

面向工程教育的 TIE 提示语框架的设计与应用研究

钟柏昌, 裴永漫

(华南师范大学 教育信息技术学院, 广东 广州 510631)

[摘要] 工程教育在提高学生的创新能力方面发挥着重要作用,而生成式人工智能(GAI)的教育应用对学生创新能力的培养提出了新的挑战。因此,将 GAI 引入工程教育需要进行审慎的设计。为此,研究在现有通用 GAI 提示语框架的基础上,融入发明问题解决理论(TRIZ 理论)和逆向工程方法,构建了面向工程教育的 TIE 提示语框架。为验证其在工程教育中的有效性,课题组采用实验研究方法,随机选择了两个初中班级进行比较实验。结果表明,与不使用 GAI 的班级相比,TIE 提示语框架的使用能够显著提升学生的创新能力、工程知识水平和工程设计能力,具有较为重要的应用潜力与教育价值。

[关键词] 生成式人工智能; 工程教育; TIE 提示语框架; TRIZ 理论; 逆向工程方法

[中图分类号] G434

[文献标志码] A

[作者简介] 钟柏昌(1978—),男,江西宜丰人。教授,博士,主要从事跨学科教育、人工智能教育研究。E-mail: zhongbc@163.com。

一、引言

当前,随着科技的迅猛发展,尤其是生成式人工智能(Generative Artificial Intelligence, GAI)的兴起,为教育领域提供了新的发展契机。国家互联网信息办公室发布《生成式人工智能服务管理暂行办法》、教育部办公厅发布《关于加强中小学人工智能教育的通知》、联合国教科文组织发布《在教育和研究中使用生成式人工智能的指南》,都鼓励 GAI 在教育中的创新应用。研究表明,GAI 在生成教师评语、助力编程学习等方面取得了积极的应用效果^[1-2]。虽然 GAI 在教育领域的应用前景广阔,但同时也存在着诸多应用挑战。例如,随着人们对 GAI 使用频率的增加,在某种程度上导致人们过分依赖机器智能,而忽略了个人创新和独立思考的重要性。

工程教育强调基于真实情景的学习,主张学生从做中学、用中学、创中学,对培养学生的创造思维

与复杂问题的解决能力具有重要促进作用。毫无疑问,工程教育是培育学生实践能力和创新能力的重要载体^[3]。此外,工程问题的解决常常是一个复杂的过程,涉及科学、数学、技术等诸多学科与领域。这表明工程教育与单学科相比,具有极强的跨学科属性。单学科知识交叉薄弱,若将 GAI 应用其中,势必导致学生对答案的直接复制,缺少培养批判思维与创新能力的机会。相较而言,跨学科知识交叉密切,学生需要对机器生成的答案进行批判性思考与整理。因此,借助 GAI 赋能工程教育是创新能力培养的重要途径。

然而,将 GAI 应用于工程教育领域的实证研究相对较少,并且在应用过程中缺乏学习支架的设计,未能充分发挥 GAI 在工程教育中的应用潜力。为此,本文尝试在发明问题解决理论和逆向工程方法等的指导下,构建面向工程教育的提示语框架,以期为 GAI 在工程教育中的有效应用提供新思路。

基金项目:国家社科基金 2022 年度教育学一般课题“面向学生跨学科创新能力培养的 4C 教学模式研究”(课题编号:BCA220219)

二、文献综述

(一)基于大语言模型的教育提示语研究

自2022年ChatGPT推出以来,GAI引起了教育领域的高度关注。然而,若输入的指令不恰当或缺乏针对性,容易出现不合要求的“垃圾输出”^[14]。故而诸多学者针对GAI在教育领域的应用,设计了不同类型的提示语模板与框架。

例如:祝智庭等提出了教育提示语设计的“CORE”框架,该框架由必备元素(语境、目标)和可选要素(角色/规则、示例)构成^[5];赵晓伟等提出了GAI使能的苏格拉底对话新形态——“数智苏格拉底”,形成了促进学习者主体性塑造的“3S3L”提示语策略^[6];戴岭等人基于GAI的智慧问学模式,提出了“5W”模式的提问策略^[7]。此外,方海光等人对GAI的输入环节进行设计,提出了基于三轮对话的TIBO-LRQET-P&R模型^[8];赵晓伟等提出了促进高意识学习的教育提示语设计螺旋模型^[4]。

国外学者也进行了相应研究。例如:吉拉伊(Giray)提出了ICIO框架,即指令、背景、输入数据和输出指标^[9];罗(Lo)提出了教育提示语的CLEAR框架,即简洁、逻辑、明确、可适应、可反思^[10];塔索蒂(Tassoti)针对职前化学教师使用GAI解决化学问题和任务,设计了“5S”提示语框架,包括设定场景、具化指令、简化语言、构建输出和分享反馈^[11];拉纳德(Ranade)通过写作等一系列实验,总结设计了一个通用的提示语模板,即“提示语=受众+类型+目的+主题+背景+特殊性+作者”^[12]。

