

虚拟仿真技术在航空维修技能培训与教学中的应用研究

何 亮, 于智晓, 罗 磊, 董乐涛, 陈冠金

中国人民解放军92313部队, 河南 济源

收稿日期: 2026年7月20日; 录用日期: 2026年8月21日; 发布日期: 2026年8月31日

摘 要

针对当前航空维修技能培训依赖实装、成本高昂、容错率低、带教标准不统一、特情处置训练难落地等痛点, 本文分析了传统维修技能训练模式的局限性, 梳理了虚拟仿真技术的发展现状与应用优势, 结合一线维护需求自主研发了座舱教学、实操模拟、技能考核、特情处置四大类仿真训练软件, 构建了“教-练-考-演”一体化的虚拟仿真训练体系, 探讨了该体系的落地路径与长效运行机制。实践表明, 虚拟仿真技术可有效降低训练成本、提升训练效率、统一训考标准、强化特情处置能力, 为维修人员业务技能提升提供了新的解决方案。

关键词

虚拟仿真, 维修技能训练, 特情处置, 标准化考核

Research on the Application of Virtual Simulation Technology in Aviation Maintenance Skills Training and Teaching

Liang He, Zhixiao Yu, Lei Luo, Letao Dong, Guanjin Chen

Unit 92313 of the Chinese People's Liberation Army, Jiyuan Henan

Received: July 20, 2026; accepted: August 21, 2026; published: August 31, 2026

Abstract

In view of the pain points in current aviation maintenance skills training, such as over-reliance on actual equipment, high cost, low fault tolerance, inconsistent teaching standards, and difficulties in

文章引用: 何亮, 于智晓, 罗磊, 董乐涛, 陈冠金. 虚拟仿真技术在航空维修技能培训与教学中的应用研究[J]. 教育进展, 2026, 16(8): 1921-1927. DOI: 10.12677/ae.2026.1681833

implementing emergency response training, this paper analyzes the limitations of the traditional maintenance skill training mode, sorts out the development status and application advantages of virtual simulation technology, and independently develops four categories of simulation training software covering cockpit teaching, operation simulation, skill assessment and emergency response in combination with front-line maintenance requirements. On this basis, an integrated virtual simulation training system of “teaching-practice-assessment-drill” is constructed, and the implementation path and long-term operation mechanism of the system are discussed. Practice shows that virtual simulation technology can effectively reduce training costs, improve training efficiency, unify training and assessment standards, and strengthen emergency response capabilities, providing a new solution for improving the professional skills of maintenance personnel.

Keywords

Virtual Simulation, Maintenance Skills Training, Emergency Response, Standardized Assessment

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 传统维修技能训练模式的现状与痛点

航空维修工作直接关系飞机完好状态与飞行安全，对人员操作熟练度、流程规范性与应急处置能力要求极高。长期以来，维修人员业务技能训练主要依托实装带教与理论授课相结合的模式，在训练需求不断提升的背景下，其局限性日益凸显。

第一，训练资源约束强，综合成本高昂。飞机作为核心装备，日常担负值班、演训任务，可用于日常训练的机位与时长十分有限；同时实装训练伴随装备损耗、耗材消耗，部分精密部件操作失误还可能引发装备故障，训练的时间成本、经济成本居高不下，难以满足全员常态化训练需求。

第二，实操训练容错率低，技能成型周期长。新员上手实装时普遍存在顾虑，担心操作失误损坏装备，操作过程拘谨畏缩，不敢大胆尝试操作流程与排故方法，难以通过反复试错形成肌肉记忆与操作自信。很多操作细节只能靠带教人员口头讲解，新员无法亲身验证，技能掌握速度慢、熟练度不足，独立上岗周期普遍较长。

第三，理论教学具象化不足，学习获得感偏弱。传统理论训练多依赖教材、原理图与文字讲解，座舱设备布局、仪表显示逻辑、系统联动关系等内容较为抽象，新员难以建立直观认知，学习过程枯燥乏味，主动学习兴趣不高，经常出现“背记快、遗忘快、不会用”的问题，理论向实操转化效率低。

