

电动力学虚拟仿真手段分析

宋莉莉, 张泽海, 孙云飞, 周 扬

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年8月2日; 录用日期: 2026年8月26日; 发布日期: 2026年9月3日

摘 要

结合《电动力学》授课内容与课程特点, 剖析当前虚拟仿真教学存在的局限与短板, 系统梳理各类虚拟仿真工具的特性及其在电动力学课堂中的应用场景, 为电磁场可视化教学方案提供支撑。

关键词

电动力学, 虚拟仿真, 教学手段

Analysis of Virtual Simulation Methods for Electrodynamics

Lili Song, Zehai Zhang, Yunfei Sun, Yang Zhou

College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha Hunan

Received: August 2, 2026; accepted: August 26, 2026; published: September 3, 2026

Abstract

Based on the teaching contents and curriculum characteristics of *Electrodynamics*, this paper analyzes the limitations and deficiencies existing in current virtual simulation teaching. It mainly introduces the features of available virtual simulation methods and their applications in Electrodynamics, providing support for visualized teaching approaches of Electrodynamics.

Keywords

Electrodynamics, Virtual Simulation, Teaching Methods

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

《电动力学》是我校光电信息科学与工程、纳米材料与技术等本科专业的必修专业基础课，承担着从基础物理过渡到工程专业课程的衔接作用。课程依托电磁学基础，系统阐述电磁场完整理论体系，既能够为后续专业课程筑牢理论根基，同时对锻炼学员物理思辨与工程分析能力具备重要价值。

课程理论体系应用场景广阔，定向能装备、军用雷达、粒子加速器、电力传输系统、凝聚态物理、天体物理等领域均大量运用宏观电磁场相关理论。但课程矢量微积分公式密集、物理概念抽象，极易导致学员难以吃透物理内涵，理论知识难以落地应用。因此，如何激发学员学习主动性，打通理论学习到工程应用的壁垒，是本课程亟待解决的教学难题。

2. 电动力学主要授课内容

电动力学主要讲述的是电磁场的基本性质、运动规律以及和物质的相互作用，内容设置包括宏观电磁场的普遍规律，也就是真空和介质中的 Maxwell 方程组、边值关系及洛伦兹力公式，以及求解不同条件下的电磁场问题，也就是静电场、稳恒磁场、电磁波以及相对论情况[1]，在军事应用、生产实践和科学实验等领域具有重要的指导意义。课程的教学难点在于整门课都具有较强的理论性和抽象性，若将物理模型中复杂的电场和磁场进行可视化程序设计，并生动地呈现在课堂上，能够显著提升学员理解水平与工程应用能力。

3. 虚拟仿真研究现状

大数据、云计算等信息技术推动教育数字化转型，催生信息化教学、个性化自主学习等新需求。虚拟仿真实验教学已经成为理论授课、实体实验之外的第三种教学载体，依托虚拟仿真开展探究式教学、培育学员创新思维已经成为课程改革重要方向。

现阶段受制于相关研究总量偏少、研究深度不足、研究人员学科交叉局限等因素[2]，电动力学可视化教学仍然存在三类突出问题：第一，仿真软件使用范围较为单一，教学中普遍仅采用 Maxwell 开展静电场仿真，CST、HFSS、MATLAB 等适合复杂电磁场模型的工具未能充分挖掘教学价值；第二，仿真场景覆盖面窄，现有教学仿真大多局限于静电场范畴，静电场属于电磁场求解中最简单的稳态场景，含传导电流、时变电磁场的动态可视化教学成果相对稀缺；第三，互动性不足，现有可视化素材大多仅支持静态展示，学生无法自主调整模型参数开展探究，制约课堂学习成效。

针对《电动力学》课程理论性和抽象性较强，而虚拟仿真教学不足的问题，本课题提出对课程中的物理模型进行可视化程序设计，并将其运用到虚拟仿真实验教学中，使学生不仅能看到电磁场，还可以自主搭建、调整电磁场模型，深度理解物理本质，做到学以致用。

