

## 2025 年湖南省普通本科高校教育教学改革 典型分享项目成果简介

项目名称：智慧教育背景下虚拟仿真融入光学类课程教学的研究与实践

单位名称：中南大学

项目主持人：王希光

团队成员：夏庆林，王世良，聂耀庄，马松山

### 一、项目研究背景

光学是物理、应用物理、光电信息科学等本科专业的核心基础课程，涉及光的传播、光的波动以及光与物质相互作用等丰富的内容，对光学课程知识的熟练掌握也是理解现代光学技术及其应用的关键。在光学的教学过程中，光学理论的抽象和概念的繁琐，加之光学系统结构的复杂性，使得学生难以迅速把握和理解。[1] 传统的光学教学方法，主要依赖于课堂讲授、教科书学习、幻灯片演示以及课后习题等形式。这些方式在呈现光学现象的直观性、光学系统的动态性以及光学器件性能等方面存在明显不足。尤其是在展示光学参数、数值计算以及对特定实验操作响应的环节，传统教学手段难以提供清晰、直观的展示。

近年来，随着信息技术的不断发展，数值仿真技术已经成为解决光学课程中教学难题的一种新兴策略。[2, 3] 通过数值仿真计算，模拟实际的光学案例，为学生提供了安全且便捷的学习平台，从而极大地丰富了光学教学的方式和手段。诺贝尔奖得主卡尔·维曼于 2002 年发起 PhET (Physics Education Technology) 项目，

该项目旨在为物理学的多个分支,包括光学领域,提供直观且交互性极强的计算机仿真程序.[4] 国防科技大学与中国科学院联合研发了 SeeLight 光学虚拟仿真实验平台,通过提供一个模拟的光学实验环境,使教师和学生能够不受物理空间限制地进行光学实验.同时,Matlab 作为一个功能强大的数学软件,其在数据处理和图形显示方面的能力,为光学仿真计算提供了重要支持.通过对光学问题进行编程建模,Matlab 能够以图形化的方式直观地呈现仿真结果,从而更好地理解和分析光学现象.[5, 6, 7, 8] 不仅如此,一系列专业的仿真软件,如 Zemax[9]、Comsol[10]、LabVIEW[11]等,也为光学教学提供了宝贵的资源.这些软件能够模拟多种光学实验仪器和实验现象,进一步促进了理论与实践的结合.

虽然国内外在光学虚拟仿真实验方面已经取得了一定的进展,但是在光学类课程教学中的应用仍然存在提升空间.具体而言,现有一些针对光学的虚拟仿真项目,如 PhET, 主要以情景展示为主,缺少数值计算的支持,难以为要求较高的本科光学类课程提供有效的辅助.此外,部分专业度较高的仿真项目,如 Seelight, 对操作过程要求较高,需要耗费一定的课时来培训学生对仿真平台的使用,这不仅消耗了本就紧张的本科教学课时,而且需要学生耗费大量的课下时间来学习仿真平台的使用,降低了学生的积极性,不利于学生在多门课程压力较大的情况下快速掌握光学类课程的知识.此外,利用商业化编程平台,例如 MATLAB, 对版权有一定的要求,而且需要学生有一定的 MATLAB 使用经验.在当前的互联网环境下,这种使用方法不利于跨平台操作,降低了仿真平台的便捷性.为解决这些问题,本项目将针对光学类课程教学中的虚拟仿真技术展开研究,进一步探索虚拟仿真技术与光学教学的深度融合,开发更加贴近学生需求的虚拟仿真实验内容,提升光学类课程教学效果和教学质量.具体来说,我们将集中精力开发一种兼具数值计算和情景展示的虚拟仿真平台,以支持要求较高的本科光学课程的教学.此外,我们将努力降低仿真平台的操作难度,缩短学生学习平台的时间,提高学生的学习积极性,从而帮助学生更好地掌握光学知识.通过本项目的研究,所开发的易于跨平台操作的虚拟仿真平台,将在整个教学环节中辅助光学的教学、实验和学习,从而有效的提升光学的教学效果.

