

【航空电子电气工程】

一类航空物流虚拟仿真实验系统的设计与应用

王乔博¹, 李 永², 张津瑜¹

(1. 山东航空学院 机场学院, 山东 滨州 256603;

2. 山东航空学院 科研处, 山东 滨州 256603)

摘 要:实验实训教学是航空物流专业人才培养体系的重要组成部分,在开展专业认识实习、课程设计、综合实训等方面发挥着重要作用。鉴于航空物流专业学生在航空港实习实训开展方面存在时间紧凑、区域有限等不足,设计了一类航空物流虚拟仿真实验系统,真实还原航空港设施设备和运行流程,与线下实习实训互为补充。航空物流虚拟仿真实验系统采用 Unity3D、Blender、SPH 等技术实现系统场景再现,通过构建航空物流认知系统、操作系统和实验设计系统为学生设计递阶实训内容,培养学生解决问题能力和创新思维。

关键词:航空物流;虚拟仿真技术;实践教学;人才培养;系统设计

中图分类号: G 642.4; U 8 **文献标识码:** A DOI:10.13486/j.issn.2097-4973.2026.02.008

航空物流作为现代流通体系的重要组成部分,对于畅通国内国际双循环、稳定产业供应链等国家发展战略起着重要支撑作用^[1]。航空物流应用型人才培养是航空物流业高质量发展的重要保障,这既是对我国航空物流人才培养实践层面提出的更高要求,也是对高校航空物流专业实践教学资源、模式和效果提出的更高要求。虚拟仿真技术能够创建高度逼真的虚拟环境,为学生提供沉浸式实践体验,弥补传统实践教学的不足,为此很多学者探究了虚拟仿真技术在护理学、车辆工程、园林学、医学、交通工程等不同学科教育中的应用^[2-6],同样在物流专业的教学应用方面也有诸多研究成果,如物流仓储系统虚拟仿真实验、基于 VR 技术开发的危化品物流虚拟仿真系统、物流包装虚拟仿真实验系统、面向智慧物流的射频识别虚拟仿真实验系统等^[7-10],但在航空物流领域却尚未见报道。航空物流高质量人才培养离不开良好的实践教学,基于人才培养战略发展要求和实际教学需要,探究虚拟仿真技术在航空物流专业实践教学中的应用,有助于提升教学效果和培养行业需求人才。本研究构建了包含航空物流认知系统、业务操作系统、实验设计系统和实习报告采集系统的四层架构及其实现技术,解决了传统实践教学存在的时空限制、成本高昂、安全风险等局限性,丰富了航空物流专业实践教学研究内容,有助于提升学生实践教学成效。

1 航空物流专业实践教学现状

航空物流人才是指以工学学科与管理学科相互渗透支撑为理论基础,强调实践、创新等综合能力的现代化工程应用创新人才,其培养适应我国民航业发展需要^[11]。目前我国开设航空物流专业的高校主要有

收稿日期:2025-04-08

基金项目:滨州学院实验技术项目暨虚拟仿真实验项目(BZXYXFXM202223,BZXYSYXM202202);全国高校、职业院校物流教改教研课题(JZW2023410)

第一作者简介:王乔博(1993—),男,河南洛阳人,讲师,硕士,主要从事物流系统规划研究。

E-mail:1293492901@qq.com

中国民航大学、沈阳航空航天大学、中国民用航空飞行学院、山东航空学院、郑州航空工业管理学院等,这些高校从人才培养的质量和体量上为我国航空物流业的迅速发展提供了重要的人才支撑^[12]。航空物流专业集合了航空运输业务操作、物流系统规划与管理等实践内容,因此可靠的实验实训教学是高质量达成培养目标的重要保障。

航空物流人才实践创新能力培养需要配套的实验实训资源作为支撑,而传统的实验室建设存在投入成本高、建设周期长、设备维护更新困难等现实问题^[13],实验实训教学资源成为制约专业实践教学发展的重要因素。在有限的实验实训资源发展背景下,航空物流专业实践教学主要在校企合作相关企业开展认识实习或顶岗实习,此类形式的专业实践教学受制于时间和空间因素,实践成本高且无法完全满足需求。此外,航空物流专业实践区域常受到机场管制区、相关管理规章等限制,学生实践周期短、认识层次浅且不全面,难以将理论知识与实践形成有效结合,实践教学效果不理想^[14]。

