

基于人工智能视觉技术的机械制图教学改革与实践探索

向 明*, 王 冬

景德镇陶瓷大学机械电子工程学院, 江西 景德镇

收稿日期: 2026年8月5日; 录用日期: 2026年9月2日; 发布日期: 2026年9月10日

摘 要

随着人工智能技术的不断发展, 高等教育正加速向数字化、智能化方向转型。针对传统手绘工程图纸作业批改过程中存在的工作量大、反馈不及时、评价标准一致性不足以及学生学习过程难以量化等问题, 本文引入机器视觉与图像处理技术, 结合工程制图相关规范, 构建了面向手绘工程图纸的作业评价与自动评分体系, 并自主研发了工程图纸作业自动评分系统。该系统能够对学生提交的图纸进行图像识别、结构分析与评分反馈, 提高批改效率和评价客观性。同时, 结合线上平台、课堂教学和实践训练等多种教学方式, 丰富教学手段, 促进教学过程数据化与反馈精准化, 形成了多种教学手段融合的新型工程制图教学模式。

关键词

工程制图, 作业自动批改, 教学改革, 图像分割

Teaching Reform and Practical Exploration of Mechanical Drawing Based on Artificial Intelligence Vision Technology

Ming Xiang*, Dong Wang

College of Mechatronic Engineering, Jingdezhen Ceramic University, Jingdezhen Jiangxi

Received: August 5, 2026; accepted: September 2, 2026; published: September 10, 2026

Abstract

With the continuous development of artificial intelligence, higher education is accelerating its

*通讯作者。

文章引用: 向明, 王冬. 基于人工智能视觉技术的机械制图教学改革与实践探索[J]. 职业教育发展, 2026, 15(9): 174-181. DOI: 10.12677/ve.2026.159379

transformation toward digitalization and intelligence. To address problems in the assessment of hand-drawn engineering drawing assignments, such as heavy grading workload, delayed feedback, inconsistent evaluation standards, and difficulty in quantifying students' learning processes, this study introduces machine vision and image processing technologies. Based on relevant engineering drawing standards, an automatic evaluation and scoring system for hand-drawn engineering drawings is constructed and independently developed. The system can perform image recognition, structural analysis, and scoring feedback on students' submitted drawings, thereby improving grading efficiency and assessment objectivity. In addition, by integrating online platforms, classroom teaching, and practical training, diversified teaching methods are adopted to enhance instructional approaches, promote data-driven teaching and precise feedback, and establish a new engineering drawing teaching model that combines multiple teaching methods.

Keywords

Engineering Drawing, Automatic Assignment Grading, Teaching Reform, Image Segmentation

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

1.1. 研究背景

《工程制图》是机械工程、机械设计与制造及相关工科专业的重要基础课程之一,承担着培养学生空间想象能力、工程表达能力与技术规范意识的核心任务,被誉为“工程界的共同语言”。该课程以投影理论为基础,以图示法、图解法为核心,培养学生绘制与阅读工程图样的能力。作为连接基础理论与工程实践的桥梁课程,其教学内容和方式对学生后续专业课程的学习及未来从事工程技术工作的基本素养有重要影响。

随着信息技术的快速发展,学生所处的教学环境发生了深刻变革[1]。各类在线教学平台、数字化资源、多媒体课件不断丰富,为课程教学提供了更加多样化的手段。计算机辅助设计(Computer Aided Design)已成为《工程制图》教学的重要组成部分[2],学生在掌握传统绘图技能的基础上,逐步接触并熟练运用数字化设计工具,形成了手工绘图与计算机绘图并重的教学格局。这种多元融合的教学模式,既保留了手工绘图在空间思维培养中的独特价值,又顺应了现代工程设计领域数字化、智能化的发展趋势。然而,教学形式的丰富并不意味着教学过程的全面优化,如何将更先进的信息技术深度融入课程核心环节,实现从辅助教学向赋能教学的转变[3],仍是当前《工程制图》课程改革需要深入探索的重要课题。

信息技术的融入也推动了教学评价方式的转变,从以往以期末考核为主的单一评价,转向过程性与综合性评价相结合。平台记录的学习数据、作业完成质量、绘图成果、互动参与度等,都能成为评价依据,使评价更加全面客观。在信息技术持续赋能下,工程制图教学正朝着数字化、智能化、实践化方向不断发展[4],更好地适应新时代工科人才培养的要求。

