

研究生《高功率微波技术》课程教学设计与教学策略研究

孙云飞, 葛行军*, 舒挺

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2025年6月10日; 录用日期: 2025年8月11日; 发布日期: 2025年8月20日

摘要

本文主要探讨了《高功率微波技术》研究生课程的教学设计和教学策略, 从注重基础、把握深度, 联系科研、贴近应用, 聚焦前沿、放眼发展, 启迪思维、激发创新, 强化自主、鼓励进取等六个方面入手, 综合运用理论结合仿真、技术面向应用、知识链接前沿、线上结合线下、课堂有机思政等教学策略, 并通过多种教学方法的交叉融合, 提高学生的学习积极性和自主性, 培养学生解决实际问题的能力和创新能力, 为今后从事高功率微波技术研究和应用打下坚实的基础。

关键词

高功率微波技术, 教学设计, 教学策略

Research on Teaching Design and Teaching Strategy of Graduate Course “High Power Microwave Technology”

Yunfei Sun, Xingjun Ge*, Ting Shu

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

Received: Jun. 10th, 2025; accepted: Aug. 11th, 2025; published: Aug. 20th, 2025

Abstract

This paper mainly discusses the teaching design and strategies of the graduate course “High Power Microwave Technology”, starting from six aspects: emphasizing foundation and grasping depth, connecting with scientific research and getting closer to applications, focusing on the forefront and

*通讯作者。

文章引用: 孙云飞, 葛行军, 舒挺. 研究生《高功率微波技术》课程教学设计与教学策略研究[J]. 创新教育研究, 2025, 13(8): 371-377. DOI: 10.12677/ces.2025.138608

looking towards development, inspiring thinking and stimulating innovation, strengthening autonomy and encouraging progress. Comprehensive application of five teaching strategies includes theory combined with simulation, technology oriented towards application, cutting-edge knowledge linkage, online and offline integration, classroom organic ideological and political education. Through the integration of multiple teaching methods, students' learning enthusiasm and autonomy are improved, and their ability to solve practical problems and innovate is cultivated, laying a solid foundation for future research and application of high-power microwave technology.

Keywords

High Power Microwave Technology, Teaching Design, Teaching Strategy

Copyright © 2025 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

高功率微波(High Power Microwave, HPM)通常是指峰值功率大于 100 MW, 频率在 1 GHz~300 GHz 之间的电磁波[1]-[3]。高功率微波在定向能武器、等离子体加热、高功率雷达、卫星和空间平台供能等军事及新兴能源方面有着广泛的应用前景[4]-[7], 受到了世界军事大国的广泛关注。《高功率微波技术》课程是我校为电子科学与技术、电子信息技术、物理电子学等专业研究生设置的一门专业课程, 其覆盖高功率微波产生、传输、发射、测量等相关基础知识、关键技术, 理论性、前沿性、交叉性和应用性很强, 掌握高功率微波技术相关理论与知识对于日后从事高功率微波系统的研究具有重要的意义。

然而, 《高功率微波技术》课程涉及许多抽象的物理概念、繁琐的公式推导、灵活的场路等效以及复杂的模式变换等内容, 需要具备高等电磁场理论、等离子体物理、脉冲功率技术、高等数学等一系列知识基础储备。课程难度较大, 容易导致学生的学习兴趣与热情不高, 难以达到较好的教学效果。为此, 本文对《高功率微波技术》课程的课程设计和教学策略进行了研究, 从注重基础、把握深度, 联系科研、贴近应用, 聚焦前沿、放眼发展, 启迪思维、激发创新, 强化自主、鼓励进取六个方面入手, 综合运用理论结合仿真、技术面向应用、知识链接前沿、线上结合线下、课堂有机思政等教学策略, 通过多种教学方法的交叉融合, 提高学生的学习积极性和自主性, 使学生建立起清晰的物理图像, 培养学生理论联系实际, 举一反三的科学思维和创新创造能力。

2. 课程性质与目标

2.1. 性质与定位

《高功率微波技术》课程是我校为电子科学与技术、电子信息技术、物理电子学等专业研究生设置的一门专业课程, 覆盖高功率微波产生、传输、发射、测量等相关基础知识、关键技术[8] [9], 理论性、前沿性、交叉性和应用性很强, 在反信息、反军事智能、探攻一体等方面前景广阔。对于后续从事高功率微波技术研究的研究生来讲, 本课程有很强的实用性。

