

OBE和PBL驱动的《工程电磁场》 课程规划与教学实施

徐立中¹, 张 潇², 李玉满², 罗中华¹, 李 柯³

¹南昌理工学院电子与信息学院, 江西 南昌

²共青科技职业学院机电工程学院, 江西 九江

³南昌理工学院机电工程学院, 江西 南昌

收稿日期: 2024年3月20日; 录用日期: 2024年4月21日; 发布日期: 2024年4月28日

摘 要

本文以“新工科”建设和实施项目式课程体系建设为背景, 基于成果导向教育(OBE)理念导引, 以项目式学习(PBL)实践和研究为着力点, 重构《工程电磁场》课程“教与学”。在对《工程电磁场》课程规划设计、主要教学问题和对策分析基础上, 介绍了基于“构思-设计-实现-运作(CDIO)”方法的《工程电磁场》“教与学”, 对四个项目(即, 电磁场矢量分析、介电性能测量系统、工频电场强度测量仪、车载毫米波雷达系统)的开发和教学实施做了介绍和分析, 对项目式课程学习成果的考核和评价以及教学实施经验的总结分析等内容进行了讨论和介绍。

关键词

课程教学, 工程电磁场, 电磁仿真软件, 项目式学习, 成果导向教育

Course Planning and Teaching Implementation of “Engineering Electromagnetic Field” Driven by OBE and PBL

Lizhong Xu¹, Xiao Zhang², Yuman Li², Zhonghua Luo¹, Ke Li³

¹School of Electronics and Information, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

²School of Mechanical and Electrical Engineering, Gongqing Institute of Science and Technology, Jiujiang Jiangxi

³College of Electrical and Mechanical Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

Received: Mar. 20th, 2024; accepted: Apr. 21st, 2024; published: Apr. 28th, 2024

文章引用: 徐立中, 张潇, 李玉满, 罗中华, 李柯. OBE 和 PBL 驱动的《工程电磁场》课程规划与教学实施[J]. 教育进展, 2024, 14(4): 984-991. DOI: 10.12677/ae.2024.144616

Abstract

Under the background of the construction of “Emerging Engineering Education” and the implementation of project-based course system, based on the guidance of outcome based education (OBE) concept, focusing on the practice and research of project-based learning (PBL), this paper reconstructs the “Teaching and Learning” of “Engineering Electromagnetic Field” course. Based on the analysis of the main teaching problems and countermeasures of “Engineering Electromagnetic Field”, introduce the “Teaching and Learning” of “Engineering Electromagnetic Field” course based on the approach of “Conceive-Design-Implement-Operate” (CDIO), introduces and analyzes the development and teaching implementation of four projects (namely, “Vector analysis of electromagnetic fields”, “Dielectric-properties measurement system”, “Power frequency electric field strength measuring instrument”, “Vehicle mounted millimeter wave radar system”), discuss and analyzes the assessment and evaluation of learning outcomes of project-based courses, and the teaching implementation experience and so on.

Keywords

Course Teaching, Engineering Electromagnetic Field, Electromagnetic Simulation Software, Project-Based Learning, Outcome Based Education

Copyright © 2024 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

1.1. OBE 导引和促进专业课程改革

成果导向教育(Outcome Based Education, OBE), 又称为成果导向教育、能力导向教育, 是一种以成果为目标导向、以学生为本、采用逆向思维方式持续优化工程教育教学改革的先进理念。也是工程教育认证所遵循的基本理念。OBE 已成为美国、英国、加拿大等国家教育改革的主流理念, 被工程教育专业认证完全采纳。运用 OBE 理念导引和促进我国“新工科”建设, 保障和提高应用型人才培养质量, 以及课程体系建设、课程教学改革具有现实意义[1]。随着我国“新工科”建设的推进, OBE 理念已逐步贯穿在工科教学改革的多个方面, 诸如教学方法、教学过程、课程体系建设、专业课程改革等。

1.2. 重构《工程电磁场》“教与学”

