

团 体 标 准

T/JYBZ 040—2025

虚拟仿真实验教学项目建设与应用

**Construction and application of virtual simulation experiment
teaching projects**

2025-09-25 发布

2025-11-01 实施

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 目标、原则和结构	2
5 实验教学设计与评价	4
6 实验过程设计与评价	10
7 实验场景建模与交互	12
8 实验数据与平台接口	21
9 虚拟仿真实验室建设	31
10 运行组织和管理服务	38
11 实验教学评价	42
附录 A（规范性） 虚拟仿真实验过程设计及评价观察点体系	46
附录 B（规范性） 虚拟仿真教学实验室建设绩效评价指标体系	48

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由虚拟仿真实验教学创新联盟技术工作委员会和中国教育装备行业协会高教装备分会联合提出。

本文件由中国教育装备行业协会归口。

本文件起草单位：虚拟仿真实验教学创新联盟技术工作委员会、中国教育装备行业协会高教装备分会、北京航空航天大学、北京大学、清华大学、北京理工大学、北京邮电大学、北京师范大学、浙江大学、北京工业大学、首都师范大学、中国人民警察大学、辽宁大学、华东师范大学、华东理工大学、东南大学、南京信息工程大学、厦门大学、中国海洋大学、武汉大学、暨南大学、成都中医药大学、西北大学、西安理工大学、西北师范大学、新疆医科大学、中国虚拟现实技术与产业创新平台、北京中教仪科技有限公司、北京润尼尔科技股份有限公司、北京象新力科技有限公司、北京众绘虚拟现实研究院有限公司、北京欧倍尔软件技术开发有限公司、辽宁世纪教育研究院、上海梦之路数字科技有限公司、上海曼恒数字技术股份有限公司、安徽省科大奥锐科技有限公司、成都泰盟软件有限公司。

本文件主要起草人：郝爱民、王成涛、周勇义、江永亨、刘越、熊永平、武仲科、陈为、李慧杰、许长江、高阳、谭小慧、周永胜、张媛、范文慧、郭诗辉、任艳频、宋维涛、李国政、王尚广、欧中洪、白滨、王学松、韩红桂、禹鹏、沈阳、靳学胜、曲艺、何高奇、刘金库、杨安康、金辉、潘志庚、林俊聪、刘永辉、方堃、高博宇、余常、耿国华、李军怀、魏小东、郭全民、于文江、陈美松、王莹、赵永涛、樊友林、张士清、高俊辉、高杰、王晓蒲、王燕。

本文件为首次发布。

虚拟仿真实验教学项目建设与应用

1 范围

本文件规定了虚拟仿真实验教学项目建设与应用的目标、原则和结构、实验教学设计与评价、实验过程设计与评价、实验场景建模与交互、实验数据与平台接口、虚拟仿真实验室建设、运行组织和管理服务及实验教学评价。

本文件适用于高等院校虚拟仿真实验教学项目建设与应用共享、虚拟仿真教学实验室建设。其他职业教育虚拟仿真实验教学项目、住院医师规范化培训等职业技能训练项目，以及类似实验教学项目可根据实际情况参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 38258 信息技术 虚拟现实应用软件基本要求和测试方法

GB/T 38259 信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范

GB/T 44115.2 信息技术 虚拟现实内容表达

GB/T 44220 虚拟现实设备接口 定位设备

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

虚拟仿真 virtual simulation

以计算机技术为核心工具创建虚拟环境，仿真客观物理世界的结构或运动规律。

3.2

虚拟现实 virtual reality

采用以计算机为核心的科技手段生成逼真的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等多感官一体化的数字化人工环境，用户借助一些输入、输出设备，采用自然的方式与虚拟世界的对象进行交互，相互影响，从而产生亲临真实环境的感觉和体验。

[来源：GB/T 38258—2019，2.1]

3.3

虚拟仿真实验教学项目 virtual simulation experiment teaching project

利用虚拟仿真（VS）、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）等技术，构建高度仿真的实验环境和操作过程，支持学生进行交互式实验操作、观察和数据分析，提供沉浸式学习体验的教学项目。

3.4

虚拟仿真装备化 virtual simulation equipping

使虚拟仿真实验对象和环境形成有形装备的系统化工程。

3.5

赋分模型 scoring model

对实验过程和效果进行评价按等级赋分的评分机制。

3.6

云虚拟现实 cloud VR

利用云计算、云渲染的理念及技术开发的虚拟现实（VR）应用。

3.7

用户体验 user experience

用户针对使用或期望使用的产品、系统或者服务的认知印象和回应。

3.8

实验完成率 experimental completion rate

实验人员按时完成实验的数量或程度与总实验任务数量或程度的比例。

3.9

实验报告提交率 experimental report submission rate

实际提交实验报告的学生人数与应提交实验报告的学生总人数的比值。

3.10

实验通过率 experimental pass rate

实验通过率指通过实验的人数与注册实验人数之比。

3.11

实验好评率 experimental positive review rate

一定数量或范围内的实验完成后，获得正面评价或好评的实验次数占总实验次数的比例。

4 目标、原则和结构

4.1 目标

围绕立德树人根本任务，适应经济社会快速发展对人才培养的新要求、现代大学生成长的新特点、信息化时代教育教学的新规律，以培养学生的实践能力和创新精神为核心，充分发挥现代教育技术、虚

拟仿真技术和人工智能技术的优势，切实落实“体系化、标准化、装备化”工作要求，建设高质量虚拟仿真实验教学项目，开展高水平共享应用。解决真实实验教学条件不具备或实际运行困难，高危、极端环境，高成本、高消耗、不可逆操作、大型综合训练，真实实验做不了、做不好、做不上、做不大的突出问题。推动形成专业布局合理、教学效果优良、开放共享有效的高等教育信息化实验教学新体系，支撑高等教育教学质量全面提高。

4.2 原则

4.2.1 加强实验教学和实验过程设计，优化实验课程内容

应综合考虑知识、能力、素养各个维度，明确实验教学目标。应拓展实验课程内容，推进解决实验教学过程中高投入、高损耗、高风险及难实施、难观摩、难再现的“三高三难”痛点和难点。促进学生主动学习，帮助学生自主设计实验过程，拓展实验学习内容，强化实践探索。

4.2.2 发挥虚拟仿真技术优势，提升实验教学应用效果

应充分发挥虚拟仿真技术优势，坚持虚实结合、以虚优实的原则，有效结合科学的教育教学和学习理论，创新教师实验教学手段，提高虚拟仿真实验的课堂教学效率和教学效果，提高教师利用虚拟仿真实验系统的能力，丰富每个教学单元中的具体实验教学活动的形式与内容，提高教学成效。

4.2.3 支持个性化学习和探究，增加实践训练机会

应坚持以学生为中心，通过对学生群体及个性化分析，了解学生的群体及个体的特征和学习需求，分析学生的知识技能情况、学习态度和目标、学习风格、学习动机及兴趣情况；应结合教学要求，形成符合学生特点的有针对性的实验教学目标和教学策略、活动设计等，通过实验内容选择、实验环节选题，考虑知识技能及实验粒度的划分及映射，提供个性化能力培养。发挥可共享特点，增加学生实践机会。

4.2.4 规范数据和服务接口，提高共享应用规模和成效

应规范虚拟仿真实验管理平台与虚拟仿真实验资源的统一管理，规范实验运行时的实验状态和数据访问接口，为虚拟仿真实验教学管理平台与虚拟仿真实验资源互配提供统一规范，实现不同来源的各类资源和应用系统与管理平台在数据层和服务层的互联互通，提升虚拟仿真实验资源与虚拟仿真实验教学管理平台共享应用规模和成效。

4.2.5 重视项目评价方法创新，实现全过程分析和评价

在项目建设和应用过程中应重视评价模型、评价方法的研究与创新，对过程数据进行全面的记录和分析，遵循全面性、客观性、可操作性和持续更新的原则，由学生、教师、学校教学管理部门及社会用户等对实验教学过程和效果进行全过程综合评价，包括实验教学设计评价、实验过程评价和实验教学整体评价等。

4.3 组成结构

本文件围绕虚拟仿真实验教学项目高质量建设和高水平应用所涉及的主要环节，在综合分析现代教育技术、虚拟仿真技术和人工智能技术发展现状和趋势的基础上，除规定了虚拟仿真实验教学相关术语和定义、目标和原则外，着重从项目设计要求与导则、项目技术要求与导则、项目体系化应用导则、项目运行管理和应用效果评价四个方面，给出了虚拟仿真实验教学设计、虚拟仿真实验过程设计、虚拟仿真实验建模与交互的基本功能要求、虚拟仿真实验数据与平台接口规范、虚拟仿真实验室建设要求、运

