引用格式：杜小勇，杨磊，牛俊，等. 三阶能力跃迁的虚拟仿真实践教学模式研究：以“雷达气象学”设备实践教学为例[J]. 军事高等教育研究，2026，49（3）：96－100.
Du Xiaoyong，Yang Lei，Niu Jun，et al. Research on virtual simulation practice teaching mode of third-order ability transition：a case study of equipment practice in radar meteorology[J]. Journal of Military Higher Education Research，2026，49（3）：96－100.（in Chinese）

三阶能力跃迁的虚拟仿真实践教学模式研究
——以“雷达气象学”设备实践教学为例

杜小勇，杨　磊，牛　俊，滕义超，贺宏兵
（国防科技大学　气象海洋学院，湖南　长沙　410072）

摘　要：针对“雷达气象学”课程中气象雷达设备实践教学存在的理论抽象度高、操作风险大、设备昂贵且稀缺、探测场景难复现等痛点，研究基于辛普森教育分类理论和建构主义教育理论，重构“操作与验证”“综合业务”“工程设计与科技创新”三层递进式虚拟仿真实践科目群，并提出“基础操作—综合应用—科技创新”三阶能力跃迁的实践教学模式。通过三维交互式虚拟仿真平台，融合情境支架法、合作探究法与项目驱动法等教学模式，实现以学生为中心的沉浸式、协同式与探究式虚拟仿真训练，以支持气象雷达设备的工作与探测原理验证、故障定位排除、发射与接收链路设计及故障诊断模型创新设计等科目实践教学，并将相关训练、考核过程的监控数据纳入课程考核评价。实践表明，该教学模式有效串联了松散的实验内容，提升了学生的工程实践能力与科技创新意识，为同类虚拟仿真实验课程设计与教学模式的改革提供了可借鉴的路径。

关键词：虚拟仿真实践教学；教学模式；建构主义；雷达气象学；设备实践
中图分类号：E251　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2097－4043（2026）03－0096－05
DOI：10.3969/j.issn.2097－4043.2026.03.015

Research on Virtual Simulation Practice Teaching Mode of Third-Order Ability Transition
—A Case Study of Equipment Practice in Radar Meteorology

DU Xiaoyong，YANG Lei，NIU Jun，TENG Yichao，HE Hongbing
（*College of Meteorology and Oceanography*，*National University of Defense Technology*，*Changsha* 410072，*China*）

Abstract：Aiming at the challenges in the practical teaching of meteorological radar equipment in the course of Radar Meteorology，such as high degree of theoretical abstraction，high operational risk，expensive and scarce equipment，and difficult to reproduce the detection scene，and based on Simpson’s educational classification theory and constructivist educational theory，this paper reconstructs the three-level progressive virtual simulation practice subject group of “operation and verification”，“comprehensive business”，and “engineering design and technological innovation”，and puts forward

收稿日期：2025－09－15；**修回日期**：2025－11－20
基金项目：湖南省普通本科高校教学改革研究项目（202401000246）；国防科技大学本科和任职教育教学研究课题（U2022027，U2023029）
第一作者：杜小勇（1985—），男，安徽铜陵人。国防科技大学气象海洋学院讲师，高级工程师，硕士，主要从事气象探测相关研究。
通信作者：贺宏兵（1969—），男，安徽合肥人。国防科技大学气象海洋学院教授，博士，主要从事气象雷达技术与应用研究。

the practical teaching mode of “basic operation—comprehensive application—technological innovation”. Through the three-dimensional interactive virtual simulation platform, teaching methods are integrated such as situational scaffolding method, cooperative inquiry method, and project-driven method to realize the student-centered immersive, collaborative and inquiry virtual simulation training, which supports the practical teaching of meteorological radar work and detection principle verification, fault location and elimination, transmission and reception link design and innovative design of fault diagnosis model. The relevant training and assessment process monitoring data are included in the course assessment and evaluation. The practice shows that the teaching mode effectively connects loose experimental contents, improves students’ engineering practice ability and scientific and technological innovation consciousness, and provides a reference path for the design of similar virtual simulation experiment courses and the reform of teaching mode.

