

VR 版交互式电子技术手册在装备制造中的应用与效能评估

陈清奎¹, 步延生², 李晓东¹, 张亚松¹, 邵辉笙¹

1. 济南科明数码技术股份有限公司, 山东 济南 250101

2. 济南职业学院, 山东 济南 250101

DOI: 10.61369/ETR.2026170030

摘 要 : 针对传统纸质技术手册、普通电子手册在装备制造培训、装配、维修环节存在的信息传递低效、空间结构展示模糊、实操指引不直观、学习成本高等痛点, 本文深化“VR 版产品说明书”核心概念, 系统性研究交互式电子技术手册(IETM)与虚拟现实(VR)技术的深度融合路径, 构建兼具沉浸式交互、三维可视化、实操模拟、智能检索的 VR 版交互式电子技术手册系统。通过搭建对比实验, 选取装备制造行业从业人员为测试对象, 从培训效率、信息获取准确率、用户满意度三大核心维度开展量化效能评估。实验结果表明, 相较于传统手册, VR 版交互式电子技术手册可显著缩短培训周期、提升信息获取与实操精准度、优化用户学习体验, 为装备制造行业技术资料数字化、智能化升级提供可行方案与实践参考。

关 键 词 : 交互式电子技术手册; 虚拟现实; 产品说明书; 培训效能; 用户体验

The Application and Performance Evaluation of VR Interactive Electronic Technical Manual in Equipment Manufacturing

Chen Qingkui¹, Bu Yansheng², Li Xiaodong¹, Zhang Yasong¹, Shao Huisheng¹

1.Jinan Kemin Digital Technology Co., Ltd., Jinan, Shandong 250101

2.Jinan Vocational College, Jinan, Shandong 250101

Abstract : In response to the problems of inefficient information transmission, ambiguous spatial structure presentation, unclear practical operation guidance, and high learning costs in traditional paper-based technical manuals and ordinary electronic manuals during equipment manufacturing training, assembly, and maintenance, this paper deepens the core concept of "VR version product manual", systematically studies the integration path of interactive electronic technical manual (IETM) and virtual reality (VR) technology, and constructs a VR version interactive electronic technical manual system that combines immersive interaction, three-dimensional visualization, practical operation simulation, and intelligent search. Through the establishment of a comparative experiment, the personnel in the equipment manufacturing industry were selected as the test subjects, and a quantitative effectiveness evaluation was conducted from three core dimensions: training efficiency, information acquisition accuracy, and user satisfaction. The experimental results show that compared with traditional manuals, the VR version interactive electronic technical manual can significantly shorten the training period, improve the accuracy of information acquisition and practical operation, and optimize the user learning experience, providing a feasible solution and practical reference for the digital and intelligent upgrade of technical materials in the equipment manufacturing industry.

Keywords : interactive electronic technical manual; virtual reality; product instruction manual; training effectiveness; user experience

引言

(一) 研究背景与意义

装备制造行业作为制造业核心支柱, 产品结构日趋复杂、精密程度持续提升, 装配工艺、维修流程、操作规范的技术要求愈发严苛, 技术手册作为产品全生命周期的核心技术资料, 承担着人员培训、现场装配、故障维修、技术交底的关键作用。传统纸质技术手册

存在篇幅冗长、图文割裂、携带不便、更新滞后、空间结构无法动态展示等先天短板，即便后续升级为普通 PDF、网页版电子手册，仍未摆脱静态图文展示模式，无法直观呈现装备内部结构、装配路径、动态拆装流程，导致新手操作人员学习难度大、培训周期长、实操失误率偏高，严重影响装备生产效率与运维质量。

交互式电子技术手册（IETM）打破了传统手册的线性阅读模式，实现了技术资料的结构化存储、模块化调用、智能化检索，大幅提升了信息查询效率，但仍局限于平面交互，缺乏沉浸式感知与实操模拟能力。虚拟现实（VR）技术凭借沉浸式体验、三维可视化、实时人机交互等核心优势，能够将抽象的技术参数、静态的结构图纸、复杂的工艺流程转化为可交互、可拆解、可模拟的虚拟场景，完美弥补传统 IETM 的交互短板。将 VR 技术与 IETM 深度融合，打造新一代 VR 版交互式电子技术手册，本质是对传统“产品说明书”的颠覆性升级，构建超越纸质与普通电子手册的交互式学习与实操环境，真正实现“所见即所得、所操即所学”。

