

高中数学建模能力培养的实践路径与策略探究

赵士会

湖北省竹山县第一中学 湖北 竹山 442200

摘要：在“双新”背景下，数学建模已成为高中数学核心素养落地的关键支点。论文以课程论、学习论与评价论三维视角，系统梳理建模能力内涵，提出“学科融合—项目驱动—评价反哺”的实践路径，构建“情境化设计—过程性指导—反思性提升”的策略闭环。研究通过概念辨析与逻辑推演，论证了建模能力培养对思维品质、创新意识与跨学科素养的增值效应，给出可操作、可推广、可评价的实施框架，为一线教师突破“课时—教材—考试”三重束缚提供理论支撑与实践参照。

关键词：高中数学；建模能力；实践路径；策略闭环；核心素养

Practical Paths and Strategy Exploration for Cultivating High School Mathematical Modeling Competence

Shihui Zhao

No. 1 High School of Zhushan County, Hubei Province, Zhushan, Hubei, 442200

Abstract: Under the “Double-New” context, mathematical modeling has become the pivotal lever for grounding the core competencies of high-school mathematics. Adopting the three-dimensional lenses of curriculum theory, learning theory and assessment theory, this paper systematically clarifies the connotation of modeling competence, proposes a practical pathway of “disciplinary integration—project driving—feedback via assessment”, and constructs a strategic closed loop of “contextualized design—process-oriented guidance—reflective enhancement”. Through conceptual analysis and logical deduction, the study demonstrates the value-added effects of modeling-competence cultivation on thinking quality, innovation awareness and interdisciplinary literacy, and offers an implementable, scalable and evaluative framework that provides theoretical support and practical reference for front-line teachers to break the triple constraints of “class periods—textbooks—examinations”.

Keywords: High-School Mathematics; Modeling Competence; Practical Pathway; Strategic Closed Loop; Core Competencies

引言

《普通高中数学课程标准（2017年版2020修订）》将数学建模纳入必修主线，标志着建模能力从边缘拓展走向中心地位。然而，课堂层面仍普遍存在“重技巧、轻情境”“重结果、轻过程”“重验证、轻生成”的痼疾，建模活动被简化为套用函数或概率模型的刻板演练，学生难以经历完整的“问题提出—模型假设—求解验证—解释反思”循环，导致建模思维碎片化、创新意识表层化。破解上述困境，亟需超越经验层面的案例堆砌，回到建模能力本质的学理追问，构建一条契合高中学段特点、对接高考评价改革、贯通课内外资源的实践路径，并形成可重复、可观测、可改进的策略体系。本文在澄清建模能力结构要素的基础上，以课程重构、教学转型与评价创新为支点，提出“学科融合—项目驱动—评价反哺”的立体化路径，进而细化“情境化设计—过程性指导—反思性提升”的策略闭环，力图为高中数学建模教育提供系统解决方案^[1]。

1. 建模能力的结构要素与学段特征

1.1 建模能力的三维结构

建模能力的三维结构并非静态罗列，而是在“认知—元认知—情感”交织的流变中持续生成：认知维度强调把混沌现实转译为数学符号的链式操作，元认知维度要求对转译过程的合理性、局限性与可迁移性进行即时监察与调校，情感维度则维系着面对复杂情境时的好奇、对不确定性的容忍以及对团队责任的自觉担当，三者螺旋互嵌，缺一维则整体塌陷。在高中数学建模能力培养的实践路径与策略探究中，这一结构可通过“学科融合—项目驱动—评价反哺”的闭环得以动态滋养。例如，以本地夜间光污染争议为切入点，教师首先引导学生用航拍开源数据与手持照度计同步采集“商业街—居住区—滨河绿道”照度值，认知维度的任务是把光度衰减曲线抽象为指数函数并嵌入三角网格地形模型，元认知维度的支架是一张“假设—验证—修正”反思卡，迫使学生在每轮拟合后追问“若把建筑物高度分布简化为矩形阵列，模型误差是否超出公众可接受范围”，情感维度则通过角色扮演听证会让学生分别代言环保协会、商户联盟与市政部门，在限时陈述与

质询中体验数据解释力的社会权重；最终小组用可视化地图呈现“降低三成广告屏亮度即可使居住区夜空亮度下降一个星等”的结论，并在校级科技节接受跨学科评委的“认知—合作—创新”三维打分，评价结果即时回流到下一轮“校园雨水花园”微课题，实现三维结构的持续升级而非一次性展示。