整体而言,相关研究设计的提示语模板和框架大多强调指示、语境、角色、输出指标等元素,为本研究提供了重要借鉴。遗憾的是,这些研究存在如下不足:首先,现有提示语主要是基于角色、背景等一般元素的线性流程形式,不利于应对非线性和复杂的交互需求;其次,提示语的设计缺乏理论支撑,当前研究主要聚焦于提示语构成元素和语言表述的探讨,鲜有研究将提示语与科学理论相结合进行深层次研究和应用。因此,在面向教育领域设计针对性的提示语模板和框架时,如何将提示语与科学理论相结合,并满足灵活复杂的交互需求,成为本文需要重点解决的问题。

(二)GAI在工程教育中的应用研究

国内鲜见GAI与工程教育相关的研究,目前仅发现几例研究:闵嘉剑等在大学建筑设计课程中引入GAI,利用GAI的图像生成工具将设计概念转化为可视化的场景,在一定程度上简化甚至替代了传统的建

模和动画渲染等过程^[13];李承超等将GAI赋能工程地质课程双语教学中,结果显示GAI在教学内容情景模拟和学习指导等方面展现出一定的教育潜能,提高了师生在工程地质课程中分析与思考问题的能力^[14]。

国外关于GAI在工程教育中的应用研究则相对广泛,主要集中在GAI辅助工程知识学习和助力工程设计两个方面。在工程知识学习方面,例如:乌丁(Uddin)等招募土木工程专业的学生,要求他们利用GAI学习工程方面的知识,结果显示GAI作为教育辅助工具有助于提高学生的工科知识水平^[15];普尔斯纳尼(Purnani)等将GAI应用于工程基础考试后发现,GAI在解决复杂工程问题方面展现出巨大潜力,并且能优化学习经历和提高学生成绩^[16]。此外,斯特拉(Stella)等针对机器人设计的研究主题,认为GAI可以帮助找到领域之间的相关联系,促进人类习得跨学科的专业知识^[17];纳赛尔(Naser)等同样认为GAI在回答工程专业问题上展现出巨大潜力,未来将成为工程教育中重要的辅助工具^[18]。

将GAI应用于工程设计方面的研究更为广泛。例如:李(Lee)等要求参与者使用GAI对各种日常问题产生创意想法,研究发现,与不使用任何技术或使用传统的网络搜索相比,使用GAI可以提高参与者的创新能力^[19];科伊维斯托(Koivisto)等要求GAI与人类分别为日常物品创造不常见且富有创意的用途,研究显示GAI在增强人类创新能力方面展现出巨大潜力与价值^[20];菲利皮(Filippi)为衡量GAI对创意设计产生的影响,要求学生依次采用头脑风暴、类比隐喻、逆向极值、TRIZ和GAI等方法进行设计,结果显示TRIZ在提出实用性想法方面更有效,但GAI提出的方案更具有创新性和独特性^[21]。此外,帕姆(Pham)和尼科利奇(Nikolic)等都认为GAI推进了工程教育中的创新和个性化学习,能支持学生解决问题并提高学生的批判思维能力^[22-23]。

整体而言,已有研究普遍认同GAI在工程教育领域具有显著的教育潜力,在一定程度上能提升工程知识水平和创新能力,为本研究提供了重要启示。然而,现有研究也存在一些不足。首先,关于GAI与工程教育相关的实证研究数量偏少,更倾向于GAI本身的工程设计能力的评估和展望;其次,现有研究中大多采取自由使用GAI的方式,缺乏对GAI使用策略和框架的具体设计,仅有极少数研究提供了简单的提示语示例或对话流程图,可迁移性和普适性有限。由此可见,目前针对GAI在工程教育中的应用研究有待拓展和深入。因此,本研究旨在构建一个面向工程教育的

提示语框架,并检验其在工程教育中的应用价值。

三、基于逆向工程方法和 TRIZ 理论的 GAI 提示语框架设计

(一)基本构成

1. ICIO 框架:奠定提示语框架的基础

进一步分析文献发现,现有提示语模板与框架大多参考了 Giray 提出的 ICIO 框架。例如,祝智庭等提出的“CORE”框架,将 C(语境)和 O(目标)列为提示语的必备要素。前者帮助 GAI 掌握与任务相关的背景信息,后者表示希望 GAI 执行的任务^[9]。又如,克谢特里(Kshetri)在为 GAI 设计提示语时,认为不仅要提供清晰明确的指令以阐明任务目标,而且要提供一定的语境信息,帮助 GAI 更好地理解任务背景,从而给出具体深入的回答^[24]。除 ICIO 框架中提及的四个元素外,还有部分研究强调角色扮演的独特作用。角色扮演不仅能增强对话的互动性和真实感,而且能使 GAI 扮演该领域的专家,从而更专业地解决问题^[8]。基于此,本研究将 ICIO 框架作为提示语框架的底层基础,并在此基础上加入“角色扮演”要素,进一步丰富和完善提示语框架的基本构成。

2. TRIZ 理论:提升提示语框架的深度

需要追问的是,在确定了提示语框架基础元素的前提下,还应如何化解其过于线性化和缺乏理论支撑的局限性?目前,TRIZ 理论作为一种成熟的创新理论,已被广泛应用于工程教育、产品开发和其他创新工作中。其包含一系列原则和工具,可将复杂问题转化为一般标准问题,指导用户突破传统思维模式的桎梏,寻求“非线性”的解决方案,并能提升解决问题的效率和准确性^[25]。从这个意义上说,将 TRIZ 理论引入 ICIO 提示语框架可能是解决上述不足的可行方案。

