

OBE视域下《大气数值模拟》课程教学改革探索与实践

牛晓瑞, 赵树云*

中国地质大学(武汉)环境学院大气科学系, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月13日; 发布日期: 2026年5月20日

摘要

《大气数值模拟》是大气科学专业中连接基础理论、业务应用与科研训练的重要课程, 具有理论抽象、知识交叉度高、实践依赖强等特点。随着人工智能(AI)和高性能计算等的快速发展, 传统理论讲授与基础软件演示为主的教学方式, 解决复杂大气科学问题的能力培养需要。在成果导向教育(Outcome-Based Education, OBE)理念指导下, 本文设计了“目标导向-模块化内容-实践训练-多元评价”的教学改革方案, 包括课程模块化设计、案例库建设、线上预习与课堂研讨结合、上机实验及项目训练, 以及形成性与终结性结合的评价体系。实践表明, 该改革有效提升了学生动手操作能力、问题分析能力及表达能力, 为专业选修课程与科研实践的融合提供参考。

关键词

OBE, 大气数值模拟, 课程改革, 课程评价

Teaching Reform of the “Atmospheric Numerical Simulation” Course under the OBE Framework: Exploration and Practice

Xiaorui Niu, Shuyun Zhao*

Department of Atmospheric Sciences, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan Hubei

Received: April 15, 2026; accepted: May 13, 2026; published: May 20, 2026

Abstract

“Atmospheric Numerical Simulation” is a key course in the Atmospheric Science program, serving

*通讯作者。

as a bridge between fundamental theory, professional applications, and research training. The course is known for its abstract theoretical concepts, high interdisciplinarity, and heavy dependence on hands-on practice. With the rapid rise of artificial intelligence (AI) and high-performance computing, traditional teaching approaches that largely based on theoretical lectures and basic software demonstrations are insufficient to cultivate students' ability to solve complex atmospheric science problems. Guided by the Outcome-Based Education (OBE) concept, this study proposes a teaching reform scheme following a "goal-oriented - modular content - practical training - multi-dimensional assessment" framework, including modular course design, construction of a case library, integration of online pre-study with in-class discussions, hands-on laboratory exercises, project-based training, and a combination of formative and summative assessment. Initial implementation shows that this reform improves students' hands-on skills, problem-solving abilities, and communication capabilities, offering a useful reference for aligning professional elective courses with research practice.

Keywords

OBE, Atmospheric Numerical Simulation, Course Reform, Course Assessment

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

近年来,教育部在推进新工科建设和本科课程建设中,明确提出要树立“学生中心、产出导向、持续改进”的理念,并推动课程改革与科学评价[1]。成果导向教育理念(Outcome-Based Education, OBE)以学生学习成果为核心导向,强调从预期学习结果出发,反向设计教学目标、内容与评价体系,并通过系统化教学保障学习目标的实现[2][3]。在该框架下,学生的学习产出既是课程设计的起点,也是衡量教育质量的重要依据[4][5]。

《大气数值模拟》课程是中国地质大学(武汉)大气科学专业的专业选修课程,主要介绍大气数值模式的基本理论和模拟方法,以培养学生动手能力为核心目标。课程融合气象学、水文学、计算机科学等多学科知识,内容涵盖数值模式基础理论、模拟方法及参数化方案,更强调学生在实践中理解模式运行、调试程序、敏感性试验设计并分析模拟结果。作为理论课程与科研、业务实践之间的桥梁,学生通过本课程可以亲自运行模式、分析模拟差异,并理解不同参数化方案对结果的影响,从而提升动手能力和科研意识。

然而,当前国内外数值模拟课堂教学仍以理论讲授为主,上机实践课时有限,教材和案例更新滞后,学生自主学习能力不足,难以将理论知识有效应用于实际问题。这导致学生在面对复杂科研任务或业务需求时,往往处于被动状态,缺乏独立分析问题、设计方案、调试模型和解释结果的能力[6][7]。课程的高综合性和实践性要求若未能充分训练学生的实验与案例分析能力,容易形成理论懂、实践弱的学习模式,从而制约能力发展。

