

基于过程性数据的大学物理实验课程考核改革

王阿署*, 杨 维

成都大学电子信息与电气工程学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年8月4日; 录用日期: 2026年9月9日; 发布日期: 2026年9月17日

摘 要

针对传统大学物理实验报告评阅方式存在的主观性强、反馈滞后、忽视过程性学习表现等突出问题, 本研究以经典的杨氏弹性模量测量实验为切入点, 设计了一种基于多种过程性数据的实验考核智能评阅与反馈系统, 致力于利用人工智能技术实现对学生实验能力的全面、客观与形成性评价。该系统不仅能自动完成数据准确性、图表规范性等基础项目的批阅, 更能深度分析学生对物理概念的理解、实验操作、数据处理等多维度的能力评价, 为学生生成个性化反馈报告, 同时提供具体、可操作的改进建议, 有效促进了学生的反思与更深度的学习。

关键词

大学物理实验, 杨氏模量, 实验报告, 课程考核

Reform of University Physics Experiment Course Assessment Based on Process Data

Ashu Wang*, Wei Yang

School of Electronic Information and Electrical Engineering, Chengdu University, Chengdu Sichuan

Received: August 4, 2026; accepted: September 9, 2026; published: September 17, 2026

Abstract

To address the prominent issues in the traditional evaluation method of college physics laboratory reports—such as strong subjectivity, delayed feedback, and neglect of process-oriented learning performance—this study takes the classic experiment of measuring Young’s modulus as a starting point and designs an intelligent report evaluation and feedback system based on multiple types of process data. The system is committed to leveraging artificial intelligence technology to achieve comprehensive, objective, and formative assessment of students’ experimental competencies. It

*通讯作者。

文章引用: 王阿署, 杨维. 基于过程性数据的大学物理实验课程考核改革[J]. 创新教育研究, 2026, 14(9): 397-402.
DOI: 10.12677/ces.2026.149702

not only automatically completes the grading of fundamental items such as data accuracy and chart standardization, but also performs in-depth analysis of students' multidimensional abilities, including their understanding of physical concepts, experimental operations, and data processing. The system generates personalized feedback reports for each student, provides specific and actionable suggestions for improvement, and effectively promotes students' reflection and deeper learning.

Keywords

College Physics Experiment, Young's Modulus, Experiment Report, Course Assessment

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

大学物理实验是培养学生科学素养、工程实践能力和创新精神的核心环节[1]-[3]。其教学考核,尤其是实验报告评阅,不仅是对学习成果的检验,更是引导学生进行反思、深化理解的重要教学反馈手段。然而,传统的课程考核模式存在问题:首先,评价标准主观性强,不同教师对误差分析深度、论述逻辑性的把握存在差异,影响评价的公平与一致性;其次,反馈滞后,批阅周期长,待学生收到评语时,实验细节已经忘记,反馈的指导价值大打折扣;最后,也是最为关键的一点,传统评阅过度依赖终结性文本报告,完全忽视了学生在实验操作、数据采集、实时分析等过程性环节中的表现,而后者恰恰是科学探究能力与问题解决能力的真实体现。因此,构建一种客观、高效且能贯穿实验全过程的评价体系,已成为深化大学物理实验课程教学改革的需求[4]-[6]。

以大学物理实验中经典的“杨氏弹性模量测量”实验为例,该实验涵盖了仪器调节、光放大原理应用、逐差法数据处理、误差分析等多重教学目标[7]-[9]。传统的纸笔报告仅能呈现静态的数据与结论,而学生是否规范地调节了光杠杆、是否在加载过程中进行了有效的实时观察与异常判断、其数据处理思路如何演变等,这些动态的、过程性的能力要素均被掩埋,无法被有效评估与指导。