#### 参考文献:

[1] 江萍, 杨华军, 邬劭轶, 等. 光学课程仿真与案例式实验教学方法探究[J]. 实

验室研究与探索, 2022, 41(07):175-179.

[2] 宁禹, 程湘爱, 许中杰, 等. SeeLight 光学虚拟仿真实验平台设计与应用[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(04):142-146.

[3] 江萍, 杨华军, 蔡杨伟男, 等. 光学仿真设计与挑战性创新训练教学方法研讨[J]. 大学物理, 2021, 40(09):42-46.

[4] 邵长金, 周广刚, 杨振清, 等. 从 PhET 看国内高校物理虚拟仿真实验教学项目建设[J]. 大学物理实验, 2019, 32(05):118-122.

[5] 赵梓媛, 孟庆国, 孙文军. 基于 Matlab 的二维正交网格夫琅禾费衍射场模拟分析[J]. 物理与工程, 2016, 26(06):112-116.

[6] 于欣杰, 王美姣, 赵加强. 基于 MATLAB App Designer 光学实验虚拟仿真系统的设计与实现[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(01):45-50.

[7] 陈嘉富, 王智勇, 于斌, 等. 单缝衍射仿真实验设计及分析[J]. 大学物理, 2020, 39(12):67-74.

[8] 谢嘉宁, 赵建林, 陈伟成, 等. 夫琅禾费衍射的计算机仿真[J]. 大学物理, 2004, (03):51-54.

[9] 孔梅梅. 基于虚拟仿真的“现代工程光学”教学内容的探索[J]. 物理与工程, 2023, 33(05):81-86+118.

[10] 吴真, 丁长春, 张克难, 等. 虚拟仿真软件在光学教学实践中的应用和思考[J]. 教育现代化, 2020, 7(49):1-4.

[11] 郑文礼, 崔继朝, 陈硕, 等. 基于 LabVIEW 的迈克尔逊干涉仪虚拟仿真平台[J]. 大学物理, 2024, 43(06):19-24.

## 二、研究目标、任务和主要思路

本项目旨在利用先进的现代信息技术, 开发适用于本科生光学类课程和实践的虚拟仿真平台, 以改革传统的以讲授为主的光学类课程教学方式。通过针对几何光学、波动光学、介质光学等内容中的典型物理问题进行数值仿真教学实践, 本项目将开发一个原理清晰、具有多样化功能、可应用于课堂和课外实践的虚拟仿真平台, 为本科生提供更加科学、智能和个性化的光学类课程教学体系。通过

本项目的实施,将推动本科光学类教学信息化的发展,实现教育资源的高效利用,为学生提供更加丰富、有趣、高效的光学教学体验。

项目旨在解决本科生光学类课程教学中的几个难点:(1)利用光学虚拟仿真技术直观地展示抽象的光学理论,提高教学的趣味性和互动性,打破课堂的沉默状态,提高教学效果;(2)结合实验演示和虚拟仿真,能够更清晰地展示光学原理。虚拟仿真成本较低,为学生提供了实际操作的机会。同时,光学虚拟仿真可以为传统光学实验的开展提供必要的辅助,提升学生的学习效果;(3)在虚拟仿真平台中,引入随机的仿真目标,为学生提供个性化的独特作业,有效地解决互相抄袭和网络搜索的问题。借助信息工具,能够更好地辅助学生顺利完成目标,提高学生的实践能力和创新意识。