Key words: virtual simulation practice teaching; teaching model; constructivism; radar meteorology; equipment practice

虚拟仿真技术是利用虚拟系统模拟真实系统的技术，能够构建支持多感官互动的环境[1]，提供逼真的沉浸式体验[2]。当前，高校实践教学中采用的半实物仿真、全仿真、虚拟现实、增强现实等虚拟仿真技术，为教师在高校内最大程度地还原、复现实践场景及实践过程提供了强有力的支撑[3]。这种借助虚拟仿真技术来辅助实践教学的模式，具有成本低、效率高、灵活性强、安全性好、操作界面友好[4]、过程数据可追溯等优势，对于提高学生实践能力具有重要作用[5]。因此，虚拟仿真实践教学模式在国内外高校的理学、工学、医学、农学、教育学、军事学等众多学科门类的专业实践教学中得到广泛应用[6-8]。

“雷达气象学”作为大气科学类本科专业以及大气科学类任职教育的主干课程之一[9]，其教学内容涵盖气象雷达设备的工作原理与维护、探测原理与方法、回波资料分析与应用等[10]，具有理论性及综合性强、实践性突出和前沿更新快等特点。实践教学是高校人才培养体系中的关键环节，是提升学生岗位适应能力和就业竞争力的重要手段[11]。近年来，“雷达气象学”课程的实践教学逐渐引起了学界的广泛关注。笔者通过检索国内该课程实践教学类的相关文献，发现涉及“雷达气象学”课程气象雷达设备实践教学的论文共 11 篇。从发表时间看，2020 年前仅有 2 篇，2020 年及之后增至 9 篇；从研究内容看，涉及实践教学体系改革的有 4 篇，关于虚拟仿真等实践教学资源的有 5 篇，关于教学模式的有 1 篇，同时涉及虚拟仿真和教学模式的仅有 1 篇。这篇与虚拟仿真实践教学模式相关的文献对比了虚实结合式教学法与传统教学模式的教学效果，证实了虚拟仿真技术在实践教学中的重要作用[12]。

然而，目前鲜有研究从实践教学能力培养目标出发，对“雷达气象学”课程虚拟仿真设备实践教学模式开展研究，更缺乏深入教学理论层面的讨论。鉴于此，本文在分析该课程实践教学特点与痛点的基础上，提出了三阶能力跃迁的实践教学模式，并参照建构主义教育理论，设计了三种核心教学方法。文章最后列举了所取得的成效，旨在为开展同类课程的教学改革和教学质量提升提供参考。

一、三阶能力跃迁实践教学模式

气象雷达设备实践教学是“雷达气象学”课程教学的重要环节，其作用在于帮助学生深入理解气象雷达设备的工作和探测原理，形成气象雷达设备应用和维护能力，并为培养新型气象雷达性能设计能力奠定基础。但是气象雷达设备实践科目涉及的理论如脉冲压缩的原理、速调管的功率放大过程等知识，抽象度较高，学生较难理解；实践操作本身存在高危险性因素，如发射机内部的高电压、危险性天气下的探测等；设备昂贵、型号多样，且设备封装程度高，难以满足实践教学对设备数量、型号的需求；典型天气系统出现的时机和保障任务的场景设置很难与固定时间的实践课堂相匹配，导致气象雷达设备实践教学难以开展。这些实践教学难点共同制约了学生参与气象雷达设备实践的效果。

近十几年来，虚拟仿真技术在交互性、逼真

度、沉浸感等方面取得了显著进步，虚拟仿真实践教学呈现出蓬勃发展的态势[13]。然而，虚拟仿真实践教学普遍存在重视操作模拟、忽视能力建构的现象，未能充分遵循学生能力培养的递进式培养规律，导致虚拟仿真实践科目间的关联性较弱，缺乏深度的纵向递进，以及融合工程设计和科研创新的实践科目设置较少。

要充分发挥虚拟仿真实践教学的效果，需要从教学理论层面深入考量：虚拟仿真技术如何实现实践教学目标、实践教学内容与实践教学模式的有机匹配。因此，本文采用辛普森动作技能领域的七个层次教育目标分类理论[14]，将气象雷达设备实践教学的能力培养目标进一步归类为基础操作能力、综合应用能力、科技创新能力三个层次。其中：基础操作能力指学生能够完成设备工作原理验证、测试等基础性实验，以及与气象雷达设备探测和保障相关的常规技能实训，掌握专业基础技能并具备过硬的实操业务能力；综合应用能力指学生会采用科学实用的方法，对复杂气象条件下的保障需求进行分析与解决的能力；科技创新能力指学生善于创新性地解决本专业领域各类科技问题和工程应用问题的能力。

