

数学类大学生创新训练项目的分阶指导与过程评价

——以时滞SEIR流感传播建模为例

王 敏*, 吴欣润

中国矿业大学(北京)理学院, 北京

收稿日期: 2026年7月28日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月22日

摘 要

针对低年级数学类学生在大学生创新训练项目中先修知识不足、理论与计算容易脱节、个体贡献难评价等问题, 本文以“时滞SEIR流感传播建模”为载体, 设计分阶指导与过程评价方案, 并在中国矿业大学(北京)理学院2024级11名学生组成的两个项目组中开展1年试点。项目设置机制辨析、模型比较、稳定性分析、数值验证和干预表达五个阶段, 以理论与计算相互核验、角色轮换、阶段审查和修订记录组织学习。试点累计形成62次版本提交, 周志完成率98%; 学生后测较前测明显改善, 最终报告总体完成较好, 代码复现通过率80%。11份有效问卷和6人访谈显示, 学生普遍感受到理论与计算联系较紧密、团队分工较公平, 并较完整地经历了从前期调查、逐步研究到汇总形成报告的过程。结果表明, 该方案具有较好的可实施性, 但周志反思深度和代码复现规范仍需加强。受样本规模和单一院校限制, 本文不作普遍因果推断。

关键词

大学生创新训练计划, 数学建模, 项目驱动, 成果导向教育, 时滞微分方程, 创新能力

Staged Mentoring and Process-Based Assessment in Innovation Training Projects for Mathematics Undergraduates

—A Case Study of Time Delayed SEIR Modeling of Influenza Transmission

Min Wang*, Xinrun Wu

School of Science, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing

*通讯作者。

Abstract

This study addresses three common difficulties faced by lower-year mathematics students in undergraduate innovation projects: insufficient prerequisite knowledge, separation between theoretical analysis and computation, and difficulty in evaluating individual contributions. A staged mentoring and process-based assessment scheme was developed around a time-delayed SEIR influenza modeling project and piloted for one year with 11 students from the 2024 cohort of the School of Science, China University of Mining and Technology-Beijing, divided into two teams. The project comprised five stages: mechanism analysis, model comparison, stability analysis, numerical verification, and intervention modeling. Theory-computation cross-checking, role rotation, milestone review, and revision records were used throughout the project. The two teams made 62 version-control submissions, and the weekly-log completion rate was 98%. Post-assessment performance improved clearly from a relatively weak baseline; final reports were generally completed well, and the code reproduction pass rate was 80%. Eleven valid questionnaires and six interviews indicated that students perceived a close connection between theory and computation, relatively fair teamwork, and a comparatively complete research process from initial investigation to final reporting. The pilot supports the feasibility of the scheme, while also indicating the need to improve the depth of reflection and code-reproduction standards. Because the sample was small and drawn from a single institution, no broad causal claim is made.

Keywords

Undergraduate Innovation Training Program, Mathematical Modeling, Project-Based Learning, Outcome-Based Education, Delay Differential Equations, Innovation Competence

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

大学生创新训练项目承担着将课堂知识转化为研究能力的重要功能。已有研究从不同层面揭示了大创项目的育人价值及其实施难点。丁文婷指出, 项目管理机制不健全、学生协作不足和指导教师投入不充分会削弱项目绩效, 因而需要建立覆盖立项、中期检查和结项验收的精细化管理机制[1]。张瑞、王冬梅从组织职责、资源配置、项目运行及总结改进四个方面提出全过程管理模式, 强调活动记录、中期评审和持续改进的重要性[2]。于鹏飞将大创项目中常见的问题概括为“重开题、轻过程、草结题”, 主张通过题目精细化、探究式学习和导师监督实现深化探究[3]。孟筠青则强调“兴趣驱动、自主实验、重在过程”, 并提出不应以论文、专利和获奖取代对研究过程与能力成长的评价[4]。

数学类项目还具有鲜明的学科特征。数学知识抽象性强、逻辑链条长, 学生的创新既可能表现为理论分析, 也可能表现为运用模型解决实际问题。谢乐平、唐志为提出, 小组驱动比单一项目驱动更具连续性和开放性, 适合数学专业学生通过兴趣共同体和合作研讨形成创新合力[5]。施三支等认为, 数学竞赛、大创项目和本科生科研能够增强学生自主学习动机, 教师角色应由知识传授者转向学习引导者[6]。黄铁兰等将综合项目拆分为逐步推进的子项目, 使学生在完成局部任务的同时建立知识之间的联系, 为

复杂项目的任务分解提供了直接启示[7]。此外, 将创新训练纳入人才培养环节、建立导师平台和过程性考核[8][9], 以及推动大创成果反哺课程、减少课程教学与项目实践相互脱节[10], 均为项目育人提供了制度层面的经验。项目驱动对教学目标、教学方式和师资角色的重塑[11], 成果导向教育所强调的“反向设计、正向实施”和多元评价[12], 以及教学目标、学习活动与评价相互对齐的构造性对齐理论[13], 进一步提供了课程化设计依据。

