

# 人工智能赋能项目式学习发展高中生建模能力 实践研究

朱信至

佛山大学数学学院, 广东 佛山

收稿日期: 2026年3月18日; 录用日期: 2026年5月21日; 发布日期: 2026年5月29日

## 摘要

本研究通过探索结合微信小程序和生成式人工智能的高中数学建模项目式学习模式, 评估其对学生数学建模能力和非智力因素的提升效果。选取广州市某高中高一学生作为被试, 分为实验组和对照组, 实验组采用生成式人工智能支持的项目式学习模式和常规教学, 对照组接受常规教学。通过对数学建模能力后测, 结果表明, 实验组与对照组的数学建模后测在统计学上存在显著性差异, 本研究实施的项目式学习能够有效提升学生的数学建模能力。

## 关键词

数学建模素养, 项目式学习, 生成式人工智能, 微信小程序

## Practical Research on Developing High School Students' Modeling Ability through Artificial Intelligence-Enabled Project-Based Learning

Xinzhi Zhu

School of Mathematics, Foshan University, Foshan Guangdong

Received: March 18, 2026; accepted: May 21, 2026; published: May 29, 2026

## Abstract

This study explores a high school mathematical modeling project-based learning (PBL) model that

integrates WeChat Mini Programs and generative artificial intelligence (AI), aiming to evaluate its effectiveness in enhancing students' mathematical modeling ability and non-cognitive factors. A group of Grade 10 students from a high school in Guangzhou was selected and divided into an experimental group and a control group. The experimental group received project-based learning supported by generative AI alongside regular instruction, while the control group received only regular instruction. Post-test results of mathematical modeling ability revealed a statistically significant difference between the two groups, indicating that the implemented PBL model effectively improved students' mathematical modeling abilities.

## Keywords

Mathematical Modeling Literacy, Project-Based Learning, Generative Artificial Intelligence, WeChat Mini Program

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

2019年,国务院办公厅发布的《新时代推进普通高中育人方式改革的指导意见》[1]明确提出,要“全面提高普通高中教育质量,深化育人关键环节和重点领域改革,坚决扭转片面应试教育倾向,切实提高育人水平”。这表明新时代高中教育不仅关注知识的传授,更强调学生核心素养和综合能力的培养,以适应未来社会多元化发展的需求。

数学建模作为连接数学理论与现实世界的桥梁,已被纳入《普通高中数学课程标准(2017年版 2025年修订)》(下称《课程标准》)的核心素养体系,成为培养学生综合能力的重要途径[2]。数学建模能力更是国外中学数学建模研究关注的一个核心话题[3]。国际上,美国《州际核心数学课程标准(CCSSM)》将数学建模列为六大核心内容之一[4],澳大利亚也在2010年由课程评估和报告局(ACARA)发布的高中数学课程标准中,将数学建模列为基本的数学活动[5]。瑞典的课程标准则强调教育需要发展学生设计和使用数学模型的能力,并批判性地评价不同模型的条件、机会和局限性[6]。日本在2018年新修订的《高中数学学习指导要领》[7]中强调数学建模能力的培养,要求学生能够从实际问题中抽象出数学模型,理解模型的假设条件和适用范围,利用模型分析和解决问题,并对结果进行解释和验证。可看到,数学建模已被广泛纳入全球中学数学课程标准体系,成为数学教育的重要组成部分。

尽管其地位显著,但我国数学建模教育的实施效果尚未达到理想状态[8]。一些研究者指出,问题的根源在于人们对数学建模能力的本质和内涵理解尚不够深入[9]。项目式学习(下称PBL)作为一种以学生为中心、基于真实问题驱动的教学模式,与数学建模活动高度契合。PBL与建构主义、情境学习、社会交互理论密切相关[10],并在国际和国内教育研究中逐步发展为一种系统化的教学方法。PBL强调学生在真实情境中的主动探索与团队合作,有效促进学生的创新思维和问题解决能力的发展[11]。同时,生成式人工智能(下称生成式AI)的快速发展正推动教育变革。2023年联合国教科文组织发布《生成式人工智能教育和研究应用全球指南》[12]强调其在促进有效学习方面的潜力。在我国,教育部于2024年将人工智能纳入中小学教育示范校建设[13],《2024智能教育发展蓝皮书——生成式人工智能教育应用》[14]也明确了生成式AI在教学、资源配置、评价与个性化学习等方面的应用。