行组织和管理服务、虚拟仿真实验教学评价原则与通用指标等七部分内容，组织结构见表 1。

表 1 《虚拟仿真实验教学项目建设与应用》组成结构

序号	组织层次	具体内容	
1	基本术语	术语和定义（第3章）	
2	总体要求	目标、原则和结构（第4章）	
3	项目设计要求与导则	实验教学设计与评价（第5章）	实验过程设计与评价（第6章）
4	项目技术要求与导则	实验场景建模与交互（第7章）	实验数据与平台接口（第8章）
5	项目体系化应用导则	虚拟仿真实验室建设要求（第9章）	
6	项目运行管理和应用效果评价	运行组织和管理服务（第10章）	实验教学评价（第11章）

5 实验教学设计与评价

5.1 实验教学设计

5.1.1 实验教学设计要求

5.1.1.1 实验教学设计的体系

虚拟仿真实验教学设计体系应完备，应能利用科学的教育理论加强虚拟仿真实验教学，并形成规范性教案，制定及执行教学计划，完成教学活动的考核分析与反馈。

5.1.1.2 实验教学设计的结构

应具有完整体系，通常宜包括：教学目标、学生及学情分析、虚拟仿真实验系统分析、教学理念、教学策略、教学环境、教学过程、学习成效分析等。

5.1.1.3 实验教学设计的理论

应遵循科学的学习理论和教学理论，坚持马克思主义认识论和实践观，重视直观性教学原则、情境认知理论、具身认知理论等，以理论指导教学设计和教学过程，做好顶层设计。

5.1.2 教学目标设计

5.1.2.1 教学目标设计的内容要求

应明确实验教学目标，确定虚拟仿真环境下的课程设计和教学活动安排，达成课程目标。应针对虚拟仿真实验教学，设定具体的知识、技能和能力目标，编制对应的知识图谱和能力图谱。教学内容应涵盖理论知识与实验技能、情感态度与价值观，强调培养学生的动手能力、创新能力、综合设计能力等，相关目标应具体、可量化，教学目标设定与虚拟仿真实验系统功能有强相关性，以调动学生参与虚拟仿真实验教学的积极性和主动性，激发学生的学习兴趣 and 潜能，增强学生的创新创造能力。教学目标设计应以育人为根本目标，注重科学伦理与职业道德，加强对学生社会责任感、创新精神、实践能力的综合培养。

5.1.2.2 教学目标设计的层次要求

应与专业人才培养目标能力要求匹配，通过虚拟仿真实验教学，预期达到的培养层次和教学目标应按照三个层次划分：利用虚拟仿真技术优势，在适应方向上达到或超过真实实验的教学效果，能培养学生的认知能力，提高学生的认识水平（低阶）；能培养学生操作技能、动手能力和构想能力（中阶）；能培养学生解决复杂问题的综合能力和创造性思维素养（高阶）。

5.1.2.3 教学目标设计的分类要求

应遵循学生的学习规律，依据实验环节构成与知识内容层层递进，在基本教学要求的基础上开展研究和探索，应综合考虑基础练习型实验、综合设计型实验和研究探索型实验等多种实验类型，加大综合设计型实验和研究探索型实验占比。

- a) 综合设计型实验的教学内容应包含多门课程原理、方法和技术，教学目标应为培养学生融会贯通专业课程、应用相关知识通过自主设计解决实际问题的能力。
- b) 研究探索型实验的教学内容应以学科或行业发展前沿问题为选题，教学策略以学生自主设计为基本要求，面向前沿领域开设实验，增加学生兴趣选择的灵活性，教学目标应为引导学生洞悉、探索学科前沿。
- c) 综合设计型实验和研究探索型实验教学过程宜适当设计专业基本知识认知和实验验证的环节，以便学生顺利完成实验的后续环节。
- d) 虚拟仿真实验教学知识讲授及实验操作环节构成应完整，各个环节占比要合理，实验教学内容既要体现学生知识、能力、素质训练的基础性，又要体现提升的高阶性、突出教学的创新性、增加学生的挑战度。

5.1.3 虚拟仿真实验环境下的学生及学情分析

5.1.3.1 虚拟仿真实验系统掌握情况

应分析学习群体对虚拟仿真实验系统是否有前期使用经验，对课程拟采用的实验系统是否有前期使用经历，分析学生已有的知识水平、认知水平和能力基础，了解学生对实验系统的掌握情况，确定是否需要实验系统的背景介绍、操作手册学习等。

5.1.3.2 虚拟仿真学习群体的特征和需求

应针对教学目标群体进行学习群体的特征和需求分析，分析学生的起点能力即在学习某一特定的虚拟仿真实验内容时，已经具备的有关理论知识、实践技能，以及对学习内容和技能的认识程度。

5.1.3.3 学生的知识技能和态度目标

应根据相关专业学生的课程内容和教学要求了解学生的基础理论知识体系，并根据相关知识的成绩和课堂应用能力，了解学生的知识技能掌握情况、实践技能情况；应通过问卷、座谈、访谈交流等多种方式，了解学生的学习态度和学习投入情况，明确学习态度和学习目标。

5.1.3.4 学习者个性和虚拟实验适应性

应分析学生持续一贯的带有个性特征的学习方式和学习倾向等学习风格。包括学生的学习环境偏好、信息处理方式特点、认知个性风格，分析学生在学习过程中可能采取的各种学习策略，以及可能会遇到的困难障碍等，便于有针对性地设计实验教学方式和实践活动环节等后续内容。

5.1.3.5 学生的兴趣和动机因素

应分析在虚拟仿真实验环境下，如何激发学生的学习兴趣，掌握学生增强实践能力、培养就业能力等方面的学习动机，把握引起和维持学生学习活动、并指引学习活动趋向教师设定目标的心理倾向。

5.1.4 虚拟仿真实验系统分析

5.1.4.1 实验系统特点分析

应分析虚拟仿真实验教学系统覆盖的实验内容是否符合虚拟仿真实验的基本原则，是否具有必要性；是否具有较好的互动性和易用性，与教学对象的知识 and 实践能力是否匹配，软硬件系统与教学环境是否匹配。

5.1.4.2 实验系统功能模块分析

应分析确定实验系统的功能模块与教学设计的知识单元对应关系，便于组织教学。针对不同知识点及实验系统功能模块，应分析判定实验系统的类型和特点，便于后续有针对性地选择教学策略和教学方法，有效实施教学过程。

5.1.5 实验教学内容与资源

5.1.5.1 教学内容选择

应根据教学目标选择适合的教学内容，确定仿真环境需要模拟的实验情境和要素。对于“做不到、做不了、做不全、做不上、做不好”的教学内容，开展虚拟仿真实验设计和应用。选择过程中应注重虚实结合，在充分利用现实真实实验环境的基础上，发掘适合采用虚拟仿真实验的教学内容，重点解决真实实验环境下不具备或操作困难的学习内容，涉及特殊环境模拟仿真实验的综合训练等问题，充分利用虚拟仿真实验教学的技术特点，提升教学效果。

5.1.5.2 教学实验选题

应选择符合教学内容粒度的实验选题，对应实验教学的基本单元，尽量针对某门课程的单个实验，由多个实验组成的实验课程需要有较好的关联性。选题粒度要适当，既不能过大，直接对应一门课程或一个工具，也不能过小，不能支撑一定的实验教学目标。实验选题内容应考虑学时要求，内容应包括实验准备、实验原理学习、实验操作、完成实验报告等教学过程；学生实际参与的交互性实验操作步骤应合理，每步交互操作要求有教学意义，产生符合客观规律的有效反应。

5.1.5.3 实验教学实施单元分解与设计

应根据实验教学内容，进行知识点和实践能力的分解，依据虚拟仿真实验场景建模与交互要求，结合虚拟实验系统功能，考虑虚拟仿真系统功能对应的知识及能力粒度，形成尺度适中的虚拟仿真实验教学实施单元，应对相关教学内容进行整合，形成一组彼此关联的系列虚拟实验教学活动，构成一个主题。

5.1.5.4 实验教学实施单元与知识能力映射

应对虚拟仿真实验的教学单元进一步细分和分解，形成一系列的子主题和关键概念，建立虚拟仿真实验不同的功能操作训练与知识、技能及能力间的映射关系。单个子主题和关键概念应原理准确、内容紧凑、时长合理、难度适宜。

5.1.5.5 实验实施单元的实验过程设计

应根据实验教学内容，对实验实施单元按照虚拟仿真实验过程设计相关要求进行规划，宜设计虚拟仿真实验的实验原理、实验模型构建、虚拟仿真实验过程与步骤、实验结果分析方法等。

5.1.5.6 实验教学资源的使用方式和模式

实验教学资源的使用方式和模式包括：

- a) 应根据虚拟仿真实验的类型，设计资源的使用方式，针对软件共享虚拟实验、仪器共享虚拟实验、远程控制虚拟实验等不同类型的，选择合适的课堂使用方式。
- b) 应结合单元内容和教学目标，根据虚拟仿真实验教学中偏重知识讲授、技能培养、能力提升还是素养培育，选择不同的虚拟仿真实验类型。
- c) 应确定教学资源是否具有独立实验、演示实验的教学功能，将相应的虚拟仿真实验教学资源应用于知识内容的可视化演示、系统技能培养的引导式应用、探究式交互互动能力提升等多种教学过程。

