

人工智能与低空经济双重背景下的工程力学课程教学模式改革

韩猛* 韩同伟

江苏大学 低空技术学院, 中国·江苏 镇江 212013

摘要: 随着我国低空经济发展部署, 低空经济作为“十五五”期间国家战略性新兴产业, 对具有结构分析与多学科交叉能力的复合型人才提出了迫切要求, 也对高等院校开展工程力学课程与低空技术融合教育模式提出了新的挑战。本文结合工程力学教学实践过程, 提出融合人工智能与低空经济应用场景的工程力学课程教学模式。通过将工程力学核心知识点融入低空应用场景, 借助人工智能工具开展案例分析, 重构了工程力学课程体系。实践表明, 该方案能有效构建低空应用场景下的力学知识体系, 提升学生的学习兴趣和数字化思维, 为面向低空经济产业的工科人才培养, 提供了新范式。

关键词: 人工智能; 低空经济; 工程力学; 教学模式

Reform of Engineering Mechanics Teaching Model under the Dual Context of Artificial Intelligence and Low-Altitude Economy

Han Meng*, Han Tongwei

Low Altitude Technology College, Jiangsu University, China Jiangsu Zhenjiang 212013

Abstract: With the advancement of China's low-altitude economic development strategy, the low-altitude economy has emerged as a strategic emerging pillar industry during the "15th Five-Year Plan" period. This has created an urgent demand for interdisciplinary talents with expertise in structural analysis and cross-disciplinary capabilities, posing new challenges for higher education institutions to integrate engineering mechanics courses with low-altitude technology. Based on practical teaching experiences in engineering mechanics, this paper proposes a new teaching model that integrates artificial intelligence and real-world applications in the low-altitude economy. By embedding core concepts of engineering mechanics into low-altitude application scenarios and utilizing AI tools for case studies, the course curriculum has been restructured. Practice shows that this approach effectively builds a mechanical knowledge system tailored to low-altitude applications, enhances students' learning interest and digital thinking, and provides a new paradigm for cultivating engineering talent in support of the low-altitude economy.

Keywords: Artificial intelligence; Low-altitude economy; Engineering mechanics; Teaching model

0 引言

随着我国低空经济产业政策的持续落地与技术的快速迭代, 低空飞行、低空装备制造、低空运维等新兴领域迎来爆发式发展^[1-2]。低空经济的核心装备以电动垂直起降飞行器 (electric vertical takeoff and landing aircraft, eVTOL)、多旋翼工业无人机、巡检无人机、物流配送无人机等为主, 这类装备具备轻量化、高精度、高可靠性、高安全性的核心特征, 对飞行器结构设计、力学性能优化、结构失效校核等技术提出了更轻、更强、更安全、更耐久的极致工程要求。产业的高速发展催生了大量兼具力学理论基础与低空工程应用能力的复合型工科人才, 传统单一理论型人才培养模式已无法适配低空产业的岗位需求, 高校相关工科

专业教学改革迫在眉睫。

与此同时, 生成式人工智能、数字仿真、动态可视化仿真等智能技术的全面普及, 推动高等工科教育进入智能化、场景化、个性化改革新阶段^[3-4]。人工智能技术不仅重构了工程领域的研发、测试、验证体系, 也对传统本科课堂教学模式、知识传递形式、学情培养体系提出了全新挑战。传统工科课程以理论灌输、静态案例、标准化习题为核心的教学模式, 存在知识点抽象、场景滞后、实践脱节等问题, 难以适配新时代工科人才的创新能力、工程应用能力培养要求^[5]。

工程力学是机械工程、智能制造、航空航天、土木工程等绝大多数工科专业的核心必修基础课程^[6], 主要包含

理论力学与材料力学两大核心知识体系,是连接基础数学物理知识与工程结构设计、装备研发、性能校核的关键桥梁,其教学质量直接决定学生的工程思维与力学应用能力。当前国内高校工程力学教学普遍以传统工程机械、建筑结构、通用机械装置为核心应用背景,选取梯子、简支梁、轴心拉杆、普通传动轴等经典抽象模型开展教学,适配通用性工科岗位培养需求,但存在低空场景缺失、工程针对性弱、理论与新兴产业脱节等突出问题。

低空飞行器作为新兴特种装备,其结构受力、变形特性、失效形式、工况环境与传统工程机械存在显著差异。无人机、eVTOL 飞行器长期处于复杂气流、动态载荷、变工况飞行状态,结构面临悬停扰动、降落冲击、扭转疲劳、弯曲变形、开孔应力集中等多元化力学问题,对结构轻量化设计、强度刚度校核、疲劳损伤分析的精度要求极高。而传统工程力学教学的抽象静态模型,无法直观展现动态复杂工况下的力学变化规律,导致学生仅能掌握基础理论公式,难以建立力学知识与低空工程实际的关联,毕业后无法快速适配低空装备研发、结构校核、适航验证等岗位工作。

