

“电磁场微波技术与天线”课程实验教学改革探索

李钦伟，王健伟，左盼盼

中国民航大学电子信息与自动化学院，天津 300300

DOI: 10.61369/SDME.2025170035

摘要：电磁波传播的抽象概念是“电磁场微波技术与天线”课程教学中的一大难点，给教师授课和学生理解都带来了挑战。为解决这一问题，本文借助仿真软件进行可视化教学，通过计算机模拟将抽象的电磁波传播模式以直观的图像呈现，使实验课堂内容更加生动形象，显著提高了教学质量。本文提出了一种电磁波传播教学可视化方法，以及微波天线设计的实验教学方法，并围绕该方法设计了与课堂理论紧密结合的教学内容与案例，为课程提供了更具互动性和实践价值的实验教学资源。

关键词：电磁波传播；可视化；微波天线设计；实验教学

Exploration of Experimental Teaching Reform in the Course of "Electromagnetic Field Microwave Technology and Antenna"

Li Qinwei, Wang Jianwei, Zuo Panpan

School of Electronics Information and Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300

Abstract : The abstract concept of electromagnetic wave propagation is one of the major difficulties in the teaching of the course "Microwave Technology and Antenna". It brings challenges to both teachers and students in teaching and learning. To solve this problem, this paper uses simulation software to teach visually. The abstract pattern of electromagnetic wave propagation is presented intuitively in the form of images through computer simulation, which makes the experimental classroom content more vivid and significantly improves the quality of teaching. This paper proposes a visual teaching method for the propagation of electromagnetic waves and an experimental teaching method for the design of microwave antennas. The teaching content and cases closely integrated with the classroom theory are designed around this method, which provides more interactive practical experimental teaching resources for the course.

Keywords : electromagnetic wave propagation; visualization; microwave antenna design; experimental teaching

引言

电磁波传播与微波天线设计是“电磁场微波技术与天线”课程的核心内容，是后续从事电磁场、微波领域科研工作与学习的基础。然而，电磁场看不到摸不见，不能像其他的物质那样被感知，令很多本科生在“电磁场、微波技术与天线”课程的学习中产生畏难心理。

通过可视化的教学手段辅助“场”类课程群的教学来提升教学质量和课堂趣味性，一些电磁波可视化的教学案例和教学方法已被探索和应用^[1-5]。针对电磁波传播模式以及微波天线设计这一教学过程中的难点，在实际教学过程中引入可视化的教学设计，一方面学生可通过计算机技术快速熟悉教材的知识结构体系，借助软件还可以实现自主的天线设计实验，不受场地限制，令实验教学更加灵活，学生实验更加便捷。

一、电磁场微波技术与天线的授课现状

“电磁场微波技术与天线”是我校电子信息与通信专业本科必修专业基础课，该课程的目的是使学生较全面地掌握微波传播的基本概念、基本原理和分析方法。国内高校大多将“电磁场微波技术与天线”作为电子类、通信类、信息类专业主要的专业基

础课程之一。

“电磁场微波技术与天线”课程不仅要求学生能综合运用数学、概率、线性代数、信号与系统等课程的基础知识，而且具有很强的工程应用需求，需要培养学生运用该课程知识分析电子、通信、信息处理等领域的实际问题。目前课程的教学存在以下问题：

项目信息：中国民航大学实验技术创新基金（2023CXJJ59）

作者简介：第一作者：李钦伟（1990—），女，博士，讲师，研究方向：电磁场与微波技术、信号处理的教学，E-mail:qw_li@cauc.edu.cn。

- (1) 学生普遍反映课程知识较抽象，一些难点知识（如电磁波传播、传输线等）仅语言讲解，学生难以想象和理解电磁波传播的特点及天线设计分析过程；
- (2) 课时量少（26学时）与教学内容繁多复杂之间存在矛盾；
- (3) 目前的教学只有理论讲授，实验设备老化，不利于培养学生的动手能力和工程实践能力。

以上状况给教师教学和学生学习带来了极大困难。从电子信息与通信专业的学生来说，电磁场微波技术与天线是一门重要的基础课程。它是射频微波电路、天线、电源等研究方向的基础。但由于其解法涉及到较多的数学知识，数值解法十分复杂，并且概念比较抽象，学生在学习中，很难有形象的理解。在虚拟实验平台中，可以构建所需要的电磁仿真模型，应用其仿真，可以清楚看到电场与磁场的分布，并且可以进行动态仿真，使学生对课程中的概念有更深入的理解。这不仅有利于学生对抽象课程内容的理解，还能提高学生理论联系实际、分析问题、解决问题的工程实践能力。因此，“电磁场微波技术与天线”课程实践教学软件资源开发建设迫在眉睫。

