

虚拟现实应用技术赋能几何量精度设计与检测课程教学创新研究

王 妍

沈阳工业大学机械工程学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年11月18日; 录用日期: 2026年1月4日; 发布日期: 2026年1月14日

摘 要

几何量精度设计与检测是机械类专业核心课程, 承担培养学生几何精度设计、检测实操及误差分析思维的使命。传统教学存在设备成本高、检测场景复杂、概念难具象化、实操有风险和耗材损耗等问题, 制约教学质量提升。虚拟现实(VR)技术凭借交互性、沉浸感、可重复性和安全性等优势, 为该课程教学改革提供新途径。本文探讨了VR技术在该课程中的应用价值与实施逻辑, 构建了包含虚拟实验环境搭建、交互式操作设计、数据分析评估及协作与远程教学支持的应用框架, 结合课程核心内容明确应用场景, 分析技术落地挑战并提出解决方案, 为课程教学模式创新和人才培养质量提升提供理论与实践思路。

关键词

虚拟现实技术, 几何量精度设计与检测, 课程教学, 交互式学习, 教学创新

Research on Teaching Innovation of Geometric Accuracy Design and Inspection Course Empowered by Virtual Reality Application Technology

Yan Wang

School of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang Liaoning

Received: November 18, 2025; accepted: January 4, 2026; published: January 14, 2026

Abstract

Geometric Accuracy Design and Inspection is a core course for mechanical majors, aiming to

文章引用: 王妍. 虚拟现实应用技术赋能几何量精度设计与检测课程教学创新研究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(1): 79-85. DOI: 10.12677/ces.2026.141011

cultivate students' abilities in geometric accuracy design, inspection practice, and error analysis thinking. Traditional teaching faces challenges such as high equipment costs, complex inspection scenarios, abstract conceptualization, potential operational risks, and consumable wear, which restrict the improvement of teaching quality. Virtual Reality (VR) technology, with its advantages of interactivity, immersion, repeatability, and safety, provides a new approach for the teaching innovation of this course. This paper explores the application value and implementation logic of VR technology in the course, constructs an application framework including virtual experiment environment construction, interactive operation design, data analysis and evaluation, and collaborative and remote teaching support. It clarifies application scenarios combined with the core content of the course, analyzes technical implementation challenges, and proposes solutions, providing theoretical and practical insights for the innovation of course teaching models and the improvement of talent training quality.

Keywords

Virtual Reality (VR) Technology, Geometric Accuracy Design and Inspection, Course Teaching, Interactive Learning, Teaching Innovation

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. 引言

几何量精度设计与检测是机械类专业核心基础课程，教学内容涵盖几何精度标准、形位公差设计等核心模块，具有理论抽象、实践关联强的特征，其教学质量直接影响学生后续机械设计等专业能力。然而，传统教学模式难以契合课程要求，存在突出问题：一是设备与场地受限，专业检测设备单价高、需专用实验室，多数高校难以满足学生实操需求；二是学生理解抽象概念困难，核心知识点抽象，仅靠教材插图和讲授难以形成直观认知；三是实操训练有局限，检测中零件耗材损耗大，复杂场景有误操作致设备损坏风险，学生难以通过反复练习巩固技能；四是教学场景固化，难以模拟不同生产场景检测需求，无法实现跨时空协作学习与资源共享。

VR 技术作为一种可构建高度仿真三维环境的新兴信息技术，借助融合三维建模、物理引擎、交互设计等技术手段，为学习者营造沉浸式、交互式的学习情境。已有研究表明，VR 技术在机械制造基础、汽车类专业等课程教学中已展现出良好应用效果，能够有效改善教学体验、提升教学质量[1][2]。将虚拟现实技术引入几何量精度设计与检测课程，能够切实化解传统教学面临的困境，达成虚拟仿真与实际能力的有机结合，推动教学模式从理论讲授与有限实操相结合，向沉浸式体验、全流程实操与精准化评估相融合的方向转变。这对于提高课程教学成效、培育适应智能制造发展需求的高素质技术技能人才，具有重要的现实价值。