从国际教学模型看, PBL 强调以问题带动知识学习与自主探究[14], PjBL 强调围绕真实项目持续推进并形成成果[15], TBL 则突出稳定团队中的个体责任、协作任务和同伴评价[16]。本研究吸收其中的问题牵引、项目推进和团队问责做法, 但针对数学类大创中理论证明与计算实验容易分离的特点, 将问题链、理论 - 计算双线、质量门和过程评价结合起来, 要求数学结论既能说明依据, 也能接受计算检验。

然而, 现有研究较多讨论学校或课程层面的宏观机制, 对“低年级数学类学生如何完成一个具有较高理论门槛的真实研究项目”关注不足。尤其当项目同时包含传染病机理、时滞微分方程、稳定性理论、参数拟合和 MATLAB 仿真时, 学生容易从课堂知识直接跳到复杂研究任务, 出现以下断裂: 一是从现实问题到数学假设的建模断裂; 二是从常微分方程到时滞微分方程的知识断裂; 三是从理论结论到计算结果的验证断裂; 四是从团队成果到个体学习的评价断裂。

基于此, 本文以低年级数学类学生为对象, 以冬季流感传播的时滞 SEIR 模型为载体, 重点讨论三个问题: 如何把跨度较大的课题拆成学生能够逐步进入的问题链, 如何使理论分析与数值计算相互验证, 以及如何利用过程记录识别个体学习与贡献。为检验方案的可实施性, 本文在中国矿业大学(北京)理学院 2024 级学生中开展 1 年试点, 共 11 人, 分为 5 人组和 6 人组, 实施过程与结果见第五部分。

2. 学情诊断与成果目标

2.1. 大二学生的学习起点

这一阶段的学生通常已学习高等数学、线性代数、概率统计和常微分方程的基础内容, 具备阅读简单动力系统和编写基础 MATLAB 程序的可能, 但尚未系统接触时滞微分方程、超越特征方程、Hopf 分岔、参数可辨识性及传染病动力学。若直接要求学生完成“建模 - 定理 - 拟合 - 策略”的全部任务, 容易导致少数能力较强的学生包揽核心工作, 其余成员停留在资料整理、作图或排版层面。

因此, 项目开始前不以课程成绩单筛选学生, 而采用“概念诊断 + 操作任务 + 研究访谈”识别学习起点。概念诊断考查状态变量、平衡点、线性化、特征值和数值误差等基础理解; 操作任务要求学生复现一个简单 SIR 模型并解释参数含义; 研究访谈关注其兴趣、每周可投入时间和希望承担的角色。诊断结果不用于淘汰, 而用于分层配置任务和确定支架强度[17]。

2.2. 成果导向的五类培养目标

项目不把“完成一篇论文”设为唯一成果, 而是反向界定学生在项目结束时形成的可观察能力, 并为每类能力匹配评价证据。具体成果目标及评价证据见表 1。

2.3. 教学设计原则

第一, 真实问题牵引, 但控制研究边界。项目应来源于真实流感传播情境, 同时把核心问题压缩为“潜伏期时滞如何影响传播过程、稳定性和干预时机”, 避免把数据采集、复杂分岔、多个时滞、随机扰动和空间扩散同时列为必做任务。

第二, 采用“最低充分知识”支架。教师只补充完成当前任务所必需的理论和工具, 不先讲完一门时滞微分方程课程再让学生应用。知识在问题需要出现时进入, 形成“提出问题 - 发现知识缺口 - 定向

Table 1. Learning outcomes and assessment evidence
表 1. 成果目标及评价证据

成果目标	具体表现	主要评价证据
O1 问题建模能力	从流感机理识别变量、参数、时滞与干预, 说明模型假设边界	问题树、假设表、模型说明、答辩
O2 数学分析能力	求平衡点并完成局部稳定性分析, 区分证明结论与数值猜想	推导手稿、审查表、个人口试
O3 计算实验能力	设置历史函数并使用 dde23 [18], 以 ode45 对照和敏感性检查验证结果	代码、运行说明、复现记录
O4 研究与协作能力	检索评价文献, 跨角色解释关键工作, 并依据反馈修订	文献矩阵、周志、轮换记录、互评
O5 科学责任与表达能力	说明数据来源、不确定性与结论边界, 审慎表达策略含义	数据卡、局限清单、简报、报告

学习 - 解决问题” 的循环。

第三, 理论与计算双线并行。理论线回答模型为什么成立、平衡点何时稳定以及结论在何种假设下有效; 计算线检验程序是否正确、理论结论是否被数值现象支持以及参数变化是否引起稳健变化。两条线在每个里程碑处交叉核验。

