

以极端灾害性天气案例为驱动的高等天气学 教学实践改革

白爱娟, 陈 栋

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年9月23日; 录用日期: 2026年10月20日; 发布日期: 2026年10月27日

摘 要

高等天气学是大气科学硕士研究生的核心学位课程, 具有理论深度大、学科交叉性强、与实际天气过程联系紧密的特点, 在研究生学术素养与科研能力培养中承担着关键作用。针对当前高等天气学教学中存在的教学内容与学科前沿脱节、科教融合度不足、研究生科研能力训练较少等问题, 本文立足研究生教育的研究性本质, 提出以最新极端灾害性天气事件为驱动、以多源观测数据分析和行业复盘成果为支撑的研究生教学改革路径。以2025年7月23日华北地区极端暴雨及2026年全球破纪录高温热浪为典型案例, 从研究生教育和科研能力培养视角出发, 系统设计了“文献研读 - 问题凝练 - 诊断分析 - 理论建构 - 实践培养”的全链条研究生教学模式, 并配套构建了递进式教学实验与探究型课后训练体系, 旨在实现从“知识传授”向“实践能力建构”的研究生教育范式转换。

关键词

高等天气学, 研究生教育, 极端灾害性天气, 天气案例, 实验

Teaching Practice Reform of Advanced Synoptic Meteorology Driven by Extreme Disaster Weather Cases

Aijuan Bai, Dong Chen

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: September 23, 2026; accepted: October 20, 2026; published: October 27, 2026

Abstract

Advanced Synoptic Meteorology is a core degree course for master's students in atmospheric

文章引用: 白爱娟, 陈栋. 以极端灾害性天气案例为驱动的高等天气学教学实践改革[J]. 教育进展, 2026, 16(10): 1899-1907. DOI: 10.12677/ae.2026.16102301

science, characterized by profound theoretical depth, strong interdisciplinary nature, and close connection with actual weather processes. It plays a key role in cultivating graduate students' academic literacy and research capabilities. To address the current problems in Advanced Synoptic Meteorology teaching, including the disconnection between teaching content and disciplinary frontiers, superficial integration of research and education, and insufficient training in graduate students' scientific thinking, this paper, grounded in the research-oriented nature of graduate education, proposes a teaching reform pathway driven by the latest extreme disaster weather events and supported by multi-source observational data analysis and operational post-event review results. Taking the extreme rainstorm over North China at July 23 2025 and the 2026 global record-breaking heatwaves as typical cases, and from the perspective of cultivating graduate students' research capabilities, this paper systematically designs a full-chain graduate teaching model of "literature review - problem formulation - diagnostic analysis - theoretical construction - practical training", and constructs a corresponding progressive teaching experiment and inquiry-based after-class training system. The aim is to achieve a paradigm shift in graduate education from "knowledge transmission" to "practical competence construction".

Keywords

Advanced Synoptic Meteorology, Graduate Education, Extreme Disaster Weather, Weather Cases, Experiments

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

研究生教育肩负着高层次人才培养和创新创造的重要使命,是国家发展、社会进步的重要基石。高等天气学作为大气科学专业硕士研究生的必修课,在气象学本科天气学原理、动力气象学和大气物理等课程基础上,拓展多天气尺度动力学、锋面与气旋理论、中小尺度气象学和热带季风环流等核心议题,是衔接基础理论与前沿科学研究的关键环节[1]。该课程的教学质量直接关系到研究生能否完成从“知识学习者”到“科学研究者”,最后到“业务应用者”的角色转换。