近年来，VR/AR 技术在工程教育领域的应用研究持续升温，但针对几何量测量与检测教学的专项研究仍存在明显不足。现有研究多聚焦单一设备操作模拟或基础概念可视化，如刘艳秋等[3]开发的形位公差教学系统仅实现了概念演示功能，缺乏全流程实操训练与精准评估机制；张宏等[4]的研究虽涉及虚拟仿真在机械精度设计中的应用，但未关注协作学习与特殊场景模拟需求。此外，多数研究未明确技术应用与课程知识点的深度适配逻辑，存在重技术呈现、轻教学实效的问题，且缺乏实证数据支撑技术应用的有效性。

本文立足上述研究缺口,构建“环境搭建-操作设计-数据分析-协作支持”四位一体的VR教学应用框架,其创新点主要体现在三方面:一是实现从单一技能训练到全流程能力培养的覆盖,整合精度设计、设备操作、误差分析等核心环节;二是建立“过程性+结果性”的双维度评估体系,依托VR系统采集的客观数据实现精准教学反馈;三是兼顾个性化学习与团队协作需求,适配不同层次学生与实际工作场景。通过实证研究验证框架的可行性,为几何量精度设计与检测课程的数字化转型提供更具实操性的解决方案。

2. VR技术在几何量精度设计与检测课程中的应用价值

VR技术的核心特性与几何量精度设计与检测课程的教学需求高度契合,其应用价值主要体现在以下五个方面。

1) 降低教学成本,突破资源限制

VR技术通过构建虚拟实验环境,能1:1还原各类精密检测设备(如三坐标测量仪等)和不同类型零件模型。学生无需接触实体设备就能进行全流程实操训练,这种模式降低了学校采购和维护昂贵检测设备的成本,减少了零件耗材损耗。同时,突破了实验室场地和课时限制,学生可随时登录系统练习,解决了设备少、学生多、实操机会少的教学难题。

2) 具象化抽象知识,深化理解认知

针对形位公差、公差等级差异、几何精度与产品性能关联等抽象专业知识点,VR技术可通过三维可视化模型直观呈现。已有学者基于VR技术设计形位公差教学系统,有效提升了学生对抽象公差概念的理解[3]。学生可通过缩放、旋转、剖切等交互手段,观察不同公差等级零件的结构差异,动态展示形位误差形成过程。还能通过参数调整,实时查看精度变化对产品装配和使用性能的影响,将抽象的几何精度概念转化为具体体验,助力学生构建几何精度认知体系。

3) 提升实操技能,强化训练效果

VR技术可支撑全流程交互式实践操作训练,学生能在虚拟环境中模拟开展从几何量精度设计到检测实施的完整流程。虚拟仿真技术在机械精度设计课程中的应用实践表明,此类交互式训练能显著提升学生实操技能。虚拟系统能提供实时操作指引与错误反馈,如标注错误时触发警示、设备操作步骤遗漏时给出引导,助力学生及时纠正操作问题。同时,虚拟环境可重复,允许学生反复练习复杂操作环节,直至熟练掌握技能,增强实践操作训练的针对性与有效性。

4) 保障教学安全,拓展训练场景

精密检测设备的操作对规范性有着极高要求。在传统实际操作过程中,误操作可能引发设备损坏或零件报废的情况,甚至存在一定程度的安全风险。而VR虚拟环境能够完全规避此类问题,学生可在无风险的场景中大胆尝试不同的操作模式,探究极限工况下检测方法及误差变化规律。此外,VR技术可模拟多样化的检测场景,如车间现场检测、实验室精密检测、恶劣环境下应急检测等,突破了传统教学场景单一性的局限,这与VR技术在汽车底盘构造与维修实训教学中拓展场景的应用逻辑一致[5],有助于提升学生适应不同工作场景的能力。

