



“电路分析与电子线路”课程教学改革与实践

涂 程¹, 崔红玲², 何松柏², 钟洪声^{1*}

(1. 电子科技大学 集成电路科学与工程学院, 成都 611731; 2. 电子科技大学 电子科学与工程学院, 成都 611731)

摘要: 传统电路学科基础课程的内容和教学方式已经无法满足当代电子信息科技产业的高速发展需求。2018 年, 电子科技大学在全校范围内推出了学科基础课程“电路分析与电子线路”, 融合了学校原有的“电路分析基础”和“模拟电路基础”两门专业基础课程, 在课程内容和教学方式上进行了改革。该文介绍了“电路分析与电子线路”课程教学改革和实践的进展, 并通过 2018—2022 年共 7 912 名学生的成绩统计数据分析了该课程的教学效果。结果表明尽管该课程的学时大幅小于之前两门专业基础课程的学时之和, 但通过 5 年的课程建设, 该课程已经实现了良好且稳定的教学效果。

关 键 词: 电路分析与电子线路; 教学改革; 实践; 创新

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20230229](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20230229)

Teaching Reform and Practice of the Circuit Analysis and Electronics Course

TU Cheng¹, CUI Hongling², HE Songbai², ZHONG Hongsheng^{1*}

(1. School of Integrated Circuit Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. School of Electronic Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: The course content and teaching method of conventional electronic circuit courses can no longer meet the rapid development requirement of the contemporary electronic information technology industry. In 2018, a fundamental discipline course “Circuit Analysis and Electronics” merging two previous courses of “Fundamentals of Electric Circuits” and “Fundamentals of Analog Circuits” was launched in University of Electronic Science and Technology of China which carries reforms in the course contents and teaching methods. This work introduces the progress of teaching reforms and practices of this new course, and evaluates the teaching effect by analyzing the statistical data of student grade from 2018 to 2022. The analysis results show that good and stable teaching effect has been obtained after 5-year course construction, though the credit hours of this new course is significantly reduced compared to the total of previous two.

Key words: circuit analysis and electronics; teaching reform; practice; innovation

为了应对新一轮科技革命与产业变革, 教育部在 2017 年提出了“新工科”建设理念^[1-4], 旨在为国家培养工程实践能力强、创新能力强、具备国际竞争力的高素质复合型人才。“新工科”建设对高等院校的工科教育提出了更高的目标, 要求学生不仅能够掌握某一特定学科的专业知识, 而且还能触类旁通, 具备针对交叉学科知识的自

主学习能力, 能够运用新知识、新技术去解决实际问题, 成为具有良好人文素养的综合性人才。在此背景下, 国内各高校纷纷开始探索工科教学的新模式和新方法, 着力培养学生的实践能力、创新意识和综合素质, 力求将“新工科”建设思想与课程思政进行有机融合, 进一步深化大学工科教育的转型和升级^[5-8]。

收稿日期: 2023-04-27; 修回日期: 2024-02-21

基金项目: 国家自然科学基金(62004029)。

作者简介: 涂程(1985-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事微机电系统方面的研究工作。

*通信作者: 钟洪声(1961-), 男, 硕士, 教授, 主要从事电子信息技术领域的教学与科研工作。E-mail:

hszhong@uestc.edu.cn

为了适应现代电子信息技术的最新形势和发展规律,电子科技大学从 2018 年春季开始在全校范围内针对本科一年级学生推出了学科基础课程——“电路分析与电子线路”(64 学时)。该课程融合了原先的“电路分析基础”(72 学时)和“模拟电路基础”(64 学时)两门专业基础课程的主要教学内容,教学改革力度走在了全国前列。截至 2022 年底,“电路分析与电子线路”课程的教学工作已经顺利开展了 5 年。本文将介绍 5 年来该课程教学改革和实践情况,并根据 7 912 名学生的成绩统计数据该课程的教学改革效果,旨在为相关工科专业基础课程在“新工科”建设理念指引下的教学改革提供参考。

1 教学改革背景

随着电子信息技术的迅猛发展,人们生活中遇到的实际电路基本元件逐渐由分立元件变成了集成电路元件,电路设计的主要对象也从利用 KVL、KCL 定理(即可分析的 RLC 电路)慢慢过渡到依靠计算机仿真软件才能处理的复杂电路模块,因此偏重理论分析的传统电路学科基础课程也一直面临改革和创新的压力。