1.2. 国内外文献综述

工程图学自动评分与智能评估是工程教育信息化的重要研究方向,国内外学者对此开展了大量研究。在国外, Bryan [5]开发了支持即时反馈的二维 CAD 自动评分软件,通过比对 DXF 文件中几何实体的属

性实现评分。Younes 和 Bairaktarova 提出了 ViTA 通用平台, 运用计算机视觉技术检测结构特征、轮廓、剖面线、线型等多方面错误, 实现了与 CAD 软件无关的自动评分[6]。Xiao 等提出了 CAD-AG 系统, 在超过 1000 份学生作业测试中实现了 100% 的评分准确率[7]。AMCAD 系统通过 XOR 运算和 DICE 系数定量评估学生图纸与标准答案的差异[8]。在三维建模方面, CADuBoost 系统通过点云比对和多视图图像分析实现三维模型的自动评分[9]。Munguia 则将大语言模型引入工程制图评估, 发现 AI 评分与人工评分之间无显著统计学差异[10]。在国内, 徐文胜以 DXF 文件为处理对象, 设计了 AutoCAD 水平考试的自动评阅系统[11]。廖瑞雪等以 VBA 为开发语言, 设计了具备自动评卷和成绩管理功能的智能评分系统[12]。陈元非等利用 VB 程序对 CAD 二次开发, 实现了地形图测绘实践成果的自动评分[13]。石林坤等采用 Hough 变换与卷积神经网络相结合的方法, 实现了手绘工程图作业的自动评分[14]。在产业应用层面, 中望软件和卡伦特科技均已推出面向高校教学的 CAD 智能评阅系统。总体来看, 现有研究主要面向规范绘制的 CAD 图纸, 针对手绘工程图作业的智能评阅研究仍相对薄弱。

1.3. 研究内容与改革思路

针对现有自动评分系统主要面向规范 CAD 图纸、难以处理学生手绘作业的问题, 本研究构建了一套基于改进 U-Net 的手绘工程图智能评阅方法。首先, 收集《工程制图》课程中典型的手绘作业, 建立包含原始图像和对应标注的图像数据集。针对手绘工程图中线型不规范、标注位置偏差等特点, 在 U-Net 中引入多尺度特征提取和注意力机制, 实现对手绘工程图中图形要素的像素级分割。在此基础上, 对分割后的各图元区域进行几何特征提取与规范性判断, 依据课程评分标准实现学生作业的自动评分与诊断反馈。最后, 将所提方法嵌入《工程制图》课程教学实践, 形成“作业提交 - 自动评阅 - 即时反馈 - 修改完善”的闭环教学流程, 推动课程评价从结果导向向过程导向转变。

2. 教学现状与问题分析

2.1. 教学现状

《工程制图》教研室的一线教师团队依靠中国慕课智能教学服务平台、学习通、雨课堂等多个教学平台, 形成了多平台教学融合的手段。目前计算机绘图与数字化教学手段虽已广泛引入, 但在实际教学中, 传统手工绘图方式仍被普遍保留并作为重要教学环节。一方面, 手工绘图是工程制图最基础的训练方式, 能够让学生在尺规作图、线条绘制、投影分析的过程中, 扎实掌握投影原理、视图对应关系、尺寸标注规范等核心理论知识, 强化空间想象与形体分析能力, 避免学生仅依赖软件操作而忽视制图本质。另一方面, 手工绘图有助于培养学生严谨细致的工程素养, 规范绘图习惯, 理解图纸表达的逻辑与工程标准, 为后续计算机绘图奠定坚实的理论基础。此外, 部分基础知识点与空间思维训练, 通过手工绘图更易于教师示范、学生理解与纠错, 因此在现阶段的工程制图教学中, 传统手工绘图并未被数字化绘图完全取代, 而是与计算机绘图相辅相成, 共同构成课程的主要教学内容。

2.2. 问题分析

尽管工程制图课程在信息化建设方面取得了显著进展, 各类在线教学平台与数字化工具广泛应用, 为课前预习、课堂讲授、课后拓展等环节提供了丰富的教学资源与交互手段, 但在课后作业批改这一核心环节, 仍高度依赖传统的人工方式。具体表现为以下三个方面:

(1) 工程制图课后作业以手绘图纸为主, 内容涵盖三视图、剖视图、零件图等多种类型, 评价维度涉及线型规范、尺寸标注、表达完整性等多个方面。教师批改时需逐份翻阅纸质图纸, 逐线逐点进行细致检查。大量精力消耗在重复性、机械性的规范性检查上, 导致教师在教学设计与科研创新等方面的时间

投入受到挤压, 这不可避免地导致了教师精力分配的失衡。

(2) 人工批改效率有限, 学生作业情况反馈周期普遍较长。学生在完成绘图后对知识点的理解与记忆存在一个黄金时间段, 而滞后的反馈会导致学生收到纠错意见时, 相关理论知识与绘图思路已逐渐模糊, 无法及时修正错误和巩固认知, 影响学习效果与知识内化的效率。

(3) 手工绘图的人工评分依赖教师个人经验与判断, 不同教师对图纸规范性、表达合理性的评判尺度存在差异, 同一作业也可能出现评分偏差, 缺乏统一客观且可量化的评价标准。这种较强的主观性既难以保证评价公平性, 也不利于学生清晰认识自身问题, 难以形成稳定可靠的学习导向。

3. 教学方法的改革探究

在传统《工程制图》教学模式, 教师的主要精力往往集中于课堂知识传授和课后答疑。近年来各类在线教学平台不断完善, 教师可以利用中国慕课等平台的在线授课功能, 一定程度上拓展了教学资源与学习渠道。但随着高校持续扩招、班级规模扩大, 课后作业批改的问题愈发的突出, 逐渐成为影响教学质量提升的重要瓶颈。

基于此提出面向《工程制图》课程教学的人工智能视觉判分方法, 通过图像分割与规则化评分相结合, 实现作业的自动化分项评价, 减轻教师重复性批改负担, 提升评价效率与客观性, 为课堂教学与课后精准辅导提供数据支撑。

3.1. 教学形式的改革

在教学手段上采用多平台在线教学模式, 通过线下讲授和课后答疑的方式, 叠加中国慕课等线上资源, 形成课堂教学与平台回看的补充模式。该模式在知识传递上发挥了积极作用, 学生可以通过反复观看课程内容巩固理论知识。课后教师也会通过慕课布置作业、提出讨论问题, 引导学生独立思考、反刍课堂内容, 通过腾讯会议、钉钉等直播平台讲解作业及知识点拓展应用, 引导学生结合零件模型优化视图表达方案, 但由于作业评分环节中存在的问题导致未能形成高效的教学反馈闭环。针对上述模式存在的不足, 本次课程改革重点引入智能作业批改系统, 完善教学闭环、提升教学实效。在延续课堂教学与平台回看的成熟模式、保留学生反复回看巩固知识点、教师通过客观题掌握学情等优势的基础上, 将智能作业批改系统深度应用于作业评分环节。学生提交作业后可以及时获得分项评分结果与精准问题定位, 清晰知晓自身在图线绘制、尺寸的标注、视图表达等方面的不足, 及时订正错误、强化制图规范意识。教师则可通过系统同步掌握班级共性错误与薄弱点分布, 无需投入大量时间进行人工批改, 从而将下一次课堂讲解直接聚焦于重点难点, 形成“当天作业-当天反馈-次课强化”的完整教学闭环, 显著提升了教学反馈的时效性与针对性, 推动课程教学向精细化、高效化方向升级, 更好地契合新工科示范课程的建设要求。

3.2. 作业自动批改系统

《工程制图》课程教学中核心的一个环节就是需要学生手绘工程图纸, 特别是对于机械类的工科学生来说, 是一项必备的专业技能。这门课程需要同学们去绘制大量的习题去训练绘图技巧。作业的及时批改和答疑就成为目前课程改革的主要问题, 也是保证教学效果和教学质量的关键问题。通过人工智能视觉技术, 使用图像分割的方法, 对于学生手绘图纸进行区域分割, 获取图纸的关键信息, 如剖面, 尺寸标注等, 并构建一套客观统一的评价标准, 对整张图纸进行评分。