第四, 以过程证据而非成果数量评价创新。论文、竞赛和软件可以作为拓展成果, 但不能替代问题提出、推导、失败记录、代码修订和反思等学习证据。

3. 项目内容的“问题链” 重构

3.1. 从现实情境到核心研究问题

流行病学中的临床潜伏期(incubation period)是指感染至出现症状的时间, 而 SEIR 模型中暴露者由 E 状态转入 I 状态的延迟, 更直接对应从感染到具有传染能力的 latent period, 本文称为“传染性潜伏期”。二者并不完全等同, 流感还可能在症状出现前发生病毒排出[19] [20]。因此, 本项目将 τ 明确为暴露者转为具有传染性的感染者所经历的时滞, 不直接把文献报道的 1~4 天临床潜伏期作为 τ 。传统 SEIR 常微分方程通常通过常数转移率描述暴露者向感染者的转化, 对应指数等待时间假设; 将固定或集中时滞引入模型, 有助于讨论感染发生与形成传染能力之间的滞后[21] [22]。但“引入时滞一定更真实”本身不是无需检验的结论: 固定时滞、分布时滞与阶段结构模型分别代表不同假设, 均有适用范围。教学中要求学生首先解释采用常数时滞的理由, 再讨论这一简化可能忽略的个体差异。

据此, 项目形成由浅入深的核心问题: 不含时滞的 ODE 模型能解释哪些现象? 延迟项应放在何处才能保持状态转移的流行病学含义与人口守恒? 当时滞趋于零时, DDE 模型能否回到 ODE 基线? 时滞是否进入基本再生数以及在何种模型结构下进入[23]? 特征方程中的指数项如何改变稳定性? 数值震荡是真实现象还是初值、容差或代码造成的伪影? 干预开始时间与传染性潜伏期之间存在怎样的情景关系?

3.2. 五阶段任务链

五阶段问题链任务设计见表 2。
五个阶段并非线性完成后不再返回。若数值结果与理论预测冲突, 学生需要回到模型假设、推导或程序进行定位; 若数据无法支持同时估计传播率和时滞, 则应回到参数任务, 降低模型自由度或改用情景校准。这种“可回退的问题链”比一次性技术路线更符合真实研究过程。

Table 2. Five-stage problem-chain task design
表 2. 五阶段问题链任务设计

阶段	驱动问题	核心学习活动	阶段产出
1 机制辨析	临床潜伏期与传染性潜伏期应如何区分并数学表达?	阅读流行病学资料; 绘制状态转移图; 比较指数等待、固定时滞与阶段结构假设	概念图、术语表、假设清单
2 模型比较	ODE 与 DDE 模型的差异究竟在哪里?	建立 ODE 基线; 构造含时滞转移项; 检查量纲、正性、守恒性及 $\tau \rightarrow 0$ 极限	两类模型说明书、基线代码
3 理论分析	时滞在什么条件下改变平衡点稳定性?	求无病/地方病平衡点; 推导 R_0 ; 线性化; 分析含 $e^{-\lambda\tau}$ 的特征方程; 选做临界时滞与 Hopf 分岔	推导报告、结论边界表
4 数值验证	理论结论能否被可复现计算支持?	设置历史函数; 使用 dde23; 与 ode45 及 $\tau=0$ 极限比较; 开展参数敏感性、数值稳定性和必要的参数校准	代码库、数据卡、复现实验报告
5 干预表达	模型能够支持何种强度的防控表述?	用 $\beta(t)$ 的分段变化或合规的脉冲机制表示干预; 比较不同启动时机; 分析不确定性	情景图、策略简报、最终答辩

3.3. 把科学严谨性嵌入教学任务

项目的创新性不等同于模型越复杂越好。教师应设置五条技术质量底线。

其一，DDE 不能只给出 $t=0$ 时的一个初值，需要说明区间 $[-\tau,0]$ 上的历史函数及其流行病学含义。

其二，不宜简单“弃用 ode45”，而应使用 ode45 建立 $\tau=0$ 的 ODE 基线，并将其作为 DDE 程序正确性的对照。

其三，不预设时滞必然改变基本再生数。学生需要根据延迟项的具体结构推导；若模型包含潜伏期存活因子， R_0 可能含 τ ，若时滞只改变转移时点， R_0 也可能不含 τ 。

其四，文献参数代入只能称为情景校准；若要进行参数识别，需要讨论观测数据、训练与验证划分、参数相关性和可辨识性[24]，数据不足时先用合成数据验证算法。

其五，分段或脉冲干预应对应可解释的传播率、接触率或免疫机制，避免仅为得到“更好看的曲线”任意改写方程。

这些底线既保证项目的数学与科学质量，也把“严谨、可证伪、可复现”转化为学生能够执行的研究规范。

4. 分阶实施与支架安排

4.1. 五阶递进教学流程

项目分为“诊断准备 - 基线建模 - 理论进阶 - 计算验证 - 综合表达”五个阶段。每个阶段安排任务发布、学生探究、同伴解释、导师追问和成果修订，形成相对稳定的学习节奏。