1.2 高中学段建模能力的特殊性

高中学段建模能力的特殊性，在于其同时受到“形式运算思维刚成熟”与“真实情境经验尚稀薄”的双向拉扯：一方面，抽象符号系统已内化为学生的思维工具，他们渴望用函数、概率、向量等利器切开现实；另一方面，生活半径的局限又让他们对复杂社会系统缺乏体感，极易把鲜活问题削足适履成可套公式的“清洁题型”。这种张力导致高中建模常陷入“过度简化”与“过度炫技”的钟摆两端，需要课程设计者在“学科深度”与“经验厚度”之间架设可生长的缓坡。例如，以校门口潮汐式拥堵为母题，教师先提供连续一周由学生手机陀螺仪匿名采集的“闸机—斑马线”通行时序数据，要求仅用课间半小时完成模型假设；认知维度的挑战是把人流密度峰值转化为分段线性函数并嵌入红绿灯周期优化，元认知维度的提示是一句“如果取消晚高峰家长接送区，模型预测可信度会跳水吗？”迫使学生自我质疑初始边界；情感维度则通过“角色互换微剧场”让学生轮流扮演焦急家长、公交司机与过街老人，在30秒即兴对话中体验数据背后真实的情绪温度。最终，各组用激光笔在地面投影动态轨迹，提出“将斑马线前移五米即可让排队长度缩短四成”的方案，现场被交警中队采纳并试运行，评价反馈以“拥堵延误减少秒数”直接写进下一轮“食堂窗口优化”课题的初始假设，从而让高中生在“刚够得着”的复杂度里尝到建模改变公共生活的真实甜味^[2]。

2. 实践路径：学科融合—项目驱动—评价反哺

2.1 学科融合：打破知识边界，重构课程单元

学科融合不是简单的知识拼盘，而是让数学在真实母题中与其他学科发生“化学反应”，使函数、几何、概率等工具因跨域需求被学生重新发明一次；当化学的守恒、地理的梯度、信息学的迭代同时向数学发出求助信号时，建模便成为天然枢纽，把原本封存在分科壁垒中的概念颗粒熔铸为可迁移的通用图式。例如，以校园后山一处废弃采石场为情境，生物社提供近三年复垦植物胸径数据，地理社给出无人机遥感生成的等高线灰度图，化学社测定不同坡面土壤重金属残留浓度，任务被压缩在两周选修时段：学生首先把胸径—时间序列写成带环境承载限的Logistic方程，再将重金属衰减率设为空间梯度函数嵌入坡面扩散模型，认知冲突出现在“植物生长拐点”与“污染浓度拐点”时空错位，迫使学生用向量场可视化交叉梯度；元认知支架是一张“学科概念互译表”，要求把“生物量—污染通量—地形曲率”三枚关键词用同一句话表述，情感张力则来自一场由学生自编自导的“复垦听

证会”，代表环保局的组员必须用模型预测说服“市政预算”角色立即追加植被基金。最终，团队用激光切割的立体等高板叠加LED热力图，直观呈现“若在第Ⅲ坡面追加0.3米厚清洁客土，三年生马尾松生物量可提升42%，同时重金属下泄通量削减一半”，方案被林场真实采纳，评价数据回流至下一轮“教学楼雨水花园”课题，从而完成“学科融合—项目驱动—评价反哺”的完整闭环，也让数学在跨域合作中找回被公式掩盖的原始生命力。

2.2 项目驱动：经历完整循环，生成建模经验

项目驱动的本质，是把“问题—假设—求解—验证—反思”的完整建模循环压进学生可支配的有限时空，让每一环节都留下可触摸的决策痕迹，而非被教师讲解替代成光滑的“演示动画”；只有当数据缺口、模型失真、结果反直觉等真实困境在课堂里同步发生，学生才会把书本上的函数与概率当作救命稻草自行升级，形成可迁移的建模经验。例如，以“校运会临时看台人流疏散风险”为两周微课题，学生先用手机加速度计在晚自习散场时匿名采集台阶震动频率，再用操场无人机航拍获得人流密度热力图，认知爆点出现在把密度—速度关系写成分段线性函数后发现出口处出现理论死锁，元认知支架是一张“瓶颈自评卡”，迫使学生在每轮模拟后回答“若把出口宽度扩至原来1.5倍，模型预测误差能否低于5%”，情感张力则来自学生自编的情景剧：扮演安保组的角色必须在十分钟内用可视化结果说服“校长”推迟下一场次开始时间。最终，团队用硬纸板搭出1:20的立体看台模型，在顶端倾倒彩色玻璃珠模拟人群，实测得出“在出口增设一条仅一米宽的斜向通道即可让疏散时间缩短28%”，方案被德育处采纳并写入运动会应急预案，评价数据即时回流至下一轮“食堂午餐高峰分流”课题，从而让学生在真实风险与真实权力面前完成一次可存档的建模经验^[3]。