3.2.1. 数据集与训练过程

本研究所用数据集来源于《工程制图》课程中收集的学生手绘作业, 包含齿轮轴图纸和带轮图纸。

所有图像按照图形要素类别进行像素级标注, 标注类别包括剖面区域、零件主体区域、粗糙度、尺寸标注等, 并统一保存为 PNG 格式。数据集按 7:2:1 的比例划分为训练集、验证集和测试集。为确保实验的严谨性, 划分时确保同一学生的手绘作业不会同时出现在训练集和测试集中, 避免数据泄露。

3.2.2. 分割模型的选择

图 1 为本文改进的 U-Net 分割模型结构。该网络采用编码器 - 解码器架构, 通过跳跃连接融合浅层空间信息与深层语义信息, 适用于手绘工程图中线条精细、边界复杂的图形要素分割。为提升多尺度特征感知能力, 在瓶颈层引入空洞空间金字塔池化模块, 通过不同扩张率的并行空洞卷积捕获多尺度上下文信息, 增强对线型、尺寸标注和中心线等关键要素的区分能力。同时, 在跳跃连接中引入注意力机制, 使网络关注边缘和关键区域, 抑制背景噪声。

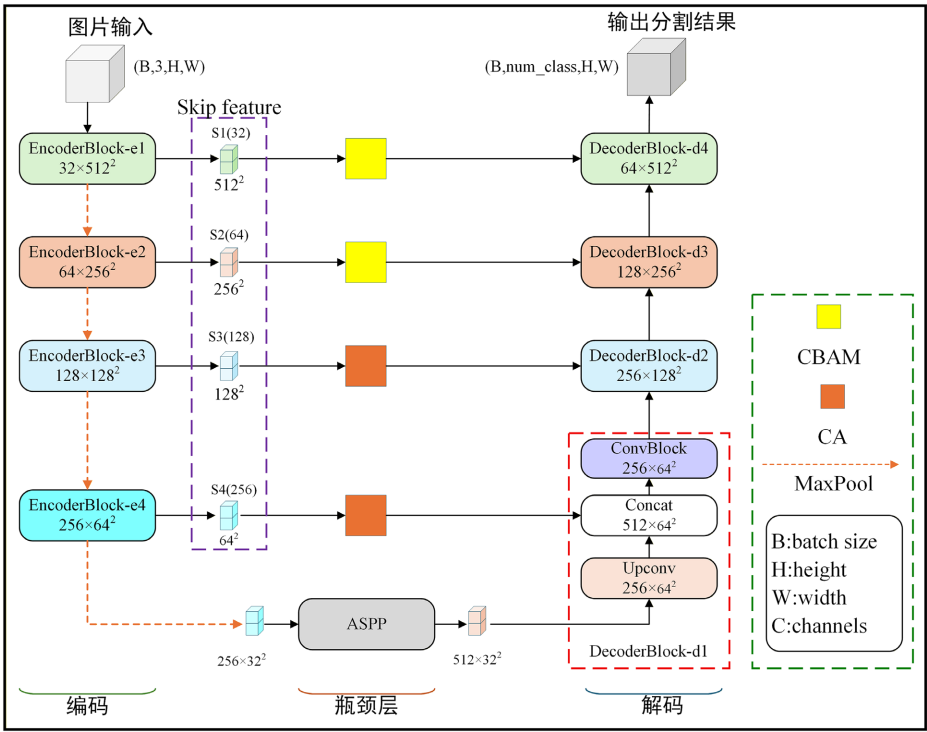


Figure 1. Network architecture of the segmentation model
图 1. 分割模型的网络结构图

3.2.3. 结果展示与分析

为直观验证本文的分割模型在手绘工程图分割任务中的有效性, 选取了齿轮轴主体、齿轮轴尺寸标注、带轮图纸三类具有代表性的手绘工程图进行分割效果展示, 分割结果如图 2 所示。本文模型在不同类型的手绘工程图分割任务中均取得了较好的分割效果。

图 2(a)为齿轮轴主体部分, 本文模型能够较为准确地提取主体轮廓, 各轴段分界清晰, 键槽区域边界完整, 表明模型对轴类零件主体结构具有良好的识别与分割能力。图 2(b)为齿轮轴尺寸标注部分, 尺寸标注区域包含尺寸线、尺寸数字及公差标注等要素, 是分割难度最大的区域之一。模型能够从复杂标注区域中有效提取尺寸线和箭头等细长结构, 尺寸数字区域边界保留完整, 未与尺寸线发生明显混淆, 表明模型对密集区域的图形要素具有良好的区分能力。图 2(c)为带轮图纸, 其包含主体、轮辐结构、中心孔及多条尺寸标注, 内部结构复杂且存在多个镂空区域。模型能够较好地提取主体轮廓和内部轮辐结构,