近年来,人工智能技术呈现迅猛发展态势,尤其在计算机视觉、自然语言处理和机器学习等关键领域接连取得重要突破,为破解长期困扰教育评价领域的许多难题提供了新的技术路径[10][11]。在自动化评分方面,人工智能已广泛应用于作文批改、编程作业评估等场景,不仅显著提升了评分效率,还展现出优于人工评判的一致性与客观性;在学习分析领域,通过系统采集与分析学生在线学习过程中产生的行为数据,如点击序列、停留时长、互动频次等,研究者已能够较为准确地诊断学习者的当前状态,并对其学习进展与潜在风险进行预测。上述进展充分表明,将人工智能技术引入物理实验教学评价,尤其是针对实验过程中产生的大量过程性数据进行智能分析与挖掘,已具备较大的可行性。其核心价值在于,一方面能够将教师从繁琐、重复的评分与记录工作中解放出来,使其将更多精力投入教学设计与针对性指导;另一方面,借助对以往难以量化的操作轨迹、决策过程等数据的有效提取,可以实现对学习者的能力结构的更精细评判,从而为个性化的学习反馈与干预提供可行的支撑。

鉴于此,本研究聚焦于大学物理基础实验中的“杨氏弹性模量测量”,提出并系统阐述一个基于过程性数据的大学物理实验课程改革与反馈方案。具体将阐述如下内容:系统性地定义和融合杨氏模量实验中的各类过程性数据,构建一个能够综合评估操作规范性、数据质量、分析深度与论述逻辑的复合智能考核模型,以及基于考核结果,自动生成具有教学指导意义的个性化反馈。

2. 杨氏模量实验原理

设金属丝的横截面积为 S 、长为 L ，在外力 F 的作用下伸长 ΔL ，根据虎克定律，在弹性限度内，应力 F/S 与应变 $\Delta L/L$ 成正比，假设比例系数为 E ，它由材料的性质决定，称为杨氏弹性模量，定义为

$$E = \frac{F}{S} \cdot \frac{L}{\Delta L} \quad (1)$$

上式中 F 、 S 、 L 都比较容易测量，而 ΔL 是一个很小的长度变化，不能用普通测量长度的仪器准确测量，该实验一般采用光杠杆放大法测量 ΔL ，其原理如图 1 所示，当金属丝在拉力 F 作用下伸长 ΔL 时，光杠杆的镜面会旋转一角度 ϕ 。根据光的反射定律，入射光线和反射光线的夹角应为 2ϕ 。设 D 为光杠杆镜面到望远镜标尺的距离， l 是光杠杆的长度， x_0 、 x 分别为金属丝伸长前后标尺上的刻度，则有

$$\tan \phi = \frac{\Delta L}{l} \quad (2)$$

$$\tan 2\phi = \frac{x - x_0}{D} = \frac{\Delta x}{D} \quad (3)$$

式中， Δx 表示标尺上的刻度差。因为 ΔL 很小，所以 ϕ 角同样很小，因此可以认为

$$\tan 2\phi \approx 2 \tan \phi \quad (4)$$

由(2)、(3)、(4)可得

$$\Delta L = \frac{l}{2D} \Delta x \quad (5)$$

把(5)式代入(1)式可得

$$E = \frac{2FLD}{S l \Delta x} \quad (6)$$

假设金属丝的直径为 d ，则其横截面积为 $S = \pi d^2 / 4$ ，最后可得

$$E = \frac{8FLD}{\pi d^2 l \Delta x} \quad (7)$$

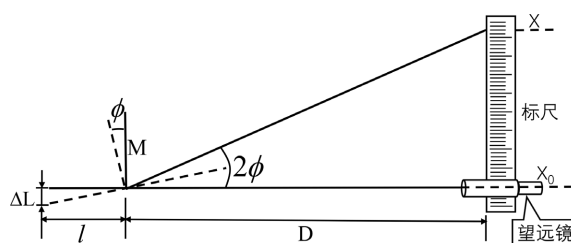


Figure 1. Schematic diagram of optical lever amplification measurement
图 1. 光杠杆放大测量示意图