究其原因,大语言模型通常在通用数据集上进行训练,缺乏特定领域的深度知识,故其在复杂情景下处理问题的准确度不足^[26]。如若对输入提示和推理步骤缺乏控制,会造成低质量或不相关的输出,导致用户尝试多次也未必能获得理想结果。因此,将 TRIZ 理论与 ICIO 框架结合可以更好地发挥 GAI 的作用:一方面,ICIO 框架作为基础提示语能稳定 GAI 的性能,实现基本输出;另一方面,TRIZ 可助力 GAI 生成更多具有创新性、深度性和灵活性的解决方案^[27]。总而言之,将 TRIZ 加入提示语框架中,可以使 GAI 更有效地控制变量,提升设计方案的科学性和新颖性。

3. 逆向工程方法:释放提示语框架的潜能

传统课堂中常采用正向项目式教学,需要学生从

无到有完成一个项目作品,通常涉及多个复杂或劣构的真实问题,因此,直接开展正向项目式学习具有较高的挑战性,尤其对课时、班级规模和师生能力水平均有较高要求^[28]。相较于正向项目教学,逆向工程方法则强调学生探索现有作品,对其进行重构和优化,实现作品的微创新。同时,学习者在对作品进行解构的过程中能够获得大量的具体实践经验,有效弥补传统“教—学—做”模式下的理论与实践脱节的问题^[29]。更重要的是,逆向工程方法中的各环节是相对独立的部分,不仅容易被分割成不同的课时,而且将问题的提出从项目式学习的最前端后移于再设计与微创新阶段^[28],更加符合学生认知规律。因此,逆向工程方法不仅降低了学习难度,在课时安排上也更加灵活,有助于提高学生的学习效率 and 创新能力。故将逆向工程方法引入工程教育是一种更具可行性的选择。

需要注意的是,逆向工程方法包括作品使用与功能分析、作品拆解与复原、再设计与微创新、原型制作或产品再造、评价与反思五个环节,如若每个环节都使用 GAI,未必适用且耗费过多时间。实际上,作品使用与功能分析、作品拆解与复原以及原型制作或产品再造这三个环节重点在于参与者和作品之间的互动,而非使用工具辅助提出创新设计方案。与之不同的是,再设计与微创新环节的核心是在了解现有事物或解决方案的基础上作出一些有意义的、合理的改进和优化设计^[30]。同时,评价与反思需深入思考方案设计的合理性与有效性。基于此,在逆向工程教学中,可以聚焦再设计与微创新、评价与反思两个环节使用 GAI,发挥提示语框架的潜能,提高设计方案的创新性。

(二)内在机理

考虑到 TRIZ 包含的原则和工具非常庞杂,对于初学者,尤其是中学生而言,学习并掌握全部内容并不合适。因此,为便于中学生的使用,需要对 TRIZ 工具进行遴选。本研究团队曾针对中学生的知识和能力水平、学科特点和发明问题等级筛选出技术冲突和发明原理、物理冲突和分离原理作为中学生解决创新问题的方法^[3]。此外,诸多学者对不同 TRIZ 工具的使用频率进行统计后发现,发明原理和最终理想解两种工具的使用频次最高,应用效果最好^[31-32]。其中,“最终理想解”是解决问题的关键所在,在使用时应尽量利用现有能量和资源实现有用功能^[33]。这说明若想最大化地实现系统的理想状态,要做好资源分析和功能分析。综合上述研究,本研究综合选取了技术冲突和发

明原理、物理冲突和分离原理、最终理想解、资源分析和功能分析作为实验的创新工具。

基于以上分析,提示语框架包括指令、角色扮演、背景信息、TRIZ、输入数据和输出指标六个元素。其中,指令、背景信息、TRIZ 和输入数据为必备元素,角色扮演和输出指标为可选元素。指令表示希望 GAI 执行的任务,指令的清晰度直接影响输出内容的准确性;背景信息帮助 GAI 了解任务信息,给出符合任务情境的回答;输入数据可以是对问题的详细描述;TRIZ 作为提示语框架的创新引擎,提供具体的创新工具供选择使用。需要说明的是,各元素的使用顺序并非统一固定,可视情况进行灵活调整。

提示语框架主要融入逆向工程的再设计与微创新、评价与反思两个环节。根据重构作品的难度系数和创新水平可进一步将微创新分为三类操作形式:原型复原型(微创新 1.0)、要素增减型(微创新 2.0)和结构创新型(微创新 3.0)^[30]。本研究团队为解决逆向工程方法应用所存在的教学模式单一现象,从复原和重构实验两个层面提出了解构复原、纠错复原、要素增减和结构创新四种教学模式,进而构建了“灯笼模型”^[34]。其中,解构复原和纠错复原对应微创新 1.0,要素增减对应微创新 2.0,结构创新则对应微创新 3.0。本研究主要借鉴要素增减型和结构创新型两种教学模式,依此开展微创新实验。在此基础上,学生还需比较、分析和反思各种可能的设计方案,并作出合理的选择。

