

基于 HPS 教学模式的高中地理实验教学初探

——以“热力环流纹影实验”为例

王凯昕¹, 张明礼², 谢煜鹏¹

(1. 南京师范大学教师教育学院, 江苏 南京 210023)

(2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 科学教育是培育创新人才的核心领域, 实践教学为科学教育提供关键路径, 而 HPS 教学模式则为科学教育的深化发展提供了有效方式. 基于 HPS 教学模式, 聚焦地理实验教学. 首先, 剖析了 HPS 教学模式内涵及其与地理实验教学的契合点, 提出 HPS 模式融入地理实验教学的路径. 其次, 以高中地理“热力环流纹影实验”为例, 分析课标要求并确定教学目标, 进而详细阐述实验教学过程. 旨在为地理实验教学提供创新思路, 以提升学生地理学科核心素养和科学素养水平.

[关键词] HPS 教学模式, 大气热力环流, 高中地理实验, 纹影技术

[中图分类号] G633.55 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2025)03-0102-07

Experimental Teaching Design of High School Geography

Based on the HPS Teaching Model:

A Case Study of the "Thermal Circulation Schlieren Experiment"

Wang Kaixin¹, Zhang Mingli², Xie Yupeng¹

(1. School of Teacher Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Science education serves as a fundamental domain for nurturing innovative talents. Practical teaching constitutes a crucial pathway for advancing science education, and the HPS (History, Philosophy and Sociology of Science) teaching model provides an effective strategy for promoting in-depth science education. Building upon the HPS teaching framework, this study centers on geographical experimental instruction. Initially, it examines the conceptual foundation of the HPS teaching model and identifies its alignment with geography-based experimental teaching, proposing a structured approach to integrating HPS into geographical experimental pedagogy. Subsequently, using the “thermal circulation schlieren experiment” from high school geography as a case study, the paper analyzes curriculum standard requirements and establishes corresponding teaching objectives. Based on this foundation, it systematically outlines the experimental teaching process. The ultimate objective is to offer innovative insights into geographical experimental teaching, thereby enhancing students’ core geographical competencies and scientific literacy.

Key words: HPS teaching model, atmospheric thermal circulation, high school geography experiment, schlieren technique

当前, 科学教育已成为链接科技创新与人才培养的关键纽带, 如何让学生理解科学本质、有效提升科学教育质量成为关键议题. 2023 年, 教育部等部门联合印发了《关于加强新时代中小学科学教育工作的意见》, 为中小学课程教学做好科学教育加法提供了依据和保障, 意见中明确指出, 推进基于探究实践的科学教育, 引导学生广泛参与探究实践, 注重将知识学习与实践相结合, 强化做中学、用中学、创中学. HPS (History, Philosophy and Sociology of Science) 教学模式通过整合科学史、科学哲学与科学社会学, 强调科学

收稿日期: 2025-06-30.

基金项目: 2024 年南京师范大学教学改革重点研究项目(16122060912468).

通讯作者: 张明礼, 博士, 副教授, 研究方向: 自然地理与地理教育. E-mail: zhangmingli@njnu.edu.cn

知识的产生历程与实践应用,契合科学教育对学生探究实践能力与思维培养的需求,能够为科学教育注入新的活力。

教育部研制的《中小学实验教学基本目录(2023年版)》明确指出,确保学生能够充分经历探索自然、获取科学知识、培养科学思维、解决科学问题和工程问题的实践性学习体验。地理学兼有自然科学和社会科学的性质,是开展科学教育的重要学科。地理实验作为地理教学落实科学教育的重要实践途径,不仅能够将抽象的地理原理具象化,还能在实践操作中培养学生的科学思维与探究能力。传统地理实验教学在实际开展中存在不少问题:一方面,重操作轻思维问题突出,学生实验时多机械按教师指定步骤操作,缺乏对实验原理、背后科学史的深入探究,无法形成系统科学思维。另一方面,存在割裂科学与社会的问题,实验结论与现实问题严重脱节,学生仅停留在分析实验现象和数据层面,难以体会科学研究解决社会问题的实际价值。HPS 教学模式将科学哲学与社会学等融入其中,能够有效弥补传统实验教学在思维培养与社会关联上的欠缺,据此设计的地理实验教学既能让学生在实验中掌握地理原理,又能从历史、哲学和社会维度深化对科学本质的理解,为解决地理实验教学现存问题提供新思路。