在诊断准备阶段，学生通过短任务补齐常微分方程、Jacobian 矩阵、特征值和 MATLAB 函数调用等基础；教师提供不超过完成任务所需范围的微课与阅读清单。在基线建模阶段，先完成可解释、可运行的 ODE 模型，要求学生逐项说明方程来源，再引入时滞，而不是从复杂 DDE 公式开始。在理论进阶阶段，教师采用“半成品推导”支架，只提供分析框架和关键问题，学生补全推导、相互审查；对 Hopf 分岔等高阶内容设置为拓展任务。在计算验证阶段，阶段检查重点核对参数表、历史函数、求解器设置、绘图脚本和复现说明，使每幅图形都能追溯到具体代码与参数。综合表达阶段要求学生分别面向数学教师和非数学受众作两种陈述：前者重视假设、推导和误差，后者重视结论边界、风险和可解释性。

大创项目通常跨学期开展，本研究实际试点历时 1 年。为便于在一个学期内组织核心教学活动，本文将五个阶段整理为 16 周建议性时间表(见表 3)。表中周投入时间包括阅读、推导、编程、记录和组内

协作, 不含集中答辩; 遇考试周可适当顺延, 但阶段顺序和质量门要求不变。

Table 3. Suggested core instructional timeline and weekly student workload
表 3. 建议性核心教学时间表与学生周投入

阶段	建议周次	主要任务	建议周投入	任务层级与支架
诊断准备	第 1~2 周	概念诊断、SIR 基线复现、MATLAB/Git 基本操作	3~4 h/周	核心; 提供概念卡片、示例与操作清单
基线建模	第 3~5 周	状态转移、ODE 模型、参数与量纲检查、DDE 引入及 $\tau \rightarrow 0$ 核验	4~5 h/周	核心; 保留模型检查表, 逐步撤除示例
理论进阶	第 6~9 周	平衡点、R0、线性化、含指数项特征方程与稳定性分析	5~6 h/周	核心完成无病平衡点与局部稳定性; 临界时滞/Hopf 严格证明列为拓展选做; 提供半成品推导
数值验证	第 10~13 周	历史函数、dde23/ode45 对照、敏感性与可复现性检查	5~6 h/周	核心; 提供代码骨架、测试接口和复现清单, 不提供完整项目代码
综合表达	第 14~16 周	报告修订、数据卡、代码整理、个人口试与最终答辩	4~6 h/周	核心; 仅提供报告结构和评价量规, 学生独立组织证据

“半成品推导”只给出平衡点条件、线性化步骤和特征方程框架, 如保留 $P(\lambda)+Q(\lambda)e^{-\lambda\tau}=0$ 的形式, 由学生完成系数整理、根条件判断和结论表述; 代码骨架仅保留参数、历史函数、求解器和测试接口, 模型右端项及验证脚本由学生完成, 以降低起步难度而不代替学生推导和编程。

4.2. 支架设置与逐步撤除

项目从概念、方法、工具和反思四个方面提供必要支持。概念卡片围绕“状态-流量-参数-时滞-平衡点-稳定性”展开, 帮助学生把流行病学语言翻译为数学语言; 文献矩阵、模型检查表、稳定性分析路线图和数值实验记录模板用于提示研究步骤。工具支持包括只含输入输出结构的代码骨架、Git 版本命名规范和最小复现实例, 但不提供项目完整代码。每个里程碑后, 学生还需说明本阶段最初判断、证据带来的认识变化和尚未解决的问题。

支架应随能力增长逐步撤除。第一阶段由教师给出模板和示例, 第二阶段只保留检查表, 第三阶段以后由学生自行设计工作流程。支架长期不撤会把项目变成按步骤完成的“大作业”; 撤除过早则会使低年级学生陷入无效试错。是否撤除的依据不是时间, 而是学生能否独立解释并迁移方法。

4.3. 小组协同与角色轮换

每组以 4 至 6 人为宜, 初始设置模型、理论、计算、数据和文档五类角色; 人数不足时可合并数据与文档角色。角色只表示某一阶段的首要责任, 不表示其他成员可以不了解该部分。每完成一个里程碑进行角色轮换, 并设置“交接讲授”: 原负责人须用十分钟向下一位负责人解释已有工作、失败原因和待办事项。最终答辩采取随机指定成员回答的方式, 防止核心任务长期集中于少数学生。

