



新工科背景下通信电子线路基础 实验课程改革探索

薛睿, 王帅创, 高敬鹏, 林云, 杜正威

(哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 针对目前通信电子线路实验内容设置单一、教学手段不够丰富、教学效果不够理想等问题, 提出了以任务为主线、以教师为主导、以学生为主体的实验模式, 并融入联想、启发、任务驱动、项目类比等多种教学方法。以高稳定度 LC 正弦波振荡器的设计为例, 设计了“基本”“进阶”“扩展”3 种实验任务与内容, 以多样化“套餐”满足学生对于实验的不同需求; 在一块电路板上实现克拉波、西勒和并联型晶体振荡器电路, 使学生更容易掌握 3 种电路的区别与联系; 采用了项目类比教学法, 通过本实验使学生掌握解决典型通信工程问题的流程与科学方法; 任务引入与思政环节巧妙结合, 树立学生科学兴国的意识, 增强民族自豪感。

关键词: 通信电子线路基础实验; LC 正弦波振荡器; 实验模式; 教学方法

中图分类号: TP75

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230321

Exploration on the Curriculum Reform of “Basic Experiment of Communication Electronic Circuits” under the Background of New Engineering

XUE Rui, WANG Shuaichuang, GAO Jingpeng, LIN Yun, DU Zhengwei

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Aiming at the problems of single content setting, insufficient teaching means and unsatisfactory teaching effect of communication electronic circuit experiment, an experimental mode with task as the main line, teachers as the leading factor and student as the main body is proposed, and various teaching methods such as association, inspiration, task-driven and project analogy are integrated. Taking the design of high stability LC sine wave oscillator as an example, three experimental tasks and contents of basic, advanced and extended are designed to meet the different needs of students for experiments with diversified packages. The realization of Clapper, Sealer and crystal oscillator circuits on a circuit board makes it easier for students to grasp the differences and connections of the three circuits. The “project analogy teaching method” is adopted to enable students to master the process and scientific methods of solving typical communication engineering problems through this experiment. Task introduction and ideological and political links are skillfully combined to establish students’ awareness of rejuvenating the country through science and enhance national pride.

Key words: basic experiment of communication electronic circuit; LC sine wave oscillator; experiment model; teaching method

2017 年 2 月以来, 教育部积极推进“新工科”建设, 并率先在部分院校展开, “新工科”建设不仅是要建设新的专业, 还要对“老工科”提出新的要求, 强调学生应具备解决复杂工程问题的能力^[1-2]。然而“老工科”教学模式存在重理

论、轻实践, 教学内容单一、学生兴趣不足, 教学大纲落后等问题^[3]。通信电子线路基础实验课程也面临同样的问题, 课程组从实验内容、实验过程以及实验方法进行课程改革探索, 使学生能够设计针对通信工程领域复杂工程问题的解决方案,

收稿日期: 2023-06-28; 修回日期: 2023-10-24

基金项目: 黑龙江省高等教育教学改革研究项目(SJGY2020149)。

作者简介: 薛睿(1980-), 男, 博士, 教授, 主要从事电路与电子系统等方向研究。E-mail: xuerui@hrbeu.edu.cn

设计满足特定需求的系统、功能模块, 加强实践能力^[4], 并能够在设计环节中体现创新意识^[5-6], 使学生具有一定的工程实践、实验数据整理分析及技术文件撰写的能力^[7]。

通信电子线路基础实验课程独立设课, 总计 16 学时, 第五学期完成, 主要涉及小信号放大器的设计、丙类高频功率放大器的研究、高稳定度的 LC 正弦波振荡器的设计、振幅调制与解调电路 4 个实验内容。受黑龙江省高等教育教学改革研究项目的资助, 对通信电子线路基础实验课程进行课改, 经过 3 年的教学实践, 课改取得了预期效果, 提高了学生工程实践能力和创新能力, 受到了学生一致好评。课程组以“高稳定度的 LC 正弦波振荡器的设计”实验内容参加第八届全国高校电工电子基础课程实验教学案例设计竞赛, 获得决赛二等奖。