近年来,极端灾害性天气事件频发,且强度屡创新高,全国各地频繁遭遇到多次前所未有的极端灾害性天气,如:2021年7月21日以河南为中心的华北地区极端暴雨,以及2025年7月24日以北京为主的华北地区极端强降水事件。2025年7月23日华北地区的降水强度约为气候平均值的1.5倍,遭受极端强暴雨影响的地区面积约为气候平均值的4倍,河北易县最大过程雨量达605.8 mm,北京密云水库遭遇自1959年建成以来最大入库流量[2]。已有研究表明,这次极端强降水过程是在西太平洋副热带高压异常偏北与台风“竹节草”协同驱动下,两者形成的强气压梯度触发了低空急流,并与高层辐散形成有效耦合[3]。科学研究表明,2025年极端降水的非线性项贡献率达33%,相当于1979年以来最强的七次华北极端降水事件平均贡献(16%)的两倍,凸显出极端降水过程中,超高效的动力-热力耦合过程[4]。2026年7月,全球多地拉响高温警报,世界气象组织报告2026年7月至9月进入厄尔尼诺状态,在7月迅速发展为强厄尔尼诺事件,10至12月出现强厄尔尼诺的概率高达81%,其强度或跻身1950年以来最强之列[5]。

多次极端天气事件发生发展,迫切需要深化对极端天气形成机制的认知,以及提高对上述强降水和极端热浪的监测和预警技术,因此行业的需求迫使对研究生高等天气学课程的教学内容更新,并且对研

究生能力培养提出了更高要求。于此, 当前高等天气学研究生教学, 形成了三重结构性的矛盾: 其一, 其教学内容的经典性与学科前沿的快速演进之间的矛盾, 极端天气的发生超越了课程原有的经典性内容, 难以用经典的理论来解释其极端性的形成; 其二, 教学方式的讲授性与研究生教育的探索性之间的矛盾, 已有教学以课堂讲授为主, 且关注理论研究。但近年来多发的极端灾害性天气, 需要在教学中增加天气分析的实践本领, 提高课堂研究性和实践性; 其三, 课程教学的阶段性与科研能力培养的连续性之间的矛盾, 需要将对极端天气的深入分析研究, 循序渐进地推进到阶段性教学中。

在此以 2025 年 7 月 24 日华北地区的极端暴雨及 2026 年 7 月全球极端高温热浪为典型案例, 提出以最新极端灾害性天气事件的多源观测分析与行业复盘成果为载体, 从研究生科研能力培养视角出发, 将最新的极端灾害性天气研究成果融入到教学实践中, 丰富高等天气学的教学内容, 提高教学方法, 并完善教学体系, 切实推进研究生教育改革。

2. 典型案例一: 2025 年 7 月 23 日华北地区极端暴雨的教学实践

2.1. 雨情概述

2025 年 7 月 23 日至 29 日, 华北地区经历了一次历史罕见的极端暴雨事件, 其持续时间、影响范围和降水强度均突破了多个历史纪录, 被列为 2025 年全国十大暴雨事件之首。这次区域性暴雨过程累计雨量普遍超过 100 毫米, 核心区域达 250 毫米以上。河北承德兴隆县六道河站录得 650.2 毫米的过程最大雨量, 保定易县 24 小时降水量最高达 362.6 毫米, 多地日降水量突破历史极值北京密云郎房峪也达到了 574.3 毫米。这次强降水覆盖陕西、山西、河北、北京、天津、内蒙古中东部等地, 100 毫米以上覆盖面积达 30.48 万平方公里。仅京津冀晋四地就有 89.4 万人次受灾, 造成人员伤亡和超 130 亿元的直接经济损失。降水呈现罕见的“双雨带、多中心”分布格局, 北侧为锋面雨带, 南侧为暖区暴雨带。这次过程持续时间长达 7 天, 并伴有显著的夜雨和对流特征。

2.2. 形成机制分析

分析 2025 年 7 月 23 日至 29 日华北的大暴雨过程, 发现异常稳定的大气环流是这次暴雨的根本原因。西太平洋副热带高压异常偏强、偏北且稳定少动, 其西部边缘的强盛西南气流成为暴雨区输送水汽。中高纬度的平直锋区西风带短波槽活动频繁, 冷暖空气在华北地区持续交汇, 为强降水提供了持续的抬升条件。台风“范斯高”、“竹节草”等热带系统活跃, 与副高外围的西南气流一起, 形成了远距离水汽接力输送, 建立起两条稳定的水汽通道, 为两条雨带提供了源源不断的水汽。多个 β 中尺度对流云团在相同区域反复生成并移过, 导致短时强降水长时间维持。来自南方的暖湿气流在遇到太行山和燕山时, 被迫抬升, 加强了水汽凝结和降水效率, 这也是北京密云等山区出现极端降水中心的关键原因[2][3][6]。