良好的专业实践教学是航空物流专业人才培养质量的保证,虚拟仿真技术能够在计算机上营造出真实场景的虚拟仿真环境,学生通过交互设备能够完成各种实验项目,这提高了教学承载能力,可拓展学生学习的时间空间,有效培育学生实践能力和激发创新意识^[15]。加强虚拟仿真实验课程建设是《“十四五”民用航空发展规划》中强调的培养高素质航空物流人才的发展路径之一^[16]。航空港作为航空物流供应链上的重要节点,承担着航班装卸客货、地面集散的作用,在航空物流专业教学中扮演者重要角色,本文以航空港为核心设计了初始航空物流仿真实训系统,并逐步完善形成航空物流虚拟仿真实验系统,将虚拟仿真技术与实践教学相结合,突破实践教学的局限性。

2 航空物流虚拟仿真实验系统架构

通过调研和梳理航空物流专业实践教学开展过程,发现存在机场货运操作相关设备昂贵、维护成本高,飞机配载平衡、货物流程操作等实地作业安全问题多,教师难以较好掌握学生实训操作情况等问题。《教育信息化 2.0 行动计划》提出的加强高校虚拟仿真实训教学环境建设^[17],为航空物流专业开展虚拟仿真实实践教学提供了政策保障。结合航空物流专业特色和实践教学实际需要,借助信息技术建设航空物流虚拟仿真实验系统,该系统主要包含航空物流认知系统、航空物流业务操作系统、航空物流实验设计系统和实习报告采集系统四个部分。航空物流认知系统采取语音讲解模式对航空物流全流程仿真模拟场景进行介绍,引导学生初步认识航空物流业务流程及相关设施设备;航空物流业务操作系统能够实现学生通过小组角色分配方式,在系统中模拟航空物流业务流程中涉及的各个岗位,通过不同岗位分工协作完成实训操作,从而达到熟悉航空物流业务流程及不同岗位实践作业的教学目标;航空物流实验设计系统是对学生掌握物流技能的实践锻炼,学生可通过该模块完成平面布局规划、业务流程优化、仓储系统管理与优化等实验项目的设计验证;实习报告采集系统能够记录学生在各实验项目中的题目作答、操作数据、效果分析等内容,通过设置的指标点给出系统评分,实习报告为最终教师评分提供过程支撑。

3 航空物流虚拟仿真实验系统设计

3.1 系统设计框架

航空物流虚拟仿真实验系统设计框架如图 1 所示,包括表现层、逻辑层和数据层三个部分。表现层是用户与系统交互的界面,负责展示信息和接收用户输入,包括航空物流认知系统、航空物流业务操作系统、航空物流实验设计系统和实习报告采集系统四个用户界面。表现层基于 B/S 架构进行开发,用户通过浏览器即可访问系统,使用 HTML5、CSS3、JavaScript 等技术开发前端界面,以及 Unity3D 实现 3D 虚拟仿真场景,增强用户的沉浸式体验。逻辑层是系统的核心,负责处理业务逻辑、数据交互和仿真计算,具备高效的计算能力和灵活的扩展性,以支持复杂的航空物流仿真操作,采用 Unity3D、Blender 进行 3D 建模和仿真计算,能够模拟复杂的物流场景,提供良好的建模仿真功能。同时使用 SPH 技术模拟物流中的流体

动力学现象,如货物流动、仓储管理等,帮助用户更加直观理解。数据层负责存储和管理系统的所有数据,包括用户数据、实验数据、仿真结果等,具备高可靠性和高扩展性,支持大规模用户并发访问,系统使用 MongoDB 数据库管理系统存储结构化数据,采用 Redis 缓存技术提高数据访问速度和数据存储稳定性。通过以上平台框架设计,为用户提供开放式、易操作的虚拟仿真教学平台,能够有效提升学生专业素养和实践能力。

