Creative Education Studies 创新教育研究, 2026, 14(11), 156-167
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ces
https://doi.org/10.12677/ces.2026.1411873

Hans汉斯

面向复杂天气分析与预报能力培养的《天气学原理》高阶课程建设路径研究

陈杨瑞雪[1*]，封彩云[1]，孟亚楠[1]，刘　博[1]，许东蓓[1]，胡　宁[2]

[1]成都信息工程大学大气科学学院，四川 成都
[2]国家气象中心，北京

收稿日期：2026年7月26日；录用日期：2026年11月1日；发布日期：2026年11月13日

摘　要

《天气学原理》是大气科学类专业衔接基础理论与天气分析预报实践的核心课程。传统教学较重视概念、方程和天气系统知识的完整讲授，但在复杂天气问题的综合诊断、预报推演、数据证据使用和风险表达等方面训练不足，难以充分体现高阶课程的高阶性、创新性和挑战度。依托省级一流本科课程和既有教学改革基础，文章以“学生中心、产出导向、持续改进”为理念，面向复杂天气分析与预报能力培养，提出《天气学原理》高阶课程建设路径：围绕“基础理论－天气系统－诊断分析－预报推演－风险服务”重构内容主线；实施案例牵引、问题导向、任务驱动的线上线下混合教学；将极端降水、中尺度对流和西南复杂地形天气等科研与业务案例分层融入课程；建设结构化数字资源并深化校内教师、科研骨干与业务专家协同；构建以案例分析、阶段任务和综合考核为核心的多元评价与反馈改进机制。前期建设已形成较系统的课程资源、案例素材和协同育人基础。本文进一步提出课程效果的证据化评估方案，力求推动课程由知识传授向复杂问题解决和预报思维培养转型，为气象类专业核心课程的高阶化建设提供参考。

关键词

天气学原理，高阶课程，复杂天气，科教融汇

Higher-Order Construction of Principles of Synoptic Meteorology for Complex Weather Analysis and Forecasting

Yangruixue Chen[1*], Caiyun Feng[1], Yanan Meng[1], Bo Liu[1], Dongbei Xu[1], Ning Hu[2]

[1]School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
[2]National Meteorological Center, Beijing

Received: July 26, 2026; accepted: November 1, 2026; published: November 13, 2026

[*]通讯作者。

文章引用: 陈杨瑞雪, 封彩云, 孟亚楠, 刘博, 许东蓓, 胡宁. 面向复杂天气分析与预报能力培养的《天气学原理》高阶课程建设路径研究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(11): 156-167. DOI: 10.12677/ces.2026.1411873

Abstract

Principles of Synoptic Meteorology connects fundamental atmospheric theory with weather analysis and forecasting. Conventional instruction often emphasizes concepts, equations, and synoptic systems but provides insufficient training in integrated diagnosis, forecast reasoning, evidence use, and risk communication. Building on a provincial first-class undergraduate course, this study proposes a higher-order construction pathway guided by student-centered learning, outcome-based education, and continuous improvement. The curriculum is reorganized along the sequence of fundamental theory, weather systems, diagnostic analysis, forecast reasoning, and risk services. Case-led, problem-oriented, task-driven blended learning is combined with tiered research and operational cases, structured digital resources, teacher-researcher-forecaster collaboration, and multi-dimensional assessment. An evidence-based evaluation design is proposed for iterative refinement. The framework aims to shift the course from knowledge transmission toward complex-problem solving and forecasting competence, providing a reference for higher-order construction of meteorological core courses.

Keywords

Principles of Synoptic Meteorology, Higher-Order Course, Complex Weather, Integration of Research and Education

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

《天气学原理》是大气科学、应用气象学等专业的核心基础课程，承担着从大气运动基本理论向天气系统识别、天气过程分析和业务预报实践过渡的关键功能。课程既要帮助学生理解不同尺度天气系统的结构、演变规律及动力热力机制，也要为后续《中国天气》《中小尺度天气学与强天气》《天气诊断分析》和《数值天气预报》等课程奠定认知与方法基础。因此，其教学质量直接影响学生能否将分散的理论知识转化为对真实天气过程的综合研判能力。

随着极端天气监测预报需求、多源观测资料和智能技术快速发展，气象人才培养正在由“掌握知识”进一步转向“运用证据解释复杂过程并作出合理预报判断”。一流课程和“金课”建设强调高阶性、创新性和挑战度[1]，教育数字化又为学习资源重组、过程评价和个性化学习提供了新的技术条件[2]。成果导向教育强调从预期学习产出反向设计教学目标、学习活动与评价方式，并通过达成度评价形成持续改进闭环[3]-[5]。对于《天气学原理》而言，高阶化并非简单增加公式推导和内容难度，而是要把理论学习、资料分析、机制解释、预报推演和风险表达组织成连贯的学习链条，使学生能够在不确定情境下综合使用知识解决问题。