本课程的主要目的是使学生通过本课程的学习, 掌握高功率微波系统的基本概念、基本组成、基本原理和基本方法, 使学生具备对高功率微波关键问题的分析和处理能力, 培养学生解决实际问题的能力, 培养学生掌握近似、等效、仿真、实验等科学研究方法, 为今后从事高功率微波技术研究和应用等工作打下坚实的基础。

2.2. 课程目标

1) 课程知识目标:

知识目标主要包括以下几个方面:掌握波导、谐振腔、微波网络、微波传输线、慢波结构、高功率微波源、模式转换器、高功率微波天线、高功率微波测量等基本知识,熟悉纵向场法、分离变量法、等效电路法等基本理论与分析方法,关注高功率微波源、高功率微波天线等的研究现状,了解高功率微波技术发展趋势和学科前沿,构建完备的高功率微波系统知识体系与结构框架。

2) 课程能力目标:

课程能力目标包括以下几个方面:培养对高功率微波关键问题的分析和处理能力,提升理论联系实际、举一反三、分析研判的科学思维,提升探究学习、知识应用、创新创造能力。

3) 课程思政目标:

课程思政目标包括以下几个方面:强化工程伦理教育,引导学生戒于浮躁、慎于自律、勤于钻研、诚于处事、勇于创新、忠于报国,培养高素质高层次新型科技创新人才。

3. 教学策略探讨

《高功率微波技术》课程兼顾微波技术基础理论、微波工程基础、等离子体物理、脉冲功率技术、天线基础理论和工程应用等多方面内容,下面探讨这门课程的教学策略。

3.1. 理论结合仿真

建构主义学习理论指出^[10]:学习不是知识的简单传递,而是学习者在社会文化情境中,通过主动探究、互动协作,将新旧经验整合为个性化知识体系的过程。《高功率微波技术》课程中包含许多抽象的物理概念、繁琐的公式推导、灵活的场路等效以及复杂的模式变换。为了使學生能够建立起完备的知识体系,理清物理概念的准确含义,弄明复杂的模式变换过程,贯通各种求解方法的运用。需要在有限的课堂时间内,讲明公式的推导过程,说清物理模型的建立方法,理顺理论与应用之间的联系,帮助学生建立起清晰的物理图像,增强学生对高功率微波技术知识框架的构建,具体要把握好以下几点:

1) 讲清物理概念和物理本质:在开课开展学情分析,针对学生的专业背景,对授课内容进行适当调整。在授课过程中首先为学生建立清晰的物理概念,在内容上由浅入深,层层递进,更加注重对物理本质的阐述,更加注重对物理思想的启发,培养学生的发散思维、质疑精神和创新精神。

2) 不同求解方法交互融合:在物理过程讲解过程中,通过逻辑图、流程图或者表格对比等方式,将新老物理概念融合,达到建立物理框架的目的。更加注重方法论的阐述,本课程中重点需要学生掌握的方法有纵向场法、分离变量法、等效电路法,通过阐述其内在区别和联系,使学生在求解不同物理过程时学会将不同方法相互结合,融会贯通。

3) 理论分析与仿真模拟有机结合:课程中涉及非常基本的问题——电磁场的传输、辐射和模式的转换。对于规则波导结构,电磁场分布可以理论求解,对于不规则结构,电磁场分布很难理论求解。此外电磁场的时空分布比较抽象,学生很难想象。目前,基于有限元的电磁求解软件已经非常成熟,如 KARAT、CHIPIC、CST、HFSS 等软件,可以将抽象的电磁场分布进行可视化动态呈现,增强学生对晦涩物理过程的理解。

例如,在模式转换器章节中,可以将模式转换的过程进行可视化(如图 1 所示),在左图中清晰地展现了矩形波导 TE_{10} 模式电场与同轴波导 TEM 模式电场的转换过程,帮助学生更好地理解电磁耦合的物理机理。在右图中展示了矩形波导 TE_{10} 模式的电场与圆波导 TM_{01} 模式电场的转换过程,帮助学生更好的理解不同模式的电场分布规律,通过对比,启发学生思考模式转换的内在机理和方法。

