

面向航空发动机燃油控制系统的智能化故障诊断教学方法研究

王瑞欣

西北工业大学, 中国·陕西 西安 710072

摘要: 随着航空发动机向高可靠性与智能化方向发展, 其控制系统日趋复杂, 传统故障诊断方法面临多重挑战, 以智能化为代表的故障诊断技术已经成为保障发动机安全运行、实现视情维修的关键手段。然而, 该领域知识体系高度交叉、技术迭代迅速、工程实践性强, 对专业人才的培养模式提出了全新的要求。当前高校教学普遍存在知识传授割裂、理论与实践脱节、案例教学匮乏、工程情境缺失等问题。本文系统分析了航空发动机燃油控制系统智能化故障诊断的教学现状与核心困境, 设计了智能化故障诊断教学的方法, 提出教学效果评估与持续改进机制。希望能够培养满足我国航空发动机自主研发与运维保障需求的复合型、创新型卓越工程人才提供了系统化的教学解决方案。

关键词: 航空发动机; 控制系统; 故障诊断; 教学研究

Research on intelligent fault diagnosis teaching method for aeroengine fuel control systems

Wang Ruixin

Northwestern Polytechnical University, China Shaanxi Xi'an 710072

Abstract: With the development of aeroengine in the direction of high reliability and intelligence, its control system is becoming increasingly complex, and the traditional fault diagnosis methods are facing multiple challenges. The fault diagnosis technology represented by intelligence has become the key means to ensure the safe operation of the engine and realize condition based maintenance. However, the highly overlapping knowledge system, rapid technical iteration and strong engineering practicality in this field put forward new requirements for the training mode of professional talents. At present, there are many problems in college teaching, such as the separation of knowledge teaching, the disconnection between theory and practice, the lack of case teaching, and the lack of engineering situation. This paper systematically analyzes the teaching status and core difficulties of intelligent fault diagnosis of aeroengine control system, designs the teaching method of intelligent fault diagnosis, and puts forward the teaching effect evaluation and continuous improvement mechanism. It is hoped to provide a systematic teaching solution to cultivate compound and innovative excellent engineering talents who can meet the needs of China's independent R&D and operation and maintenance support of aeroengines.

Keywords: Aeroengine; Control system; Fault diagnosis; Intelligent teaching

0 引言

航空发动机作为现代航空飞行器的核心, 其运行维护直接关系到飞行安全。传统航空发动机燃油控制系统故障诊断主要基于物理模型的分析 and 基于信号处理的分析。这些方法在工程实践中发挥了重要作用, 但其有效性严重依赖于精确的数学模型和先验知识。基于人工智能技术的发展, 对航空发动机运行过程中产生的海量数据进行智能化诊断, 能够从大数据中自动挖掘潜在故障, 并实现早期预警。当前高校在航空发动机控制系统智能化故障诊断教学中, 面临学科知识碎片化、教学内容滞后、实践教学环境薄弱等问题, 构建行之有效的、面向航空发动机控制系统

智能化故障诊断的教学方法, 不仅是适应技术发展趋势的必然要求, 更是培养能够肩负起航空强国使命。

1 当前航空发动机控制系统故障诊断教学现状

当前, 国内高校在航空、自动化、测控等专业中涉及故障诊断的教学, 因其交叉学科的特点, 固有弊端在应对智能化转型需求时显得尤为突出, 主要体现在以下几个方面:

1.1 “分段化”课程体系导致知识融合困难

现代航空发动机控制系统故障诊断涉及到航空发动机原理、自动控制理论、现代传感器技术、信号分析与处

理以及人工智能概论等多门课程,这就导致相关知识缺乏统一的教学大纲,缺乏明确的顶层教学设计。学生在学习过程中,需要自己将各部分知识串联起来,并进行整合与知识迁移。在此过程中,学生被动学习,无法将这些分散的知识与具体诊断航空发动机控制系统故障主动串联起来,学生难以形成“系统-部件-信号-算法-决策”的完整认知链条,面对实际问题时往往“只见树木,不见森林”。