为了有效地将复杂的光学原理和现象以学生易于理解的形式呈现,教学团队积极响应教育信息化的号召,计划探索将HTML5(超文本标记语言第五版)技术融入光学教学的新方案。融入HTML5的虚拟仿真技术有助于解决光学教学中存在的一系列问题。HTML5不仅在网页内容的呈现上具有极大的灵活性和兼容性,它还提供了强大的交互功能,特别是在多媒体处理、图形绘制以及在线交互等方面具有独特的优势。借助于HTML5,设计并开发一套数值仿真程序,旨在为光学教学提供一个直观、互动的学习平台。利用HTML5的Canvas元素,结合JavaScript脚本编程,能够提供精确的数值计算和直观的光学现象。通过这个平台,学生能够以可视化的方式快速建立起对光学物理图像的认识,并深入理解光学模型的数值特征。值得一提的是,基于HTML5技术开发的这套光学虚拟仿真程序具备显著的跨平台特性。这种方式无需特定的软件安装,学生只需访问相应的网页链接,即可轻松运行仿真程序。这不仅简化了学习准备过程,更重要的是,它支持包括手机、平板电脑在内的多种移动设备,不需要耗时的培训过程,使得这些仿真计算不受时间和地点的限制,学生可以在任何时候通过网络访问这些资源,进行自主学习和复习,完全贴合了当下学生的学习习惯和发展需求,也大大提高了教学的灵活性。同时,我们计划设置包含随机参数的数值仿真习题,从而为每个学生提供了独一无二的学习任务,这种设计模拟了实际科学研究中遇到的不确定性,促进了使用者的主动学习和探索,并且避免了部分学生在完成习题过程中的抄袭和网络检索等问题。

### 三、主要工作举措

在国家大力推进教育信息化与智慧教育的时代背景下，高校专业课程教学面临从传统知识传递模式向以学生为中心的互动式、探究式教学模式转变的需求。光学是物理学科教育中一门重要的基础学科，其教学内容丰富而又相对抽象，且配套实验通常对仪器、环境要求较高，学生只能在特定的时间与场所进行少量操作实践，难以充分体验探究与发现的乐趣。因此，本项目聚焦智慧教育背景下虚拟仿真融入光学类课程教学的研究与实践，期望通过 HTML5 技术的虚拟仿真手段，让学生在灵活的环境中体验光学实验，增强自主学习与创新能力，全面提升光学教学成效。

智慧教育强调以先进的信息技术支撑教学过程，满足师生个性化发展的需求，同时注重培养学生的综合素养。本项目引入虚拟仿真技术，为光学教学提供便捷与高效的实验环境，符合智慧教育“人人皆学、处处能学、时时可学”的要求，通过虚拟实验平台让学生在实践中学，在操作、观察、分析的过程中构建知识体系，并提升高阶思维与问题解决能力。

现代教育研究强调教学内容的可视化对抽象概念的理解至关重要。光学中的干涉、衍射、散射、成像等现象，往往难以通过传统书本插图充分呈现。基于 HTML5 的虚拟仿真程序能通过图形绘制与动画表现，实现对关键光学过程的可视化展现，帮助学生建立感性与理性相结合的认识。此外，虚拟仿真平台可提供灵活的操作参数与即时反馈，从而激发学生的探究兴趣，培育其自主学习与批判思维能力。

本项目利用 HTML5 技术中的 Canvas 元素配合 JavaScript 脚本实现光学数值仿真，具备跨平台、无需下载安装插件的优势。学生只需通过主流浏览器（包括 PC 端、平板或手机），即可在线访问和操作光学实验仿真程序。为符合光学教学大纲和课程要求，项目团队围绕几何光学成像、杨氏双缝干涉、菲涅尔衍射、薄膜干涉等经典实验主题，设计了多个仿真实验模块。每个模块均包含对光源、光学器件、观测屏位置与角度、光束参数等可自由设置的功能，学生可在不同的操作情境下观测结果，并与理论预期进行对比。仿真平台的设计思路如图 1 所示。