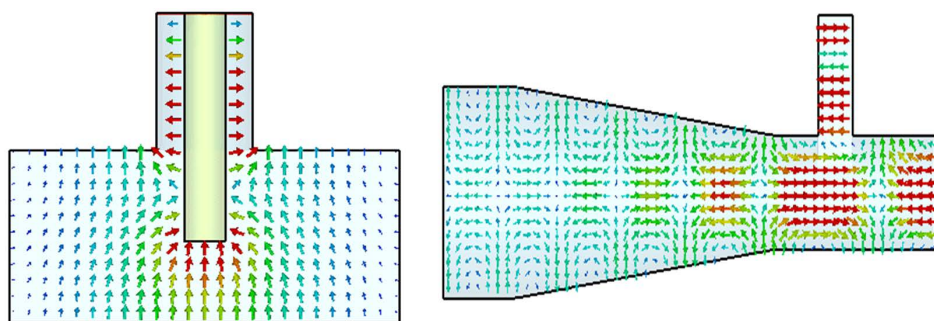


Figure 1. Mode conversion process between circular waveguide TE_{01} mode and coaxial waveguide TEM mode, circular waveguide TM_{01} mode and rectangular waveguide TE_{10} mode

图 1. 圆波导 TE_{01} -同轴波导 TEM 模式、圆波导 TM_{01} -矩形波导 TE_{10} 模式的模式转换过程

在微波网络章节中，将微波网络内部的场分布进行可视化，用动画显示微波在网络中的传输过程(见图 2 所示)，更加清晰明了，同时可以引导学生思考和讨论微波相位调整的机理，以及实现等幅同相微波输出的方法。通过将抽象的电磁场时空分布，转换为清晰的图像，增加学生学习的乐趣与积极性。

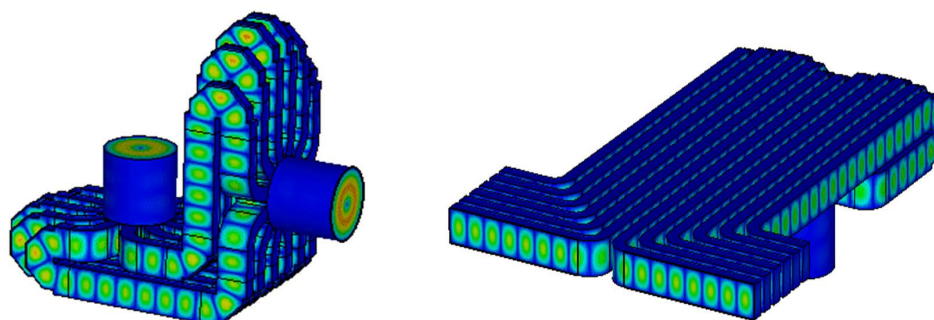


Figure 2. The transmission process of electric field inside microwave network

图 2 微波网络内部的电场传输过程

3.2. 技术面向应用

情境学习理论指出[11]：学习是个体在真实情境中通过参与实践共同体的活动而逐渐掌握知识与技能的过程。高功率微波技术主要是面向军事应用，学生需要在解决真实问题中学习知识，而非孤立记忆知识点。为了将所授的理论与实际应用紧密结合起来，在讲解中，加入丰富的实物案例，并让学生自己动手进行仿真设计，使学生真正感受到“学有所用”，激发学生自觉学习的动力。

例如，在讲授高功率微波系统的章节中，引入美军 Phaser、Thor 等高功率微波武器的发展现状，在增强学生对高功率微波系统理解的同时，增强学生的危机感，使学生树立科技报国的爱国热情和学习积极性。在讲授波导、谐振腔、模式转换器等内容的过程中，密切联系单位的研究方向，将波导同轴激励器、 TM_{01} 功分器、 TE_{11} 模式转换器、圆柱形谐振腔等实物带入课堂，让学生亲眼观察这些器件的内部结构与细节。在讲授微波网络、传输线的过程中，结合具体的应用案例，使学生理解网络参数、矩阵级联的物理含义，培养学生运用理论知识分解决具体问题的能力。在讲述天线内容时，从应用的角度出发，重点阐述不同应用场景下天线设计的关注点，例如车载高功率微波系统的天线需要实现更高的增益，通常选用反射面天线或者平板缝隙阵列天线。机载高功率微波系统需要实现紧凑化，通常选用径向线缝隙天线、螺旋阵列天线或者旋转透镜天线。结合不同的天线结构，向学生展示天线的辐射过程、方向图和波束扫描过程，如图 3 所示，加深学生对理论知识的理解，并鼓励学生自主进行天线的设计。