5.1.6 实验教学重点难点分析

5.1.6.1 仿真实验教学重点分析

应针对重点知识、技能、能力内容，着重考虑如何采用合适的虚拟仿真实验系统功能开展重点内容教学，在教学活动及教学方式上理论与实践、虚拟与现实深度结合，力求重点内容实验教学深入浅出、直观有效，提高重要内容的学习效果，提升学生的技能和能力。

5.1.6.2 仿真实验教学难点分析

应针对教学难点，遴选适合的虚拟仿真实验系统和实验教学方式，在难点分析的基础上，结合虚拟仿真实验教学内容和资源，有针对性地选择合适的实验类型，针对抽象概念直观展示、宏观微观系统的可视化、学生动手操作实践技能等方面实验内容提供教学支持。

5.1.7 实验教学策略与教学方法

5.1.7.1 实验教学的教学策略

应选择适合虚拟仿真教学的策略，结合虚拟仿真实验系统的功能特点和教学目标，确定实验教学顺序、实验教学活动程序、实验教学组织形式、实验教学方法。虚拟仿真实验教学宜采用“尝试错误”的教学策略，利用虚拟环境安全、无投入、无损耗的特点，为学生设定“试错”的设计环节，让学生尝试错误，在发现及纠正错误过程中掌握学习内容。宜采用产生式教学策略，鼓励学生在虚拟实验环境中，根据实验教学目标进行自我组织，自主设计实验方案、自主控制实验过程、自主进行实验结果分析，形成具有个性化学习风格的虚拟仿真实验学习，激发学习兴趣。

5.1.7.2 实验教学的教学方法

在教学方式与方法的采用和选择上应注重创新性和多样性，如综合采用讲授法、讨论法、探究学习、问题解决、模拟实验、情境创设法、问答法、实验法。根据虚拟仿真实验教学仿真、交互的特点，宜采用自主式、合作式、探究式的实践学习方法，如基于问题和案例的互动式、研讨式教学，以及多用户协作学习等，在原有传统课堂教学基础上，宜应用翻转课堂、项目制教学、多学科交叉教学等新的教学方法。教师应优化设计教学过程中的多种角色和任务分配，并说明每种教学方法的实施步骤和操作方式。

5.1.8 实验教学活动与教学流程

5.1.8.1 教学活动设计

应详细描述每个教学单元中的具体教学活动，包括虚拟仿真实践展演、系统功能操作、小组协同讨

论、实验案例分析等多种学习活动形式，指导学生在虚拟环境中进行实践和探究。在虚拟仿真环境中，应设计适合学生主动学习的教学活动，如问题解决、案例分析、合作学习等。

5.1.8.2 教学流程设计

应制定教学时间表和安排，确定每个教学活动的分配，明确理论讲解、仿真实验展演、学生实践、学生讨论等活动的顺序，制定适合仿真实验教学各环节的教学手段，明确各个教学流程。

5.1.8.3 实验教学的教学实施

应说明教学实施过程，重点描述虚拟仿真实验如何应用到实际教学当中，通过活动图或流程图直观表达。应按教学活动描述虚拟仿真实验教学具体实施方法，避免成为实验系统的功能定义。教学实施应包含设计虚拟仿真实验、设计虚拟仿真实验场景和编写实验指导。设计虚拟仿真实验应根据课程要求，对实验选题或实验模块进行设计。虚拟仿真实验的场景设计应包括虚拟仿真实验的背景、设备和材料等内容。编写实验指导应根据虚拟仿真实验场景和系统具体功能，编写具体的实验指导，包括实验步骤、实验模块、操作方法、安全策略等。

5.1.8.4 学习成果定义及实验报告

应明确教学成果和学习成果预期，明确学生学习成果的具体内容和表现形式。实验报告内容应包括实验目的、实验原理、实验步骤、实验结果、实验结论等。针对不同虚拟仿真实验教学成果应达到不同学习目标层次。基础练习型实验，应达到培养认知能力目标层次；综合设计型实验类型，应达到动手能力和构想能力目标层次；研究探索型实验，应达到解决复杂问题能力和创新性思维素养的目标层次。

5.1.9 学生学习效果分析

5.1.9.1 学习效果检测

应设定学习成效检测的目的和范围，利用虚拟仿真实验系统的考核功能，现场考核学生的知识、技能、能力水平，确定学习效果与教学目标的一致性。应采用理论测试、实验过程、实验结果、实验报告等多种考核方式，从学生的知识、技能、能力、素养等多个维度进行实验教学成效检测。

5.1.9.2 学习效果过程性分析

应进行教学与学习过程性分析，利用虚拟仿真实验系统的数字化记录与反馈信息，记录学生技能型操作过程操作时间、实验结果正确错误、误差偏差等信息，利用系统功能对操作的正确性、准确度和熟练程度，进行客观性考核分析。

5.1.9.3 教学效果总结性分析

应建立完整的总结性分析及反馈机制，通过知识性答题、操作准确度分析、操作技能综合实操评测等方式，辅以师生反馈等形式，对实验教学总体效果进行总结性检测分析，便于后续改进和完善。

5.1.9.4 智能化分析与隐私保护

教学设计的学习效果分析宜采用智能化分析手段，对实验过程、实验学习效果等数据进行智能化及个性化分析，用于改善教学和学习过程。教学设计应安全使用系统的数据记录功能，保护师生隐私数据，实验过程等涉及师生操作行为的数据应进行脱敏后再使用。

5.2 实验教学设计评价

5.2.1 教学设计的评价体系

教学设计应总体合理、理念先进、教学目标达成度高，应从总体性评价、过程性评价、效果性评价三个维度进行评价。评价范围应包括教学设计的主要方面，包括教学设计的总体水平、教学目标的达成度、学生的正向反馈、教学内容的准确适宜性、教学理念的先进性、教学策略方法的创新性、教学环境使用的有效性、教学过程的合理性、学习评价的客观有效性、教学效果的显著性，以及教学反思的针对性和深度广度等。

5.2.2 教学设计的总体性评价

5.2.2.1 教学设计的整体结构的完整性评价

应考虑教学设计整体结构的完整性，体现坚持当前育人理念，有正确的职业道德引领和明确的科技伦理元素，考虑并涵盖教学设计的各个方面，各部分内容设计合理，内容前后连贯，具有整体性。

5.2.2.2 教学设计的理念与策略方法的创新性评价

教学设计应利用先进的教学理念进行总体设计和顶层设计，并将教学理念在整个教学设计和教学活动中贯彻实施，取得明显成效。还应针对实践教学内容，采用基于问题、案例的互动式、研讨式教学，以及自主式、合作式、探究式学习等多种教学方式和教学策略。

5.2.2.3 教学设计的教学环境使用的有效性评价

教学设计及教学过程应充分利用虚拟仿真实验教学系统的先进性、开放性、共享性，提升实验教学效果和教学质量，还应对学生在实验过程中实验的完成度进行统计分析。

5.2.3 教学设计的过程性评价

5.2.3.1 教学设计的教学内容适宜性评价

教学设计应合理选择教学内容，坚持问题导向、需求导向，选择真实场景实验无法完成的实验内容，利用虚拟仿真实验环境解决现实实验教学问题。教学内容与专业人才培养目标应紧密结合，符合社会和国家需要。

5.2.3.2 教学设计的教学过程合理性评价

教学过程的知识分解及知识点讲解、实验模块与系统功能的映射、教学过程及教学活动设计均应做到合理有效。

5.2.3.3 学习效果分析的客观有效性评价

虚拟仿真实验教学的学习效果分析，应涵盖学习效果分析、准确性和有效性分析。应提供客观的分析手段，引入智能化方法，及时提供分析结果且保证分析结果有效性。

5.2.4 教学设计的效果性评价

5.2.4.1 教学设计的教学目标及效果达成度评价

虚拟仿真实验教学应有有助于达成多维度的教学目标，除了知识及实践动手能力，还应在思想引领等

多维度达成教学目标。虚拟仿真实验教学设计应有助于增强学生实验动手的学习兴趣，提高学生的自主学习能力、实践创新能力，提供实验教学服务及支持等。

5.2.4.2 教学设计的教师和学生反馈评价

教学设计评价应充分考虑教师和学生对教学设计的反馈，把反馈结果作为虚拟仿真实验教学评价的重要内容，指导后续教学设计改进和教学设计实施能力提升。

6 实验过程设计与评价

6.1 实验过程设计

6.1.1 必要性和教学价值

虚拟仿真实验过程所涉及的教学内容应纳入学校培养方案，围绕明确的人才培养目标，在人才培养体系中占有必要的位置。应体现明确的虚拟仿真实验教学优势，能够解决真实实验面对的难题，具有重要的教学价值和真实有效的人才培养功能。

6.1.2 虚拟仿真模型构建

6.1.2.1 模型形式

虚拟仿真实验过程设计应以科学有效的虚拟仿真模型为基础，针对教学目标和实验内容选择仿真的核心要素，以数学模型、数据驱动模型、逻辑模型或者感知模型等合适的形式，建立适当的模型结构。