文献 [9] 融合了传统的电路分析基础、模拟电路基础和数字电路基础三大电路专业基础课程内容,强化了金属氧化物半导体场效应管(MOSFET)和运算放大器(OP AMP)的地位,使教学内容更加贴近实际电路模块化、集成化的发展趋势。另外,该教材充分结合了理论和实践,通过引入大量工程实例构建教学体系,使学生充分认识电路模型理论与工程实际应用之间的密切联系,进而激发学生的学习热情和兴趣。

近 20 年来,国内众多高校也一直在尝试对传统电路学科基础课程进行教学改革和创新^[10-14],并涌现出了许多优秀教材^[15-17]。传统电路学科基础课程亟须改革有以下 4 个方面的原因。

1) 教育部倡导的“新工科”建设理念强调培养学生工程实践和动手解决实际问题的能力,旨在激发学生自主学习的兴趣 and 创新能力,为工科教育的改革吹起了号角。

2) 电子信息领域的发展日新月异,大规模和超大规模集成电路在人们的日常生活中发挥着越来越重要的作用。随着电路分析对象复杂度的提升,将计算机仿真软件辅助设计和分析方法融入

课程教学成为必然。

3) 传统电路学科基础课程数量较多,占用总学时较长。大学本科固定的四年学制与学科快速发展带来的新兴知识爆炸之间的矛盾使原本属于高级专业课程的知识下沉到基础课程成为必然。

4) 在传统电路专业基础课程中,学生往往需要花费较多的时间和精力在“列方程求解”上,使学生容易产生课程学习内容与实际科研生产情况脱节的印象,既而引发学生课程学习热情不高、动力不足、压力过大的情况。

由于上述原因,针对传统电路学科基础课程的教学改革势在必行。因为该类课程往往是电子信息、光电、计算机、控制、机电等多个大类系统专业本科学生接触的第一门专业基础必修课程,对启蒙学生的工程思维起着关键作用,也是后续高级专业课程的重要基础支撑,所以针对电路学科基础课程的教学改革必须考虑周全细致,符合教学单位的实际情况,否则将产生“牵一发而动全身”的负面作用。因此,采用合适的教学改革方式显得尤为重要。改革举措如图 1 所示。

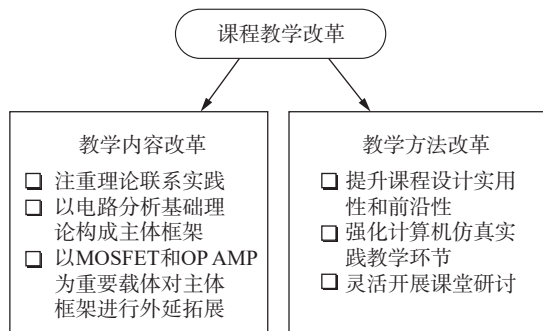


图 1 课程教学改革举措

2 教学改革措施

2.1 教学内容改革

2018 年春季学校在全校范围内推出了针对一年级本科生的“电路分析与电子线路”课程(64 学时)。该课程的定位是电子信息工程类专业的一门学科基础课程,是学习信号获取、信号传输、信号放大等重要技术手段的入门课程。该课程以电子元器件—基本电子线路分析方法—电子系统设计应用为主线,要求学生学习、掌握电路的基本原理和特点,熟悉电路的基本分析方法,初步培养学生电路设计和综合应用能力,让学生学会利用电路仿真软件进行电路分析和设计,能够结

合课程内容开展实验验证,为后续相关专业课程学习奠定理论基础,并初步建立工程科学思维。

该课程共64学时,分为“基本元器件及器件模型”“电阻网络”“网络定理”“非线性电阻电路基本分析方法”“放大电路基本概念及分析”“动态电路及瞬态分析”和“电路频率特性”7个章节。针对每个章节的教学内容都设计了若干实际应用电路案例,鼓励学生积极动手实践或利用电路仿真软件完成案例的设计和分析,并给出设计分析报告。

新推出的课程融合了原有的“电路分析基础”(72学时)和“模拟电路基础”(64学时)两门专业基础课程的主要内容,并不是将原有两门课程的教学内容进行简单拼接,而是进行了深度有机融合。该课程保持了“电路分析基础”的主体框架,即以电阻电路分析、动态电路分析和正弦信号激励下的稳态电路分析3个部分为主体框架。在此框架之下,利用MOSFET和OP AMP作为重要载体对上述3个部分进行外延拓展。以下为若干外延拓展的具体案例。