为实现上述能力培养目标，本文从学生能力进阶提升的视角出发，将原本较为分散的气象雷达设备实践环节横向串联成线、纵向整合关联，重构为三阶分层的实践科目群（如表 1 所示），依次分为“操作与验证实践科目群”“综合业务实践科目群”和“工程设计与科技创新实践科目群”。

表 1　三阶分层重构设计的实践科目群

实践教学能力培养目标	实践科目类型	实践科目名称
基础操作能力	操作与验证实践科目群	操作类： 油机使用、雷达的架设与撤收、设备正常开关机、工作模式设置、信号处理参数设置、显示存储设置； 监控分系统电压、阻值测试； 发射分系统电压、阻值、波形测试； 接收分系统电压、阻值、波形测试； 配电分系统电压、阻值测试； 伺服分系统电压、阻值测试。 验证类： 磁控管、速调管工作原理仿真实验，单级振荡式和主振放大式射频放大链路仿真实验； 混频器、AFC 电路工作原理仿真实验，超外差式接收机射频接收链路仿真实验，移相器天线阵工作原理仿真实验； 发射机激励信号产生、气象雷达方程、脉冲压缩、回波信号快速傅里叶变换等实验。
综合应用能力	综合业务实践科目群	脉冲功率测试分机通信不正常、误差电压零点飘移等故障排除； 发射分系统灯丝过电流/欠电流、IGBT 过电流、反峰过电流等故障排除； 接收分系统频综报警、组件面板上指示灯异常等故障排除； 伺服分系统方位驱动、俯仰数控不受控等故障排除； 气象雷达探测应用实验。
科技创新能力	工程设计与科技创新实践科目群	气象雷达发射机参数自主设计实验、接收机链路自主设计实验、相控阵雷达波束赋形算法设计、基于大数据分析的故障诊断模型。

基于建构主义教育理论的核心观点[15]179－181，虚拟仿真实践教学的基本模式可按照以下设计构建：创设支撑实践教学的活动情境；在情境中设计能激发学生兴趣的实践项目以激活学生思维；引导学生依据已有资料提出假设，并规划解决路径；通过实践活动（包括现实实验和虚拟仿真实验）验证假设。因此，气象雷达设备虚拟仿真实践教学应坚持以学生为中心，遵循学生认知和能力的阶段性发展规律安排实践科目，采用翻转课堂式教学、情境式教学、协同合作式教学、项目探究式教学等多种方法，实现从单一教学方法向综合运用、灵活组合多种教学方法的转变，以最大限度地激发学生的学习兴趣和实践热情，提升其科技创新能力。教师在整个虚拟仿真实践教学

过程中仅担任组织者、指导者、帮助者和促进者的角色。具体而言，对于操作与验证实践科目主要采用情境支架法，对于综合应用能力实践科目主要采用合作探究法，对于工程设计与科技创新实践科目主要采用项目驱动法，以充分调动学生的积极性、主动性和创新性，最终帮助学生实现对当前所训技能的掌握和思维的建构。

二、虚拟仿真实践教学方法设计

建构主义教育理论为虚拟仿真技术与其教学方法的融合提供了理论基础；反之，虚拟仿真技术也为建构主义教育理论所倡导的教学方法提供了强大的环境支持，使实践教学得以落地实现。

（一）情境支架法

情境支架法旨在通过创设具体情境和提供阶段性支持，帮助学习者逐步掌握复杂的知识或技能。其核心在于指导者根据学习者的需求变化，动态调整“支架”（如示范、提示、资源提供等）的支持力度，并随着学习者能力的提升逐渐撤除“支架”，最终帮助学习者实现自主学习与问题解决能力的发展[15]182。