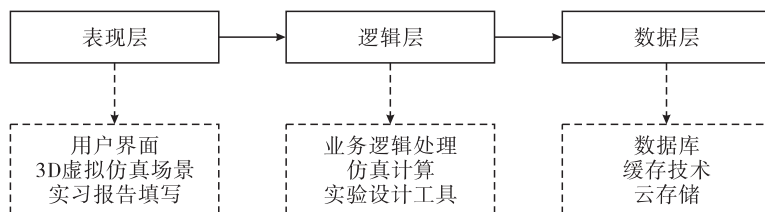


图 1 航空物流虚拟仿真实验系统框架

基于行业标准参数及真实场景数据,构建高精度航空物流场景与设备模型,采用 Blender 进行 3D 建模,构建货机、航空集装箱、叉车等设备模型。航空物流业务流程模拟是基于 Unity3D 通过 C# 脚本实现业务流程逻辑,如设计货物分拣状态机,支持异常报警提示,使用 SPH 技术模拟物流中运输、搬运等操作等。系统构建参数化实验平台,能够支持用户定义机型、货物类型、货物到达分布等变量参数,后端可通过 Python 调用仿真软件进行物流系统状态的优化计算。通过 WebGL 将 Unity 项目编译为浏览器兼容格式,支持 PC 访问,使用 MongoDB 数据库管理系统存储数据。

3.2 系统设计实现

航空物流虚拟仿真实验系统能够将虚拟仿真项目与专业课程体系紧密联系起来,支撑课程中实验实训内容的开展。例如,航空物流认知系统能够支撑民航概论、民航货物运输、现代物流装备与技术等课程中要求学生具备民航货物运输相关的基础认知;航空物流业务操作系统能够支撑民航货物运输、机场货运运作与管理等课程中所要求的学生具有民航货运业务实践能力、地面运输区的规划运营等能力;航空物流实验设计系统能够支撑物流系统规划与设计、物流系统仿真与优化等课程(图 2)。

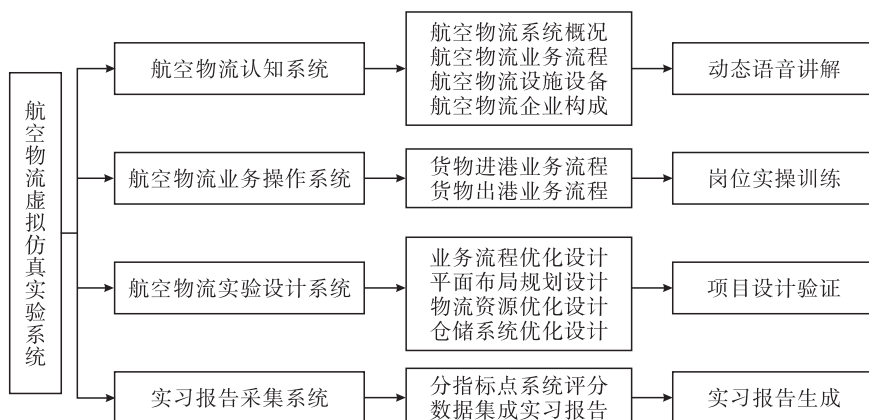


图 2 航空物流虚拟仿真实验系统项目体系

3.2.1 登录系统

学生登录端界面如图 3 所示。学生在初次使用该系统时需要使用个人信息进行注册,如设定登录姓名、密码、学号、班级等信息,注册成功后即可使用用户名和初设密码进行登录。通过设置个人登录系统能够确保学生实验的连续性,学生可随时中断实验并保存进度,所有实验参数、操作记录、仿真结果自动存储,下次登录后支持继续操作,避免重复劳动,同时系统支持用户随时回看或对比不同实验方案。任课教师作为管理者通过管理端登录教师管理页面(图 4),在学生用户数据独立存储特征下,教师通过账号管理

能够查看全班学生的实验进程和实验数据,既能掌握学生学习效果,又能对不同学生的实验问题提供针对性指导。

× 关闭

姓名

密码

确认密码

学号

班级

性别 ☐男 ☐女

图3 学生登录端界面

王老师

首页

用户设置

教师管理

学生管理

班级管理

图4 教师登录界面

进入系统后的界面包括三维互动、地面处理、货运代理人、航空公司、系统管理和管理中心模块。其中,三维互动模块是对航空港的3D虚拟仿真,能够等比例真实还原航空港的内部场景,用户通过键盘输入端实现以第一视角或第三视角自由查看航空港内部货站、停机坪等区域的设施设备情况。同时,该模块能够实现动态运行,学生能够直观地以整体视角去观察航空物流相关环节的具体运行情况。地面处理、货运代理人、航空公司三个模块主要是实现不同企业主体所负责环节的单证业务操作功能,图5为货运单证填制示例。系统管理模块用于设置系统中基础数据,包括国家和地区代码、城市代码、机场代码、体积单位、机型管理和承运人管理等。