5) 支持个性化与协作学习

VR系统能够依据学生的学习进程与能力水准,自动推送具有差异化的学习任务与训练模块。例如,针对基础较为薄弱的学生,强化其对精度标准的认知训练;为处于进阶阶段的学生设置复杂零件的误差分析任务,以此达成个性化教学。与此同时,VR技术可支持多名学生同步进入虚拟环境,学生能够通过分工协作的方式完成复杂的检测项目(如大型箱体零件的多工位联合检测),从而培养团队协作与沟通能力,这与实际工作中的团队作业模式相契合[6]。

3. VR 技术在课程中的应用框架构建

基于几何量精度设计与检测课程的教学目标和内容特性,借鉴 VR 技术于专业课程中的应用经验[7],搭建四位一体的 VR 教学应用架构。该架构包含虚拟实验环境搭建、交互式实验操作规划、实验数据分析与评价、协作与远程教学支撑四个核心模块,以保障技术应用的系统性和实用性。

1) 虚拟实验环境构建

虚拟实验环境是 VR 教学基础载体,要实现“高仿真性”与“教学适配性”统一,包含三个核心环节。

第一,三维模型精准构建。依据国家标准 GB/T 1182-2008《产品几何技术规范(GPS)几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注》及行业规范[8],用专业软件创建教学资源模型。零件模型涵盖典型机械零件,检测设备模型包括常用量具、精密仪器和辅助工具,场景模型模拟不同环境并还原环境因素对检测结果的影响。

第二,物理引擎与交互逻辑集成。集成专业物理引擎,实现虚拟环境中零件、设备、工具间的真实力学反馈,提升操作真实性。同时构建符合教学逻辑的交互规则,确保学生操作与实际场景一致,避免虚拟与现实脱节。

第三,用户界面优化设计。设计简洁直观的操作界面,含功能导航、参数显示、提示引导和紧急操作区。界面布局贴合学生习惯,支持多种交互方式,降低操作门槛,让学生专注于学习训练。

2) 交互式实验操作设计

交互式操作是 VR 教学核心环节,遵循循序渐进、任务驱动、精准反馈原则,结合课程知识点设计分层递进操作任务。

首先,进行分层任务设计。按基础认知-专项训练-综合应用三层设计操作任务。交互式操作是 VR 教学核心环节,遵循循序渐进、任务驱动、精准反馈原则,结合课程知识点设计分层递进操作任务。以“三坐标测量仪操作训练”为例,完整展示分层任务设计。基础认知层(学习目标:掌握设备结构与基本原理):学生通过交互拆解三坐标测量仪,查看测头、导轨、控制系统等核心部件,系统同步播放语音讲解,通过点击部件触发功能介绍弹窗。专项训练层(学习目标:熟练设备操作流程):设计设备校准-坐标系建立-测量点规划-数据采集四步引导任务,每步操作设有动态指引线,如校准测头时提示将测头移动至标准球上方 5 mm 处,操作错误时(如未校准直接测量)触发红色警示弹窗,显示请先完成测头校准,否则将导致测量误差超过 ± 0.02 mm 并提供校准步骤回顾链接。综合应用层(学习目标:解决复杂检测问题):设置箱体零件孔系位置度检测任务,学生需自主制定测量方案,选择测量基准,规划测量路径,系统仅在关键节点提供可选提示,最终根据测量数据生成误差报告,学生需分析误差原因并提出改进方案。

其次,完成实时交互反馈。操作中设多维度反馈机制,操作正确给予视听觉确认,操作正确时触发绿色指示灯与提示音,错误时即时警示并提供原因分析与纠正建议,如三坐标测量路径不合理,系统提示并展示优化路径。