近年来，围绕专业课程高阶化、数智化和能力导向改革，相关研究已形成较为丰富的实践。气象专业课程研究已尝试将混合式教学、真实气象案例和 OBE 理念结合，以缓解理论实践失衡、案例陈旧和能力评价不足等问题[6]；其他学科的研究表明，科研项目驱动和研究型课程设计有助于把前沿问题转化为案例、项目和探究任务[7] [8]，混合式教学、项目实践及“实践 + 课堂”模式可强化线上学习、课堂研讨与综合应用之间的衔接[9] [10]。BOPPPS、虚拟仿真和生成式人工智能则为问题导入、参与式学习、抽

象过程可视化及个性化支持提供了新的实施工具[11]-[13]，形成性评价研究进一步强调多源证据、及时反馈和过程数据在促学与改进中的作用[14] [15]。上述研究说明，单一教学工具只能改善局部环节，核心课程的高阶化仍需围绕能力产出系统重构课程目标、内容、任务和评价。

基于成都信息工程大学《天气学原理》省级一流本科课程及前期教学改革基础，本文聚焦天气学核心课程中理论知识与复杂天气分析、预报实践之间的衔接问题，提出面向综合诊断与预报思维培养的高阶课程建设路径。与一般性地引入案例教学或数字技术不同，本研究重点从两个方面展开具有学科针对性的教学设计：一是依据天气分析与预报的实际认知过程，将课程内容组织为“基础理论－天气系统－诊断分析－预报推演－风险服务”的递进主线，并以系统识别、机制诊断、预报判断和结果检验为核心设计贯通性任务，促进学生跨章节整合知识并形成基于证据的天气分析与预报判断；二是针对天气学科研成果专业性强、数据复杂和本科生认知基础有限等特点，建立“基础概念－核心原理－应用案例－开放探究”的四级转化机制，使前沿研究能够分层融入本科教学。通过案例牵引、问题导向、业教协同和多元评价相结合，探索具有天气学学科特色且可持续改进的高阶课程建设路径，并提出相应的实施与效果评估方案。

2. 课程定位、建设基础与问题诊断

2.1. 课程定位与已有基础

《天气学原理》在专业培养链条中具有明显的承上启下作用。其上承高等数学、大学物理、大气物理学和动力气象学等基础课程，下接天气分析、区域天气、中小尺度天气、数值预报和预报实习等专业课程。课程学习对象从基本方程和理想化理论逐步转向锋面、气旋、急流、副热带高压及高原天气系统等真实大气过程，要求学生同时完成尺度认知、物理解释和图像判读等多重认知转换。这种课程属性决定了高阶化建设必须坚持理论基础与业务应用并重，既不能削弱基本理论的严谨性，也不能把真实天气分析简化为结论记忆。

课程前期建设基础较为扎实。依托学院国家级一流本科专业建设点和省级一流本科课程，已积累教学大纲、教案课件、章节测试、作业题库、典型天气案例和线上课程资源；学院具有天气分析预报实验平台、多源资料接收和会商条件，可支撑天气图分析、个例诊断和分组研讨。课程团队长期从事极端降水、中尺度对流、灾害天气形成机制和天气动力学研究，并有国家气象中心业务专家参与，可形成“课程教师－科研骨干－业务专家”协同建设机制。上述条件为将科研成果、区域特色天气和业务场景转化为高阶学习任务提供了现实基础。

2.2. 高阶化建设需要解决的主要问题

第一，课程目标与学生可观察的能力产出衔接不够紧密。传统目标多使用“了解、理解、掌握”等知识性表述，而对学生能否基于多层天气图识别关键系统、能否利用动力－热力－水汽证据构建机制链、能否在不确定条件下提出预报判断等缺乏明确要求，导致教学活动与考核容易回到概念记忆和公式复现。

第二，章节化内容与复杂天气问题的整体性之间存在矛盾。锋面、气旋、急流和环流系统往往按章节分别讲授，但真实天气过程通常由多尺度系统耦合、地形调制和水汽输送共同作用。学生即使掌握单个知识点，也可能难以跨章节调取理论并完成综合分析，表现为“能够解释局部概念，却难以组织完整天气故事”。

第三，案例与前沿内容尚未形成稳定的课程转化机制。教材经典案例有助于说明基本原理，但部分资料年代较早、图像单一，难以充分反映卫星、雷达、再分析和数值预报资料共同支撑现代天气分析的特点。另一方面，若直接将复杂科研成果移入本科课堂，又可能超出学生认知基础。因此，需要建立从基础概念、核心原理到应用案例和开放探究的分层转化路径。

