

教研融合赋能《生物医学电子》场景化教学实践研究

高孟娣, 李广飞, 孙晓艺, 郝冬梅

北京工业大学化学与生命科学学院, 北京

收稿日期: 2026年9月26日; 录用日期: 2026年10月22日; 发布日期: 2026年10月29日

摘要

新工科与新医科交叉融合背景下, 培养复合型创新人才是生物医学工程专业的核心育人目标。《生物医学电子》作为专业核心课程, 传统教学以通用生理信号为载体, 侧重基础能力训练, 缺乏特色科研场景支撑, 难以适配学生高阶创新能力的培养需求。因此, 本文依托课题组子宫肌电(EHG)信号分析科研资源, 将EHG信号降噪与预处理技术融入滤波器章节, 重构课程知识与科研实践的耦合体系。通过构建一体化教学与多元考核机制, 形成科研赋能的场景化教学范式。该教学模式可动态迭代、可迁移性强, 可为医工交叉课程科研反哺教学提供有益参考。

关键词

生物医学电子, 教研融合, 子宫肌电信号, 滤波器设计, 工程实践教学

Research on Scenario-Based Teaching Practice of *Biomedical Electronics* Empowered by Research-Teaching Integration

Mengdi Gao, Guangfei Li, Xiaoyi Sun, Dongmei Hao

College of Chemistry and Life Science, Beijing University of Technology, Beijing

Received: September 26, 2026; accepted: October 22, 2026; published: October 29, 2026

Abstract

Amid the integration of Emerging Engineering Education and New Medical Education, cultivating

文章引用: 高孟娣, 李广飞, 孙晓艺, 郝冬梅. 教研融合赋能《生物医学电子》场景化教学实践研究[J]. 教育进展, 2026, 16(10): 2208-2214. DOI: 10.12677/ae.2026.16102338

interdisciplinary innovative talents stands as the core training objective for Biomedical Engineering. As a core specialized course, *Biomedical Electronics* conventionally adopts general physiological signals for fundamental skill training without distinctive research scenarios, failing to foster students' high-order innovative capacities. Relying on our research group's resources for electrohysterogram (EHG) signal analysis, this paper integrates EHG denoising and preprocessing techniques into the filter chapter to restructure the coupling framework linking curriculum knowledge and research practice. An integrated teaching system and diversified assessment mechanism are established to develop a research-driven scenario-based teaching paradigm. Featuring dynamic iteration and strong transferability, this model offers valuable references for research-informed teaching in interdisciplinary medical-engineering courses.

Keywords

Biomedical Electronics, Research-Teaching Integration, Electrohysterogram Signal, Filter Design, Engineering Practical Teaching

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

《生物医学电子》是生物医学工程专业核心限定选修课程，隶属于电子工程技术课程体系，在专业人才培养链条中承担着重要的衔接与拔高作用。课程依托模拟电子技术、数字电子技术、生物医学测量与传感器等先修核心课程基础，聚焦生物医学领域工程实际需求，核心目标是引导学生将通用电子技术理论与医学场景深度结合，熟练掌握生物电信号提取、预处理、分析方法及医学电子仪器设计核心技术，构建完整的医工结合工程思维，适配行业应用型、创新型人才培养的基本要求[1]。