微信小程序自2017年上线以来,凭借其“即开即用”的特性和低开发门槛,迅速成为一种轻量化应

用开发模式，为开发者和学习者提供了极大便利。腾讯推出的开发工具集成了代码编辑、调试和发布功能，同时支持直接使用第三方开发模板。其中，内置的 AI 辅助工具进一步降低了开发门槛，使学生能够轻松开展小程序的开发实践。微信小程序“即开即用”便捷性和低开发门槛的特点，使其成为学生在项目学习中的实践成果展示理想平台，特别是对于需要将学习内容与真实技术应用相结合的课程或研究 [15]。

在这样的背景下，本研究依托微信小程序和生成式 AI 技术，设计并实施基于项目式学习的数学建模实践活动 - 照看生态园，旨在探索新技术赋能下的数学建模教学模式，评估其在提升学生数学建模能力中的效果，以为高中数学建模教学提供一定的参考。

## 2. 研究设计

### 2.1. 教学模式框架

本研究的整体设计框架见图 1。首先依据《课程标准》提出的数学建模素养，结合 PISA 情境分类，从学校、生活、社会等多个维度确定项目主题。项目实施过程中，学生在教师指导下开展建模实践活动，利用生成式 AI 辅助建模与微信小程序开发，形成具体的项目成果。随后采用“仅后测”实验设计，设置实验组和对照组，通过建模子能力测评工具进行效果评价，最终完成研究结论与反思。

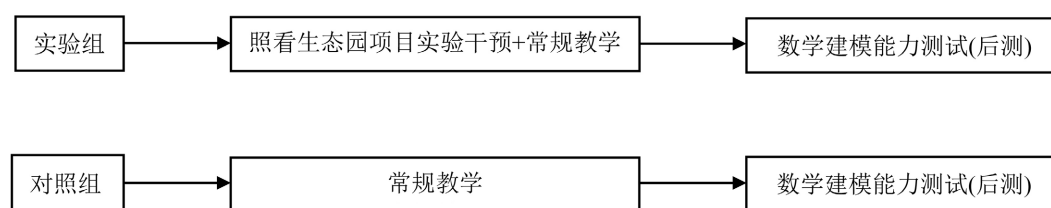


Figure 1. Research framework

图 1. 研究框架图

本项目的教学模式主要包括教学目标、流程与评价

#### (1) 教学目标

本项目教学目标紧扣《课程标准》中提出的数学建模核心素养，具体表现为数学建模子能力，理解和掌握数学建模的基本流程，包括模型假设、构建与验证。

#### (2) 教学流程

整个教学流程分为三个主要阶段，突出“项目导入 - 项目实施 - 项目展示”的闭环式结构，如表 1。

Table 1. Teaching process

表 1. 教学流程

教学阶段	主要内容与活动
项目启动	明确教学任务：“照看生态园”主题导入，提出核心问题情境；学生分组，完成任务分解与角色划分；梳理知识图谱，完成“问题 - 工具 - 知识 - 分工”任务单。
项目实施	开展建模实验：收集生态园数据，完成模型假设、构建与检验；运用生成式 AI 进行问题求解辅助与代码优化；设计微信小程序原型，实现功能与界面开发。
项目展示	汇总建模与开发成果，制作 PPT 进行小组汇报展示；教师组织小组评价与答辩，促进反思与改进；学生提交个人项目反思报告，归纳建模经验与感悟。