1 HPS 教学模式与地理实验教学

1.1 HPS 教学模式的内涵

HPS 教学模式是指将科学史、科学哲学和科学社会学三部分内容融入科学教育中,以期提高科学教育质量的一种教学模式^[1]。它强调三大学科之间的相互联系和相互影响,并通过其有机融合,助力学生在学习过程中不仅掌握科学知识,还能够理解科学知识的产生过程、科学方法的运用以及科学在社会中的功能作用。HPS 教学模式包含“演示现象—引出观念—学习历史—设计实验—呈现科学观念和实验检验—总结与评价”六个环节^[2],旨在培养学生的科学探究能力、科学思维能力和科学精神,使他们能够在历史、哲学和社会学的语境中重新理解科学,形成对科学本质的多维视角理解。HPS 教学模式的基本特征如表 1 所示。

1.2 HPS 教学模式与地理实验教学的契合性

表 1 HPS 教学模式的基本特征

Table 1 The basic characteristics of the HPS teaching model

基本特征	具体表现
突出跨学科整合	为学生提供多元视角
协同科学与人文素养	培养综合素养,促进复合型人才成长
以学生为中心	注重思维能力、情感态度、身体素质及社会责任感的培养
注重对话与互动	加强教育与社会互动,让学生理解科学价值
强调实践活动	通过实验、观测、社会实践等连接理论与应用

1.2.1 目标契合:培养科学素养与综合能力

首先,科学探究能力的培养是共同核心。HPS 教学模式通过还原科学史上的重大发现过程,如从观察现象到提出假设、设计实验、验证结论的完整链条,揭示科学探究的动态性。地理实验教学则通过让学生自主设计实验方案、控制变量、记录数据、推导结论,强化“做中学”的实践体验。二者均突破重结果轻过程的传统模式,在探究历程中培育学生的问题意识与探究能力。其次,批判性思维与逻辑推理能力的提升是关键支撑。HPS 教学模式引入科学哲学视角,引导学生审视科学理论的时空局限性,理解科学结论的相对性与可修正性。地理实验教学则通过要求学生实验误差进行分析、对预设结论提出质疑、对矛盾展开辩论,在反思中构建严谨的思维链条,二者共同塑造“质疑—假设—验证—修正”的认知范式。最后,科学与社会联系的认知是价值延伸。HPS 教学模式通过剖析科学发现的社会背景,揭示科学技术与人文社会的辩证关系。地理实验教学则通过探究现实问题,展现地理科学在可持续发展中的实践价值,二者均强调科学知识需要回归社会需求,注重培养具有社会责任感的科学公民。

最后,科学与社会联系的认知是价值延伸。HPS 教学模式通过剖析科学发现的社会背景,揭示科学技术与人文社会的辩证关系。地理实验教学则通过探究现实问题,展现地理科学在可持续发展中的实践价值,二者均强调科学知识需要回归社会需求,注重培养具有社会责任感的科学公民。

1.2.2 内容契合:覆盖地理知识的多维属性

地理学科具备自然科学与社会科学的双重属性,这为 HPS 模式的渗透提供了优良载体。从科学史维度看,地理理论的形成伴随着观察技术的革新与认知范式的突破,HPS 教学模式可还原地理概念从经验总结到理论建构的演进过程,地理实验教学则能够重现与还原理论验证的关键环节,共同揭示科学发展的继承性与革命性。在科学哲学层面,地理实验设计体现系统论的整体性思想,暗含实证主义的方法论。HPS 教学模式则引导学生形成通过实验揭示自然规律、平衡局部与整体差异等哲学思维,深化对辩证统一的认知。科学社会学维度上,地理实验常以社会热点问题为切入点,引导学生分析社会现实问题背后的地理原理。HPS 教学模式则通过呈现科学争议的历史案例,揭示科学共识形成的社会建构过程,展现科学知识的

