效益具有行业差异和保密要求,由主管部门浙江省科技厅组织专家打分,无需专门处理。

2.3 描述性统计分析

本研究中关于工具使用和概念方案产生情况的描述性统计结果如表 5 所示。从中可见,平均每项课题产生概念方案 17.18 个(含重复),剔除重复概念方案后包括 15.68 个概念方案,每项课题最终采纳 3.02 个概念方案,并获得 2.1 项授权专利,同时申请专利或形成技术秘诀 1.24 个。在具体工具使用上,使用次数平均值介于 0.03~4.55 之间,使用次数标准差介于 0.245~2.117 之间,最少使用 0 次,最多使用 19 次。

表 5 调查数据描述性统计结果

变量名	工具名/数据类别	次数平均值	次数标准差	次数最小值	次数最大值
X ₁	因果分析	0.24	0.999	0	6
X ₂	资源分析	1.25	1.334	0	8
X ₃	九屏幕法	0.54	1.523	0	13
X ₄	IFR	0.49	0.714	0	4

X ₅	技术矛盾	4.55	2.177	1	19
X ₆	物理矛盾	1.9	1.035	0	6
X ₇	系统裁剪	2.05	1.953	0	14
X ₈	物-场模型	1.95	1.352	0	7
X ₉	知识库	1.54	1.273	0	8
X ₁₀	进化法则	1.99	1.309	0	10
X ₁₁	创新思维	0.76	1.536	0	9
X ₁₂	其它(头脑风暴等)	0.03	0.245	0	2
Y ₁	概念方案数(含重复)	17.18	7.511	7	69
Y ₂	概念方案数(去重复)	15.68	4.625	7	40

3 结果分析

3.1 TRIZ 适用性分析

(1) TRIZ 行业适用性。

研究 TRIZ 行业适用性可以回应对 TRIZ 行业情景差异的质疑。本研究样本大多受专项资金支持，多为普惠性而非盈利性样本，且面向省内所有具有研发活动的企业，不分行业领域。同时，浙江省经济发达、产业链完整、产业覆盖面广，能够保证样本选择满足随机抽样需求。本研究行业分类主要依据联合国颁布的《所有经济活动国际标准行业分类》^[17]，首先确定所属门类(大类)，再确定二级类(子类)，具体统计结果如表 6 所示。从中可见，TRIZ 应用较多的 4 个行业分别为：①机械行业，主要用于机械设计、制造技术改进，占比 17%，在 Cavallucci^[15]、Spreafico 等^[4]的研究中，TRIZ 适用于通用机械的比例分别排名第三和第四；②冶金工艺改善、冶金设备设计与改进行业占比 15%，Cavallucci^[15]将其统计为钢铁制造，占比 5%；③仪器仪表行业占比 11%；④纺织业占比 10%，在 Cavallucci^[15]的研究中，约有 3%的 TRIZ 工具应用于纺织业。

表 6 TRIZ 应用行业分布

应用行业	使用频次	占比 (%)
机械	26	17.57
冶金	22	14.87
仪器仪表	16	10.81
纺织业	15	10.14
能源与电气工程	13	8.78

汽车	12	8.11
光学设备与仪器	12	8.11
环保	7	4.73
计算机与通信工程	6	4.04
自动化	4	2.70
医疗器械	3	2.03
建筑	3	2.03
农业与水利工程	3	2.03
化工	2	1.35
其它	4	2.70

即便忽略统计分类差异,本文调研结果与 Spreafico 等^[4]和 Cavallucci^[15]的研究结论仍存在一定差异。本文调研发现,TRIZ 被广泛应用于解决机械、冶金、仪器仪表等 15 个行业领域技术问题。相较于之前的调研结果,本研究发现 TRIZ 还可用于计算机与通信工程、光学设备和仪器、医疗器械、建筑、农业和水利工程等非制造业领域,而不仅仅只适用于传统制造业领域。