国内主单制单			
*运单号	订单来源	本系统	
*航程	---	---	---
航班号	日期	航班号	日期
发货人信息		收货人信息	
简称		简称	
地址		地址	
电话		电话	
填开代理人公司、名称、城市		结算注意事项	运输声明价值
代理人公司			运输保险价值
代理人识别码	城市	柜号	
储存注意事项及其他			特货代码

图5 货运单填制界面

3.2.2 航空物流认知系统

航空物流认知系统是专业实践教学中最基础的知识板块,通过API接口调用外部资源,构建航空物流的基础知识库,支持用户查询和学习。围绕航空港这一核心要素,通过3D建模和虚拟现实技术,真实还原航空物流的各个环节。一方面,通过语音讲解为学生介绍航空物流系统的类型、组成、功能以及功能区布局,使学生从宏观层面对航空港有整体认识,通过直观形象的展示帮助学生理解航空港中的事物关系;另一方面,从微观层面沿着航空物流业务流程涉及的各个作业环节,具体包括托运人、地面运输企业、货运代理人、机场货站和航空公司等企业主体参与的市场揽货、地面运输、货站理货、流通加工、货物出入库、货物装箱打板、航班装载等业务流程,使用户以第一视角学习虚拟仿真技术搭建的航空物流系统业务运作情况,自由探索机场货站、停机坪、仓储区等关键区域,同时支持360°全景观察,如整体浏览货物从进站、打板到装机等全过程,为后续学生开展现场实习奠定基础。参观学习主要是采用自主漫游形式进行,学生通过操作键盘上的方向键控制对航空港的探索移动方向。学生通过自主漫游探索,在培养学习兴趣的同时,迅速掌握航空物流业务流程的运行程序,实现对航空港及货站中心内部布局的认知,全方位、多视角学习物流园区的组成部分和动态运转过程。学生在航空港漫游探索的过程中,还能够近距离接触航空物流业务运作中各作业环节的规划布局、作业任务和设备类型等。利用航空物流认知系统,学生能够完成航空港相关物流业务的模拟实训,较好完成该部分课程目标。

3.2.3 航空物流业务操作系统

航空物流业务操作系统模拟航空物流的实际业务流程并提供虚拟操作界面,学生可以通过虚拟操作界面进行货物运送、理货处理、仓储管理、航班调度等具体业务操作。系统实现的业务操作分角色模拟功能包括货物处理流程、设备操作训练等。其中,货物处理流程包括货物入库、储存、装箱打板、出库等作业,

入库作业能够模拟货物的接收、测量、打标签及安检等流程,仓储管理能够模拟货物码放、库区分配、库存监管等。设备操作训练通过虚拟操作界面控制叉车装卸搬运货物,对于操作水平测度上支持叉车操作评分,并支持学生动态调整货舱内货物布局,实时查看航班重心配平状态。

航空物流业务具体流程主要涉及货物流和单证流等,涉及主体有托运人、航空货运代理人、航空公司、机场货站、地面物流企业、海关、报关行、收货人等。按照货物流向可以分为货物进港作业流程和货物出港作业流程,进出港业务流程中围绕航空港的作业任务主要由机坪作业和货站作业两部分组成,与之相关联的相关单证流则涉及地面处理系统、航空公司系统等(图 6)。航空物流业务操作系统是用户通过输入端控制,在航空港虚拟仿真环境中采用角色扮演方式实现学生对系统中模拟的航空物流业务流程各岗位的实训操作,从而达到熟悉航空物流业务实践作业的教学目标。以任务驱动方式完成货物的进港、出港和中转运输需求实验项目,学生通过小组内扮演任务中涉及的主体角色进行互动合作,共同完成货物的航空运输任务。