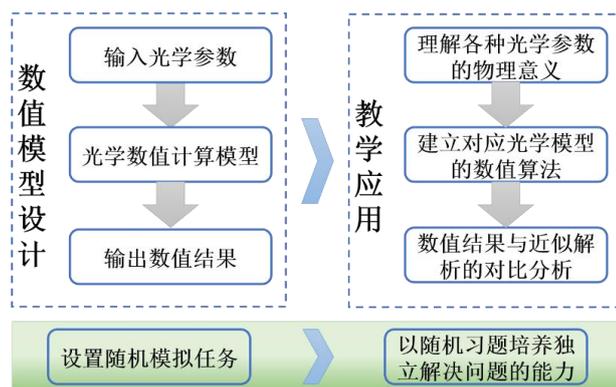


图 1 HTML5 光学数值仿真程序设计思路.

在课程改革实施过程中，项目组重点探索了虚拟仿真与实体实验的融合模式。由于光学实验设备较为昂贵且实验条件较严格，传统教学中学生往往只能做少量的标准实验。如今，通过 HTML5 虚拟仿真平台，学生可以在课前或课后反复练习实验操作，加深对实验原理与步骤的掌握。当学生在真实实验室进行操作时，也能结合先前在虚拟平台上获得的知识与技巧，更熟练、更精准地完成实验，从而使线上与线下教学形成相互促进的良性循环。同时，对于学校尚未配备或暂不具备条件开展的某些实验项目，虚拟仿真提供了一种替代或补充，使学生对更多光学现象有所了解。

项目具体实施流程如下：在项目准备阶段，完成 HTML5 光学仿真平台的初步开发与小规模测试；确定若干实验主题并制作实验指导手册；对教师与助教进行针对性的培训。在项目成果应用阶段，在应用物理专业光学课和相关实验课程中引入仿真平台，采用“理论课程+仿真练习+实体实验”的组合方式。为比较改革效果，部分班级以传统教学法为主作为对照组，改革班级则将虚拟仿真嵌入整个教学过程中。最后是评价与改进阶段，通过期末考试、实验报告、随机抽查、匿名问卷与访谈等多元化评价手段，收集学生对于虚拟仿真平台的使用反馈，并根据意见不断迭代平台功能与教学设计。

另外，在虚拟仿真实践中引入了随机参数数值仿真习题的设计。为避免学生通过简单的抄袭或固定答案猜测，项目团队在每个实验模块中增加了随机参数习题，如对光源波长、衍射孔径大小、光束入射角度等进行不同程度的随机化，让学生必须独立完成数据记录与分析。此举既培养了学生的科研思维，也有效提升了他们解决新问题时的适应能力。每一名学生所得出的结果都有差异，从而鼓励学生更多地去思考影响实验结果的物理要素。并且，教师在课堂或线上答疑中，

结合学生在仿真平台上的操作记录（如参数设置、计算结果、报告提交时间等）进行个性化指导，帮助学生纠正错误理解或行为。学生也可通过学习平台上的留言或讨论区互相交流疑难问题，在协作探究中深化对光学原理的把握。这种双向互动模式，有利于帮助教师更好地了解学生学习状态，并及时进行教学策略调整。

结合以上研究，我们共开展了如下实践：（1）技术赋能课程重构：采用“HTML5+Canvas+JavaScript”技术栈，将抽象光学模型转化为可视化动态仿真，设计可交互式教学场景。（2）混合教学模式创新：实施课前仿真预习、课堂现象探究、课后随机习题相结合的教学方法，配套开发含随机参数的仿真题库系统。

（3）多维度实践验证：项目分三阶段推进：①单个知识点的试点（几何光学），完成基础仿真程序开发，②关键光学知识点整合（干涉、衍射等波动光学），在物理科学班进行试点，③实验课融合（牛顿环仿真等）。通过研究实践，将10多个仿真程序嵌入教材关键章节，设置20多个交互式学习节点。（4）动态优化机制：通过学情分析系统收集用户行为数据，迭代优化仿真参数与交互设计，系统自动记录仿真操作完成度与习题正确率，累计完成4次版本升级。