第四，评价方式对高阶学习过程的覆盖不足。以闭卷考试为主的评价能够检验基本知识，却难以充分反映资料使用、证据论证、预报推演、团队会商和反思改进等能力。若过程任务与综合考核之间缺少统一评价标准，学生容易把案例研讨视为附加活动，而非课程核心学习产出。

3. 高阶课程建设目标与总体框架

3.1. 建设目标

本课程以“学生中心、产出导向、持续改进”为基本理念，对标高阶课程的高阶性、创新性和挑战度，形成知识、能力和价值三类目标[3]-[5]。知识目标强调理解天气尺度运动基本规律、典型天气系统结构及多尺度相互作用；能力目标聚焦天气系统识别、物理机制诊断、预报推演、数据证据使用和风险信息表达；价值目标则通过重大灾害天气案例，引导学生形成严谨求实的科学态度、服务社会的专业责任和团队协作意识。

其中，高阶性主要体现在跨章节知识整合、复杂情境迁移和多证据推理；创新性主要体现在科研成果、区域特色案例、多源资料和人工智能应用的适度融入；挑战度主要体现在开放性任务、非唯一答案、真实资料处理和预测不确定性表达。三者不是彼此独立的附加要求，而应共同落实到课程任务和评价标准中。与以知识理解和计算应用为主要目标的部分基础课程不同，天气学的核心专业能力具有明显的综合性、时空性和不确定性特征。真实天气分析需要在多层次、多尺度的时空结构中识别关键天气系统，在动力、热力和水汽等多类证据之间建立物理联系，并依据有限的观测和预报信息作出有依据的判断。因此，本课程所强调的高阶性，并不只是掌握更多天气系统知识或完成更复杂的计算，而是能够识别主导过程、形成可检验的机制解释，并将诊断认识进一步转化为预报推理。这一能力要求决定了课程建设必须突出多尺度综合分析、物理机制解释和不确定条件下的预报判断，使高阶教学任务与天气学的专业思维方式相一致。

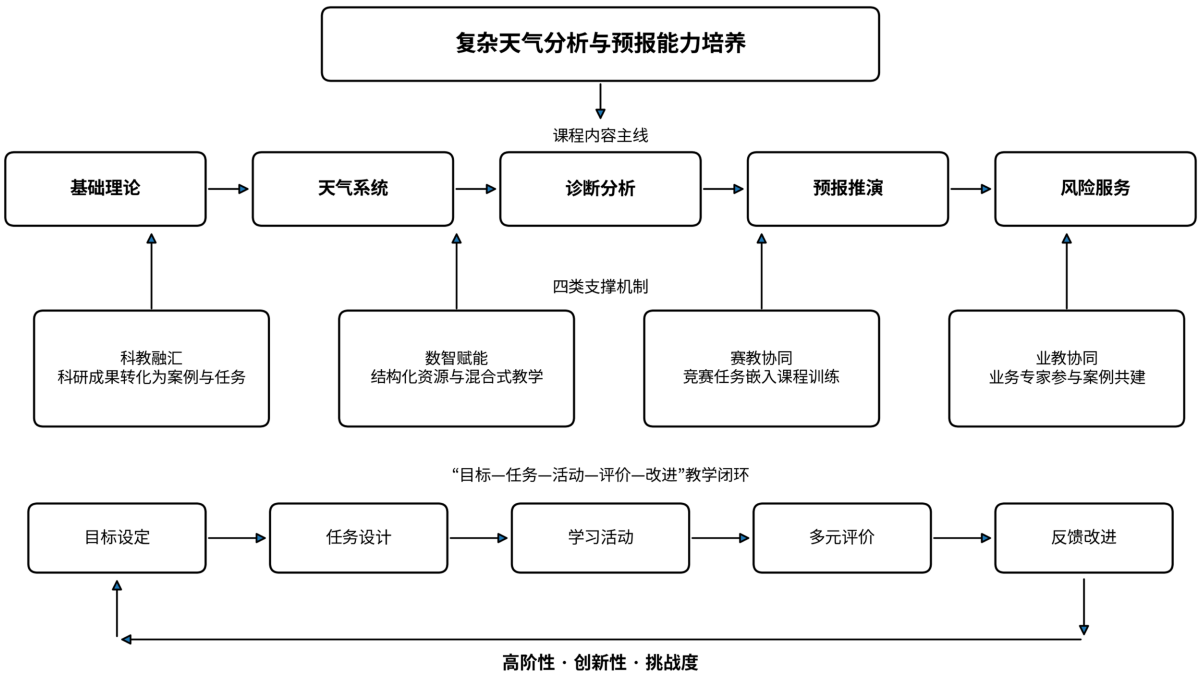


Figure 1. Overall framework for higher-order construction of the Principles of Synoptic Meteorology course
图 1. 《天气学原理》高阶课程建设总体框架