此次极端暴雨过程受副热带高压较常年显著偏西、偏北、偏强的环流背景控制, 热带低压系统与异常偏北的副高外围气流叠加, 形成持续偏南风气流向北输送至华北地区, 为极端降水提供了充沛水汽。925、850 和 700 hPa 高度层的平均比湿分别达到 $14.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $12.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $7.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 均超过近十年来暴雨过程的平均水平。中国科学院大气物理研究所团队通过水汽收支分析与大气环流相似方法诊断发现, 该事件由历史最强的垂直运动与大气含水量共同驱动, 北抬的西太副高与台风“竹节草”协同构建了强气压梯度, 触发了低空急流并与高层辐散形成有效耦合[4]。

国家气象中心陈双等的研究进一步揭示了此次过程期间 3 个极端降水日: 7 月 24 日、25 日、27 日的中尺度对流系统, 其在初生、组织和传播机制上存在显著差异。在 7 月 24 日, 天气尺度强迫最为显著, 强盛深厚的低空急流与地形抬升在对流沿山前触发及后向传播中发挥了关键作用, 冷池出流形成的辐合锋区在系统组织化中起到重要作用。7 月 25 日, 在副热带高压控制下低空急流范围和厚度减小, 地形抬

升成为主导触发和增强机制, 伴有类中气旋的涡旋结构, 导致最强局地小时雨强。7月27日, 天气尺度强迫最弱, 边界层偏东气流以及低层弱辐合线触发对流, 山区冷池与平原暖脊形成的中尺度锋区为后向传播提供了有利条件[2]。

2.3. 实验目的分析

针对2025年7月23日至29日华北区域性极端暴雨事件, 在研究生高等天气学课堂中, 建立教学实验, 以帮助学生掌握, 利用再分析资料开展极端降水环流背景诊断的基本方法。实验设计可参考南京信息工程大学“飑线预警虚拟仿真实验”国家级一流课程的经验[7], 将多源观测数据与气象部门业务规范融入仿真实验系统, 实现了灾害天气环流背景分析与预警产品制作的全流程训练。成都信息工程大学亦构建了暴雨天气过程模拟、典型强对流等虚拟仿真实验资源, 解决了极端暴雨天气高风险和不可及的教学难题。

2.4. 实验方案设计

① 常规数据分析

下载并处理2025年7月23日至29日华北暴雨期间的ERA5逐小时再分析资料, 包括: 位势高度、风场、比湿、温度等; 北京探空站观测数据。绘制500 hPa位势高度场和距平场, 识别副热带高压的形态, 及其与西风槽位置关系。计算925 hPa、850 hPa和700 hPa比湿平均值, 与近10年暴雨过程平均水平对比; 绘制整层水汽通量及水汽通量散度图, 定位水汽辐合中心。同时计算探空站的对流有效位能CAPE、K指数和抬升指数等大气稳定度参数, 分析环境条件演变对暴雨的贡献作用。

② 雷达回波特征与降水阶段划分

掌握利用雷达资料识别中尺度对流系统特征与降水阶段划分方法。分析北京地区雷达组合反射率因子的拼图; 逐小时自动站的降水观测资料。绘制过程累计降水量的空间分布图, 识别强降水的中心位置, 及其与特殊地形的关系; 追踪雷达回波的演变, 将降水云发展过程划分为初生、发展、成熟和消亡四个阶段。

