“1+X”型开放性创新实验模式教学改革与实践

赵立敏，杨韩涛，王　欢，张佳楠
吉林大学 地球科学学院，吉林 长春 130061

摘要：开放性创新实验作为培育学生学习兴趣与创新能力的关键路径，已成为高等教育改革的重要议题。高校对开放性创新实验的教学效果要求不断提高，学生对个性化实验内容的渴求愈发强烈。为顺应这一趋势，对当前3D打印实验实施形式进行改革。基于问题导向学习（PBL）理论框架，结合3D打印技术的实践特性，针对不同学生群体，设计了与地学基础实验深度融合的3D打印实验模式。该模式构建兴趣培养、基础巩固、能力进阶、自主创新四级递进模块，形成“1+X”型开放性创新实验模式。实践表明，该模式通过弹性化的实施路径与多元化的评价体系，有效激发学生的探究动机，实现了实践技能的阶梯式培养，为培育兼具创新思维与协作能力的复合型地质人才提供实践范式。

关键词：开放性创新实验；3D打印；地学基础
中图分类号：G642　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006-9372（2026）04-0024-04

Title: Teaching Reform and Practice of "1+X" Type Open Innovation Experimental Model
Author(s): ZHAO Limin, YANG Hantao, WANG Huan, ZHANG Jianan
Keywords: open innovative experiments; 3D printing; basic geology

开放性创新实验是培养学生创新精神和实践能力的重要教学手段。在高校实验教学中，开放性创新实验的定位是以问题为核心的课外探究性、实践性学习，教学目的是激发学生学习兴趣和研究问题的主动性[1-3]。吉林大学自2013年起面向本科生开展“开放性创新实验”，实验教师和实验技术人员先后设计并开设多项开放性创新实验项目，在提高学生学习兴趣和创新能力方面取得显著成效。在建设“双一流”大学的新时代背景下，实践能力已成为衡量高校人才培养质量的核心指标。为进一步优化开放性创新实验的教学效果，充分满足学生对个性化实验内容的迫切需求，指导教师需秉持与时俱进的教育理念，持续引入新兴实验方法，不断丰富开放性创新实验项目的内涵与形式，从而为学生的全面发展与创新素养提升提供更为坚实的支撑。

一、改革背景及意义

3D打印技术是近年来新兴的一种材料成型技术，是根据目标物体的三维模型数据以分层加工、叠加成型的方式完成3D实体的构建[4-5]。众多高校陆续将3D打印技术应用到本科实验及实践教学中，均取得了颇为显著的教学效果[6-9]。

为充实开放性创新实验教学内容，切实提升学生的实践能力，以地质学人才培养目标为根本出发点，深度剖析3D打印实验项目与基础地质知识之间的内在关联。在此基础上，对现有3D打印实验项目进行系统性改革，明确3D打印实验项目的设置需遵循以下原则：（1）实验项目要具备通识性，以拓宽学生的知识视野；（2）实验项目要彰显专业性，以强化学生的专业素养；（3）要全面考量不同专业学生的知识体系架构以及不同年级学生的知识储备程度，设计梯度化的实验内容，引导学生依据自身能力与兴趣选择适配的实验项目，从而实现因材施教与个性化培养的有机统一。

二、“1+X”型开放性创新实验模式的设计

设计与地学基础知识深度融合的3D打印实验，首先要解决实验对象与3D建模方式的匹配问题。地学基础课程门类较多，实验内容各有不同。

收稿日期：2025-10-20；**修回日期：**2026-01-20。
基金项目：吉林省高教学会高教科研课题“培养大学生实践能力的开放性创新实验平台建设研究”（JGJX2023B5）；吉林大学实验技术重点项目“矿相学全媒体数字实验手册的开发”；2025年吉林省高等教育教学改革研究课题“基于移动终端的矿相学全媒体实验手册的研究与实践”（JLJY202587217892）；吉林大学本科教改项目“基于深度学习的显微镜下金属矿物智能识别实验研究”（2023XZD071）。
作者简介：赵立敏，女，高级工程师，主要从事矿物学、矿相学的实验教学工作。

*投稿网址：*www.chinageoeducation.net.cn　*联系邮箱：*bjb3162@cugb.edu.cn
*引用格式：*赵立敏，杨韩涛，王欢，等．“1+X”型开放性创新实验模式教学改革与实践[J]. 中国地质教育，2026，35（4）：24-27.

