

基于提高学生科研能力的实验方法设计研究

张红涛^{1,*}

1. 辽宁科技大学, 应用技术学院, 辽宁 鞍山, 114051

摘要: 面对传统实验教学模式在培养学生创新思维与科研能力方面的结构性困境, 本研究基于能力发展理论与建构主义学习观, 系统构建了“阶梯-模块”式实验教学新体系。该体系将科研能力解构为“基础实验技能、综合应用能力、创新设计能力、科研实践能力”四个递进阶梯, 并相应设计了“基础规范、综合拓展、课题探究、开放创新”四大教学模块。通过教学目标分层化、教学内容项目化、教学方法探究化、评价方式过程化的系统性改革, 实现了实验教学从被动验证到主动建构、从技能训练到科研孵化的根本性转变。两年教学实践表明, 该模式能有效激发学生内生动力, 显著提升其科学思维、方案设计、问题解决及团队协作等系统性科研素养, 为工程教育与科学教育中的创新人才培养提供了具有可操作性的实施路径。

关键词: 实验教学改革; 科研能力; 阶梯式培养; 模块化设计; 自主探究; 形成性评价

Research on Experimental Design Methods Based on Enhancing Students' Scientific Research Abilities

Hongtao Zhang^{1,*}

1. University of Science and Technology Liaoning, School of Applied Technology, Anshan, Liaoning, 114051, China

Abstract: Faced with the structural challenges of traditional experimental teaching models in fostering students' innovative thinking and research capabilities, this study, based on ability development theory and constructivist learning perspectives, systematically constructs a new 'Staircase-Module' experimental teaching system. This system decomposes research capabilities into four progressive staircases: 'Basic Experimental Skills, Comprehensive Application Ability, Innovative Design Ability, and Research Practice Ability', with corresponding 'Basic Norms, Comprehensive Expansion, Project Inquiry, and Open Innovation' teaching modules designed accordingly. Through systematic reforms including stratified teaching objectives, project-based teaching content, inquiry-oriented teaching methods, and process-based evaluation, the experimental teaching has undergone a fundamental transformation from passive verification to active construction, and from skill training to research incubation. Two years of teaching practice have shown that this model can effectively stimulate students' intrinsic motivation and significantly enhance their systematic research literacy, including scientific thinking, scheme design, problem-solving, and team collaboration, providing an operable implementation path for cultivating innovative talents in engineering and science education.

Keywords: Experimental teaching reform; Scientific research ability; Step-by-step cultivation; Modular design; Independent inquiry; Formative assessment

高等教育的核心使命之一在于培养能够适应未来挑战、引领社会发展的创新型人才。实验教学，作为理工农医等学科人才培养过程中理论与实践相结合的关键纽带，不仅是巩固理论知识、训练操作技能的场所，更应是孕育科学精神、启迪创新思维、锻造科研能力的核心场域^[1]。然而，当前我国高校实验教学的现状仍不容乐观，长期存在的“三中心”模式（以教师为中心、以教材为中心、以验证性实验为中心）导致教学效果与创新人才培养目标之间存在显著鸿沟^[2]。具体表现为：其一，内容碎片化。实验课程多依附于理论课程，项目间孤立分散，缺乏对知识综合运用与科研完整流程的系统性设计，学生“只见树木，不见森林”。其二，方法灌输化。多为“食谱式”教学，学生按既定步骤操作，对实验原理、方案设计背后的科学逻辑思考不足，批判性思维与设计能力缺失。其三，评价单一化。过度依赖实验报告和结果准确性，忽视了对探究过程、思维品质和创新意识的考核，导致学生重结果、轻过程，甚至滋生数据造假陋习^[3]。

破解这种教学模式培养出的学生，或许能熟练掌握孤立的实验技能，但在面对真实的、非良构的科研问题时，往往表现出茫然无措：不知如何从现象中提出科学问题，不知如何设计严谨的实验方案进行验证，不知如何处理与分析非常规数据，更缺乏在挫折中坚持探索的毅力和协作攻关的素养^[4]。显然，对实验教学进行“伤筋动骨”式的深化改革已迫在眉睫。改革的核心理念，必须从“教学生做实验”转向“教学生像研究者一样思考与工作”，即将科研能力的系统性培养作为实验教学的逻辑主线与终极目标。