根据国家 2020 年印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》把思想政治教育贯穿人才培养体系, 全面推进高校课程思政建设, 发挥好每门课程的育人作用, 提高高校人才培养质量是首要任务^[8]。在“高稳定度的 LC 正弦波振荡器的设计”实验中, 任务引入与思政环节巧妙结合, 以国家授时中心的张首刚团队事迹为例, 引导学生树立科学兴国的意识, 增强民族自豪感。

该实验项目引入“以任务为主线、以教师为主导、以学生为主体”的实验模式, 以完成实验任务为线索, 采用任务驱动教学法, 有利于学生将所学理论和技能进行综合运用, 将所学知识与具体问题情景相联系, 激发学生的实践热情和创造力^[9-11]。此外, 任务的完成过程与科研项目的技术路线类似, 采用项目教学法使学生初步了解科研项目的实施过程^[12]。课前通过思考题引导实验, 课上通过思考题指导实验, 课后通过思考题升华实验。由技术指标出发, 进行电路的方案设计、元件参数估算、电路仿真^[13-15]、技术指标校验、焊接装配、通电调试、技术指标实测, 最后形成解决方案的流程与科学方法具有很强的移植性, 举一反三, 可推广应用到其他高频功能电路。

1 探索新型实验模式

1.1 实验模式

从本质上看, 本实验可视为科研项目实施过

程中的一个典型案例, 同样经历了任务布置、技术指标分析、方案论证、电路参数估算、软件仿真、技术指标校验、焊接装配、调试、技术指标实测、数据记录与处理、结果验收等环节, 如图 1 所示, 在教学中采用项目教学法, 引导学生了解科研项目与研究路线与流程。

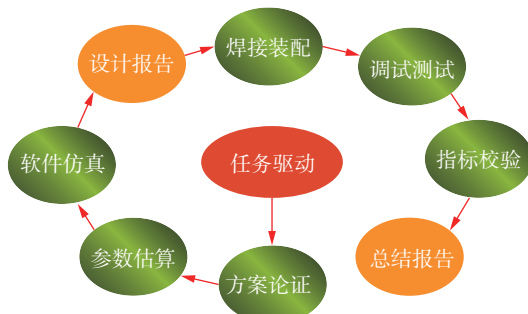


图 1 项目实施过程图

实验围绕如何完成“任务”展开, 教师采用任务驱动教学法, 从课前、课上、课后 3 个环节进行引导, 引发学生的“思考”, 让思考贯穿实验全过程, 教师精心设置思考题, 课前通过思考题引导实验, 课上通过思考题指导实验, 课后通过思考题升华实验。总的来说, 实验的模式是“以任务为主线, 以教师为主导, 以学生为主体”, 贯穿课前、课上和课后 3 个环节。

1.2 实验任务设置

频率稳定度是反馈型 LC 振荡器的主要技术指标之一, 一般电容三点式电路中晶体管的极间电容直接影响振荡器的输出频率, 造成该电路的频率稳定度较低, 仅能达到 10^{-3} 数量级。减小晶体管极间电容的变化量对谐振回路的影响是提高频率稳定度的主要措施, 基于该思路衍生了克拉泼、西勒和并联型晶体振荡器, 该实验以上述振荡电路为主要内容开展设计, 具体指标如下。

1) 基本任务

以克拉泼振荡电路(共基型)为对象, 完成该电路的设计、制作、调试以及性能测试, 判断振荡波形是否为不失真的正弦波, 测量振荡器输出信号的振幅 U_{om} 、频率 f_0 以及频率稳定度 $\Delta f_{max}/f_0$ 等技术指标, 使其满足 $U_{om} \geq 200 \text{ mV}$; 反馈系数 $F \in [1/8, 1/2]$; $f_0 = 6.000 \text{ MHz}$, $|f_0 \text{ 误差}| \leq 0.300 \text{ MHz}$; 振荡器 30 min 的频率稳定度 $\Delta f_{max}/f_0 \leq 1 \times 10^{-3}$ 。