(3) 教学评价：本项目评价主要用到数学建模子能力测试题。

## 2.2. 实验设计

**自变量:** 本研究的自变量是实验组和对照组所接受的不同教学模式。实验组学生将参与生成式 AI 支持的数学建模项目式学习, 该模式通过结合微信小程序和生成式 AI 技术, 学生进行数学建模实践, 包括模型假设、模型构建与模型检验等核心步骤。在这一过程中, 生成式 AI 技术为学生提供辅助, 优化建模思维和问题求解能力。对照组则继续接受常规教学, 主要通过教师讲解和传统课堂练习进行教学, 侧重基础数学知识的传授和解题技巧的培养。实验组与对照组之间的区别在于是否有引入技术支持的项目式学习的干预, 进而探讨不同教学方式对学生建模能力的影响。

**因变量:** 本研究考查实验组与对照组的数学建模子能力的差异, 具体模型假设能力、模型构建能力、模型检验能力。通过数学建模能力测试, 考查实验组与对照组的建模能力是否存在差异。

**无关变量的控制:** 为确保研究结果的有效性和科学性, 研究中对可能影响因变量的无关变量进行了严格的控制。为消除不同教师教学风格可能产生的偏差, 实验组和对照组的学生均由同一位数学教师授课。该教师使用相同的教材和教学方法进行教学, 确保教学内容和风格的一致性。实验组和对照组的学生在数学成绩上的差异不大, 且两个班级的学生数学基础较为相近, 确保两组学生的学习起点相似, 从而减少班级差异对研究结果的干扰。实验组和对照组的教学时间安排一致, 两组学生在相同的时间段内进行学习, 确保时间因素对教学效果的影响最小化。