最后,进行个性化适配设计。支持学生依学习进度调整节奏,可暂停、回放;为不同学习能力学生提供难度可调任务模式,基础模式多引导,进阶模式少干预,满足差异化需求。

3) 实验数据分析与评估

VR 技术的数据分析能力为教学评估提供客观依据,实现过程性评价+结果性评价结合。

数据自动采集方面,虚拟系统实时记录学生操作全过程数据,涵盖操作步骤、任务完成时间、参数设置等多维度信息,形成学习行为数据档案。

数据挖掘与分析方面,运用大数据分析技术挖掘学习规律,识别学生知识薄弱点与技能短板,如发

现学生在圆度公差检测中的问题，为教学调整提供方向。

智能化评估反馈方面，系统依据分析结果生成个性化评估报告，多维度量化评分并给出改进建议。教师可精准教学指导，学生能明确不足、制定学习计划。

4) 协作学习与远程教学支持

VR 技术打破时空限制，为协作学习与远程教学提供支撑，拓展教学边界。

第一，虚拟协作学习。支持多名学生同步进入同一虚拟实验场景，分工协作完成复杂检测任务。如在大型机械部件几何量检测项目中，学生分别承担不同角色，模拟实际团队协作，培养沟通协调与团队意识。

第二，远程教学指导。教师通过后台系统实时监控学生虚拟操作，观察细节与问题，以语音指导、虚拟标注等提供即时帮助。跨校区或线上教学时，学生可远程登录虚拟实验室，与师生实时互动，共享优质资源。

第三，资源共享与共建。构建 VR 教学资源库，整合精度设计案例、设备操作教程、误差分析场景等资源，支持跨校、跨区域共享。同时，鼓励教师按需更新优化资源，形成共建共享、动态更新的资源生态。

4. VR 技术在课程中的具体应用场景

结合几何量精度设计与检测课程核心教学内容，VR 技术可在以下五大场景实现深度应用，覆盖课程主要知识点与技能点。

1) 几何精度标准认知与设计

该场景聚焦几何精度基础理论教学，解决传统教学抽象概念难理解问题。VR 系统构建含不同公差等级(IT01~IT18)的标准零件库，学生通过交互操作对比不同等级零件尺寸偏差、表面质量差异，直观理解公差等级与产品精度关联；针对形位公差(如直线度、平面度等)，动态演示形位误差形成过程，展示公差带定义与边界范围，学生调整参数改变误差大小，观察其对零件装配性能的影响。在精度设计实操环节，学生在虚拟零件模型上进行几何精度标注练习，系统实时校验标注规范性，如公差符号选择等是否符合国家标准，即时纠正错误，助其熟练掌握精度设计方法。

2) 典型零件几何量检测实操

针对轴类、箱体、齿轮、平面类等典型零件检测教学需求，VR 系统模拟完整检测流程：学生先根据零件图纸明确检测要求与精度指标，接着选择合适检测设备与工具(如轴类用千分尺、圆度仪，箱体用三坐标测量仪)，完成设备校准后，按规范流程规划测量点、采集并记录数据，最后根据检测数据判断零件是否合格，分析误差原因。

例如，轴类零件圆度与圆柱度检测，学生操作虚拟圆度仪，调整测量头位置与转速，采集圆度数据，系统自动生成误差曲线，学生结合理论分析误差来源(如机床主轴跳动、刀具磨损)；箱体零件孔系位置度检测，学生通过三坐标测量仪虚拟操作，学习测量路径规划、基准建立、数据处理等技能，掌握位置度误差计算与评定方法。

3) 检测设备操作技能训练

检测设备操作是课程核心实操内容，VR 技术为设备操作训练提供安全高效方案。系统还原千分尺、百分表等常用设备操作逻辑与细节，学生可进行从设备校准到实际测量的全流程训练。以三坐标测量仪训练为例，学生学习测头校准、坐标系建立、测量模式选择、数据采集与导出等操作，系统通过力反馈与视觉提示模拟接触过程，助其掌握操作力度与速度控制；对于投影仪等光学检测设备，学生练习零件装夹、焦距调整等操作，直观观察偏差。通过反复练习，学生熟练掌握操作规范，为实际工作奠基。

