

# 高中数学实验教学模式系统构建与实践路径探索

周明芝 胡宝田 李德南 丁 一

**[摘要]**在当前时代背景下,创新人才的培养已成为国家核心竞争力的关键要素。国际数据揭示,我国学生在创新能力和创新意识方面存在显著不足。数学,作为培养理性思维、科学精神及个人智力发展的核心学科,其高度的抽象性和逻辑的严密性往往成为学生理解过程中的一大障碍。基于长达15年的教学实践,本研究深入探索并精心设计了多样化的数学实验形式,开发出涵盖三类型、四层次的综合实验教学方案,并建立了旨在激励学生体验、探究与发现的数学实验室。在此基础上,本研究总结并提炼了数学实验融入课堂教学的基本原则与实施策略,并创造性地设计了数学实验评价体系,进而开展了关于学生能力提升效果的实证研究。所制作的实验工具和课件资源为师生进行数学实验提供了极大的便利。研究结果表明,数学实验不仅显著提高了学生的数学学习能力和学习品质,还极大地促进了数学教师专业素养的提升。

**[关键词]** 数学实验 数学学习方式 变革

DOI:10.16704/j.cnki.hxjs.2025.07.009

在当代社会发展进程中,培养具有创新能力的高素质人才已成为提升国家核心竞争力的战略要务。国际教育评估数据显示,我国青少年在创新思维品质与创新意识培养方面仍存在显著差距。数学教育在培养个体逻辑推理能力、塑造科学精神及促进智力发展方面具有不可替代的作用。然而,数学学科本身具有的高度抽象性与逻辑严密性特征,客观上形成了显著的学习认知障碍。值得关注的是,部分教师在教学实践中存在偏重知识灌输与解题技巧训练的现象,相对弱化了数学学习的过程体验与探究精神的系统培养。因此,如何实现数学本质的深度理解,有效培育学生的探究能力与创新素养,已成为基础教育领域亟待破解的关键课题。《中国数学教育的“问题特色”》研究显示,全国逾1600万基础教育工作者亟待实现教学范式转型,3亿在校学习者需要革新学习方式,同时超过6亿的家长群体亟须转变教育支持模式。在教育现代化进程中,学习方式的根本性转变被确立为关键性发展目标,其核心在于探索“如何实现更优化的学习效能”的科学路径。需要特别指出的是,教育现代化不仅体现为智能技术的融合应用,更深层次地表现为教育理念的迭代更新与培养目标的战略性调整,致力于塑造具备未来社会适应力的创新型人才。

基于当前教育改革的现实需求,本研究以高中数学实验教学为研究对象,通过教学实践场域系统开发并实施具有教学适切性的数学实验方案,重点强化实验探究与直观感知等认知活动的教育价值。研究通过创设结构化实验情

境,为学生创造直观思维的发展空间,系统强化数学实践操作与探究式学习的认知体验。这种教学创新使学生能够深度参与数学知识的建构过程,将传统接受式学习范式转化为包含问题发现、提出、分析与解决全过程的探究性学习模式。实证研究表明,这种范式转换不仅深化了学生对数学学科本质的理解,更实现了学习方式的革命性变革,有效优化了数学学习认知图式,系统培养了数学自主学习能力,最终达成学生综合素养的显著提升。

高中数学实验教学构建了多维度的数学学习场域,使学习者得以亲身参与数学概念的“二次发现”与数学原理的“重构创造”过程,这种认知实践不仅深化了数学知识的理解深度,更有效增强了学习效能感与学术自信。实验教学促使学习模式实现从被动接受到主动探究的根本性转变,拓展了数学学习的实践路径,系统引导学生开展自主性数学探索,切实提升数学核心素养。需要强调的是,以网络画板为代表的数字化教学工具,为数学实验的实施提供了强有力的技术支撑与资源保障。

## 一、高中数学实验教学模式研究的探索历程与实践理路

### (一) 问题导向阶段: 数学实验的初步应用探索

2007—2010年采用案例研究法,以真实教学场景中的具体问题为切入点,构建了数学实验课堂教学范式。典型案例包括:运用沙漏填充实验探究半球体、椎体与柱体的体积关系,进而推导球体体积公式;采用GeoGebra动态几何软件验证解析几何轨迹定理等。这些教学实践形成