1.2.3 方法契合:情境化与互动式的教学方法

HPS 教学模式与地理实验教学需要情景化的教学方法,前者通过对历史情境的还原,让学生以历史参与者的身份体验科学发现的偶然性与必然性. 后者通过问题情境创设,激发学生以研究者的角色开展探究,二者均突破传统课堂的时空限制,在沉浸式体验中激活认知兴趣. 采用互动式的教学方法是两者的另一共同点,HPS 教学模式鼓励学生围绕科学争议展开辩论,在观点交锋中澄清概念边界. 地理实验教学则通过小组协作完成实验操作、集体研讨分析实验结论,在合作中培养沟通与批判能力. 此外,HPS 教学模式融合历史、哲学、社会学等多学科视角,地理实验教学亦需调用物理、化学、生物等学科知识,二者均强调通过创设跨学科迁移与应用的活动情境,提供“做中学”的实践场域^[3],培养学生跨学科整合能力.

这种多维度的契合性(如图 1 所示),本质上源于 HPS 教学模式与地理实验教学对科学本质的共同追求,前者通过历史回溯、哲学反思和社会研究揭示科学的动态生成性,后者通过实践操作、现象观察和原理验证展现科学的实证性,二者形成理解科学到应用科学的闭环.

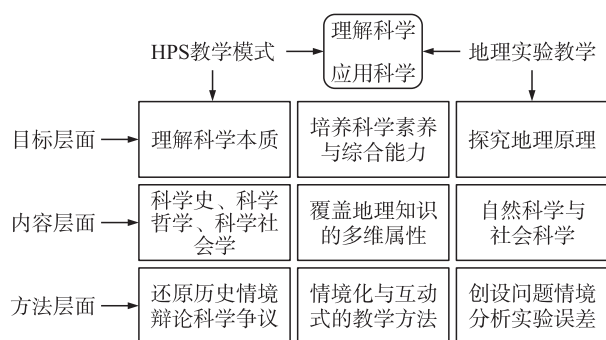


图 1 HPS 教学模式与地理实验教学的契合点

Fig. 1 The convergence points of the HPS teaching model and geography experiment teaching

2 HPS 模式融入地理实验教学的路径

2.1 实验设计阶段:嵌入 HPS 背景,明确探究意义

在地理实验设计阶段,将 HPS 背景巧妙嵌入,以科学史为线索,还原地理实验的起源脉络,为学生清晰展现地理实验的起源与价值,明确探究意义. 首先,结合地理实验丰富的历史案例设计教学导入,让学生了解每一个地理实验都不是孤立存在的,而是有着深厚的历史渊源,意识到地理实验并非凭空产生,而是为解决特定科学问题或社会需求而诞生,从而激发他们对实验探究的兴趣与责任感. 其次,以科学哲学为框架设定探究目标,为学生的实验探究搭建起逻辑的桥梁. 先引导学生基于已有的生活经验和知识储备提出合理的假设,再通过精心设计的实验对假设进行验证. 启发学生对实验结果进行深入思考,分析假设是否绝对成立,理解地理规律往往具有一定的条件性,这种探究方式有助于培养学生对地理原理的辩证认知,避免他们陷入机械记忆的误区,真正掌握地理知识的本质.

2.2 实验操作阶段:结合 HPS 视角,深化过程体验

实验操作阶段是地理实验教学的核心环节,结合 HPS 视角能够让学生更深入地体验实验过程,感受科学的魅力. 模拟科学史上的争议性实验,重现探究过程是一种有效的教学方法. 地理学科发展历程中存在许多具有争议性的实验案例,这些案例反映了科学认知的不断发展和进步,让学生分组模拟不同观点的验证过程,能够使他们亲身体验科学探究的曲折与艰辛. 在模拟过程中,学生需要像科学家一样思考,运用各种实验方法和工具收集证据,通过对比不同观点的实验结果,明确科学结论需要多维度证据支持. 同时,为学生提供不同历史时期的实验工具,让他们直观感受技术进步对实验精度的影响,体会到科学技术在推动地理学科发展中的重要作用.