2) 进阶任务

基于基本任务中的克拉泼振荡电路, 设计西

勒振荡电路,完成该电路的制作、调试以及性能测试,判断振荡波形是否为不失真的正弦波,测量振荡器输出信号的振幅 U_{om} 、频率 f_0 以及频率稳定度 $\Delta f_{max}/f_0$ 等技术指标,使其满足 $U_{om} \geq 300 \text{ mV}$;反馈系数 $F \in [1/8, 1/2]$; f_0 在 $[4.800, 5.800] \text{ MHz}$ 范围内连续可调且振幅保持恒定, $|f_0 \text{ 误差}| \leq 0.300 \text{ MHz}$;振荡器30 min的频率稳定度 $\Delta f_{max}/f_0 \leq 1 \times 10^{-3}$ 。

3) 扩展任务

基于基本任务中的克拉泼振荡电路,设计并联型晶体振荡电路,完成该电路的制作、调试以及性能测试,判断振荡波形是否为不失真的正弦波,测量振荡器输出信号的振幅 U_{om} 和频率 f_0 ,使其满足 $U_{om} \geq 80 \text{ mV}$; $f_0 = 6.000 \text{ MHz}$, $|f_0 \text{ 误差}| \leq 0.001 \text{ MHz}$ 。

2 方案论证及实验实施

2.1 方案论证

实验开展过程中,将“以教师为中心的课堂教学”转变为“以学生为中心的自主学习”,这种自主学习贯穿了课前、课上和课后3个环节。

1) 课前阶段

在实验课开始前,教师以线上或线下的形式召集学生进行实验前导课。教师通过实例向学生阐述振荡器的应用与技术指标的联系,为实验任务的引入做铺垫推出实验任务,说明任务的具体要求。教师分析实验任务,引导学生建立功能与模块、技术指标与电路参数之间的联系。教师布置课前思考题,引发同学的思考,实验从思考中起步。通过思考题加深对LC三点式正弦波振荡器和晶体振荡器工作原理的理解,加强理论应用于实践并指导实践的意识,引导学生初步掌握三点式振荡器的设计思路与主要电路参数估算。

2) 课上阶段

按照学生和教师两条线索展开,学生线索为主、教师线索为辅,提高学生的自主实验意识。教师讲解设计方法,分析设计报告中存在的主要问题。引导学生掌握实验实施的各个环节。在焊接和通电环节对学生进行实验安全教育。教师设置部分思考题,增强学生的自主实验意识,使学生在思考中实验。教师验收学生实测数据及核对振荡波形,合格者整理实验台后离场。

3) 课后阶段

教师布置思考题,学生通过思考题总结升华

实验,强化理论与实践的结合。学生撰写实验总结报告。实验总结报告内容涉及实验数据处理、实验结果分析、故障分析与解决办法、实验总结或结论、实验心得等。教师展出部分高质量实验报告(含设计报告和实验总结报告),提升学生实验报告撰写质量。

2.2 电路设计

按照“基本任务→进阶任务→扩展任务”的顺序开展实验,即按照“克拉泼→西勒→并联型晶体”振荡电路的顺序开展实验内容。

1) 克拉泼振荡电路

如图2所示为克拉泼振荡电路图,与普通电容三点式振荡器的最明显区别是在LC谐振回路中引入了电容 C_3 ,由于 C_3 较小,它可以有效地减小晶体管极间电容的变化对振荡频率的影响,提高振荡器的频率稳定度。由于 $C_3 \ll C_1$, $C_3 \ll C_2$,则回路的谐振频率主要由 C_3 决定,此时振荡器的振荡频率约为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}} \quad (1)$$