对称性结构分割完整, 尺寸线与主体结构边界区分清晰, 表明模型对具有复杂内部结构的回转体零件同样具备良好的分割能力。

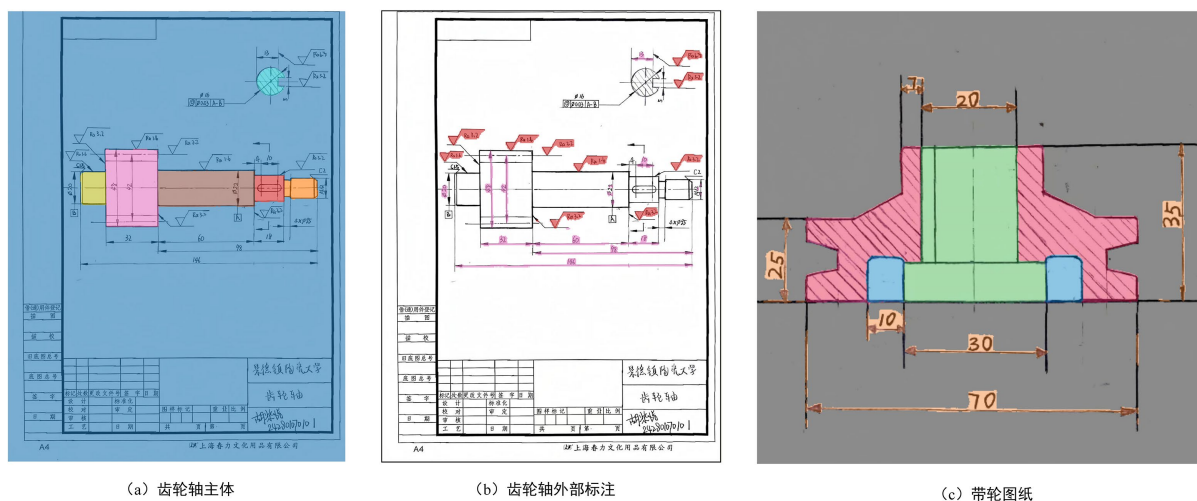


Figure 2. Examples of segmentation results on hand-drawn engineering drawings
图 2. 手绘工程图分割结果示例

表 1 为带轮图纸评分准则表, 从分割结果的三个方面去对学生手绘图纸进行评判。分别为剖面区域, 中心线和尺寸标注区域。针对每一个区域都有对应细分的准则对应评判, 且针对数字标注, 使用了基于 Paddle OCR 的数字识别方法, 进行自动识别, 再对比标注答案进行给分判定。

Table 1. Scoring criteria for the belt pulley drawing

表 1. 带轮图纸评分准则表

评分类别	满分	评分维度	评分规则
剖面区域	40 分	剖面线存在性	根据区域面积计算期望剖面线条数: 期望值 = $\max(8, \text{面积}/1800)$ 。实际检测数量占期望值的比例即为该维度得分
		剖面线角度一致性	计算角度中位数绝对偏差(MAD), $\text{MAD} \leq 15^\circ$ 得满分; $15^\circ < \text{MAD} < 30^\circ$ 线性扣分; $\text{MAD} \geq 30^\circ$ 得 0 分
		间距均匀性	相邻剖面线间距应均匀。计算变异系数 $\text{CV} = \text{标准差}/\text{均值}$, $\text{CV} \leq 0.3$ 得满分; $0.3 < \text{CV} < 1.0$ 线性扣分; $\text{CV} \geq 1.0$ 得 0 分
中心线	30 分	中心线存在性	检测区域长宽比判断方向(垂直/水平)。Hough 检测方向偏差角 $\leq 5^\circ$ 得满分; $5^\circ < \text{偏差角} < 30^\circ$ 线性扣分; $\geq 30^\circ$ 得 0 分
		中心线覆盖率	像素追踪长度/区域跨度。比值 ≥ 0.90 得满分; $0.50 < \text{比值} < 0.90$ 线性扣分; 比值 ≤ 0.50 得 0 分
		居中程度	中心线与区域中心的偏移距离。偏移 $\leq$ 区域宽(或高)的 5% 得满分; 5%~20% 线性扣分; $> 20\%$ 得 0 分
尺寸标注	30 分	标注完整性	5 个标注为期望值; 5 个得 10 分, 每个正确加 2 分; 6 个正确得 25 分; ≥ 7 个每多 1 个加 1 分(上限 30 分); < 5 个得基础 10 分, 再加数值正确分