了一批具有可复制性和显著教学成效的典型案例，使教育实践者切实认识到数学实验对重构数学认知路径的重要价值。

（二）课题引领阶段：数学实验的系统化研究

2010年起，研究进入理论深化阶段，依托北京市第四批中小学名师工程课题“高中数学实验教学的设计研究”、朝阳区“十二五”规划课题“高中数学实验的教学设计和实施策略”等系列研究项目，构建了包含理论基础、教学模式、课程资源开发（含实验方案设计及工具研制）的完整研究体系。特别在2016年1月至2019年3月期间，课题组通过开发数学能力标准化测试工具、情感态度量表及数学活动经验问卷，建立了包含认知发展、情感态度、实践经验三个维度的综合评价体系，最终形成具有普适性的“高中数学实验教学实施策略框架”。

（三）课程建设阶段：数学实验的规模化推广

2019年至今，研究重点转向成果转化与推广。通过构建“三位一体”实施路径：校本课程开发（必修+选修）、数字平台建设（超星网络平台、网络画板工作台）及跨区域教研共同体培育，实现了教学资源的系统整合。2022年，在北京市“数理领域特色课程建设”专题研讨会上的主题报告《高中数学实验课程开发》，现场辐射北京市基础教育单位近千家；同年开展的《基于网络画板平台的高中数学实验资源开发及使用》全国性公益直播，累计受众突破万人次。特别值得关注的是，依托网络画板平台构建的移动数学实验室，已形成包含276个标准化实验案例的资源库，并通过东西部教育协作机制，成功实现向广西、新疆、贵州、云南等教育欠发达地区的精准输送。

二、高中数学实验教学模式研究的理论与实践成果

通过系统化的数学实验研究与教学实践，本研究团队在数学实验教学模式建构、实验类型学划分、层次化设计、实施策略优化及资源开发等领域取得系列创新成果。课题组基于认知科学理论框架，首创数学实验多维评价体系，建成具备沉浸式体验功能的基础数学实验室，并通过网络画板平台研发系列数字化实验资源。课程开发严格遵循具身认知理论指导原则，融合脑科学最新研究成果，为一线教师提供体系化、可操作的实验教学解决方案。

（一）高中数学实验的三维类型划分与四层进阶设计

基于数学课程标准对核心素养的培养要求，研究团队对人教版教材进行实验适切性内容的全域分析。通过构建单元主题式实验教学模式，提出包含三维实验类型、四阶能力水平的数学实验系统设计框架。

1. 基于认知机制的数学实验三维分类体系

针对不同实验工具引发的认知差异，本研究依据数学知识表征的多元特征，建立操作性数学实验、计算机仿真实验与思维可视化实验的三维分类模型。该分类体系科学整合教具模型、数字仿真平台及思维导图工具的认知促进功能，其系统化实施流程如图1所示。

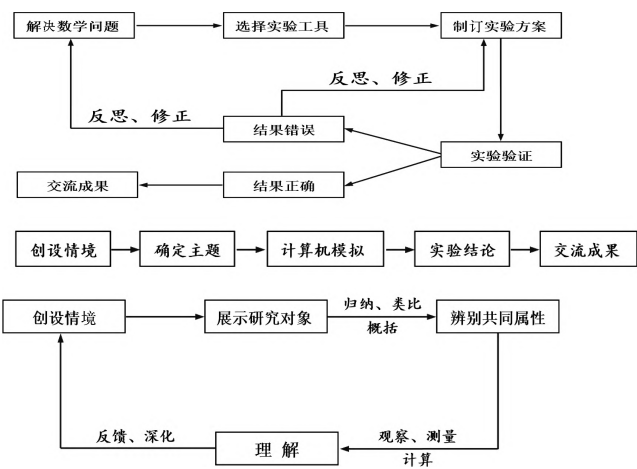


图1 三类数学实验实施流程图

2. 基于能力发展的实验层次四阶模型

依据具身认知理论“身体参与-环境交互-心智延伸”的三维协同机制，研究团队从实验开放程度与探究能力梯度两个维度，构建数学实验设计的四阶递进模型。该模型综合考量实验情境的真实性、操作过程的参与度以及认知产出的创新性等核心观测指标。