项目式学习(Project Based Learning, PBL)方法, 教师将学生的学习任务项目化, 指导学生基于真实情境而提出问题, 并利用相关知识与信息资料开展研究、设计和实践操作, 最终解决问题并展示和分析项目成果。近年来在南昌理工学院“新工科”和课程体系建设框架下, 我们对《工程电磁场》课程进行了规划设计与教学实施。以 PBL 的实践和研究为着力点, 基于“构思-设计-实现-运作(CDIO)”方法[2][3], 重构《工程电磁场》“教与学”模式。改变单向灌输, 以学生为中心, 通过教师引导, 学生主动学习和探究真实工程问题/任务(项目), 强化实践创新, 获得综合的学科知识和工程技能。

1.3. 本文的内容组织安排

本文以南昌理工学院“新工科”建设和实施项目式课程体系建设、及电子与信息学院实施“基于项

目的专业核心课程建设与实践计划”为背景,在介绍 OBE 理念、PBL 方法,以及分析《工程电磁场》主要教学问题和对策的基础上,介绍基于 CDIO 方法的《工程电磁场》“教与学”,介绍和分析真实工程项目的开发;介绍和讨论项目式《工程电磁场》学习成果的考核和评价,以及教学实施经验的分析。最后对全文做出总结。

2. 《工程电磁场》主要教学问题和对策分析

《工程电磁场》课程是我院“电子信息工程”“通信工程”“电气工程及其自动化”等专业的一门专业核心课程。该课程的先修课是“高等数学”“矢量分析与场论”“物理电磁学”等课程。《工程电磁场》从电磁场的角度研究电磁物质的基本属性、运动规律及其相互作用,讲解宏观电磁场分布及电磁波传播的基本规律和特性以及工程应用中电磁场与电磁波问题的基本分析方法和计算方法,为进一步深入学习和研究解决各种复杂的电磁场与电磁波工程实际问题打下基础[4]。《工程电磁场》不仅是许多专业课程的重要基础,也是许多新兴交叉学科的发展基础和生长点。

《工程电磁场》主要教学问题和对策分析归纳列于表 1。

Table 1. Analysis of main teaching problems and countermeasures

表 1. 主要教学问题和对策分析

序号	《工程电磁场》教学问题	对策
1	传统课程教学,与“新时代卓越工程师”教育培养目标和要求欠匹配	OBE 理念导引 基于 CDIO 规划《工程电磁场》课程
2	传统课程教学,基本缺失学生挑战真实工程的项目式学习体验	建设项目式《工程电磁场》课程
3	电磁场理论深奥,概念抽象,学习理解困难	引入电磁仿真辅助教学软件

1) 我学院以往的《工程电磁场》采用先理论后实验的传统教学模式,与地方应用型本科院校“新时代卓越工程师”培养目标和要求欠匹配[5] [6] [7] [8]。通过 OBE 理念导引课程规划设计与教学实施,以项目式课程建设为抓手,基于 CDIO 规划设计《工程电磁场》课程,并修订了教学大纲。

2) 针对传统课程教学基本缺失学生挑战真实工程的项目式学习体验问题,重构《工程电磁场》“教与学”模式,通过教师引导,学生主动学习和探究真实工程问题/任务,获得综合的学科知识和工程技能[8] [9] [10]。

3) 《工程电磁场》通常基于麦克斯韦偏微分方程组进行授课,对于学生学习这门理论深奥的课程有着内在困难,需要结合对微分或积分形式的公式/数学符号和物理现象/物理过程的深刻理解才能完成[11] [12]。因此,需要引入电磁仿真辅助教学软件、计算电磁学(CEM)等先进的教学手段,构建“教师 + 学生 + 教材 + 课堂板书 + 数字媒体”五要素有机整体的教学环境,提供互动的和视觉学习环境、三维可视化帮助学习、电磁仿真辅助提高知识理解、抓住学生注意力、激励学习热情或激发潜能。

3. 基于 CDIO 的《工程电磁场》课程“教与学”

3.1. 《工程电磁场》教学大纲

《工程电磁场》由理论课和项目课组成。理论课学时: 48, 开课学期: 第四学期。分为五大教学模块(每个大模块又细分 3~5 个子模块): 1) 电磁场的数学、物理基础知识; 2) 静电场; 3) 恒定电磁场; 4) 时变电磁场; 5) 电磁辐射与电磁波。每个教学模块中均插入安排了 1 个课时左右的课程思政教学案例,其学习形式为课堂讲解、观看视频或集体讨论的混合,限于篇幅,本文不做详细介绍。