引入科学社会学视角,分析实验的社会影响也至关重要. 地理实验不仅仅是对自然现象的探索,还与社会现实问题紧密相连. 在实验操作中关联现实问题,引导学生思考实验结果对社会各方面的影响,如对城市规划、资源利用、环境保护等方面的启示,使他们认识到地理知识在解决社会问题中的重要作用. 同时,让学生分析不同群体引用实验数据的目的和意图,从而理解科学实验与社会利益的关联,培养学生的

社会责任感和科学决策意识。

2.3 实验总结阶段:通过 HPS 反思,提升科学素养

其一,以科学史为线索,总结实验方法的迭代,让学生了解地理实验方法的发展历程。实验后引导学生对比历史实验与当前实验的差异,通过这种对比,学生能够深刻理解技术是科学探究的重要支撑,科学技术的进步推动了地理实验的不断发展,从而激发他们对科学技术的追求和创新精神。其二,以科学哲学为指导,批判实验的局限性,是培养学生科学思维的重要环节。通过提问和讨论的方式,引导学生反思实验设计的不足,使他们学会从多个角度审视实验结果,提高科学探究的严谨性。其三,以科学社会学为桥梁,延伸实验的现实价值,能够让地理实验真正服务于社会。组织实验成果应用讨论,引导学生结合当地的实际问题,探讨实验成果在解决社会民生问题中的应用,让学生能够意识到地理实验与社会民生的紧密联系,增强他们运用地理知识解决实际问题的能力和责任感,使地理实验教学真正达到育人的目的。

3 基于 HPS 教学模式的地理实验教学案例

选取鲁教版高中地理必修一第二单元“从地球圈层看地表环境”第一节中的“大气的运动”相关内容,遵循 HPS 模式融入地理实验教学的路径(如图 2 所示),开展“热力环流纹影实验”的案例教学。

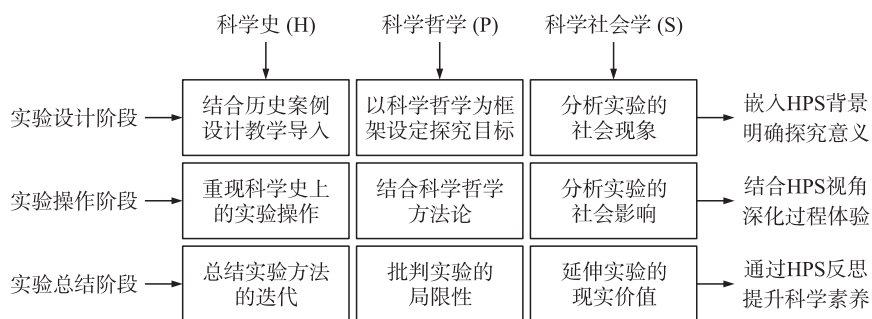


图 2 HPS 模式融入地理实验教学的路径

Fig. 2 The path of integrating the HPS model into geographical experiment teaching

3.1 课标分析

根据《普通高中地理课程标准(2017年版2020年修订)》要求,运用示意图等,说明大气受热过程与热力环流原理,并解释相关现象。首先,实验方式与行为条件呼应,“运用示意图等”的直观教学理念在地理实验中体现为利用实验装置构建动态模型或让学生自行搭建装置,通过观察现象理解知识。其次,实验助力达成高层次学业要求,“说明”“解释”对应较高学业质量水平层次,地理实验提供直观体验与感性认识,帮助学生深入理解原理并提升解释现象的能力。最后,实验内容涵盖学习重点,实验设计要围绕“说明热力环流原理”和“解释相关现象”,既展示形成过程让学生探究原理,又借助模拟情境引导学生解释实际现象。

3.2 教学目标

①能够熟练运用实验工具,在“热力环流纹影实验”中精准绘制出呈现空气流动轨迹的热力环流纹影示意图及所反映的大气热力环流原理。(综合思维)

②通过亲自参与“热力环流纹影实验”的操作过程,包括实验装置的搭建、实验条件的控制、实验过程的操作等,获悉地理实验的基本操作技能,提高动手实践能力。(地理实践力)