通过项目实施，我们主要取得如下几个方面的成果：（1）技术体系构建，基于HTML5的Canvas渲染引擎与JavaScript数值计算框架，攻克光学现象动态建模难题，建设光学虚拟仿真教学资源库，开发包含几何光学成像、杨氏双缝干涉、菲涅尔圆孔衍射等10余个高精度数值仿真程序，覆盖光学核心知识点，能够实现实时仿真，对学生的手工计算结果快速验证。创新性设计牛顿环实验辅助仿真程序，实现虚实结合的实验教学模式，解决传统实验设备自动化程度较弱、现象抽象难观测的问题，输入实测数据后自动生成理论模拟曲线，对比分析误差来源。该模式能够提升实验报告数据分析深度，降低仪器操作失误率。（2）跨平台智慧教学系统，建成支持全终端访问的光学虚拟仿真网站（公开测试程序请访问<http://wgasss.3vhost.vip/>，密码opticshtml），采用响应式布局与Web加速技术，确保PC、手机、平板等设备界面自适应，经过多个浏览器的兼容性测试，覆盖Chrome、Safari等主流浏览器。平台集成用户自助注册、随机仿真习题生成、多场景交互功能，累计访问量达数百人次。经3届本科生实践验证，班级学生光学成绩明显提升，提高自主学习效率，作业抄袭率明显下降。平台集成用户操作日志追踪模块，记录学生仿真参数调整路径、习题尝试次数等数据，并根据学生的

掌握情况，个性化推送薄弱知识点强化训练内容，从而提升了学生解决复杂光学问题的能力。学生调研显示，大部分通讯认为仿真程序“显著提升对光场传播过程的理解”，课堂互动频率明显增加，抽象概念讲解时间大幅度减少。(3) 学术成果与学生培养，在核心期刊《大学物理》发表教学论文1篇“融入HTML5的数值仿真在光学教学中的应用研究”，1篇虚拟仿真程序应用于光学类实验课程的教改论文在审，指导省级大学生创新训练计划项目“Web2.0环境下的虚拟光学实验室开发与实践”，形成“技术开发-教学应用-学术研究”教学改革生态。

#### 四、取得的工作成效

项目团队系统开发了具有自主知识产权的光学虚拟仿真教学平台(公开测试程序请访问 <http://wgasss.3vhost.vip/>, 密码 opticshtml)。平台基于HTML5+JavaScript技术栈构建，前后端分离开发模式，前端采用JavaScript脚本实现响应式布局，后端数据库依托ASP+ACCESS服务搭建。平台经过多轮压力测试，可稳定支撑数百人并发访问，形成包含基础认知、过程模拟、综合应用的虚拟仿真教学体系。项目团队历时1年完成核心模块开发：(1) 平台支持学生自助注册(需学号实名认证)，自行登录，支持电脑、手机、平板多种终端访问，管理员可在后台获取学生仿真数据和学习进度；(2) 仿真资源库构建了包含了十多个典型光学问题的虚拟仿真程序，每个项目都支持原理演示、参数设置、过程模拟、数据分析等自主学习功能。以菲涅尔圆孔衍射项目为例，开发了波长、孔径、观察距离等多参数调节功能，支持衍射图样实时渲染；(3) 随机习题系统嵌入具有自主算法的随机参数生成器，如杨氏双缝干涉项目可随机生成缝距、屏距、波长等组合参数，每次生成数百组不重复习题，为每位学生提供了个性化的习题。

项目运行期间，对连续3届本科生开展了融入仿真平台的教学模式。实践表明，参与仿真学习的班级在光学理论考试与实验操作考查中整体表现较为优秀。其中，实验课程合格率和优秀率都有显著提高，特别是在杨氏双缝干涉、几何光学成像等涉及空间布局与参数设置较灵活的实验方面，学生的操作准确度与结果分析能力均有所强化。同时，学生对平台的使用热情高涨，不仅在课堂上积极参与，还在课后通过移动端登录平台进行自主学习。学生反馈调查问卷显示，大多数学生认为虚拟仿真实验“使抽象的光学概念更直观易懂”，并且“通过不断调