3. 整体设计

本研究设计的大学物理实验课程考核与反馈系统旨在构建一个完整的数据驱动教学评价闭环，由三个相互关联的核心模块构成：过程性数据采集模块、智能考核模型模块、以及个性化反馈生成模块。该系统首先通过多种数据接口，收集学生在杨氏模量实验全过程中产生的各类行为与认知数据，并将其保存为结构化的数据。随后，考核模型对这些数据进行多维度分析，生成针对各种能力的传统分数。最后，

反馈生成模块依据考核结果, 结合教学知识库, 自动化构建图文并茂、针对性强的个性化反馈报告, 并通过学习平台即时推送给学生与教师(参看图 2)。该系统设计不仅关注评价的自动化, 更强调通过反馈促进学习这一形成性评价的核心功能。

我们注意到, 上述评价框架有一定的通用性, 即不仅限于杨氏模量实验这一特定场景。在操作方面, 过程性数据采集可通过配置不同实验的传感器参数, 适配力学、热学、光学等实验中的记录; 考核模型所包含的能力指标亦可根据不同实验的教学目标进行调整; 而个性化反馈生成模块则根据丰富的教学知识库, 能够将相关规则转移至新实验的难点分析中。因此, 本研究所建立的系统可为大学物理实验课程提供了一套统一的形成性评价机制, 从而推动物理实验教学的改革。

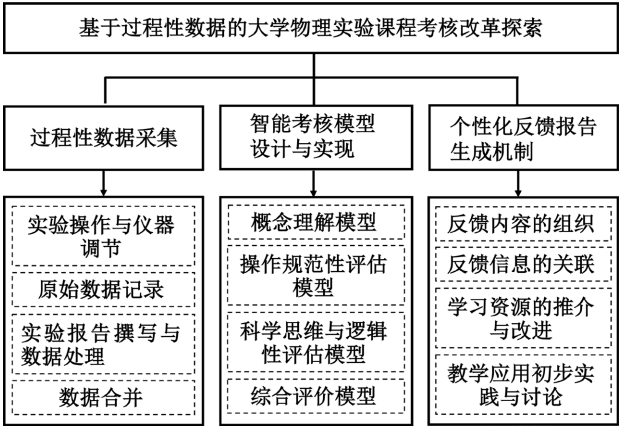


Figure 2. Schematic diagram of assessment reform for college physics experiment course based on process data
图 2. 基于过程性数据的大学物理实验课程考核改革示意图

4. 过程性数据的采集

本系统的首要基础是构建一个全面且可操作的过程性数据框架。我们将杨氏模量实验的全过程分解为四个阶段, 并定义了各阶段的关键数据。

4.1. 实验操作与仪器调节

此阶段聚焦学生的动手能力与规范意识。数据采集依赖于经过改造的智能实验装置与视觉传感系统。例如, 在光杠杆调节环节, 高精度摄像头可捕捉望远镜中尺像的清晰度变化过程, 结合仪器上的压力与位移传感器, 记录学生寻找标尺、消除视差的操作轨迹与耗时。对于初始负载的预加、砝码的轻拿轻放等操作规范性, 则通过工作台面的摄像头进行识别与记录。这些数据共同构成了“操作规范性”与“仪器掌握熟练度”的量化指标。

4.2. 原始数据记录

此阶段评价学生的科学记录习惯与实时判断能力。学生通过平板电脑或其它终端录入数据, 系统不仅记录最终的测量值, 更捕捉其修改历史。例如, 系统可记录学生是否在加载后立即读取标尺读数, 是否对明显异常值进行了标注或回测。在测量钢丝直径或镜尺距离时, 系统记录其是否进行了多次测量、测量点的选择是否合理。这些数据是评估“数据采集严谨性”和“误差辨别度”的关键。