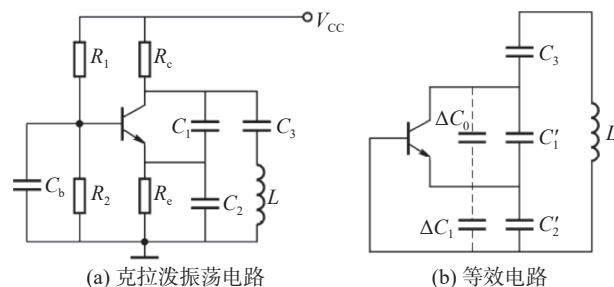


图2 克拉泼振荡电路及其等效电路图

静态工作点的设计,由实验任务可知,晶体管采用共基组态,此时可通过估算电阻 R_1 、 R_2 、 R_c 、 R_e 来设置静态工作点,振荡器的静态工作电流 I_{CQ} 通常设置为 $1\sim 4 \text{ mA}$,对上述电阻的阻值进行估算。 L 和 C_3 的设计,由技术指标 $f_0 = 6.000 \text{ MHz}$,参考式(1),在假定电容 C_3 数值的前提下,可推算电感的数值。图2所示振荡器的反馈系数 F 为:

$$F = \frac{U_{eb}}{U_{cb}} = \frac{1/\omega C_2}{1/\omega [C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

式中:若 F 较大,振荡器容易起振,但波形较差;若 F 较小,虽然波形较好,但往往振幅较小,稳幅能力较弱,而且不易起振。综合考虑以上两方面因素, F 通常取 $1/4\sim 1/3$ 。