图 3 呈现了系统对带轮图纸的评分结果界面。选取带轮图纸进行测试。该图纸总分为 86 分, 剖面区

域得 33.65 分, 剖面线数量充足、方向一致性良好, 但间距均匀性不足; 中心线得 26.61 分, 方向正确、位置居中, 但长度覆盖率偏低; 尺寸标注得 26.00 分, 检测到 7 个标注区域, 标注较为完整。三类得分汇总后与人工评分结果基本一致, 表明系统能够较为准确地反映手绘工程图的绘制质量, 评分结果具有良好的参考价值。

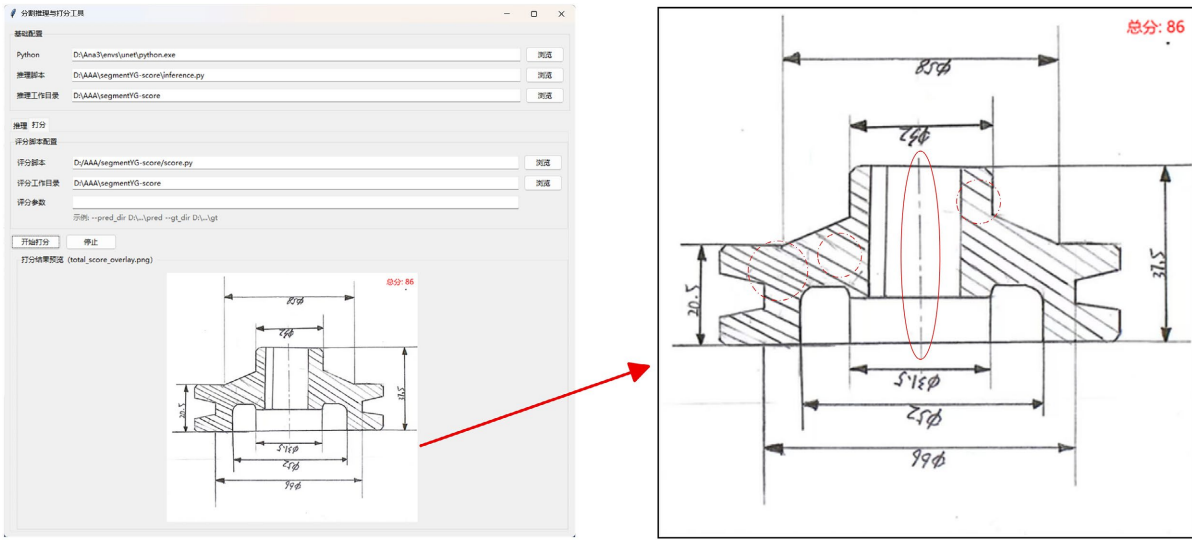


Figure 3. Examples of scoring results on a belt pulley drawing
图 3. 带轮图评分结果示例

3.3. 评价体系的优化

为适应新工科背景下《工程制图》课程对理论深度与工程应用广度的双重要求, 本项目在优化教学组织形式、引入作业自动批改系统的基础上, 对课程评价体系进行了重构。评价方式由个人主观评价转向过程性评价。系统可记录学生每次作业的提交结果、错误类型、修改过程与阶段成绩, 形成可追踪的学习数据, 为平时成绩评定提供客观依据。其次, 评价指标在图形正确性的基础上增加了表达规范性和方案合理性。将视图表达选择、尺寸标注规范等工程制图能力纳入评分规则, 引导学生从绘图能力习得转向工程表达能力及设计优化素养。在此基础上, 教师可以依据班级共性错误调整课堂讲解重点, 学生依据个人薄弱项开展针对性训练, 系统持续提供自动诊断与反馈。实践表明, 该模式能够提升作业反馈时效性与评价一致性, 减轻教师重复性批改负担, 促进教学改进与学生能力提升。