6.1.2.2 模型仿真度

虚拟仿真模型应能够反映客观世界的结构和运动规律，具有满足实验要求的仿真度。其模型机理、逻辑要素或者数据结构及数据量应符合客观真实，模型逼真度和模型仿真度等模型质量指标应满足本类型实验教学需要。基于感知模型的用户感受应符合客观真实。

6.1.2.3 模型可用性

虚拟仿真模型应有足够的操作交互性、过程推进性、应用可信度和可靠运行度。应支持教师和实验者作出必要的配置、设置和操作交互，支持实验过程具有推进推演性，能够对不同实验行为做出相应的逼真有效反应，支持实验过程关键要素记录和复盘，保证稳定可靠运行。

6.1.3 实验过程与步骤

6.1.3.1 逻辑完整性

虚拟仿真实验教学项目应是一个独立完整的整体，具有完整的逻辑结构。实验过程与实验步骤应具有针对实验类型（如基础练习型、综合设计型、研究探索型等）的、实验目标聚焦的、完整统一的逻辑结构，能够呈现必要的实验现象，记录必要的实验数据。

6.1.3.2 操作交互空间

实验过程应有足够的反映仿真实质内容的交互操作、参数设置和过程推进步骤。关键实验步骤应具有支持实验者自由开放操作、配置参数、过程推进的足够空间，支持实验者灵活选择操作顺序和实验操作，支持开放的实验方案，允许非最优甚至错误实验方案和操作并产生相应结果。

- a) 基础练习型实验：基础练习型实验过程的交互操作应体现实验综合理论知识和技能训练的实质内容，有多种/项操作选择或者自主判断和操作设计可能，允许非最优操作甚至错误操作，产生相应结果并进行有效反馈。
- b) 综合设计型实验：综合设计型实验过程应有明确的设计任务和目标，应涉及综合知识体系，有多种实验方案设计可能，允许非最优方案甚至错误方案，产生相应结果并进行有效反馈。
- c) 研究探索型实验：研究探索型实验过程应有可预期的研究探索方向，应有足够的研究探索所需要的实验过程现象和数据，体现科学研究或者工程实践的探索规律，支持开放的探索结果。

6.1.3.3 交互操作步骤

关键交互步骤所涉及的操作应有明确有效的教学价值，实验系统/对象的反应应有必要的学术或者知识价值，操作和反应应对应明确的知识或者能力培养点，具有如上特征的有内涵和价值的交互步骤数应至少达到 10 项，对于综合演示实验资源其核心内容应至少达到 2 小时。

- a) 基础练习型实验：关键步骤应反映知识学习或者技能训练（包括操作步骤逻辑）的内涵要求，开启实验等与实验目的无直接关系的步骤不应计入步骤总数，应避免在虚拟仿真实验过程中不能实现教学目的而只能在真实实验中实现的操作步骤。
- b) 综合设计型实验：关键步骤应反映方案设计和方案执行操作的内涵要求，开启实验等与实验目的无直接关系的步骤不应计入步骤总数，应避免简单拖曳对象或者输入不可选择参数之类的无效操作。
- c) 研究探索型实验：关键步骤应反映方案设计和探索推进的内涵要求，开启实验等与实验目的无直接关系的步骤不应计入步骤总数，应避免直接唯一确定性结果作为探索研究结果的现象。

6.1.3.4 实验对象和素材

实验所需的虚拟仿真对象和“配件”“材料”配置应完备充分，应支持多方案、多路径、灵活完整开展实验，实验过程顺畅自然。

6.1.3.5 思政元素

实验过程应结合实际融入马克思主义认识论内容，帮助学生更科学地认识世界，更好地认识国情，认识相关专业领域中“卡脖子”等关键内容，融入政治认同、家国情怀、文化素养、法治意识、道德修养等元素。思政元素融入应正确、自然、有效，不生硬，不出现方向性错误。

6.1.4 教学作用与指导

6.1.4.1 实验过程的教学作用

应充分考虑实验类型需要，设计的实验过程和教学过程应能够从技能训练、原理展示、理论验证、实验方案设计、研究探索或者数据分析等方面发挥教学作用，达到教学目的。

6.1.4.2 交互步骤的教学作用

关键交互步骤的实验操作及相应的实验现象和实验数据分析应有明确的教学作用，以支撑达到整个实验过程的教学目的。

6.1.4.3 过程指导和考核

实验过程应能够向指导教师反馈实验进度和关键步骤的实验质量和问题，系统应具备关键指导性学习资料，实验考核应反映实验过程价值和教学作用。反馈、指导和考核宜有效使用人工智能技术、人工智能系统、人工智能生成内容（AIGC）、大模型等新技术，实现智能化。

6.2 实验过程评价

6.2.1 实验过程综合评价

应体现必要性和教学价值与具体实现的统一，具体实现应准确呼应必要性和教学价值定位。具体实现评价宜采用单项评分求和方式，综合评价以必要性和教学价值评分与具体实现评价总得分相乘得到。

6.2.2 实验过程单项评价

实验过程单项评价应在满分范围内评价，依据虚拟仿真实验过程设计及评价观察点体系（见附录表A.1）给出评分；各单项评分根据观察点综合实现情况进行评价，一般宜分为高中低三档：高档评价在低于满分2分和满分之闭区间评分，指向高水平高质量实验过程设计；中档评价在满分中间值和低于满分2分之左闭右开区间评价，指向实验过程设计基本满足教学需要；低档评价在0分和低于满分中间值之左闭右开区间评价，指向实验过程设计基本不能或者完全不能满足教学需要；评分最小粒度一般取0.5分。

7 实验场景建模与交互

7.1 场景建模与交互要求

7.1.1 场景建模与交互的一般性要求

虚拟仿真实验的场景建模与交互要求包括两个方面：一方面，场景建模应尽可能地模拟真实世界的环境和物理特性，以确保用户体验的真实感和实验结果的可靠性；另一方面，用户能够与仿真环境进行交互，包括操作实验设备、观察实验现象、调整实验参数等。

7.1.2 场景建模与交互的具体要求

7.1.2.1 准确一致

场景建模须准确地反映现实世界或特定理论的物理、化学、生物学等特性，遵循仿真对象的客观运动规律，在视觉效果和逻辑上均符合用户对真实实验的预期，仿真中的各种参数和变量应保持一致性，确保实验结果的可靠性。

7.1.2.2 有效反馈

虚拟仿真实验应提供有效的反馈机制，帮助用户了解实验结果和实验状态。对于需要实时反馈的仿真实验，系统应快速响应用户输入操作。

7.1.2.3 自然交互

虚拟仿真实验的交互宜通过交互设备（例如鼠标、手势识别等）自然交互操作，应具备不同程度提示和反馈，达到在虚拟环境下做真实实验的要求。

7.1.2.4 兼容性

虚拟仿真实验应兼容不同场景建模工具的文件格式，同时兼容不同类型的输入输出设备，在不同的硬件和软件环境中运行，具有较好的兼容性。

7.2 实验场景建模功能要求

7.2.1 实验场景建模主要分类

7.2.1.1 虚拟人物建模

根据人物的角色属性，应描绘清楚人物数量、性别、年龄、服饰、相貌特征（高矮胖瘦）、形态、表情、举止动作、台词等，在涉及文化背景的虚拟仿真实验中，虚拟人物的设计需要考虑到文化差异和适应性。角色模型要保证布线（线面关系）横平竖直，布线应根据角色关节结构进行，布线要尽可能匀称，以方便角色模型拆分纹理贴图坐标（UV）的展开、绘制角色模型贴图、进行骨骼动作绑定制作。骨骼动画多用于对角色的动作制作，从而实现与对象的交互。动画宜流畅，且符合人体运动规律。在符合实际情况和公共常识的基础上，宜高度还原设计脚本所述的真实人物外貌。

7.2.1.2 实验对象建模

实验对象指实验项目中用户操纵的直接对象。根据项目的特性，实验对象宜包括实验过程所涉及的仪器设备、材料或装置，即虚拟实验中所用到的各种虚拟实验仪器、物品、装置、工具及相关预设参数。计算机生成的虚拟实验对象与设计脚本所述的真实实验对象应具有一致性。

7.2.1.3 实验环境建模

实验环境是指实验对象周边环境、场景及摆放物品等设施。应允许用户采用全局视角观察整个实验环境，采用第一人称视角进行环境互动；场景中的光照渲染应采用主体光、环境光、轮廓光的顺序。计算机生成的实验周边环境与设计脚本所述的真实实验环境应保持一致。

7.2.1.4 实验特效建模

实验特效是指实验过程中符合实验规律的水雾、燃烧、爆炸等必要的实验效果。特效建模应能够提供高质量的可视化效果，包括逼真的光影效果、平滑的动画和精细的细节表现。特效、音响、动画等素材与设计脚本所述的真实世界中实验现象应保持高相似性，不能出现错位、过度抽象、逻辑错误、过度失真等问题。