矿物学、古生物学和岩石学等课程需要观察大量的地质标本，构造地质学和结晶学等课程有较多的模型观察实验。3D 打印技术具有正向和逆向两种建模方式[10]：当实验对象为地质标本时，采用逆向建模方式，利用 3D 扫描仪扫描模型的图像数据，并利用相关软件对扫描数据进行后期处理；当实验对象为地质模型时，采用正向建模方式，利用建模软件对实验对象进行数字化建模。

1. 实验模式的结构

通过转变传统教学理念，优化实验开展形式，对现行 3D 打印实验模式进行改革，设置兴趣培养、基础巩固、能力进阶和自主创新四级递进实验模块，从低阶思维到高阶思维，逐步提升学生的认知层次与实践能力。实验模式如图 1 所示，各级别实验内容如表 1 所示。

（1）兴趣培养模块。面向非地质专业学生，以趣味地质知识为切入点，通过逆向建模方式，激发学生对地质学的兴趣与好奇心，为后续学习奠定基础。

（2）基础巩固模块。针对地质专业学生，以课内实验为基础，通过逆向建模巩固课堂知识，提升实践能力，实现知识的内化与迁移。

（3）能力进阶模块。作为课堂实验的延伸，采用正向建模方式，培养学生综合研究能力与问题解决能力，促进高阶思维的发展。

（4）自主创新模块。突破实验对象限制，鼓励学生根据自身兴趣与能力自主选择实验内容，培养其创新思维与独立研究能力，实现个性化发展。

基础巩固、能力进阶和自主创新三个实验模块涵盖基本型、综合设计型和研究创新型三种实验难度，学生可以根据个人意愿和实际能力选择完成单一实验或选择完成“X_1+X_2”“X_1+X_3”“X_1+X_2+X_3”等组合形式。

2. 实验方法的确定

以问题为导向的学习（Problem-Based Learning，PBL）是以学生为主体，以教师为引领，以能力培养为目标的教学方法[11-12]。该教学方法于 1969 年由美国神经病学教授 Barrows 首创，在医学教育领域取得良好效果，随后广泛应用于医学、工学和管理学等学科的实验教学中。该方法强调以学生为中心，重视学生的主动性，自 2015 年以来，PBL 教学方法逐步应用到开放性创新实验教学中，学生自主学习能力和团队合作能力得到有效发挥。

在 PBL 教学方法实施过程中，要遵循以下几个要点。

（1）学生自主设置问题。在传统的实验教学中，实验内容是由教师确定的，教师讲什么，学生做什么，学生被动接收知识。“1+X”型开放性创新实验模式，可以由学生自主选择实验难度和实验内容，充分调动学生的学习兴趣，实现从“要我学”到“我要学”的转变。

（2）小组合作探究。学生根据个人意向自由分

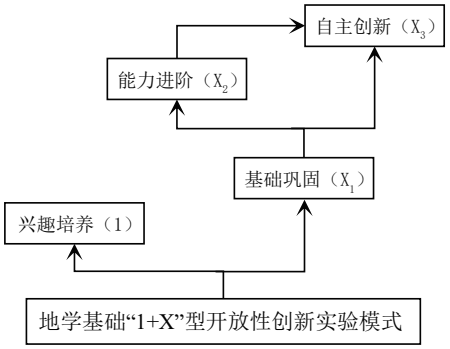


图 1　地学基础“1+X”型开放性创新实验模式

表 1　地学基础“1+X”型开放性创新实验项目内容

实验模块	实验等级	面向学生群体	课程基础	实验对象	实验目标
兴趣培养	1	非地质类专业	无	立方体黄铁矿 葡萄状赤铁矿 六方柱状石英	了解趣味地质知识 掌握逆向建模方法 推广地学基础知识
基础巩固	X_1	地质大类专业	岩石学、古生物学、 矿物学、矿相学	砂岩层印模 古生物化石标本	巩固地学基础知识 掌握逆向建模方法 提高学生实践能力
能力进阶	X_2	地质大类专业	构造地质学、结晶学	常见单形模型 常见聚形模型 简单褶皱类型	掌握正向建模方法 讨论模型地质意义 锻炼学生综合研究能力
自主创新	X_3	地质大类专业	岩石学、古生物学、构造 地质学、结晶学、矿物学、 矿相学	自主选择	突破实验对象限制 培养学生创新能力 培养学生综合研究能力