③能够深入分析“热力环流纹影实验”所反映的大气热力环流现象对人类生产活动产生的多方面影响,如对农业种植布局、城市建筑规划、航空交通运行等的影响。(人地协调观)

3.3 实验教学

根据高中地理实验教学的特色,基于 HPS 教学模式 6 个环节,“热力环流纹影实验”教学设计如下。

3.3.1 演示地理现象,提出科学问题

准备一个透明玻璃缸,中间用隔板隔开,一侧放入冰块模拟冷源,另一侧点燃蜡烛模拟热源,隔板上方放置点燃的线香。抽去隔板后,引导学生观察线香烟雾的流动方向。烟雾从热源上方上升,在顶部向冷源一侧流动,冷源上方烟雾下沉,在底部又流向热源,形成环流^[4]。演示结束后,鼓励学生结合生活观察与模

拟现象,提出疑问,“为什么会出现这样的气流运动方向?”“热源和冷源的位置变化,气流会怎样改变?”“这种环流现象在自然界中普遍存在吗?”由此自然引出大气热力环流这一主题,激发学生深入探究的兴趣。

3.3.2 引出地理观念,创设真实情境

教师引导学生揭示现象本质,采用认知脚手架策略。首先,引导学生梳理气压、等压面等基础概念,继而运用三维动画拆解大气热力环流的形成机制,明确地表热力差异引发的垂直运动、水平气压梯度导致的空气流动、三维空间中闭合的环流系统三个观念。

为深化探究深度,创设“大气热力环流实验优化师”情境。先组织学生对现有实验进行批判性分析,从实验操作难度、可视化程度、原理准确性等维度归纳改进空间。再引导学生运用“缺点列举—优化策略”的模式,提出突破传统实验局限的新设计思路。

3.3.3 深挖地学史料,渗透科学思想

地学史料中关于空气运动与热力差异关系的探索构成了重要历史背景,教师可据此梳理关键节点:早期,亚里士多德在《气象学》中通过观察自然现象,记录了气体运动与热力之间的关联,尽管尚未形成系统理论,但为大气热力环流研究奠定了早期思辨框架^[5]。16 世纪,托里拆利设计著名的“水银柱实验”,证实大气本身具有重量(即压力),虽未直接涉及大气环流研究,但揭示了空气作为有重量流体的本质——既然空气具有压力,那么压力差异必然驱动空气流动,这正是热力环流的核心动力机制。此后,英国天文学家埃德蒙·哈雷通过分析全球航海日志,首次将热力性质与大气环流相联系,提出了最早的信风成因解释^[6]。至 19 世纪,随着气象观测网络的完善,科学家开始关注局部热力差异对环流的影响,其中海陆热力差异的模拟实验成为理解小尺度热力环流的关键。在这一研究进程中,科学思想贯穿始终。科学家们不满足于对现象的浅层认知,敢于针对现象提出深刻问题,具有探索的热情。他们运用整体性与系统性思想,打破孤立视角将热力性质与大气环流相关联,注重通过实验验证结论。从提问到关联再到实验求证,推动科学从经验走向理性、从局部迈向整体。

3.3.4 设计地理实验,探究地理原理

为弥补现有实验方案的局限性,创新性地提出将纹影成像技术引入大气热力环流实验设计,通过该技术直观呈现大气热力环流的真实动态过程,从而更精准地揭示大气运动的内在机制。

(1) 实验原理与器材

纹影技术,亦称纹影法,是物理学领域中用于捕捉透明介质内光线偏折现象的一种流场可视化技术。其核心原理在于:当光线穿越被测流场时,其折射率会随流场中气体密度的变化而产生梯度分布,这些微小的光线变化会呈现为可观测的亮度不同的条纹与光斑,进而使透明流体的动态运动过程得以清晰可视化呈现。大气热力环流的核心驱动力是地表受热不均形成的温度差异,这种温度差异会使空气因热胀冷缩产生密度梯度:受热区域空气膨胀密度降低,冷却区域空气收缩密度升高。而空气密度的差异直接导致折射率出现梯度分布,即高密度冷空气的折射率更高,低密度热空气的折射率更低。当光线穿越这一流场时,会因不同区域折射率的差异发生程度不同的偏折:折射率高的冷空气区域使光线偏折更显著,折射率低的热空气区域使光线偏折较弱。这种偏折程度的差异会引发局部区域的光线汇聚或发散,进而形成可观测的明亮条纹(光线汇聚区)与暗条纹(光线发散区)。其中,明亮条纹的移动方向与热空气的运动方向一致,暗条纹的移动方向则与冷空气的运动方向一致,最终通过这些条纹的动态变化可直观反映大气热力环流的运动轨迹。