重点从雷达回波上分析降水云初生和发展阶段的对流触发机制, 关注雷达回波上“列车效应”和单体合并等特殊现象对强降水形成的影响, 识别强回波移动方向和移动路径的变化, 以及回波变化与降水增强和持续的关系; 对比强暴雨过程中的对流成熟和消亡阶段的回波形态差异, 讨论不同降水阶段雷达回波的可识别特征, 为强降水的判识提供依据。

③ 地形对极端降水增幅作用的敏感性分析

帮助研究生理解地形抬升、辐合等在极端强降水形成中的作用机制。利用北京地区数字高程数据, 以及不同海拔高度的自动站降水资料, 将自动站降水按海拔高度和地形坡度, 以及特殊地形等进行分类, 统计不同海拔区间和不同坡度和坡向的平均降水量与极端降水频率。

对比分析暴雨发展阶段, 强降水集中在海拔200~600 m, 以及成熟阶段暴雨中心集中在海拔300 m以下的原因, 讨论风场与地形配置, 对强降水落区的影响。结合边界层风场资料, 分析燕山山脉迎风坡, 以及与喇叭口地形辐合作用, 增强降水的效应。

3. 典型案年7月极端高温与强厄尔尼诺事件

3.1. 天气概述

2026年夏季, 受强厄尔尼诺事件与全球变暖双重影响, 全球多地经历破纪录高温热浪, 其中2026年7月的高温热浪是全球性的、极其严峻的极端气候事件, 多地气温突破历史极值。中国西北地区出现50℃

的极端高温, 四川盆地自 7 月 18 日起出现区域性高温天气, 有 81 站的最高气温超过 38℃, 45 站超过 40℃, 四川广安邻水站 24 日达到 43.4℃, 广元剑阁站突破历史极值, 达到 40.5℃ [8]。

3.2. 形成原因

2026 年夏季的极端高温事件, 由异常强大深厚的青藏高压主导, 高压从 500 hPa 高空至对流层顶, 覆盖整个四川盆地, 高压的下沉增温和辐射增温双重作用, 导致低空气温逐日攀升, 且持续了 10 天[5]。强厄尔尼诺的气候影响增强了高温事件。世界气象组织最新通报显示, 2026 年 7 至 9 月厄尔尼诺状态将迅速发展为强厄尔尼诺事件, 10 至 12 月出现强厄尔尼诺的概率高达 81%, 强度或跻身 1950 年以来最强之列[9]。美国“伯克利地球”机构气候科学家 Zeke Hausfather 指出[9], 多套气候模型预测显示此次厄尔尼诺峰值强度或将远超此前纪录, 差距“大到令人难以置信”, 叠加气候变化效应可能使 2027 年全球平均气温较工业化前水平升高 1.7℃ [8] [10]。国家气候中心首席预报员陈丽娟指出, “在更暖的气候背景下, 叠加强厄尔尼诺的作用, 使全球和区域高温记录变得更常见” [5]。

3.3. 实验目的分析

针对这次全国性极端高温热浪事件, 在研究生课堂中, 用真实的观测数据与天气分析工具, 训练学生像业务预报员一样诊断天气过程, 以帮助研究生掌握利用再分析资料, 开展极端高温事件诊断的基本方法。本实验以这次高温热浪为现实案例, 要求学生运用天气学诊断分析方法, 参考中国气象局培训中心的训练流程, 从环流配置、物理量场、热力学条件等多维度, 定量分析极端高温的形成机制。掌握天气图分析与物理量诊断的基本流程, 理解北半球阻塞高压和热穹顶的结构特征, 及其对极端高温的放大作用, 分析厄尔尼诺背景下副热带高压异常对区域高温的调控机制, 建立“环流异常-局地热力学条件改变-极端温度响应”的气候变化诊断思维。

3.4. 实验方案设计

实验目的: 分析厄尔尼诺发展年西太平洋副热带高压, 分析副热带高压的强度、位置异常, 诊断副热带高压异常如何改变东亚地区的水热输送格局, 理解厄尔尼诺“遥相关”导致区域高温热浪的天气学路径。