基于此，本研究提出并实践了“阶梯-模块”式实验教学设计模型。该模型旨在打破传统课程的线性结构，遵循认知与能力发展规律，通过模块化、阶梯式的设计，将科研能力的要素有机嵌入教学全过程，引导学生循序渐进地从“实验操作者”成长为“研究设计者”乃至“创新探索者”，从而为拔尖创新人才的早期孵化提供坚实的实践教学支撑。

1 理论基石：科研能力的解构与“阶梯-模块”模型的构建

1.1 科研能力的内涵解构与阶梯划分

科研能力是一个多维、复合、动态发展的能力集合，而非单一技能。基于对科学家科研过程与专家思维的研究，结合本科生的认知发展规律，本研究将其解构为四个层层递进、相互支撑的能力阶梯：

第一阶梯：基础实验技能。这是科研活动的“基石”，包括：1) 规范化操作能力：正确、安全、熟练地使用常规仪器设备；2) 基本方法掌握能力：理解并掌握学科核心的实验方法原理与步骤；3) 科研习得养成能力：如严谨、如实、及时的原始数据记录、实验室安全规范、试剂规范管理等。此阶段核心是“严谨”与“规范”，旨在建立科研工作的底线思维与职业习惯。

第二阶梯：综合应用能力。这是在掌握基本技能基础上，解决相对复杂问题的能力。包括：1) 知识整合能力：将多门课程理论知识融会贯通，用于解释实验现象、设计复合实验；2) 复杂系统分析能力：能够识别和分析实验中多个变量的相互作用；3) 问题分解与流程优化能力：将综合性任务分解为有序的实验步骤，并能预见和排除常见故障。此阶段核心是“综合”与“分析”，是连接基础技能与创新设计的桥梁。

第三阶梯：创新设计能力。这是科研能力的核心，指针对特定科学或技术问题，自主构思并规划研究路径的能力。包括：1) 科学问题提出能力：从观察、文献或实践中发现有价值的研究切入点；2) 文献调研与综述能力；3) 实验方案设计能力：提出科学假设，设计可控、可重复、可行的实验

方案,包括选择方法、确定变量、设置对照等;4)创新思维与批判性思维。此阶段核心是“设计”与“创新”,是学生从被动执行转向主动探究的关键跃迁。

第四阶梯:科研实践能力。这是科研能力的最高体现,是完整经历科研全周期并产出成果的能力。包括:1)完整项目执行能力:从选题、立项、实施到结题的全程管理与执行;2)深度数据处理与学术写作能力:运用专业软件和统计学工具分析数据,撰写符合学术规范的研究报告或论文;3)学术交流与答辩能力;4)科研伦理与团队协作能力。此阶段核心是“实践”与“产出”,模拟真实的科研工作环境,完成从学习者到初级研究者的角色转变。

1.2 “四模块”教学体系设计

1.2.1 基础规范模块(对应第一阶梯)

1. 教学目标:夯实基础,固化规范,培养严谨的科学态度与安全的实验习惯。
2. 内容设计:精选学科最经典、最核心的单元操作和基本实验。
3. 教学方法:采用“示范-模仿-反馈”精熟训练法。录制标准化操作视频供预习;课堂中教师精准示范,学生反复练习,教师即时纠正每一个细微错误;引入“操作检核表”,对关键步骤进行过关考核。

1.2.2 综合拓展模块(对应第二阶梯)

1. 教学目标:训练知识整合与解决复杂问题的能力,理解技术链条的衔接。
2. 内容设计:设计跨章节、跨课程的综合性、应用性实验项目。这些项目通常包含多个技术环节,需要学生自行梳理逻辑关系。
3. 教学方法:采用“任务驱动-引导探究”法。教师发布项目任务书,明确最终目标与可用资源,但只提供宏观技术路线框架,具体步骤、参数选择、问题解决方案由学生小组讨论决定。教师角色转为顾问,在关键节点进行启发式提问和引导。