综上所述,我们认为 ICIO 框架、TRIZ 理论和逆向工程方法为提示语框架的构建提供了重要养分,为学生创新能力的培养提供了抓手和支柱。由此构建了一个面向工程教育的具有完备的基本元素、扎实的理论基础和实用的教学模式的提示语框架,简称“TIE 提示语框架”(如图 1 所示)。其中,TIE 中的 T 代表 TRIZ 理论,I 代表面向 GAI 的 ICIO 框架,E 代表工程教育(Engineering Education)和逆向工程方法(Retrieve Engineering)。

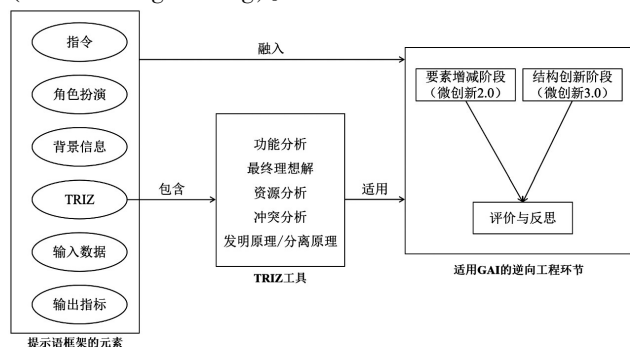


图 1 TIE 提示语框架

四、实验设计

(一)研究目标与研究问题

本研究试图讨论 TIE 提示语框架在中学工程教育中的应用效果,主要从学生的创新能力、工程知识水平、工程设计能力与生成式人工智能使用态度等维度对实践效果进行分析与评价。为此,需要回答以下研究问题:

- (1)TIE 提示语框架能否提高学生的创新能力?
- (2)TIE 提示语框架能否提升学生的工程知识水平?
- (3)TIE 提示语框架能否提升学生的工程设计能力?
- (4)TIE 提示语框架是否影响学生对生成式人工智能的使用态度?

(二)实验对象

为回答上述问题,课题组于 2024 年春季学期在某中学开展了为期 6 周的教学实验。我们从初一年级的 20 个班级中随机选择了 2 个平行班级共 88 名学生作为实验对象,其中实验组、对照组人数均为 44 人。为确保两个班级学生的知识储备处于同一水平,我们在实验开始之前进行了前测,独立样本 t 检验结果显示两个班级在创新能力方面无显著差异, $F(1,86)=0.780, p=0.138>0.05$;在工程知识水平方面亦无显著差异, $F(1,86)=1.187, p=0.296>0.05$ 。

(三)实验处理

在教学过程中,我们鼓励学生通过两人自由配对的方式完成任务。对照组在实验过程中不使用 GAI,实验组在参考提示语框架及学习流程图的基础上,使用 GAI 对作品进行微创新方案设计。具体课时安排见表 1。

(四)实验材料

本研究选取桥梁设计作为实验任务。桥梁设计项目是经典的工程设计项目,在《义务教育科学课程标准(2022 年版)》的工程设计与物化模块、人教版小学三年级科学课程和普通高中通用技术课程等文件与教材中都有提及。因实验对象为初一年级学生,故教学内容在参考以上教材和文件的基础上作了适当修改。

实验中使用了多种实验工具,包括讯飞星火平台、木板、胶水、脚钉、细绳、尺子、小刀、电子秤和砝码等。此外,为规范学生对 GAI 工具的使用,并及时记录与 GAI 对话后得到的创新想法,本研究设计了学习流程图、TIE 提示语设计示例以及学习工作纸。

(五)测量工具

创新能力问卷源自本研究团队之前编制的跨学

科创新能力量表,共 32 道题目,包括创新人格、创新思维、创新学习、创新技能和创新成果五个维度^[35]。Cronbach's α 系数为 0.934,表明其量表具有较高的信度。

表 1 实验课时安排

阶段	课时	课程内容
准备阶段	1~2	前测:创新能力、工程知识水平、生成式人工智能使用态度(实验组); 学习桥梁相关知识,思考影响桥梁结构稳定、承重能力的因素等
原型复原阶段 (微创新 1.0)	3	环节一:体验观察桥梁模型,设计桥梁方案和草图
	4~5	环节二:桥梁复原、进行承重测试
要素增减阶段 (微创新 2.0)	6	环节三:要素增减方案设计 (实验组)基于 TIE 提示语框架设计微创新方案 (对照组)基于头脑风暴设计微创新方案
	7	环节四:作品制作
	8	环节五:承重测试、评价与反思 (实验组)基于 TIE 提示语框架完善设计方案; (对照组)基于头脑风暴完善微创新方案。
结构创新阶段 (微创新 3.0)	9	环节六:结构创新方案设计 (实验组)基于 TIE 提示语框架设计微创新方案; (对照组)基于头脑风暴设计微创新方案
	10	环节七:作品制作
	11~12	环节八:承重测试、评价与反思 (实验组)基于 TIE 提示语框架完善设计方案; (对照组)基于头脑风暴完善微创新方案。 后测:创新能力、工程知识水平、工程设计能力、访谈、生成式人工智能使用态度(实验组)