二、电磁波传播可视化教学

(一) 课前自主学习电磁波传播与微波天线基础知识

电磁波是电磁辐射的波动形式，由变化的电场和磁场互相垂直且相互感应而产生，能够在真空中以光速传播。电磁波的特性包括波长、频率、速度和振幅等。在不同的应用领域，电磁波的这些特性被巧妙地利用来完成各种功能。在无线通信、雷达系统以及医疗影像等领域，电磁波的传播特性起着基础而又关键的作用。电磁波在传播过程中会遇到各种衰减机制，包括自由空间损耗、介质吸收以及障碍物引起的衰减，介质吸收取决于电磁波的频率和介质的物理特性，而当电磁波传播到不同介质的界面时，则会发生反射以及透射的现象。而电磁波在周围环境中的传播环境往往是复杂的，由于反射、折射和散射的作用，电磁波在传播过程中会产生多径效应。课前安排学生自主复习“电磁场与电磁波”课程中的电磁波传播基础知识或者学习北京大学吴崇试教授的视频^[6-7]。

(二) 电磁波传播可视化课堂教学案例

电磁波传理论和方法等抽象的教学内容，转化为可视化的教学资源时，不仅强调教学的科学性和技术性，还强化其在视觉上的艺术性和适用性，以便学生接受和使用。



图1：电磁波传播实验软件界面

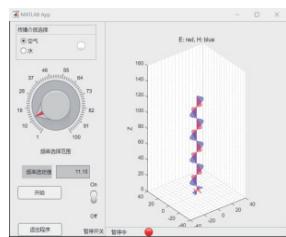


图2：电磁波在空气中传播实验软件界面

本项目所设计的虚拟仿真实验系统是基于真实实验系统的基础上，遵循“能实不虚，虚实结合，互为补充”的原则，将教学内容可视化，主要表现在：学生可以自己动手配置已有的介质材料，

通过调节介质的材料，以及介质的介电常数，观察电磁波在不同介质中传播的不同特点。这种虚拟实验具有不受时间、空间、实验室环境等方面限制的特点，可供学生反复学习和使用。另一方面，虚拟实验因其可以将在实验室的实验中看不到的现象，进行可视化处理，这一点是虚拟实验平台优于一般实验室教学的重要特征，更有利达成实验教学的教学目标。图1为本文中设计的电磁波传播模拟实验软件的界面。学生可以使用该软件进行点击，点击不同的按钮即可看到电磁波在不同的介质材料中传播的情况，直观地观察电磁波传播的情况，使以往看不见摸不到的实验更加直观便捷。图2为电磁波在空气中传播实验软件界面，学生可以自主选定频率，观察不同频率电磁波在不同介质中传播的情况。

三、微波天线设计实验教学内容

(一) 微波天线设计实验课堂教学案例

天线是任何无线电系统中的基本组成部分，是一种用来发射和接收电磁波的器件。天线在通信、广播、雷达、导航、电视等无线电技术设备中得到广泛应用。在民航的多种通信、导航、监视设备更是需要各种类型的天线系统，才能对无线电波的进行接收和发射。

天线的主要参数包括：辐射方向图、增益、极化和输入阻抗和驻波比等。关于天线的基本知识，包括天线的基本原理、辐射和接收特性，由于概念抽象、过程复杂、无法直接用肉眼观测到，一直以来都是教学的重点和难点。天线设计仿真实验是能将天线的设计以及电磁波传播进行全面演示和量化研究的实践教学。通过对该案例的软件演示和仿真，同时给学生布置用计算机软件模拟不同天线设计等类型的软件练习题目，让学生熟练掌握不同天线类型的设计和分析方法。



图3 微波天线设计实验软件界面

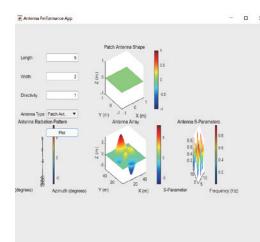


图4 微波贴片天线设计的结果

图3与图4为天线设计的实验教学案例。如图3所示为不同结构的天线设计的软件界面。图4为选定设计贴片天线后，案例中的绘贴片天线的图像需要考虑到贴片天线的几何形状和尺寸。一般来说，贴片天线可以简单地表示为一个平面结构，因此绘制过程相对简单。定义贴片天线的长度、宽度等参数。在三维空间中生成贴片天线的模型。由于贴片天线可以简化为一个平面，因此可以直接在平面上生成天线模型。使用软件可以绘制生成的贴片天线模型，以表达贴片天线的形状。可以在图形中添加标签和标题，以提高可读性。根据需要，可以设置图形的颜色、光照效果等参数，以增强图像的可视化效果。学生实验的过程包括以下几个方面：