在层次化设计中，基础层通过高仿真演示实验构建具身认知基模，发展层借助问题导向的操作实验培养科学探究能力，拓展层依托开放性实验设计提升创新思维能力，应用层聚焦真实问题解决促进知识迁移应用。该四阶设计框架既满足常规课堂的知识建构需求，又可适应校本课程与社团活动的深度学习要求，形成覆盖多元教学场景的完整实验课程体系。

（二）基于国家统编版教材要求，多形态、多视角系统化开发数学实验设计资源

1. 系统性开发教材配套数学实验资源，构建菜单化资源利用体系

本研究以人教版A版高中数学教材为基准，通过系统分析教材内容的知识重点与认知难点，深入挖掘数学知识的直观性表征背景，最终完成114项数学实验活动设计的体系化建构。如图表结构所示，以必修一第二章教学内容为典型案例，建立“实验主题—内容要素—层次结构—素养目标—工具选择—实施流程—课型匹配—课件支持”的标准化实验设计框架。

如表 1 所示（以必修一第二章为例），通过系统解构教材内容，精准定位实验主题，科学设计实验内容层级，明确核心素养培养目标，合理配置实验工具组合，规范制定实验操作流程，并提供典型课型参考与配套数字课件。研究构建了包含传统教具（纸片、三角尺、量角器、剪刀）、数字平台及 GeoGebra 动态几何软件等在内的多元

化实验资源库，形成可组合、可拓展的实验教学资源矩阵。该体系通过多模态资源协同机制，有效创设具身化、可视化、交互性的数学认知情境，显著提升概念建构的具象化水平，在强化学生动手实践能力的同时，系统性培养其数学建模与创新思维能力。

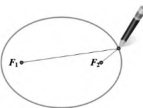
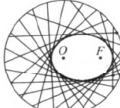
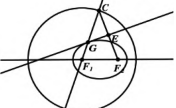
表 1 数学实验活动设计示例

章节	序号	实验主题	素养目标	实验内容	实施过程	实验工具	试验层次	课型
第二章 一元二次函数、方程和不等式	1	对重要不等式链的探究	逻辑推理 数学建模 直观想象	从几何直观的角度探究均值不等式等四个量的大小关系	利用圆的几何性质，通过构造直角三角形可以实现几何表示，逐渐将不等式中的各个式子以几何直观的形式呈现出来	圆形纸片、网络画板	第二层次操作探究交流讨论	校本课探究实验
	2	一道基本不等式的应用问题	直观想象 逻辑推理	（第 49 页拓展探索第 8 题）通过求三角形的最大面积，构建函数关系应用基本不等式求解	对矩形的一角进行折叠，设计探究问题解决三角形面积的最值求解，动态展示折叠的过程，促进学生理解问题，帮助构建函数关系	纸张、剪刀、网络画板	第二层次操作探究交流讨论	课堂微实验
	3	二次含参不等式	直观想象 逻辑推理	参数对二次函数变化的影响	参数改变对二次函数的开口、零点、对称性、最值等性质的探究	网络画板	第二层次操作探究交流讨论	校本课探究实验