本文立足装备制造行业实际需求，系统性研究 VR 版 IETM 的系统架构、功能设计与实现路径，通过科学对比实验开展量化效能评估，验证其在人员培训、工艺指导、运维实操中的实际应用价值。该研究不仅能够推动装备制造行业技术资料数字化转型，还能降低企业培训成本、提升生产与运维效率、减少实操失误，对提升装备制造行业智能化水平具有重要的理论价值与工程实践意义。

（二）国内外研究现状

国外对交互式电子技术手册的研究起步较早，欧美等发达国家已建立完善的 IETM 标准体系，广泛应用于航空航天、军工装备、高端机械制造等领域，实现了技术资料的标准化、数字化管理。近年来，国外学者逐步将 VR/AR 技术融入 IETM 研发，推出多款具备三维展示功能的交互式手册系统，实现装备虚拟拆装、工艺模拟等功能，但此类系统多面向高端军工领域，成本高昂、通用性不足，且缺乏针对民用装备制造的针对性效能评估体系。

国内 IETM 研究与应用逐步成熟，众多企业与科研机构完成了传统纸质手册向电子交互式手册的升级，在装备制造、轨道交通、电力设备等领域实现初步应用，但多数系统仍停留在平面交互阶段，VR 技术融合深度不足。现有相关研究多聚焦于系统开发与功能实现，针对 VR 版 IETM 的实操效能、培训效率、用户体验的系统性量化评估较为匮乏，且未形成统一的评估标准，难以客观验证其相较于传统手册的实际提升效果。基于此，本文聚焦 VR 与 IETM 深度融合，构建标准化效能评估体系，通过对比实验客观分析其应用价值，填补国内相关研究空白。

（三）研究内容与技术路线

本文核心研究内容包括：一是剖析传统技术手册与普通 IETM 的应用痛点，明确 VR 版 IETM 的设计需求；二是构建 VR 版交互式电子技术手册系统架构，设计核心功能模块，实现 VR 沉浸式交互、三维结构展示、虚拟拆装模拟、智能信息检索等核心功能；三是设计科学对比实验，选取装备制造典型场景，以传统纸质手册、普通 IETM 为对照组，从培训效率、信息获取准确率、用户满意度三大维度开展效能评估；四是分析实验数据，总结 VR 版 IETM 的应用优势与现存不足，提出优化建议。本文技术路线遵循“需求分析—系统设计—功能实现—实验评估—结论优化”的规范流程，全程贴合装备制造行业实际应用场景，保障研究的实用性与科学性。

一、VR 版交互式电子技术手册系统设计

（一）系统设计核心目标

本系统以颠覆传统手册交互模式、打造沉浸式技术学习与实操环境为核心目标，具体设计要求如下：一是实现装备结构三维可视化，支持全视角浏览、部件拆解与装配，直观展示内部构造与连接关系；二是打造沉浸式实操模拟环境，支持虚拟拆装、工艺操作模拟，还原真实操作流程与规范；三是优化交互式体验，支持语音检索、手势操控、热点触发等多模态交互，快速定位技术信息；四是实现技术资料模块化整合，将图纸、参数、工艺、故障排查等内容与虚拟模型精准关联；五是适配装备制造培训、装配、维修全场景，兼顾易用性与专业性，降低操作人员学习门槛。

（二）系统整体架构

本系统采用“数据层—渲染层—交互层—应用层”四层架构设计，基于 Unity3D 引擎开发，依托 VR 头戴设备、体感交互手

柄实现沉浸式交互，各层级协同配合，保障系统稳定运行与功能落地。

1. 数据层：作为系统核心支撑，构建装备技术资料数据库与三维模型库，包含装备三维模型、零部件参数、装配工艺、维修规范、故障案例、图纸资料等内容，采用结构化存储模式，实现数据与虚拟模型的精准绑定，支持快速调用与更新，为后续功能实现提供数据保障。