小组通过团队契约、个人学习周志和团队版本记录明确协作过程。团队契约说明时间投入、文件命名、争议处理和署名规则; 个人学习周志记录知识获得与独立贡献, 团队版本记录保存模型和代码的变更。项目期间安排周例会解决执行问题, 双周研讨会由学生讲解关键概念, 里程碑审查会用于判断是否进入下一阶段。教师主要追问假设依据、证据充分性和结论边界, 并根据学生完成情况调整指导强度。

4.4. 里程碑质量门

各里程碑质量门及准入条件见表 4。

Table 4. Milestone quality gates and entry criteria
表 4. 里程碑质量门及准入条件

质量门	必交证据	进入下一阶段的条件
M0 选题收缩	核心问题、非目标清单、分层任务表	研究问题可在项目周期内回答，必做与选做边界清楚
M1 基线可复现	ODE 模型、参数表、ode45 代码、基准图	方程量纲一致，代码可在他人电脑复现，变量含义可解释
M2 理论可审查	平衡点、R0 与稳定性推导、假设清单	关键等式有来源，结论未超出假设，至少完成一次同伴审查
M3 数值可验证	DDE 历史函数、dde23 代码、对照与敏感性实验	$\tau \rightarrow 0$ 与 ODE 基线一致，异常现象经过容差、初值和代码排查
M4 结论可交流	最终报告、代码库、数据卡、策略简报	数学结论、数值证据和现实解释一致，局限性陈述完整

任何质量门未通过时，项目不以“延迟提交”简单处理，而是进入针对性修订。修订记录本身计入学习档案，使失败和纠错成为可评价的学习证据，从机制上避免“重开题、轻过程、草结题”。

5. 试点实施、实证结果与评价

5.1. 试点对象、周期与数据采集

本研究试点历时 1 年，参与对象为中国矿业大学(北京)理学院 2024 级学生 11 人，分为 5 人组和 6 人组。项目按第四部分的五阶段任务和质量门实施，表 3 的 16 周安排用于概括核心教学活动，实际任务结合课程学习、研讨和结题节点分散到全年。研究收集版本提交、个人周志、质量门记录、项目前后测、最终报告、代码复现、问卷和访谈等资料；两组累计提交 62 次，周志完成率 98%，获得有效问卷 11 份并访谈 6 人。本文仅报告汇总结果和匿名化访谈主题。

鉴于试点仅有 11 名学生，本文主要采用频数、比例和前后变化进行描述，不作小样本显著性检验。前后测和报告质量依据教学记录纵向比较，问卷与访谈围绕知识衔接、理论 - 计算联系、团队参与和科研过程体验归纳，并与版本记录、周志和代码复现情况结合分析。

5.2. 学习过程、成果与体验结果

试点的主要过程、成果和体验数据见表 5。

Table 5. Pilot data sources and empirical results
表 5. 试点数据来源与实证结果

证据类型	指标/材料	试点实证结果	用于回答的问题
过程数据	版本控制记录	两组累计提交 62 次；版本记录与周志、答辩材料共同用于核验持续参与和个人贡献。	是否形成持续参与及角色轮换
过程数据	周志与质量门记录	周志完成率 98%；周志内容质量总体处于中等水平，完成度较高但反思深度仍有提升空间。	支架与质量门是否促进纠错
成果数据	项目前后测	前测整体表现较弱；后测较前测呈明显改善，反映学生对相关概念及其联系的理解有所深化。	知识结构与理论 - 计算联系是否改善
成果数据	阶段/最终报告质量	最终报告总体完成较好；代码复现通过率 80%，多数程序具备基本可复现性，但规范化说明仍需加强。	研究质量与可复现能力是否提升
体验数据	学生问卷	有效问卷 11 份；主要反馈集中在理论与计算联系紧密、团队公平感较强、最终报告完成过程较顺利。	学生如何体验教学机制

续表

体验数据	半结构访谈	访谈 6 人; 核心主题为“经历较完整的科研全过程”, 包括前期调查、任务逐步实现、目标达成、团队协作汇总和形成最终报告。	机制为何有效或仍有困难
------	-------	---	-------------

过程数据表明, 两组全年累计提交 62 次, 周志完成率 98%, 学生能够较持续地留下学习记录; 但周志内容质量总体为中等, 说明记录完成度较高, 反思深度仍需加强。

成果数据中, 学生前测整体较弱, 后测明显改善, 最终报告总体完成较好; 代码复现通过率为 80%, 多数程序可以复现, 但环境、参数和运行说明仍需进一步规范。

11 份有效问卷显示, 学生普遍认为理论分析与数值计算联系较紧密、团队分工较公平, 最终报告的汇总较顺利。6 人访谈中, 学生多次提到从前期调查、逐步完成任务到团队汇总形成报告的完整过程, 说明他们对科研过程本身有较直接的体验。