实验数据: ECMWF-ERA5 再分析资料, 包括逐日和逐 6 小时, 水平分辨率 0.25°或 1°的位势高度、气温、风场、垂直速度和比湿, 以及涡度和散度等物理量。国家气候中心逐日站点观测资料, 中国区域极端高温站次。NOAA-OISST 海温资料, 用于获取赤道中东太平洋的海温距平, 分析厄尔尼诺事件的发展过程和异常现象。

实验步骤:

① 关键区环流形势分析

下载 2026 年 7 月典型高温时段, 如 7 月 14~20 日的逐日 500 hPa 位势高场与距平场数据。绘制北半球中高纬度 30°N~70°N 的天气图, 标注阻塞高压中心的位置与强度, 以 5880 gpm 等值线为副热带高压位置和强度参考, 阻塞高压通常表现为闭合高压脊。识别北半球中高纬度的“Ω”型阻塞形势, 即欧洲上空为高压脊, 两侧为低压槽的位置变化, 获取 2026 年 7 月的典型环流配置。

② 关键区下沉运动诊断

计算 500 hPa 高度场的垂直速度场, 分析高压脊区是否存在系统性下沉运动。绘制沿阻塞高压中心的经向剖面图, 叠加位温或温度偏差, 用于分析对流层下沉增温的垂直结构。用干绝热的下沉增温率约 1℃/100 m, 估算阻塞高压区内下沉气柱的绝热增温强度。

③ 温度平流与地面增温诊断

计算 850 hPa 的温度平流场, 判断暖平流的来源与输送路径, 分析 2026 年欧洲高温的暖空气源于非洲北部, 由高压系统引导持续向北输送。分析地面感热通量与长波辐射净通量, 区分“平流增温”与“辐射增温”对高温热浪的相对贡献。

④ 热穹顶效应定量评估

热穹顶(Heat Dome)是对极端高温天气成因的形象化描述, 是指阻塞高压或副热带高压导致的持续高温现象。对“热穹顶”效应的高温过程进行定量诊断分析时, 参考王勇等的分析方法[11], 讨论不同物理因子对于 2026 年 7 月的极端高温事件的贡献作用, 对比阻塞高压控制区内、外的地面气温距平, 计算“热穹顶增温异常”的强度(单位: $^{\circ}\text{C}$), 统计高温持续日数与阻塞高压维持天数的相关性。

4. 极端天气案例驱动的教学

以上两个极端天气变化的案例承载了研究生教学功能, 覆盖高等天气学课程的核心目标, 在理论维度上, 可串联副热带高压动力学、低空急流理论、中尺度对流系统、台风-副高相互作用、阻塞高压, 以及热穹顶机制等核心知识点。在方法维度上, 以上极端天气案例, 涉及到气象学领域的多源观测资料与再分析资料的综合应用、天气图分析、物理量诊断、水汽收支分析和环流相似方法等研究思路。在能力培养维度上, 可训练研究生从天气现象识别、机理分析, 到气候归因与未来风险研判的完整科研思维链条, 能够为研究生理解“极端性天气”的本质提供绝佳的量化分析素材。

4.1. 教研融合的研究生课堂教学设计

围绕 2025 年 7 月 23 日极端暴雨和 2026 年夏季极端高温热浪的案例, 研究生课堂教学采用“基于研究的学习”模式, 以科学问题为驱动, 设计递进式“问题链”, 形成如下四个课段。

第一课段: 极端事件的环流背景分析

课前布置研读任务: 阅读吴珍珍等[6]对 25 年 7 月暴雨过程的大尺度环流特征的分析、陈双等[2]对中尺度对流演变差异的揭示, 以及 Gui 等[4]的气候视角研究成果。课堂采用“翻转 + 研讨”的模式, 要求研究生分组汇报各自对环流异常特征的诊断结果, 重点讨论副热带高压的异常和偏强偏北对水汽输送的贡献, 以及台风“竹节草”与副热带高压协同作用的动力学机制。教师适时地引入副热带高压的动力学、台风-西风带相互作用等理论, 引导研究生将具体分析上升为理论认知。