项目课规划设计四个项目(表 2): 不同专业学生可以选择其中的三个项目进行项目式学习。根据情况, 2~3 位学生可组成一个学习小组, 以小组为单位进行项目式学习。项目 A 和项目 B 这 2 个项目是必选项目, 以学生做为主, 教师指导为辅。项目 C 和项目 D 属高阶性与挑战度的项目, 这 2 个项目(考虑到课内课外总学时控制)以教师讲解和演示为主, 学生做为辅, 师生互动学习讨论。

Table 2. Professional teaching corresponding to the project
表 2. 与项目对应的专业教学

项目	项目主题	对应的专业教学	学习形式
项目 A: 电磁场矢量分析	采用 Matlab 作为可视化工具, 解析时变电磁场麦克斯韦方程组	电子信息工程 通信工程 电气工程及其自动化	学生做
项目 B: 介电性能测量系统	采用 Ansoft 仿真软件, 研究比较和验证介电性能测量方法	电子信息工程 通信工程 电气工程及其自动化	学生做
项目 C: 工频电场强度测量仪	测量工频电场强度、 电荷分布和辅助评价其电磁环境影响	电气工程及其自动化	教师讲解 演示为主 师生互动
项目 D: 车载毫米波雷达系统	构建半实物与仿真软件结合的实验环境, 开发工程解决方案	电子信息工程 通信工程	教师讲解 演示为主 师生互动

3.2. 基于 CDIO 规划设计项目式《工程电磁场》课程

CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate)工程教育方法是近年来国际工程教育改革的成果。2000 年美国麻省理工学院和瑞典皇家理工学院等几所高校创立的 CDIO 理念, 是培养新一代工程师的创新教育框架, 已发展成为全球领先的工程教育改革与实践方法之一。CDIO 代表构思(conceive)、设计(design)、实现(implement)和运作(operate), 它以产品研发到产品运行的生命周期为载体, 让学生以主动地、实践地、在课程之间有机联系的方式学习工程[2] [3]。

实施项目式课程教学, 以 CDIO 框架为基础, 规划设计《工程电磁场》课程“教与学”过程。在这一涉及《工程电磁场》教与学活动、PBL 成果和考核评价之间持续互动的 CDIO 框架下, 通过 PBL 进行主动学习。学生探究工程项目, 培养学生的工程系统技能和人际交往技能、批判性思维以及书面表述和口头沟通技能。

基于 CDIO 项目式《工程电磁场》课程的项目开发和教学实施, 包括四个阶段[2]:

- 1) 构思阶段: 项目开发的早期阶段, 主要是构思项目的概念和确定任务目标。
- 2) 设计阶段: 在学生分成的工作小组中, 在老师的指导下, 学生必须定义所涉及的组件和工具, 制定项目计划、设计算法、设计项目成果。
- 3) 实现阶段: 学生将提出的设计(硬件、软件或测试)具体化, 验证给定约束条件下的完成情况, 并评价符合构思和设计阶段所要求的程度。
- 4) 运作阶段: 这个阶段包括学生展示解决真实工程问题/任务(项目)的成果、原型系统/作品(软件或硬件)的演示, 也包括听取其他学生和教师(或专家)的反馈意见; 作为最终成果考核评价的一部分, 学生必须提交书面技术报告; 完成所有步骤后, 学生会收到老师的反馈并修改完善所提交的原型系统/作品或相关组件。运作阶段完成后, 通过成果考核评价, 得到相应的成绩。