**2. 构建多模态实验资源体系，实现个性化教学适配**  
为满足学习者个性化与差异化认知需求，本研究团队针对特定教学内容，采用多维度实验范式，结合多元化实

验工具进行系统化设计。如表 2 所示，以椭圆定义探究实验为典型案例：

表 2 椭圆定义探究的多模态实验设计矩阵

设计角度	利用工具手绘	利用折纸探究	计算机软件
实验工具	 图钉 2 个、细绳两根、纸板、粉笔（笔）	 一张圆纸片	 几何画板、GeoGebra 等软件
实验设计	用图钉和细线绘制出椭圆图形，验证椭圆定义	通过折纸的方式得到椭圆图形，探究椭圆定义	给出学生具体的实验操作的步骤，学生自行绘制图像，进行探究、实验
实验过程	先在纸板上钉两枚图钉，将一根细绳的两端系在图钉上，套上粉笔，拉紧绳子，移动笔尖（学生用笔代替）画图，观察得到的图形。改变细线的长度作出不同的图形，观察各个图形的异同点，得出一般性的结论。	准备一张圆纸片，其中 O 点表示圆心，F 表示除 O 以外的圆面内任意一点。将纸片翻折，使翻折上去的圆弧通过 F 点，将折痕 MN 用笔画出，继续上述过程，绕圆心一周，发现折线围成了椭圆。	连接 CF <sub>2</sub> ，构造线段 CF <sub>2</sub> 的中点 E，选择点 E 和线段 CF <sub>2</sub> ，构造 CF <sub>2</sub> 的中垂线，交 CF <sub>1</sub> 于点 G，改变点 C 的位置，点 G 的轨迹就是椭圆。
实验分析	实验用具简单，对椭圆定义中“到两个定点的距离之和为定值”有直观、清晰的认识	创设问题情境，通过对折痕的分析引导学生探究数学知识、检验数学结论	通过对动点轨迹形状的直观观察，分析出动点满足的几何关系，进而得到椭圆的定义，并能进行相关性质的探究，为学生创设自主探索的情境

该资源体系深度契合数学实验教学的核心目标，在课堂教学实践中允许学生基于自身认知水平和操作偏好自主选择实验模式，有效尊重个体认知差异。多模态实验设计方案为教师提供差异化教学策略库，使其能够精准对接学习者特征与课程目标，通过动态调整实验形态实现教学效能最优化。

**3. 聚焦大单元教学，构建整体渐进实验体系，推动知识建构与迁移**

在教学实践中，本团队基于单元知识体系对关联性教学内容进行系统性教学设计。在圆锥曲线定义的探究性实验设计中，着重强调整体知识架构与渐进认知路径：以圆



形折纸实验为切入点,通过几何变换逐步推导出椭圆、双曲线及抛物线的数学模型,并延伸至相关衍生曲线。通过构建开放型探究情境,有效激活学生高阶思维,培养其科学探究能力与创新素养。

该教学设计通过阶梯式实验序列,系统强化三类圆锥曲线定义间的类比关系与内在联系,促使学生深度理解数学概念的本质关联,形成结构化的知识网络体系,并为后续知识拓展奠定认知基础。

(三) 系统提炼并构建数学实验融入课堂教学的三类课程规划方案及其实施路径

### 1. 数学实验课程的三层实施架构

数学实验课程体系依托三类基础实施载体:基于国家课程标准的基础课程、校本选修课程以及社团特色课程。该体系构建了层级化实施路径:基础课堂侧重突破学科核心概念与教学重难点,促进数学本质理解;校本课程着力开展专题验证与深度探究;社团课程重点实施知识应用实践与竞赛拓展研究。

### 2. 教学实施策略体系

在数学实验活动的设计与组织过程中,需紧密围绕数学学科本质特征,结合教学内容的数学属性与学生认知发展规律,科学选择具有体验性、探究性和思辨性的教学策略。通过理论建构与实践迭代,本研究形成以下操作策略:深度解构数学实验的学科内涵,构建问题导向的探究框架;强化实验过程的数学化组织,完善协作交流机制,为教学实践提供结构化实施范式。

(四) 创新性研制数学实验测评量表,实施过程性评价与反馈机制

本研究在评价机制方面具有创新性贡献。基于中国知网(CNKI)文献检索结果显示,当前数学实验教学评价领域存在显著研究空白。为此,本研究系统梳理现有研究成果,依据数学学科育人目标与实验教学特征,构建包含四个核心维度的表现性评价体系,并通过典型案例的实证分析形成教学反馈,为数学实验的迭代优化提供循证依据。

以“二分法求函数零点近似值”实验教学为例,通过教师评价量表与学生自评工具的多维度数据分析,实施精准教学诊断与策略调整。这种闭环机制有效实现了教、学、评三位一体的有机融合,构建了涵盖设计、实践、评价、改进的全周期数学实验教学体系,显著提升了数学实验教学的实施效能。