(2)TRIZ 目的适用性。

调查 TRIZ 使用用途可以明确 TRIZ 适用问题类型,能够更好地帮助企业制定使用策略,做到“有的放矢”。统计过程主要根据 Ilevbare 等^[8]、Spreafico 等^[4]和 Chechurin^[11]的分类结果,把相似用途合并,记录每个用途数量,统计结果如表 7 所示。从中可见,提高生产率这一目的占比最高,达到 31.08%。Spreafico 等^[4]研究发现,TRIZ 用于提高生产率的占比为 13.82%,低于环境污染改善与质量提升占比。排名第二的是提高质量,占比 21.62%。而在 Spreafico 等^[4]的研究中,提高质量的占比高达 33.55%,远多于其它用途。在改善安全性和降低成本方面,本文研究结论与 Spreafico 等^[4]的研究结论基本一致。另外,环境污染改善占比为 6.08%,而在 Spreafico 等^[4]的研究中这一比例高达 16.45%,仅次于提高质量占比。Chechurin^[11]指出,环境污染和可持续设计已逐渐成为 TRIZ 的重要应用目的。

表 7TRIZ 使用目的

使用目的	目的含义	频次	占比 (%)
提高生产率	解决制约生产率提升的流程、工艺和设备问题	46	31.08
改善质量	提高设备或产品质量	32	21.62
优化可靠性能	延长对象无故障工作时间,使其不易损坏	30	20.27
延长寿命	提高对象及其功能的耐久性	11	7.43
维持安全性	规避设备对外部其它设备、人员、环境的有害因素	10	6.76

降低成本	降低设备运行、产品使用和维护总成本	10	6.76
减少污染	减少设备运行、产品使用和维护中所产生的能源消耗、污染物排放等	9	6.08

3.2 TRIZ 工具使用效果

(1) TRIZ 工具使用频次。

TRIZ 工具特点差异较大,通过比较使用频次可以分析不同工具使用的便捷性及产生的创意效果。TRIZ 工具使用频次如表 8 所示,可见使用最多的 3 个工具分别为:第一,技术矛盾。运用矛盾矩阵构建问题解决模型并利用 40 条发明原理寻找技术问题解答方案,共使用 673 次,平均每个课题使用 4.55 次,使用次数在所有工具中占 26.31%。本文调研结果与 Moehrle^[12]、Cavallucci^[15]、Spreafico 等^[4]及 Ilevbare 等^[8]的研究结论高度一致,即都认为技术矛盾和发明原理是最常用的工具。这是因为,技术矛盾和发明原理是 TRIZ 中最早被推广的工具,因而在实践中常被使用^[12]。第二,系统裁减。通过构建系统功能模型对系统进行裁剪,以达到改善系统性能的目的,共使用 TRIZ303 次,平均每个技术难题使用 2.05 次,使用次数在所有工具中占 11.85%。在 Ilevbare 等^[8]、Spreafico 等^[4]的研究中,功能分析和系统裁剪被合并统计;Ilevbare 等^[8]研究发现,功能分析与系统裁剪在 11 项工具中使用频次排名第三;但 Spreafico 等^[4]研究发现,功能分析和系统裁剪仅被使用 16 次,远低于矛盾(79 次)、发明原理(57 次)。第三,进化法则。利用进化法则对技术系统发展趋势进行预测,以优化系统或开发新产品、实施专利布局等,共使用 TRIZ294 次,平均每个技术难题使用 1.97 次,使用次数占 11.49%。