基于低空经济产业人才需求与智能化教学改革的双重背景,本文聚焦工程力学核心教学内容,依托无人机等低空飞行器真实工程场景,重构理论力学、材料力学课程教学案例体系,将飞行器受力分析、结构强度校核、变形失效机理、适航力学要求等低空技术理念贯穿教学全过程。同时结合人工智能技术,搭建智能化教学辅助体系,实现教学资源智能化生成、工程场景可视化演示、学情精准化分析、答疑互动个性化开展,有效解决传统教学抽象枯燥、应用脱节、针对性不足的问题,助力培养适配低空经济发展的高素质工科应用型人才^[7]。

1 低空技术场景融合工程力学教学案例设计

工程力学教学的核心难点在于学生难以将抽象的力学定理、公式与复杂工程场景结合,尤其对于无飞行器设计专业背景的普通工科学生,对低空装备的力学工况、结构特性认知较为匮乏。为贴合国家低空经济人才培养战略,打破传统教学场景局限,本文基于多旋翼无人机、eVTOL 飞行器等主流低空装备的实际工作工况,将理论力学的静力学平衡、动量定理、力矩平衡,以及材料力学的强度刚度校核、扭转变形、应力状态分析、失效准则等核心知识点,与低空工程真实场景深度融合,设计六大典型教学案例,实现理论知识与新兴工程场景的精准对接,帮助学生建立系统化的低空工程力学思维。

1.1 悬停状态下的空间力系分析案例

空间任意力系平衡是理论力学静力学的核心重点与难点,传统教学多采用静止支架、固定支座等静态模型,无法体现动态工程场景的受力特性。多旋翼无人机空中悬停是低空飞行最基础、最常用的工况,完美契合空间力系平衡核心知识点,可作为动态静力学经典教学案例。

无人机稳定悬停的核心力学条件为整机合外力为零、合外力矩为零,满足空间力系平衡方程。在竖直方向,无人机机身、载荷、设备的总重力竖直向下,所有旋翼高速旋转产生的总气动升力竖直向上,二者大小相等、方向相反,实现竖直方向受力平衡。在无风理想工况下,无人机水平方向无外力作用,保持水平静止;在自然有风工况下,气流会对机身产生水平气动阻力,飞控系统通过微调机身倾斜角度,使旋翼升力产生水平分力,精准抵消气动阻力,维持水平方向受力平衡。

多旋翼无人机采用相邻旋翼反向旋转的布局形式,相邻旋翼工作产生的反向反扭矩可相互抵消,从结构层面规避偏航力矩扰动。同时,无人机绕俯仰、滚转、偏航三轴的合力矩始终为零,保障机身姿态稳定。实际飞行中,气流扰动、载荷偏移、电机转速误差会产生微小受力偏差,飞控系统通过实时采集姿态数据,动态调节各旋翼电机转速,快速补偿受力与力矩扰动,持续维持悬停平衡状态。该案例可引导学生熟练掌握空间力系平衡方程的应用,理解动态工况下的静力学平衡机理。

1.2 无人机降落冲击动力学分析案例

动量定理、能量守恒定律、动荷因数计算是理论力学动力学与材料力学动载荷分析的核心内容,传统教学多采用自由落体重物冲击的简化模型,与实际工程场景差距较大。无人机降落过程包含匀速下落、减速缓冲、落地冲击三个阶段,尤其是故障失速、紧急迫降工况,会产生显著的动态冲击载荷,是典型的工程动载荷应用场景。

无人机正常降落时,竖直方向下落速度在落地瞬间迅速衰减至零,根据质点动量定理,速度的突变会使地面产生瞬时支撑冲击力,冲击力大小与无人机总质量、下落速度、缓冲行程直接相关。若无人机出现动力故障、电机失效导致失速坠落,下落速度大幅提升,冲击载荷会急剧增大,极易造成机架变形、结构开裂、设备损坏等失效问题。教学过程中可结合能量守恒定律,将无人机下落过程的重力势能、动能转化为结构变形能与冲击能量,精准计算降落冲击动荷因数。

基于动荷因数计算结果,可进一步结合材料力学应力

计算公式,求解无人机机架、机臂等核心结构的瞬时冲击应力,校核结构在冲击载荷作用下的强度极限,分析冲击引发的结构塑性变形、断裂失效等问题。该案例可帮助学生掌握动载荷、动荷因数的计算方法,理解动态冲击工况下结构的力学响应规律,建立工程动态安全校核思维。