3.2. 总体框架

课程建设总体框架如图 1 所示。顶层目标是复杂天气分析与预报能力培养；内容层以“基础理论－天气系统－诊断分析－预报推演－风险服务”为主线，使学生经历从原理理解到业务化表达的连续过程；支撑层由科教融汇、数智赋能、赛教协同和业教协同构成；运行层按照“目标设定－任务设计－学习活动－多元评价－反馈改进”形成闭环。该框架强调任何数字技术或案例资源都必须服务于明确的能力产出，避免出现资源丰富但学习任务松散、课堂活跃但证据链不足的问题。

4. 高阶课程建设内容与实施路径

4.1. 围绕能力产出重构教学内容

内容重构遵循“基础不弱化、前沿有分层、案例能贯通、任务可评价”的原则。课程不以增加知识点数量为目标，而是围绕学生完成复杂天气分析所需的认知步骤，将原有内容重组为五个相互衔接的模块。每个模块均配置可观察的高阶任务和能力产出，使知识点成为完成任务的工具，而非孤立的教学终点。具体设计见表 1。

Table 1. Reconstructed teaching modules, higher-order tasks, and competency outcomes
表 1. 教学模块、高阶任务与能力产出重构

教学模块	核心内容	典型高阶任务	主要能力产出
基础理论与尺度认知	大气运动基本规律、天气尺度近似、涡度与散度、垂直运动和急流等基础理论。	比较不同尺度和近似条件下同一天气现象的主导过程，说明所用理论的适用边界。	尺度意识、理论判断、规范推理。
典型天气系统综合	锋面、气旋、急流、副热带高压、高原及西南地区典型天气系统。	依据多层天气图追踪系统发生发展，识别系统间配置关系并形成综合天气形势判断。	系统识别、时空演变分析、综合归纳。
复杂天气诊断	暴雨、强对流、寒潮等灾害天气及西南复杂地形调制过程。	利用动力、热力、水汽和地形证据构建机制链，解释落区、强度和时段差异。	资料诊断、证据论证、机制解释。
预报推演与会商	卫星、雷达、站点、再分析和数值预报资料的综合使用与预报检验。	团队完成形势研判、关键因子识别、预报结论和不确定性说明，并开展过程复盘。	预报思维、决策表达、协作沟通。
智慧气象与风险服务	多源资料融合、人工智能辅助分析、航空与低空气象服务及风险信息转化。	评价智能产品的适用性与局限，将天气结论转化为面向特定场景的风险提示。	数字素养、交叉应用、专业责任。

4.2. 实施“案例牵引－问题导向－任务驱动”的混合式教学

高阶课程的课堂组织以完整天气过程为载体，而不是在理论讲授结束后附加一个案例。课程组将每个核心案例加工为“背景资料－驱动问题－分层任务－数据包－评价量规－延伸阅读”六类资源，并按照课前、课中和课后组织学习。课前，学生利用微课、天气图和背景资料完成系统识别及初步假设；课中，教师围绕关键矛盾设置递进问题，学生分组调取多源证据、修正机制解释并开展预报会商；课后，学生对照实况与业务预报进行检验，提交结构化案例报告和反思记录。

以西南复杂地形暴雨案例为例，任务可依次设置为：识别大尺度环流和低层水汽输送；判断西南涡、低空急流与地形抬升的配置；分析不稳定条件、动力辐合及其时空演变；提出降水落区、强度和时段的预报判断；根据实况偏差解释预报不确定性。该任务链把锋面、气旋、急流、垂直运动和水汽条件等跨章节知识重新组织到同一问题中，既保留理论训练的严谨性，又提高知识迁移和综合应用难度。

线上线下融合的关键不在于简单分配视频和课堂时长，而在于明确两类空间的功能差异。线上环节主要承担基础知识自测、资料熟悉、个性化补缺和延伸阅读；线下课堂集中用于证据比较、争议讨论、教师追问和团队决策。通过把低阶信息获取前移，把综合判断和高质量互动留在课堂，可减少重复讲授，为高阶任务提供必要时间。该设计与相关气象课程及跨学科课程研究中强调的“线上自主－线下互动－实践应用”功能分工相一致[6] [9] [11] [16]。

4.3. 建立科研成果向本科教学转化的分层机制

科教融汇是本课程保持前沿性的重要来源。课程团队围绕极端降水、中尺度对流系统、灾害天气形成机制和天气动力学形成了较丰富的科研成果与区域案例，可转化为课堂中的数据、图像、问题和开放任务。但科研反哺教学不能等同于直接压缩科研论文。为控制认知负荷，本文采用“基础概念－核心原理－应用案例－开放探究”四级转化：基础概念用于补齐先修知识，核心原理突出能够解释案例的关键机制，应用案例提供可操作的数据证据，开放探究则面向学有余力的学生设置文献阅读、参数敏感性比较或小型研究任务。