(2) TRIZ 工具对方案的贡献度。

在本研究中,不同 TRIZ 工具产生的方案数量和最终不重复的方案数量呈现多元线性回归关系。因此,通过多元线性回归法可以获得不同 TRIZ 工具产生方案数量对最终方案的贡献度。多元线性回归模型以统计数据中 12 项 TRIZ 工具的使用频次为自变量,对应关系为因果分析(X_1)、资源分析(X_2)、九屏幕法(X_3)、IFR(X_4)、技术矛盾(X_5)、物理矛盾(X_6)、系统裁剪(X_7)、物-场模型(X_8)、知识库(X_9)、进化法则(X_{10})、创新思维(小人法、金鱼法、STC, X_{11})、其它(ARIZ、头脑风暴等, X_{12}),最终不重复概念解的总数为因变量 Y_2 ,因变量与自变量之间满足多元线性回归方程:

$$Y_2 = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_{12} X_{12} \quad (\text{其中, } c_1 \dots c_{12} \text{ 为常数}) \quad (1)$$

在运行该模型之前需要首先对变量进行多重共线性检验,根据上文表 3 统计结果,平均每项技术难题共产生 17.18 个概念解方案,其中有 15.68 个不重复概念解方案,重复率为 8.7%,即全部概念方案中有 8.7%是由两项(含)以上 TRIZ 工具分别得出的实质性等同方案。通过消除多重共线性问题衡量不同工具对独特方案的贡献度,剔除进化法则(X_4)、九屏幕法(X_{11})和其它工具(X_{12})3 个变量后,回归系数达到显著性水平,且容差和 VIF(膨胀因子)均符合要求,表明多重共线性问题不明显^[18]。

综合上述分析结果,本文得出如下结论:第一,进化法则、九屏幕法和其它工具对最终概念方案的贡献度较弱,很容易被其它工具取代。第二,技术矛盾、创新思维、物理矛盾和资源分析 4 项工具的贡献度较高(标准化回归系数均大于 0.3),表明这几项工具产生的概念方案不容易与其它工具方案雷同。第三,进化法则、九屏幕法和其它 3 项工具出解总数仅占总方案数的 14.82%,比例较小,说明大部分 TRIZ 工具能够较好地激发创意的产生。

表 8 不同 TRIZ 工具总使用频次及其所占比例

工具	总使用频次	平均使用频次	使用频次占比(%)
----	-------	--------	-----------

技术矛盾	673	4.55	26.31
系统裁减	303	2.05	11.85
进化法则	294	1.97	11.49
物-场模型	289	1.95	11.30
物理矛盾	281	1.90	10.98
知识库	227	1.53	8.87
资源分析	185	1.25	7.23
创新思维	113	0.76	4.42
九屏幕法	80	0.54	3.13
IFR	73	0.49	2.85
因果分析	35	0.24	1.37
其它	5	0.03	0.20

(3) TRIZ 工具备选方案比。

在问题分析和创意产生阶段,工程师会想出大量解决相关技术问题的潜在方案,本文将其称之为“概念方案”。在问题解决阶段,工程师需要从概念方案中挑选出若干有价值的概念方案并将其作为最终问题解决方案,本文将其称之为“采纳措施”。通过分析全部概念方案最终被采纳的情况可以大致判断该工具的解题效率。假设某一课题使用某 TRIZ 工具产生的概念方案总数为 M , 该工具“采纳措施”总数记为 N , M/N 即为该项工具的备选方案比,其含义为“平均每产生一个被最终采纳的措施,某工具需要产生 M/N 个备选概念方案”。因此,备选方案比越小(越接近 1),说明该工具解决问题的效率越高;反之则反。如表 9 所示,最终实际概念方案采用情况即总体“备选方案比”为平均每 5.68 个概念方案中有一个方案被采纳。从具体数据看,TRIZ 工具备选方案比差异较大,技术矛盾和发明原理等出解数量较多的工具备选方案比较高。具体而言:第一,技术矛盾是备选方案比最低的工具,平均每 3.98 个概念方案中有一个方案被采纳。第二,创新思维、九屏幕法和 IFR 等工具备选方案比较高,分别需要产生 56.6、40 和 24.33 个概念方案才有一个方案被采纳。第三,因果分析、物理矛盾、资源分析、系统裁剪、进化法则、物场和知识库备选方案比均在 4~7 之间,对最终采纳措施的贡献度在平均水平上下波动。第四,其它工具(头脑风暴和无法归类工具)产生的概念方案数量较少且均未被采纳。