1.3 旋翼连接件强度校核案例

拉伸、剪切、挤压强度校核以及应力集中失效分析是材料力学连接结构设计的核心知识点。多旋翼无人机的旋翼桨毂、驱动电机、机身机架均通过螺栓组连接固定,连接件的力学性能直接决定整机飞行安全性,是低空装备结构设计的关键细节。

无人机飞行过程中,旋翼高速旋转产生持续拉力与振动载荷,螺栓连接件长期承受轴向拉伸、横向剪切与接触面挤压复合载荷。教学中可结合拉伸强度条件、剪切强度条件、挤压强度条件,对单颗螺栓及螺栓组进行受力分析,计算螺栓的拉应力、切应力与挤压应力,对照材料许用应力完成强度校核,判断连接件是否满足长期飞行工况的可靠性要求。

除此之外,当前轻量化无人机机架普遍采用碳纤维复合材料,为安装螺栓需要在机架、机臂预留开孔,开孔会破坏结构连续性,造成局部应力集中,极易在飞行振动、冲击载荷作用下出现分层、开裂、剥落等损伤,是无人机结构失效的高频问题。基于此,可延伸讲解开孔结构的应力集中系数计算、复合材料结构失效机理,引导学生掌握工程结构开孔优化、连接结构补强的力学设计思路,以贴合低空装备轻量化、高可靠性的设计需求。

1.4 旋翼驱动轴扭转刚度与强度校核案例

圆轴扭转变形、扭转刚度与刚度校核是材料力学杆件变形章节的核心内容,传统教学以固定转速传动轴为简化模型,无法体现变工况扭转特性。

教学中可结合无人机全飞行工况开展综合分析:悬停状态下旋翼负载稳定,驱动轴扭矩平稳;转向、侧飞、加速爬升工况下,旋翼转速动态调整,驱动轴扭矩瞬时突变;极限大风工况下,空气阻力矩大幅提升,驱动轴承受最大扭转载荷。通过多工况扭矩分析,明确驱动轴设计的恶劣工况,完成极限载荷下的强度与刚度校核,让学生理解变工况下构件扭转力学特性的变化规律,提升工程工况分析能力。

另外,结合圆轴扭转强度条件、扭转刚度条件,分别对无人机常用的实心圆截面、空心薄壁圆截面驱动轴进行设计与校核,对比两种截面的扭转承载力、变形量、轻量

化优势,融合低空装备轻量化设计理念。

1.5 无人机机臂弯曲变形分析案例

梁的弯曲正应力、弯曲变形、强度与刚度校核是材料力学弯曲变形章节的重中之重,传统教学以简支梁、悬臂梁为基础模型。无人机机臂一端固定于机身主体,另一端搭载旋翼、电机、防护框架等负载,属于典型的悬臂弯曲构件。

在平稳悬停工况下,机臂承受旋翼、电机的恒定自重与竖直向上的升力,产生小幅弯曲变形,可通过弯曲正应力公式计算机臂根部、跨中关键截面的最大弯曲正应力,结合材料许用应力完成弯曲强度校核。同时,根据梁的挠度、转角计算公式,校核机臂弯曲变形刚度,确保变形量在允许范围内,避免因变形过大导致旋翼倾角偏移、飞行姿态失衡。

在起飞加速、快速爬升、机动转向等极端工况下,无人机会产生竖直向上的加速度,负载产生附加惯性载荷,机臂弯曲应力与变形量显著增大,是结构失效的高发工况。教学中可引入动载荷系数,完成极端工况下的弯曲强度与刚度校核,分析机臂根部最大应力区域的失效风险,讲解通过优化机臂截面形状、壁厚、材料参数改善弯曲性能的力学原理,实现理论公式与低空结构优化设计的深度结合。

1.6 无人机桨叶根部应力失效分析案例

空间应力状态分析、第三/第四强度理论、复合材料失效准则是材料力学复杂应力状态章节的难点内容,传统教学多采用平面应力简化模型,难以覆盖复杂工程应力场景。无人机旋翼桨叶根部为整机受力最复杂、失效概率最高的部位,可融合复杂应力状态与强度理论的知识点教学。

旋翼高速旋转过程中,桨叶根部同时承受多重复合载荷:高速旋转产生的离心拉伸载荷、气流冲击产生的弯曲载荷、旋翼旋转产生的扭矩,同时叠加飞行振动、气流扰动产生的交变载荷,形成复杂的三向应力状态,远超平面应力模型的适用范围。教学中可通过应力状态分析方法,求解桨叶根部危险点的主应力与最大切应力,结合经典强度理论,开展桨叶的强度校核与失效风险评估。