纹影系统按光路结构可分为透射式与反射式两大类,其中反射式系统又包含多种反射光路设计方案^[7],本实验采用同轴反射式纹影成像系统,实验所需器材包括:直径 203 mm、焦距 750 mm 的高精度凹面反射镜,3D 打印同轴点光源,三脚架,智能手机,铝箔片,简易大气热力环流模拟框架以及密封铝盒。主要实验器材如图 3 所示。



图 3 主要实验器材

Fig. 3 Main experimental equipment

(2) 实验过程

① 组装装置,摆放位置:完成装置组装,对各组件运行情况进行检查,确认无误后,将装置平稳放置于经水平检测的平整桌面或地面,开展初步摆放工作.

② 调校装置,准确成像:开启同轴点光源,并依据实验需求精准调节其亮度. 将手机镜头高度调整至与凹面镜圆心处于同一水平高度,随后对镜头位置进行细微调整,直至观测到的光斑达到最小化状态. 接着,采用铝箔片对镜头光斑进行半遮挡处理,开启手机相机功能,通过细致调整铝箔片的位置与角度,确保相机画面中呈现出完整且清晰的凹面镜反射影像.

③ 组装安放热力环流装置:将简易大气热力环流模拟框架安置于凹面镜与点光源的中间区域,持续微调其位置,直至通过镜头可观测到完整的框架边框,具体呈现效果如图 4 所示. 随后将热源置于框架下侧凹槽、冷源置于上侧凹槽,以此模拟对流层垂直方向上的大气冷热不均分布状况. 启动录像并等待流场稳定,直至画面呈现清晰的动态黑白纹影图像,如图 5 所示.

④ 观察气流纹影:垂直方向上,右下角热源处空气受热膨胀上升,左上角冷源处空气遇冷收缩下沉. 水平方向上,上部空气向冷源区域流动,近地面空气向热源区域汇聚,形成完整热力环流,如图 6 所示.