1.2.3 课题探究模块(对应第三阶梯)

1. 教学目标:重点培养创新设计能力,体验从问题到方案的完整探究过程。
2. 内容设计:引入来源于教师科研简化、学科前沿科普、生活实际或产业需求的“微课题”。课题具有适度的开放性,没有标准答案。
3. 教学方法:采用“模拟科研-项目式学习”法。教学流程完全模拟科研过程:文献调研→提出假设与初步方案→开题答辩(师生共同评审方案的可行性)→方案修订与实验实施→数据分析与讨论→撰写探究报告。核心环节是“开题答辩”,极大锻炼学生的逻辑思维与学术辩护能力。

1.2.4 开放创新模块(对应第四阶梯)

1. 教学目标:完成完整的科研实战训练,培养独立科研和团队协作能力,产出创新成果。
2. 内容设计:完全开放。项目可源于国家级/省级大学生创新创业训练计划、学科竞赛主题、教师科研项目的子课题、或学生自主提出的创新构想。强调项目的探索性、前沿性和一定挑战性。
3. 教学方法:采用“导师制-全程伴随”的科研训练模式。学生自由组队,在导师指导下,自主完成从立项申请、实验研究、数据分析到成果总结(论文、专利、实物、软件等)的全过程。实验室实行预约开放制。定期举行组会,进行进展汇报和学术研讨。

2 实施策略:差异化教学与过程引导

“阶梯-模块”模型的顺利运行,依赖于各模块差异化的精细教学策略。

在基础规范模块，我们引入信息化手段强化标准。除录制“标准操作视频库”外，还在实验室关键点位安装摄像系统，教师可实时调看任何学生的操作，进行远程指导或录制典型错误用于案例分析。推行“技能认证卡”制度，每项核心技能通过后才能进入下一阶段学习。

在综合拓展模块，我们特别重视“错误”的教育价值。当实验出现“失败”或异常结果时，不再是简单的扣分项，而是组织“实验异常分析会”，引导学生运用理论知识，从操作、试剂、仪器、原理等多角度进行“根因分析”，形成分析报告。这能将“失败”转化为深度学习的机会，培养学生实事求是的科学精神和分析解决问题的能力。

在课题探究模块，教学重心在于“思维训练”。我们要求学生撰写详细的“预研报告”，替代传统的预习报告。报告需包含：研究背景与意义、文献综述、研究假设、详细实验方案（含具体步骤、药品仪器清单、预期结果、可能风险与预案）、参考文献。教师对预研报告的评审重点在于逻辑的严密性与设计的可行性，而非结果的正确性。实验过程中，强制使用“科研日志本”，实时记录每一个细节、观察、思考和疑问，培养良好的科研记录习惯。

在开放创新模块，管理上实行“双导师制”（校内学术导师+企业或跨学科导师）和“里程碑”管理。项目需在立项、中期、结题三个关键节点进行公开答辩，由导师组评审。鼓励学生参加“学术墙报展示”或模拟国际会议进行口头报告，沉浸式体验学术交流文化。同时，建立跨学科项目平台，鼓励不同专业学生组队，应对复杂的综合性问题。

3 评价改革：聚焦能力发展的多元评价体系

为准确衡量和引导学生在各能力阶梯上的发展，必须建立与之匹配的评价体系。我们彻底改革“一份报告定成绩”的做法，构建了“贯穿全程、多维观测、主体多元”的形成性评价体系。

3.1 过程性评价为主（占总评 60%-70%）

预习与方案设计（权重 20%）：评价预研报告、开题答辩表现，侧重问题意识、逻辑严谨性和创新性。

实验过程表现（权重 25%）：包括操作规范性、安全与整洁习惯、科研日志质量、团队协作、对异常现象的敏感度与处理能力。教师通过课堂观察、日志抽查、小组访谈等进行评价。