4.3. 实验报告撰写与数据处理分析

此阶段深入评价学生的科学思维与表达能力。系统分析学生在撰写电子实验报告时的全过程文本与操

作。在数据处理部分,系统不仅核查最终的计算结果,更通过分析其使用的公式、构建的数据表格、绘制的应力-应变图(或逐差法计算步骤),来评估其对“光放大原理”、“逐差法”、“误差传递”等核心概念的理解深度。在误差分析与讨论部分,自然语言处理技术将对文本进行语义分析,识别学生是否提及了系统误差与偶然误差,分析是否涵盖了仪器、方法、环境等因素,以及结论的得出是否基于数据支持。

4.4. 数据合并

将上述数据按照统一的格式进行合并,形成一个立体、关联的学生实验过程数字描述。例如,将操作视频中“调节望远镜焦距频繁失败”的记录,与数据记录中“初期读数波动大”相关联,可以更准确地诊断学生在“光路共轴调节”这一关键技能上的困难,为后续精准反馈提供依据。

5. 智能考核模型的设计与实现

本系统的核心是复合智能考核模型,旨在从多维度综合评价学生能力。对于有明确标准的项目,根据规则实现高效、一致的自动化评分,具体包括:数据计算的准确性,通过与学生提交的原始数据自动计算理论值进行比对;图表的规范性,如图像标题、坐标轴标签、单位、数据点标记是否符合实验绘图标准;有效数字的保留、单位换算的正确性等。设定的规则确保了对基础技能客观、快速的评估,将教师从繁琐的重复性劳动中解放出来。对于更复杂、更主观的能力维度,我们设计了专门的模型进行分析。例如,概念理解模型:针对数据处理流程和误差分析文本,使用自然语言处理中的文本分类与关键信息抽取技术,结合知识图谱,评估学生对“逐差法消除系统误差”、“光杠杆放大倍数计算”等核心概念的理解是否正确、完整;操作规范性评估模型:利用从操作视频中提取的数据,通过时序行为识别模型,判断操作步骤的顺序性与规范性,如“是否在加减砝码后等待系统稳定再读数”;科学思维与逻辑性评估模型:对实验报告中的“分析与讨论”部分,分析其论述结构,评估其是否遵循“提出问题-分析数据-得出结论-反思不足”的科学论述逻辑,并对论证的深度和逻辑自洽性进行量化评分;综合评价模型:各子模型的输出结果并非简单的分数相加,而是通过教学设定的权重与关联规则,生成立体化的学生能力评估报告,它不仅包含总分,更以雷达图或能力剖面图的形式,直观展示学生在“操作技能”、“数据素养”、“概念理解”、“分析能力”和“报告撰写”等维度的表现水平,实现从“评分”到“诊学”的转变。

6. 个性化反馈报告的生成机制

智能考核的最终价值在于促进学习,这依赖于高质量、可操作的反馈,具体表现如下:

6.1. 反馈内容的组织

个性化反馈报告通常包含总体评价、亮点与优势、具体问题诊断、改进建议四个部分。报告首先给出概括性评语,肯定学生做得好的方面。接着,系统会详细列出在考核中发现的具体问题,并确保问题定位精准。例如,并非笼统地说“误差分析不深入”,而是明确指出“在分析杨氏模量测量误差时,未考虑钢丝本身不直或初始应力带来的系统误差”,或“在作图时,数据点分布范围不足,可能影响线性拟合的准确性”。

6.2. 反馈信息的关联

系统生成的反馈具有高度的情境关联性。它能够将文字反馈与具体的操作、数据或图表直接关联。例如,在指出“测量初期读数波动大”的问题时,可以同时附上该时间段内标尺读数变化的曲线图,并提示“此现象可能与光杠杆初始状态未完全稳定有关,建议回忆操作步骤中预加负载后的等待时间是否