4) 复杂形位公差检测与误差分析

复杂形位公差(如同轴度、对称度、全跳动等)的检测与误差分析是教学难点,VR技术借助动态模拟与交互体验,助力学生克服学习障碍。系统构建含复杂形位公差要求的零件模型,模拟多种检测方法(如直接测量法、间接测量法、综合量规法),让学生对比不同检测方法的精度与适用场景。在误差分析环节,系统模拟设备误差(如检测仪器精度不足)、操作误差(如测量点选择不当、基准建立错误)、环境误差(如温度变化、振动干扰)等常见误差源,学生通过改变实验参数,观察误差对检测结果的影响,学习误差分离与补偿方法。比如在温度变化对精密测量影响的实验中,学生可调整虚拟环境温度,观察零件尺寸变化与检测数据偏差,理解温度补偿原理与应用。

5) 特殊场景检测模拟训练

针对传统教学难以实现的特殊检测场景,VR技术可构建高仿真模拟环境,拓展学生技能边界。比如在极限工况检测场景,学生能在安全虚拟环境中学习特殊防护与检测方法;精密仪器故障诊断场景,模拟常见故障问题,学生通过观察分析学设备维护与故障排除技能;批量生产质量控制场景,模拟检测流程,学生练习抽样方案设计等技能,培养产品质量控制思维。

6) 实证研究设计

为验证所提框架的有效性与可行性,已开发“三坐标测量仪操作训练”原型系统,并计划开展小范围试点应用。选取我校机械工程学院2023级机械设计制造及其自动化专业2个班级(共60人)作为研究对象,分为实验组(30人,采用VR+传统教学模式)与对照组(30人,采用传统教学模式)。

研究流程如下:① 前测:通过理论试卷(满分100分)测试学生对三坐标测量仪相关知识的掌握程度,采用实体设备操作考核(满分100分)评估基础操作技能;② 教学实施:实验组完成8课时VR系统训练(含基础认知、专项训练、综合应用三层任务)与4课时传统理论教学,对照组完成12课时传统教学(含4课时实体设备实操);③ 后测:采用与前测同难度的理论试卷和实体设备操作考核,同时对实验组发放问卷调查(含系统实用性、学习体验、技能提升感知3个维度,共15题,采用5点李克特量表);④ 数据采集:记录实验组VR系统操作行为数据(如任务完成时间、错误次数、参数设置准确率)、前后测成绩及问卷数据。通过独立样本t检验分析两组后测成绩差异,验证VR教学的有效性。

5. VR技术应用面临的挑战及解决策略

1) 技术实现难度与成本问题

VR教学系统开发涉及三维建模、物理引擎集成等多技术领域,对开发团队专业能力要求高,且高质量VR头显等硬件成本高,给高校采购与普及带来压力。解决策略如下:一是推进产学研协同开发,采用“高校+VR技术企业+机械制造企业”协同开发模式,高校提供教学需求与课程资源,VR企业负责技术开发,制造企业提供设备参数与行业场景,三方分摊成本,参考高校与VR公司联合开发机械实训系统的成功案例,缩短开发周期并保障实用性;高校联合相关企业组建跨领域团队,整合需求与优势,分摊成本,开发专用教学系统;二是采用模块化设计,构建通用平台与可复用模块,不同课程共享基础框架,仅开发专属内容,降低难度与成本;三是引入云VR技术,将计算任务部署在云端,学生通过普通设备接入,降低对硬件性能要求,减少采购投入;四是利用开源资源与工具,鼓励师生二次开发,丰富资源并降低成本。

2) 教学内容设计与适配问题

VR技术与课程教学深度融合,需针对性重构教学内容,平衡虚拟体验与知识传授、确保内容准确时效是核心挑战。部分VR教学内容“重形式、轻实效”,只重场景仿真忽视知识点深度呈现。