为了满足操作与验证实践科目群的教学需要，本课程基于 Unreal Engine 仿真技术，开发了以多普勒天气雷达为原型的三维交互气象雷达设备训练模拟及全链路设计的虚拟仿真平台。该平台将气象雷达分系统结构及其工作原理的展示、虚拟测试、探测与设计等一体化流程融入三维虚拟实验场景，从而支持学生通过角色模拟完成各层次的气象雷达设备实践训练：在学习模式中，提供初始支持，通过示范和提问引导学生学习；在训练模式中，撤除大部分“支架”，仅在关键步骤中提供场景切换和操作提示，让学生在协同合作中共同完成任务；在拓展模式中，围绕设定的场景需求或问题，引导学生按照项目级标准分步骤开展探究性学习。

（二）合作探究法

建构主义认为，知识形成于社会互动过程中，需要通过团队合作、同伴交流等方式，模拟真实的社会化学习环境，以促进学习者认知的发展。合作探究法源于 20 世纪 70 年代美国的教育理念与实践方法，在促进学生认知能力提升和非智力因素发展方面效果显著，现已成为现代教学改革中的核心理念与授课模式。研究表明，这种学习方式通过让学生参与以目标为指引、以任务为基础的小组互动，可有效提升其多方面的综合素养[16]。

为满足综合业务实践科目群的需要，本课程明确任务目标，引导学生分组学习，鼓励学生在参加虚拟仿真实践的过程中相互合作、开展探究。使学生在气象雷达虚拟仿真测试、故障定位及故障排除等实践中掌握技能，培养准产品级的专业开发设计能力，进而提高其综合实践能力与自主创新意识。教师在整个教学过程中跟踪各小组的进展和合作情况，及时点评并肯定优秀经验，对存在的问题通过启发式提问、不完全式指导等方式介入，确保小组协同达成实践目标。

（三）项目驱动法

项目探究法是一种以学生为中心的教学方法，强调通过真实或模拟的项目和任务，引导学生在自主探究与合作实践中建构知识、发展技能，本质上是基于建构主义学习理论的探究性学习模式[17]。按照“从认知到探究、再到创新”的学习认知规律，本课程将具有开放性、创新性的工程设计与科技创新虚拟仿真项目实践科目作为牵引，培养和锻炼学生的创新意识和实践能力。例如，在接收机链路自主设计实验中，让学生根据需要探测的气象目标类型和场景需求，选择接收机模块的型号，设计接收机模块的性能参数，在虚拟仿真环境下搭建并检验接收机的性能，以此锻炼其研发设计气象雷达设备的能力；在故障诊断模型自主设计项目中，学生可以选取多种具有故障特征的参数，将自主设计的、基于大数据分析技术的故障诊断模型算法上传到虚拟仿真服务器，进行性能验证和算法调优，以深化自身对气象雷达故障特征参数的理解，并提升自身在故障智能诊断技术方面的设计与创新能力。

三、虚拟仿真实践课程考核方式

实践教学考核不应只是一份实习报告，而应是一个能够动态反映学员实践训练状态、考核过程变化和实践目标完成情况的过程。因此，需在不同阶段对学生的实践情况进行多元化考核数据采集，并开展过程性评价[18]。虚拟仿真教学平台具备支持学生训练、监控考核过程以及评估考核结果等功能，能够根据学生在训练和考核中的表现，自动统计训练科目类别、操作时长、训练及考核次数、操作超时次数等信息。这些信息可以

作为评价学生实践成绩的客观依据，帮助教师和学生更准确、客观地了解训练进度和效果。同时，鼓励学生通过演讲展示、视频制作、科技报告等方式展现自己的实践成果，并上传至虚拟仿真教学平台。基于虚拟仿真教学平台对学生实践过程的记录，依据学生在不同阶段中的任务完成度与完成质量进行考核，能够有效提高过程性考核在教学评价中的比重，避免传统实践教学考核的片面性与单一性，实现了三元全链路虚拟仿真考核评价方式的落地应用。