表 9 TRIZ 工具备选方案比

TRIZ 工具	采纳数	概念方案数	备选方案比
技术矛盾	169	673	3.98
因果分析	8	35	4.38
资源分析	35	185	5.29

物理矛盾	52	281	5.4
系统裁剪	53	303	5.72
进化法则	47	294	6
知识库	35	227	6.49
物-场模型	42	289	6.88
IFR	3	73	24.33
九屏幕法	2	80	40
创新思维	2	113	56.5
全部工具	448	2558	5.68

注：表中未出现的工具为全部方案未被采纳的工具

3.3 不同 TRIZ 工具综合效益

通过分析 TRIZ 的适用性和使用效果，已经初步了解不同工具在解决问题时产生的效率差异。然而，解决方案并不意味着能产生显著的社会经济效益，单独对 TRIZ 效果进行分析缺乏必要的评判标准，因此本文引入综合效益评价指标，全面考察 TRIZ 方法的综合效益。

(1) 评价方法与指标体系。

当前，许多学者对技术创新项目价值进行了研究，根据陈劲等^[19]、姚威等^[20]的研究成果，本文筛选经济效益、知识效益和社会效益 3 个维度共 9 个指标反映 TRIZ 的综合效益^[22]，指标解释如表 10 所示。由于不同项目之间存在行业和技术领域差异，无法直接进行比较，因此引入等级评价方法。根据技术发明和创新等级标准，并基于采用 TRIZ 工具后项目的实际营收和影响力，将 TRIZ 对某项指标的价值分为 1~5 个等级。在项目验收期，由至少 3 位答辩专家对每个项目的 9 个指标进行评级，最终确定一个唯一的等级分。等级评定标准如下：①1=帮助很小，仅为合理化建议，效能很低；②2=帮助较小，能够进行适度革新但效果较差；③3=帮助一般，但可以获得发明专利且能够提升效能；④4=帮助很大，获得综合型重要专利并极大程度上提升了效能；⑤5=帮助非常大，获得新发现并实现重大突破。以生产率提升指标为例，等级 1~5 分别表示：运用 TRIZ 后产生一些合理化建议，但生产率提升不明显；对系统进行部分革新，生产率得到小幅提升；生产率得到一定程度提升，并获得此方面的专利授权或技术秘诀；生产率得以明显提升，并获得多个重要专利授权或技术秘诀；颠覆了原有技术，生产率成倍提升，效果极为明显。

表 10TRIZ 综合效益评价指标

类型	指标名称	指标解释	指标来源
经济效益	生产率提升	提高产品制造和使用便捷性，改善生产率	OsloManual ^[20]
	成本降低	降低产品设计、使用和维护总成本	姚威 ^[21]

	性能优化	优化产品主要性能指标	陈劲 ^[19]
知识效益	专利授权	获得授权发明专利数量	
	技术秘诀	获得技术秘诀、生产工艺和配方等	
社会效益	资源利用率提升	减少浪费或提高资源总体利用率	陈劲 ^[19]
	负面影响率降低	减少环境破坏, 降低对人、财产方面的负面影响	OsloManual ^[20]
	社会发展效益	提高就业, 改善福利, 有助于社会发展	
	生活质量效益	照顾使用者的特殊需求, 改善民众生活质量	