与此同时,人工智能(AI)和高性能计算等技术的快速发展,也对课程提出了新的要求。世界气象组织(WMO)近年持续讨论AI在天气-气候预测中的应用框架[8],欧洲中期天气预报中心(ECMWF)已于2025年将AI预报系统投入业务运行,与传统物理模式并行发展[9]。这表明,如果课程仍停留在经典公式推导、基础模式运行和过时案例分析,学生难以理解大气科学方法的科学前沿,也难以形成科研和业务导

向的数值思维。

从已有研究看, 数值模拟类相关课程教学改革已在多个方面开展探索。部分研究强调通过筛选理论内容、加强编程训练和实践演练, 提升学生的应用能力和实践能力[10]; 部分研究借助虚拟仿真与三维可视化技术, 将复杂天气过程的模式结果转化为可交互、可共享的教学资源, 以增强学生对动态演变过程和内部结构的直观理解[11]; 还有研究在科教融合背景下, 强调将区域污染防治案例、科研项目经验和空气质量数值模拟方法引入课堂, 以提升课程内容的应用性、前沿性和实践性[12]。但同时也应看到, 现有研究总体上更多聚焦于某一类教学方法或某一具体改革环节, 对于数值模拟类课程所具有的理论抽象性强、模式配置复杂、试验设计要求高、结果解释难度大等特点关注仍显不足, 尤其缺少在 OBE 框架下将课程目标、模块化内容、案例任务、项目训练和多元评价系统整合起来的研究。

综上所述, 《大气数值模拟》课程核心问题包括内容跨度大、理论与实践脱节、上机实验不足、案例滞后、学生自主学习与综合应用能力欠缺, 这些问题限制了学生科研能力的培养及未来从事气象业务和跨学科科研工作的适应性。为应对这些挑战, 本文以 OBE 理念为指导, 开展教学改革探索。

2. 课程教学中存在的主要问题

2.1. 教学内容跨度大与学科交叉要求高

《大气数值模拟》课程涉及气象学、水文学、计算机科学等多学科知识, 学生不仅需要掌握大气控制方程、初边值条件和离散方法, 还需了解模式运行、参数设置及实验设计。实际教学中, 学生在高等数学、计算方法、动力气象等课程上学过相关内容, 但知识零散, 进入本课程后难以快速建立联系。这在其他数值模拟课程改革研究中也多次提及, 本质上是课程综合性强而学生知识迁移能力不足[13]。

2.2. 教学真实问题导入不足

尽管课程以实践能力为主, 传统授课仍多采用“数值模型 - 离散格式 - 求解方法 - 上机实习”的顺序, 学生先接触抽象符号, 再零散操作, 缺少真实问题引导。学生难以理解例如差分格式的设计逻辑、边界条件的处理原因或参数设置对模拟结果的影响等相关问题, 导致课堂听懂、上机实践时卡住, 长期沿用基础讲授模式会影响学生的动手能力和问题解决能力的形成。

2.3. 实践教学相对薄弱, 学生操作经验不足

课程实践环节是培养学生动手能力的关键, 但目前上机或实验任务大多停留在验证性操作, 学生多为按步骤执行, 缺乏自主设置试验、分析数据和解释结果的训练。如果实验仅满足模式运行展示, 而未将“设计试验 - 优选参数 - 分析数据 - 解释结果”纳入训练, 学生难以形成真正的数值试验意识。

2.4. 评价方式偏单一, 难以反映学习产出

OBE 强调以学习成果为导向, 课程评价应反映学生在知识掌握、问题分析、实践操作、沟通表达和反思能力等多方面的综合表现。然而, 《大气数值模拟》课程现状仍以“平时作业 + 期末试卷”为主, 过程性学习痕迹不足, 学生编程能力、实验操作能力、团队合作能力和结果分析能力难以充分体现。

2.5. 教学内容更新速度滞后

随着气象业务和科研方法由传统物理模式向“物理模式 + AI 方法并进”的新阶段, 课程若仅介绍经典模式而未覆盖天气气候一体化数值模式、人工智能大模型、公里尺度模式等前沿内容, 学生对学科发展的理解容易碎片化, 不仅影响学生实验操作能力, 也削弱其对专业前景和科研应用价值的认知。