解决策略包括:一是组建跨学科设计团队,包括机械专业教师、教育学专家、VR技术开发人员,结

合教学大纲与培养目标系统设计内容, 确保符合几何精度标准、行业规范与学生认知规律; 二是建立教学内容开发标准与审核流程, 明确知识点覆盖、操作步骤规范、误差数据准确性等要求, 保证内容质量; 三是融入游戏化设计元素, 如设置任务关卡、技能积分、虚拟证书提升趣味性, 但要避免过度游戏化偏离学习目标; 四是建立内容动态更新机制, 紧跟几何量精度检测技术发展, 及时更新虚拟设备模型与教学案例, 保持内容时效性。

3) 教师技术应用能力问题

VR 技术引入对教师提出新能力要求, 多数教师缺少 VR 设备操作、虚拟教学内容设计与教学组织经验, 难以发挥 VR 系统教学价值。解决策略有以下几个方面: 一是制定系统化教师培训计划, 涵盖 VR 技术基础、教学系统操作等模块, 采用理论培训 + 实操演练 + 案例分享模式提升效果; 二是建立教师学习共同体, 鼓励跨校交流 VR 教学经验, 分享案例与资源, 通过集体备课等共同提升; 三是将 VR 教学内容开发与实践纳入教师考核与激励体系, 鼓励教师参与资源建设, 提升技术应用能力; 四是配备专技技术支持团队, 为教师提供设备维护、系统调试与技术服务, 解其后顾之忧。

4) 学生适应性与学习效果评估问题

部分学生佩戴 VR 设备可能出现眩晕、疲劳等症状, 影响学习体验; 同时, VR 教学缺乏成熟的学习效果评估体系, 传统考核难以全面反映学生在虚拟环境中的学习成效。解决策略如下: 其一, 开展课前适应性训练, 指导学生正确佩戴设备, 优化 VR 系统参数, 降低眩晕感; 其二, 设计多样化学习模式, 允许学生在 VR 虚拟学习、传统课堂学习、实体实操训练间灵活切换; 其三, 构建多元化评估体系, 结合虚拟系统过程性数据、传统理论考核、实体设备实操考核、项目设计报告等多维度指标全面评价学生; 其四, 定期开展学生反馈调查, 收集意见建议, 持续优化教学系统与方案。

6. 结语

虚拟现实技术为几何量精度设计与检测课程教学带来变革, 通过构建虚拟实验环境、设计操作任务、实现数据分析与评估, 破解传统教学资源限制、概念难理解、实操不足等问题, 提供安全、高效、个性化学习体验, 提升教学质量与人才培养水平。尽管 VR 技术应用面临技术成本、内容适配、教师能力、学生适应性等挑战, 但随着技术迭代与教学理念创新, 问题将逐步解决。未来, 应加强产学研协同创新, 推动 VR 与课程深度融合, 优化教学资源与模式, 完善评价体系, 发挥 VR 教学赋能作用, 为智能制造产业培养高素质技术人才。

参考文献

- [1] 李敏, 张军. 虚拟现实技术在机械制造基础课程中的应用[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50(8): 136-139.
- [2] 罗柳健. 虚拟现实技术在汽车理论教学中的应用[J]. 汽车测试报告, 2024(8): 134-136.
- [3] 刘艳秋, 赵勇. 基于 VR 的形位公差教学系统设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(3): 112-116.
- [4] 张宏, 李明. 虚拟仿真技术在机械精度设计课程中的应用研究[J]. 高等工程教育研究, 2022(S1): 189-191.
- [5] 段红艳, 王建锋. 后疫情时代虚拟现实技术在《汽车底盘构造与维修》实训教学中的应用[J]. 时代汽车, 2022(15): 45-47.
- [6] 王迎辉, 卢振生, 王九龙, 等. 基于 VR 技术的汽车构造实验教学系统开发[J]. 绥化学院学报, 2020, 40(6): 133-135.
- [7] 朱孟伟. 虚拟现实技术在汽车类专业教学中的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(27): 105-106.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 产品几何技术规范(GPS)几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注: GB/T 1182-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.