充足”。这种具体的反馈,有效地增强了教师的指导和学生的理解。

6.3. 学习资源推荐与改进路径

针对诊断出的薄弱环节,系统能自动从教学资源库中推送相关的学习材料。例如,对于逐差法使用不当的学生,推荐相应的微视频讲解与例题;对于操作规范性得分低的学生,推送标准操作示范视频。此外,反馈中会提供明确的、可执行的改进建议,如“建议重新审视光杠杆放大倍数公式的推导,并检查实验报告中各物理量的单位是否已统一为国际单位制”,为学生指明课后反思与修正的具体路径。

6.4. 教学应用初步实践与讨论

为验证系统的有效性,在大学物理实验课程中进行初步教学实践。选取两个平行教学班,在完成杨氏模量实验后,一个班级采用传统人工考核,另一个班级则应用本系统进行智能考核与反馈。

7. 结论与展望

本研究聚焦于大学物理实验课程考核中存在的评价维度单一、反馈滞后且缺乏针对性等问题,提出了一种基于过程性数据的考核与反馈系统的整体设计方案。以杨氏模量实验为具体案例,系统从数据框架构建、混合模型设计到反馈生成机制的形成进行了详细阐述。该系统通过采集学生在实验过程中的操作行为、实时数据以及实验文本撰写等过程性数据,结合混合智能模型实现对学生实验能力的多维评估,并生成个性化的学习反馈。该方案在提升评价效率、增强考核一致性以及发挥教学指导价值方面展现出较大潜力。需要指出的是,本研究尚处于初步探索阶段,系统的长期应用效果、在复杂实验中的评价合理性,以及如何有效融合教师与人工智能评价、从而建立起新型考核模式,仍是后续研究中需要持续深入探讨的重要方向。

从教育学与认知心理学方面来讲,本研究的系统设计符合形成性评价与自我调节学习的理念。形成性评价强调通过持续的过程性信息收集与及时反馈,缩小学生当前认知状态与预期学习目标之间的差距。该系统将传统的考核转变为过程性的评价,实质上促使他们在实验操作与数据分析中不断进行自我反思与学习方法调整,进而提升自我调节学习的能力。

参考文献

- [1] 沈恒羽, 卢雪梅, 孔荣. 产教融合视域下大学物理实验教学改革困境及其突破[J]. 科教导刊, 2025(34): 12-15.
- [2] 徐瑛, 陈长波, 孙松阳, 等. 多平台、多维度深度融合教学模式创新与实践——以理工科院校大学物理实验为例[J]. 大学物理实验, 2025, 38(6): 115-118.
- [3] 韩宝东. 混合式教学在“大学物理实验”教学中的应用[J]. 科技风, 2025(34): 112-114.
- [4] 朱学宁, 林加论, 张锦. 大学物理实验报告自动批阅系统的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2013, 36(12): 58-60.
- [5] 曲典, 严华刚, 郭学谦, 等. 基于 VBA 的 Excel 格式大学物理实验报告批阅系统的设计与实现[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(9): 1112-1116.
- [6] 黄敬华, 叶桐, 姜书哲. 合作教学自动化评分系统的开发研究[J]. 工业和信息化教育, 2022(7): 87-90+94.
- [7] 段阳, 杨浩林, 伍泓锦, 等. 杨氏弹性模量测量实验综述[J]. 物理与工程, 2020, 30(3): 89-102.
- [8] 侯春来, 陈子健, 董军军. 杨氏弹性模量测量仪的改进[J]. 中国现代教育装备, 2013(19): 87-88+92.
- [9] 袁伟理. 线阵 CCD 对钢丝的杨氏弹性模量的测量[J]. 物理通报, 2018(1): 61-64.
- [10] 杨丽萍, 辛涛. 人工智能辅助能力测量: 写作自动化评分研究的核心问题[J]. 现代远程教育研究, 2021, 33(4): 51-62.
- [11] 刘升光, 李宏升, 刘雅新, 等. 人工智能在大学物理实验教学中的应用——以激光测水深实验为例[J]. 物理实验, 2025, 45(2): 39-45.