(2) 构建有序的 Logit

回归方程。基于上述评价指标可以获得对每个项目的综合效益评价, 再通过解释变量 TRIZ 工具和被解释变量综合效益评价构建方程, 挖掘 TRIZ 工具产生的综合效益特征。由于被解释变量综合效益评价是离散有序数值, 适合采用多元 Logit 模型进行计量分析。第 i 个项目最终评级基本函数表达式为:

$$Y_i = \alpha^* X_i + \varepsilon \quad (2)$$

其中, X_i 为解释变量, $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{i4})$, $\alpha_1 \dots \alpha_{14}$ 为回归系数, $\alpha^* = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{14})$, 项目评级 Y_i 的分类满足:

$$Y_i = \begin{cases} 0, & \text{若 } y_i \leq r_0 \\ 1, & \text{若 } r_0 < y_i \leq r_1 \\ 2, & \text{若 } r_1 < y_i \leq r_2 \\ 3, & \text{若 } r_2 < y_i \leq r_3 \\ 4, & \text{若 } r_3 < y_i \leq r_4 \\ 5, & \text{若 } r_4 \leq y_i \end{cases} \quad (3)$$

其中, $r_0 < r_1 < r_2 < r_3 < r_4$ 为临界值, 本文将其称之为切点(cutoffpoints), y_i 为 Y_i 背后不可观测的连续变量, 本文将其称之为潜在变量。

(3) 计算结果。

根据 Logit 模型, 运用 Stata15.0 进行运算。从中可见, 不同工具对相应效益指标的影响存在显著差异: 第一, 资源分析、IFR、物理矛盾、系统裁剪、进化法则对生产率提升效果显著, 但资源分析和进化法系数则显著为负; 资源分析和九屏幕法对改善成本影响显著, 两者系数均显著为负; 资源分析、IFR、技术矛盾和其它工具对改善产品性能影响显著, 其中技术矛盾和其它工具系数显著为负。第二, 在知识效益方面, 知识库、创新思维对专利产出影响显著, 知识库、资源分析、物-场分析对技术秘诀影响显著, 其中资源分析系数显著为负。第三, 在社会效益方面, 系统裁剪对资源利用率提升效果显著, 因果分析对环境污染改善影响显著, 且两者系数均显著为负; IFR、技术矛盾对社会发展影响显著, 其中技术矛盾系数显著为负; 资源分析、物理矛盾对生活质量改善影响显著。

4 结论与建议

4.1 结果与讨论

(1) TRIZ 的适用性。

本文研究发现, TRIZ 工具有广泛的行业适用性, 如有很多用于解决冶金、仪器仪表和化工行业等技术问题, 并不局限于特定行业, 这可能与我国完善的产业体系和丰富的样本有关, 调查结果差异验证了 Moehrle^[13]所指出的理想的调查数据需要从实践中获得的观点。另外, TRIZ 同样具有广泛的目的适用性, 并不局限于特定用途。Spreafico 等^[4]、Ilevbare 等^[8]的研究表明, TRIZ 主要用于提高生产率、改善质量、降低污染、开发新产品, 但本研究发现 TRIZ 还具备延长寿命、优化可靠性等新用途。

(2) TRIZ 工具使用效果。

第一, TRIZ 工具使用频次差异较大。技术矛盾和 40 条发明原理、系统裁剪、进化法则、物理矛盾、物-场模型工具使用频次较高, 每个技术难题平均使用 2 次以上。技术矛盾和 40 条发明原理平均每项课题使用 4.54 次, 远高于排名第二的系统裁剪(2.04 次), 成为使用频次最高的工具。第二, 除进化法则、九屏幕法和其它工具外, 大部分常用 TRIZ 工具都可以产生不易被替代的方案。第三, 从概念方案被采纳情况看, 技术矛盾、因果分析、资源分析、物理矛盾工具备选方案比均小于 5.68, 即至多产生 5.68 个概念方案就会形成一个最终解决方案。技术矛盾和 40 条发明原理备选方案比(3.98)最小, 因此技术矛盾是经典 TRIZ 工具中使用最多且最常用的工具^[12]。