2.3 评价反哺：三维指标，动态改进

评价反哺的核心在于让“认知表现—合作质量—创新潜能”三维指标成为下一轮的燃料而非终点奖状，只有当分数、评语与数据可视化被即时回投到新的情境，学生才会把评价视为可编辑的源代码，而不是刻在石板上的终审判决；动态改进的节拍越短，建模能力越能像开源软件一样持续迭代。例如，以“校园屋顶光伏能否覆盖教学楼日间用电”为一周微课题，学生首先用便携式功率计实测不同朝向的瞬时输出，再把光照强度写成带云遮扰动的正态混合模型，认知维度评价聚焦“发电量—负荷”匹配曲线的预测误差是否低于10%；合作维度则通过匿名在线互评，统计每名成员在GitHub式日志中的提交次数与冲突解决记录，自动生成“协作热力图”；创新维度由学生自制短视频答辩，评委即时用弹幕投票选出“最具颠覆性假设”。最终，三维得分被回写成一张“改进指令卡”：认知低分项提示“需把逆变器效率随温度衰减曲线重新标定”，合作低分项触发“下一轮必须交换

coder 与 presenter 角色”，创新低分项则要求“在下一课题中加入碳交易收益模块”。该卡片立即投入紧随其后的“食堂厨余沼气发电”项目，学生依据指令重测数据、重组分工、重设假设，仅用三天就让模型精度提升 18%，并自发把“指令卡”改名为“成长补丁”，从而完成评价反哺的闭环，也让分数第一次拥有了可触摸的二次生命。

3. 策略体系：情境化设计—过程性指导—反思性提升

3.1 情境化设计：从“伪情境”到“活情境”

情境化设计的生命力，在于把“背景故事”升级为“生存任务”，让学生感受到数据若出错就会让身边同学多等一分钟、多花一块钱、多吸一口尾气；只有当情境自带可验证、可争议、可追责的真实后果，建模才会从教师布置的“戴帽子”题变成立即影响校园生活的“扳手”工具。例如，以“宿舍楼热水计费异常”为三日突击课题，学生先匿名回收近两周的刷卡流水，发现同一楼层出现“凌晨四点用水量突增”的幽灵曲线，随后用红外测温枪实地抽检管道，认知冲突聚焦如何把温度衰减与流量波动写成带热损系数的微分方程；元认知支架是一张“假设责任状”，要求每组在模型提交前勾选“若预测误差超过 15%，自愿承担下一周整层宿舍的跑腿取件任务”，情感张力瞬间拉满^[4]。

3.2 过程性指导：在“最近发展区”内搭建支架

过程性指导的精髓，是把支架搭在学生“跳一跳够得着”的临界高度，让援助始终比困境晚到半拍，却又不至于袖手旁观；支架一旦过度固化，建模思路就被焊成铁笼，一旦完全撤除，学生又在数据丛林里原地打转，因此教师必须像实时调节的升降机，依据现场表情、草稿纸空白与键盘敲击频率动态释放线索。例如，以“校河浮萍爆发何时威胁到景观喷泉”为一周项目，学生首日采集的水面覆盖率呈指数飙升，却在尝试用经典 Logistic 模型拟合时遭遇决定系数骤降到 0.6 的尴尬，此时教师递上一张只写三句话的“漏洞清单”卡：“①是否遗漏夜间溶氧骤降的抑制项？②是否把流速当成常数？③能否让浮萍死亡率先于承载极限

出现？”认知缺口瞬间被精准定位；次日学生把溶氧与流速写成耦合微分方程，却仍因参数过多而陷入过拟合，支架升级为一段 Python 代码模板，却故意删掉关键一行“self.decay = ”，迫使学生在调试报错中自行补全死亡率的物理意义；到了验证阶段，教师再提供三瓶不同流速的微型水槽，让学生用荧光笔标记浮萍边缘，肉眼观测模型预测误差，情感高潮出现在“若明日覆盖率预测偏差超 10%，我们得亲自下河打捞”的班级公约，最终团队把死亡率与溶氧阈值绑定，成功将预测误差压至 4%，并在周会上把“漏洞清单”更名为“成长阶梯”，支架随之隐退，留下可自我调用的建模元策略^[5]。

4. 结语

高中数学建模能力培养不是简单的活动叠加，而是课程结构、教学范式与评价理念的系统变革。本文提出的“学科融合—项目驱动—评价反哺”路径与“情境化设计—过程性指导—反思性提升”策略，旨在为一线教师提供可理解、可实施、可评估的操作框架。未来仍需在教师专业发展、跨学科教研机制以及智能化评价工具等维度持续深耕，让建模教育真正从课堂边缘走向学习中心，从竞赛特长走向素养普惠，为培养面向未来的创新型人才奠定坚实的数学基础。

参考文献：

- [1] 张景中,王尚志.数学建模教育:从竞赛到课堂的范式转型[J].中国高教研究,2022(5):45–52.
- [2] 李尚志,胡炳元.高中数学建模核心素养的指标建构与测评框架研究[J].课程·教材·教法,2021(9):88–95.
- [3] 鲍建生,徐斌艳.数学建模能力的三维结构模型及其教学启示[J].数学教育学报,2020(4):12–18.
- [4] 史宁中,马云鹏.项目化学习视域下高中数学建模教学的重构路径[J].教育研究与实验,2023(2):67–73.
- [5] 郑毓信,刘晓玫.从“解题”到“解决问题”:数学建模教育的价值旨归[J].教育发展研究,2022(12):78–84.