3. 课程目标导向下的内容与结构设计

3.1. OBE 视域下的课程改革思路

OBE 理念强调从学生最终学习产出出发反向设计课程, 而非简单增加考核或包装传统教学内容[2]-[5]。课程改革应遵循“设计学习产出 - 实现学习目标 - 评价学习效果”的逻辑, 通过评价反馈形成持续改进闭环。基于此, 如图 1 所示, 《大气数值模拟》目标设定围绕学生利用数值方法分析和解决典型大气科学问题的能力, 突出五类学习产出:

- (1) 理解大气数值模拟的基本思想, 掌握控制方程、初边值条件、常见离散方法及稳定性、收敛性、误差等核心概念;
- (2) 围绕典型问题完成简单算法实现或模式配置, 具备程序阅读、修改和调试能力;
- (3) 针对具体天气或气候个例, 设计试验方案并对模拟结果进行对比分析;
- (4) 能够通过书面报告或课堂汇报的方式表达模拟过程、结果及问题反思;
- (5) 理解数值预报发展趋势, 培养科学态度与团队协作意识。

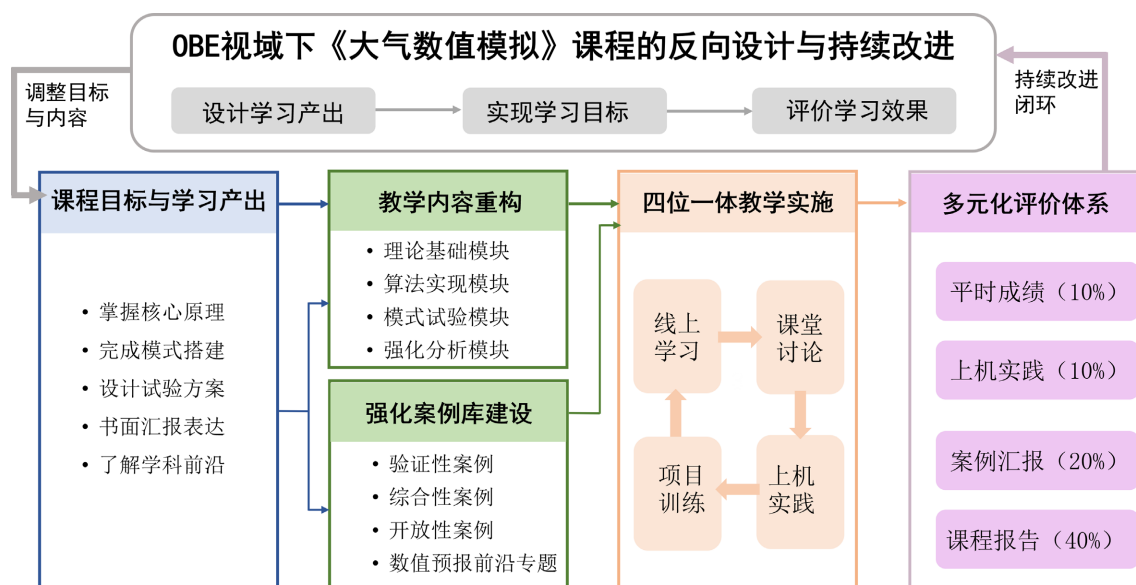


Figure 1. OBE-based course design logic diagram for atmospheric numerical simulation
图 1. OBE 理念大气数值模拟课程设计逻辑图

3.2. 模块化内容与设计

传统课程内容往往沿教材章节平铺展开, 教师教起来顺手, 学生学起来却容易割裂。为增强内容的可学性和能力指向性, 可将课程内容重构为理论基础模块、算法实现模块、模式试验模块和案例分析模块四个层次递进的模块。其中理论基础模块重点解决为什么能算的问题, 讲解控制方程的物理含义、离散思想、初边值问题、误差与稳定性等; 算法实现模块重点解决怎样把方程变成可计算流程的问题, 包括围绕平流方程、扩散方程、浅水方程等代码阅读与改写, 引导学生理解不同离散格式的适用条件、优缺点和结果差异; 模式试验模块重点解决如何进行模式试验, 通过 CESM、WRF 等引导学生熟悉模式结构、参数化方案、初始场和边界场设置、输出变量读取等基本流程; 而案例分析模块重点解决模拟结果如何解释, 围绕强降水、台风、高温热浪、寒潮等典型天气过程设计案例, 让学生比较不同方案下结果差异, 讨论误差来源、参数敏感性和物理解释。