第四，带教与考核标准不统一，训练质量参差不齐。传统师徒制带教模式下，带教人员的技术水平、操作习惯、讲解能力存在个体差异，相同的维护操作往往出现“一人一个教法、一人一套流程”的情况，最终带出来的人员操作习惯千人千面，部分不规范动作难以纠正。同时人工考核受考官主观判断影响大，考核尺度松紧不一，训练质量难以实现同质化管控。

第五，特情处置训练难落地，应急能力难检验。飞机空中、地面特情具有突发性、危险性，绝大多数故障场景无法在实装上复现，特情处置训练只能停留在理论背记、流程推演层面，人员无法获得身临其境的处置体验，面对真实突发情况时容易出现反应滞后、流程混乱等问题，应急处置能力难以通过传统训练有效锤炼。

2. 虚拟仿真技术的发展与行业应用现状

随着数字信息化、智能化技术在现代军事装备领域的深度渗透,虚拟仿真技术已成为推动军事训练模式转型升级的重要支撑技术。虚拟仿真技术依托计算机图形渲染、三维建模、动态仿真、人机交互及数字化场景重构等核心技术,能够在虚拟环境中高度还原真实装备结构、操作流程、工作状态及故障现象,具备高保真、可重复、零损耗、安全性高、场景可定制的独特优势,是实现装备教学、技能训练、故障推演、能力考核数字化升级的重要手段。

从技术发展历程来看,虚拟仿真技术经历了由二维图文演示、简单动画模拟,到三维静态建模,再到如今动态交互仿真、逻辑联动仿真、沉浸式虚拟训练的迭代升级过程。早期仿真技术多用于设备展示与理论辅助教学,交互性弱、真实度低,难以满足实操训练需求。近年来,随着数字孪生技术、实时物理仿真引擎、三维实时渲染技术的成熟,虚拟仿真系统的设备还原度、操作同步度、逻辑真实性大幅提升,能够高度复刻飞机座舱设备操作逻辑、仪表动态显示、系统工作联动关系及各类故障告警状态,完全具备替代基础实装训练的技术条件。同时,仿真软件开发门槛持续降低、轻量化程度不断提高,使其更加适配基层单位常态化、普及化训练应用。

在航空维修训练领域,虚拟仿真训练模式已成为国内外行业发展的主流趋势。国外航空军事领域较早开展仿真训练体系建设,早在二十世纪末,外军已大规模列装座舱仿真训练系统、地面维护模拟训练平台,将绝大部分基础操作训练、流程熟悉训练、常规故障处置训练转移至虚拟环境完成,极大减少了飞机实装开机时长与装备损耗,有效缩短维修人员岗位成才周期,显著提升日常训练效益。国内航空领域同样加速推进仿真化、数字化训练转型。民航系统率先全面普及虚拟仿真维修训练,建立了标准化、体系化的仿真培训考核机制。在军用航空领域,随着新型飞机系统复杂度、集成度、精密化程度不断提高,传统依赖实装的训练方式已难以适配高质量人才培养需求。因此,各单位逐步探索将虚拟仿真技术融入带教、技能实训、故障演练、岗位考核全过程,依托虚拟仿真平台开展设备认知、流程实操、隐患排查、特情处置等训练内容,有效弥补了实装训练受限、特情无法复现、训练成本过高的短板[1][2]。

当前,虚拟仿真技术在航空维修保障技能训练中的应用,已从单一的教学演示工具,逐步发展为集教学、实操、演练、考核、复盘于一体的数字化训练体系,成为破解新时期维修培训难题、规范训练标准、统一操作流程、提升岗位保障能力的重要抓手,也是未来航空维修标准化、数字化训练建设的必然发展方向。综合梳理近年来相关高质量研究不难发现,当前学界已普遍验证了虚拟仿真在航空维修训练中的应用价值与可行性,但现有研究多侧重通用仿真系统开发、动态仿真及复杂故障推演等前沿方向,针对基层岗位适配性强、贴合训练大纲的精细化静态场景与标准化流程专项实训的落地研究较为欠缺,存在重技术创新、轻基础实训落地的研究短板[3][4]。基于此,本研究属于对现有研究体系的细化补充与落地完善,依托成熟的虚拟仿真技术,聚焦具体航空维修标准化操作科目开展仿真系统搭建,精准补齐通用仿真资源针对性、实用性不足的短板,进一步细化了航空维修基础实训的数字化实施范式,提升了虚拟仿真训练与一线岗位常态化教学的适配度,为基层航空维修规范化、普及化虚拟实训提供可落地、可复用的实践参考[5]。