4. 物理模型虚拟仿真手段分析

面向电动力学课堂开展物理模型可视化开发与仿真教学，需要结合各类仿真工具的优缺点进行合理选型。

(1) falstad.com 网站

falstad.com 是面向物理教学的在线交互式仿真资源平台[3]，平台首页如图 1。网站集成电路、物理、

数学多门类仿真小程序，支持模型实时运算与电磁现象可视化，覆盖电路、光学、声学乃至量子力学仿真模块。

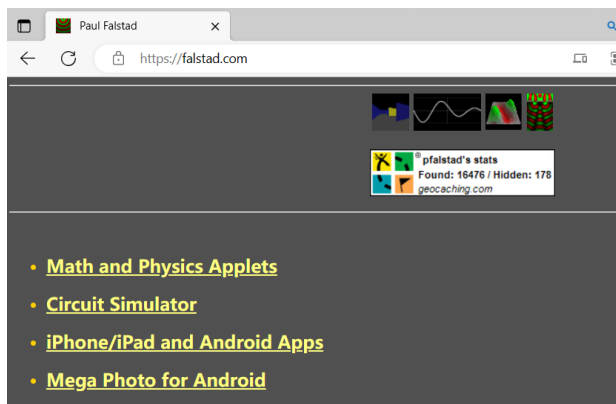


Figure 1. Homepage of falstad.com

图 1. falstad.com 网站首页

图 2 为空间两个正电荷形成的二维静电场仿真结果，可以看出场分布以简单明了的线条形式展示，图 3 展示模型交互编辑面板，支持新增电荷、增设腔体边界等参数调整，学生根据自己的需求和兴趣可进行自主探索。

该平台无需安装客户端、上手门槛低，在教学中能使学生快速上手并能快速定性地掌握模型特点，但内置适配《电动力学》教学的模型数量有限，仅适合开展电磁场分布定性演示。

(2) HFSS、Maxwell 电磁仿真软件

HFSS 为 Ansys 公司推出的三维高频电磁仿真平台[4]，软件交互界面简洁友好，可完成三维模型电磁场空间分布求解、散射参数提取等工作。如图 4 所示为课题组利用 HFSS 仿真设计的 T 型结构，该结构可以实现矩形波导 TE_{10} 模式的功分，可通过改变截面来观测不同位置的场分布以及各个端口的功率大小。采用该软件的过程中，适当选择对称面可大大降低仿真时间。

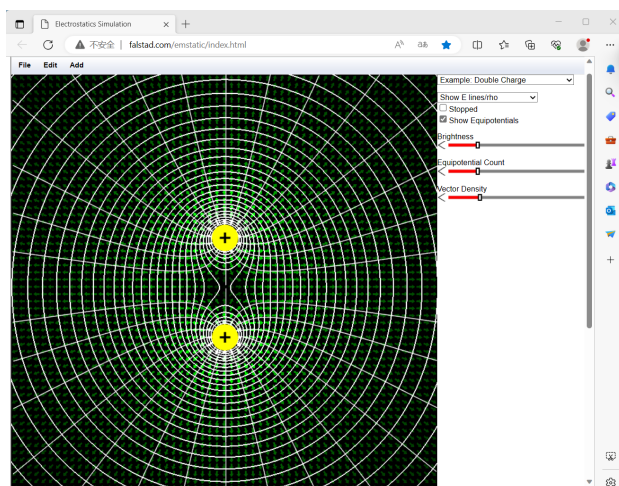


Figure 2. simulation model of two-dimensional electrostatic field on falstad website