第二课段: 中尺度对流特征多样性分析

引导研究生对比分析 2025 年 7 月 24 日、25 日和 27 日三个极端降水日的中尺度对流系统差异。分析中思考以下问题: 为何 24 日形成最为广泛的强降水落区? 为何 25 日强降水最为局地, 却出现了最强小时雨强? 为何 27 日降水主要集中于山区? 通过以上对比分析, 引导研究生不仅要理解中尺度对流系统的多样性与复杂性, 更要体会“同一大尺度背景下, 中尺度过程可以产生截然不同的降水分布”这一中尺度气象上的核心科学认知。

第三课段: 极端事件到未来风险气候归因与预估

引入 Gui 等[4]的定量分析成果: 2026 年 7 月极端高温事件中垂直非线性项对降水的贡献达 33%, 是历史同类事件均值(16%)的两倍。历史环流形势合成分析显示, “台风-副热带高压”型环流配置在华北产生的降水量较气候态偏多约 28%。在变暖背景下, 该类环流型发生频率虽趋于减少, 但热力增湿效应将使降水强度增强约 23%。这一课段将研究生的视野从“本次事件成因”拓展到“此类事件在未来气候中的演化趋势”, 培养研究生“历史-现在-未来”的气候预测系统思维。

第四课段: 极端天气气候事件的拓展教学

极端强降水和高温热浪与气候系统响应分析。结合 2026 年全球破纪录高温与强厄尔尼诺事件, 引导研究生讨论: 厄尔尼诺如何作为“放大器”, 推高全球温度基准? 热穹顶的形成机制与阻塞高压有何关联? 高温与干旱、洪涝形成的复合极端事件, 对预报预警提出了哪些新挑战? 这一课段拓展了高等天气学课程的传统边界, 使研究生理解天气尺度过程与气候尺度变化的多重嵌套关系。

4.2. 将最新科研成果转化为研究性教学资源

融入极端天气学事件的高等天气学, 将最新科研成果的及时引入, 是该课程保持前沿性的关键。上述 2025 年 7 月暴雨的多篇研究论文, 在事件发生后半年内发表于《气象》《Advances in Atmospheric Sciences》《大气科学》等期刊上, 教学中需第一时间将这些最新成果引进到课堂, 转化成教学内容。转化策略包括:

论文精读与批判性讨论。选取代表性的研究论文, 要求研究生精读, 并撰写评议报告, 重点评价: 研究的科学问题是否有价值? 采用的方法, 如水汽收支诊断、环流相似方法, 以及卫星和雷达的临近监测是否恰当? 获取的结论是否被数据充分支持? 通过批判性文献阅读, 训练研究生的科学家分析能力。

研究方法的重现与验证。引导研究生复盘论文中的部分分析工作, 例如: 自行绘制水汽通量图与论文中原图对比验证, 或者利用 ERA5 再分析资料, 重复计算垂直非线性项的贡献率, 检验获取结论的稳健性, 拓展成果在其它极端天气事件中的应用。这一训练使研究生理解“科学研究是可检验、可重复的”, 同时掌握水汽收支和动力诊断分析等重要的天气学研究工具。

5. 以最新极端事件数据为支撑的递进式教学实验

5.1. 验证型实验内容

实验数据:

以 2025 年 7 月 23~29 日极端暴雨过程为例, 进行环流背景与物理量诊断分析。数据包括: ERA5 逐小时再分析资料; 北京探空站观测资料; 自动站降水资料。

实验任务: 要求研究生独立下载并处理 ERA5 再分析资料, 绘制 500 hPa 等多个高度的位势高度场和距平场, 识别副热带高压形态与西风带低槽位置, 与已完成论文的图形进行对比验证;