整参数并观察结果，体验到了科研探索的乐趣”。有学生在访谈中谈到，“对实验流程和仪器原理有了更深入的理解，到了真正的实验室就更得心应手，不再局限于简单的机械操作。”这些反馈为项目成果的有效性提供了直接佐证。

由于该虚拟平台运行灵活，跨平台特性显著，学生可以在任何地点、任何时间访问仿真程序进行操作和思考。这种不受时空限制的学习方式，有助于激发学生的自主学习动力。在多次回访和访谈中，学生普遍表示，当他们遇到无法理解的概念时，会立即打开平台重新尝试相应的实验，从而对光学现象进行“即时验证”。这在传统教学环境中是难以实现的。可见，虚拟仿真对学生形成探究式学习习惯具有正面作用。

项目在实施过程中积累了大量教学案例与学生使用数据，并形成了研究成果。团队已在《大学物理》等期刊上发表了题为“融入 HTML5 的数值仿真在光学教学中的应用研究”的论文（论文已录用），阐述了该平台的设计原理、关键技术及教学效果评估。审稿专家评价其对教学的信息化改革具有借鉴价值。此后，团队还正在向其他国内外学术期刊与教育类会议递交了数篇相关研究论文，内容涉及“HTML5 在光学干涉实验中的交互设计”“基于虚拟仿真培养学生创新思维的案例研究”等多个方面，进一步丰富了光学教学改革的理论与实践成果。

在本项目探索的基础上，虚拟仿真技术的思想与方法不局限于本校，一些兄弟院校或教师在学术会议中了解到项目进展后，对引入 HTML5 仿真提出了合作意向。本项目还为“Web2.0 环境下的虚拟光学实验室开发与实践”省级大学生创新训练计划项目提供了理论支撑与实践经验，使更多师生参与到信息化与智能化的教学改革中，形成了良性联动效应。通过本项目的实施，光学教学得到了从单纯依赖传统课堂与实体实验到“线上+线下”混合式教学模式的转变，不仅有效提升了学生对光学核心内容的理解，还为学院乃至学校层面的信息化教学改革提供了可复制可推广的经验。

## 五、特色和创新点

理论创新方面，项目团队将 HTML5 技术特性与光学认知规律结合，构建光场传播的动态物理图像，结合关键参数，帮助学生建立光学参数和光学图像间联系，便于开展实时动态模拟。建立“随机化仿真任务驱动”教学设计框架，通过

参数不确定性模拟真实科研场景，强化科学思维训练。

实践创新方面，研究突破了传统虚拟仿真软件依赖客户端安装的技术瓶颈，实现“零门槛”跨平台访问，兼容性主流浏览器，建设成本低，且无“卡脖子”技术风险。在教育应用层面，实施仿真程序-实验操作-创新项目三级能力培养体系，学生编程与建模能力提升显著，指导省级大学生创新训练计划项目。在评价机制层面，开发了基于学习行为数据的智能诊断模块，实现知识点掌握度的动态监测与个性化反馈。

项目核心特色是开发了纯 HTML5 光学仿真体系，突破传统虚拟仿真软件依赖客户端安装的技术瓶颈，较传统 Java/Flash 方案加载速度提升明显，维护成本降低。创新的提出了防作弊设计，随机参数算法生成个性差异化题库，有效杜绝抄袭。鼓励学生深度参与平台开发，形成“以研促学”良性循环，培养兼具光学专业素养与计算机应用能力的复合型人才。

项目成果破解了光学教学长期存在的“理论抽象难理解、实验现象难观测、评价方式单一化”等痛点，构建了可推广的智慧教育新范式，相关技术路径已扩展至电磁学、量子力学等课程改革，为未来理工科教学信息化提供了系统性解决方案。