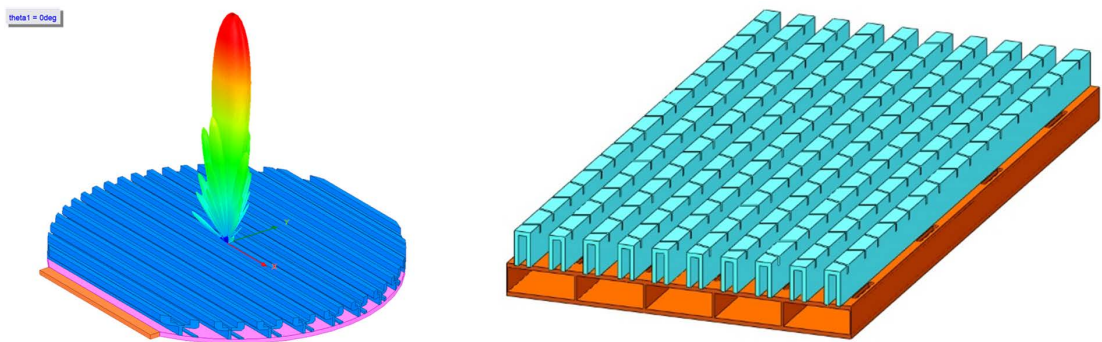


Figure 3. High power microwave antenna
图 3. 高功率微波天线

3.3. 知识链接前沿

《高功率微波技术》课程是一门涉及电磁学与微波工程、等离子体物理学、脉冲功率技术和真空电子学等多个学科的交叉课程，在授课过程中需要准确把握学科发展趋势，紧贴科技前沿，重点培养学生分析研判的科学思维和创新创造能力。

例如，在讲授高功率微波源的发展方向时，需要引导学生思考如何获得更高的微波功率输出，从而引出空间功率合成这一前沿技术[12]，如图 4 所示。为了实现空间功率合成，则要求高功率微波源攻克锁频锁相的关键技术，高功率微波天线需要攻克大范围波束扫描技术。从前沿技术出发，循序渐进，层层分解，引导学生对于关键技术进行研判。在讲授高功率微波天线发展方向时，介绍美军的“利奥尼达斯高功率微波武器”，该武器的天线就是有源相控阵天线，将“利奥尼达斯高功率微波武器”这个火热的军事应用与课程中的相控阵天线基础知识结合，凸显专业特色和军事背景，使学生及时了解国内外相关研究动态和发展方向，激励学生关于前沿军事科技的探索热情和学习积极性，培养学生的爱国情怀。

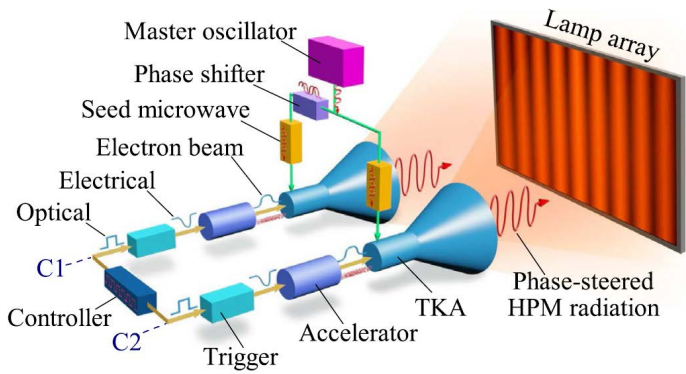


Figure 4. Principles of space power synthesis technology
图 4. 空间功率合成技术原理

3.4. 线上线下载结合

随着教学手段的不断丰富，线上教学的手段也被引入到授课过程中[13] [14]。本门课程创建了云班课，会将授课的内容以及资源进行上传，学生可以在课后下载学习。本门课程在线上建立了丰富的资源库，包含了基本问题研讨、实际问题分析、视频动画、学生历年调研报告、仿真模型等。此外还可以对学生的在线学习情况、课后复习情况进行统计，方便老师及时掌握学生的学习动态。同时，还引入了中国

大学 MOOC《微波技术与天线》(西安电子科技大学 王新稳等)[15],《微波技术基础》(北京航空航天大学 全绍辉)[16]两门在线课程作为本门课程的补充,方便学生在线上学习。线上线下相结合的教学方式有以下优点:1) 课堂教学突出重点内容,线上教学对线下教学介绍不够详细或者遗漏的知识漏点进行有机补充,即提高了课堂教学的效率,也更有利于学生对本门课程进行更加深入和全面的学习;2) 线上学习时间比较自由,许多慕课是按照知识点划分来授课,每个知识点时间不长,学生可以利用自己的琐碎时间来学习,从而增强学习的效率。