3. 虚拟仿真技术应用于维修技能训练的核心优势

相较于传统训练模式,虚拟仿真技术从资源供给、训练模式、评价体系等多个维度实现了突破,核心优势体现在以下方面:

一是突破实装资源限制,显著降低训练成本。虚拟仿真训练无需占用真机,不受场地、天气、装备状态的限制,可全天候、全员额开展训练,且不存在装备损耗与耗材消耗,大幅降低训练的经济成本与时间成本,有效缓解训练资源不足与训练需求增长之间的矛盾。

二是构建零风险试错环境，加快技能成型速度。仿真环境中所有操作均不会对真实装备造成损坏，训练人员可大胆尝试各类操作流程，反复练习易错环节，甚至可以主动试错、观察误操作后果，在不断纠正中固化规范动作，快速形成肌肉记忆与操作自信，有效缩短技能掌握周期。

三是打造沉浸式可视化场景，提升学习主动性。通过 1:1 还原飞机座舱与设备外观，动态展示操作反馈与系统联动效果，将抽象的原理、流程转化为直观的可视化内容，降低学习理解门槛。交互式的学习模式也更具趣味性，能够有效调动人员的学习积极性，提升理论向实操的转化效率。

四是建立标准化训考体系，保障训练质量统一。仿真系统内置统一的操作规范与评分标准，从带教环节就固化标准操作流程，考核环节由系统自动评判操作正误、记录操作时长，完全消除人工带教与考核的主观偏差，实现“同一标准教学、同一尺度考核”，确保全员训练质量同质化。

五是实现全场景特情模拟，强化应急处置能力。可根据维护实际预设各类故障、特情场景，模拟异常仪表显示、设备告警等现象，让训练人员在接近真实的场景中完成故障排查与应急处置演练，且可反复推演、复盘分析，有效提升人员的应急反应速度与处置流程熟练度。

4. 自主研发仿真训练软件的功能设计与应用特点

结合一线维护的实际训练需求，我们聚焦操作使用层面，轻量化研发了多型虚拟仿真训练软件，覆盖基础教学、实操模拟、技能考核、特情处置四大场景，形成了配套完善的训练软件矩阵。四类训练教学软件功能介绍如下。

4.1. 基础教学类软件：筑牢入门带教基础

传统新员工入门带教依赖实装教学，存在设备观摩受限、全员同步教学难、新手操作易受限、带教成本高的局限，座舱设备教学平台、显示仪器操作教学系统与多功能按键模拟软件等仿真软件精准适配新员工入门阶段认知学习需求。软件以 1:1 比例还原飞机座舱全貌，按系统、按区域科学划分设备模块，可实现座舱全景漫游、设备分步讲解、操作流程演示等多项核心教学功能。

教学过程中，新员工可自主查看每个设备的位置、名称、功能与操作方法，动态观察仪表显示变化与按键操作反馈，无需依赖实装即可快速建立座舱整体认知，掌握核心设备的基本操作逻辑。软件聚焦操作使用层面，不涉及复杂的底层原理建模，轻量化、易上手，完美适配一线维护人员的入门带教需求，有效补齐传统入门教学依托实装、频次有限、普及性弱的短板[1]。

4.2. 实操模拟类软件：强化实操技能巩固

传统实操训练依托真机实装开展，存在实装损耗大、训练成本高、重复练习受限、人员无法针对性补强短板的不足，座舱设备模拟教学系统对标实装全维度操作逻辑，精准补齐常规实操训练的各类短板。系统完整还原飞机开机、通电检查、系统测试、关机等全套地面维护操作标准流程，高度贴合一线实操规范。

训练人员可严格按照维护规程，在仿真座舱中完成全流程标准化操作，系统可实时反馈操作结果、精准模拟设备真实运行状态。该软件可替代大量基础性实装实操训练，让人员在不上实装的情况下反复打磨操作流程、固化标准动作记忆，有效减少实装训练的重复操作次数，大幅降低实装磨损与运维成本。同时支持单人自主专项练习，人员可聚焦自身薄弱环节针对性强化训练，稳步提升实操熟练度与规范性，破解传统实操训练“练得少、重复练、难精进”的问题[3]。