针对当前主流的碳纤维复合材料桨叶,可进一步延伸复合材料各向异性强度准则,区别于传统金属材料的均匀力学特性,分析复合材料桨叶根部的分层、开裂、纤维剥离等特殊失效形式,讲解复合载荷下的失效机理与校核方法。该案例可帮助学生突破复杂应力状态的学习难点,掌握不同材料、不同工况下的结构强度校核方法,适配低空装备新材料、新结构的力学分析需求。

2 人工智能辅助教学应用

传统工程力学场景化教学存在案例制作成本高、动态演示匮乏、学情反馈滞后、个性化教学不足等问题。人工智能生成技术、智能数据分析技术的普及,为教学模式创新提供了全新路径^[8]。本文结合低空场景化教学需求,构建人工智能(artificial intelligence, AI)辅助教学体系,覆盖教学资源生成、习题库建设、动态案例演示、人机互动答疑、精准学情分析五大模块,实现工程力学教学的智能化、可视化、个性化升级,有效提升低空场景教学的落地效果。

2.1 智能化讲义、课件资源生成

传统工程力学课件、讲义以通用理论知识为主,低空产业相关教学资源稀缺,教师自主开发场景化教学资源耗时久、专业性难以保障。借助生成式人工智能平台,可精准定制融合低空飞行器场景的工程力学专属讲义与课件。教师可通过精准输入,明确知识点范围、低空应用场景、教学重难点、受众基础等核心要求,由 AI 快速生成包含理论推导、低空案例解析、知识点总结、拓展延伸的完整教学资源初稿。

AI 生成初稿后,教师结合本科教学大纲、学生认知规律、低空工程实际标准进行二次优化与校对,修正理论误差、精简冗余内容、突出低空应用重点,梳理章节重难点知识框架,细化课堂讲授流程、案例讲解逻辑与互动环节设计。该模式可大幅降低教学资源开发成本,快速搭建系统化、专业化的低空场景化教学资源库,实现教学内容的动态更新与迭代,贴合低空产业技术发展趋势。

2.2 低空场景专属习题库智能化建设

现有工程力学学习题多基于传统机械场景,缺乏低空飞行器专项习题,学生无法通过课后练习巩固场景化力学应用能力。基于人工智能技术,可快速搭建分类清晰、梯度分明的低空场景专属习题库,覆盖选择、填空、计算、案例分析等多种题型,匹配课堂教学知识点与低空工程工况。

教师可根据每章节教学重点,指令 AI 生成对应低空场景习题,例如无人机受力平衡计算、冲击动荷因数求解、连接件强度校核、轴类扭转变形计算、机臂弯曲应力分析、桨叶强度失效判断等专项题型,同时配套标准答案、详细解题步骤与易错点解析。依托智能教学平台,可实现课堂随测、课后作业智能布置与自动批改,大幅提升教学效率。同时, AI 可自动统计学生错题数据,归类高频易错知识点、易混淆力学概念、场景化应用误区,形成错题台账。学生可基于错题台账自主开展针对性查漏补缺,教师可聚

焦共性问题开展集中讲解,实现精准化习题教学。

2.3 低空工程案例动态可视化演示

力学知识的抽象性、工况的动态性是学生学习的主要障碍,传统静态图片、板书推导无法直观展示飞行过程中力学参数的动态变化。借助 AI 可视化生成工具、智能仿真动画工具,可生成四旋翼无人机悬停、急加速、侧飞、降落冲击、机动转向等全工况的实时力学动态演示动画。

动画可实时可视化展示机身重力、旋翼升力、气动阻力、惯性力、扭矩、应力、变形量等参数的动态变化过程,直观呈现不同飞行状态下力学参数的突变规律与平衡机理。同时,针对驱动轴扭转、机臂弯曲、螺栓剪切、桨叶复合变形等结构变形形式,可自动标注变形位置、变形量大小、应力集中区域,清晰展示不同载荷下的构件失效趋势。课堂教学中通过动态动画演示,可将抽象的力学公式、静态的理论模型转化为直观的动态工程场景,降低学生理解难度,帮助学生快速建立力学原理与低空装备工况的对应关系。

2.4 人机互动智能问答答疑

传统教学答疑模式单一,课堂答疑时间有限、课后答疑反馈滞后,学生个性化疑问无法得到及时解决^[9]。依托人工智能问答工具,搭建全天候人机互动答疑渠道,学生可随时针对课堂知识点、低空案例原理、习题解题思路、工程应用误区等问题提交咨询, AI 可实时精准解答各类力学疑问。