1) 电阻电路分析非线性电路部分

以MOSFET为实例讲解压控电流源模型、开关-电阻模型和非线性电阻模型的作用,使学生认识到理想模型并不是人们“空想”出来的,而是来源于真实世界中的电路基本元件,具有重要实际功能。同时,学习这些以MOSFET为载体的理想模型又为后续讲授模拟信号放大和数字逻辑门等重要概念奠定了基础。

2) 电阻电路分析运算放大器部分

以OP AMP为实例讲解压控电压源模型和二端口网络分析方法的功能,使学生在不清楚OP AMP内部电路结构的前提下敢于利用其端口电压和电流的关系去分析和设计OP AMP的外部电路,培养学生在面对复杂电路结构时的抽象化和模块化处理意识。

3) 动态电路分析

以MOSFET为实例讲解其栅极寄生电容产生的原因,阐述管子导通时充电、关断时放电的过程,引出传输延迟的概念,并简要介绍管子传输延迟效应与数字集成电路芯片(如学生熟悉的电脑CPU芯片)工作频率的大体关系,使学生将课堂知识与实际经验紧密联系起来,进而理解学习动态电路分析方法的必要性和重要性。

4) 正弦信号激励下的稳态电路分析

以OP AMP为实例讲授有源滤波器的工作原理,利用阻抗分析法推导滤波器的传输函数,并通过波特图分析不同类型滤波器的频率特性和作用,使学生在理解正弦稳态响应分析方法的同时熟悉OP AMP的实际应用场景。

上述教学内容改革采用了以“电路分析基础”构建主体框架,以“模拟电路基础”拓展外延的方式,既完整讲授了电路理论体系,又保持了与实际应用电路的密切联系。随着电子信息领域的高速发展,MOSFET和OP AMP可能会像电子管、真空管那样逐渐被挤压到时代的角落,性能更加强大的电路元件还会不断涌现,但本课程讲授的电路学理论体系依旧能起到重要的基础支撑作用,而且通过调整外延拓展内容即可灵活实现电路理论与工程实践的紧密结合,保证该课程的教学内容能够与时俱进、不断丰富。

2.2 教学方法改革

传统电路专业基础课程注重理论的完整性和严密性,倾向于培养学生分析电路的能力,却往往忽视了学生在设计电路实际问题方面的培养,导致学生产生了电路专业基础课程就是针对理想模型“列方程求解”的错误观念,使学生陷入了不断追求电路求解技巧的泥潭,无法看见电路分析过程中的通用方法和思路,形成“一叶障目,不见泰山”的局面。这也是造成传统电路专业基础课程中普遍存在的“工科理科化发展”问题的部分原因。针对上述问题,新推出的“电路分析与电子线路”课程增加了课程设计、仿真实践教学和课堂研讨的学时占比,具体的改革措施有如下3个方面。

1) 提升课程设计实用性和前沿性

本课程是针对本科一年级学生的专业基础入门课程,因此必须考虑大多数一年级学生没有工程实践经验这一实际情况。在此前提下,如何利用课程设计让学生将课堂学习到的知识运用到工程实践之中具有一定挑战性。本课程鼓励授课教师选用具有实用性和前沿性的课程设计题目,充分调动学生主动学习的积极性和热情。同时,课程设计遵循循序渐进培养学生工程实践动手能力的总方针。如在课程初期安排小功率线性稳压电源电路作为课程设计题目。该题目电路结构简单,只包含工频变压器、全桥整流电路、电容滤

波器、三端线性稳压芯片 7805 和输出电容 5 个元器件, 对学生动手实践能力要求不高, 但能较好地让学生意识到电路的实用性, 容易获得工程实践的成就感和自信心。