前沿内容的选择坚持三个标准：一是与课程核心理论存在清晰连接，二是能够转化为学生可完成的任务，三是能够体现现代天气分析的真实方法。例如，多源资料融合应服务于同一天气问题的交叉验证，人工智能内容应强调产品判读、适用条件和误差意识，而非仅展示算法名词。这种分层策略可缓解“前沿内容过深”与“课程内容滞后”之间的张力，并与科研项目驱动和研究型课程改革中强调的“科研问题教学化、复杂任务分层化”思路相一致[7] [8]。

4.4. 建设结构化数字资源并深化业教协同

数字资源建设围绕学习任务形成结构化资源包，包括修订后的教学大纲与教学日历、知识结构图、微课视频、典型天气过程案例、标准化数据包、问题链、作业题库、评价量规和拓展文献。资源在学校平台和开放课程平台分层发布，学生可按“知识点－天气系统－案例任务－能力目标”进行检索，避免课件、视频和数据彼此分散。对于容易混淆或前后依赖明显的知识，可利用知识关联图、虚拟仿真或智能问答提供导航，但所有生成式人工智能输出均需经过教师审核，并要求学生说明证据来源和判断过程。相关研究表明，数字工具只有与明确任务、过程监管和教师反馈结合，才能真正服务于理解和能力培养[12] [13]。

业教协同主要通过联合备课、案例共建、专题讲座和业务点评实现。校内教师负责理论主线与教学难度控制，科研骨干负责前沿成果和数据转化，业务专家负责预报流程、产品使用和决策情境。在关键案例中引入业务专家对学生会商结论进行点评，可使学生理解科研解释与业务时效、风险容忍和服务对象之间的差异。与此同时，课程任务可与大学生创新创业训练、天气预报技能竞赛和科研导师制衔接，形成“课程学习－项目训练－竞赛提升－科研探索”的递进路径[7] [10] [16]。

4.5. 构建多元评价与持续改进机制

评价体系由平时表现、案例分析、阶段任务和综合考核共同构成，重点评价学生能否完成高质量学习产出，而不是简单累加活动次数。课程组为案例报告和会商任务设置统一量规，核心维度包括：天气

系统识别是否准确，数据证据是否充分，物理机制是否连贯，预报结论是否与证据一致，不确定性是否得到合理表达，团队分工和交流是否有效。闭卷或限时考核仍用于检验基本理论，但综合题应以新情境资料为主，要求学生迁移知识而非复现课堂案例。相关 OBE 达成度与形成性评价研究也强调，评价项目应与课程目标逐一映射，并兼顾直接证据、过程表现和综合应用[5] [14] [15]。

持续改进以学习产出证据为依据。每轮教学结束后，课程组汇总各能力维度得分、典型错误、平台学习记录、学生问卷和访谈意见，分析目标、任务、资源和评价之间是否一致。若学生在系统识别方面表现良好而机制解释薄弱，应调整问题链和诊断资料；若任务难度过高导致大量学生停留在资料描述，则需增加脚手架或分层任务；若案例结论过于单一，则应引入多方案比较和不确定性讨论。通过“证据诊断－集体备课－方案修订－再次实施”的循环，使课程改革从一次性建设转向可持续运行。

5. 建设基础、阶段性产出与效果评估设计

5.1. 建设基础与阶段性产出

现有建设为高阶课程实施提供了较强保障。课程已形成省级一流本科课程和精品在线开放课程基础，具备较系统的教学大纲、课件、作业、试题和案例资源；学院实验平台能够支持多源资料显示、天气分析和预报会商。项目负责人近五年承担多门天气学相关课程教学，教学质量综合评价 7 次中 6 次优秀、1 次良好，并在教师教学创新、教学质量和多媒体课件等方面获得校院级奖励。课程团队具有一流课程、课程思政、知识图谱和混合式教学项目经验，可为本项目的教学设计、资源开发和评价实施提供支撑。

前期人才培养已形成“课程教学－科研训练－竞赛实践”相互促进的基础。项目负责人指导本科毕业论文 20 余人次、大学生创新创业项目多项，学生在气象科技创新创业和安全应急创新实践竞赛中获得国家级和省级奖励。这些成果不能直接等同于本轮高阶课程的教学效果，但说明团队具备组织真实任务、指导学生完成开放性项目和开展协同育人的能力。基于此，项目阶段性目标包括形成 1 套高阶课程建设方案与课程标准、1 套结构化数字教学资源包、若干区域特色案例及过程评价工具，并完成至少 1 个教学周期的实施与修订。