计算 925、850 和 700 hPa 的平均比湿, 与最近年其它暴雨过程平均值进行对比, 量化水汽条件的极端性和水汽输送的特殊性, 绘制整层水汽通量及水汽通量散度等图, 定位水汽输送通道和水汽辐合中心; 计算垂直非线性项对降水的贡献率, 与 Gui 等[4] (2026)的结果进行对比验证。

实验关键: 要求研究生自行查阅文献, 确定计算方法, 独立编写数据处理代码, 发现计算结果与论文的差异, 并分析差异形成的原因。

5.2. 综合探究型实验

分析 2025 年 7 月 23~29 日极端暴雨过程的中尺度对流演变特征。

实验数据: 华北地区天气雷达的基数据和产品, 如组合反射率因子的雷达拼图, 结合地面逐小时自动站降水观测资料, 以及 ERA5 再分析资料的环流形势、水汽条件和大气不稳定性分析。

实验任务: 基于雷达资料对 7 月 24 日、25 日、27 日 3 个极端降水日分别进行对流中尺度演变分析, 识别各日的对流初生位置、组织形态和传播方向;

对比分析 3 日降水落区差异, 探讨 24 日广阔区域的强降水, 25 日降水中尺度特征明显, 且极端性最强, 27 日降水量集中于山区, 分别诊断 3 日低空急流特征、冷池出流, 及其与地形的配置, 探究导致不同降水分布的动力机制差异, 分析以上降水特征差异的形成。

5.3. 自主创新型实验

基于 Gui 等[4]的研究思路, 在教学实验中, 要求研究生围绕教学内容自主选题。选择各类极端天气气候事件, 包括: 极端降水、极端大风, 以及冰雹和龙卷风等多类型强对流事件, 采用大气环流对比方法, 历史个例的类比方法, 并基于天气气候学的数值预报模式, 探讨不同对流性天气的风险演变趋势。同时结合 2026 年强厄尔尼诺事件, 设计高温热浪风险评估的研究方案。

6. 课后训练与能力延伸

6.1. 天气图分析强化训练

课后练习应重点强化研究生天气图分析的基本功。可布置以下任务: 基于 2025 年 7 月极端暴雨过程的关键时次, 绘制地面天气图与高空标准等压面图, 标注主要影响系统, 如: 副热带高压、西风槽、切变线和低空急流等, 并结合天气学原理的基本知识, 撰写天气学分析报告。这一训练借鉴了基层台站短临监测预警培训中“先讲后练、边学边测”的模式, 强调理论知识与实践操作的即时转化。

6.2. 独立案例研究项目

每学期安排 2~3 个极端灾害性天气案例供学生独立研究, 以课程论文和分析报告形式提交成果。可选的案例包括: 2024 年台风“摩羯”的极端风雨过程、2024 年西班牙暴雨。报告中需要揭示异常大气环流与气候变暖对强降水形成发展的协同作用, 以及大尺度环流异常, 气候变暖背景下的热力效应, 以及华北副热带高压外围的极端强降水等。

要求学生独立研究并完成以下工作, 包括: 数据收集与预处理, 各种类型图形的绘制, 天气诊断与机理分析、研究成果的学术表达, 以及技术交流报告。部分优秀成果可进一步转化为学术会议摘要, 或期刊论文, 形成“学习技术 - 研究分析 - 实践和应用”的良性循环。

6.3. 行业复盘报告研读

中国气象局已建立常态化的天气过程复盘机制, 为高等天气学的极端灾害性天气分析提供了充足的案例。业务复盘强调“深入剖析预报偏差原因, 总结预报经验”, 教师可精选气象部门发布的极端天气复盘报告, 组织学生研读讨论, 重点分析: 预报偏差出现在哪些环节? 哪些天气学机理在预报中被忽视? 如何将复盘经验转化为理论认知的深化? 这些问题的分析训练有助于研究生理解高等天气学理论学习与业务应用之间的张力, 培养学生“反思性实践”能力。