3.3. 强化案例库建设, 提升课程内容的新鲜度

参考相关课程改革经验,《大气数值模拟》案例库按照“验证性案例-综合性案例-开放性案例”三个层次建设。其中验证性案例主要用于帮助学生理解基本算法,如一维平流方程在不同时间步长和空间分辨率下的数值耗散现象;综合性案例则面向具体天气过程,如某次区域暴雨过程的模式试验与观测对比;开放性案例则鼓励学生结合兴趣或教师科研方向,自主选择问题开展初步探索,例如植被覆盖变化对降水影响的模拟。此外,课程改革还将在不摒弃基础训练的前提下,有选择地补充学科发展新内容。在课程后半段设置“数值预报前沿”专题,简要介绍天气气候一体化数值模式、人工智能大模型等,拓宽学生视野,增强课程的时代感。

4. 教学实施与评价体系

4.1. 教学实施过程

根据 OBE 理念下的预期成果,围绕整合内容,构建“线上-课堂-上机-项目”四位一体教学模式。把基础知识前移,采用 10~15 分钟微课配套导学问题、测验和学习清单,减轻课堂讲授压力。例如,讲平流方程离散格式前,让学生线上完成“Courant 数意味着什么”等探索任务。课堂不再仅讲公式,而围绕问题展开模式。例如,展示不同物理参数化方案结果图,先让学生观察差异,再讲原理。辅以小组讨论和即时反馈,训练数值思维和诊断意识。同时将上机任务分为多个类型,例如复现某个简单离散格式并比较结果的基础实现型任务,完成一次指定个例的模式配置与运行的模式操作型任务等。教师在上机环节中的角色演变为帮助他们形成问题定位习惯。此外,学期后半段进行 2~3 周项目训练,围绕具体问题完成选题、查阅资料、方案设计、实验实施、结果分析和汇报展示。项目选题可控制在“不同对流参数化对降水日循环影响”、“气候变化对地形高度的响应”、“土地利用变化的气候效应”等。评价不只看“跑出来没有”,更看学生能否说明“为什么这样设、哪里有问题、下一步怎么改”。在教学实施过程中,不断收集学生意见,总结共性问题,针对性改进教学,提高质量以实现教学目标,培养人才。

4.2. 多元化的课程考核评价

从“考结果”转向“看产出”课程评价是 OBE 改革的落点。结合《大气数值模拟》课程特点,该课程的考核成绩主要由平时成绩(10%)、上机实践(10%)、案例分析与汇报(40%)和课程报告(40%)构成,每个环节满分均为 100 分。平时成绩采用的是线上学习与随堂测验,主要考查学生对基础概念和核心原理的掌握情况,督促预习与复习常态化。而上机实践重点考查算法实现、模式运行、结果输出和实验记录的完整性,避免只看最后结果,不看操作过程。根据《大气数值模拟》课程特点和教学设计,案例分析与汇报用于考查学生对具体天气个例的理解、试验设计及团队协作和表达能力。最后课程报告重点考查学生的问题意识、试验设计、结果分析和反思改进能力。

与传统“平时+期末”结构相比,这种评价方式更能体现数值模拟课程的学习产出。尤其是项目报告和案例展示,能够较好呈现学生是否真正具备把知识用起来的能力。此外,每轮教学结束后,对学生高频错误、项目中共性薄弱环节和课程目标达成情况进行分析,作为下一轮调整教学重点、优化案例难度和改进考核方式的依据,形成持续改进闭环。

为增强改革方案的可操作性,本文在附录 A 中给出了《大气数值模拟》课程一个典型教学单元的完整设计示例。该示例以“不同对流参数化对降水日循环影响”教学单元为例,具体展示了 OBE 理念在课前导学、课堂研讨、上机实验、案例分析与学习评价等环节中的落实过程。

5. 改革实践与初步成效

从课程实施过程看,改革后的课堂氛围、学生参与方式和学习重心都发生了较为明显的变化。以往不少学生一接触方程离散和模式配置就容易神游,而模块化内容组织和问题导向教学在一定程度上降低了入门门槛,使学生知道每一部分内容究竟学来做什么。而通过把上机实验、案例分析和课程项目纳入主要评价环节,学生不再把实践环节视为附属任务,而是逐渐认识到数值模拟课程的核心是“把问题做出来、把结果说清楚”,实践比重提高后,学生利用软件和程序解决实际问题的主动性会增强,项目参与和竞赛参与意愿也更高。在增加案例展示、报告撰写和项目汇报后,学生被迫从会操作进一步走向会解释。这一变化虽然不一定能在短时间内全部转化为考试分数,但对后续科研训练和毕业论文写作是有帮助的。