5.2. 课程效果的证据化评估方案

由于高阶课程建设尚处于持续实施阶段，本文不以定性反馈替代效果证据，而是设计多源评估方案。首先，在课程开始和结束时设置难度等值的复杂天气分析任务，比较学生在系统识别、证据使用、机制解释和预报表达等维度的变化；其次，对案例报告、会商记录和综合考核进行量规评分，追踪不同能力维度的达成度；再次，利用平台日志分析资源使用与任务完成过程，并通过匿名问卷和半结构访谈了解学生对任务难度、学习支持和认知负荷的体验。该方案遵循形成性评价中“多源证据收集－解释反馈－教学调整”的基本逻辑[14] [15]。

在条件允许时，可对不同学年采用同一评价量规进行纵向比较，或在平行班级中比较不同教学组织方式，但应控制教师、考核难度和生源差异。评估结果既用于判断课程改革是否改善复杂问题解决能力，也用于识别未达成目标及其原因。特别需要避免仅以课程满意度、竞赛获奖或平均分上升作为成效结论，因为这些指标容易受到选择效应和任务难度变化影响。只有当课程目标达成度、任务作品、过程数据和学习体验等多类证据在方向上相互支持时，才能对改革效果作出较稳健判断[5]。

为提高评价方案的可操作性，课程组目前已选择“复杂天气诊断”和“预报推演与会商”两个相互衔接的教学模块开展小规模试点，并以西南复杂地形暴雨过程作为贯穿性案例(具体案例设计等细节参见补充材料中的教学案例包，任务设计与评价量规分别见补充材料附表 1 和附表 2)。试点教学遵循“课前独立诊断－课堂证据研讨－预报推演－结果检验”的组织方式。课前，学生依据给定的天气图和观测资

料完成初步天气形势分析；课中，通过分组讨论识别关键天气系统，综合分析动力、热力、水汽及地形条件，并在限定资料和预报时效下形成预报判断；课后，对照后续实况开展预报检验，分析判断偏差及其可能原因，形成完整的案例分析报告。

分析发现，学生前后测综合成绩由 63.3 分变化至 76.4 分(表 2)。从学习过程看，模拟数据中的课前任务完成率、课堂有效讨论参与率以及案例报告质量指标均有所改善。这些变化可作为学生学习参与情况的辅助评价依据，但其与高阶能力提升之间的关系仍需结合学生具体作品和访谈资料进行分析。

Table 2. Pre- and post-intervention assessment results of students' higher-order competencies in the teaching pilot (all dimensions scored on a 100-point scale)
表 2. 试点教学前后学生高阶能力测评结果(各维度均采用百分制评分)

评价维度	前测(均值 ± 标准差)	后测(均值 ± 标准差)	均值变化
天气系统识别	72.4 ± 11.6	81.3 ± 9.8	+8.9
数据证据使用	65.8 ± 12.4	78.5 ± 10.6	+12.7
物理机制解释	61.2 ± 13.1	75.6 ± 11.4	+14.4
预报推演能力	59.7 ± 12.8	73.8 ± 11.7	+14.1
不确定性表达	55.6 ± 14.2	69.4 ± 12.6	+13.8

5.3. 可能的局限与后续改进

尽管本研究提出了较为系统的高阶课程建设路径，但其有效实施仍受到教师能力、教学资源、学生基础及外部协同条件等多方面因素制约。因此，课程改革不仅需要关注教学设计的先进性，还应充分考虑实际教学环境中的可操作性和可持续性。

首先，高阶课程对教师的综合教学能力提出了更高要求。传统理论教学主要强调知识讲授和概念解释，而案例牵引式教学还要求教师具备多源气象资料分析、真实天气过程诊断、开放性问题设计和过程评价等能力。特别是在复杂天气案例中，教师既要保证动力、热力等基本原理的科学准确性，又要合理控制本科教学的知识深度，避免直接将科研分析过程移植到课堂。对此，可通过课程组集体备课、典型案例联合开发、教学观摩和业务专家参与点评等方式，逐步形成相对稳定的高阶教学任务及评价标准，降低改革对个别教师经验的依赖。

其次，真实天气案例和数字资源建设需要持续投入。随着观测和数值预报资料不断更新，部分案例可能出现资料来源变化、产品版本调整或诊断方法不再适用等问题。如果所有案例均由教师独立从头开发，容易增加备课负担，影响改革的持续推进。因此，应坚持“核心案例稳定、扩展案例动态更新”的原则，优先建设少量能够贯通多个知识模块的典型案例，并对天气背景、数据资源、问题链、分析模板和评价量规进行标准化整理。通过模块化维护和年度复盘，逐步形成可复用、可更新的课程案例库。