(3) TRIZ 方法的综合效益。

Logit 回归分析结果表明, TRIZ 工具综合效益呈现显著差异。第一, 在经济效益方面, IFR、物理矛盾和系统裁剪有助于提高生产率, 说明消除系统矛盾和精简系统有助于企业朝理想化方向发展。运用资源分析和九屏幕法不利于降低成本, 说明引入新资源和增加新功能会提高产品成本。资源分析和 IFR 能够改善产品性能, 技术矛盾和其它工具作用不明显, 这是因为当技术系统中出现矛盾和技术问题时, 使用者并非总能选择优先方案。第二, 在知识效益方面, 知识库对专利和技术诀窍产出具有促进作用, STC 有助于产生新专利, 而物-场分析则有助于产生技术秘诀, 说明 TRIZ 工具有助于产生创造性、新颖性和实用性技术方案。但资源分析应用作用不明显, 可能是因为基于资源分析获得的技术方案最终被转化成专利所致。第三, 在社会效益方面, IFR 有助于提高社会发展效益, 说明产品朝理想化方向进化符合社会发展需求。资源分析、物理矛盾能够改善生活质量。系统裁剪无法提高资源利用率, 因果分析未能降低负面影响, 技术矛盾未能改善社会效益, 有研究者认为这是由于 TRIZ 工具如 39 个工程参数和 40 条发明原理主要关注技术维度而忽视社会效益所致^[23]。

4.2 研究结论

根据上述分析, 本文得出以下研究结论:

(1) 应对 TRIZ 工具的适用性持开放态度, 不宜将其局限在特定领域或某些研究目的上。以往研究如 Cavallucci^[15]、Spreafico 等^[4]、Ilevbare 等^[8]主要从美国、日本和欧洲等发达国家或地区选取样本, 较少关注处于产业升级期、技术创新需求旺盛的发展中国家或地区; 另外一些学者则更多从科学论文中取样, 导致研究结论存在明显差异。就 TRIZ 目的适用性而言, 当前我国 TRIZ 推广更关注二次创新, 以提高生产率、性能和可靠性为目标。随着工程创新和制造需求的增加, 工程师会更加关注 TRIZ 在降低成本、改善环境污染和开发新产品等方面的作用, 也会逐渐向环境保护、电子信息和通信等新产业领域拓展。

(2) TRIZ 工具使用效果差异较大, 技术矛盾和 40 条发明原理在所有工具中使用最普遍且效果最好。从研究结论看, 裁剪和

进化法则使用频次较高，这与之来自发达国家的样本表现不同。这种差异可能与我国产业结构转型升级有关，由于工业技术系统大多处于 S 曲线成长期，因此需要精简系统以提高性能指标和稳定成本。

(3) TRIZ 能够显著提高经济效益和知识效益，但对社会效益的影响作用不显著，未来对 TRIZ 的应用和改进应突出社会效益。第一，应用 TRIZ 的直接目的是创造经济效益。因此，在应用过程中应综合考虑成本和生产率，引入新资源，在成本、性能和生产率之间寻求高理想度方案，从而提高经济效益。第二，TRIZ 要能帮助工程师创造性地解决技术问题，并产生显著的知识效益。根据研究结果，知识库能够有效促进专利授权和技术秘诀的产生，这符合 TRIZ 发明等级理论。即第三级和第四级发明通常运用集成法和知识库，通过转换系统作用原理、形成全新的功能和结构实现^[24]。第三，在应用 TRIZ 过程中还应关注社会效益，考虑其对人生存与发展所产生的影响^[19]。以因果分析和系统裁剪为例，因果分析中往往存在“已知因果”和“用相关替代因果”的路径偏差，导致无法发现真正的因果关系(姚威等，2019)。一些工程师在使用系统裁剪时常引入新组件而非减少组件数重新配置系统功能，这就导致分析不彻底，无法有效提高资源利用率。