在课程后期, 可以安排一些难度稍大, 且涉及前沿热点的挑战性课题, 如采用基于梯形拓扑结构的 RLC 元件滤波器作为课程设计题目, 电路结构如图 2 所示。该课程设计题目涉及我国当前面临的“卡脖子”技术之一——射频声学滤波器技术。目前, 一部智能手机中一般拥有 60 颗以上的声学滤波器芯片, 它的基本构成单元为微型声学谐振器, 采用特殊微加工工艺制备, 因此不适合作为低年级学生的工程实践课题。考虑到微型声学谐振器的等效电路即为串联 RLC 谐振单元与一个电容组成的并联结构电路, 课程设计内容可以做出以下调整: 利用由 RLC 分立元件组成的谐振电路取代制备工艺复杂的微型声学谐振器, 构成由 RLC 分立元件构成的梯形滤波器。虽然基于 RLC 分立元件的滤波器性能指标远低于声学滤波器, 但这种滤波器实现形式在不改变基本原理的前提下极大地简化了实物电路的制备方案, 易于电路初学者动手进行工程实践。该课程设计在加深学生对正弦信号激励下的稳态电路幅频、相频特性以及传输函数理解的同时, 又拓展了学生在前沿热点领域的视野, 激发了学生了解和挑战国家“卡脖子”问题的热情和兴趣。

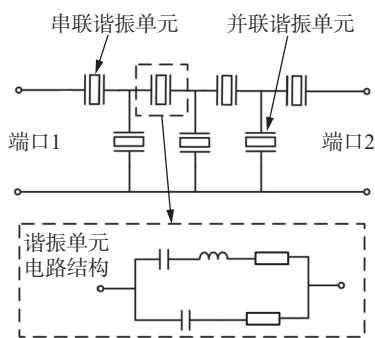


图 2 利用 RLC 分立元件构成梯形滤波器

2) 强化计算机仿真实实践教学环节

本课程建议学生利用数学工程软件 MATLAB 和电路仿真软件 Multisim 进行电路辅助分析。如在讲解节点方程的矩阵求解法这一知识点时, 鼓励学生编写 MATLAB 程序代码, 利用矩阵法求解拥有多个节点的复杂电路, 让学生认识到矩阵求解的简洁和高效, 以及面对复杂电路时计算机辅

助分析的优势。

在讲解 MOSFET 端口直流工作特性和工作点选取方法时, 鼓励学生利用 Multisim 案例库中的管子模型绘制输出特性曲线和转移特性曲线, 讨论直流工作点选取对小信号放大倍数的影响, 利用仿真软件中曲线动态可调的功能给学生带来更加直观的印象, 进而加深学生对管子直流特性和小信号放大机制的理解。同时, 通过对比仿真曲线与实际器件数据手册中图表曲线的异同, 激发学生思考、讨论造成差异的可能原因。

本课程建议学生利用电路仿真软件完成所有课程设计的验证和分析, 学会运用软件自带的元器件和仪器模型构建一个虚拟的实验环境, 力求使学生将电路基础理论与仿真结果联系起来, 提升其面对复杂电路问题时的工程实践能力。

3) 灵活开展课堂研讨

本课程鼓励授课教师根据实际情况灵活开展研讨式教学, 避免出现教师“独白式”授课, 鼓励学生充分参与课堂互动, 调动学生的积极性和主动性, 培养学生独立思考意识、协同合作精神和口头表达能力, 促进学生综合能力的发展。如图 3 所示, 本课程采用的课堂研讨形式多种多样, 主要包括演讲答辩、分组辩论、仿真竞赛、专题分析等。

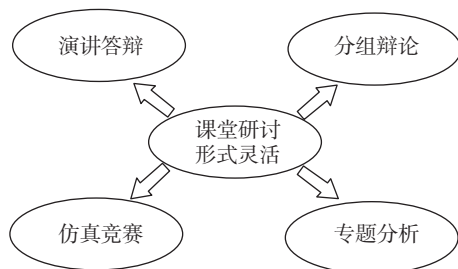


图 3 课堂研讨形式灵活多样

① 演讲答辩

在课堂教学过程中遇到重点概念或者难点问题, 邀请学生走上讲台, 以即兴演讲的形式表达自己对重点概念的理解或对难点问题的思考, 并针对台下同学提出的问题进行答辩。最后, 由授课教师对同学们的观点进行点评和分析。此种即兴演讲的教学方式旨在鼓励学生主动思考, 敢于当众表达自己的观点, 并与台下同学产生互动, 为课堂教学营造一个积极活跃的氛围。

② 分组辩论

将多名学生划分为 2 个小组, 针对授课教师

指定的辩题开展辩论。辩题可以结合课程教学内容中具有思辨性的知识点,如“直流和交流哪个好?”“分立器件和集成器件哪个好?”“MOSFET管和BJT管哪个好?”等不存在标准答案的题目。为了保证辩论效果,授课教师一般会在课前指定辩题,留给两组学生充足的时间查阅相关文献和资料,并确定辩手职责、构思论点和组织材料。这种分组辩论的教学方式旨在调动学生参与课堂教学的积极性,培养学生创新思考的意识与协同合作的精神。