图 2. falstad 网站二维静电场的仿真模型

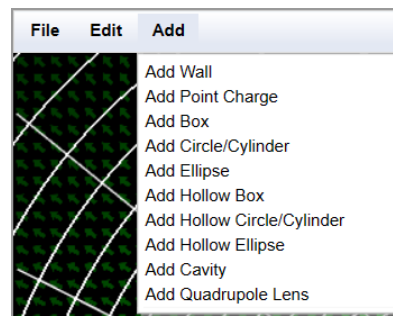


Figure 3. editing options in the 2D electrostatic field simulation model

图 3. 二维静电场仿真模型中的编辑选项

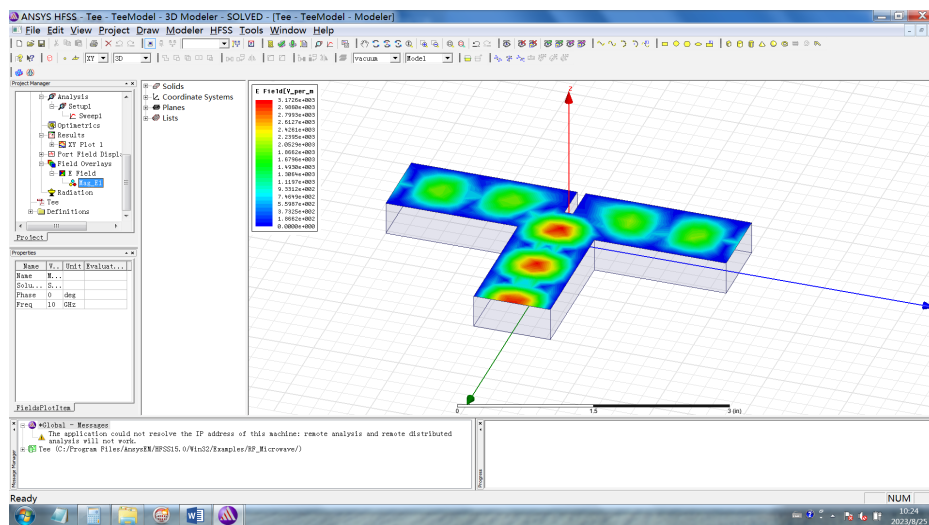


Figure 4. T-junction simulated using HFSS

图 4. 利用 HFSS 仿真的 T 型结

ANSYS Maxwell 同属 Ansys 电磁仿真产品线, 面向低频电磁场仿真场景, 能够高效求解电磁场空间分布、电磁波传播、电磁感应等问题。如图 5 所示为课题组利用 Maxwell 仿真设计的永磁体及其磁场位形, 该永磁体可在中心位置 5 cm 附近产生轴向均匀的 0.6T 磁场, 径向磁场接近 0。

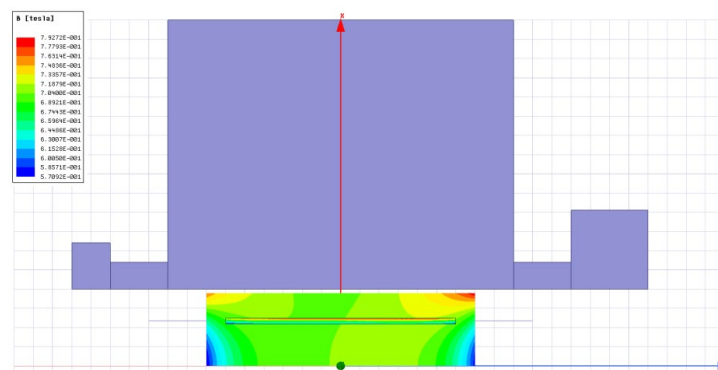


Figure 5. permanent magnet and its magnetic field configuration simulated using Maxwell

图 5. 利用 Maxwell 仿真的永磁体及其磁场位形

课题组依托两款软件,完成稳恒磁场、电磁波传播等章节多个电磁模型的仿真设计,对于静电场和稳恒磁场问题的求解值得推荐。

(3) CST 电磁仿真软件

CST Studio Suite 是达索公司推出的高频三维全波电磁仿真工具[5],也是工程领域除 HFSS 之外应用范围最广的全波仿真工具。如图 6 所示为课题组利用 CST 仿真设计的 $TM_{01-12} TE_{10}$ 功分器,可根据需求设置电场、磁场、电流密度、功率流、S 参数等监测目标。