2) 西勒振荡电路

如图3所示为西勒振荡器的电路图,西勒振

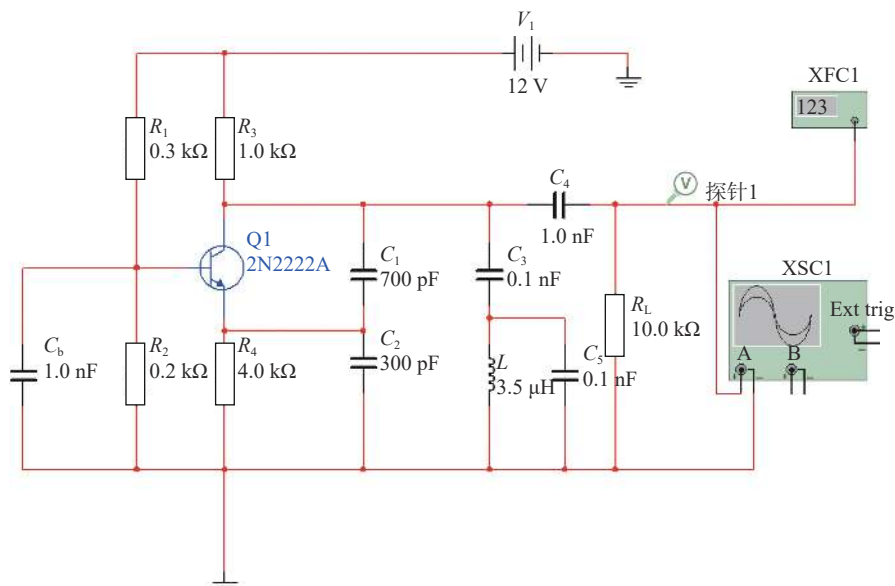


图 6 西勒振荡器仿真电路图

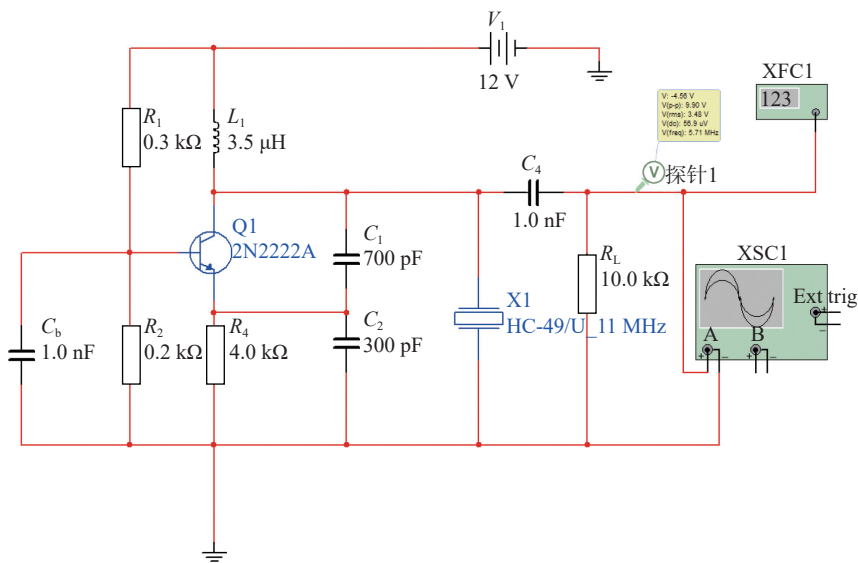


图 7 晶体振荡电路仿真电路图

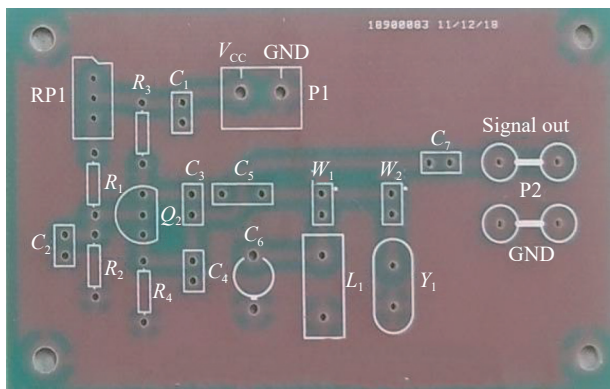


图 8 “三合一”振荡电路板

2.5 实验结果

调整电位器, 使晶体管发射极中的电流为

设计值, 此时用万用表测量晶体管 3 个管脚的对地电压, 测量数据如表 1 所示。通过电压数据间接计算 I_{CQ} 和 U_{CEQ} , 判决晶体管是否处于放大状态。

表 1 晶体管各级电压测量数据

实测值		由实测值计算		判断晶体管是否处于放大状态	
U_{BQ}/V	U_{EQ}/V	U_{CQ}/V	I_{EQ}/mA	U_{CEQ}/V	是/否
4.89	4.30	7.82	2.15	3.52	是

用示波器观察输出信号的波形是否为正弦波, 如图 9 所示, 若为正弦波, 待振幅稳定后进行测量, 为读数方便可测量输出信号的峰-峰值, 振幅为峰-峰值的一半。

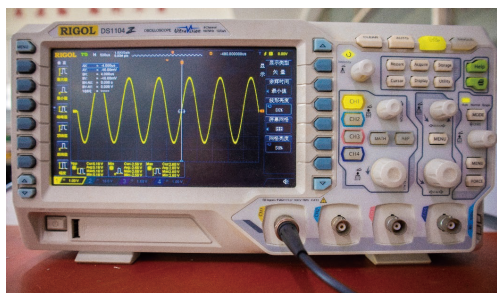


图 9 示波器观测电路输出波形

当波形、频率、振幅达到设计要求后,即可进行频率稳定度的测量。实验中进行 30 min 的短期频率稳定度测量,用数字频率计每 3 min 测量一次频率,共测量 6 次,如表 2 所示,用 6 次的平均值作为 f_0 求出相对变化量,然后计算出振荡器 30 min 的频率稳定度 $\Delta f_{\max}/f_0$,可以看出与仿真实验结果一致。

表 2 频率稳定度测量与计算数据

参数	测量次数					
	1	2	3	4	5	6
f_0 测量值/MHz	5.85491019901	5.85479419971	5.85473378271	5.85451571362	5.85468979996	5.85450332667
f_0 平均值/MHz	5.85469117028					
Δf /MHz	0.00021902873	0.00010302943	0.00004261243	0.00017545666	0.00000137032	0.00018784361
$\Delta f_{\max}/f_0$	0.000037410808					