改革也暴露出一些现实困难。其一,教师前期投入明显增加,尤其是在案例更新、微课制作、实验指导和过程性评价记录方面;其二,学生基础差异较大,部分学生在编程和 Linux 环境操作上仍存在明显短板;其三,平台和硬件条件会影响教学效果,若机房配置不足或网络环境不稳定,上机教学体验会大打折扣。这些问题在其他混合式教学和 OBE 改革研究中同样存在,说明课程改革不能只靠任课教师个人“硬扛”,还需要学院层面在资源、平台和教学团队建设上给予支持。

与已有研究相比,本文的探索既具有共性,也体现出一定的拓展性。一方面,本文与已有关于数值模拟课程改革、虚拟仿真辅助教学和科教融合课程建设的研究一致,均强调通过案例、实验、讨论和应用场景增强学生对抽象理论的理解,提高实践能力和问题分析能力。另一方面,本文的不同之处在于并未停留于单一教学方法或技术手段的优化,而是从 OBE 理念出发,将《大气数值模拟》课程的改革进一步落实到课程目标设计、模块化内容重构、线上导学、课堂研讨、上机实践、项目训练和多元评价等多个环节,强调围绕学习产出形成教学闭环。尤其是针对数值模拟类课程中普遍存在的理论懂、实践弱,能操作、难解释等问题,本文通过模块化内容设计、参数敏感性案例分析和过程性评价相结合的方式,强化了学生在试验设计、结果比较、误差分析和表达反思等方面的训练,这种改革思路不仅适用于《大气数值模拟》课程,也可为其他具有较强理论抽象性和实践性的课程改革提供一定参考。

6. 结语

《大气数值模拟》课程的教学改革,难点不在于是否接受 OBE 理念,而在于能否真正把“成果导向”落实到课程目标、内容组织、教学活动和评价方式的全过程。本文的探索表明,这门课程若仍沿用以理论灌输为主、实践环节从属、评价方式单一的传统路径,就很难有效支撑学生解决真实大气科学问题的能力形成。相反,若从学生最终学习产出出发,围绕理论理解、算法实现、模式实验、案例分析和反思表达来组织教学,并通过多元评价和反馈机制形成闭环,课程改革就有可能落到实处。

需要指出的是,数值模拟课程改革是一项持续推进的工作,不可能一轮教学就彻底解决所有问题。今后还应在三个方面继续深化:一是结合学科发展动态更新案例库,增强课程与数值预报业务、区域模式应用及 AI 预报方法的联系;二是进一步完善分层教学设计,兼顾不同基础学生的学习节奏;三是依托课程目标达成度分析,逐步形成更稳定、更可复制的持续改进机制。只有这样,这门课程才能真正发挥其在大气科学人才培养中的桥梁作用。

基金项目

中国地质大学(武汉)校级教学改革研究项目:“OBE 视域下数值模拟课程教学改革探索与实践(2024091)”,“大气数值模拟讲义(2022044)”和“中尺度气象学(2023031)”。