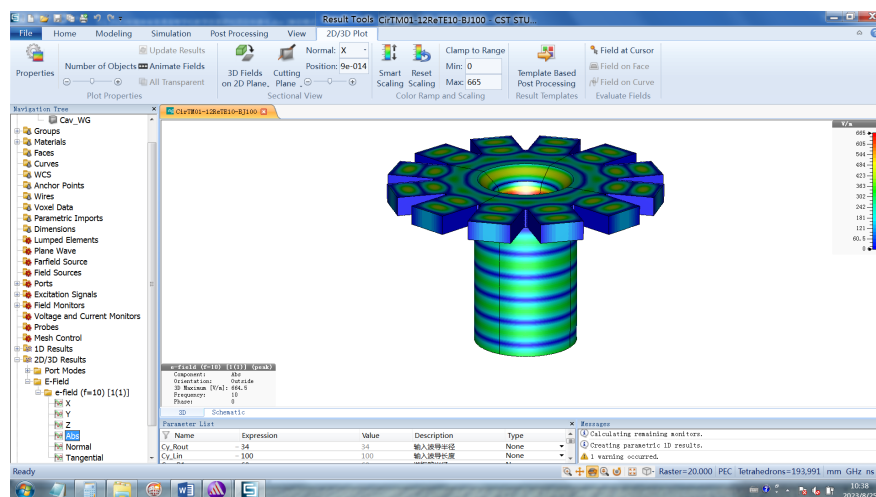


Figure 6. $TM_{01-12} TE_{10}$ power divider simulated using CST

图 6. 利用 CST 仿真的 $TM_{01-12} TE_{10}$ 功分器

课题组利用 CST 完成静电场、电磁波传播、导行电磁波、电磁辐射等章节可视化案例开发,并投入课堂教学,在理论知识讲解后,结合具体案例或者模型展示动态的场分布,大大提升了学员学习兴趣。

(4) FEKO 电磁仿真软件

FEKO 是 Altair 公司旗下三维全波电磁仿真工具,适配高频电磁场数值计算场景[6],可有效分析各类复杂三维目标的电磁场问题。如图 7 所示为课题组利用 FEKO 仿真设计的偶极子天线,场分布展示与 CST 有些相似,同样地,该软件也可自由选择监测截面和位置。

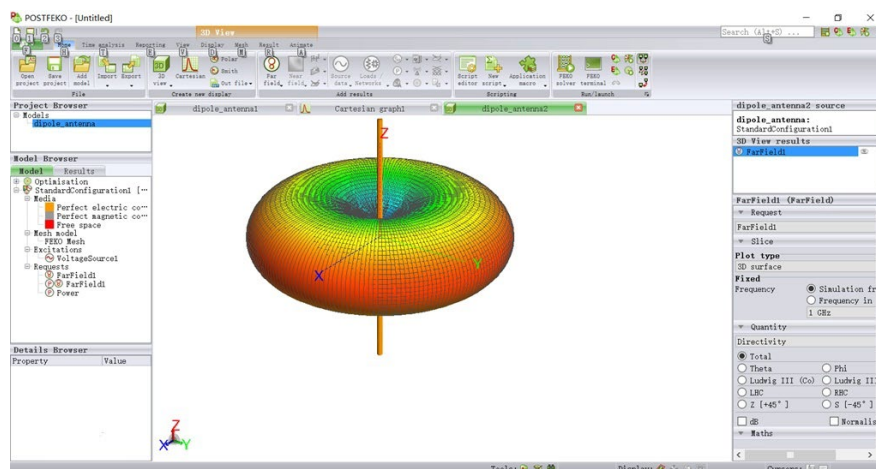


Figure 7. Dipole antenna simulated using FEKO

图 7. 利用 FEKO 仿真的偶极子天线

(5) MATLAB 解析求解软件

MATLAB 是 MathWorks 公司开发的商用数值计算平台，使用门槛低。如图 8 所示为课题组利用 MATLAB 计算得到的电磁波入射土壤情况下的电场幅值变化。

