

# 基于数智赋能的工程热力学教学模式探究

张茜\*, 吴小斌, 刘江斌, 王帅

延安大学石油工程与环境工程学院, 陕西延安, 中国

\*通讯作者

**【摘要】**从行业发展趋势来看,全球能源产业正加速向智能化、低碳化、高效化方向演进,油气储运工程的智能化调控、热力学优化计算、智能监测决策等技术已成为行业核心竞争力的重要组成部分。当前,油气储运工程专业的《工程热力学》教学仍然以传统的知识传授模式为主,导致教学内容与行业数字化转型趋势脱节,学生的工程实践能力和创新思维培养受限。因此,培养具备数智化思维、能熟练运用智能技术解决复杂能源工程问题的高水平工程人才,是当前高等教育改革的关键任务。

**【关键词】**油气储运工程; 创新教学; 数智赋能; 工程热力学

## 1. 引言

2017年,教育部提出“新工科”建设理念,旨在推动工程教育的跨学科融合、智能化转型和产业契合,以培养适应未来科技革命与产业变革的复合型工程技术人才。新工科以交叉融合、产业导向和创新驱动为核心,构建面向未来科技变革和产业需求的工程教育体系,培养具备数字化、智能化能力的复合型工程人才[1-3]。在数字化与智能化重塑工程行业的背景下,传统教学模式难以匹配新技术的发展速度,数智赋能能够提升教学的前沿性和实践性,使学生具备应对复杂工程问题的数据分析与智能优化能力。当前,油气储运行业正加速迈向智能化,数字孪生、人工智能和大数据分析等技术的应用已成为提升能源输送效率和安全性关键。然而,传统《工程热力学》课程仍以经典热力学理论推导和静态实验为主,难以满足行业对数智化工程人才的需求。如何构建贴合智能油气储运工程的热力学教学模式,使学生在掌握基础理论的同时,具备智能优化与数据决策能力?本项目基于新工科理念,探索“数智赋能+工程应用”的教学改革路径,构建涵盖智能化实验、数据驱动分析和产学研协同育人的新型教学体系[4-7]。

## 2. 适应数智化发展的工程热力学教学内容调整

### 2.1 融入智能油气储运工程应用场景的教学模块设计

当前《工程热力学》课程主要围绕经典热力学定律、状态参数分析及热力过程计算展开,而在油气储运行业,数智化技术的广泛应用已重塑了热力学问题的实际工程背景[8-10]。本

项目建设的核心内容之一,是基于智能油气管网、数字孪生储运系统、智能调控算法等前沿应用场景,重新设计教学模块,使学生在基础理论的同时,能够理解其在智能化油气储运系统中的作用。例如,在管道输送过程的热管理优化中,传统教学仅涉及管道热损失计算,而在数智化背景下,还需考虑基于大数据分析的热力参数预测、智能温控策略以及油气输送过程中的能耗优化方法。因此,本项目重新组织教学内容,使之涵盖数智化油气储运的典型热力学问题,并建立理论知识与智能工程应用之间的紧密联系。以长输油气管道为核心场景,构建包含“输运工况-热力参数-系统性能”的多层次教学体系。在管道输送单元中,引入智能管网的温度场分布特征分析,指导学生运用热力学第一定律建立管段能量平衡方程,结合实际工程参数计算管道沿程温降和热损失。在压缩机站单元教学中,融入基于工况大数据的压缩机能效评价方法,引导学生分析不同运行工况下的多级压缩过程,建立压缩功耗与进出口参数的关联模型。在储存设施单元中,结合LNG储罐的智能温控系统,讲解气液相变过程的热力学机理,分析储罐温度分层现象及其对气化率的影响。

### 2.2 引入数据驱动的工程热力学分析方法

传统工程热力学教学模式主要依赖解析法求解热力学问题,而在智能化油气储运系统中,海量数据的获取与分析已成为优化热力学过程的关键。本项目将建设数据驱动的教学模块,引导学生理解如何利用大数据方法解决复杂热力学问题。例如,在油气管网的热力学监测中,实时采集的温度、压力、流速等数据可