4.3 TRIZ 体系改善与工具应用建议

针对 TRIZ 体系应用中存在的问题，本文提出如下对策建议：

(1) 按照技术问题类型灵活匹配 TRIZ 工具，提高解决问题的针对性。

经典 TRIZ 理论作为一个松散的集成系统，使用过程虽然遵循特定流程和规范，但因未能给出工具选择和运用指导而导致应用效率不高^[25]。在实际应用中，有效实现“任务-工具”匹配是提高创新效率的关键^[16]，因此不能利用庞杂的工具体系解决所有技术难题。若某项课题对专利保护要求较高，则应加强知识库等工具的开发和应用；若某项课题对经济效益要求较高，则应关注新资源引入和产品理想化程度。

(2) 加强 TRIZ 工具应用分析研究，优化效率较低的 TRIZ 工具。

TRIZ 工具应用频次、备选方案比和应用效益差异较大，要根据工具特点提高应用效率。针对部分效率较低的工具，如九屏幕法和创新思维不仅使用频次低(平均每项课题使用不足一次)、备选方案比高(分别为 40 和 56.5)，而且效益不显著，因此需要根据应用结果完善使用规则或加以改进，如明确九屏幕法中关于过去-现在-未来的定义。对于存在部分缺陷的工具，则需要根据工具本身的特点进行优化，如针对知识库中知识效益突出但使用频率不高的技术难题，应加强科学效应和知识库建设，通过增加数据库推荐算法、纳入实战案例、增加科学效应解释等，降低学习成本和使用难度^[27]。

(3) 对 TRIZ 工具的改善和应用需要突出社会效益。

本文研究发现，仅 IFR、资源分析和物理矛盾对社会效益具有显著正向影响，系统裁剪、因果分析和技术矛盾 3 项工具则呈负向影响，此外还有大量 TRIZ 工具的社会效益不高。为改善经典 TRIZ 工具的社会效益，Darrell Mann 等^[22]将经典 TRIZ 中技术矛盾的通用工程参数从 39 个增加到 48 个，新增的 9 个参数中有 8 个与社会效益直接相关，如参数 23(运行效率)、参数 38(易损坏性)、参数 47(检测复杂性)与改善资源利用率相关，参数 30(对象产生的外部有害因素)与降低负面影响相关，参数 37(安全性)与促进社会发展相关，参数 29(噪声)、参数 39(美观性)与提高生活质量相关。因此，为加强对 TRIZ 工具的应用，需要更加关注其社会效益并积极向非技术领域方向拓展。

4.4 不足与展望

本文存在两点不足：一方面，虽然现有研究分析了不同工具的效果效益差别，但未能揭示导致差异产生的根本原因，不足以

支撑对 TRIZ 的系统性改进和新工具开发；另一方面，由于样本搜集难度较大，现有样本仅局限于浙江省，以机械制造和纺织轻工业为主，电子信息、软件、医疗器械、环保等新兴产业样本不足，且缺乏重化工和装备制造等领域样本。据此，未来研究将重点从以下几个方面着手：第一，联合全国或各省份创新方法研究机构或科技主管部门，构建开放式创新方法应用数据库，吸纳更多行业尤其是新兴产业 TRIZ 应用案例，深入研究 TRIZ 规律和开发新工具；第二，从工程学、心理学、脑科学、人工智能等交叉学科视角出发，寻找造成 TRIZ 工具效果效益差异的原因，制定更加个性化的应用策略，开发具有一定学习能力的智能化计算机辅助创新系统；第三，积极探索创新方法在通信与计算机、智能制造、生物医药等新兴产业和尖端领域的应用，拓展创新方法应用领域。

参考文献:

[1]CHAOXIANG YANG, JIANXIN CHENG, XIN WANG. Hybrid quality function deployment method for innovative new product design based on the theory of inventive problem solving and Kansei evaluation[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2019, 11(5):1-17.

[2]科技日报. 创新“点金术”真有那么神奇么 [EB/OL]. (2018-04-09). [2021/03/09]. <http://www.triz.gov.cn/index.php?s=/home/index/newsdetail/id/2652.html>.

[3]CHECHURIN L. Research and practice on the theory of inventive problem solving (TRIZ) [M]. Berlin, Springer Press, 2016:2-5.