3 巧妙结合课程思政

教师通过实例向学生阐述振荡器的应用与技术指标的联系,为实验任务的引入做铺垫。任务引入与思政环节巧妙结合,可以通过举例说明振荡器的应用与技术指标之间的关系。对于每一个振荡器来说,首要的指标是振荡频率和频率稳定度。学生对这句话感到抽象与费解,教师通过两个生动实例解释振荡器的应用与频率、频率稳定度的联系:振荡器的主要应用之一是在无线电发送设备中作为载波,在很多民用和军用系统中,载波的频率不是固定的,而是随一定规律变化的,这就是常说的“跳频”。跳频在军事领域应用广泛,如美军综合战术数据链 Link16,其采用 51 个频点,跳频速率为 76923 次/s,通过这个例子说明振荡器的振荡频率在很多应用中并不是固定的。

频率稳定度是振荡器另一个主要的技术指标,众所周知,频率和时间互为倒数,以“北京时间”为例说明频率稳定度对于时间标准的重要性,“差之毫厘,谬以千里”,引导学生以严谨的科学态度对待技术指标。国家授时中心的张首刚团队经过多年研究,于 2020 年研制成功了高精度的铯钟,与国际标准时间偏差小于 5 ns,远优于 100 ns 的国际要求。目前与国际标准时间偏差小于 5 ns 的 5 个国家中就有中国,通过该例子引导学生树立科学兴国的意识,增强民族自豪感。

4 教学效果分析

教师布置实验任务,阐述“基本”“进阶”“扩展”任务的具体要求,引导学生从技术指标出发,建立技术指标与电路参数之间的关联。技术指标是设计功能电路的出发点和准绳,通过技术指标的分析,使学生明确电路参数与技术指标之间的映射关系,有助于提升学生解决通信领域工程问题的能力。通过对振荡频率、输出振幅、反馈系数、频率稳定度、频率范围等指标进行定量分析,引导学生推算与之对应的电路参数。

通过该实验不仅训练了学生的电路设计、参数估算、软件仿真、焊接、电感制作与测量、电路调试及技术指标测试等方面的能力,熟练了数字示波器、频率计、高频 Q 表、直流稳压电源等高频仪器的使用,同时使学生掌握了规范的设计报告与实验总结报告的撰写,真可谓“麻雀虽小、五脏俱全”。

5 结束语

通信电子线路基础性实验应体现知识、能力、素质三位一体的培养目标,课程组以高稳定度 LC 正弦波振荡器的设计为例进行了课改探索,从知识角度看,一块母版实现 3 种电路,使学生掌握克拉泼、西勒、并联型晶体振荡器 3 种电路结构上的区别与联系。从能力的角度看,针对学

生实验能力的差异性,以多样化“套餐”满足学生对于实验的不同需求;采用项目类比教学法,使学生掌握由振荡电路的技术指标出发,进行方案论证、参数计算、电路仿真及指标校验,最后形成解决方案的设计流程与科学方法,并撰写规范的设计报告;通过思考题加深对技术指标之间矛盾、取舍、折中、妥协等关系的理解。从素质的角度看,使学生掌握了3种电路的焊接装配、调试以及技术指标测试的实验技能,强化学生的自主实验和安全实验意识,巧妙设置课程思政案例,对学生进行思想政治教育。