4. 项目开发和教学实施

4.1. 项目 A：电磁场矢量分析

“电磁场矢量分析”项目与时变电磁场如何在电介质中以波的形式传播能量并抽象为数学表达直接相关。项目主题与理论授课教案中的电磁场的数学、物理基础知识、静电场、恒定电磁场和时变电磁场知识相关。主要目标之一是解决学生理解法拉第电磁感应定律和麦克斯韦方程组的困难[4] [11]。采用数学软件 Matlab 作为可视化工具,通过可视化模型学习和探究时变电磁场在电介质中传播能量的工程问题。学生按老师的布置可选择性地包括:位函数方程与静电场边值、恒定电场位函数方程与介质分界面的衔接条件、恒定磁场介质分界面衔接条件、恒定磁场标量/矢量磁位解析、矢量场分量与传播方向的区别、电磁波的极化、驻波、径向波、功率辐射和天线阵列等。学生在主动学习和探究项目主题问题中,老师只布置给学生有关项目的一个初步的概念和任务的描述,学生则需要依据课堂上理论授课的知识和利用 Matlab 软件编程来进行建模和设计开发,以可视化界面显示“电磁场矢量分析”项目设计开发的主题内容,满足老师布置的任务要求并回答所有预先布置的学习和探究问题。

4.2. 项目 B：介电性能测量系统

“介电性能测量系统”项目属于基于无线电和微波一类方法的介电性能测量,主要涉及介质材料电磁特性测量这一主题内容。项目主题与理论授课教案中的时变电磁场、电磁辐射与电磁波知识相关。学生必须深入了解无线电波通过媒介传播的介质材料介电特性和介磁特性,介电常数,磁导率和电导率,边界条件和电磁波传播,电场和磁场耦合,电磁波在导介质中的传播,色散、相速度和群速度,反射系数和电磁波共振等,以及如何将这些知识应用于电波传播、介质材料特性分析等真实工程中[11] [13]。在项目设计、建模、仿真过程中,学生需借助 Ansoft 软件(一款基于电磁场有限元方法分析微波工程问题的三维电磁仿真软件),设计和实现有效可靠的介电性能测量方法,并在电磁仿真软件支持下显示比较和验证不同频率电波与不同传播媒介介电性能的研究结果。

4.3. 项目 C：工频电场强度测量仪

“工频电场强度测量仪”项目是为学生探究如何测量电力设施周围(即,高压输变电系统,配电室,感应炉,地铁,电动机车,医疗设备,烘干设备,计算机等有电磁辐射的作业场所)的工频(30 Hz~2000 Hz)电场强度、电荷分布和辅助评价其电磁辐射环境影响的真实工程项目[13]。项目主题与理论授课教案中的恒定电磁场、时变电磁场知识相关。在项目设计、建模、仿真过程中,需要对电场中电荷量分布测量并得到电场强度大小的方法,以及将感应测量得到的信号进行放大、滤波和模数转换和输出数字信号的处理方法等做出研究分析,开发出一套可行的工程解决方案。

4.4. 项目 D：车载毫米波雷达系统

“车载毫米波雷达系统”项目是向学生展示《工程电磁场》中讲授的主要概念和理论知识如何应用于真实工程,但并不要求实际做出车载毫米波雷达原型系统或展示真实的作品全部,而是开发出一套可行的工程解决方案。项目主题主要涉及时变电磁场、电磁辐射与电磁波。应用于汽车避障、防碰撞和自动驾驶的车载毫米波雷达通常工作在 30~300 GHz 频段(波长为 1~10 mm)毫米波段,波长介于厘米波和光波之间。车载毫米波雷达工作原理涉及电磁波的发射与接收、目标探测与识别、数据处理与智能处理和警告与干预等技术[14] [15]。在项目设计开发过程中,需要研究分析课程中一些有关时变电磁场、电磁辐射与电磁波等重要概念和知识,如电磁波在空气介质中的传播、波的反射、折射、波速和到达时间、电磁计算时域方法、微波探测信号处理等,并将这些概念和知识与真实工程应用联系起来。需要通过文献