③ 仿真竞赛

指鼓励学生课后利用电路仿真软件解决指定问题,完成仿真分析报告PPT,并在课堂上以竞赛的形式进行评比,进而选出仿真方法简单高效、仿真结果真实准确的解决方案。授课教师和学生作为评委进行打分和点评。仿真题目一般选取设计自由度较大题目,如“音频放大电路设计”“带通滤波器电路设计”等。此种教学方式旨在激发学生课后主动学习电路仿真软件的积极性,培养学生面对开放性课题的创新意识和实践能力。

④ 专题分析

要求学生针对课前指定的课程设计题目进行演讲和展示,鼓励学生深入剖析难点问题,构建解决问题的思路。课堂展示的形式上不做限制要求,可以课程讲授知识点为基础,利用理论推导完成分析过程,也可借助仿真软件实现分析和验证。此种教学方式旨在培养学生面对复杂问题时的独立思考能力和创新能力,并同时锻炼学生在讲述复杂问题时的口头表达能力。

3 教学改革效果

学校新推出的“电路分析与电子线路”课程更加注重培养学生理论联系实际的能力。因此,该课程没有采用单一的考核标准,而是将课程考核分成了多个部分。在该课程的考核方式中,平时成绩占总成绩的50%,主要包括课堂讨论与交流、课后作业、课程设计和中期测验。其中,课程设计成绩占平时成绩的40%,力求强化学生工程实践能力的培养。该课程的期末考试采用闭卷形式,期末考试成绩占总成绩的50%。

“电路分析与电子线路”课程2018年—2022年的学生总成绩分布如图4所示。从图中可

以看出,该课程学生总成绩分布呈现趋于平稳的发展态势。其中,总成绩在80分以上的学生占比不断提升,总成绩低于60分的学生占比趋于稳定。该图从学生总成绩的角度反映了该课程经过不断调整优化,逐渐实现平稳运行的过程,体现了该课程50多位授课教师共同努力的成果。目前,这门课程的第一届学生已经顺利完成了4年本科学业,对该课程的教学效果反馈良好,表明该课程的教学改革产生了积极效果,对后续专业课程的学习起到了基础支撑作用。

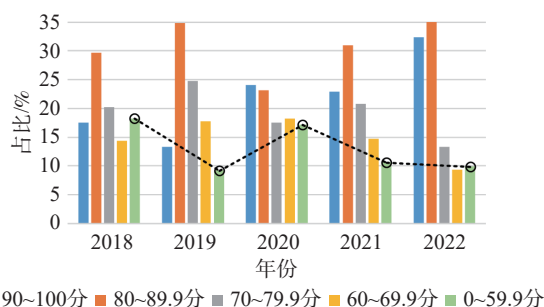


图4 “电路分析与电子线路”课程学生总成绩统计分布图(共7912名学生)

4 结束语

“电路分析与电子线路”课程作为学科基础课程,对后续专业课程具有重要的基础支撑作用,因此,讲授好这门课程是所有授课教师的使命。为了适应电子信息技术的高速发展,电路相关课程的改革与更新将会一直持续下去,相关教学内容和教学方法也预期会不断推陈出新,形成百家争鸣的局面。本文的教学改革与实践为电路相关课程的教学改革提供了参考,并为提升课程教学质量贡献了力量。

参考文献

- [1] 林健. 面向未来的中国新工科建设[J]. 清华大学教育研究, 2017, 38(2): 26-35.
- [2] 吴岩. 建设中国“金课”[J]. 中国大学教学, 2018, 340(12): 4-9.
- [3] 叶民, 孔寒冰, 张伟. 新工科: 从理念到行动[J]. 高等工程教育研究, 2018, 168(1): 24-31.
- [4] 顾佩华. 新工科与新范式: 概念、框架和实施路径[J]. 高等工程教育研究, 2017, 167(6): 1-13.
- [5] 李露, 罗晓燕, 刘博, 等. 面向新工科的“多元交叉”实践教学教学改革研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(1):

