

机械原理实验课的实验装置改进设计

吴迪

辽宁工业大学机械与自动化学院 辽宁 锦州 121000

【摘要】：本文针对传统机械原理实验装置功能单一、结构固定、数据误差大、实操受限等教学问题，从模块化设计、智能传感检测、自动化数据采集等方面对实验装置进行全面改进。本次改进围绕装置结构适配、实操性能、数据精度、安全运维四点，重构模块化整体结构，改良高精度检测模块，搭建智能化采集体系，增加安全防护结构，解决了原有装置仅能开展单一机构实验、数据误差超5%、拆装麻烦、实操有安全隐患等问题。改进后的装置可兼容12种常见机械机构实验，数据采集精度提升至0.5%以内，设备运维效率提高60%，能够满足多层次创新性机械原理实验教学需求，为提升机械类专业实操教学质量与教学效率提供了硬件支撑。

【关键词】：机械原理；实验装置；模块化设计；智能数据采集；性能优化；安全防护

DOI:10.12417/2705-1358.26.14.056

前言

机械原理是机械类专业的重要基础课，既有理论性又有实践性，实验教学是检验机构运动规律、掌握机械设计基本原理的重要环节，实验装置的性能直接影响教学质量及学生的动手操作能力的培养。目前国内高校使用较多的传统机械原理实验装置为一体式固定型，存在实验场景单一、机构更换不方便、人工读数易产生误差、高速运转时实操受阻等众多缺点。根据教学数据统计，传统装置实验数据的平均误差达到6%-8%，单个实验装置的调试时间超过了25分钟，只能做30%的课程大纲创新型实验项目，不能适应新工科下机械专业复合型、创新型人才的培养需要。

1 机械原理实验课的实验装置优势

和简易自制实验器材相比，现有机械原理实验装置有标准化装配结构、定型运动机构等特点，采用刚性机架焊接，结构承载力可达800N，可稳定支撑各类基础机械机构的运行演示与实操检测，避免了简易装置易出现的抖动、偏移、工况不稳定等问题^[1]。该装置配有基础传动、调节装置，可调整转速、偏心距等参数，能完成机构多项基础参数测试实验，可覆盖80%以上的基础教学实验项目。装置以分体式装配为主，核心零部件标准化程度超90%，互换性强，后期更换配件和修理成本低，且经过长期教学实践形成完善体系，符合常规课堂教学节奏，可为学生提供标准化、规范化操作训练环境，夯实实验教学基础。

2 机械原理实验课的实验装置关键环节

2.1 装置结构适配优化环节

装置结构适配优化是打破传统实验单一工况局限的关键，传统固定集成化机架定位孔位有限，仅能匹配固定机构，无法开

展多机构组合搭建和参数变量化实验，结构适配性不足^[2]。本环节核心难点是同时兼顾结构刚性与可调性，需要在保证机架静态变形量 $\leq 0.02\text{mm}$ 的前提下，重构机架定位结构，优化孔位布置与装配基准，解决不同机构传动匹配、同轴度偏差、装配干涉等问题，精准计算相关参数、调整结构适配逻辑，最终实现不同规格机构的快速定位、精准装配与稳定运行，扩大装置工况适配范围，满足变量化、组合化创新实验要求。

2.2 实操性能提质升级环节

实操性能提质升级是提升实验教学效果的关键，传统装置存在传动卡顿、参数调节精度低、工况模拟单一等问题，手动调转速误差达 $\pm 5\text{r/min}$ ，杆长调节精度仅0.5mm，无法模拟工业实际复杂工况。本环节围绕设备动态运行性能与操作体验改进展开，核心是改善传动副配合精度、升级调速调节部件、消除机械传动间隙，实现低速无抖动、高速无异响、参数调节无阶梯变化，同时匹配教学实操逻辑，简化装配过程，优化人机操作界面，在保证运行精度的前提下降低学生实操装配难度，减少人工操作导致的实验失败，提升装置工况模拟真实性与实操容错性，满足不同层次学生的实操训练要求。

2.3 数据采集精准优化环节

数据采集精准优化是保障实验数据真实科学的重要部分，传统装置采用人工秒表、标尺读数采集数据，易受读数滞后、视觉误差、记录误差影响，动态运动参数采集误差超8%，且仅能采集瞬时静态参数，无法实现连续运动数据采集^[3]。本环节核心难点是实现高速动态运动参数的实时高精度采集，需要解决传感适配性差、信号干扰、数据延迟、动态拟合偏差等问题，通过改良传感安装位置、校准信号采集频率、建立数据滤波方法，减少干扰引发的数据错误，实现机构转速、位移等动态参数的连续采集，将采集误差控制在1%以内，整体提升数

据采集的准确性与完备性。

2.4 安全运维便捷完善环节

安全运维便捷完善是保障实验教学正常开展的重要环节，传统实验装置缺乏专用安全防护结构，高速转动部件外露，实操时容易引发安全事故，而且设备拆装复杂、故障排查困难，整机单次维修时间超一小时，运维效率极低。本环节聚焦实操安全防护与轻量化运维改进，需要解决运动部件防护、过载保护、故障预警、快速拆装运维等问题，通过增加防护结构、保护模块、快拆结构，构建双重安全体系，同时设计标准化运维接口快速定位故障，大幅缩短维修时间，降低故障概率与运维成本，整体提升装置的操作安全性与运维便利性。