(五) 建立了便于学生操作体验、探究发现的数学实验室

数学实验室装备了丰富的教学模型与尖端技术设备,通过立体几何模型、拓扑结构教具、概率统计转盘等实体教具,结合虚拟现实交互系统、智能投影白板等数字化设

施,为学生构建了一个理实交融的数学学习与研究环境。这种多模态学习空间有效贯通了抽象理论与具象认知,激励他们通过实践操作、自主探索以及合作交流,进而实现创新发现与知识建构。

**1. 实施实物教学模型操作实验,促进学生主动参与和积极思考**

在实验室中,学生通过二十面体几何模型、分形结构拼接教具、概率事件模拟转盘等实物的自主观察、直观感知及操作实践,配合交互式操作指南,在测量体积、验证公式、推导规律的实践中,促进了合作、分享与交流。特别是通过展示的拓扑变换模型操作过程,实物模型的直观展示不仅深化了空间想象能力,更有效激发了学生的参与热情和自主探究精神,使欧式几何公理体系、非欧几何特性等抽象概念变得触手可及。

### 2. 开展电子设备类实验,培养学生探究思维与创新能力

实验室配备了 TI-Nspire 图形计算器、GeoGebra 动态数学软件及 Stratasys 3D 打印机等设备。这些设备通过展示的智能工作站,不仅能进行参数化动态展示,还能完成多元函数计算、三维曲面作图、大数据统计分析 & Python 数学编程等复杂操作。例如,运用 GeoGebra 开展椭圆运动轨迹的实时参数调节实验,或通过 3D 打印制作极小曲面实体模型,这些实践极大地拓展了学生的想象空间,在数学可视化与工程数学交叉领域激发了他们的探索欲望,培养了数学建模与创新转化能力。

(六) 建立网络画板平台实验资源,实现教学手段现代化

网络画板基于动态数学和智能推理技术,具有跨平台特性,适应多终端使用,构建了师生共建共享的可视化资源和场景应用生态。该平台支持动态几何作图、参数化模拟、三维建模等 12 类数学工具,提供 200 余种智能画笔功能,覆盖中小学全学段数学课程标准要求的 76% 核心知识点,形成包含 3D 数学实验、微课资源包、智能题库在内的六大资源模块。

### 1. 构建信息化现代教育平台:改变学生学习环境

互联网数学实验室采用具身认知理论,通过数学实验教学模式,运用信息技术探索数学结论,促进学习过程中的身心融合,减轻认知压力,深化知识理解。该模式支持包括翻转课堂、项目式学习、混合式教学在内的 8 种教学场景,配备智能学情分析系统和个性化学习路径推荐功能,为信息技术与数学教学融合及新型教与学模式构建提供丰富工具、资源和平台。目前已在全国 32 所实验学校部署虚拟实验室终端设备,日均开展数学探究活动 1200 余课时。

### 2. 支持教师教和学生学:建立多种形式资源平台

网络画板快速生成函数图像,动态演示图像变化,解决函数教学抽象性问题,激发学生想象力和理解力。其作图、

变换、动态测量等功能支持学生探究性构建知识,进行知识猜想,提升能力。建立的经典题素材库涵盖近五年28省市中考真题图谱,支持知识点关联检索和变式训练生成,供师生随时调用,加深理解。教师工作台配备协同备课系统,支持6人同时在线编辑教学方案,资源使用效率提升40%。

### 3. 开放互动使用:形成网络社区,建立交流共享学习平台

网络画板作为互动工具,支持探究性动态演示,具备交流共享特性。教学资源可便捷分享至互联网交流平台,已形成包含12万注册用户的专业社区,日均产生用户原创内容300余件。学生利用网络画板进行探究式学习、数据处理,推动合作学习进程。多位教师协作创建教学资源,优质资源通过互联网迅速传播,惠及更广泛师生群体,目前平台资源总下载量突破85万次,建立跨区域教研共同体23个,覆盖中西部9个省份。