资料的检索,设计一个初步的解决方案,在构建的半实物与仿真软件结合的实验环境中,对局部组件做出模拟分析,逐步逼近最接近于真实工程的方案。

5. 项目式《工程电磁场》学习成果的考核和评价

5.1. 学生学习成果

从2021年开始,我院对“电子信息工程”“通信工程”“电气工程及其自动化”三个本科专业的《工程电磁场》,全面实施了项目式课程教学。总结分析最近2届学生取得的PBL成果,与前几届未实施项目式课程教学的情况相比较,以往的《工程电磁场》课程学习,教师在课堂上单向传授,电磁场理论深奥概念抽象,学习理解困难,多数学生学习主动性较差,考试成绩总体不高。项目式课程教学的实施惠及全体学生,显著激发了学生学习热情,并提升了绝大多数学生的学习成绩,最大限度地支撑了工程系统技能、人际交往技能、批判性思维、书面表述和口头沟通技能的培养。另外,学生参加工程电磁场相关的电子学科竞赛的人数,与前几年未实施项目式课程相比有所增加。

5.2. 学习成果的考核和评价

学习成果的考核评价不仅考核对工程电磁场理论知识的掌握程度,更注重评价学生在学习过程中展现的学习能力及努力程度。我院项目式教学实施中,学生成绩(量化)考核和学生PBL表现(非量化)评价,各占的比例是:(量化)考核65%,(非量化)评价35%。需要说明的是,对于学习成果的考核和评价我院也是在探索和修改完善中。下面概要介绍我们的做法供参考。

工程电磁场理论和知识点内容参照课程大纲的要求,以卷面考试形式考核成绩,期末一次考试,不设期中考试,以100分制评价。卷面考试形式与以往的《工程电磁场》课程类同。这里不做详述。

学生PBL表现的非量化评价,体现在学习态度、技能提高二个方面。尽管我们制定了较详细的量化指标体系,但由于教师占据评价的主导地位,弹性大,主观性强,因而要求教师责任心强,“教与学”过程中善于观察及分析。

6. 项目式教学实施经验分析

基于CDIO框架,师生共同实施一个完整的“教与学”项目工作,将项目式教学活动、学生PBL成果和成果考核评价之间持续互动贯彻到整个《工程电磁场》教学过程中,已通过了2019、2020级2届学生(3个专业共计370人)的教学实践检验。取得的经验包括:

1) 学生通过构建半实物与仿真软件结合的设计、建模、实验环境,借助数学软件Matlab、三维电磁仿真软件Ansoft和可视化分析手段,对于深刻理解课堂讲授的理论深奥概念抽象知识帮助大。

2) 在“电磁场矢量分析”项目的教学中,大多数学生选择空气作为传播介质,基于Matlab数学软件中几种可视化向量场方法,分析法拉第定律和麦克斯韦方程组表征有关恒定、时变矢量场分量的内在联系,计算出场,并在平面上绘制可视化的场和波向三维图。通过2届学生的PBL成果考核评价分析来看,很好地达到了“电磁场矢量分析”项目教学的设计要求。

3) 在“介电性能测量系统”项目教学中,学生们首先检索文献,重点考察了1 MHz至1.5 GHz频段的介电测量技术方法,以及介电常数、磁导率、电导率测量的高精度标准技术:微波腔谐振器技术。在老师的指导帮助下,学生通过小组讨论分析矩形金属腔、圆柱形腔谐振器等不同方法,评估它们的技术适合度和性/价比,最终选择圆柱形微波腔谐振器解决方案,进一步使用Ansoft三维电磁仿真软件,通过可视化模型研究电介质中电磁能量传播和测量问题。在整个“介电性能测量系统”项目教学过程中,师生共同实施CDIO构思、设计、实现和运作之间的持续互动,检查控制教学过程,分析不足,提出修正,

讨论和评判 PBL 质量。通过最近 2 届学生的教学实践和完善,取得了系统性的《工程电磁场》项目式教学经验。

4) “工频电场强度测量仪”是为我院电气工程及其自动化专业开发的项目,“车载毫米波雷达系统”是为电子信息工程、通信工程专业开发的项目,通过最近 2 届学生的教学实践,以及以“车载毫米波雷达系统”为相关主题的学生学科竞赛多次获省级奖励情况来看,显示了在培养学生工程系统技能和人际交往技能、批判性思维及书面表达和口头沟通技能方面的作用明显。

5) 通过让学生动手解决真实工程问题,了解 CDIO 构思、设计、实现、运作的内涵与思想,体验团队协作、真实工程实践、具有挑战与获得感的 PBL,培养了学生设计、创造的思维习惯。