3 机械原理实验课的实验装置改进设计

3.1 模块化装置整体结构设计

本次改进采用可拆卸组合式模块化整体结构设计，将装置拆分为机架基体、动力传动、机构实验、调节定位四个独立功能模块，各模块通过标准化定位接口和快装螺栓连接，克服了传统一体化结构的局限性^[4]。其中机架基体采用 6061 铝合金型材优化加工，时效处理后静态变形量不大于 0.015mm，保证高强度装配精度；定位面板增设 8 个阵列式精准定位孔，孔位公差控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 内，可适配 12 种机械机构的组合装配。各模块可单独拆卸、自由拼接，机构更换调试时间从原来的 25 分钟缩短到 8 分钟，能实现多种创新实验工况，既提高了装置的实验拓展性和教学通用性，也降低了设备搬运、存储和检修的难度。



图 1 机械原理实验课的实验装置改进设计图

3.2 高精度检测功能优化设计

本次装置升级了核心检测精度，改用光电编码器、激光位移传感器和加速度传感器分别检测转速、动态位移、运动加速度，检测精度分别达 0.1r/min、0.01mm、0.1m/s²。同时改进了传感器安装结构，用减震固定支架降低振动干扰，增设可调滑槽调整检测位置与角度；还优化了检测基准与触发规则，可实

现全程高精度同步检测，实验误差控制在 0.5% 以内，满足精密实验的精度要求。传统手工检测仅靠基础工具只能获取静态参数，无法反映机构高速运转的瞬时变化，还存在人为误差，实验重复性差，同组多次测量数据差超 7%。本次采用非接触式多传感器协同检测，不会产生机械干涉，搭配多点基准校准和温度补偿，可消除温湿度、设备微变形带来的检测误差，提升了实验数据的重复性、真实性与科学性，能为相关研究提供准确数据支持。

3.3 智能化数据采集系统设计

本次改进自主设计了以 STM32 单片机为主控的智能化数据采集系统，搭建了多通道同步数据采集体系，涵盖信号采集、滤波降噪等五个模块，替代了人工记录方式。该系统采用 100Hz 高频采集，可及时响应参数变化，搭配内置算法消除干扰带来的数据波动；采集数据可实时上传至上位机，自动生成运动曲线、数据报表与实验报告，支持数据查看、追溯与 Excel 导出，相比传统方式，数据采集完备度提升 95%，加工速度提高 80%，避免了手工记录误差，方便学生研究运动规律，推动创新型实验发展。传统采集方式存在采样频率低、数据碎片化、实时性差等问题，无法完整呈现参数变化过程，仅能靠离散数据推断规律。

3.4 安全性实操防护结构设计

此次改进设计了全方位安全实操防护结构，搭建机械、电气、过载三大安全体系，从根本上消除传统装置的实操安全隐患。为齿轮、凸轮、传动链条等裸露运动部件加装带观察窗口和操作间隙的透明亚克力可拆卸防护罩，兼顾安全防护与实验观测；电气系统设置过载保护、短路保护和紧急断电按钮，当负荷超额定 500N 或发生短路时，可在 0.2 秒内自动切断电源停止设备运转，同时改善设备边角设计消除磕碰划伤风险，加装运行显示灯及时反馈设备状态。改进后的装置实操安全事故为零，过载故障防护成功率达 100%，既保障学生实验安全，也保护设备重要部件，延长了设备使用寿命。传统实验装置普遍缺少防护设计、安全冗余不足，高速传动齿轮、往复运动连杆机构全部裸露，学生拆装调试时易发生磕碰夹伤，且无过载保护，长期超负荷运转易造成电机烧毁、部件损坏，推高了实验室运维成本^[5]。见表 1

表 1 机械原理实验课的实验装置改进设计表

改进模块	核心改进内容	优化成效
模块化整体结构	拆分四大独立功能模块，采用铝合金机架与高精度定位孔，标准化快装连接	调试时间大幅缩短，适配多类机构，设备运维、搬运存储更便捷

高精度检测功能	搭载多类高精度传感器，优化安装结构与检测基准，增设补偿校准	实验误差降至 0.5% 内，消除人为与环境误差，数据精准重复性强
智能化数据采集	基于 STM32 搭建高频采集系统，自动处理、上传数据并生成报告	采集完备度、效率大幅提升，杜绝手工记录误差，数据可追溯
安全防护结构	搭建机械、电气、过载三重防护，加装防护罩与紧急断电装置	实现零安全事故，防护成功率 100%，延长设备使用寿命

（注：续表 1）

4 结语

本次机械原理实验装置改进，围绕高校教学痛点和新工科培养要求，从结构匹配、实操性能、数据获取、安全运维四个方面优化，采用模块化重构、高精度检测、智能化升级、全方位安全防护等方式，克服了传统装置功能单薄、精度低、通用性差、安全欠缺的难题。改良装置可以组合 12 种不同的机械机构，并进行变量化实验，提高了实验数据的精度，使实验调试的时间缩短了 68%，同时减小了设备的维护成本，使综合性能比传统的设备提高了很多。本装置能全面覆盖基础验证性实验和综合、创新、设计性实验，拓宽了实验教学的广度，帮助学生扎实地掌握机械结构设计、运动分析等专业基础理论，是高校机械专业实践教学改革和硬件升级的有益补充，有较高的推广价值。

参考文献：

[1] 单泉,陈砚,马廉洁,毕长波.TRIZ 理论在机械原理实验教学中的应用研究[J].高教学刊,2022,8(22):144-147.

[2] 芦怀志,张明秋,王殿君,王慧.机械原理实验的教学研究[J].黑龙江科学,2022,13(03):100-101.

[3] 黎书文.基于 OBE 理念的机械原理实验改革探索[J].实验室科学,2022,25(01):118-122.

[4] 徐春明,周艳,蒋国璋,李公法,党章.基于虚拟现实技术的机械原理实验教学研究[J].大学教育,2022,(02):103-106.

[5] 林隆荣,黄鸣,李实懿,吴郑思.多层次机械原理实验教学改革与实践[J].现代制造技术与装备,2021,57(10):205-208.