7.2.2 实验场景建模主要环节

7.2.2.1 3D几何建模

用于创建和编辑3D几何模型，宜采用多边形网格、参数化曲线曲面等多种形式构建。常见工具包括但不限于3DS MAX、MAYA等。

7.2.2.2 2D图形绘制

应以提升实验视觉效果，增强用户体验为目标，提供2D图形素材、3D模型纹理等。常见工具包括但不限于Adobe Photoshop等。

7.2.2.3 模型动画制作

模型动画制作是将静态的3D模型赋予动态效果的过程。宜在实验场中按需制作模型动画，包括人物角色的行走跳跃等运动，以及布料、头发、流体等的自然运动效果等。

7.2.2.4 场景光照渲染

应对实验场景进行光照和渲染处理，提升场景的真实感和视觉效果，包括光照模型选择、光源类型和位置设置、阴影生成等。

7.2.3 典型运行环境下的实验场景建模

7.2.3.1 单机型实验场景建模

单机型实验是安装在客户端PC电脑或其他设备上的，不依赖网络环境即可独立运行的虚拟仿真实验系统。建模时宜减少模型面数和贴图数量，当场景比较宏大时，宜使用多层次细节技术（LOD），在让物体拥有真实性的同时，还可以兼顾运行的流畅度。贴图类型宜包括漫反射贴图、高度贴图、法线贴图、金属贴图、透明贴图等。贴图宜选用JPG、TGA格式。

7.2.3.2 网页型实验场景建模

网页型实验是指用户使用浏览器作为交互界面开展的虚拟仿真实验。宜采用HTML5技术，无需安装插件。宜减少模型面数和贴图数量，使用简模，缩小材质贴图的大小，使用无缝贴图。贴图类型包括漫反射贴图、法线贴图、透明贴图等。贴图宜选用JPG、TGA格式。

7.2.3.3 移动型实验场景建模

移动型实验是指在安卓/iOS移动设备上运行的虚拟仿真实验。其建模宜使用JPG格式贴图文件，选用漫反射贴图类型，不制作透明贴图（除地形地貌）。宜使用遮挡剔除，使实验在运行时同屏面数为可视范围内最少。

7.2.4 实验场景建模具体要求

7.2.4.1 模型的面片制作要求

模型不允许有拉伸、漏面、漏缝、重叠面、重线、闪烁面等。结构复杂的大型模型应采用简单模型拼装的方法，消减贴合面，从而减少面片数量。面片数量应满足场景加载和交互的延时要求。

7.2.4.2 材质、贴图制作要求

写实贴图纹理，宜通过材质颜色贴图、高光贴图、法线贴图，真实还原物体表面质感纹理信息。宜采用漫反射贴图、法线贴图、高光贴图、凹凸贴图进行纹理渲染。对光照信息不敏感的实验场景，宜将光照效果预先直接渲染到模型贴图中，减少实时渲染对硬件算力的要求。

7.2.4.3 纹理贴图坐标（UV）展开要求

棋盘格大小应统一，纹理贴图坐标（UV）应完全铺平，避免重叠、拉伸、扭曲、遗漏，最大化提高UV利用率。其中，虚拟角色模型拆分应保证UV与模型布线应一致横平竖直，对称处进行UV重叠，不对称处应保证像素一致。

7.2.4.4 模型的动画与特效要求

特效应尽量达到逼真效果，实现雨、雾、燃烧等效果。如特效过于复杂，如烟雾、毒气等粒子特效，计算性能较高，宜采取适当简化处理方法，在宏观层面表示效果；对于需要多次重复的实验，特效建模应能够提供一致结果，以确保实验的可重复性和可比较性。特效建模应该能够稳定地运行，不出现崩溃或者异常情况。

7.2.5 实验场景建模性能要求

7.2.5.1 显示刷新率

显示刷新率是指用户在动态浏览或操作虚拟仿真实验场景时，输出在显示器上的每秒刷新显示画面数量，反映虚拟仿真实验场景在计算机中运行的流畅性。根据人体视觉研究以及参照视频的规定，单机型实验桌面显示型刷新率宜在 30 帧/秒以上，使用VR头戴式显示器、智能眼镜等的显示刷新率宜在 90 帧/秒以上。

7.2.5.2 首次运行等待时长

用户首次使用实验，从开始下载虚拟仿真实验资源到下载完成并进入可实验状态，所需的平均等待时长宜控制在 60 秒以内。

7.2.5.3 再次运行等待时长

用户第二次及以后使用实验，从开始下载虚拟仿真实验资源到下载完成并进入可实验状态，所需的平均等待时长、再次运行等待时长宜在 20 秒以内。

7.3 实验交互（操作）的功能要求

7.3.1 实验交互功能目标分类

7.3.1.1 输入信息

输入信息是在实验过程中，用户需要输入的信息。基本信息宜包括基于菜单操作的实验名称、实验时间、时间环境、实验脚本等非场景性操作，须包括在具体实验过程中，与虚拟角色、实验对象、实验场景交互的场景性操作。

7.3.1.2 输出结果

输出结果是由交互输入操作直接产生的反馈结果，基本的输出结果宜包括数值、对错、分值、等级、图表等。

7.3.2 实验输入设备与功能

7.3.2.1 实验输入设备和方式

实验输入设备和方式包括：

- a) 鼠标和键盘：宜作为必备的虚拟仿真实验输入的手持设备之一，通过电脑鼠标与实验场景进行交互，支持单击、双击、选择、移动等，通过电脑键盘与实验场景进行交互，支持字符输入、方向键移动等。
- b) VR定位设备和控制器：实验中使用虚拟现实/增强现实/混合现实设备时，宜将定位设备和配套

的操作手柄作为特定的手持设备之一，支持单击、双击、射线选择、移动等输入控制操作。定位设备应满足GB/T 44220 要求。

- c) 语音交互：宜在实验中提供语音交互功能，即通过麦克风，依靠语音识别与实验场景进行交互操作。
- d) 触摸屏：宜通过手机、平板等移动设备的触摸屏直接进行交互，如使用虚拟现实（AR）技术建构的虚拟仿真实验教学项目，宜在触摸屏上直接选择和操作对象。
- e) 图像视频采集：宜利用包括RGB/RGBD等摄像机采集的图像视频信息，利用计算机视觉方法提取的用户输入信号，包括手势、视线等。
- f) 实体模型：实体模型与虚拟仿真软件联动，宜将实体模型上的操作转换成相应数据输入虚拟仿真软件。

7.3.2.2 虚拟仿真实验输入功能

虚拟仿真实验输入功能包括：

- a) 菜单选择：应提供菜单界面交互操作，选择不同的菜单选项以控制仿真实验的实验选择、参数设置、操作控制等。
- b) 文本输入：应提供虚拟仿真实验中的文本输入功能，快速、准确地输入实验所需信息。
- c) 空间操作：应提供虚拟仿真实验中的三维空间操纵功能，用户能够通过软件界面对三维模型或环境进行操作和控制，如旋转、缩放、平移等，以便更直观地观察和理解实验对象或场景。

7.3.3 虚拟仿真实验输出设备与功能

7.3.3.1 图像输出

虚拟仿真实验系统应提供图像反馈输出，分辨率不低于1 080 p，刷新帧率不低于30 帧/秒，视频应符合GB/T 44115.2 要求。显示设备除了最常见的电脑显示器之外，宜根据实验需要增加选配的其他高端显示设备主要包括虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）等头盔型显示终端，以及立体显示器、投影球幕、环幕、透明屏、互动式LED大屏幕、立体投影等，虚拟现实头戴式显示设备应符合GB/T 38259 要求。

7.3.3.2 声音输出

虚拟仿真实验系统应提供声音输出反馈，声音反馈应清晰、无杂音，确保用户能够清楚地听到实验中的各种声音，允许用户根据自己的需要调整音量。

7.3.3.3 触觉反馈

虚拟仿真实验系统如支持触觉反馈，则力反馈应能够模拟现实世界中的物体运动和碰撞，以及相应的作用力和反作用力。力反馈应具有快速的响应速度，能够实时地反映用户的动作和行为，以确保用户能够感受到更加流畅的交互体验。