工程知识水平测试主要考查学生的工程知识水平,要求每位学生独立完成所有测试题目。测试试卷题目主要由桥梁基础知识、结构稳定性、重力及工具使用等多部分组成。

工程设计能力主要通过工作纸和作品评分来体现。工作纸和作品总分各为 100 分,其评分标准由研究团队自行编制,由研究者和三位助教依据评分标准共同评分,取 Kendall 和谐系数最高的三位评分者的均值为最终分数。

生成式人工智能使用态度问卷主要参考 Ngo 编制的量表,分为三个维度,即生成式人工智能的使用、生成式人工智能使用的好处以及生成式人工智能使用的弊端^[36]。Cronbach's α 系数为 0.864,表明量表的信度较好。

五、研究结果

(一)创新能力

为了验证 TIE 提示语框架对学生创新能力是否有影响,我们进行了多元方差分析。其中,实验类型与实验阶段为固定因子,创新能力的五个维度为因变量。结果显示, Wilks' $\Lambda=0.523, p=0.004 < 0.01$,表明本实验干预对学生的创新能力产生了显著影响。

为了找出具体差异,需对创新能力中的每个维度进行 2×2 的因素分析 (2×2 independent-groups ANOVA),结果见表 2、表 3。创新能力的五个维度在实验类型上均存在显著差异,实验组显著高于对照组;在实验阶段上,创新人格和创新思维不存在显著差异,创新学习、创新技能和创新成果存在显著差异,结构创新阶段要高于要素增减阶段;在交叉效应上,五个维度均不存在显著差异。整体而言,创新能力在主效应上显著,在交叉效应上不显著。

表 2 实验组和对照组创新能力分析

维度	实验类型	实验阶段	N	Mean	SD
创新人格	对照组	要素增减阶段	44	20.93	4.267
	实验组		44	22.64	3.965
	对照组	结构创新阶段	44	22.18	3.943
	实验组		44	23.05	3.685
创新思维	对照组	要素增减阶段	44	23.00	3.983
	实验组		44	24.91	4.440
	对照组	结构创新阶段	44	24.27	4.702
	实验组		44	25.91	4.392
创新学习	对照组	要素增减阶段	44	22.64	4.483
	实验组		44	24.16	4.398
	对照组	结构创新阶段	44	24.23	4.264
	实验组		44	25.48	4.201
创新技能	对照组	要素增减阶段	44	19.64	3.989
	实验组		44	20.95	3.864
	对照组	结构创新阶段	44	21.02	3.776
	实验组		44	22.09	3.778
创新成果	对照组	要素增减阶段	44	19.80	3.986
	实验组		44	21.59	4.299
	对照组	结构创新阶段	44	21.30	4.090
	实验组		44	22.57	3.309

(二)工程知识水平

由表 4、表 5 可以看出,工程知识水平在主效应上显著,在交叉效应上并不显著。从实验类型上看,实验组显著高于对照组;从实验阶段上看,要素增减阶段显著高于结构创新阶段。

(三)工程设计能力

多元方差分析结果显示, Wilks' Lambda=0.601, $p=0.015<0.05$, 表明本实验干预对学生的工程设计能力产生了显著影响。

对工程设计中的每个维度进行 2x2 方差分析, 结果见表 6、表 7。在实验类型上, 工作纸和作品质量均存在显著差异, 实验组显著高于对照组; 在实验阶段上, 作品质量存在显著差异, 且结构创新阶段高于要素增减阶段; 在交叉效应上, 作品质量亦存在显著差异。从整体上看, 两个班级在工程设计能力的主效应上显著, 在交叉效应上并不显著。

(四)生成式人工智能使用态度

本研究采用非参数检验中 2 个相关样本德威尔科克森检验方法来分析实验组在研究前后对生成式人工智能的使用态度。实验前后学生对生成式人工智能的使用态度存在显著差异 ($p=0.000<0.01, d=0.95>0.8$)。从均值来看, 后测的使用态度 ($M=72.68$) 要显著高于前测 ($M=63.52$)。

表 3 实验组和对照组两阶段创新能力因素分析

维度	因素	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
创新人格	实验类型	4.602	0.033*	0.026
	实验阶段	1.921	0.168	0.011
	实验类型×实验阶段	0.493	0.483	0.003
创新思维	实验类型	7.185	0.008**	0.040
	实验阶段	2.952	0.088	0.017
	实验类型×实验阶段	0.043	0.837	0.000
创新学习	实验类型	4.494	0.035*	0.025
	实验阶段	4.947	0.027*	0.028
	实验类型×实验阶段	0.043	0.835	0.000
创新技能	实验类型	4.221	0.041*	0.024
	实验阶段	4.717	0.031*	0.027
	实验类型×实验阶段	0.046	0.830	0.000
创新成果	实验类型	6.676	0.011*	0.037
	实验阶段	4.352	0.038*	0.025
	实验类型×实验阶段	0.194	0.660	0.001
整体	实验类型	7.107	0.008**	0.040
	实验阶段	4.845	0.029*	0.027
	实验类型×实验阶段	0.161	0.689	0.001