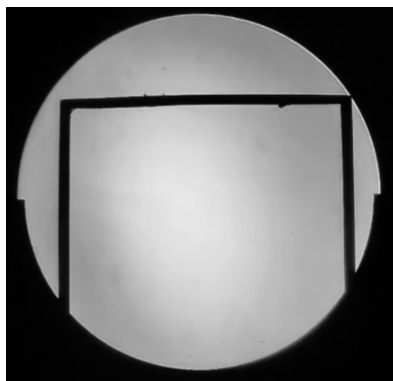


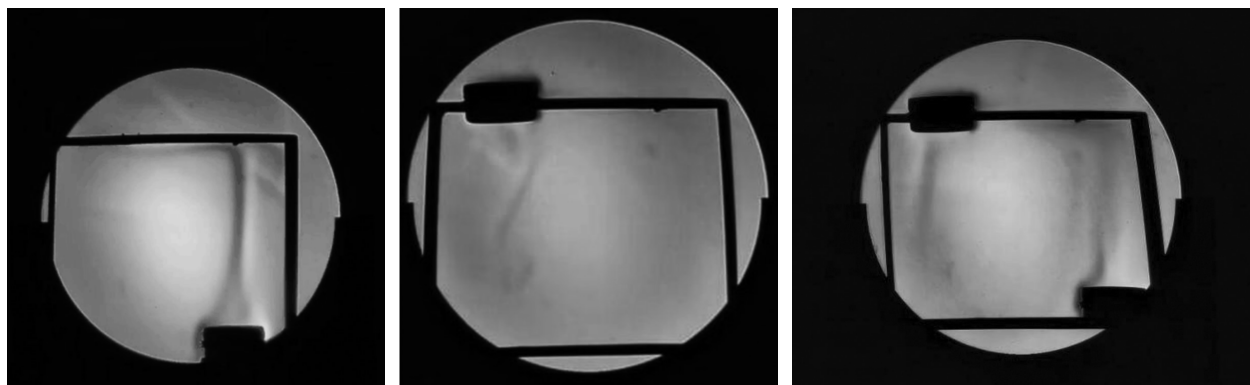
图 4 镜头中的凹面镜反射影像

Fig. 4 Shows the image reflected by the concave mirror in the lens



图 5 装置安装完毕后呈现的影像

Fig. 5 The image presented after the device is installed



(a) 热源处空气受热膨胀上升纹影图

(b) 冷源处空气遇冷收缩下沉纹影图

(c) 闭合大气热力环流纹影图

图 6 大气热力环流实验纹影影像图

Fig. 6 Atmospheric thermal circulation experiment shadow image

3.3.5 呈现科学观念,进行实验检验

教师组织学生展示实验结果,针对学生呈现的错误进行即时纠正. 随后展示标准热力环流示意图及气压变化图,并引导学生围绕以下问题展开深度思考:①实验中热源和冷源附近垂直方向的空气运动方向如何? ②造成上述运动的主要成因是什么? ③底部与顶部之间空气水平方向的空气运动方向如何? ④造成该运动的主要成因是什么? ⑤综合实验现象与上述问题阐释热力环流的定义并简述其形成机制. 随后,教师公布上述问题的标准答案,通过规范操作再次演示完整实验流程,组织学生同步复现实验步骤进行验证.

3.3.6 落实总结评价,拓展社会议题

教师结合前述问题解析与实验操作,系统总结热力环流的形成机理:地面冷热分布不均引发空气垂直运动→导致同一水平面气压差异形成→驱动空气水平运动→最终构成完整的热力环流循环. 实验评价环节教师引导学生回顾实验操作过程,针对实验装置设计、观测方法或操作流程中存在的不足展开讨论,并鼓励学生提出具体改进方案. 最后,组织“社会问题研讨会”拓展相关议题,让学生分组选择一个与热力环流相关的社会议题(如何减轻城市热岛效应带来的污染问题、大型水库建成后产生的“正负”环境效应等),基于热力环流原理进行分析并提出可行性的建议. 这种实验教学方式能深化学生对实验原理的理解,让热力环流实验从验证原理升华为服务现实的桥梁,提升其用科学思维观察社会、解决实际问题的能力.

4 结论

本文分析了 HPS 教学模式与高中地理实验教学的契合性,两者在目标、内容、方法上的高度一致,并据此提出了将科学史、科学哲学与科学社会学有机融入实验教学的路径. 并以“热力环流纹影实验”为例,借助纹影技术实现了大气运动的可视化呈现,创新性地展示了 HPS 教学模式在地理实验教学中的应用,会有效提升学生的科学探究能力与核心素养水平.

[参考文献](References)

- [1] 马叶青,康公平,冯晓英. HPS 教学模式融入单元主题教学的思考[J]. 中学生物教学,2023(2):8-10.
- [2] 郭文青,王远. 基于 HPS 教育融合教学模式的教学设计:以“地球的内部圈层结构”为例[J]. 地理教学,2022(10):36-38.
- [3] 李洪修,刘娅. 跨学科主题学习的实践性审视[J]. 教育文化论坛,2025,17(2):73-81.
- [4] 付家鹏,段学勤,余欢,等. 基于深度教学的高中地理课堂活动设计:以大气热力环流教学内容为例[J]. 中学教学参考,2024(16):82-84.
- [5] 陈正洪. 古典气象学背景与构成及其发展[J]. 气象史研究,2021(1):159-173.
- [6] 朱承熙. 大气环流的两种教学逻辑辨析[J]. 地理教学,2015(2):11-14.
- [7] 李春利,陈昊云,王晨希,等. 聚焦纹影技术研究进展[J]. 现代化工,2025,45(6):21-25.

[责任编辑:陈 庆]