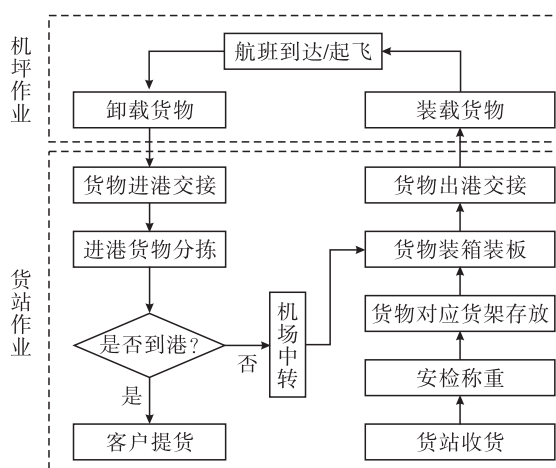


图 6 航空货物进出港业务流程图

3.2.4 航空物流实验设计系统

航空物流实验设计系统是航空物流实验系统中核心板块,用户可以结合实验内容自定义实验参数,如航班到达/离港时间、货物类型(普通/特种货物)、货物到达分布等,系统根据参数进行仿真计算,并输出实验结果。

航空物流实验设计系统能够提供航空物流业务流程搭建与优化、货站仓储系统规划设计、空港物流园区的布局规划及优化等。航空物流业务流程优化设计是通过关键节点控制和流程改造提高业务流程的服务质量和服务效率,包括确定仿真对象和目标、建立业务流程实体流、设置实体参数、模型运行与分析等多个环节。学生利用系统内实体模型模拟构建货物从卡车进货站卸货-称重测量、安检入库、库内分区、装箱打板-货坪装机等流程,通过调整到达货物类型与分布、货物优先级、货物处理时间等参数识别流程中的延迟环节并进行优化处理。这有助于培养学生对航空物流业务的流程优化能力,使学生掌握航空物流核心业务流程的设计与动态优化方法,加深对航空物流业务流程相关优化理论的理解程度。

作为航空物流实验设计系统子模块,货站仓储系统规划设计是基于离散事件仿真的功能板块。在学生利用系统内置仓储系统模型,与配套的叉车、多款货架、安检机等物流作业设备,虚拟仿真设计高效仓储布局,可以完成机场货站与配送中心等仓储设施的选址、楼体规划、库内功能区布局以及物流设备配置等,提高仓储空间利用率与操作效率。基于高度逼真的仓储物流系统仿真模型能帮助学生理解掌握仓储优化管理的相关理论知识并提高实践能力。如在仓储布局规划设计实验项目中,学生能够规划设计收货区、存储区、分拣区、暂存区、出库区等作业分区,基于历史需求数据对库存波动进行模拟,测试订单响应能力,完成仓储与配送的运营与管理实验任务,指导老师可以根据空间利用率、作业效率等指标进行评价打分。通过操作仿真系统能提高学生对仓储管理及规划布局相关内容的掌握程度,培养学生发现、分析和解决问题的能力。

4 应用测试

航空物流虚拟仿真实验系统已在笔者所在高校相关专业投入使用,主要应用于“物流信息系统”、“民航货物运输”等相关核心课程,其在航空物流业务流程教学中成为关键工具,目前受益学生已达 269 人。

据任课教师反馈,通过该系统进行认知学习及操作练习,学生的学习积极性和上课专注度得到明显提升。对应用过该系统学生进行了调研,有约80%学生表示该系统高度仿真机场货站、货机坪等实景,显著降低了对航空物流系统的认知难度;有约90%学生表示虚拟仿真系统实景提供及便捷操作提高了学习兴趣。该系统将课堂理论知识与实际场景仿真呈现,降低了学生实训实习时间和空间成本,学生能够突破时空限制开展自由实践学习,减轻了航空物流专业实习压力。

5 结语

虚拟仿真实验在高校专业实践教学中发挥着重要作用,航空物流虚拟仿真实验系统以航空港为核心,以航空物流认知系统、航空物流业务操作系统和航空物流实验设计系统三大模块进行展开,通过高度仿真的3D场景与动态交互设计,将复杂的航空物流业务流程转化为直观可操作的虚拟实验,为学生提供了安全直观、自由充分的实践教学条件,有效培养了学生的创新思维和实践能力,显著提升了实践效率。当前该系统基本功能均已实现,处于正常的教学使用中,未来将继续按照预设方向进一步完善,同时结合专业发展方向和学生实践教学反馈优化调节系统功能,以更好地满足教学需要。

参考文献:

- [1] 邹建军.新发展格局下航空物流发展之路[J].大飞机,2022(8):53-57.
- [2] 顾思佳,黄龙贤,谢余鑫,等.近20年虚拟仿真技术在护理教学中应用的可视化分析[J].卫生职业教育,2025,43(9):94-102.
- [3] 黄其高.虚拟仿真在中职学校新能源汽车专业实训中的应用研究[J].汽车维修技师,2025(8):75-77.
- [4] 刘书君,吴巍.风景园林遗产保护虚拟仿真实验教学应用与探讨[J].中国现代教育装备,2025(9):27-30.
- [5] 唐燕来,蒋小云,陈淑英,等.儿童骨髓穿刺术虚拟仿真平台在本科生教学实践中的应用[J].科技风,2025(12):23-25.
- [6] 彭涛.交通安全虚拟仿真教学的分析[J].太原城市职业技术学院学报,2025(4):115-117.
- [7] 赫连振宇,谢瑞红.基于虚拟仿真技术的物流仓储系统实验教学应用研究[J].物流工程与管理,2024,46(11):173-176.
- [8] 许忠达.基于VR技术的危化品物流虚拟仿真实验体系设计与实践研究:以N学院为例[J].物流科技,2024,47(6):172-175.
- [9] 王君,刘华琼,李秋霞,等.物流包装虚拟仿真实验教学系统建设与实践[J].绿色包装,2021(12):45-50.
- [10] 宛汀,孙晨阳,闫梦阳.面向智慧物流的射频识别虚拟仿真实验教学探索[J].物流科技,2022,45(16):178-180.
- [11] 孙术发,肖生苓,杨德岭,等.物流工程专业虚拟仿真实验教学中心建设[J].实验室研究与探索,2016,35(6):143-146.
- [12] 杨卫卫,王荣娟.我国航空物流方向人才培养现状与优化[J].滨州学院学报,2021,37(1):48-52.
- [13] 吕守林.以虚拟实验室建设为契机,推进实验教学改革[J].实验技术与管理,2009,26(11):157-159.
- [14] 刘亚丰,余龙江.虚拟仿真实验教学中心建设理念及发展模式探索[J].实验技术与管理,2016,33(4):108-110.
- [15] 陈龙,仝凤壮,王建西,等.铁道工程专业虚拟仿真实验教学改革路径探索[J].交通工程,2025,25(3):94-98.
- [16] 中国民用航空局,国家发改委,交通运输部.中国民用航空局 国家发改委 交通运输部联合印发《“十四五”民用航空发展规划》的通知:民航发〔2021〕56号[A/OL].(2021-12-14)[2025-03-15].

http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FZGH/202201/t20220107_210798.html.

- [17] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《教育信息化 2.0 行动计划》的通知:教技〔2018〕6 号 [A/OL]. (2018-04-18) [2025-03-16]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201804/t20180425_334188.html.

Design and application of a virtual simulation experimental system for aviation logistics

WANG Qiaobo¹, LI Yong², ZHANG Jinyu¹

(1. Airport School, Shandong University of Aeronautics, Binzhou 256603, China;

2. Scientific Research Office, Shandong University of Aeronautics, Binzhou 256603, China)

Abstract: Experimental and practical teaching is recognized as an important component of the talent cultivation system for aviation logistics majors. A crucial role has been played in the conduction of professional understanding internships, the execution of course design, the implementation of comprehensive training and the management of other related aspects. In view of the shortcomings of students' tight schedules and limited training areas during the implementation of airport internships, a virtual simulation experiment system for aviation logistics was designed and constructed, through which airport facilities, equipment and operational processes were realistically restored, complementing offline internship training. The aviation logistics virtual simulation experimental system adopted technologies such as Unity3D, Blender, SPH to reproduce the system scene. The hierarchical training content was designed for students from the aviation logistics cognitive system, operating system and experimental design system. The cultivation of students' problem-solving ability and innovative thinking was focused on, and high-quality aviation logistics talents were provided for promoting the construction of a strong civil aviation country.

Keywords: aviation logistics; virtual simulation technology; practical teaching; talent cultivation; system design

(责任编辑:王新亮)

引用格式 王乔博,李永,张津瑜.一类航空物流虚拟仿真实验系统的设计与应用[J].山东航空学院学报,2026,43(2):66-72.
WANG Q B,LI Y,ZHANG J Y. Design and application of a virtual simulation experimental system for aviation logistics[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics,2026,43(2):66-72.