5.3. 结果分析

三类资料的指向基本一致: 分阶段任务和理论 - 计算对照能够支持学生持续推进项目, 角色轮换与过程记录也有助于提高参与度。不过, 周志质量和 80% 的代码复现通过率说明, 方案仍需在反思要求和计算规范上继续改进。现有结果可说明方案在本轮试点中具有可实施性, 不宜据此作普遍因果推断。

5.4. 团队成果与个体成长并重

项目总评由团队证据和个体证据共同构成。团队成绩 T 占 60%, 其中问题界定与模型假设、理论分析、数值实验及最终报告各占总评的 15%; 个人学习档案 L_i 占 15%, 个人口试与随机答辩 O_i 占 15%, 角色履职和同伴评价 R_i 占 10%。学生 i 的总评记为 $G_i = 0.60T + 0.15L_i + 0.15O_i + 0.10R_i$ 。该结构既承认复杂研究需要协作完成, 又避免所有成员因共享同一成果而获得相同评价。

同伴评价只作为个体证据的一部分, 不直接决定学生成绩。教师需将其与版本记录、周志、会议陈述和个人口试交叉核验。对学术不端、数据来源不明或无法复现的代码, 按照学校学术规范处理; 论文、获奖等外部成果不用于替代对过程性缺陷的评价。

5.5. 评价量规与多源评价

评价包括前后测、模型评价、推导审查、代码复现、个人口试以及访谈与反思日志。为减少个人口试和同伴评价的主观性, 本文给出两套结构化评分量规, 分别见表 6 和表 7。

Table 6. Rubric for individual oral examination
表 6. 个人口试评分量规

维度	权重	评价要点	4~1 级评分锚点
概念理解	30%	准确解释状态变量、时滞、平衡点、稳定性及其适用条件	4: 准确完整并可迁移; 3: 基本准确, 少量遗漏; 2: 局部混淆, 需提示; 1: 关键概念错误或不能解释
逻辑推导与证据	25%	说明关键推导步骤、假设来源以及结论为何成立	4: 链条完整且能指出假设; 3: 主线正确; 2: 存在明显跳步; 1: 不能说明推导依据
理论 - 计算关联	20%	解释理论预测、数值设置与计算结果之间的对应关系	4: 能用双向证据核验; 3: 能解释主要对应; 2: 只能描述图形; 1: 理论与计算相互割裂
问题回应	15%	面对追问能定位问题、修正表述并给出证据	4: 回应准确且有证据; 3: 基本回应; 2: 依赖提示; 1: 回避或无法回应

续表

规范与反思	10%	说明数据/代码来源、局限性和个人真实贡献	4: 边界清楚且反思具体; 3: 基本完整; 2: 表述笼统; 1: 来源或贡献不清
-------	-----	----------------------	--

个人口试按各维度加权形成 O_i 的主要依据; 若口试表现与团队成果明显不一致, 教师应回看版本记录、周志和交接讲授记录, 不以一次口试单独否定或确认学生的全部贡献。

Table 7. Structured rubric for peer evaluation
表 7. 同伴评价结构化量规

维度	权重	评价要点	4~1 级评分锚点
实质贡献	30%	是否持续承担模型、推导、代码、数据或文档中的实质任务	4: 持续且有关键贡献; 3: 稳定完成任务; 2: 贡献有限或间断; 1: 长期缺位
责任履行	25%	是否按时完成约定任务并对错误、返工和交接负责	4: 主动负责并及时修订; 3: 基本按时; 2: 多次催促; 1: 经常失约或推诿
沟通与协作	20%	是否共享信息、参与讨论并尊重不同意见	4: 主动促进协作; 3: 正常参与; 2: 参与较少; 1: 影响团队协作
知识共享与交接	15%	角色轮换时能否讲清已有工作、失败原因和待办事项	4: 交接完整且能辅导他人; 3: 基本清楚; 2: 信息不完整; 1: 无法完成有效交接
反馈与修订	10%	是否根据同伴/导师反馈修改自己的工作并留下证据	4: 主动吸收并形成版本证据; 3: 能够修订; 2: 修订被动; 1: 拒绝或无有效修订

同伴评价不直接决定最终成绩, 而作为 R_i 中的一项证据, 与版本记录、个人周志、角色轮换记录和教师观察交叉核验; 出现明显“互相打高分/低分”或评分分歧时, 须由教师依据过程证据复核。

5.6. 基于成果达成度的改进

项目结束后按 $O1$ 至 $O5$ 分析达成情况, 并重点查看薄弱项和学生差异。若 $O2$ 偏低, 应检查先修知识和支架安排; 若 $O3$ 较高而理论解释偏弱, 则增加“先预测、后运行、再解释”的要求; 若团队成果与个体口试差异较大, 则缩短角色轮换周期并增加随机答辩。分析结果用于下一轮调整任务难度、支架和评价方式。