参考文献

- [1] 陈荣,赵仁德,郭静,等.新工科背景下基于项目驱动的新能源课程群教学模式探索[J].大学教育,2020(3):49-51.
- [2] 李莹,黄贞,叶灵珍,等.新工科背景下应用型本科高校《工程经济学》教学方法的创新[J].黑河学院学报,2022,13(2):106-108.
- [3] 曹倩.新工科背景下项目驱动法在教学改革中的应用:以“工程经济学”为例[J].林区教学,2023(10):58-61.
- [4] 李健,常红霞.LC并联电路的仿真与幅频特性分析[J].电脑知识与技术,2021,17(19):131-133.
- [5] 张丽芳.“高频电子线路”信息化教学方法探究[J].电子元器件与信息技术,2021,5(9):122-123.
- [6] 王晨,何林远,唐红.“高频电子线路”课程教学方法探究[J].工业和信息化教育,2022(11):82-86.
- [7] XU Z N, ZHANG L T. Analogy teaching method of high-frequency electronic circuit[J]. Advanced Materials Research, 2014, 3294: 986-987.
- [8] 姬五胜,张凤山,马宁,等.“高频电子线路”课程思政教学实践[J].职业技术,2020,19(2):60-63.
- [9] TAN Q Y. Applications of simulation and demo in high frequency electronic circuit[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 2748: 427-429.
- [10] 王红霞,宋子轩.高频电子线路课程可视化教学改革探索[J].中国现代教育装备,2023(5):149-151.
- [11] 宋金莲.高频电子线路课程教学改革与探索[J].科技视界,2022(22):145-147.
- [12] 金伟正,李超,王晓艳,等.“高频通信电子线路”慕课课程建设与实践[J].电气电子教学学报,2020,42(6):48-52.
- [13] HU H J, SONG S J, CHAI Y, et al. Study on online teaching of high frequency circuit under COVID-19 epidemic[J]. Open Journal of Social Sciences, 2020, 8(3): 493-496.
- [14] VIZESHFAR F, TORABIZADEH C. The effect of teaching based on dominant learning style on nursing students' academic achievement[J]. Nurse Education in Practice, 2018, 28: 103-108.
- [15] MARSHMAN E, SAYER R, HENDERSON C, et al. Contrasting grading approaches in introductory physics and quantum mechanics: The case of graduate teaching assistants[J]. Physical Review Physics Education Research, 2017, 13(1): 10-12.
- [9] 何维晟,吴照国,黄会贤,等.用于电缆表面缺陷实时检测的计算机视觉系统研究[J].实验技术与管理,2022,39(5):123-128.
- [10] KIM J W, PARK S. Magnetic flux leakage sensing and artificial neural network pattern recognition-based automated damage detection and quantification for wire rope non-destructive evaluation[J]. Sensors, 2018, 18(2): 109.
- [11] 曹青松,周继惠,李健,等.钢丝绳电磁检测信号的时空域理论分析[J].机械工程学报,2013,49(4):13-19.
- [12] WU D H, LIU Z, WANG X H, et al. Composite magnetic flux leakage detection method for pipelines using alternating magnetic field excitation[J]. NDT & E International, 2017, 91: 148-155.
- [13] SU W, WANG Z G, WEN T, et al. Linear anisotropic magnetoresistive sensor without barber-pole electrodes[J]. IEEE Electron Device Letters, 2019, 40(6): 969-972.
- [14] 杨叔子,康宜华,陈厚桂,等.钢丝绳电磁无损检测[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [15] 李建辉,孙显彬,刘伦明,等.基于漏磁检测的矿用钢丝绳励磁装置[J].工矿自动化,2023,49(7):114-119.
- [16] 陈科安.基于漏磁机理的钢丝绳缺陷智能化识别系统研究[D].赣州:江西理工大学,2022.
- [17] 赵志科.矿井提升钢丝绳的动态检测与故障诊断方法研究[D].徐州:中国矿业大学,2018.
- [18] 郭永亮.基于漏磁检测的钢丝绳断丝检测方法及其实现[D].成都:电子科技大学,2021.
- [19] ZHOU Z P, LIU Z L. Fault diagnosis of steel wire ropes based on magnetic flux leakage imaging under strong shaking and strand noises[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2021, 68(3): 2543-2553.
- [20] 李振湘.机器人图像传感技术的研究[D].沈阳:东北大学,2012.

编辑 葛晋

编辑 葛晋

(上接第81页)