再次，学生先修知识与数据分析能力的差异可能影响高阶任务的实施效果。《天气学原理》涉及大气动力学、热力学和天气图分析等多方面知识，部分学生能够较快进入综合诊断阶段，而另一些学生可能仍停留在基本概念理解和图像识别层面。若直接设置难度较高的开放性任务，容易造成学习负荷过重或组内任务参与不均。对此，可采用分层任务与渐进式教学支持相结合的方式，在基础阶段提供必要的变量解释、标准天气图及资料处理模板，在进阶阶段逐步减少提示，增加多源证据比较和独立预报判断要求。同时，通过个人阶段报告、组内分工记录和统一量规评价，兼顾团队协作与个体能力发展。

此外，校内外协同育人机制也存在一定的不确定性。业务专家的参与受到业务工作安排、重大天气

过程和时间条件等因素影响，若教学活动过度依赖外部专家的实时参与，可能影响课程进度和教学连续性。因此，业教协同宜采用“常态化案例共建与关键环节专题参与”相结合的方式，由校内教师承担日常教学组织和主要评价任务，业务专家重点参与案例审核、预报会商点评和典型业务问题研讨，并通过录制点评、远程交流及案例资料共享等方式提高参与的灵活性。

最后，数字技术和人工智能的应用应服从天气学基本原理与证据推理要求。智能工具虽然能够辅助资料处理、知识检索和图像展示，但也可能带来信息失真、解释错误及学生过度依赖等问题。课程教学应要求学生明确区分原始观测、诊断计算和智能生成内容，对关键结论进行独立核验，并保留必要的分析过程记录，防止将智能工具生成的结论直接作为天气诊断或预报判断的依据。

总体而言，高阶课程建设宜采取分模块试点、逐步扩展的实施策略，优先选择教学条件较成熟、知识关联较明确的案例开展实践，在资源投入、学生表现和教师反馈的基础上持续优化。该路径对其他气象类课程具有一定参考意义，但具体实施仍需根据课程学时、学生先修基础、师资条件和资料平台能力进行适应性调整，其教学效果和推广适用性尚有待后续实证检验。

6. 结论

面向复杂天气分析与预报能力培养，《天气学原理》高阶课程建设需要从知识体系、学习任务、教学资源和评价方式的整体一致性出发，而不能停留在增加案例或叠加数字工具。本文构建了以“基础理论－天气系统－诊断分析－预报推演－风险服务”为主线的课程框架，提出案例牵引、问题导向、任务驱动的混合式教学，建立科研成果分层转化、结构化数字资源、业教协同和多元评价机制。

该路径的核心是把真实天气问题转化为可学习、可评价、可迭代的高阶任务，使学生在使用理论解释现象、利用数据形成证据、面对不确定性提出判断的过程中发展预报思维。现有课程平台、案例积累、教师团队和协同育人基础为实施提供了保障，但改革成效仍需通过前后测任务、量规评分、学习过程数据和学生访谈等多源证据加以检验。通过持续改进，可逐步形成具有区域特色、业务导向和示范价值的气象类核心课程建设范式。

基金项目

本文受到成都信息工程大学本科教育教学研究与改革项目暨本科教学工程项目 JYJG2026017 (面向复杂天气分析与预报能力培养的《天气学原理》高阶课程建设)和 JYJG2025058 共同资助。

参考文献

[1] 吴岩. 建设中国“金课” [J]. 中国大学教学, 2018(12): 4-9.

[2] 教育部等九部门关于加快推进教育数字化的意见[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/202504/t20250416_1187476.html, 2025-04-15.

[3] 于珊珊, 赵越, 黄子晏, 汤旭, 蔚晨. 基于 OBE 理念的“应用统计学”课程教学改革研究[J]. 创新教育研究, 2024, 12(1): 74-78.

[4] 柯晶琳. “OBE 理念 + 课程思政”双向融入《市场调查与预测》课程的教学改革设计[J]. 创新教育研究, 2025, 13(9): 213-220.

[5] 闵力, 阮娟. 基于 OBE 理念的高校课程目标达成度评价体系构建与实践[J]. 创新教育研究, 2026, 14(3): 53-60.

[6] 罗菲菲. 《气象统计分析与预报方法》课程教学改革研究: 基于混合式教学与 OBE 理念的探索[J]. 教育进展, 2025, 15(9): 146-152.

[7] 姜志宏, 曾文韬, 熊七, 官子康, 罗小燕, 陈慧明, 陈树鑫. 科研项目驱动下本科课程教学改革创新研究[J]. 创新教育研究, 2024, 12(3): 6-12.

[8] 安丽平. 新文科背景下研究型课程教学改革与实践[J]. 创新教育研究, 2024, 12(11): 618-626.