6. 实施风险与调控策略

6.1. 控制任务难度与知识门槛

核心层面向所有成员, 要求完成 ODE 基线、合理的 DDE 模型、无病平衡点分析、基本数值实验和参数敏感性分析; 进阶层包括地方病平衡点稳定性、临界时滞或简单参数校准; 拓展层包括 Hopf 分岔严格分析、多时滞、分布时滞、脉冲系统或更复杂的数据拟合。项目结题以核心层质量为准, 进阶和拓展成果只作加分, 不以“内容越多”替代“结论可靠”。

同一核心问题设置不同认知层级。以稳定性为例, 基础任务要求理解 Jacobian 矩阵和无时滞特征值; 进阶任务要求推导含指数项的特征方程并讨论纯虚根条件; 拓展任务才要求证明横截条件并判断 Hopf 分岔。不同学生可以从不同层级进入, 但必须通过同伴讲授共享关键认识, 以防分层演变为固定分工。

6.2. 规范参数校准与协作过程

传播率 β 与时滞 τ 可能在有限数据下相互补偿, 仅凭一条病例曲线得到的最优参数未必具有唯一性。教学中要求学生先在合成数据上验证拟合流程, 再使用公开且合规的数据开展情景校准; 至少报告参数

范围、目标函数、训练与验证区间以及多组初值结果。无法支持的参数不强行估计,可固定为文献区间并开展不确定性传播。

角色轮换、版本记录、个人周志、交接讲授与随机口试共同形成贡献证据。对暂时落后的学生,先通过小任务和同伴支持帮助其进入核心工作;对长期不履职者,根据团队契约启动提醒、限期补做和任务调整,而非等到结题时一次性处理。

6.3. 约束模型结论的适用范围

情景模拟只能说明“在给定的模型、参数和假设下可能出现的变化”,不能直接证明某项现实政策必然有效。策略简报必须同时呈现假设、敏感参数、不确定性和未纳入因素。通过这种限制性表达,学生不仅学习模型技术,也形成对公共卫生问题应有的责任意识。

7. 讨论:与 PBL、TBL 的关系及推广价值

本轮试点总体呈现出与设计目标一致的变化:学生能够持续留下过程记录,后测和最终报告较前期有改善,问卷与访谈也反映出较强的理论-计算联系和团队公平感。另一方面,周志内容质量仅为中等,代码复现通过率为 80%,说明过程安排本身并不能保证高质量反思和规范的计算实践,下一轮仍需加强周志提示、复现检查和阶段反馈。

与 PBL/PjBL 相比,本方案没有把开放任务直接交给低年级学生,而是借助问题链和 M0~M4 质量门逐步提高研究难度;与 TBL 相比,项目周期更长,因此用角色轮换、交接讲授、随机口试、周志和版本记录落实个体责任。其数学学科特点主要体现在理论与计算的同步检查:每个阶段都要求先说明理论判断,再用计算结果核对;若两者不一致,则返回模型、推导或程序查找原因。这种安排可减少只做程序、只做展示或只做形式推导的倾向。

该做法也可用于种群动力学、生态系统、经济周期、控制系统等含微分方程与数值计算的数学类大创项目,但应根据学生基础和研究对象调整任务难度、支架强度及评分权重。本轮仅涉及同一院校 2024 级 11 名学生和两个项目组,结果以描述性资料为主,推广仍需谨慎。后续可在连续多届项目中使用相同量规,积累更完整的前后测、报告评分、版本贡献和复现数据。

8. 结语

大学生创新训练项目的价值,在于让学生经历从提出问题到验证、修订和表达的研究过程,而不是单纯追求论文、代码或竞赛成果。本文以时滞 SEIR 流感传播建模为载体,将分阶任务、理论-计算对照、角色轮换、质量门和过程评价用于低年级数学类学生的大创指导,并完成了 1 年试点。过程记录、前后测、报告、代码复现、问卷和访谈结果总体表明,学生能够逐步进入具有一定理论门槛的研究任务,并较完整地体验科研过程。与此同时,周志反思深度和代码复现规范仍有改进空间。受样本量和单一院校限制,后续还需通过连续多届实施检验成果目标的达成情况和方案的稳定性。

基金项目

本文系校级 2026 年中国矿业大学(北京)本科生教育教学改革与研究项目“案例式、启发式、探究式等教学方法研究与应用”(项目编号:J260701)以及校级中国矿业大学(北京)大学生创新训练项目资助(项目编号:202607008)。