7. 结语

本文以 2025 年 7 月华北极端暴雨和 2026 年全球破纪录高温为典型案例, 系统阐述了将最新极端灾害性天气事件的多源观测资料分析, 与行业复盘研究成果融入高等天气学研究生教学全链条的改革路径。改革的核心在于以真实的灾害案例为驱动, 以多源气象数据分析为支撑, 以行业复盘为参照, 将课堂教学、教学实验与课后训练重构为“案例研究 - 理论深化 - 实验仿真 - 课后实训”四位一体的能力培养闭环。

这一改革路径的价值在于将科研论文转化为可教学的分析案例, 将业务复盘转化为可操作的实验项目, 将理论知识点转化为可探究的科学问题。在此过程中, 研究生不仅掌握了极端天气诊断的基本方法, 更经历了从数据获取、现象识别、机理分析到学术表达的完整科研流程, 实现了“学知识”与“做研究”的有机统一。

需要强调的是, 极端灾害性天气案例教学应保持动态更新, 随着新事件不断发生, 天气的极端性在

不断增强, 需要将最新的案例融入到研究生的高等天气学教学中。中国气象局的气象干部培训学院已建立“成熟一批、入库一批”的教学个例动态更新机制, 成都信息工程大学的天气学实验室也不断收集和整理了更多西南地区的极端天气和气候事件, 为大气科学方向的研究生教学准备了丰富的素材。高等天气学课程亦应持续追踪最新极端事件与研究进展, 使教学内容始终处于大气科学学科的前沿, 真正培养能够应对极端气象灾害挑战的高层次人才。在全球变暖与强厄尔尼诺叠加驱动极端天气频发的新形势下, 高等天气学课程的教学改革唯有保持动态更新、持续追踪最新极端事件与研究进展, 才能真正培养出能够应对极端气象灾害挑战的高层次研究人才。

基金项目

本文受成都信息工程大学 2025 年研究生教育教学改革重大项目(CUITGOMP202505)资助。

参考文献

- [1] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [2] 陈双, 符娇兰, 陈涛, 等. 华北“25·7”暖区极端暴雨对流演变特征差异及环境条件分析[J]. 气象, 2026, 52(6): 657-672.
- [3] 雷蕾, 邢楠, 李桑, 等. 北京“25·7”极端暴雨时空特征及形成机制分析[J]. 气象, 2026, 52(6): 641-656.
- [4] Gui, K., Zhou, T., Guo, Z. and Zhang, T. (2026) A Climate Perspective on the 2025 North China Record-Breaking Extreme Rainfall: Analogues and Future Risks. *Advances in Atmospheric Sciences*.
<https://doi.org/10.1007/s00376-026-5801-6>
- [5] 国家气候中心. 全球破纪录高温常态化强厄尔尼诺敲响气候警钟[N]. 科技日报, 2026-07-23(002).
- [6] 吴珍珍, 林浩, 薛峰, 等. 2025 年北京超长极端暴雨的精细化特征与成因分析[J]. 气象, 2026, 52(6): 686-701.
- [7] 管兆勇. 灾害性天气“飚线”预警虚拟仿真实验[EB/OL]. 国家虚拟仿真实验教学课程共享平台.
<https://www.ilab-x.com/details/page?id=7206&isView=true>, 2026-10-23.
- [8] 周春花, 吴薇. 2022 年夏季四川盆地区域性极端高温天气特征及成因分析[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(8): 29-35.
- [9] 中国气象局. 史上最强厄尔尼诺正在形成中 我国将受到哪些影响[EB/OL].
https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xmtjj/202608/t20260819_7992908.html, 2026-08-19.
- [10] 王若骥, 黄丹青. 我国近 46 年暖季复合极端高温-极端降水事件特征[J]. 地球科学进展, 2025, 40(9): 974-986.
- [11] 王勇, 秦豪君, 王澄海, 等. 2022 年夏季西北干旱区一次持续性高温的成因分析[J]. 高原气象, 2024, 43(2): 450-463.