4.3. 考核评价类软件：统一技能考核标准

传统人工技能考核存在标准不统一、主观误差大、流程记录不完整、成绩无追溯、问题整改无针对

性的局限，设备使用考核系统与业务技能考核系统借鉴驾校标准化考试模式，实现技能考核全流程规范化、标准化、数字化。系统内置全覆盖标准化考核题库，涵盖理论知识、设备操作、流程规范等多个核心考核维度，支持随机智能组卷、全程操作留痕、系统自动评分。

考核过程中，系统可自动追踪全流程操作步骤，精准识别漏项、错项、操作顺序颠倒等各类问题，考核结束后即时生成专属成绩报告，清晰标注扣分点、问题成因与优化改进方向，彻底规避人工考核的主观偏差与评判漏洞。考核数据全程可追溯、可复盘，既能客观精准检验全员训练成效，又能为后续开展个性化、针对性训练提供详实的数据支撑，构建“训练-考核-复盘-提升”的闭环管理模式。

4.4. 特情处置类软件：锤炼应急处置能力

传统训练模式下，飞机设备故障、突发特情无法依托实装模拟复现，存在特情场景稀缺、演练频次不足、人员实战处置能力薄弱、应急经验匮乏的突出问题，特情处置模拟训练系统针对性破解特情训练的行业痛点。系统全面梳理汇总一线维护工作中高频常见的设备故障、突发特情场景，在高仿真环境中精准复现各类故障现象、设备告警信息与现场工况。

训练人员可在沉浸式模拟场景中完整完成故障识别、排查定位、应急处置的全流程实操演练，系统结合处置流程的正确性、操作规范性、任务完成时长进行多维度综合智能评判。该软件彻底突破实装无法模拟各类复杂特情的训练瓶颈，可常态化、规模化开展特情处置专项演练，帮助人员在反复实操训练中熟练掌握标准处置流程、提升应急反应速度与临场处置能力，有效解决传统训练中特情处置“学得多、练得少、实战弱”的核心难题[2]。

四类软件相互衔接、协同支撑，形成了“入门教学-实操巩固-考核检验-特情强化”的完整训练闭环，覆盖维修人员业务技能成长的全周期。

4.5. 系统应用效果与用户中心评估

为客观验证系统实际应用效能，本研究采用用户中心评估方法，选取某航空维修单位 62 名一线从业人员为样本(含新员 24 名、维修骨干 28 名、飞行教员 10 名)，在系统投入常态化训练 3 个月后，通过系统可用性量表(SUS)标准化问卷与焦点小组访谈相结合的方式，从易用性、场景真实感、学习提升效果、整体满意度四个维度开展应用效果评估。

本次调查共回收有效问卷 62 份，系统整体 SUS 得分为 78.2 分，处于行业公认的“良好”可用性评级区间，优于同类型通用仿真训练软件的平均水平。分维度统计结果显示：操作易用性维度得分 80.5 分，场景还原真实感维度得分 76.3 分，学习辅助效果维度得分 79.1 分，整体训练满意度维度得分 77.8 分。分层对比来看，新学员群体对系统的入门带教价值认可度最高，学习辅助效果维度得分达 82.4 分；飞行教员群体对考核标准化、特情可复现两项功能评价突出，整体满意度得分达 81.7 分。

同步组织 3 组共 12 名人员开展焦点小组访谈，结果显示 83.3%的受访者认为仿真软件有效降低了实装带教压力，75%的受访者表示标准化操作流程训练对规范作业习惯帮助明显。受访者集中反馈的核心优势包括：座舱认知学习效率显著提升、特情场景可反复演练、考核标准统一客观；同时提出三点主要优化建议：一是进一步扩充特情故障场景库，覆盖更多低频疑难故障；二是优化部分旋钮、开关类设备的操作交互手感；三是增加多人协同训练模块，支持班组级维修作业模拟。