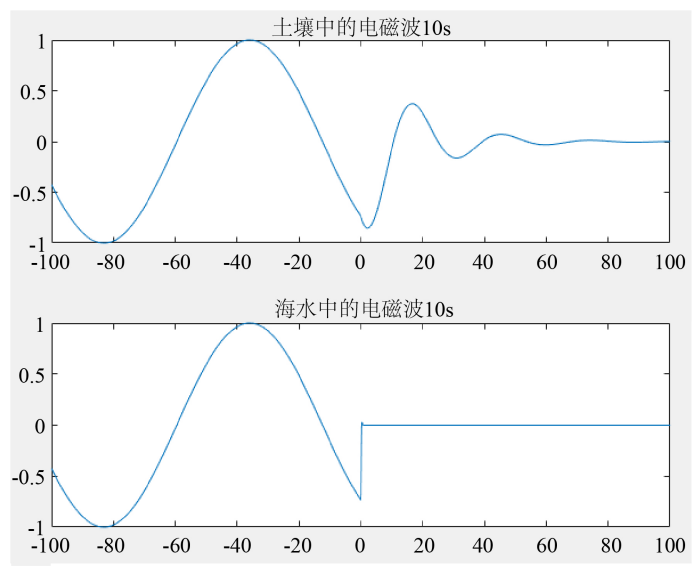


Figure 8. The amplitude of the electric field when electromagnetic waves are incident on a conductive medium, calculated using MATLAB programming
图 8. MATLAB 编程计算的电磁波入射到导电介质时的电场幅值

同时 MATLAB 具备良好的外部软件接口，可实现与各类电磁仿真工具联动。如图 9 所示为课题组利用 MATLAB 编程调用 CST 计算得到的某斜出射天线口面幅值和相位分布，符合预期的设计结果。

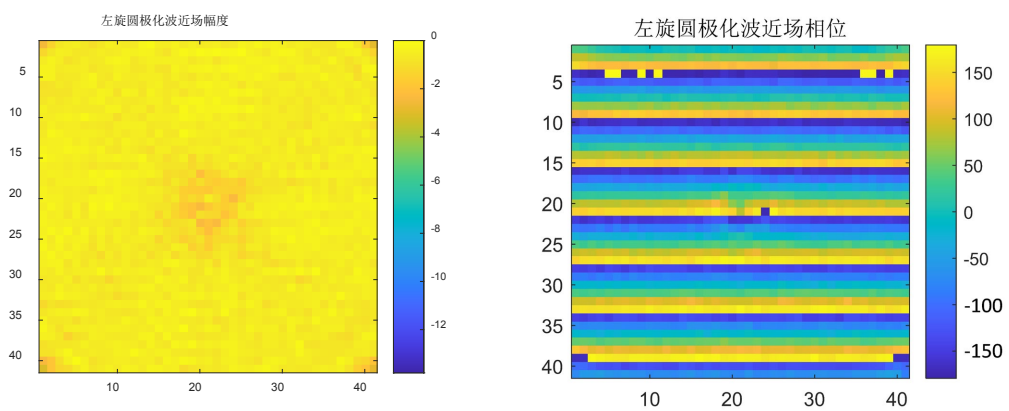


Figure 9. Antenna performance calculated by CST and invoked through MATLAB programming
图 9. MATLAB 编程调用 CST 计算的天线性能

MATLAB 语法通俗易懂，可视化操作便捷，仅需基础 C 语言基础即可快速入门，可直接搭建与 CST 等仿真软件的数据交互通道。同时对于非线性公式的解析解问题的求解，也可借助于 MATLAB。

上文调研了主流电磁仿真与数值计算平台，结合各类工具的优缺点，能够完成《电动力学》典型物理模型可视化开发。依托 MATLAB 开发门槛低、软件互通性强的优势，可编写简易交互程序，筛选典型

教学案例，持续推进虚拟仿真实验在本课程中的落地应用。

5. 展望

针对电磁场抽象难理解的痛点，持续完善可视化物理模型，不断扩充课程教学资源与教学手段；将虚拟仿真实验常态化融入课程教学，持续探索适配本课程的虚拟仿真教学模式。依托可视化教学案例帮助学员建立电磁场直观图像、掌握复杂电磁场规律、激发创新思维，为《电动力学》虚拟仿真教学持续积累技术方案与教学案例。

参考文献

- [1] 李承祖. 电动力学[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2022.
- [2] 谢双媛, 王祖源, 倪忠强. 信息技术融入电动力学课程建设的思考与实践[J]. 大学物理, 2022, 41(3): 1-8.
- [3] Falstad, P. (2019) Math and Physics Applets. <https://falstad.com>
- [4] Ansys (2026) Ansys HFSS. <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>
- [5] Dassault Systèmes (2026) CST Studio Suite. <https://www.3ds.com/products/simulia/cst-studio-suite>
- [6] 贾云峰. FEKO 在雷达散射截面计算中的应用[J]. 中国制造业信息化, 2008(2): 70-73.