1.2 “理论化”教学倾向与实践应用脱节

航空发动机控制系统故障诊断中涉及到众多理论知识,因此教师在教学过程中将重心放在相关数学公式推导与算法流程讲解上。例如,教师详细推导卡尔曼滤波器的递推公式或讲解支持向量机的优化原理。对于学生来说,掌握具体的理论知识还要结合具体的故障诊断案例进行分析。学生对于如何将这些算法接入仿真信号或真实数据流、需要何种预处理、输出结果如何转化为工程可理解的诊断结论等关键环节缺乏了解。在教学案例的选择上,教师往往采用公开的标准数据集或高度简化的数学模型,其数据特征、噪声模式、故障注入方式与真实的航空发动机运行环境相去甚远,导致学生所学技能无法直接迁移至工程场景。

1.3 “静态化”教学资源难以支撑能力建构

受制于教学资源与高校固有观念的影响,现有的航空发动机燃油控制系统故障诊断教学主要以教材、PPT 和静态图片为主,缺乏动态的、交互式的、高保真的教学工具。学生无法亲自在学校真实感受到发生故障时的具体工作状态。对于深度学习等“黑箱”模型,学生更难以窥探其内部特征提取与决策形成的逻辑,学习过程容易陷入“调参”的盲目性,而缺乏对模型本质的理解与批判性思考。

2 智能化故障诊断教学的多维方法体系设计

针对传统教学的不足,本文提出“理论奠基-虚拟仿真-项目实践-混合现实”四维一体的智能化故障诊断教学方法体系。该体系以培养学生智能化故障诊断核心能力为目标,整合人工智能技术、工程教育理论和行业最佳实践,形成多层次、渐进式的教学路径。

2.1 理论教学维度的智能化升级

理论知识的学习与培养是智能化故障诊断的基础,学生只有从理论高度建立知识体系,才能为后续发动机控制系统智能化故障诊断提供坚实支撑。首先,要对现有的课程知识进行模块化,将传统的故障诊断理论知识与前沿的智能技术尽行融合,在课程知识模块中,构建“基础模块+专业模块+前沿模块”的知识结构。基础模块涵盖航空

发动机原理、燃油控制系统基础、经典故障诊断方法等核心知识;专业模块重点讲解智能故障诊断算法;前沿模块则介绍行业最新技术动态,如复杂自适应系统(CAS)启发的智能检测框架、多源信息融合诊断等。要积极创新教学方法,以真实工程问题为导向展开教学。采用真实案例作为教学素材,帮助学生深度掌握故障诊断思路与具体方法。基于真实工程案例的教学方法,能够有效激发学生的学习兴趣,培养工程思维能力。

2.2 虚拟仿真维度的沉浸式体验

虚拟仿真技术的应用,不仅能带给学生沉浸式体验,还能有效弥补传统教学硬件设备不足的问题,将航空发动机故障诊断从理论学习上升到工程实践。基于虚拟仿真技术,构建高保真虚拟发动机模型,是智能化故障诊断教学的关键突破。相比传统的航空发动机模型,虚拟仿真技术下的数字模型,能够高度还原真实发动机的物理特性、控制逻辑和故障模式,为学生提供接近真实的故障诊断环境。在虚拟仿真平台中,学生可以进行多种智能诊断算法的验证。虚拟仿真平台还可以模拟数据稀缺场景,引导学生应用迁移学习理论解决发动机水洗或大修后模型精度下降的问题,培养学生的创新思维能力。此外,虚拟仿真教学还可以引入常见的航空发动机燃油控制系统故障诊断案例,教师可以在系统中预设各类典型故障和复合故障,学生需要运用所学知识进行故障检测、隔离和识别。系统能够自动评估学生的诊断结果,提供详细的反馈和指导,帮助学生理解诊断过程中的错误和不足。

2.3 项目实践维度的产教融合

航空发动机燃油控制系统故障诊断需要学生具有实践能力,而项目实践则是提升学生工程实践能力与创新能力的最佳途径。通过产教融合、校企合作,引入企业的真实工程案例,能够有效提升学生的工程实践水平,缩短职业教育与行业能力之间的差距。在项目实践教学中,积极推行导师团队制,由高校教师和企业工程师共同指导学生完成实践项目。学生团队需要完成整个控制系统的故障诊断流程。这种真实项目实践能够使学生深入了解行业需求,掌握工程开发规范,培养团队协作能力。为了确保项目实践的先进性,高校与企业还要建立动态更新的项目库,确保教学内容与行业发展同步。学校与企业合作,定期收集和整理实际工程中的典型案例,将其转化为教学项目。