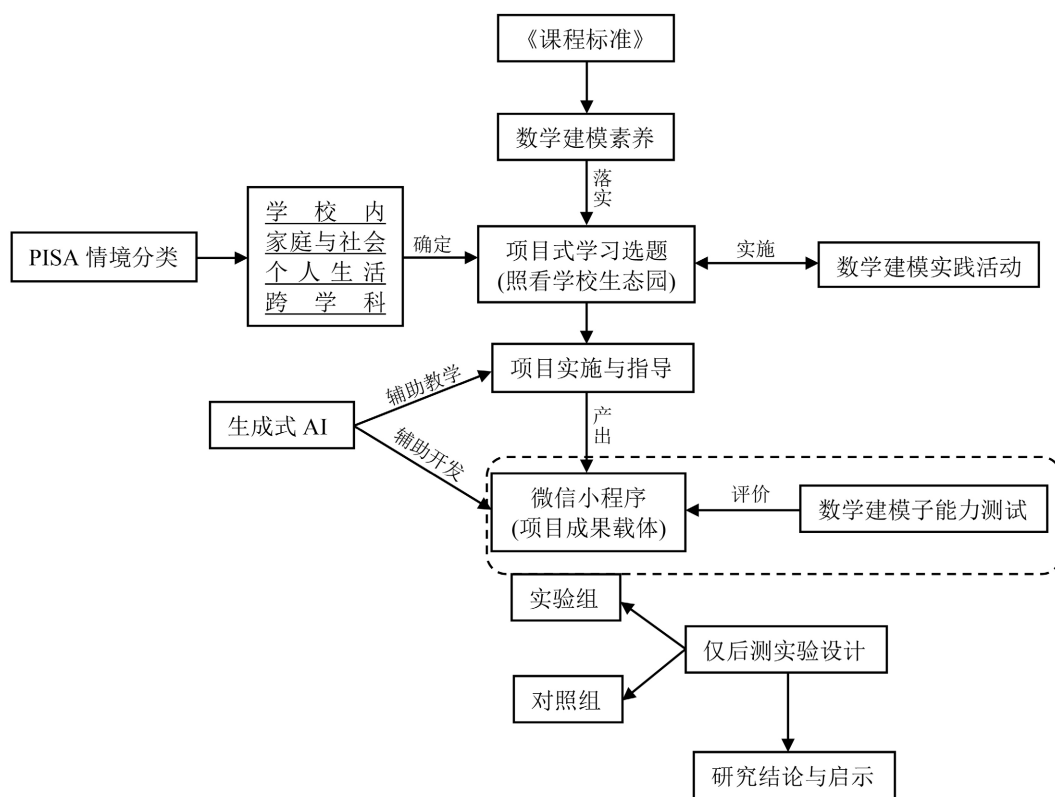


Figure 2. Experimental process

图 2. 实验流程

图 2 为本研究的实验流程。实验组和对照组均在实验前进行数学建模能力测试, 作为基线数据。实验组接受基于生态园项目式学习的数学建模实践活动的干预, 结合生成式 AI 技术和微信小程序进行辅助指导教学。对照组则继续接受常规教学方法, 未参与生态园项目。在项目完成后, 两个组的学生都进行

后测, 包括数学建模能力测试题, 对比实验组与对照组在干预后的数据差异, 研究该项目在高中数学建模教学中的效果。

### 2.3. 研究对象

本研究的被试对象为来自某市某高中的高一学生 81 名学生。所有参与者在数学能力上具有较高的同质性, 且实验组(35 人)和对照组(46 人)的学生在数学成绩上相差不大。为确保教学效果的统一性, 实验组和对照组的学生均由同一位数学教师授课。该教师在两组中的教学内容和方法保持一致, 除去实验因素外, 其他条件相同, 从而排除了教师教学差异对研究结果的潜在影响。

### 2.4. 研究工具

本研究编制了《高中生数学建模能力测试卷》作为测评工具, 依据《课程标准(2017)》中对数学建模能力的要求, 并基于 SOLO 分类理论以及祖丹[16]等人提出的双维多水平数学建模能力测评框架进行设计, 以评估学生在模型假设、模型构建和模型检验等子能力方面的表现。

SOLO 理论是由澳大利亚心理学家 Biggs [17]等人所创立的学习评价理论, 主要成果集中体现在专著《评价学习的质量——SOLO 分类法》, 该理论强调学习成果可分为前结构水平(P)、单一结构水平(U)、多元结构水平(M)、关联结构水平(R)和拓展抽象结构水平(Ea)五个层次。其为评价学生对知识理解的深度和广度提供了科学依据, 有助于分析学生在建模能力测试中的不同表现层级。

祖丹等人提出的双维多水平测评框架, 其研究从覆盖广度和覆盖深度两个维度对学生的建模能力进行测评。覆盖广度主要关注学生是否完整经历了模型假设、模型构建和模型检验三个关键步骤, 而覆盖深度则进一步细化到每个步骤中学生能力水平的差异。测试题目设计贴合高中数学课程标准, 突出真实情境中的建模能力考查, 确保测评工具的科学性和有效性。测试题设计主要参考其在覆盖广度上的数学建模子能力的三个指标, 题目主要来自于或改编自相关研究的硕士和博士论文以及各类数学建模题库。

测试卷共包含“蝴蝶体重”“饮料温度”和“鞋子尺码”3 道题目, 分别对应模型假设、模型构建和模型验证三个维度, 重点考查学生在真实情境中提出合理假设、建立数学模型以及解释和检验模型结果的能力。三道题目均在相关研究经典任务基础上, 结合高中生认知水平和本研究情境进行了适当改编。评分采用分维度方式, 依据学生在相应建模环节中的表现水平进行评价, 重点关注作答的完整性、合理性、逻辑性与反思性, 而非仅依据答案正误判断。正式施测前, 研究邀请数学教育专家及一线高中数学教师对试题进行审阅, 并围绕维度对应性、情境適切性、表述清晰性和评分可操作性等方面提出修改意见, 据此对题干表述、材料呈现顺序及评分细则进行了修订和完善, 以提高测试卷的科学性与内容效度。