从课程教学实践来看，本课程已形成体系完整、逻辑清晰的教学框架，教学内容覆盖生物医学电信号特征分析、信号预处理技术、医用信号放大电路、电刺激技术及主流临床诊疗设备原理等核心模块。课堂教学以经典标准化案例为依托，以心电、脑电信号等通用生理信号为主要教学载体，能够夯实学生的基础理论知识与常规工程实践能力，满足课程基础育人目标。同时，现阶段国内高校同类课程教改研究，多集中于混合式教学设计[2]、虚拟仿真实验开发[3]、过程化考核模式优化[4]、以及 PBL [5]、案例教学和项目驱动教学[6][7]等常规方向，部分改革通过构建问题导向或真实工程案例情境，一定程度上改善了传统课堂趣味性不足、基础实践训练单一等问题，为课程提质增效提供了有益参考。然而，在基础教学体系趋于完善的前提下，课程在特色化、前沿化、个性化育人层面仍具备较大的优化空间。当前课程教学案例以通用型生物电信号为主，相关素材应用成熟、适配基础性教学，但信号类型与工程场景相对固定，案例体系更新迭代速度较慢。心电、脑电作为生物医学电子教学的经典载体，能够满足学生掌握通用信号处理方法的学习需求，但学科细分领域的特色生物电信号场景融入不足，教学内容与前沿科研工程应用的衔接度有待提升。单一的通用案例体系难以让学生全面接触生物医学工程细分领域的专属技术问题，也难以实现科研项目关键技术流程与课程知识体系的深度衔接，无法充分发挥高校科研平台的育人优势，不利于学生建立多元化、精细化的医工工程认知，难以充分适配高阶创新型、专业化人才的培养需求。

另一方面，教研深度融合是新时代本科课程内涵式发展的核心路径，将实验室特色科研资源转化为

优质本科教学资源,是丰富课程教学场景、丰富课程特色、提升教学高阶性的重要抓手[8]。本课题组长期深耕围产医学工程与子宫电生理检测领域、妇产科智能医学电子设备研发方向,形成了稳定且独具特色的学科科研优势。课题组经过长期系统性科研积淀,构建了集装备研发、临床数据积累、信号算法优化、智能数据分析于一体的完整、成熟、可落地的工程技术研究体系。团队依托长期临床合作体系,累计完成两千余例孕妇临床子宫肌电信号采集与标准化标注工作,建成目前全球样本量最大的子宫肌电私有数据库。团队相关研究工作持续获得国家重点研发计划、北京市自然科学基金等国家(省部)级项目稳定资助,核心信号处理算法与专用检测装备已完成技术落地与产业转化。课题组研究工作中涉及的母体子宫肌电信号去噪、真实临床场景滤波器设计、生物电信号预处理及特征提取等核心技术内容,与本课程生物信号预处理、生物电信号特征分析、医用电子技术应用等核心知识点高度契合,可作为心电脑电经典案例之外的特色教学补充素材,为课程提供真实、前沿、细分的医学工程应用场景。

因此,本文立足教研融合理念,依托本实验室子宫肌电信号处理特色科研资源开展课程教学改革探索。在完整保留心电、脑电等经典案例教学体系、保障基础教学质量的前提下,将子宫肌电信号预处理、专用滤波器设计等真实科研工程场景系统性融入课堂教学,丰富课程教学案例体系、拓展教学场景维度。通过重构特色化教学内容、优化针对性实践训练体系、完善适配性考核评价机制,构建“科研资源赋能、工程问题牵引、理论实践闭环”的场景化教学模式,推动基础理论教学与学科细分前沿、特色工程应用深度衔接。通过特色教研融合教学补充,进一步拓宽学生的专业视野,强化学生复杂生物电信号处理的工程实践能力与创新思维,探索形成适配本学科特色、契合本校学情的常态化教研融合育人路径,为生物医学工程专业高质量创新人才培养提供可落地的教学实践参考。同时,该模式的持续实施和推广应用仍有赖于特色科研资源积累、案例动态更新机制以及教学科研协同师资队伍建设等条件保障。

2. 基于 EHG 特色场景的滤波器设计教学案例开发

2.1. EHG 信号临床应用价值与滤波器教学场景构建依据

子宫肌电(Electrohysterogram, EHG)信号作为一种体表生物电监测技术,能够从电生理层面客观表征子宫平滑肌的兴奋传导、收缩发力及舒张恢复动态过程。相较于传统宫缩监测手段, EHG 信号具备无创、连续监测及信息维度丰富等显著优势,已成为产科临床评估孕期子宫状态、预警早产风险及优化产程管理的核心技术载体。然而,在复杂的临床采集环境中,原始 EHG 信号的信噪比普遍较低,直接制约了其临床应用的可靠性。一方面,孕妇的自主呼吸运动、体位频繁变换以及电极-皮肤界面阻抗的不稳定性,极易引入大幅值、低频缓变的基线漂移与工频干扰;另一方面,受腹部体表电位空间叠加效应影响,原始信号中往往严重耦合母体心电、胎儿心电及腹肌肌电等强背景生理噪声。上述干扰成分不仅掩盖了微弱的目标肌电活动,且其频谱特征与 EHG 有效频带存在显著混叠,导致直接基于原始信号进行宫缩特征提取与边界定位极其困难。