参考文献

- [1] http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031_406269.html, 2018-10-08.
- [2] 赵洪梅, 朱泓, 李志义. 学习成果的展现模型与确定方法[J]. 高等工程教育研究, 2017(1): 145-148.
- [3] 周建华, 陈凤菊, 李政. 我国高校在线教学成效如何: 基于对 21 万本科生的调查[J]. 开放教育研究, 2022, 28(4): 74-84.
- [4] 杜胜利. 基于 OBE 工程教育模式的大气污染控制工程课程教学改革与实践[J]. 化工设计通讯, 2025, 51(6): 90-92.
- [5] 陆莎, 史维选. 基于 OBE 理念的《航空气象学》课程教学改革研究[J]. 学周刊, 2026(3): 1-3.
- [6] 梁佳. “数值模式与模拟”课程教学改革探讨[J]. 教育教学论坛, 2018(18): 120-121.
- [7] 曹帮军, 巩远发, 吴小飞, 等. 公共卫生事件下“数值天气预报”教学改革探索[J]. 教育教学论坛, 2021(41): 93-96.
- [8] WMO (2025) Task Team on Artificial Intelligence for Weather.
<https://wmo.int/site/knowledge-hub/governance/research-board/task-team-artificial-intelligence-weather>
- [9] ECMWF (2025) ECMWF's AI Forecasts Become Operational.
<https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2025/ecmwfs-ai-forecasts-become-operational>
- [10] 白鹏, 杨婧灵, 谢玲玲, 等. 《海洋数值模式及应用》教学改革初探[J]. 科技视界, 2018(31): 103-104.
- [11] 马旭林, 赵伟林, 徐威. Vis5D 在热带气旋生消演变气象虚拟仿真教学中的应用[J]. 教育教学论坛, 2016(29): 244-246.
- [12] 王颖, 陈强. 科教融合背景下空气污染气象学教学方案完善研究[J]. 高教学刊, 2023, 9(3): 106-110.
- [13] 黄小猛, 林岩釜, 熊巍, 等. 数值预报 AI 气象大模型国际发展动态研究[J]. 大气科学学报, 2024, 47(1): 46-54.

附录 A. 《大气数值模拟》课程典型教学单元设计示例

——以“不同对流参数化对降水日循环影响”教学单元为例

为增强本文所提出教学改革方案的可操作性, 现以《大气数值模拟》课程案例分析模块中的“不同对流参数化对降水日循环影响”教学单元为例, 对 OBE 理念指导下的教学设计与实施过程作进一步说明。该教学单元建立在学生已完成数值模式基础理论、基本模式运行流程及相关上机训练的基础之上, 重点面向具有一定大气科学基础和模式操作能力的本科生。单元设计坚持以学生学习产出为导向, 将知识掌握、能力培养和素养提升贯穿于课前导学、课堂研讨、上机实验、案例分析与报告评价的全过程, 旨在引导学生在真实或准真实的数值试验任务中理解对流参数化方案的基本作用, 掌握对比试验设计与模拟结果分析方法, 并逐步形成利用专业知识解释模式差异和分析实际气象问题的能力。

本教学单元围绕课程目标与预期学习产出展开设计, 重点服务于以下几个方面的能力培养: 其一, 使学生理解对流参数化方案在大气数值模式中的基本作用, 掌握不同方案在对流触发、对流发展及垂直输送表征方面的基本差异, 认识其对降水日变化模拟结果可能产生的重要影响; 其二, 使学生能够围绕一次典型降水过程, 在保持其他模式设置基本一致的前提下, 完成不同对流参数化下的敏感性试验设计、模式运行、数据处理与结果分析; 其三, 使学生能够根据模拟结果与观测资料之间的差异, 对不同方案的适用性进行初步评价, 并通过实验报告或课堂汇报较清晰地表达试验思路、结果特征及问题反思; 其四, 使学生在任务实施过程中增强自主学习意识、团队协作意识和科学分析意识。上述目标既呼应了《大气数值模拟》课程“理论理解-模式应用-案例分析-表达反思”的能力培养主线, 也体现了 OBE 理念下从学习产出反向设计教学活动和评价方式的基本要求。

在课前导学环节, 教师向学生发布 MOOC 的相关微课视频以及学习资料, 引导学生提前了解本单元所涉及的典型降水过程背景、对流参数化方案的基本概念及常见类型, 并熟悉模式配置文件中与对流参数化相关的设置内容。课前学习内容主要包括对流参数化的作用及适用条件、不同方案之间的基本差异、降水日循环的主要表征方法以及模式结果与观测结果比较的常用途径。为提高预习的针对性, 教师设置若干导学问题, 如“对流参数化方案为什么会影响降水日变化模拟结果”, “在不同分辨率条件下是否都需要开启对流参数化方案”、“模拟降水与观测降水存在偏差时应从哪些方面分析原因”等, 要求学生结合微课内容和指定资料进行思考, 并通过问卷星提交在线测验结果。通过这一环节, 学生能够在进入课堂之前对本单元的核心问题、试验目标和分析思路形成初步认识, 从而实现基础知识迁移, 减轻课堂纯理论讲授压力。