注: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$ 。下同。

表 4 实验组和对照组工程知识水平分析

维度	实验类型	实验阶段	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
工程知识水平	对照组	要素增减阶段	44	53.07	14.636
	实验组		44	58.64	11.682
	对照组	结构创新阶段	44	42.05	13.177
	实验组		44	46.59	13.153

表 5 实验组和对照组两阶段工程知识水平因素分析

维度	因素	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
工程知识水平	实验类型	6.454	0.012*	0.036
	实验阶段	33.579	0.000***	0.163
	实验类型×实验阶段	0.066	0.798	0.000

表 6 实验组和对照组工程设计能力分析

维度	实验类型	实验阶段	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
工作纸	对照组	要素增减阶段	22	74.08	5.074
	实验组		22	79.38	5.408
	对照组	结构创新阶段	22	76.03	5.215
	实验组		22	80.79	3.966
作品	对照组	要素增减阶段	22	77.12	3.775
	实验组		22	83.15	3.120
	对照组	结构创新阶段	22	82.05	1.864
	实验组		22	83.53	3.488

表 7 实验组和对照组两阶段工程设计能力因素分析

维度	因素	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
工作纸	实验类型	22.742	0.000***	0.213
	实验阶段	2.542	0.115	0.029
	实验类型×实验阶段	0.067	0.797	0.001
作品	实验类型	31.359	0.000***	0.272
	实验阶段	15.615	0.000***	0.157
	实验类型×实验阶段	11.472	0.001***	0.120
整体	实验类型	41.795	0.000***	0.332
	实验阶段	10.163	0.002**	0.108
	实验类型×实验阶段	3.507	0.065	0.040

六、研究讨论

(一)TIE 提示语框架能够提升学生的创新能力

实验结果表明, TIE 提示语框架能显著提高学生的创新能力。其原因可能是多方面的: 首先, 相比传统的创新方法, 比如头脑风暴法等, TRIZ 理论具有鲜明的特点和优势。它揭示了创造发明的内在规律和原理, 可以帮助人们解决产品设计与研发过程中遇到的发明问题, 加速创新进程^[33]。其次, 实验学校的创新氛围也提供了助力。通过观察发现, 实验学校十分重视科技创新的建设与发展。学校开设有“3Done 设计”“创客小达人”等主题丰富的第二课堂, 为激发学生探索新鲜事物创造了良好的实践环境。在校园科技环境与创新氛围的影响下, 当学生使用 TIE 提示语框架时, 接受度较高且使用流畅, 极大地激发了学生的好奇心与求知欲。正如一些学生在访谈中所提到的那样, “学校经常会开展一些科技创新的活动, 这不仅让我对新鲜事物保持开放和好奇的态度, 也极大地促进

了我接受并运用这些新事物的能力”。同时,学生对生成式人工智能使用态度的提升也印证了这一点。

值得关注的是,在实验阶段的主效应上,创新人格和创新思维不存在显著差异,创新学习、创新技能和创新成果存在显著差异。研究表明,创新人格、创新思维是一种普适性的创新潜质,具有与生俱来的稳定性,而创新学习、创新技能、创新成果是一种领域性创新能力,会随着学习时间推移而有所变化^[35]。此外,创新能力在结构创新阶段高于要素增减阶段。究其原因,要素增减阶段只是做要数或参数上的微调,侧重创新思维的引领和新创意的萌芽;而结构创新阶段强调视域融合与跨学科整合,是对学生创新能力更深层次的培育^[30]。

(二)TIE 提示语框架能够提升学生的工程知识水平

实验结果显示,TIE 提示语框架可以显著提升学生的工程知识水平,原因主要涉及两个方面。一是,GAI 赋能的生成性教学方式能够更好地满足学生的不同需求,促进学生的主动学习和知识建构^[37]。二是,学生经过不断探究和反思而获得的知识,记忆会更加持久并且更容易迁移^[38]。通过课堂观察发现,学生在工程实践中会积极验证 GAI 提供的知识和建议是否准确。虽然在此过程中会遇到困难和经历失败,但学生能运用 TIE 提示语框架反复寻求 GAI 的个性指导,不断进行反思,从而解决问题。

此外,工程知识水平在要素增减阶段显著高于结构创新阶段。通过分析测试题目发现,其原因主要是前后两个阶段关于工程知识水平测试的题目难度差异较大。具体而言,结构创新阶段的测试题目难度明显高于要素增减阶段。因此,在未来的研究中,应当考虑不同阶段测试题目的均衡分布,减少因题目难度差异过大而带来的统计差异。

(三)TIE 提示语框架能够提升学生的工程设计能力

实验结果表明,TIE 提示语框架还可以显著提高学生的工程设计能力。在工作纸方面,TIE 提示语框架能够显著助力方案设计,并提供深刻的反思指导。有一组学生说:“我们可以使用提示语与 GAI 交流,它会根据要求提供有针对性的启发和建议,从而帮助我们完