3.5. 课堂有机思政

课程思政是研究生教育需要重点关注的内容之一,本课程从确立思政目标,挖掘思政元素,梳理思政要点,编写思政案例,设计思政环节,课堂有机思政等六个方面开展课程思政。例如,基于电磁理论及其应用,挖掘辩证唯物主义世界观和方法论对科学研究的重要指导作用,激发学生求实创新;通过钱学森等老一辈科学家感人故事,深植学生责任感、使命感和家国情怀;结合我单位最新的技术创新和突破,深植学生民族自豪感和集体荣誉感,增强学生创新意识。

4. 总结

《高功率微波技术》课程是电子科学与技术、电子信息技术、物理电子学等专业研究生设置的一门专业课程,覆盖高功率微波产生、传输、发射、测量等相关内容,本文主要探讨了课程的教学设计和教学策略,从注重基础、把握深度,联系科研、贴近应用,聚焦前沿、放眼发展,启迪思维、激发创新,强化自主、鼓励进取等六个方面入手,综合运用理论结合仿真、技术面向应用、知识链接前沿、线上结合线下、课堂有机思政等教学策略,并通过多种教学方法的交叉融合,提高学生的学习积极性和自主性,培养学生解决实际问题的能力和创新创造能力,为今后从事高功率微波技术研究和应用打下坚实的基础。

参考文献

- [1] Barker, R.J., Schamiloglu, E., 编. HPM 源与技术[M]. 《高功率微波源与技术》翻译组, 译. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] Benford, J., Swegle, J.A., Schamiloglu, E. 高功率微波[M]. 第2版. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [3] 周传明, 刘国治, 刘永贵, 等. 高功率微波源[M]. 北京: 原子能出版社, 2007.
- [4] Mark, H. (2000) Beam Weapons Revolution-Directed-Energy Weapons Point the Way for Battlefield Technology. *Janes International Defense Review*, 8, 34.
- [5] Gaponov, A.V., Flyagin, V.A., Fix, A.S., Gol'denberg, A.L., Khizhnyak, V.I., Luchinin, A.G., *et al.* (1980) Some Perspectives on the Use of Powerful Gyrotrons for the Electron-Cyclotron Plasma Heating in Large Tokamaks. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 1, 351-372. <https://doi.org/10.1007/bf01007321>
- [6] Clunie, D. (1997) The Design, Construction and Testing of an Experimental High Power, Short-Pulse Radar, Strong Microwave in Plasmas. Novgorod University Press.
- [7] Benford, J. (2008) Space Applications of High-Power Microwaves. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 36, 569-581. <https://doi.org/10.1109/tps.2008.923760>
- [8] 张克潜, 李德杰. 微波与光电子学中的电磁理论[M]. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2021.
- [9] 王文祥. 微波工程技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 1-5.
- [10] 张治国, 索艳格, 叶阳辉, 等. 基于建构主义学习理论的高等燃烧学课程教学改革与实践[J]. 高教学刊, 2025, 11(16): 133-136.
- [11] 陈佳敏. 情境创设激发科学思维——基于情境认知与学习理论的研究[J]. 中国教师, 2025(5): 38-41.
- [12] Ju, J., Ge, X., Zhang, W., Dang, F., Zhou, Y., Yang, F., *et al.* (2023) Coherent Combining of Phase-Steerable High Power Microwaves Generated by Two X-Band Triaxial Klystron Amplifiers with Pulsed Magnetic Fields. *Physical Review Letters*, 130, Article ID: 085002. <https://doi.org/10.1103/physrevlett.130.085002>

-
- [13] 姜春林, 万明秀, 吴时兰. 高校公共课线上线下同步教学模式的探索[J]. 高教学刊, 2019(1): 66-68.
- [14] 党方超, 孙云飞, 袁成卫. 《微波技术与天线》课程教学策略探讨与研究[J]. 教育进展, 2021, 11(5): 1675-1679. <https://doi.org/10.12677/AE.2021.115259>
- [15] 王新稳, 李延平, 李萍, 等. 中国大学 MOOC, 微波技术与天线[EB/OL]. <http://www.icourse163.org/course/XDU-1206399806?from=searchPage>, 2025-02-28.
- [16] 全绍辉. 中国大学 MOOC, 微波技术基础[EB/OL]. <https://www.icourse163.org/course/BUAA-1002534005>, 2025-03-31.