组，教师向学生介绍实验内容，学生以小组为单位开会讨论，明确实验对象；小组成员分工协作，共同完成地质标本描述、3D建模、模型打印和后期处理等实验步骤。实验完成后，小组成员共同评价实验完成情况，编写实验报告。

（3）教师适时引导。当发现实验存在异常时，小组同学集体讨论，推断导致异常的原因，并再一次进行实验；当小组讨论无法解决问题时，实验教师适度引导，但不过度干预，保证学生的主体地位。

（4）双重考核办法。传统实验轻过程重结果，实验报告是唯一考核标准，达不到预期教学效果[13]。“过程+结果”双重考核办法不但要求学生认真完成实验报告，更注重学生在实验过程中体现的能力和态度。依据不同实验阶段划分6个考核环节，根据考核内容赋予相应的分数值，如表2所示。教师和学生共同作为评价主体，实验总成绩由各环节分数相加确定。实验流程如图2所示。

表2　双重考核办法赋分表

考核环节	考核形式	考核主体	分值
小组会议1	会议记录	学生自评	10
标本描述	鉴定报告	教师	10
3D建模	实际操作	学生自评	15
模型打印与后期处理	模型	教师	15
小组会议2	会议记录	学生自评	10
实验报告	报告	教师	40

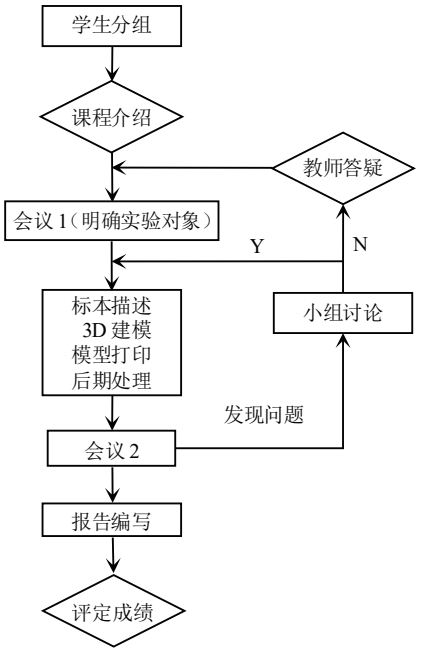


图2　地学基础“1+X”型开放性创新实验流程图

3. 实验资源的准备

为充分激活学生自主学习的潜能，切实彰显PBL教学方法的成效，充足完备的实验资源不可或缺。实验室配备了不同型号规格的3D打印机，可流畅运行各类建模软件的计算机设备，数量众多、种类丰富的地质标本与模型，同时还准备了丰富的视频资料以及相关网站的精准链接。这些充足的教学资源，是学生自主攻克难题的有力支撑，是激发学生自主学习热情的必要保障，能够助力学生达到事半功倍的学习效果。

三、教学实践

“1+X”型开放性创新实验模式开展以来，其新颖的实验形式、个性化的实验方案吸引众多同学参与。其中，基础巩固实验“古生物化石标本复刻”最受学生青睐，以该实验为例介绍实验过程和应用PBL教学方法的教学效果。

1. 设置问题

实验启动前，教师先对学生偏好的古生物化石标本展开调研，依据学生的兴趣倾向划分实验小组。至此，PBL教学方法中的“问题”得以明确，为小组同学共同心仪的古生物化石标本开展3D建模和标本复刻工作。小组成员志趣相投，能够切实将兴趣有效转化为强劲的学习动力。