在课堂教学环节, 教师首先结合所选典型降水过程的天气背景资料、观测降水分布和日变化特征, 对本次降水过程的基本情况进行介绍, 使学生明确开展对流参数化敏感性试验的实际意义。在此基础上, 教师展示不同对流参数化下的模拟结果图, 引导学生从降水落区、降水强度、峰值出现时段及日变化结构等方面进行直观比较, 并围绕“同一降水过程为何在不同方案下会呈现不同结果”、“对流参数化对降水日循环的影响主要体现在哪些方面”、“如何判断某一方案对该个例的模拟效果更优”等问题组织学生展开课堂讨论。该环节以问题为牵引, 通过结果图比较、科研案例导入和小组交流, 引导学生将课前获得的概念性认识进一步转化为对模式参数化思想和模拟机理的理解, 从而提升课堂参与度和数值思维训练效果。

在上机实践环节, 学生根据教师提供的指导文件和案例资料, 在保持其他物理过程设置和初边值条件基本一致的前提下, 分别选取不同对流参数化开展对比试验。试验内容主要包括驱动场数据准备、初始和边界条件预处理、模式运行、结果输出和后处理分析等步骤。学生首先根据任务要求完成模式区域、积分时段及控制变量的设定, 重点调整对流参数化相关设置; 随后对模式运行过程进行检查, 保证各组

试验能够顺利完成;在此基础上提取相关气象变量,对不同方案下的降水日循环特征进行比较,并结合观测资料,对模拟结果与实际降水演变之间的一致性和偏差进行分析。通过这一过程,学生不仅能够掌握对流参数化敏感性试验的基本操作流程,而且能够在结果对比中逐步理解参数设置与模拟表现之间的内在联系。

在项目训练和案例分析环节,教师鼓励学生在完成规定试验任务的基础上,结合已有模拟结果进一步思考影响降水日循环模拟的其他因素,如模式分辨率设置、地形条件、下垫面特征或其他物理参数化方案的耦合作用等。学生可以个人或小组形式围绕试验结果开展进一步讨论,并形成阶段性分析报告或课堂展示材料。该环节强调的不仅是模式运行本身,更是围绕具体问题开展资料查阅、试验设计、结果归纳和逻辑表达的综合训练,使学生在完成课程任务的同时逐步具备初步科研训练所需要的问题意识和表达能力。这一设计也与正文中提出的学期后半段项目训练思路相衔接,有助于实现从验证性实验向综合性案例分析的过渡。

在评价设计方面,本单元遵循 OBE 理念下“目标导向、过程监测、结果反馈、持续改进”的基本原则,构建与课程整体考核要求相衔接的多元评价方式。课前线上学习与随堂测验主要用于考查学生对基础概念和关键原理的掌握情况,上机实践主要考查学生模式配置、运行操作和结果输出的规范性,案例分析与课堂汇报主要考查学生对具体降水个例的理解、试验设计能力、团队协作能力和表达能力,课程报告则重点考查学生的问题意识、结果分析深度以及对改进方向的反思能力。教师在评价过程中不仅关注学生是否完成了不同方案下的模式运行任务,更重视其是否能够围绕学习目标对结果差异作出较合理的解释,是否能够借助数据和图表支撑自己的判断,是否能够在报告和汇报中清晰呈现试验思路、主要发现和后续改进设想。通过这种评价方式,可以更全面地反映学生在知识、能力和素养层面的学习产出。

从教学实施效果来看,该单元较好地体现了《大气数值模拟》课程改革中以学生为中心、以产出为导向的基本思路。通过课前导学、课堂研讨、上机实践、案例分析和报告反馈的有机衔接,学生对对流参数化及其气象意义的理解更加深入,对模式结果的认识也由会运行、会看图逐步转向能比较、能分析、能解释。尤其是在不同方案模拟结果比较和误差分析过程中,学生能够初步从对流过程表征、模式设置和天气背景之间的联系出发分析问题,体现出一定的专业判断能力和科学思维能力。总体来看,该教学单元在学习目标设定、教学活动组织、实验任务实施和评价反馈之间形成了较为完整的闭环,较好支撑了课程知识目标、能力目标与素养目标的协同实现,也为《大气数值模拟》课程在 OBE 理念指导下开展案例化、项目化和实践化教学提供了较为具体的实施样本。