为进一步验证测试卷的测量质量, 本研究对其信度和效度进行了检验。结果显示, 测试卷的 Cronbach's Alpha 系数为 0.766, 表明该测评工具具有较好的内部一致性, 能够较稳定地反映学生数学建模子能力的总体水平。

**Table 2.** Correlation coefficients among post-test dimensions and total score

**表 2.** 后测测试题各维度与总分的相关系数

	模型假设	模型构建	模型验证
模型假设	1		
模型构建	0.598**	1	
模型验证	0.427**	0.580**	1

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

在效度方面,本研究采用结构效度证据进行分析,考察三个维度与整体建模能力之间的关系。相关分析结果如表2所示。

上表表明三个维度之间既存在相互联系,又保持相对独立,符合数学建模能力由多个相关子能力共同构成的理论预期。因此,可以认为该测试卷具有较好的结构效度,能够较为有效地测量高中生数学建模能力。

在正式使用前,研究对测试卷进行了预试,并结合预试结果对试题质量进行分析。试卷项目分析主要从难度和区分度两个方面展开。其中,难度系数采用项目难度指数[18]进行计算,区分度采用积差相关法[19]进行分析。结果显示,测试卷整体难度系数为0.3766,说明试卷难度处于适中偏上的水平,能够较好地区分不同能力层次的学生;整体区分度为0.8007,表明测试卷具有较好的鉴别功能,能够有效识别学生在数学建模能力上的差异。

### 3. 教学实验过程

本实验过程围绕数学建模项目学习展开,通过项目启动、活动实施和成果展示三个阶段,旨在提升学生的数学建模素养。第一阶段主要围绕问题发现、目标确定、数据收集、模型初建和小程序初稿设计展开,具体指导内容见表3。第二阶段侧重模型优化、小程序开发、成果交流与反思改进,具体指导内容见表4。

**Table 3.** Stage 1: guidance for implementing the ecological park care project

**表 3.** 实验阶段一: 照看生态园项目实施指导内容

项目指导步骤	具体内容
步骤一: 问题发现与思维导图构建	指导学生通过观察生态园,利用思维导图工具梳理生态园的相关问题
步骤二: 问题分类与目标确定	帮助学生将发现的问题进行分类,明确主要关注的目标问题
步骤三: 数据收集与整理	指导学生收集与生态园相关的数据,学习数据处理与初步分析方法
步骤四: 数学模型初步构建	引导学生根据数据和问题,尝试建立简单的数学模型
步骤五: 小程序功能初稿设计	指导学生设计小程序界面与预设功能,形成初步的产品框架

**Table 4.** Stage 2: guidance for developing and improving Wechat mini programs

**表 4.** 实验阶段二: 微信小程序开发与改进指导内容

项目指导步骤	具体内容
步骤一: 模型优化与验证	帮助学生分析模型的有效性,指导学生对初步模型进行调整和改进
步骤二: 跨学科知识整合	鼓励学生整合数学、信息技术和生态学等学科知识,优化小程序的功能设计
步骤三: 小程序开发与测试	指导学生使用微信小程序开发工具进行简单编程,实现基础功能并进行测试
步骤四: 结果展示与交流	组织学生进行PPT制作和小组汇报,展示他们的小程序设计及模型分析成果
步骤五: 反思与改进	引导学生在实践结束后进行自我反思,分析项目中的亮点与不足,提出改进建议

在实验组项目实施过程中引入生成式人工智能,将其作为支持学生开展数学建模活动的认知支架,主要应用于问题分析、方案生成、代码辅助、结果表达与反思优化等环节。具体而言,学生借助生成式AI对真实问题进行拆解,识别核心变量及其影响因素,辅助形成建模思路、选择数学表达方式,并在微信小程序开发过程中获得必要的代码理解与优化支持,同时用于完善模型说明、成果展示和反思表达。以“照看生态园”项目为例,学生围绕植物需水量的影响因素、浇水量模型的建立及模型合理性检验等