7.3.3.4 实体模型

实体模型与虚拟仿真软件联动的，宜通过实体模型在动作、形态、温度、颜色等状态的改变作为虚拟仿真实验的输出反馈。

7.3.4 虚拟仿真实验交互操作组成

7.3.4.1 操作目的

须说明设计这一交互操作的目的，包括解决什么问题，培养或考查哪些方面的技能或能力。

7.3.4.2 操作过程

须说明操作过程，包括操作方式、参数设置、材料预设、应答行为等。

7.3.4.3 操作结果

须说明交互操作得到的结果，包括结果形式、分值转换与计算、结果记录与保存等。

7.3.5 虚拟仿真实验交互界面信息组成

7.3.5.1 字幕

宜选择使用字幕，说明是否需要显示人物对话、背景信息以及它们的呈现格式。

7.3.5.2 操作提示

应提供必要的操作提示，具有提示开关控制，即由用户决定是否需要呈现操作提示以及它们的呈现格式。

7.3.5.3 反馈信息

应选择使用是否需要操作反馈信息或结果反馈信息，以及它们的具体内容和呈现形式（文字或语音等）。

7.3.5.4 界面切换

须提供常见方式的有无提示的自动切换，以及点击操作的“上一步”“下一步”等界面控制功能。

7.3.5.5 按钮

应提供包括各种命令按钮及其对应的信息，如“帮助”“提示”按钮。

7.3.6 实验场景交互要求

7.3.6.1 交互真实性

在人与场景模型互动时，场景中的模型运动应当遵循物理运动科学，符合生活常识，须设计合理的碰撞阻挡；互动中的误操作应该有物品、人员损伤的逻辑；涉及特殊微观、宏观场景，场景与人的比例关系允许适当发生变化，但场景内部的比例关系须固定不变，应同时增加人物特效，以示区别。

7.3.6.2 响应时间

应支持用户操作记录的输出，场景加载、场景跳转的最大响应时间宜控制在尽可能短的时间内。

7.3.6.3 交互操作准确性

系统应提供准确进行交互操作的能力，软件应提供清晰的、容易分辨和选择的界面元素。

7.3.6.4 交互操作反馈

用户完成交互操作后，软件应在界面上呈现操作结果，如界面跳转、色彩变化、界面元素变化、动作特效、声音或其他类型的反馈。

7.3.7 实验界面菜单交互

7.3.7.1 首页

实验者应能随时结束实验，返回首页，以便虚拟仿真实验者重新开始实验，或者选择进入到首页中的其他模块。

7.3.7.2 全屏

虚拟仿真实验者应能自主控制实验界面处于全屏或非全屏状态。

7.3.7.3 帮助

应提供实验帮助功能，告知实验者操作方式、注意事项和新手引导，以便帮助虚拟仿真实验者快速地掌握和熟悉实验操作。

7.3.7.4 登录

应为虚拟仿真实验者提供登录功能，宜以账号和密码登录实验系统，记录相应数据信息和进行安全验证。

7.3.7.5 保存实验

宜提供实验保存功能，使实验者能够保存实验周期内任意时间节点的实验状态，以便实验者根据上次保存的实验继续后续实验。

7.3.7.6 恢复实验

对应保存实验功能，应提供恢复实验功能，以便实验者根据恢复的实验继续后续实验操作。

7.3.7.7 提交实验报告

应实现提交实验报告功能，以实现虚拟仿真实验结果的存储和评价。

7.3.7.8 请求指导

应提供请求指导功能，由虚拟仿真实验系统实时地对实验者进行指导，提供包括错误提示、引导提示、对话框提示、讲解提示等。

7.3.7.9 教学模式切换

虚拟仿真实验应提供示教模式、学习模式、考核模式之间切换的功能。

7.3.7.10 实验信息维护

虚拟仿真实验资源管理者应能够进行实验信息的添加、修改和删除操作，填写相关信息后，宜对该实验进行灵活配置和展示。

7.3.8 实验交互操作具体要求

7.3.8.1 交互界面清晰性

实验交互操作界面设计应逻辑清晰，符合大多数用户的使用习惯，主要功能按钮应用突出的颜色和形状加以标识，以使用户快速掌握使用实验的方法和路径，能够支持新用户在没有接受培训情况下按界面提示完成常规的交互操作，如软件打开、退出、选择等。如有需要提前预装的插件，应自动提示用户点击下载。用户点击按钮进行完下一步操作之后，系统应给予用户相应的反馈信息，包括操作错误的提示等。

7.3.8.2 操作引导有效性

实验系统应具备有效引导的能力，操作界面中应包含用户操作方式引导，应保证用户可以通过操作方式引导完成相应的操作。用户完成相应操作后，应给予用户引导或提示。

7.3.8.3 操作方式适配性

操作方式不应超出实验接入设备的支持范围，常用操作的定义应与用户习惯和使用惯例保持一致。

7.3.8.4 并发数

多个用户同时访问及下载资源或进行实验操作、进行服务器端仿真计算等，实质占用服务器性能及其网络带宽等服务器端系统资源的最大允许用户数量，并不是指仅仅同时在线这种几乎不占用服务器端系统资源的情况。一般情况下，C/S、B/S型系统应支持不少于100人并发使用，云VR型系统应支持不少于30人并发使用。

7.3.8.5 实时性

用户与虚拟仿真实验对象的交互响应速度通常应控制在1秒以内。

7.3.8.6 准确性

手势、语音、按键等交互方式准确率不低于90%。

7.4 测试方法

7.4.1 实验建模量化指标及测试方法

7.4.1.1 科学真实性

科学真实性应满足以下要求：

- a) 将虚拟仿真实验中的场景建模与现实世界进行对比，检查模型是否符合实际现象和规律。例如，可以检查模型中的物体比例、颜色、纹理等是否与现实世界相符。
- b) 邀请不少于20人对虚拟仿真实验场景的科学真实性进行打分，1为非常不真实，10为高度真实。记录用户的评分，平均分数不低于6分即满足要求。

7.4.1.2 显示刷新率

显示刷新率应满足以下要求：

- a) 确保电量在 50%以上，网络连接正常，且后台无其他软件运行。
- b) 在软件正常使用过程中，每隔 10 秒记录一次当前的渲染帧率，连续记录 10 次，10 次的平均值即系统的平均显示刷新率。
- c) 在测试的全过程中，记录画面是否出现过卡顿、拖影现象。

7.4.1.3 首次运行等待时间

首次运行等待时间应满足以下要求：

- a) 选择具有代表性的测试设备（不低于推荐配置）。确保测试设备具有足够的内存和存储空间，以避免因硬件资源不足而影响测试结果。
- b) 在测试设备上安装虚拟仿真实验系统，确保安装过程顺利，不出现错误或异常。
- c) 在测试设备上启动应用程序，记录从应用程序启动 T_0 ，以及可以与用户进行交互所需的时间 T_1 。首次运行等待时间： $T=T_1-T_0$ 。
- d) 重复测试至少 3 次，平均值不低于相应指标值即满足条件。

7.4.1.4 再次运行等待时间

再次运行等待时间应满足以下要求：

- a) 选择具有代表性的测试设备（不低于推荐配置）。确保测试设备具有足够的内存和存储空间，以避免因硬件资源不足而影响测试结果。在测试设备上已经安装并运行一次以上虚拟仿真实验软件。
- b) 在测试设备上启动应用程序，记录从应用程序启动 T_0 ，以及可以与用户进行交互所需的时间 T_1 ；再次运行等待时间： $T=T_1-T_0$ 。
- c) 重复测试至少 3 次，平均值不低于相应数值即满足条件。

7.4.2 虚拟仿真实验交互要求测试方法

虚拟仿真实验交互要求测试方法应符合 GB/T 38258 要求。

- a) 交互界面清晰性：新用户在不查看说明书的情况下，能否完成软件的打开、退出、选择等基本操作。
- b) 操作引导有效性应包含：
 - 1) 查看软件界面的操作方式引导。
 - 2) 跟随操作方式引导完成相应的操作。
 - 3) 完成操作后，检查是否给予用户引导或提示。
- c) 操作方式适配性应包含
 - 1) 检查软件的操作方式是否有设备不支持的操作方式。
 - 2) 检查软件的操作方式是否至少包含一种设备支持的操作方式。
- d) 交互操作并发数应满足以下要求：
 - 1) 通过不低于 N 台设备终端同时发起交互操作请求，记录每台设备在连续一分钟内的平均请求响应时间 T 。
 - 2) 根据上述步骤记录数值，计算每秒交互操作并发数=并发量 N /平均响应时间 T 。
 - 3) 重复测试至少 3 次，平均值不低于相应数值即满足条件。

- e) 交互操作实时性应满足以下要求：
- 1) 检查软件是否存在操作后没有反馈的元素，比如界面跳转、色彩变化、界面元素变化、动效反馈、声音反馈或其他类型。
 - 2) 若反馈正常，分别记录用户交互操作的时间 T_0 ，及交互结果反馈的时间 T_1 。交互操作反馈的响应时间 $T=T_1-T_0$ 。
 - 3) 重复测试至少 3 次，平均值不低于相应数值即满足条件。
- f) 交互操作准确性应满足以下要求：
- 1) 打开软件，准确地执行交互操作指令。
 - 2) 选定 3 个典型任务，连续执行 10 次，记录准确次数，平均值不低于相应数值即满足条件。

8 实验数据与平台接口

8.1 数据流程和资源包结构

8.1.1 数据流程

系统由平台侧与用户侧组成，数据在系统中的主要数据流程应包括以下几个步骤：

- a) 管理员将制作完成的虚拟仿真实验资源包注册至平台，在平台统一管理多类型实验包。
- b) 普通用户在进行实验之前需进行用户注册和认证。
- c) 开展实验时需根据实验类型进行实验包数据访问：轻型实验从浏览器直接访问并进行实验；重型实验则需要从平台侧访问并下载实验包至本地，经由用户部署至本地符合各实验包安装环境要求的多硬件平台后开展实验。
- d) 实验过程中或结束后将实验文件、实验结果等数据上传至平台。