- 53-58.
- [6] 胡波, 冯辉, 韩伟力, 等. 加快新工科建设, 推进工程教育改革创新: “综合性高校工程教育发展战略研讨会”综述[J]. 复旦教育论坛, 2017, 15(2): 20-27.
- [7] 张海生. 我国高校“新工科”建设的实践探索与分类发展[J]. 重庆高教研究, 2018, 6(1): 41-55.
- [8] 夏春琴, 刘莞健. 新工科背景下创新人才培养模式的探索与研究[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(5): 64-67.
- [9] AGARWAL A, LANG J H. Foundations of analog and digital electronic circuits[M]. Amsterdam: Elsevier Inc, 2005.
- [10] 郑君里, 龚绍文. 电路原理课程改革之路[J]. 电气电子教学学报, 2007, 29(3): 1-7.
- [11] 于歆杰, 朱桂萍, 陆文娟, 等. “电路原理”课程教学改革的理念与实践[J]. 电气电子教学学报, 2012, 34(1): 1-8.
- [12] 钟洪声, 汪玲, 崔红玲. 再谈“电路分析基础”中的课程设计[J]. 实验科学与技术, 2017, 15(3): 8-10.
- [13] 贾生尧, 王燕杰, 李弘洋. 基于雨课堂的“电路分析基础”课堂教学改革与实践[J]. 教育现代化, 2017, 4(28): 77-79.
- [14] 高君华, 干红平, 张东. 电路分析课程教学改革[J]. 中国教育技术装备, 2017, 422(20): 92-93.
- [15] 于歆杰, 朱桂萍, 陆文娟. 电路原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [16] 钟洪声, 崔红玲. 电路分析与电子线路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [17] 何松柏, 吴涛, 游飞. 电路电子学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.

编辑 钟晓

(上接第 32 页)

进行多光谱成像分析, 获取对应区域的光谱图像, 并且通过函数分析等方式, 可以判断检测区域的变质与否, 从而达成水果品质的无损多光谱检测目的。后续的研究工作可以继续优化多光谱成像系统, 进行更深入严谨的数据分析等, 完善本文的多光谱检测方法, 以达到更简单、便捷、准确的水果品质检测效果。

参考文献

- [1] 陈斐, 刘媛媛, 王统焰, 等. 水果无损检测技术的应用现状[J]. 湖北农机化, 2021(5): 72-76.
- [2] 刘银年. 高光谱成像遥感载荷技术的现状与发展[J]. 遥感学报, 2021, 25(1): 439-459.
- [3] 朱豪男, 胡孟晗, 张健, 等. 低成本便携式多光谱成像系统的研发及优化[J]. 中国图象图形学报, 2021, 26(8): 1796-1808.
- [4] 王忠, 胡栋, 孙志忠, 等. 空间频域成像在农产品品质检测中的应用现状与展望[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 275-288.
- [5] 周竑宇. 基于多光谱图像的干燥果蔬水分检测研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [6] 马健. 全谱段高光谱成像光谱仪光学系统设计[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2023.
- [7] 于磊. 成像光谱仪的发展与应用(特邀)[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(1): 298-308.
- [8] 兰玉彬, 王天伟, 郭雅琦, 等. 柑橘黄龙病光谱特征波段选择及光谱检测仪研制[J]. 农业工程学报, 2022, 38(20): 119-128.
- [9] 孙康, 陈金勇. 高光谱图像波段选择技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [10] 孙桔坤. 基于液晶可调谐滤波器的染毒表面高光谱快速检测技术研究[D]. 北京: 军事科学院, 2021.
- [11] 章鑫恩. 基于 LCTF 高光谱成像系统的织物颜色测量性能评价与仪器校正[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2021.
- [12] 宋宏, 万启新, 吴超鹏, 等. 基于 LCTF 的水下光谱成像系统研制[J]. 红外与激光工程, 2020, 49(2): 1-7.
- [13] 宋宏, 张杨帆, 杨萍, 等. 基于 LCTF 成像仪的光谱反射率测量研究[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(10): 192-199.
- [14] 王伟, 苏富芳, 陈建中, 等. 偏光干涉法测量波片相位延迟量和厚度[J]. 光学技术, 2022, 48(5): 572-577.
- [15] 刘凤, 刘浩哲, 张文天, 等. 一种鲁棒的基于对抗结构的生物特征 ROI 提取方法[J]. 自动化学报, 2023, 49(6): 1339-1353.

编辑 葛晋