1. 天线形状绘制：实验设计了针对不同类型天线的形状绘制函数，包括偶极天线、抛物面反射天线、阵列天线和贴片天线。通过调用这些函数，可以在图像显示区域展示出天线的三维形状，帮助学生直观地了解天线的结构特征。

2. 天线方向图绘制：实验设计了绘制天线方向图的函数，根据学生输入的参数和选择的天线类型生成相应方向图。这些方向图能够展示天线的辐射特性，帮助学生评估天线的性能表现。

3. 天线阵列图绘制：实验设计了绘制天线阵列图的函数，根据用户输入的参数和选择的天线类型生成相应的阵列图。这些阵列图能够展示天线阵列的布局和分布情况，帮助学生优化天线阵列的设计。

4.S 参数图绘制：实验设计了根据天线类型计算 S 参数并绘制 S 参数图的函数。这些图能够展示天线在不同频率下的传输特性，帮助学生评估天线的频率响应。

通过虚拟的天线设计实验，学生可以直观地了解不同类型天线的性能特征，快速评估天线设计的效果，并进行优化调整。这为教师与学生提供了一个便捷的工具，有助于他们在天线设计和优化学习过程中取得更好的效果。

（二）以学生为中心，提高学生的教学参与度

通过软件仿真，能让学生对比较抽象的概念有直观形象的认识，加深学生对电磁波传播，传输线理论，天线基本知识等理论知识的理解，也有助于教师授课效果的提升；通过对软件教学案例的分析，能使学生对理论知识在实际中的应用有更深入广泛的

认识，也提高学生对问题的综合分析能力；通过课程软件综合设计案例的开发，增强学生独立完成一个任务和团队合作的能力，提升学生的工程实践能力，顺应市场对人才的要求。以往的课后作业以单纯的习题、计算、证明为主，比较枯燥，本项目开展也丰富了课后作业、拓展练习、课程设计的内容，有助于激发学生学习兴趣，提升学习效果。

四、结束语

虽然微波实验室建设初期投入不小，但由于实验设备数量的限制，每次实验的人数有限。受到资金的限制，可开设的实验也非常有限，由于使用实验室的学生人数很多，实验设备老化快，实验室后期维护成本较大。目前开设的实验全部在微波波段进行，人眼不可见，造成了学生理解的局限性，实验中未涉及波导模式相关知识点，而这部分内容是所有场类课程的重点，也是难点。本项目拟根据教学章节涉及的重要知识点，设计并开发软件实践教学案例资源，并设计学生拓展学习和课程综合设计的软件实践案例。在软件实践教学案例的设计中，尽量结合民航实际应用，不仅帮助学生理解课程知识，而且加深学生对实际工程问题的认识，锻炼学生综合分析问题、解决问题的能力。开发的软件实践教学案例既可以作为课堂教学演示，通过课堂讲解和分析，还能启发学生进行更深入的思考，以软件作业和课程设计作业的形式让学生进行练习。

参考文献

- [1] 熊江，张旭东，陈浩亮. 电磁周期性结构的可视化教学探究 [J]. 电气电子教学学报 ,2024, 46(02):147–149.
- [2] 陈文琼，梅中磊. 基于 Matlab 的电磁场可视化方法探究 [J]. 电气电子教学学报 ,2022, 44(01):140–143.
- [3] 卫延.“电磁场与电磁波”课程可视化方法研究 [J]. 电气电子教学学报 ,2021, 43(01):51–54+98.
- [4] 范懿，徐照顺. 矩形波导 T 形接头的可视化教学 [J]. 电气电子教学学报 ,2015, 37(01):111–113.
- [5] 梅中磊，李月娥，马阿宁 .MATLAB 电磁场与微波技术仿真 [M]. 清华大学出版社，2020年6月 .
- [6] 数学物理方法爱课程视频 .[Online]:https://www.icourses.cn/sCourse/course_3569.html. 访问日期：2024.10.31.
- [7] 殷际杰 . 微波技术与天线——电磁波导行与辐射工程 [M]. 电子工业出版社，2012年8月 .