8.1.2 资源包结构

资源包结构应至少包含表 2 的项目类型。

表 2 资源包结构表

序号	项目	描述
1	封面图片	实验预览图片文件
2	实验程序目录	对轻型实验，目录下包含在浏览器运行的所有文件，对重型实验，目录下包含可执行文件集，用于运行实验。具体使用方法请参考实验包信息文件中的相关内容
3	使用说明书	实验使用说明文件，以图文并茂的方式介绍实验内容、使用方法等相关内容
4	属性文件	当前实验包属性描述文件

资源包属性描述应至少满足表 3 的要求。

表 3 资源包描述表

序号	字段	描述
1	名称	实验项目的名称或标题
2	类型	指明实验的类型，如轻型实验或重型实验
3	作者	实验项目的作者或创建者

表 3 资源包描述表（续）

序号	字段	描述
4	组织	作者所属的单位或组织的名称
5	运行环境	描述实验运行所需的硬件环境和软件版本要求
6	学科	说明该实验适用的课程或学科
7	专业大类	表示实验所归属的专业大类的名称，必须与平台的分类标题保持一致
8	专业类	表示实验所归属的具体专业类的名称，必须与平台的专业标题保持一致
9	项目级别	表示实验项目的认定级别，例如国家级、省级、校级、其他或无
10	实验类型	用于进一步细分实验类型，例如基础练习型、综合设计型、研究探索型或其他
11	实验描述	提供对实验项目的描述和介绍

8.2 信息交互

8.2.1 信息交互流程规范

8.2.1.1 信息交互流程和系统组成

信息交互流程和系统组成如图 1 所示。

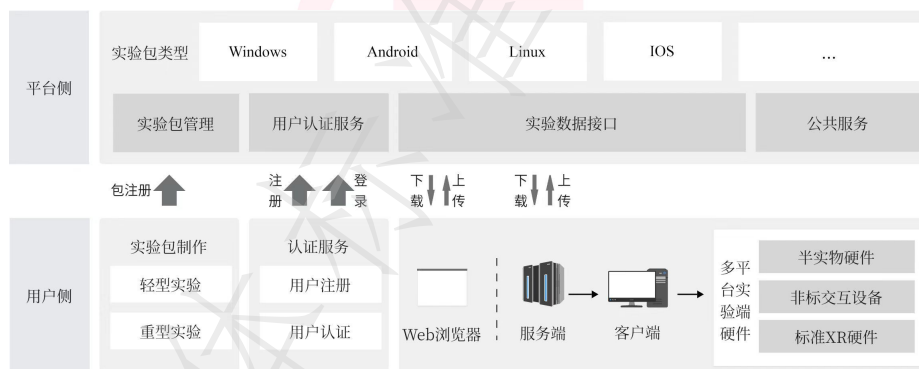


图 1 信息交互流程和系统组成示意图

8.2.1.2 信息交互流程

在用户进行实验时，实验和虚拟仿真实验管理平台之间的信息交互应符合图 2 所示的基本流程。

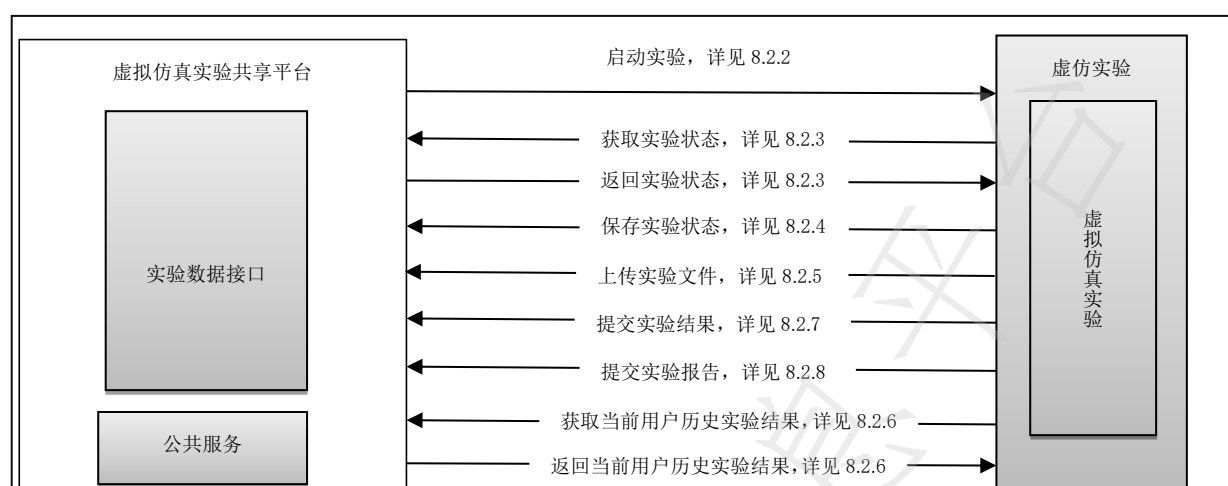


图 2 实验信息交互流程图

8.2.2 虚拟仿真实验共享平台启动实验

虚拟仿真实验共享平台用户应能够在平台上启动实验。

8.2.3 虚拟仿真实验保存实验状态

虚拟仿真实验操作过程中，应允许临时把实验操作路径和实验状态数据保存到平台，防止异常情况导致的数据丢失。能够根据需要多次临时保存实验状态，以最后一次保存状态为最终实验状态。

8.2.4 虚拟仿真实验获取实验状态

虚拟仿真实验内部应能调用获取实验状态接口，获取上次保存的操作路径和实验数据、实验运行模式，用于回放或恢复上次实验状态。

8.2.5 虚拟仿真实验完成后上传实验文件

虚拟仿真实验过程中应能调用实验文件上传接口，保存实验文件到平台。

8.2.6 虚拟仿真实验获取历史记录

虚拟仿真实验操作过程应能调用历史数据获取接口，查询用户的历史数据。

8.2.7 虚拟仿真实验提交实验结果

虚拟仿真实验完成后应能调用数据回传接口，保存实验结果数据到平台，同时支持上传实验报告、实验包相关辅助材料。

8.2.8 虚拟仿真实验提交实验报告

虚拟仿真实验完成后应能调用实验报告上传接口，保存实验报告到平台。

8.3 数据模型规范

8.3.1 虚拟仿真实验数据模型规范

虚拟仿真实验数据模型应保证各项实验相关数据记录的完整性和一致性，建立数据模型时应至少包

括实验成绩规范、实验操作记录规范、实验报告规范等数据模型。

8.3.2 实验成绩规范

实验成绩规范应至少满足表 4 的字段要求。

表 4 实验成绩规范表

序号	字段	描述
1	实验编号	虚拟仿真实验标识符，由平台生成
2	用户编号	用户的唯一编号，由平台生成
3	实验操作记录	多次操作仿真实验对应的记录集合

8.3.3 实验操作记录规范

实验操作记录规范应至少满足表 5 的内容要求。

表 5 实验操作记录规范表

序号	内容	描述
1	实验关键操作编号	每次操作实验的唯一编号，由实验生成
2	实验状态	实验的完成状态，用于标识实验是否已经完成
3	实验步骤得分	仿真实验的所有操作步骤的得分合计
4	实验数据得分	仿真实验的实验数据处理部分的得分合计
5	实验开始时间	实验操作开始时间
6	实验结束时间	实验操作结束时间
7	实验耗时	实验操作用时，实验结束时间—实验开始时间
8	实验步骤	操作仿真实验对应的具体实验步骤记录集合

实验步骤记录应至少满足表 6 的内容要求。

表 6 实验步骤记录表

序号	内容	描述
1	步骤编号	实验步骤唯一编号
2	步骤名称	实验步骤定义名称
3	开始时间	实验步骤操作开始时间
4	结束时间	实验步骤操作结束时间
5	耗时	实验步骤操作用时，结束时间—开始时间
6	合理用时	实验步骤操作所需的合理用时
7	步骤满分	实验步骤的满分值，十进制或其他进制表示
8	得分	实验步骤本次得分
9	操作次数	记录实验步骤操作次数
10	步骤评价	对实验步骤的综合评价
11	赋分模型	定义该步骤的赋分标准

8.3.4 实验报告规范

实验报告规范应至少满足表 7 的内容要求。

表 7 实验报告规范表

序号	内容	描述
1	实验编号	虚拟仿真实验标识符，由平台生成
2	用户编号	用户的唯一编号，由平台生成
3	实验操作报告	多次操作仿真实验对应的实验报告集合

实验操作报告应至少满足表 8 的内容要求。

表 8 实验操作报告表

序号	内容	描述
1	实验操作编号	每次操作实验的唯一编号，由实验生成
2	实验报告	文档格式报告文件

8.4 接口调用规范

8.4.1 授权机制

平台和虚拟仿真实验之间通过令牌授权机制进行合法性校验，平台对接入的虚拟仿真实验颁发应用标识和应用密钥用于生成授权令牌，后续访问均基于令牌授权机制，保证数据传输的合法性。具体授权过程为：