善设计方案。”已有研究也表明,AI 系统可以根据设计师的反馈,持续优化和迭代方案,最终得到符合要求且具有创新性的设计方案^[39]。在作品方面,通过课堂观察发现,实验班的学生因使用 TIE 提示语框架,获得了更多方案设计上的指导与支持,他们在制作作品过程中通常表现出更强的自信心和积极性,因而实验班制作出的作品质量会显著优于缺乏设计启发的对照班。

需要深入探究的是,在实验阶段的主效应上,工作纸的表现不存在显著性,而作品质量存在显著性。究其原因,TIE 提示语框架主要从过程角度辅助学生进行工程设计,而工程设计的结果则更多依靠学生的实际操作和经验积累。

除此之外,在本实验中,创新能力、工程知识水平和工程设计能力在交叉效应上均不存在显著性。究其原因,本实验内容具有极强的实践性与综合性,课程教学从易到难、从简到繁,有计划、分层次地开展。同时,两个班级均采用逆向工程方法。这也反映出逆向工程方法能够有效地适应不同教学阶段和不同班级的学生,具有较强的普适性与稳定性。

七、结束语

本研究结果对于 GAI 在工程教育中的应用有以下几点启示:首先,在教学工具上,GAI 作为新兴技术,在教育中展现出较大潜力。教师要积极主动地适应与 GAI 协同的新型教学形式,依据教学任务设计明确而清晰的提示语,更重要的是引导学生合理使用提示语,通过不断迭代生成高质量内容。其次,在教学实践中,仅引入新技术是不够的,只有先进的技术与新方法、新模式相结合时才能产生巨大的作用。对于初学者而言,逆向工程教学方法能使其在复原的过程中获得大量的实践经验,快速获得宏观认知,促进知识学习与技能习得,最终实现创新能力的提升。可见,逆向工程方法在教学实践中具有广阔的应用前景。最后,教学内容应具有综合性和实践性,鼓励融入多学科知识,并将实际问题引入教学中,引导学生在解决问题的过程中学习相关知识。

然而受现实条件制约,本实验样本的规模较小,在未来研究中有待进一步扩大样本规模,进而验证研究结果的推广性和普适性。

[参考文献]

- [1] 罗恒,廖小芳,茹琦琦,等.生成式人工智能支持的教师评语研究:基于初中数学课堂的实践探索[J].电化教育研究,2024,45(5):58-66.
- [2] 孙丹,朱城聪,许作栋,等.基于生成式人工智能的大学生编程学习行为分析研究[J].电化教育研究,2024,45(3):113-120.

- [3] 闫妮,钟柏昌. 中小学机器人教育的核心理论研究——论发明创造型教学模式[J]. 电化教育研究,2018,39(4):66-72.
- [4] 赵晓伟,戴岭,沈书生,等. 促进高意识学习的教育提示语设计[J]. 开放教育研究,2024,30(1):44-54.
- [5] 赵晓伟,祝智庭,沈书生. 教育提示语工程:构建数智时代的认识论新话语[J]. 中国远程教育,2023,43(11):22-31.
- [6] 赵晓伟,沈书生,祝智庭. 数智苏格拉底:以对话塑造学习者的主体性[J]. 中国远程教育,2024,44(6):13-24.
- [7] 戴岭,赵晓伟,祝智庭. 智慧问学:基于 ChatGPT 的对话式学习新模式[J]. 开放教育研究,2023,29(6):42-51,111.
- [8] 方海光,王显闯,洪心,等. 面向 AIGC 的教育提示工程学习提示单设计及应用[J]. 现代远程教育,2024(2):62-70.
- [9] GIRAY L. Prompt engineering with ChatGPT: a guide for academic writers[J]. Annals of biomedical engineering,2023,51(12):2629-2633.
- [10] LO L S. The CLEAR path: a framework for enhancing information literacy through prompt engineering [J]. The journal of academic librarianship,2023,49(4):102720.
- [11] TASSOTI S. Assessment of students use of generative artificial intelligence: prompting strategies and prompt engineering in chemistry education[J]. Journal of chemical education,2024,101(6):2475-2482.
- [12] RANADE N, SARAVIA M, JOHRI A. Using rhetorical strategies to design prompts: a human-in-the-loop approach to make AI useful[J]. AI & society,2024,39(2):1-22.
- [13] 闵嘉剑,于博柔,张昕. 生成式人工智能时代的设计教学探索——以清华大学“AI 生成式影像”课程为例[J]. 建筑学报,2023(10):42-49.
- [14] 李承超,姜朋明. 生成式人工智能 ChatGPT 助推工程地质课程双语教学的探索与实践[J]. 大学教育,2023,12(23):97-99,113.
- [15] JAMIL UDDIN S M, ALBERT A, TAMANNA M, et al. ChatGPT as an educational resource for civil engineering students[J]. Computer applications in engineering education,2024,32(4):e22747.
- [16] PURSNANI V, SERMET Y, KURT M, et al. Performance of ChatGPT on the US fundamentals of engineering exam: comprehensive assessment of proficiency and potential implications for professional environmental engineering practice[J]. Computers and education: artificial intelligence,2023,5:100183.
- [17] STELLA F, DELLA SANTINA C, HUGHES J. How can LLMs transform the robotic design process? [J]. Nature machine intelligence,2023,5(6):561-564.
- [18] NASER M Z, ALOGLA S, ANAND N, et al. Conversing with AI chatbots: examining what OpenAI ChatGPT-4, microsoft bing chatbot, and google bard know, think they know, do not know, and would like to know about engineering [J]. Journal of Umm Al-qura university for engineering and architecture,2024,15(4):643-656.
- [19] LEE B C, CHUNG J J. An empirical investigation of the impact of ChatGPT on creativity[J]. Nature human behaviour,2024,8(10):1906-1914.
- [20] KOIVISTO M, GRASSINI S. Best humans still outperform artificial intelligence in a creative divergent thinking task [J]. Scientific reports,2023,13(1):13601.
- [21] FILIPPI S. Measuring the impact of ChatGPT on fostering concept generation in innovative product design [J]. Electronics,2023,12(16):3535.
- [22] PHAM T, NGUYEN T B, HA S, et al. Digital transformation in engineering education: exploring the potential of AI-assisted learning[J]. Australasian journal of educational technology,2023,39(5):1-19.
- [23] NIKOLIC S, DANIEL S, HAQUE R, et al. ChatGPT versus engineering education assessment: a multidisciplinary and multi-institutional benchmarking and analysis of this generative artificial intelligence tool to investigate assessment integrity [J]. European journal of engineering education,2023,48(4):559-614.
- [24] KSHETRI N. Generative artificial intelligence and the economics of effective prompting[J]. Computer,2023,56(12):112-118.
- [25] GUO Z S, SONG M, FANG X F, et al. Exploring synergies between AIGC and TRIZ in the optimisation of road cone design through integrated innovation methods [J/OL]. Journal of engineering design,2024:1-20 [2025-01-16]. <https://doi.org/10.1080/09544828.2024.2373038>.
- [26] 刘明,吴忠明,杨箫,等. 教育大语言模型的内涵、构建和挑战[J]. 现代远程教育研究,2024,36(5):50-60.
- [27] LEE C K M, LIANG J Y, YUNG K L, et al. Generating TRIZ-inspired guidelines for eco-design using generative artificial intelligence[J]. Advanced engineering informatics,2024,62:102846.