3 教学效果评估与持续改进机制

3.1 多维度教学效果评估体系

教学效果评估从知识掌握、技能应用、工程思维和创

新能力四个维度展开。要对学生的控制系统理论知识进行考核,评估学生对智能化故障诊断的理论知识理解程度。除了基础知识外,还要增加学生对航空发动机故障诊断前沿知识的考察,让学生绘制智能化故障诊断的知识结构图,评估学生理论知识的系统性与完整性。技能评估侧重于考察学生解决具体问题的能力。通过虚拟仿真与项目实践活动,对于学生智能化故障诊断的过程与结果进行评估,并结合真实的工程场景进行考察,确保学生熟悉一线工作流程。工程思维评估主要考察学生对综合问题的解决能力,通过案例分析报告、方案设计文档和问题解决过程记录,评估学生的系统思维、逻辑推理和决策能力。创新能力评估则关注学生在智能化故障诊断过程中是否具有创新思维,并引入新的学习机制解决新的工程问题。

3.2 基于学习分析的个性化反馈机制

控制系统智能化故障诊断,还需要借助数字化教学平台,构建学生的个人能力分析报告,从而为后续的个性化教学提供数据支撑。在数字化平台上,包含学生的理论测试成绩、实验操作流程、项目完成情况等内容,通过数据分析,能够对学生的特点与不足进行清晰记录。在完成数据分析后,为每个学生生成个性化学习报告,并指出薄弱点与发展建议。例如,对于在数据预处理环节表现不佳的学生,系统可以推荐相关的学习资源和练习任务;对于算法理解有困难的学生,系统可以提供更基础的讲解材料和步骤演示。同时,平台还支持自适应学习路径推荐。根据学生的当前水平和发展目标,系统可以动态调整学习内容和难度,为每位学生设计最优的学习路径。

3.3 持续改进的闭环机制

教学方法的持续改进建立在多源反馈和数据分析的基础上,形成“实施-评估-反馈-优化”的闭环机制。首先,建立多元反馈渠道,收集学生、教师、行业专家等多方意见。定期开展学生满意度调查,了解学生对教学内容、方法、资源的评价和建议;其次,进行教学效果跟踪研究,关注学生的长期发展。通过毕业生访谈、用人单位反馈等

方式,了解学生在工作岗位上的表现和能力适应情况。最后,构建动态更新的教学资源库,确保教学内容与时俱进。与行业企业保持紧密合作,及时获取最新的技术发展和工程案例,将其转化为教学资源。同时,建立资源评价和筛选机制,确保教学资源的质量和适用性。

4 结语

面向航空发动机燃油控制系统的智能化故障诊断教学,是一项关乎国家高端装备制造业人才培养质量的重要工程教育课题。本文针对当前教学体系中存在的知识割裂、实践虚化、创新不足等核心痛点,系统性地提出并构建了一个以学生能力发展为中心、以复杂工程问题解决为导向的多维一体化教学方法体系。该教学方法能够有效提升学生学习投入度、知识整合能力、工程实践能力与初步的系统创新能力,为培养具备扎实理论基础、卓越工程能力、强烈社会责任感和国际视野的航空发动机 PHM 领域卓越工程师与创新者提供了有力的教学支撑。

参考文献:

- [1] 陈毓智, 侯林峰, 马静. “航空发动机控制系统”课程教学改革[J]. 西部素质教育, 2024, 10(20):6-10.
- [2] 汪勇, 郑前钢, 张海波等. 虚实结合的“航空发动机控制系统设计技术”课程教学改革探索[J]. 工业和信息化教育, 2024(12):90-94.
- [3] 鲁峰. “航空发动机控制原理”课程混合式教学方法研究[J]. 工业和信息化教育, 2021(6):39-43.
- [4] 李勇, 马震宇, 韩非非等. 航空发动机控制系统课程虚拟仿真实验教学平台建设建议与研究[J]. 高教学刊, 2022, 8(1):5-8.
- [5] 孙兆荣, 徐萌, 何永勃. 航空发动机电气控制系统线上教学及考核探究[J]. 科教导刊-电子版(下旬), 2021(3):168-169.

作者简介:王瑞欣(1995-),女,汉族,陕西咸阳人,博士,副教授,研究方向:航空发动机控制系统。