同时, AI 可自动归类汇总班级高频疑问、共性知识漏洞,形成答疑数据报表,为教师课堂二次讲解、知识点补漏提供数据支撑。课堂中可设置 AI 答疑演示环节,讲授人机互动提问技巧,引导学生科学利用 AI 工具学习,同时教会学生辨别 AI 答疑的误差与错误,培养学生的思辨能力与严谨的工程思维,规避 AI 工具的知识性偏差,实现 AI 辅助学习的高效化、规范化。

2.5 多维度学情智能分析与统计

传统学情评价依赖教师人工统计,数据维度单一、反馈滞后,无法精准掌握学生的知识薄弱点与场景化应用能力短板。借助人工智能学情分析工具,可对学生课堂互动表现、随堂测试成绩、课后作业完成质量、AI 答疑互动数据、错题积累情况等多维度数据进行自动汇总、分类统计与智能分析。

AI 可通过大数据分析精准定位学生在低空场景力学应用、理论公式推导、结构强度校核、工况受力分析等方面的薄弱环节,生成个性化学情报告与班级整体学情分析报告。

表。教师基于学情数据^[10], 针对性调整教学节奏与教学重点, 对薄弱知识点开展专项强化讲解与专项习题训练, 引导学生打通各章节知识壁垒, 提升力学知识的低空场景综合应用能力。同时, AI 可自动统计学生平时学习数据, 辅助教师完成平时成绩量化考核, 实现过程性评价与精准化教学的有机结合。

3 结语

本文立足低空经济产业人才需求与工科教学智能化改革趋势, 针对传统工程力学教学场景滞后、理论与工程脱节、教学模式单一等问题, 将无人机低空飞行真实工况与工程力学核心知识点深度融合, 设计了贴合产业实际的场景化教学案例, 实现抽象力学理论与新兴低空工程的精准对接。同时, 依托人工智能技术搭建全流程教学辅助体系, 覆盖教学资源开发、习题训练、可视化演示、智能答疑、学情分析全环节, 构建了“场景化案例+智能化赋能”的全新工程力学教学模式。

该教学改革方案有效解决了传统工程力学教学枯燥抽象、应用针对性不足的问题, 能够帮助学生夯实力学理论基础, 建立低空工程力学思维, 提升新兴产业工程应用能力, 契合低空经济高速发展下的复合型工科人才培养需求。未来可进一步拓展 eVTOL 飞行器、低空巡检装备等更多低空场景案例, 优化 AI 智能教学模块, 持续完善低空导向的工程力学教学体系, 为低空产业高质量发展提供人才支撑与教学参考。

参考文献:

[1] 杨卫, 赵沛. 力学“101 计划”专题序[J]. 力学与实践, 2025, 47(1): 1-2.

[2] 邓健, 尹乔之, 胡挺等. 航空航天特色的工程力学专业研究生培养路径探索[J]. 人才培养和机制创新, 2022, 9: 31-35.

[3] 赵沛, 杨卫. AI 时代的力学教学[J]. 力学与实践, 2025, 47(1): 9-14.

[4] 徐辅中, 周翔. AIGC 赋能工程力学案例式教学模式改革研究[J]. 科教导刊, 2025, 26: 4-6.

[5] 刘娟, 沈火明, 李翔宇等. 数智赋能下工程力学混合式教学模式构建与实践[J]. 力学与实践, 2026, 48(3): 558-566.

[6] 胡海岩. 以工程力学方法论为核心的课程设计[J]. 力学与实践, 2025, 47(2): 261-264.

[7] 崔巍, 王红伟, 彭欢玲. 新工科背景下《工程力学》课程教学模式设计与实践[J]. 工程教学, 2024, 8(440): 179-181.

[8] 庞培培, 李鲁艳, 许文杰. 数字赋能与人文浸润下工程力学双维教学研究[J]. 青年教育研究, 2026, 4: 27-29.

[9] 王杰, 刘洋, 夏成宇. AIGC 赋能工程力学课程教学改革的路径探索与实践[J]. 科技视界, 2026, 16(4): 126-130.

[10] 陈伟球. 数智时代弹性力学教学的初步实践与思考[J]. 力学与实践, 2025, 47(3): 481-486.

作者简介: 第一作者/*通讯作者: 韩猛(1987.09-), 男, 汉族, 山东兖州人, 博士, 副教授, 研究方向: 先进复合材料的力学行为及表征。