[4]SPREAFICO C, RUSSO D. TRIZ industrial case studies: a critical survey [J]. Procedia Cirp, 2016, 39:51-56.

[5]VALERI SOUCHKOV. A brief history of TRIZ [EB/OL]. (2015-04-01). [2021-05-30]. <http://www.xtriz.com/BriefHistoryOfTRIZ.pdf>, /.

[6]CAMPBELL B. If TRIZ is such a good idea why is not everyone using it [EB/OL]. (2002-04-06). [2019-05-30]. TRIZ Journal. <https://triz-journal.com/triz-good-idea-isnt-everyone-using/>.

[7]CHECHURIN L, BORGIANNI Y. Understanding TRIZ through the review of top cited publications [J]. Computers in Industry, 2016, 82:119-134.

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

[9]彭慧娟, 成思源, 李苏洋. TRIZ 的理论体系研究综述 [J]. 机械设计与制造, 2013, 22(10):270-272.

[10]陈敏慧, 蒋艳萍, 吕建秋. TRIZ 国内外研究现状、存在问题及对策研究 [J]. 科技管理研究, 2015, 35(1):24-27.

[11]NOE VARGAS HERNANDEZ. Experimental assessment of triz effectiveness in idea generation [C]//American Society for Engineering Education. ASEE Proceedings 2012. IEEE, 2012:1-25, 612.

[12]CHECHURIN L. TRIZ in science. reviewing indexed publications [J]. Procedia Cirp, 2016, 39:156-165.

[13]MOEHRLE M G.How combinations of TRIZ tools are used in companies-results of a cluster analysis[J].R&D Management, 2005, 35(3):285-296.

[14]BORIS ZLOTIN,ALLA ZUSMAN,LEN KAPLAN.TRIZ beyond technology:the theory and practice of applying triz to non-technical areas[EB/OL]. (2000-01-01). [2019-04-15].<https://pdfs.semanticscholar.org/c7d7/653f22df8c3e448b261e2a45a54c2b137cb6.pdf>.

[15]DENIS CAVALLUCCI.World wide status of TRIZ perceptions and uses a survey of results[EB/OL]. (2009-09-15). [2021-03-12].http://etria.eu/documents/TRIZ_survey_V2.pdf.

[16]RUTITSKY D.Using TRIZ as an entrepreneurship tool[J].Journal of Management,2010,17 (1):39-44.

[17]联合国.所有经济活动的国际标准行业分类(修订本·第4版)[EB/OL]. (2009-04-01). [2021-03-12].https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/seriesm_4rev3_1c.pdf.

[18]范柏乃.高级公共管理研究方法[M].北京:科学出版社,2014:101-112.

[19]陈劲,陈钰芬.企业技术创新绩效评价指标体系研究[J].科学学与科学技术管理,2006,27(3):86-91.

[20]姚威,储昭卫.系统化创新方法研究:理论进展与实践效果评价[J].广东工业大学学报,2021,38(5):97-107.

[21]姚威,储昭卫,梁洪力.技术创新综合效益视角下 TRIZ 的效果研究[J].工业技术经济,2020,39(10):81-89.

[22]DARRELL MANN,SIMON DEWULF,BORIS ZLOTIN,et al."Matrix 2003" publication announcement of the Japanese edition and Q&A documents for the english edition[EB/OL]. (2005-04-15). [2021-03-12].<https://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/elinksref/eSKIBooks/eMatrix2003/eMatrix2003-050329.html#PaperMann>.

[23]姚威,韩旭.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[J].科技进步与对策,2017,35(12):7-14.

[24]姚威,韩旭,储昭卫.工程师创新手册(进阶):CAFÉ-TRIZ 方法与知识库应用[M].杭州:浙江大学出版社,2019:54.

[25]耿晓峰.基于科学效应库的创新支持系统的研究[D].北京:华北电力大学,2017:49-50.