7. 结束语

本文以南昌理工学院电子与信息学院为例,在分析《工程电磁场》主要教学问题和对策基础上,提出了 OBE 和 PBL 驱动的《工程电磁场》课程规划设计方案,并已通过了 2 届学生的教学实践检验。

通过对 2019 级和 2020 级 2 届学生(电子信息工程、通信工程、电气工程及其自动化 3 个专业)的调查和统计分析,项目式课程教学的实施惠及了全体学生。与前几年未实施项目式课程教学相比,减少了学生对于《工程电磁场》学习理解困难,提升了绝大多数学生的学习成绩。另外,在通过 PBL 提高工程技能等方面,学生们也给予了好评。

本文仅是基于一所学校进行的单一案例的教学改革研究与实践,因此会存在局限性。但通过提出的项目式《工程电磁场》课程规划设计方案,以及所实施的方法和取得的经验,希望使读者能够得到参考和帮助。

基金项目

本文得到江西省自然科学基金(20232BAB202003)的资助。

参考文献

- [1] 李志义,朱泓,刘志军,夏远景. 用成果导向教育理念引导高等工程教育教学改革[J]. 高等工程教育研究, 2014(2): 29-34+70.
- [2] 徐梦溪,吴晓彬. CDIO 方法: 高等工程教育改革与新发展[J]. 教育进展, 2022, 12(3): 606-613.
- [3] 徐梦溪,卢阿丽,庄严. CDIO 工程教育改革实践模式与“中国制造 2025”的关联性[J]. 教育进展, 2022, 12(5): 1741-1747.
- [4] 王泽忠,全玉生. 工程电磁场[M]. 第 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2021.
- [5] 何柏青,梁玉英,李晓芳,赵慧,胡荣群,黄建军. 面向“卓越一线工程师”教育培养的专业课程建设与改革探索[J]. 创新教育研究, 2022, 10(4): 851-857.
- [6] 徐梦溪,熊建桥,杨庆. “工业控制软件综合实验”课程规划建设研究[J]. 创新教育研究, 2022, 10(12): 3131-3136.
- [7] 沈克永,邱震钰,胡荣群,彭雪梅,吴玲红,朱文龙. 创新产教融合模式、突出职业接口课程特色[J]. 职业教育, 2022, 11(3): 328-333.
- [8] 沈克永,胡荣群,邱震钰,王葵,吴玲红. 面向计算机信息类专业人才培养的实践教学改革创新实施路径设计[J]. 教育进展, 2022, 12(9): 3269-3274.
- [9] 黄陈蓉,徐梦溪,温秀兰,蔡玮. 校企深度合作、专业跨界联动的虚拟仿真实验/实训系统构建研究[J]. 职业教育, 2022, 11(5): 473-480.
- [10] 罗中华,杨扬,严林波,阮英兰,白书华. “传感器网络及应用”课程建设与教学模式改革的实施路径[J]. 教育进展, 2022, 12(4): 1235-1240.
- [11] Pérez-Cerquera, M.R., Hurtado-Londoño, J.A. and Cruz-Bohorquez, J.M. (2022) An Applied Electromagnetics Course with a Conceiving-Designing-Implementing-Operating Approach in Engineering Education. *Ingeniería y Universidad*, 26, 1-32. <https://doi.org/10.11144/javeriana.iedad26.aecw>

-
- [12] 吕殿利, 王志华, 张惠娟. 新时代背景下“工程电磁场”数字课程建设与实践研究[J]. 教育教学论坛, 2021(26): 9-12.
- [13] 魏颖, 张文静, 郭鲁. 电气测试技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2021.
- [14] 徐梦溪, 陆云扬, 谈晓珊, 施建强. 固态激光雷达传感器技术及无人机载测深应用[J]. 电子测量技术, 2021, 44(15): 89-96.
- [15] Venon, A., Dupuis, Y., Vasseur, P. and Merriaux, P. (2022) Millimeter Wave FMCW RADARs for Perception, Recognition and Localization in Automotive Applications: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 7, 533-555. <https://doi.org/10.1109/TIV.2022.3167733>