2. 解决问题并推进实验流程

实验流程的推进始终以学生为主体。小组同学通过商议推选出一名同学担任组长，由组长负责组织学习的任务，确保每位同学都能分配到专属任务。采用课前预习与课堂实践深度融合的学习模式，小组同学齐心协力，共同完成标本描述、3D建模、模型打印和后期处理这四项关键工作流程。在实验过程中，学生可以尽情展现个人学习能力与团队协作精神，教师则作为引路人，只需在关键时刻给予适时引导。最终，小组同学不懈努力，成功打造出栩栩如生的古生物化石标本复刻作品。

3. 教学评价

依据PBL教学方法制定调查问卷，从“实验小组总体表现”“小组成员自评与互评”“学员评价课程和教师”三方面进行调查。“实验小组总体表现”由教师打分，分数集中在78～92分之间，呈正态分布，反映出各小组整体表现良好。小组成员自评与互评由同学打分，大部分同学认为本小组成员参与度高，互动良好。“学员评定课程和教师”由同学打分，大部分同学认为实验教学目

标明确，组织方式恰当，教师能够有效引导学生，耐心教导。尽管诸多反馈难以用具体数字量化呈现，但调查问卷结果依然具备一定的代表性与说服力，师生给出的评价具有正向指示。

四、结语

“1+X”型开放性创新实验模式，为非地质专业学生搭建起探索地质世界的桥梁，拓宽其跨学科知识视野，也为地质专业学生设置了多元且灵活的实验场景，丰富其专业实践体验。该模式通过巧妙融入 PBL 教学方法，并实施过程与结果并重的双重考核机制，充分凸显了学生在实验活动中的主体地位，引导学生在主动探索中提升自主学习能力，在应对实验挑战中强化解决突发问题的实践技能。

从育人机制来看，这一创新实验模式构建了实践能力与创新思维协同培养的立体化育人体系，有效激发了学生的探索精神与创新活力，为具有地学特色的开放性创新实验的深入开展提供了新思路。随着地球科学领域的持续发展和教育技术的不断进步，地学人才培养模式亦需与时俱进、不断革新。在持续优化基础地质授课方式的基础上，适时融入契合时代发展需求的教育理念与方法，能够培育出更具适应性与竞争力的新型地质人才，更好地满足社会对地学专业人才的多元期待。

参考文献：

[1] 安永磊，高淑贞，刘娜，等．开放性创新实验教学模式优化与实践 [J]．实验技术与管理，2016，33（8）：21-23.
[2] 高淑贞，蔡印，牛立刚，等．本科生开放性创新实验的探索与实践 [J]．实验室研究与探索，2018，37（7）：216-218.
[3] 宫晓宇，张晓君，杨晓帆．基于自主学习能力培养的开放性实验教学模式研究与探索 [J]．中国现代教育装备，2025，451(2)：4-6.
[4] 章伟，罗茂元，周萍．高校 3D 打印创新实验室建设与实验教学研究 [J]．信息记录材料，2018，19（2）：175-178.
[5] 卢秉横，李涤尘．增材制造（3D 打印）技术发展 [J]．机械制造与自动化，2013，42（4）：1-4.
[6] 魏青松，李继康，闫春泽，等．“新工科”下 3D 打印前沿学科三位一体多维度教学模式研究 [J]．实验技术与管理，2020，37（9）：10-14.
[7] 雷黎，张玥．基于 3D 打印技术开放式实验教学项目研究 [J]．实验室科学，2019，22（4）：143-146.
[8] 李翠超，付宇卓，徐巍．国家双创示范基地 3D 打印服务中心建设和服务模式探索 [J]．实验室研究与探索，2020，39（5）：143-148.
[9] 乔苏迟，王志伟，许新民．CBL 结合 3D 打印在骨肿瘤临床教学中的运用 [J]．教育教学论坛，2024，27（7）：149-152.
[10] 王建秀，刘笑天，居哲超，等．3D 打印技术在基础地质矿物教学中的应用 [J]．教育教学论坛，2015，51（12）：1-2.
[11] 战双鹃．PBL 模式在高校通识课程中的应用 [J]．高教探索，2018（5）：50-55.
[12] 吴迪，符策，李涛，等．基于 PBL 模式的 EDA 技术实验教学改革 [J]．实验室研究与探索，2021，40（2）：159-163.
[13] 唐朝晖，刘木根．多维度综合开放实验教学考核体系 [J]．实验技术与管理，2020，37（3）：171-174.