四、结语

本研究针对“雷达气象学”课程传统设备实践教学中存在的理论抽象度高、操作风险大、设备昂贵且模块封装程度高、典型天气与任务场景复现难等痛点，以建构主义教育理论为指导，提出了“基础操作—综合应用—科技创新”三阶能力跃迁的实践教学模式。该模式在本门课程相关实践的应用中具体表现为：依托三维交互的气象雷达设备实践虚拟仿真平台，将原本松散的实验科目重构为面向三阶能力培养的三层递进式科目群，并通过采用情境支架法、合作探究法和项目驱动法等教学方法，最终达成学生从“会操作”到“能综合”再到“善创新”能力跃迁的培养目标。研究结果表明，与采用传统实践教学模式的班级相比，采用本模式的班级学生实验平均成绩由 85.5 分提升至 94.7 分。问卷调查结果也表明，95% 的学生认同该实践教学模式，能体验到获得发现时的成就感，对自身三阶能力的提升很有帮助。

综上所述，本研究不仅为气象雷达设备实践教学提供了一种行之有效的教学模式，也为其他理工类专业具有高复杂、高危险、高成本特点的实践课程教学提供了一种可借鉴的改革路径。今后，笔者认为可进一步在实践科目资源的个性化推送、线上线下混合式实践教学场景构建、学科交叉创新实践项目设计等方面开展深入研究和实现广泛应用，以更好地完善教学模式，助力达成学生能力跃迁的培养目标。

参考文献：

[1] 安建强. 基于虚拟仿真技术的创新训练研究与实践[J]. 实验技术与管理,2015,32(12):179 – 182.

[2] 张敏,文福安,刘俊波. 高校虚拟仿真教学环境构建逻辑探讨[J]. 实验技术与管理,2023,40(3):1 – 6.

[3] 吴金栋,任光辉,黄东键,等. 基于虚拟仿真技术开展实践教学改革的研究与实践[J]. 实验室研究与探索,2018,37(5):240 – 244.

[4] Andrei T, Lubov K. Virtual reality as a main basis for forming modern educational technologies[J]. E3S Web of Conferences,2021,273:12076.

[5] 白泉,边晶梅,于贺,等. 虚实结合的土木工程专业实践教学体系构建研究[J]. 高等工程教育研究,2018(4):67 – 71.

[6] Bian Gang,Pang Xiuyan. The virtual simulation experiment of chloroacetic acid production process helps students improve comprehensive ability[J]. Academic Journal Chemistry,2019,4(12):124 – 128.

[7] Li Xiaorong, Xing Qianli. Design of an intelligent sensor teaching experiment system and measurement of student innovation literacy[EB/OL]. (2022 – 06 – 02)[2025 – 07 – 10]. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2022/6128884.

[8] 贾继文,刘之广,刘艳. 农业虚拟仿真实验教学发展模式研究[J]. 实验室科学,2022,25(3):101 – 104.

[9] 郑佳锋,刘艳霞,陈杨瑞雪,等. 雷达气象学线上线下混合式课程建设初探[J]. 中国多媒体与网络教学学报,2024(5):29 – 32.

[10] 张文煜,潘峰,袁铁. “雷达气象学”课程建设初探[J]. 高等理科教育,2009(1):123 – 125.

[11] 李娜,贾方,杨瀚宇,等. 我国高校实践教学改革的困境及对策[J]. 大学教育,2015(1):16 – 19.

[12] 胡汉峰,项磊. 虚实结合的雷达原理与信号处理课程实践教学研究[J]. 教育信息化论坛,2024(11):108 – 110.

[13] 张敏,刘俊波. 对高校虚拟仿真实验教学项目建设的若干思考[J]. 中国现代教育装备,2020(1):10 – 13.

[14] 柳海民. 教育学原理:第 2 版[M]. 北京:高等教育出版社,2019:232.

[15] 顾明远,孟繁华,王晓华,等. 国际教育新理念[M]. 北京:教育科学出版社,2020.

[16] 李宝敏,宫玲玲. 合作学习对学生学习成效的影响研究:基于国内外 54 项实验研究和准实验研究的元分析[J]. 教育发展研究,2019,39(24):39 – 47.

[17] 陈鑫,张兄武,蔡新江,等. 工科大学生创新能力培养的项目教学法探索与实践:以土木工程专业为例[J]. 实验室研究与探索,2019,38(9):194 – 199,246.

[18] 杜小勇,廖麒翔,龙智勇,等. 气象技术与工程专业本科课程实践教学体系构建研究[J]. 军事高等教育研究,2025,48(4):114 – 120.

（责任编辑：邢云燕）