如图 1 所示,原始 EHG 信号波形受基线漂移与高频噪声干扰严重,宫缩特征几乎被掩盖。本实验室在科研实践中构建并优化了标准化的 EHG 预处理及识别流程:该流程以分层滤波降噪为核心前置环节,通过针对性地分离频谱特征并剔除干扰,使预处理后的信号在时域上呈现出清晰的宫缩爆发波形(见图 1 中对比)。这一源于真实临床前沿的工程问题,直接为《生物医学电子》课程的滤波器教学提供了极具科研深度的实践载体。将实验室真实数据与临床复杂噪声谱引入课堂,不仅能够直观呈现“噪声分析-指标设定-滤波器选型-频响验证”的完整工程链路,更能实现前沿科研课题与基础课堂教学的深度融合[9][10]。

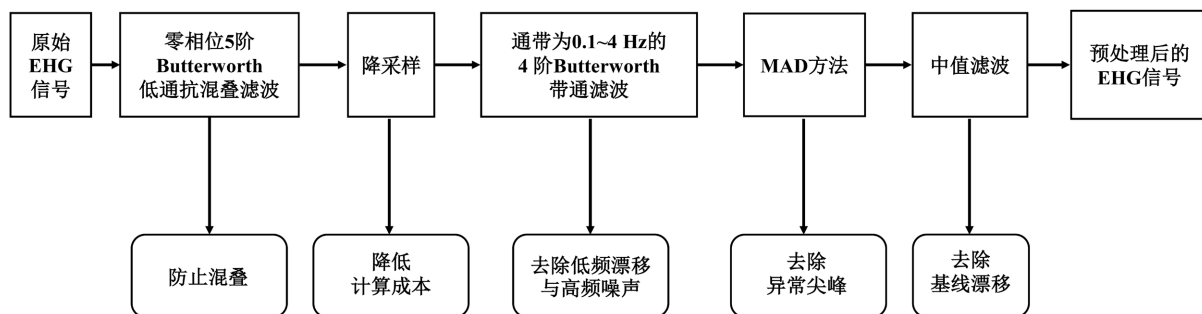


Figure 1. Schematic diagram of the overall framework for uterine contraction recognition based on EHG signals

图 1. 基于 EHG 信号的子宫收缩识别整体框架示意图

2.2. 知识点与工程流程的耦合重构设计

依托本实验室标准化的 EHG 信号预处理流程,将教材中模拟滤波器设计理论重构为一条系统化的工程主线。尽管课程教材以模拟滤波器设计为主线,但其核心理论(如幅频响应特性、截止频率、品质因数与幅频特性曲线)构成了理解生物电信号频域特征的基石。传统教学常将各类滤波器孤立讲授,学生往往陷入参数计算的细节而缺乏系统应用思维。本案例旨在透过工程信号处理的逻辑框架,解析真实临床场景中的级联滤波思路,使学生在掌握基础电路设计方法的同时,建立从理论分析到科研实战的系统性认知。

图 2 为 EHG 信号预处理流程图,其将原始 EHG 信号(采样频率 250 Hz)的预处理流程拆解为四个典型工程环节:

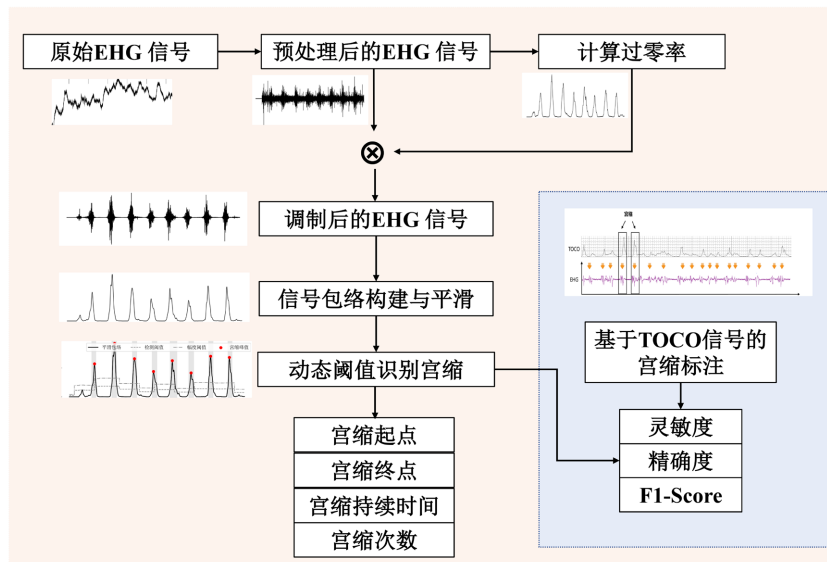


Figure 2. EHG signal preprocessing pipeline

图 2. EHG 信号预处理流程

1) **低通抗混叠滤波与降采样**。根据奈奎斯特采样定理,为避免信号降采样时高频成分发生频谱混叠,该环节首先引入低通滤波。工程上常采用 Butterworth 低通滤波器进行抗混叠平滑处理,并利用双向滤波技术消除零相位延迟以降低对宫缩波形边界定位的影响。在此基础上,采样率由 250 Hz 降至 10 Hz,使得在保留 EHG 有效频带(0.1~4 Hz)核心信息的同时显著降低了后续计算的复杂度。

2) **带通滤波提取特征频段**。为保留 EHG 信号的有效频带并抑制低频基线漂移及残余高频噪声, 对降采样后的信号实施带通滤波(通带范围 0.1~4 Hz)。该环节通过设定明确的截止频率, 直观展现了带通滤波器在频率选择中的核心作用, 同时强调了相位线性度对生物医学信号时域特征保真的重要性。

3) **异常值抑制与脉冲修正**。针对临床采集中因电极 - 皮肤接触不良产生的非平稳局部异常脉冲, 引入基于中位数绝对偏差(MAD)的滑动窗口算法进行检测与修正, 以此补充传统线性滤波器在处理非高斯噪声时的局限性。

4) **非线性中值滤波去基线**。为进一步校正大幅值的低频基线漂移, 采用中值滤波技术进行非线性平滑处理。该环节有效去除了信号的基线波动并压制了残余尖峰, 使宫缩波形的时域轮廓更加清晰。

以上述 EHG 信号预处理流程为核心载体, 重构滤波器章节的教学内容, 实现零散知识点的工程化和体系化。本设计将教材中抽象的频率响应、滤波器阶数、截止频率等理论概念, 映射为真实医学工程任务中的抗混叠、频段筛选与非线性去噪环节。通过“指标设定 - 级联设计 - 效果验证”的工程逻辑串联孤立的理论知识点, 替代了碎片化的公式推导, 引导学生从单一的电路计算转向系统级滤波架构设计, 切实实现知识的系统性构建与场景化落地。

为直观呈现课程知识点与课题组工程应用的适配关系, 精准体现教学内容的工程落地逻辑, 梳理出核心技术要点与育人价值如表 1 所示。

Table 1. Mapping relationship between knowledge points in the analog filter chapter and EHG signal preprocessing engineering tasks
表 1. 模拟滤波器章节知识点与 EHG 信号预处理工程任务映射关系