- [28] 钟柏昌,刘晓凡,陈岚鑫.“新师范”背景下师范生跨学科创新能力培养的基本框架与实践案例[J]. 电化教育研究,2023,44(7): 114-120,128.
- [29] 翟雪松,张丽洁,夏亮亮,等. 基于 GAI 的逆向工程教学思维在人机协作中的应用研究——以编程教育为例[J]. 电化教育研究, 2024,45(9):61-68.
- [30] 钟柏昌. 创客教育的内涵式发展:微创新与跨学科是怎样“炼”成的[N]. 中国教育报,2018-09-29(3).
- [31] 钟柏昌,龚佳欣. 基于 TRIZ 的跨学科创新能力评价:试题编制与证实[J]. 现代远程教育研究,2023,35(4):75-82,112.
- [32] SPREAFICO C, RUSSO D. TRIZ industrial case studies:a critical survey[J]. Procedia cirp,2016,39:51-56.
- [33] 张明勤,范存礼,王日君,等. TRIZ 入门 100 问:TRIZ 创新工具导引[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
- [34] 康斯雅,钟柏昌. 机器人教育中的逆向工程教学模式构建[J]. 现代远程教育研究,2019,31(4):56-64.
- [35] 钟柏昌,龚佳欣. 跨学科创新能力评价指标体系的构建与实证研究[J]. 中国电化教育,2022(12):27-34.
- [36] NGO T T A. The perception by university students of the use of ChatGPT in education [J]. International journal of emerging technologies in learning,2023,18(17):4-19.
- [37] 张玉柳,罗江华. 生成式人工智能增强学科教学适应性的逻辑理路与实践路径[J]. 电化教育研究,2024,45(11):100-107.
- [38] KAISER I, MAYER J, MALAI D. Self-generation in the context of inquiry-based learning[J]. Frontiers in psychology,2018,9:2440.
- [39] 李宇星. AIGC 技术在水利工程设计中的应用前景与挑战 [J/OL]. 水利水电技术 (中英文),2025:1-10 [2025-01-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1746.TV.20240731.1036.002.html>.

Research on Design and Application of TIE Prompt Framework for Engineering Education

ZHONG Baichang, PEI Yongman

(School of Information Technology in Education, South China Normal University,
Guangzhou Guangdong 510631)

[Abstract] Engineering education plays a crucial role in enhancing students' innovative abilities. However, the educational application of generative artificial intelligence (GAI) poses new challenges to the cultivation of students' innovative abilities. Therefore, the introduction of GAI into engineering education requires careful design. To this end, this study develops a TIE prompt framework for engineering education based on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ Theory) and reverse engineering method. In order to verify its effectiveness in engineering education, this study adopted an experimental research method, and randomly selected two junior high school classes to conduct comparative experiments. The results show that compared with the class without using GAI, the use of the TIE prompt framework can significantly improve students' innovative abilities, engineering knowledge level and engineering design ability, demonstrating more important application potential and educational value.

[Keywords] Generative Artificial Intelligence; Engineering Education; TIE Prompt Framework; TRIZ Theory; Reverse Engineering Method