参考文献

- [1] 丁文婷. 大学生科研创新项目管理的探索——以华中师范大学数学与统计学学院为例[J]. 教育教学论坛,

- 2017(20): 56-57.
- [2] 张瑞, 王冬梅. 大学生创新训练项目的全过程管理研究[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(7): 9-12.
 - [3] 于鹏飞. 深化探究 创新实践——大学生创新创业项目改革探索[J]. 高教学刊, 2024, 10(29): 80-83.
 - [4] 孟筠青. 基于大学生创新性实验计划的本科教学实践初探[C]//中国矿业大学. 第24届全国高校安全工程学术年会论文集. 2012: 231-235.
 - [5] 谢乐平, 唐志为. 小组驱动的数学专业大学生创新能力培养探索[J]. 创新创业理论研究与实践, 2018, 1(11): 109-111.
 - [6] 施三支, 马文联, 孟品超, 等. 基于大学生创新活动的数学类课程自主学习的研究与探索[J]. 现代职业教育, 2019(1): 198-199.
 - [7] 黄铁兰, 张金兰, 曾丽波. 大学生创新创业训练项目对教学改革的驱动效应研究——以高职《遥感技术及应用》课程为例[J]. 教育现代化, 2018, 5(19): 28-29+42.
 - [8] 张文秀, 郭东明, 王绍清, 等. 依托大学生创新训练项目的创新教学改革研究——以中国矿业大学(北京)为例[J]. 大学教育, 2023(3): 65-67.
 - [9] 郑前进, 朱彬韦, 王邵青, 等. 基于全覆盖设计的大学生创新训练项目实践与思考[J]. 大学教育, 2021(10): 183-186.
 - [10] 刘世华, 韦南京, 陈非帆, 等. 新工科背景下基于大创项目驱动的计算机类专业创新人才培养探索[J]. 计算机教育, 2024(12): 49-53.
 - [11] 崔振魁. 基于创新创业训练计划对促进教学改革的思考[J]. 就业与保障, 2019(17): 28-29.
 - [12] 张志军, 刘君, 王学伟. 基于 OBE 理念的《数据库概论》项目驱动教学改革与建设研究[J]. 办公自动化, 2026, 31(1): 22-24.
 - [13] Biggs, J. (1996) Enhancing Teaching through Constructive Alignment. *Higher Education*, **32**, 347-364. <https://doi.org/10.1007/bf00138871>
 - [14] Barrows, H.S. (1986) A Taxonomy of Problem-Based Learning Methods. *Medical Education*, **20**, 481-486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
 - [15] Prince, M.J. and Felder, R.M. (2006) Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Journal of Engineering Education*, **95**, 123-138. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
 - [16] Michaelsen, L.K. and Sweet, M. (2008) The Essential Elements of Team-Based Learning. *New Directions for Teaching and Learning*, **2008**, 7-27. <https://doi.org/10.1002/tl.330>
 - [17] Wood, D., Bruner, J.S. and Ross, G. (1976) The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **17**, 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>
 - [18] Shampine, L.F. and Thompson, S. (2001) Solving DDEs in MATLAB. *Applied Numerical Mathematics*, **37**, 441-458. [https://doi.org/10.1016/s0168-9274\(00\)00055-6](https://doi.org/10.1016/s0168-9274(00)00055-6)
 - [19] Carrat, F., Vergu, E., Ferguson, N.M., Lemaitre, M., Cauchemez, S., Leach, S., *et al.* (2008) Time Lines of Infection and Disease in Human Influenza: A Review of Volunteer Challenge Studies. *American Journal of Epidemiology*, **167**, 775-785. <https://doi.org/10.1093/aje/kwm375>
 - [20] Lessler, J., Reich, N.G., Brookmeyer, R., Perl, T.M., Nelson, K.E. and Cummings, D.A. (2009) Incubation Periods of Acute Respiratory Viral Infections: A Systematic Review. *The Lancet Infectious Diseases*, **9**, 291-300. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(09\)70069-6](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(09)70069-6)
 - [21] Smith, H. (2011) An Introduction to Delay Differential Equations with Applications to the Life Sciences. Springer.
 - [22] Cooke, K.L. and van den Driessche, P. (1996) Analysis of an SEIRS Epidemic Model with Two Delays. *Journal of Mathematical Biology*, **35**, 240-260. <https://doi.org/10.1007/s002850050051>
 - [23] van den Driessche, P. and Watmough, J. (2002) Reproduction Numbers and Sub-Threshold Endemic Equilibria for Compartmental Models of Disease Transmission. *Mathematical Biosciences*, **180**, 29-48. [https://doi.org/10.1016/s0025-5564\(02\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0025-5564(02)00108-6)
 - [24] Raue, A., Kreutz, C., Maiwald, T., Bachmann, J., Schilling, M., Klingmüller, U., *et al.* (2009) Structural and Practical Identifiability Analysis of Partially Observed Dynamical Models by Exploiting the Profile Likelihood. *Bioinformatics*, **25**, 1923-1929. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btp358>