阶段性成果与交流（权重 15%）：包括组会汇报表现、墙报展示、阶段性数据分析报告等，评价其表达、沟通与阶段性总结能力。

3.2 终结性评价为辅（占总评 30%-40%）

形式多样化，与模块目标一致。基础模块可采用“操作标准考试”；综合模块为“综合性实验报告”；探究模块为“完整的科研小论文”及最终答辩；开放创新模块则为“项目结题报告/论文/实物”及成果展示。

3.3 评价主体多元化

建立教师评价、同伴互评、学生自评相结合的评价机制。特别是在课题探究和开放创新模块，引入“盲审”和“小组贡献度互评”，使评价更全面、公正。

4 实践成效、反思与展望

本模式通过辽宁科技大学大学生创新创业计划项目：蜂窝型钢结构受弯构件受力性能研究进行试点，并跟踪调查毕业生发展，发现学生能力显著增强、学习态度发生了根本转变，学生对实验课的兴趣和投入度发生质变。从“要我做”变为“我要做”，实验从“寂静的操作间”变为“热烈的

讨论场”。科研日志中充满了真实的观察、思考和疑惑，展现了深度学习的发生。

教师教学相长：新模式倒逼教师不断更新知识、提升科研水平和教学指导能力。教学团队围绕“阶梯-模块”建设，形成了浓厚的教学研究氛围，开发了一批高质量的综合性、探究性实验项目。

反思与挑战：1.对师资要求极高：教师需同时具备深厚的科研功底、丰富的教学经验和强烈的教学热情，投入时间远超传统教学。需建立有效的教学激励与认可机制。2.教学管理复杂：开放创新模块需要灵活的实验室开放管理制度、充足的经费和耗材支持，以及处理知识产权归属等新问题。

3.学生差异化应对：学生的能力和兴趣起点不同，如何在统一框架下实施个性化指导，是需要持续探索的课题。

5 展望

未来，“阶梯-模块”式改革将向纵深发展：其一，深化数字化融合：利用虚拟仿真技术构建“线上虚拟阶梯”，用于高危、高成本实验的预训练和方案优化，与“线下实体阶梯”无缝衔接。其二，拓展产教协同：将企业真实技术难题引入“开放创新模块”，推行“项目真做、题目真给”，培养解决复杂工程问题的能力。其三，探索本研贯通：将高阶模块与研究生科研训练衔接，允许优秀本科生提前进入实验室，形成创新能力培养的连续链条。

6 结论

“阶梯-模块”式实验教学设计改革，以科研能力系统培养为导向，通过能力解构、模块重组、教法创新与评价改革，构建了一个层层递进、有机衔接的实践教学新生态。它超越了传统实验教学的知识与技能传授范畴，真正聚焦于学生科学思维、创新能力和科研素养的养成。实践证明，该模式是有效破解实验教学与创新能力培养“两张皮”难题、培养适应未来科技变革的创新人才的重要途径，具有广泛的推广价值和应用前景。

参考文献

- [1] 王守伦, 刘玉. 面向创新能力培养的高校实验教学体系改革研究[J]. 中国高教研究, 2018, (12): 78-82.
- [2] 张红伟, 李昌荣. 从验证到创新: 研究型大学实验教学改革的路径探索[J]. 高等工程教育研究, 2019, (5): 145-150.
- [3] 陈金玲, 王祖浩. 我国高校实验教学研究的热点与趋势—基于 CiteSpace 的知识图谱分析[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(11): 1-7.
- [4] 朱高峰. 论工程教育中的实践能力与创新能力培养[J]. 高等工程教育研究, 2015, (4): 1-4.

基金项目：辽宁科技大学大学生创新创业训练计划项目（S202310146054）；辽宁科技大学实验室开放基金项目（SYSKF2023051）。

1.* 作者简介：张红涛（1981-），男，硕士，辽宁科技大学，副教授，研究方向：结构设计与优化，大跨钢结构。 E-mail: hong8189@163.com。