问题与 AI 进行多轮互动，在交流过程中不断修正和完善自己的建模方案。教学实施中，教师强调 AI 在学习中的辅助属性，引导学生提出明确、具体且具有检验性的问题，并对 AI 生成内容从准确性、相关性、可操作性和启发性等方面进行甄别、比较与修正，从而使学生在人机协同过程中逐步提升问题分析、模型建构和反思判断能力。总体来看，生成式 AI 在本研究中不仅拓展了学生获取思路与表达支持的路径，也在一定程度上促进了数学建模学习过程的深入开展。

在项目活动阶段，学生进行模型假设、构建和检验，而在成果展示阶段，他们利用微信小程序直观、互动地展示建模成果，预期可以提升学生的数学建模能力。

#### 4. 研究结果

许多学者在研究中发现高中生的数学学业成绩与数学建模能力存在一定的正相关关系[8]，为验证实验组和对照组在实验开始前具有相似的能力水平或特征，将项目开始前近期的一次数学学业成绩作为前测。首先对数学成绩进行 Shapiro-Wilk 正态性检验，结果显示实验组和对照组( $p = 0.982 < 0.05$ ,  $p = 0.975 < 0.01$ )皆符合正态分布。因此此处用独立样本 t 检验对数学月考成绩进行差异性检验，独立样本 t 检验结果见表 5。

**Table 5.** Results of independent-sample t-test for mathematics academic achievement  
**表 5.** 数学学业成绩独立样本 t 检验结果

	班别(平均值 $\pm$ 标准差)		t	p
	实验组(n = 35)	对照组(n = 45)		
数学学业成绩	75.43 $\pm$ 18.31	70.58 $\pm$ 15.17	1.296	0.199

从上表可以看出，不同组别对于数学学业成绩均没有表现出显著性差异。

在项目结束后进行数据建模能力后测。在剔除无效测试卷后，回收有效测试卷 79 份，回收率为 97.53%，首先对实验组和对照组的测试成绩进行 Shapiro-Wilk 正态性检验，结果显示实验班和对照班的测试子能力(模型假设:  $p = 0.002 < 0.05$ ,  $p = 0.000 < 0.05$ ; 模型构建:  $p = 0.002 < 0.05$ ,  $p = 0.000 < 0.05$ ; 模型验证:  $p = 0.000 < 0.05$ ,  $p = 0.000 < 0.05$ )和总分( $p = 0.032 < 0.05$ ,  $p = 0.030 < 0.05$ )都不符合正态分布。本研究采用 Mann-Whitney U 检验来评估实验组和对照组在数学建模的三个子能力和总分上的差异，数学建模子能力后测的 Mann-Whitney U 检验结果见表 6。

**Table 6.** Results of Mann-Whitney U test for post-test of mathematical modeling sub-competencies  
**表 6.** 数学建模子能力后测 Mann-Whitney U 检验结果

	中位数 M (P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> )		U 值	z 值	p
	实验组(n = 33)	对照组(n = 46)			
模型假设	2.00 (1.0, 3.0)	0.00 (0.0, 1.0)	151.500	-6.362	0.000**
模型构建	2.00 (1.0, 2.0)	0.00 (0.0, 1.0)	227.000	-5.696	0.000**
模型验证	4.00 (3.0, 4.0)	2.50 (1.0, 4.0)	459.000	-3.150	0.002**
能总分	7.00 (6.0, 8.5)	3.00 (2.0, 4.0)	66.000	-6.940	0.000**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

由上表可知实验组在模型假设能力上展现出统计学上的高度显著优势( $z = -6.362$ ,  $p = 0.000 < 0.05$ )，效应值  $r = 0.716$  表明干预效果极为突出。实验组在模型构建能力上同样呈现统计学显著差异( $z = -5.696$ ,