2. 渲染层：负责虚拟场景与三维模型的渲染优化，通过模型轻量化处理、光影效果调试、场景精度适配，保障 VR 场景渲染流畅度，避免卡顿、延迟与眩晕感，确保装备模型细节还原度，实现 1:1 高仿真虚拟场景搭建，适配主流 VR 硬件设备。

3. 交互层：核心实现用户与虚拟场景、技术资料的双向交互，支持手柄点击、手势识别、语音检索、视角切换等多种交互方式，用户可通过交互手柄完成部件拆解、装配模拟、信息点触发等操作，点击虚拟部件即可调取对应技术参数、工艺说明，实现操作与信息同步联动。

4. 应用层：面向装备制造实际场景，划分培训教学、装配指导、维修运维三大功能模块，适配企业新员工培训、车间现场装配、售后故障维修等不同场景需求，实现系统功能与行业实操的无缝对接。

（三）核心功能模块设计

1. 沉浸式三维浏览模块：打破传统手册平面展示局限，用户佩戴 VR 设备可进入1:1还原的装备虚拟场景，自由切换第一视角与第三视角，全方位浏览装备整体结构与零部件细节；支持部件逐级拆解与组合，清晰展示各部件连接关系、装配顺序，复杂结构可进行局部放大、透视查看，彻底解决传统图纸空间理解难度大的问题。

2. 虚拟实操模拟模块：作为系统核心功能，模拟装备装配、拆卸、维修全流程，设置标准化操作步骤与工艺规范，用户通过 VR 手柄模拟真实操作动作，系统实时反馈操作正误，错误操作触发警示提示，同步推送规范操作指引。该模块支持反复实操演练，无实物损耗、无安全风险，大幅提升实操培训的安全性与经济性。

3. 智能信息检索模块：摒弃传统手册逐页翻阅模式，支持关键词检索、语音检索、部件热点检索三种方式，用户可通过输入关键词、语音指令或点击虚拟部件，快速调取对应技术参数、装配工艺、维修方法、故障排查方案等资料，信息响应速度快，大幅缩短信息获取时间。

4. 培训考核模块：面向企业新员工培训需求，设置理论考核与实操考核两大板块，理论考核依托系统内置题库开展，实操考核通过虚拟实操模拟完成，系统自动记录操作时间、准确率、失误次数，生成考核报告，便于企业评估培训效果，针对性开展强化培训。

5. 多场景适配模块：兼顾装备制造全生命周期需求，培训场景侧重基础知识学习与实操演练，装配场景侧重现场工艺实时指引，维修场景侧重故障快速定位与维修步骤指导，各场景可灵活切换，满足不同岗位、不同场景的使用需求。

二、效能评估实验设计

（一）实验目的

本次实验旨在通过科学对比测试，客观评估 VR 版交互式电子技术手册相较于传统纸质技术手册、普通交互式电子手册的应用效能，重点验证其在培训效率、信息获取准确率、用户满意度三大核心维度的提升效果，为系统优化与行业推广提供量化数据支撑。

（二）实验对象与分组

选取装备制造行业60名从业人员作为实验对象，所有对象均无相关装备操作经验，排除经验差异对实验结果的干扰。将实验对象随机分为三组，每组20人，分别设置为对照组 A、对照组 B、实验组，分组与实验条件如下：

对照组 A：使用传统纸质版装备技术手册，开展学习、信息查询与实操模拟；

对照组 B：使用普通平面版交互式电子技术手册（IETM），开展学习、信息查询与实操模拟；

实验组：使用本文研发的 VR 版交互式电子技术手册，开展学习、信息查询与实操模拟。

三、实验结果与效能分析

（一）培训效率对比分析

培训效率相关实验数据统计结果如下表所示，从数据可以看出，实验组在各项效率指标上均显著优于两个对照组。

评估指标	对照组 A（纸质手册）	对照组 B（普通 IETM）	实验组（VR 版 IETM）
平均理论学习时长	186 分钟	132 分钟	78 分钟
平均实操模拟时长	215 分钟	154 分钟	86 分钟
培训完成率	75%	85%	100%