用于建立数据驱动的热力学预测模型,而人工智能算法可辅助优化输送参数,以降低能耗并提高热效率。因此,在教学内容建设中,将引入基于机器学习的热力学参数预测方法、数据可视化技术、智能算法优化策略等,使学生掌握从数据获取、分析到工程决策的完整流程,从而培养其数智化工程思维和数据分析能力。依托油气储运系统的实际运行数据,构建数据驱动的热力学教学模块。在传统热力定律教学基础上,引入基于历史数据的热力参数预测方法。以天然气管网为例,利用 SCADA 系统采集的压力、温度、流量等时序数据,指导学生建立管网热力特性的数值模型。在教学过程中,通过案例分析帮助学生掌握数据预处理技术,包括异常值识别、数据标准化等关键步骤。结合人工智能算法,引导学生开发基于历史数据的热力参数预测模型,实现对管网温度场、压力场的动态预测。在此基础上,通过设计优化算法实验,使学生掌握如何利用预测结果优化系统运行参数,实现节能降耗目标。

### 3.建设依托虚拟仿真技术的工程热力学实验体系

#### 3.1 设计基于数字孪生的热力学实验案例

传统《工程热力学》实验教学以物理实验为主,受设备条件和实验周期限制,难以完整覆盖油气储运行业的复杂热力学问题。本项目将建设基于数字孪生技术的实验案例,使学生能够在高度仿真的虚拟环境中,模拟和分析智能油气储运过程中的关键热力学现象。例如,在液化天然气(LNG)储运过程中,温度和压力的动态变化对储运安全性、能耗控制及经济性均有重要影响,而传统实验难以复现完整的LNG储运过程。借助数字孪生技术,可构建虚拟LNG储运系统,实时模拟不同工况下的热力学参数演变,并结合历史数据进行智能预测分析,使学生能够在高度逼真的模拟环境中开展实验研究,从而突破传统实验教学的局限性。在实验设计中,构建包含储罐、管道和气化器的完整LNG储运系统模型,实现对温度场、压力场和相变过程的精确模拟。学生可通过调节工况参数,观察LNG在不同环境条件下的热力学行为,如储罐内的温度分层效应、BOG(闪蒸气)产生机理等。在实验过程中,基于热力学第一定律和第二定律,建立LNG储运系统的能量平衡和熵平衡方程,分析系统的能量流动和损失。通过虚拟仿真实验,学生能够直观理解储罐绝热效果对气化率的影响、管道保冷层性能对输送能耗的作用,以及气化

过程中的焓变与相变潜热关系。实验数据的实时可视化展示,帮助学生深入理解热力学参数之间的耦合关系,提升其解决复杂工程问题的能力。

#### 3.2 构建结合物联网数据采集的实验项目

在智能油气储运系统中,物联网(IoT)技术广泛应用于热力学状态监测和参数优化,而现有实验教学尚未充分融入这一技术趋势。本项目将建设结合物联网数据采集的实验项目,使学生能够通过远程访问实验设备,实时获取热力学参数,并利用数据分析工具进行深入研究。例如,在油气管道输送实验中,可通过智能传感器采集管道内流体的温度、压力、流速等数据,并借助数据分析软件进行趋势预测和优化计算。实验体系不仅提升实验教学的灵活性,还增强学生对智能监测技术的理解,使其能够在实验过程中掌握物联网数据采集、处理及决策支持的基本方法,增强其面向未来智能油气工程的实践能力。在实验管段上部署温度、压力、流量等智能传感器,通过无线网络实现数据实时采集和远程访问。学生可通过实验平台监测管内流体的热力学状态参数,分析不同输送工况下的能量损失特征。在数据处理环节,引入基于Python的数据分析工具,指导学生对采集的时序数据进行滤波处理和特征提取,建立管道输送过程的热力学模型。通过分析压力损失与流速的关系、温度衰减与环境条件的关联,学生能够掌握热力过程的定量计算方法。实验项目还包含管道泄漏工况模拟,通过温度、压力异常数据的实时监测,使学生理解热力参数在安全监控中的重要作用。

### 4.建设产学研合作协同育人机制

#### 4.1 联合企业构建智能化工程案例库

当前高校工程教育与行业需求仍存在一定脱节,特别是在《工程热力学》课程中,学生往往难以理解所学理论在实际工程中的应用价值。本项目将依托油气储运行业龙头企业,与企业工程师共同建设智能化工程案例库,以填补教学内容与行业实践之间的鸿沟。例如,在油气长输管道的热力学优化调控中,企业已广泛应用基于大数据分析的智能调度系统,而高校教学仍停留在传统热力学计算层面。因此,本项目与企业合作,基于实际工程数据,开发智能热管理、能耗优化、异常工况预测等典型案例,使学生能够在真实工程背景下理解和应用热力学理论,提高其工程实践能力和问题解决能力。选取天然气管道输送过程中的典型热