$p = 0.000 < 0.05$ ), 效应值  $r = 0.641$  虽略低于假设能力, 但仍属较高水平。在模型验证能力上, 尽管实验组仍在统计学意义上显著高于对照组( $z = -3.150, p = 0.002 < 0.05$ ), 但效应值  $r = 0.354$  相对较差。究其原因除了模型验证的测试题难度较低外, 日常数学教学也可能会有渗透模型检验的思想。但总体来说, 对学生自身构建的模型或得出的结果进行验证, 实验组表现仍然优于对照组。总体而言, 经过项目学习干预后, 实验班在数学建模的三个子能力和总分( $z = -6.940, p = 0.000 < 0.05$ )与对照班相比均呈现出较为显著的差异。

## 5. 研究结论与启示

本研究以高中数学建模教学为背景, 构建并实施了结合微信小程序与生成式人工智能的项目式学习模式。研究表明, 与常规教学相比, 接受人工智能赋能项目式学习的学生在数学建模能力总分以及模型假设、模型构建和模型验证三个子能力维度上均表现出更优水平。这说明该教学模式能够在一定程度上促进高中生数学建模能力的发展, 尤其在模型假设和模型构建方面表现出较明显的促进作用。

### 5.1. 合理地运用生成式 AI

生成式 AI 在辅助学生进行数学建模时发挥了积极作用, 它能够提供优化建议, 帮助学生提高模型的准确性和合理性。然而, 教师和学生需要注意不要过分依赖生成式 AI, 因为 AI 提供的建议有时可能缺乏可行性。学生应学会批判性地分析 AI 的建议, 结合实际情况判断其可操作性, 确保建模项目的实施能够落地。

### 5.2. 保证学生的参与度

尽管实验班在模型假设、模型构建和总分与对照班相比均呈现出较为显著的差异, 但实验班这三部分的标准差均高于对照组, 说明成绩离散程度较高, 表明部分学生的参与度可能不足。这表明在实施项目式学习时需要更加关注学生的个体差异, 确保每个学生都能积极参与。教师应采用多样化的教学策略, 如个性化辅导、生生互助等, 以适应不同学生的学习风格和需求, 从而提高整体的参与度和学习成效。

### 5.3. 应重视模型验证环节的教学设计

本研究发现模型验证能力虽然得到提升, 但效应相对较弱, 提示该维度仍是高中数学建模教学中的薄弱环节。教师在组织建模活动时, 不应仅停留在“建出模型”和“求出结果”, 还应引导学生进一步思考模型是否合理、结果是否符合现实、假设是否需要修正等问题, 从而促进学生形成更完整的建模意识。

### 5.4. 优秀的项目展示平台: 微信小程序

微信小程序为学生提供了一个便捷、直观的平台来展示他们的数学建模成果, 而且其开发门槛低, 学生容易上手。这种方式不仅锻炼了学生的技术应用能力, 增强数学知识与编程的联系, 还可以增强他们的学习成就感。微信小程序的易用性也便于学生分享成果和接收反馈, 进一步激发了学生的学习动力和创造力。

### 5.5. 教师的角色的变化

在项目式学习中, 教师的角色是至关重要的。教师在项目设计与实施中承担多重角色, 在项目中教师不仅是知识的传授者, 更是项目管理者、教练、观察者、促进者和联络员等多重角色的扮演者[20]。这种角色的多样性要求教师不仅要具备深厚的学科知识, 还要能够将不同学科的知识联系起来, 形成一个

跨学科的教学视角。项目式学习的指导教师更像是一位综合科老师，他们要注重跨学科知识的联系，帮助学生理解数学建模的概念和方法，并引导学生在项目式学习中主动探索和合作。教师应鼓励学生将数学建模应用于其他学科领域，以促进学生对跨学科知识的理解与应用。