## 三、高中数学实验教学模式的实施效果及反思

开展数学实验教学高效落实了国家的数学课程和课程标准要求,形成了丰富的系列教学资源,拓展了育人方式,提升了学生的探究与创新能力,促进了教师专业发展,具有很好的普适和推广价值。

(一)有效改进学习方式,让学生亲历数学再发现再创造的过程

数学实验契合学生实践与观察思维特点,通过挖掘数学直观背景激发兴趣,促其全程参与思考并积累经验,逐步提升数学素养。其教学构建开放问题情境,激发主动探索与协作交流,丰富学习方式。数学实验将抽象知识直观化、静态过程动态化,以学生为主体再现数学发现过程。学生在实验中对异常现象和数据提出疑问,反复优化实验方案,形成批判性思维与创新能力,深化数学理解,强化探究意识和实践能力。

(二)对数学实验的设计、实施、策略、评价进行了系统研究,形成了菜单式的实验资源

一线教师对数学实验普遍感到陌生,更缺乏设计实验方案的能力,制作实验工具、实验课件费时费力,我们以教材内容为设计蓝本,根据不同目标、不同形式的实验内容开发实验设计、实验评价方案,制作实验工具、实验课件,开发数学实验网络平台,形成了菜单式的实验资源,方便师生在教与学中开展数学实验。

(三)促进了教师教学方式的改进和教师专业化发展

在数学实验教学中,教师通过反思和改进,深化教学内容分析,优化教学方法,有效实施新课程理念,提升教学效果。教师利用图形计算器、几何画板、GeoGebra等

软件和网络画板平台,增强信息化教学能力,促进技术与数学教学融合。数学实验教学提升了教师的教学、研究和信息技术技能,促进了教研活动的实效性。开发了多样化校本课程,如“高中数学实验探究”等,并在研究课中进行展示,相关论文和教学案例获奖。数学实验推广活动开展,推动了数学课程改革,转变了传统教学模式。

经过15年的系统化研究与实践探索,课题组在数学实验教学领域取得了系列创新成果,涵盖教学模式重构、课型体系划分、实施策略优化及校本教材开发等关键维度。然而,研究过程中仍存在若干亟待突破的学术难题:包括教材实验项目的梯度化设计优化、课外教育资源的深度整合与有效利用、微实验与专题实验资源的系统化补充等核心问题。特别需要指出的是,实验评价体系的科学化构建与实证研究亦需持续推进,以建立具有信效度的多维评估模型。值得关注的是,数学实验工具的功能开发与教学适配性研究仍存在显著提升空间。未来研究将聚焦于数学实验教学对学生核心素养的量化影响机制、高阶思维品质的培养路径,以及实验教具的效能优化等前沿方向。

## 参考文献:

- [1] 董林伟. 数学实验:初中生数学学习方式的变革[J]. 全球教育展望, 2020, 49(9):103-115.
- [2] 史宁中, 吕世虎, 李淑文. 改革开放四十年来中国中学数学课程发展的历程及特点分析[J]. 数学教育学报, 2021, 30(1):1-11.
- [3] 喻平, 董林伟, 魏玉华. 数学实验教学:静态数学观与动态数学观的融通[J]. 数学教育学报, 2015, 24(1):26-28.
- [4] 李俊平, 胡宝田. 基于人工智能平台支持的个性化数学教学研究[J]. 华夏教师, 2023(10):8-11.
- [5] 冯淑娟, 胡宝田. “四环节”:以课促研助力教师专业发展——基于北京市陈经纶中学语文教研工作实践[J]. 华夏教师, 2023(28):29-31.
- [6] [美] G. 波利亚. 怎样解题:数学思维的新方法[M]. 涂泓, 冯承天, 译, 上海:上海科技教育出版社, 2011.

注:本文系获得2022年基础教育国家级教学成果二等奖的课题研究成果。

(作者周明芝,北京市陈经纶中学教师,正高级教师,北京市特级教师;胡宝田,北京市陈经纶中学教师,高级教师;李德南,北京市日坛中学教师,高级教师;丁一,北京市陈经纶中学教师,北京市朝阳区骨干教师) ■