相较于对照组 A 纸质手册，实验组平均理论学习时长缩短 58.1%，实操模拟时长缩短 60%，培训完成率提升 25%；相较于对照组 B 普通 IETM，实验组理论学习时长缩短 40.9%，实操模拟时长缩短 44.2%，培训完成率提升 15%。核心原因在于 VR 版 IETM 通过沉浸式场景与可视化模拟，将抽象知识具象化，省去大量图纸理解与死记硬背时间，实操模拟直观易懂，大幅加快学习进度，确保所有测试对象均可完成培训任务。

（二）信息获取准确率对比分析

信息获取准确率是衡量手册实用性的核心指标，本次实验三项细分指标结果如下：

评估指标	对照组 A（纸质手册）	对照组 B（普通 IETM）	实验组（VR 版 IETM）
技术参数查询准确率	72%	83%	97%
装配步骤识别准确率	68%	79%	95%
故障定位准确率	65%	76%	94%

数据显示，实验组三项准确率指标均突破 90%，远高于两个对照组。传统纸质手册信息查找繁琐、图文对应性差，易出现信息误读；普通 IETM 虽提升检索效率，但仍为平面展示，复杂装配步骤与故障点难以精准识别；VR 版 IETM 通过虚拟模型与技术信息精准绑定，点击部件即可获取对应参数，装配步骤与故障点通过三维动画直观展示，从根本上降低了信息误读概率，大幅提升准确率。

（三）用户满意度对比分析

用户满意度评分采用加权平均法计算，对照组 A 平均满意度 58.6 分，对照组 B 平均满意度 72.3 分，实验组平均满意度 91.5 分。实验组在易用性、直观性、学习趣味性、实用性、交互体验五个细分维度评分均领先，测试对象普遍反馈 VR 版手册操作简单、展示直观、学习过程不枯燥，复杂工艺一学就会，相较于传

统手册体验感大幅提升；部分测试对象表示，虚拟实操模拟功能贴近实际工作，可快速掌握操作技能，实用性极强。

（四）综合效能总结

综合实验数据可知，VR 版交互式电子技术手册在培训效率、信息获取准确率、用户满意度三大核心维度均实现跨越式提升，全面优于传统纸质手册与普通 IETM。其核心优势在于：一是通过 VR 沉浸式交互，彻底改变传统手册的信息传递模式，将抽象技术知识转化为直观可视的虚拟场景，降低学习门槛；二是虚拟实操模拟功能实现无风险、可重复的技能训练，大幅缩短培训周期、降低培训成本；三是多模态智能检索与模型信息联动，实现高效、精准的信息获取，适配装备制造现场快速作业需求；四是优质的交互体验提升学习积极性，有效改善传统手册学习枯燥、效率低下的问题。

四、结论

本文深化“VR 版产品说明书”核心概念，完成 VR 技术与交互式电子技术手册的深度融合，构建了适配装备制造行业的 VR 版 IETM 系统，通过科学对比实验完成系统性能评估。实验结果充分证明，相较于传统纸质手册与普通平面 IETM，VR 版交互式电子技术手册可显著缩短培训时长、提升信息获取与实操准确率、大幅优化用户体验，有效解决传统技术手册在装备制造应用中的核心痛点。随着 VR 技术的不断迭代与硬件成本的持续下降，VR 版交互式电子技术手册将逐步替代传统手册，成为装备制造行业技术资料数字化、智能化升级的核心载体，推动行业培训模式、作业模式的数字化转型，为制造业高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 王健, 张磊. 虚拟现实技术在交互式电子技术手册中的应用研究 [J]. 机械设计与制造, 2024(2): 261-264.
- [2] 李雪梅. 基于 VR 的装备维修交互式电子手册设计与实现 [J]. 制造业自动化, 2025, 47(3): 134-137.
- [3] 赵伟, 陈阳. 交互式电子技术手册效能评估体系构建与应用 [J]. 中国设备工程, 2024(8): 187-189.
- [4] 刘佳. VR 沉浸式培训在高端装备制造中的应用与实践 [J]. 现代制造工程, 2023(11): 142-146.
- [5] 陈明宇. 交互式电子技术手册标准化建设与行业推广研究 [J]. 标准科学, 2024(5): 89-93.