同时，教师还需要监控学生的学习进度，提供及时的反馈和建议，确保所有学生都能从学习过程中受益。教师自身也应不断提升自身的技术能力，以便更有效地利用生成式 AI 和微信小程序等现代教育工具来辅助教学。这强调了教师在项目式学习中不仅传授知识，还需要在项目的规划、执行和评估中发挥关键作用。在这个过程中也起到了教学相长的作用。

## 参考文献

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于新时代推进普通高中育人方式改革的指导意见[J]. 人民教育, 2019(2): 10-13. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2019-06/19/content\\_5401568.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2019-06/19/content_5401568.htm)
- [2] 中华人民共和国教育部. 普通高中数学课程标准(2017年版 2020年修订) [M]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [3] Stohlmann, M., DeVaul, L., Allen, C., Adkins, A., Ito, T., Lockett, D., et al. (2016) What Is Known about Secondary Grades Mathematical Modelling—A Review. *Journal of Mathematics Research*, 8, 12-28. <https://doi.org/10.5539/jmr.v8n5p12>
- [4] INITIATIVE CCSS (2010) Common Core State Standards for Mathematics. *Common Core State Standards Initiative*, 4, 148. <https://corestandards.org/wp-content/uploads/2023/09/ADA-Compliant-Math-Standards.pdf>
- [5] 朱娅梅. 义务教育阶段学生数学建模能力评价研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2014: 14.
- [6] Ärlebäck, J.B. (2009) Mathematical Modelling in the Swedish Curriculum Documents Governing the Upper Secondary Mathematics Education between the Years 1965-2000. Linköpingsuniversitet, Matematiskainstitutet.
- [7] 日本文部科学省. 高等学校学习指导要领[EB/OL]. 2018-03-31. [https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt\\_kyoiku02-100002604\\_03.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_03.pdf), 2024-11-01.
- [8] 牛伟强. 高中生数学建模能力发展研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2019.
- [9] 李明振, 喻平. 高中数学建模课程实施的背景、问题与策略[J]. 数学通报, 2008, 47(11): 8-10, 14.
- [10] Krajcik, J.S. and Blumenfeld, P.C. (2006) Project-Based Learning. In: Sawyer, R.K., Ed., *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, Cambridge University Press, 317-334. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511816833.020>
- [11] 薛红霞. 项目学习: 数学建模的教学实施路径之一[J]. 中小学教材教学, 2020(9): 46-50.
- [12] UNESCO (2023) Guidance for Generative AI in Education and Research. <https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research>
- [13] 刘邦奇, 聂小林, 王士进, 等. 生成式人工智能与未来教育形态重建: 技术框架、能力特征及应用场景[J]. 电化教育研究, 2024, 45(1): 13-20.
- [14] 讯飞教育技术研究院. 2024 智能教育发展蓝皮书——生成式人工智能教育应用[EB/OL]. 2024-09-25. <https://edu.iflytek.com/about-us/news/company-news/1449>, 2024-11-01.
- [15] 周巍. 学术期刊开发微信小程序的价值与策略探析[J]. 传媒, 2018(18): 42-44.
- [16] 祖丹, 丁锐, 孔凡哲. 双维多水平数学建模能力测评框架的构建[J]. 数学教育学报, 2022, 31(4): 56-61.
- [17] Biggs, J. and Collis, K. (1982) Evaluating the Quality of Learning: SOLO Taxonomy. Academic Press, 23-25.
- [18] 林崇德, 杨治良, 黄希庭, 主编. 心理学大辞典 下[M]. 上海: 上海教育出版社, 2003.
- [19] 刘欢培. SPSS 在试卷质量分析中的应用[J]. 课程教育研究(学法教法研究), 2018(15): 5.
- [20] 王淑娟. 美国中小学项目式学习: 问题、改进与借鉴[J]. 域外教育, 2019(6): 70-77.