4. 结束语

依托多平台教学资源与自主研发的《工程制图》作业智能批改系统, 构建线上线下协同、教学评价闭环的新型教学模式, 其主要实践成效可概括为:

- (1) 在教学组织上, 充分融合慕课平台、直播平台与课堂教学场景, 将传统以讲授为中心的模式逐步转向以问题引导与能力训练为中心的模式, 提升了学生学习主动性与课堂参与度。
- (2) 在作业评价上, 基于图像分割与规则判分技术实现了工程图作业的自动化分项批改与即时反馈, 能够快速定位学生在剖面表达、中心线规范与标注相关要素中的典型问题, 显著缩短反馈周期, 减轻教师重复性批改负担。
- (3) 在课程评价上, 构建了贯穿学期全过程的数据化评价体系, 将课堂互动、作业过程、阶段表现等信息纳入统一分析框架, 使平时成绩评定更加客观可追溯, 并为教师实施精准教学与持续改进提供依据。

基金项目

2025 年度江西省教育厅教改项目“机械工程数字化设计系列课程的项目式教学与平台建设研究”(JXJG-24-11-4)。

参考文献

- [1] 张琪. 现代信息技术在高职数学教学改革中的应用研究[J]. 湖北开放职业学院学报, 2022, 35(3): 164-165.
- [2] 拾祎春. 计算机辅助技术在机械设计制造领域中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(10): 106-108.
- [3] 张艳, 张柯, 刘佳瑶, 等. 数字赋能职业教育《建筑工程制图与识图》课程教学改革研究[J]. 砖瓦, 2026(1): 174-176+181.
- [4] 祝学亮, 刘卫旗, 张换换. “工程制图”课程教学改革研究——基于人形机器人技术的跨学科融合实践[J]. 喀什大学学报, 2025, 46(6): 87-93.
- [5] Bryan, J.A. (2020) Automatic Grading Software for 2D CAD Files. *Computer Applications in Engineering Education*, **28**, 51-61. <https://doi.org/10.1002/cae.22174>
- [6] Younes, R. and Bairaktarova, D. (2022) ViTA: A Flexible CAD-Tool-Independent Automatic Grading Platform for Two-Dimensional CAD Drawings. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, **50**, 135-157. <https://doi.org/10.1177/0306419020947688>
- [7] Xiao, J., Pan, W. and Younes, R. (2026) CAD-AG: A Webapp for CAD-Tool-Independent Autograding of Two-Dimensional CAD Drawings. *Computer Applications in Engineering Education*, **34**, e70149. <https://doi.org/10.1002/cae.70149>
- [8] Jianwu, L.W., Yew, L.S., On, L.K., et al. (2024) Artificial Intelligence-Enabled Evaluating for Computer-Aided Drawings (AM-CAD). *International Journal of Mechanical Engineering Education*, **52**, 3-31. <https://doi.org/10.1177/03064190231175231>
- [9] Yoon, Y., Jeon, Y., Kim, J., Han, S., Kim, H. and Kwon, S. (2025) CADuBoost: Enhancing Education in Mechanical 3D CAD Modeling through Automated Grading and Feedback System. *Computer Applications in Engineering Education*, **33**, e70096. <https://doi.org/10.1002/cae.70096>
- [10] Munguia, J. (2026) Leveraging AI for 2D Technical Drawing Analysis, Feedback and Assessment in Higher Education. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, **2026**, Article 03064190251414394. <https://doi.org/10.1177/03064190251414394>
- [11] 徐文胜, 俞梅. AutoCAD 水平考试的自动评阅系统研究[J]. 工程图学学报, 2006(1): 155-159.
- [12] 廖瑞雪, 李凯龙, 许亚辉, 等. 基于 VBA 技术的 AutoCAD 智能自动评分系统的设计[J]. 内江科技, 2023, 44(2): 36-37+56.
- [13] 陈元非, 吴士妍. 校园地形图测绘实践成果自动评分系统设计研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(23): 79-81+85.
- [14] 石林坤, 田怀文, 蒲虹林. 基于 Hough 变换及卷积神经网络的工程图图线识别技术及应用研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(16): 9-16.