力学问题,如压气站能效优化、管道沿程温降控制等,提取企业实际运行数据并进行教学化处理。在案例设计中,重点关注智能调控系统对热力参数的实时优化过程,例如基于天然气组分和环境温度变化,分析压缩机组的最优运行工况选择方法,计算多级压缩过程的功耗分布。通过对比传统定时调控与智能调控策略下的系统能耗差异,使学生深入理解热力学原理在工程优化中的实际应用。案例库包含管道事故工况分析单元,通过研究泄漏工况下的温度压力异常特征,指导学生运用热力学基本定律分析事故成因,培养其工程分析能力和实践创新意识。

#### 4.2 搭建“企业导师+高校教师”双导师实践指导体系学生能力发展评估

当前工程教育以高校教师授课为主,企业专家的直接参与度较低,导致学生在工程应用能力培养方面存在短板。本项目将通过产学合作,建立“企业导师+高校教师”双导师实践指导体系,由企业工程师参与课程教学、实验指导及工程实践项目,使学生能够在工程实践中接受行业专家的指导。例如,在课程实验环节,企业导师可指导学生基于企业提供的油气储运数据,分析热力学优化方案,并结合企业实际需求,提出改进策略与工程应用建议。此外,在毕业设计或课题研究阶段,企业导师可提供真实工程课题,指导学生开展基于数智技术的热力学工程优化研究,使其在实践中积累行业经验,并提高解决复杂工程问题的能力。与油气储运企业建立合作关系,聘请具有丰富工程经验的企业工程师担任实践导师,参与《工程热力学》课程教学与实验指导。企业导师在课堂教学中分享智能油气储运系统的热力学优化经验,如LNG接收站的能量梯级利用方案、智能调压站的热力参数优化策略等。在实验教学环节,企业导师指导学生运用HYSYS等专业软件进行热力过程模拟,帮助学生掌握工程计算软件的应用方法。针对毕业设计,企业导师提供基于实际工程问题的研究课题,如油气管网的智能能耗预测、储罐BOG控制优化等,指导学生运用热力学理论解决工程实际问题。通过高校教师负责理论教学、企业导师侧重工程实践的协同培养模式,实现理论知识与工程经验的有机结合,提升学生的综合工程能力。

#### 5. 结论与展望

数智赋能下的《工程热力学》教学模式变革,是新工科背景下油气储运人才培养体系升级的核心任务之一。一方面,基于数字孪生技术的工程热力学虚拟实验平台建设,可以通过实时仿真模拟油气输送过程中的热力学参数变化,使学生在虚拟环境中直观理解复杂热力学现象,并利用数据分析优化工程决策。另一方面,人工智能与大数据驱动的智能教学系统能够提供基于学习行为分析的个性化知识推荐,动态调整教学内容,提升教学精准度和学生学习效率。

#### 参考文献

- [1] 朱立达,赵继.数智赋能视域下卓越工程人才培养体系重构及能力跃升研究[J].高等教育研究,2025(6):45-52.
- [2] 王晨,刘畅.基于数字孪生的储运自动化监控平台设计与实现[J].油气储运,2025,44(12):1389-1397.
- [3] 莫政宇.新工科理念下《工程热力学》课程改革与实践[J].高等理科教育,2025(4):89-95.
- [4] 王晨,李静.基于产业学院的新工科应用型本科人才培养模式探索[J].计算机技术与教育学报,2024,12(5):23-28.
- [5] Li J, Wang Y. Study on the Construction Path of Automation Engineering Program under the Background of "New Engineering"[J]. Journal of Engineering Education Research, 2025, 38(2):112-120.
- [6] 林健,杨冬.工程教育智能化:内涵、特征与挑战[J].清华大学教育研究,2023,44(6):1-11.
- [7] 殷雄,徐波,刘天尧,温凯,黄维和,宫敬.考虑温压补偿的天然气管道自适应仿真方法[J].油气储运,2024,43(6):710-719.
- [8] 张明远,李娟,王浩.LNG储罐预冷温度变化规律算法研究[J].天然气工业,2025,45(4):123-130.
- [9] 陈阳,赵峰,吴迪.基于强化学习的LNG储运温控优化策略研究[J].化工学报,2026,77(1):345-354.
- [10] 张宏,刘畅,王明.油气管网行业大模型的思考及应用探索[J].油气储运,2025,44(4):385-393.