课程核心知识点	核心教学内涵	对应工程流程	工程育人价值
低通滤波器设计与应用	掌握模拟低通降噪原理, 熟悉截止频率、阶数设计, 具备微弱生物电前端降噪设计能力	EHG 前置降噪, 滤除运动伪迹、电磁高频干扰	提升信号信噪比, 建立生物电前端模拟预处理工程思维
带通滤波器设计与应用	掌握模拟带通频段选通原理, 熟悉通阻带指标设计, 具备生理信号保特征、抑干扰的电路设计能力	EHG 信号提纯, 滤除呼吸、基线低频漂移	完整保留宫缩生理特征, 保障早产风险临床判读精度
滤波器选型与工程适配原则	熟悉各类模拟滤波器适用场景, 掌握信号、噪声、临床需求匹配选型方法, 具备电路参数优化能力	分层搭配模拟滤波模块, 搭建标准化 EHG 预处理流程	减少信号失真, 树立医用模拟电路多指标权衡设计意识
生物电信号滤波整体设计思路	掌握“降噪 - 选频 - 验证”分层模拟电路设计流程, 熟悉降噪与信号完整性平衡思路, 具备完整预处理链路规划能力	完整链路: 采集 → 模拟降噪 → 频段提纯 → 特征提取 → 宫缩识别	构建医用电子系统完整设计逻辑, 形成医疗器械全局设计观

2.3. 工程案例赋能课堂的实施路径

2.3.1. 课前 - 课中 - 课后全流程一体化教学设计

依托实验室在研 EHG 信号分析科研课题资源, 结合大三生物医学工程专业学生认知水平与《生物医学电子》课程教学体系, 构建“课前铺垫 - 课中深耕 - 课后实践”全流程教学模式, 达成科研工程资源与课堂理论教学的深度融合。课前阶段, 通过线上教学平台推送课题组自研的标准化临床 EHG 原始数据集、信号预处理核心文献与结构化预习任务, 引导学生梳理 EHG 信号从临床采集、预处理降噪、特征提取、宫缩状态评估到临床辅助诊断的完整技术链路, 明确滤波预处理是保障信号分析精度与临床判读准确性的核心前置环节, 夯实学生课前理论与工程实践基础。课中阶段, 以真实 EHG 信号降噪为核心工程场景, 针对学生预习阶段的共性难点与认知误区, 系统讲解滤波器基础理论与多类型滤波器设计方法,

以低通滤波器为典型教学案例,依托 MATLAB 平台完成代码编写、仿真测试与参数迭代优化,将抽象的专业理论与临床 EHG 信号预处理实操深度耦合,实现理论知识的工程场景化落地。课后阶段,依托实验室 EHG 信号预处理科研课题,引导学生独立完成完整滤波方案设计、仿真验证与算法优化,构建理论认知、实操验证与科研探究一体化的完整育人链路。

2.3.2. 三位一体多元化过程性考核体系构建

传统《生物医学电子》课程考核以笔试为主要形式,评价手段相对单一。课程虽设置独立实验教学模块,但缺少针对理论应用能力与科研创新素养的全过程评价,难以满足工程创新人才的综合培养需求。依托 EHG 信号滤波工程教学案例,搭建理论知识、工程实践、科研素养三位一体的多元过程考核体系,实现精细化、多维度教学评价,落实以考促学、以评育人的培养目标。理论考核聚焦滤波器设计原理、生物电信号噪声特性、预处理核心机制等课程核心知识点,通过随堂测验、章节考核夯实学生理论根基,保障专业知识体系完整性。实践考核以实验室 EHG 信号预处理科研任务为核心载体,重点评价学生滤波方案选型合理性、仿真调试规范性、降噪结果精准度及问题纠错能力,量化考核学生工程实操与技术应用水平。素养考核贯穿教学全流程,结合学生课前文献研读情况、课中小组案例研讨表现、课后滤波方案优化进行综合评定,重点培育学生科研思维与探究能力。采用过程性考核与期末终结考核相结合的评价模式,全面客观反映学生综合能力,引导学生主动开展沉浸式工程化探究学习。