整体评估结果表明，本套虚拟仿真训练软件具备良好的可用性与实用价值，能够有效支撑一线航空维修标准化训练，用户反馈也为后续系统迭代优化明确了具体方向。

5. 虚拟仿真训练体系的落地路径与长效运行机制

虚拟仿真训练的价值落地，不能仅停留在软件工具层面，需要融入现有训练体系，建立可持续的运

行机制，充分发挥体系化效能。

5.1. 构建分层分类的体系化应用模式

针对不同训练阶段、不同层级人员，匹配对应的仿真训练内容，实现精准施训：

新员入门阶段：以基础教学类软件为主，先完成座舱认知、基本操作的仿真学习，考核通过后再进入实装带教环节，大幅缩短实装适应周期，降低新员操作风险。

在岗巩固阶段：以实操模拟、特情处置类软件为主，常态化开展操作熟练度训练与特情演练，保持人员技能状态，弥补实装训练频次不足的问题。

技能考评阶段：以考核系统为核心，将仿真考核成绩纳入人员技能评定体系，作为上岗资质认证、技能等级评定的重要依据。

5.2. 推行“虚实结合”的融合训练模式

虚拟仿真训练并非替代实装训练，而是对实装训练的有效补充与前置延伸。建立“先仿真后实装、先模拟后实操”的训练流程，用仿真训练完成基础操作练习与错误纠正，用实装训练完成操作验证与质感强化，二者优势互补、协同发力。

同时将仿真训练学时纳入正式训练计划，对接现有训练大纲，明确各阶段仿真训练的内容、时长与考核标准，推动仿真训练从“可选补充”变为“规定环节”，实现制度化落地。

5.3. 建立长效运行的保障机制

为保障虚拟仿真训练持续发挥作用，需配套建立三项机制：

一是软件动态迭代机制。紧跟装备升级、规程更新与训练需求变化，定期更新软件内容、扩充场景库，确保软件内容与一线实际始终保持一致，避免出现“训用脱节”。

二是骨干师资培养机制。培养一批既懂维修业务、又懂仿真软件操作的训练骨干，负责日常训练组织、软件操作指导与基础问题排查，保障训练有序开展。

三是成效评估优化机制。定期跟踪统计训练数据，对比实装训练时长、考核通过率、故障处置效率等指标，评估仿真训练的实际成效，持续优化训练内容与应用模式。

6. 应用展望与优化方向

当前研发的仿真训练软件已在一线训练中初步见效，但仍存在一定的提升空间。未来可从三个方向持续优化：

一是拓展协同训练场景。当前软件以单人训练为主，后续可开发多人协同维护模拟功能，模拟班组协同作业场景，提升团队配合能力与整体维护效率[4]。

二是强化沉浸交互体验。可引入VR头显、实体操作面板等硬件设备，将软件仿真与硬件操作结合，进一步提升操作真实感，缩小仿真与实装的体验差距。

三是搭建训练数据平台。汇聚人员训练数据，构建个人技能画像，精准识别薄弱环节，推送个性化训练方案，实现从“统一施训”向“精准施训”升级。

7. 结论

虚拟仿真技术为航空维修人员业务技能训练提供了全新的技术路径，有效破解了传统训练模式中实装资源紧张、训练成本高昂、容错空间不足、标准难以统一、特情演练困难等核心痛点。自主研发的系列轻量化仿真训练软件，贴合一线维护实际需求，构建了覆盖教、练、考、演全流程的训练体系，能够有

效提升训练效率、降低训练成本、统一训练标准、强化特情处置能力。

随着技术的持续发展与应用不断深化,虚拟仿真训练将逐步成为维修技能训练的核心手段之一,为提升维修人员业务能力、保障飞机完好性提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 刘超,田巨,薛建海.飞机维修类专业虚拟仿真实训中心的建设[J].新疆职业大学学报,2022,30(1):75-80.
- [2] 陈菊兰,陈雪.虚拟仿真技术在航空维修课程教学中的应用[J].电子技术,2023,52(3):286-287.
- [3] 王立纲,董勤.基于虚拟现实技术的飞机维修训练系统的设计与研究[J].自动化应用,2025,66(21):181-186.
- [4] 涂继亮,陶秋香,刘辉.综合航空电子与控制虚拟仿真实验教学系统设计与开发[J].实验技术与管理,2019,36(8):106-110.
- [5] 郑青.虚拟维修技术在航空维修中的应用[J].企业科技与发展,2020(12):76-77.