[9] 李静, 李娜, 许建雄. 混合式教学在高校课程中的教学改革实践与探索[J]. 创新教育研究, 2025, 13(5): 373-380.

[10] 宋文凤, 侯霞. Java Web 项目实践课教学改革探索与实践——“知识-能力-素质”三位一体教学方法[J]. 创新教育研究, 2024, 12(10): 463-467.

[11] 娄宏君, 马佳鑫, 李琛, 高曦. 基于 BOPPPS 教学模式的诊断学课程教学设计与实施策略探究[J]. 创新教育研究, 2025, 13(6): 109-115.

[12] 戎新萍, 徐海璐, 季春天. 基于虚拟仿真实验的教学改革与实践——以机器人技术课程为例[J]. 教育进展, 2024, 14(10): 79-84.

[13] 曹国刚, 张蕊, 张裕, 马海峰, 陈颖. 生成式人工智能赋能电子信息研究生课程教学改革[J]. 创新教育研究, 2026, 14(4): 215-224.

[14] 姚梅, 胡小青. 形成性评估的证据收集与解释反馈[J]. 教育进展, 2024, 14(2): 1154-1160.

[15] 袁义, 文鸿, 唐黎黎, 刘强. 形成性评价在计算机类课程教学中的应用[J]. 教育进展, 2024, 14(10): 1308-1313.

[16] 刘惠中, 曾聪. “实践 + 课堂”的研究生教学改革研究——以《选矿装备与控制》为例[J]. 创新教育研究, 2025, 13(2): 365-370.

补充材料

教学案例包

以西南复杂地形暴雨为例，课程教学以一次具有较明显地形影响和多尺度天气系统相互作用特征的实际降水过程为载体，将天气形势分析、物理机制诊断和预报推演组织为连续的学习任务。与传统教学中分别讲授低空急流、西南涡、垂直运动和水汽输送等知识点不同，该案例首先向学生呈现暴雨过程发生前的天气形势及相关预报资料，要求学生回答“强降水可能发生在哪里、何时发生以及判断依据是什么”等综合性问题，再引导学生调用相关理论进行分析。

教学过程按照“天气系统识别–关键物理过程诊断–预报判断–结果检验”的顺序展开。首先，利用不同高度的天气图识别主要环流系统及其配置关系，建立对天气过程的整体认识；其次，综合低层水汽输送、辐合抬升、大气稳定度和地形条件，分析强降水形成的有利环境及其时空变化；再次，综合多源资料提出降水落区、发生时段和强度的预报判断，并说明相应证据和不确定性；最后，通过与实况资料对照，分析预报偏差及其可能原因。

Table S1. Design of case-based teaching tasks
附表 1. 案例教学任务设计表

教学阶段	核心引导问题	学生主要任务及产出
天气形势识别	暴雨发生前存在哪些主要天气系统？相互之间如何配置？	分析 500、700、850 hPa 等环流场，形成天气形势概念图
动力与水汽诊断	强降水的水汽条件与抬升条件是什么？二者在时空上是否匹配？	分析水汽输送、辐合、垂直运动等资料，构建机制解释链
地形作用分析	地形对降水落区和发生时段可能产生什么影响？	结合地形和风场判断迎风抬升、地形阻挡等可能作用，说明证据边界
预报推演	强降水最可能发生在哪里、何时发生？主要不确定性是什么？	提出预报结论，进行分组会商与证据辩论
检验与反思	预报与实况有哪些差异？哪些判断得到支持，哪些需要修正？	完成预报检验、偏差分析和个人反思报告

Table S2. Assessment rubric for complex weather analysis and forecasting cases
附表 2. 复杂天气分析与预报案例评价量规

评价维度	权重	核心引导问题
天气系统识别	20%	准确识别主要天气系统，合理说明其配置关系及演变
数据证据使用	20%	综合多源资料，正确说明证据支持的结论及资料局限
物理机制解释	25%	构建逻辑连贯的动力、热力、水汽及地形作用解释链，避免将相关性直接解释为因果关系
预报推演能力	25%	提出明确的落区、时段或强度判断，论证充分，并合理处理相互矛盾的预报信息
不确定性表达	10%	识别主要不确定性来源，结合检验结果解释偏差并提出修正方向

在教学实施中，教师不直接给出标准化的天气过程解释，而是通过递进式问题引导学生识别不同资料之间的一致性与差异，区分观测事实、物理推断与预报判断。例如，低层水汽输送增强是否必然导致局地强降水，地形抬升在不同环流背景下是否具有相同作用，以及不同预报产品出现分歧时应如何作出判断等。通过上述训练，使学生由单一天气图判读逐步过渡到多证据综合诊断，并理解天气预报不仅需要识别有利条件，还需要评估天气系统演变及其不确定性。