3. 教学成效与模式推广价值

本教学创新聚焦教研深度融合的育人目标,依托授课教师实验室 EHG 信号分析在研课题,将课题组特色科研资源常态化融入《生物医学电子》课程教学。在现有教学体系基础上,本教学模式引入课题组长期积累的临床 EHG 真实数据与标准化科研处理流程,以特色生物电信号工程场景丰富课程教学过程。将滤波器选型设计、信号降噪、参数迭代优化等课程核心知识点与实验室一线科研实操场景深度融合,可有效丰富课程教学维度,充分调动学生专业探究主动性,帮助学生建立面向特色生物电信号处理的系统化工程思维,切实提升学生医工交叉实践与科研创新素养。本教研融合模式具备动态迭代优势与较强的可复制性,无需依赖固化教学素材,可依托实验室在研课题、自主采集的临床数据集持续更新教学资源,形成科研前沿动态反哺课堂教学的长效机制。同时,该教学思路通用性强,不局限于单门课程,可迁移应用于医学信号处理、医用电子技术等同类医工交叉课程,为生物医学工程专业依托前沿科研资源开展常态化、沉浸式教研融合,提供可落地、可推广的实践育人范式。

4. 结论与展望

本文以生物医学工程专业核心课程《生物医学电子》为研究载体,依托本校学科特色,开展基于 EHG 信号预处理技术的教研融合教学改革实践。在不改动原有经典教学框架、保障基础教学质量的前提下,将实验室成熟的临床信号资源、标准化滤波处理流程与真实工程问题有机融入课堂,实现课程理论知识与前沿科研应用的有机结合。构建全流程闭环教学设计与多元化过程性考核体系,打造兼具专业化和前沿化的教学场景,引导学生摒弃机械的公式化学习,建立工程化、系统化思维训练,切实提升学生医工交叉实践能力与科研探究素养。本教学模式依托实验室常态化科研工作即可持续更新教学案例,素材迭代性强、落地成本低、推广价值高。未来将持续依托围产医学工程科研平台,不断丰富 EHG 信号处理教学案例库,完善本科科研育人链路,逐步将该教研融合范式推广至医学信号处理、医用电子技术等相关课程,持续完善新医工背景下科研反哺教学的长效育人体系,助力专业创新型工程人才高质量培养。

基金项目

2026 年北京工业大学本科智慧课程建设资助项目。

参考文献

- [1] 李刚, 林凌, 国瑞, 等. 效果优异的“生物医学电子学”教学方法[J]. 电气电子教学学报, 2024, 46(4): 132-134.
- [2] 宋莹, 严明越. 电子技术课程的混合式教学平台设计[J]. 电子技术, 2025, 54(8): 268-269.
- [3] 王静, 丁有得, 李结松. 生物医学工程电子类课程计算机仿真教学设计研究[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(15): 148-151.
- [4] 史敬灼. “电力电子技术”课程过程考核改革[J]. 电气电子教学学报, 2020, 42(2): 52-55.
- [5] 席珺, 梁猛, 王文锐, 等. 生物医学工程学应用 PBL 教学的改革与实践[J]. 基础医学教育, 2018, 20(8): 646-648.
- [6] 李国锋, 王磊, 王兴, 等. “新工科”背景下开展生物与医学工程伦理课程建设与教学改革[J]. 生物工程学报, 2023, 39(4): 1838-1850.
- [7] 张杨, 梁福来, 薛慧君, 等. 项目驱动教学方法在生物医学工程专业实验教学中的应用[J]. 中华医学教育杂志, 2022, 42(12): 1102-1105.
- [8] 温利平. 高校教学与科研共生关系的实践探索[J]. 知识窗(教师版), 2025(12): 12-14.
- [9] 张赛, 石波, 李雷, 等. 科研成果转化为本科教学资源的探索——以蚌埠医科大学生物医学工程创新团队成果为例[J]. 科技风, 2024(17): 58-60.
- [10] Santos-Díaz, A., Montesinos, L., Barrera-Esparza, M., del Mar Perez-Desentis, M. and Salinas-Navarro, D.E. (2024) Implementing a Challenge-Based Learning Experience in a Bioinstrumentation Blended Course. *BMC Medical Education*, 24, Article No. 510. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05462-7>