- 平台为每个接入的虚拟仿真实验分配唯一的应用标识、应用密钥。
- 当虚拟仿真实验启动时，平台生成动态令牌码信息并授权给实验，平台应利用高强度加密算法生成令牌，例如：令牌=MD5(应用标识+应用密钥+时间戳)。(时间戳用于记录令牌失效时间)。
- 运行虚拟仿真实验时，实验应根据分配的唯一应用标识、应用密钥和令牌调用平台接口获取访问令牌凭据信息。
- 与平台所有交互接口需携带令牌凭据，平台会验证凭据合法性，为了保证接口调用安全性，凭据应设置有效期，例如 24 个小时，过期需要重新获取。

8.4.2 签名机制

为保证请求及数据传输安全，平台和虚拟仿真实验交互时应通过签名机制进行安全性校验，确保每次调用接口防伪造、防篡改和防抵赖，保证信息传输的完整性和安全性。签名机制包括：

- 时间戳：**每次调用的接口中都包含一个时间戳字段，当前请求超过默认时间后，则认定为该请求失效，需要重新发送请求，默认时间内多次请求需要结合随机数使用。
- 随机数：**每次调用的接口中都包含一个随机数，并设置到期时间，每次请求时都会存入缓存，到期自动销毁，确保请求在规定时间内仅能请求一次，降低了多次调用被攻击的风险。
- 签名生成：**虚拟仿真实验将时间戳、随机令牌和应用标识以特定顺序进行加密形成签名字符串，然后使用应用密钥对签名字符串加密产生验证码，作为调用接口的请求头参数发给平台。
- 签名验证：**平台收到请求后，提取接口中的字段，通过应用标识找到应用密钥，以同样的方法计算签名字符串和验证码，如果计算出的验证码与接口参数中的相同，即认为该请求是有效的；否则，平台拒绝处理这次请求，并返回错误。

8.4.3 数据字段加密

为保证传输实验数据的安全性，实验应对重要数据字段进行加密编码（例如，对敏感字段进行Base64编码处理），存储至平台。存储数据不做解码处理，以保证数据安全。应加密处理的数据字段包括：实验操作状态、实验操作步骤和实验报告数据。

8.4.4 接口协议

8.4.4.1 接口传输协议

为了保证传输安全和传输效率，接口协议应采用HTTPS传输协议，支持GET/POST两种请求方式。

8.4.4.2 接口参数命名要求

为保证请求规范性，接口参数命名应满足以下要求：

- a) 首字母小写，如果参数名由多个单词组成，相连单词的首字母要大写（例：userInfo）。
- b) 英文缩写词一律小写（例：vcd）。
- c) 只能由 [A~Z]、[a~z]、[0~9]以及字符“-”“、”“_”“.”组成参数名。
- d) 不能以数字开头。
- e) 不允许出现中文及拼音命名。

8.4.4.3 公共请求头格式

系统接口的公共请求头设计应至少满足表9的基本参数要求。

表9 请求头信息示例

序号	参数	描述
1	签名字段	用于验证请求合法性的认证信息，签名字段
2	日期字段	超文本传输协议中规定的格林尼治标准时间
3	主机字段	访问主机字段值 (一般的超文本传输协议客户端工具都会自动带上这个请求头)
4	加密签名	以特定顺序进行加密后的签名（详见8.4.2）
5	时间戳	时间戳（详见8.4.2）
6	随机数	随机数（详见8.4.2）
7	当前接口版本	当前应用程序接口服务版本
8	签名加密算法	签名加密算法，支持自定义算法规则

8.4.4.4 输入参数要求

输入参数应将请求内容以JSON格式进行编码，用于传递结构化的数据。

8.4.4.5 输出参数要求

输出参数应包含状态码和消息信息，其中状态码为操作及信息返回状态码，用于显示操作结果或错误；消息信息为返回的提示信息。状态码要求完整描述返回的状态信息，应至少包含表10所列举的典型错误信息类型。

表10 基本接口错误表

序号	错误信息描述
1	调用成功
2	参数错误（返回具体参数或格式错误）
3	密钥错误（返回具体密钥错误信息）
4	无效的令牌（返回具体错误信息）
5	服务器未能理解请求
6	访问的服务器地址未授权等
7	地址尚未被使用等
8	接口读写访问禁止等
9	无法被互联网站点所请求等
10	服务器未知错误
11	其他错误（返回提交数据的具体错误信息，例如：非空项未填写、分数类型错误、时间格式错误等）

8.5 接口功能定义

8.5.1 接口功能设计要求

接口功能设计应至少包含本节各个参数表中所述的基本参数及功能；如未特殊说明，接口参数设计均应包含公共参数，公共参数见表 11。

表 11 公共参数表

序号	参数	类型	说明
1	应用标识符	输入参数	平台分配的唯一应用标识符
2	数字签名	输入参数	数字签名用于平台测认证合法性
3	访问令牌	输入、输出参数	输入：平台生成的访问令牌，启动实验时由平台传递给仿真实验 输出：接口调用凭证，后续所有接口调用均需要次参数
4	状态码	输出参数	如：状态码为0则成功；其他为失败
5	消息信息	输出参数	状态码对应的具体信息

8.5.2 访问令牌获取接口

为保证接口调用安全性，所有接口调用都应传递接口调用凭证访问令牌。访问令牌有效期为 24 小时，过期后则需重新获取。访问令牌获取接口输入、输出参数应符合以下要求：

- a) 访问令牌获取接口输入参数应至少包含表 11 的公共参数。
- b) 访问令牌获取接口输出参数应至少包含表 12 的参数。

表 12 访问令牌获取接口输出参数表

序号	参数	说明
1	访问令牌	接口调用凭证，后续所有接口调用均需要次参数
2	创建时间	调用凭证的创建时间
3	过期时间	调用凭证的过期时间

8.5.3 访问令牌刷新接口

访问令牌有效期为 24 小时，过期后则需重新获取。访问令牌刷新接口输入、输出参数应符合以下要求：

- a) 访问令牌刷新接口输入参数应至少包含表 11 的公共参数。
- b) 访问令牌刷新接口输出参数应至少包含表 13 的参数。

表 13 访问令牌刷新接口输出参数表

序号	参数	说明
1	创建时间	新的接口调用凭证的创建时间
2	过期时间	新的接口调用凭证的过期时间

8.5.4 用户校验登记接口

用户名密码和实验标识符到平台校验，校验成功后，应返回用户详细数据。用户校验登记接口输入、输出参数应符合以下要求：

- a) 用户校验登记接口输入参数应至少包含表 14 的参数。

表 14 用户校验登记接口输入参数表

参数	说明
用户编号	当前登录用户编号

b) 用户校验登记接口输出参数应至少包含表 11 的公共参数。

8.5.5 存储实验状态

存储实验操作过程操作产生的路径和状态数据。存储实验状态输入、输出参数应符合以下要求：

a) 存储实验状态输入参数应至少包含表 15 的参数。

表 15 存储实验状态输入参数表

序号	参数	说明
1	实验标识符	实验标识符
2	用户编号	当前登录用户编号
3	状态	自定义操作路径和状态序列，为保证数据安全性需做加密处理
4	操作标识符	操作实验记录标识符

b) 存储实验状态输出参数应至少包含表 11 的公共参数。

8.5.6 获取实验状态

应获取实验过程操作路径和状态数据，用于恢复实验状态。获取实验状态输入、输出参数应符合以下要求：

a) 获取实验状态输入参数应至少包含表 16 的参数。

表 16 获取实验状态输入参数表

序号	参数	说明
1	实验标识符	实验标识符
2	用户编号	当前登录用户编号
3	操作标识符	操作实验记录标识符

b) 获取实验状态输出参数应至少包含表 17 的参数。

表 17 获取实验状态输出参数表

参数	说明
状态	自定义操作路径和状态序列，需做对应的解密处理

8.5.7 提交实验结果

实验操作结束后，步骤分、数据分、得分细项等操作结果应上传到平台。提交实验结果输入、输出参数应符合以下要求：

a) 提交实验结果输入参数应至少包含表 18 的参数。

表 18 提交实验结果输入参数表

序号	参数	说明
1	实验标识符	实验标识符
2	用户编号	用户标识符
3	回传数据	实验回传数据，为保证数据安全性需做加密处理

1) 回传数据参数应至少包含表 19 的参数。

表 19 回传数据参数表

序号	参数	说明
1	操作标识符	每次操作实验记录标识符
2	实验状态	实验的完成状态：完成、未完成
3	步骤分	实验步骤分数
4	数据分	实验数据分数
5	开始时间	实验开始时间
6	结束时间	实验结束时间
7	耗时	实验耗时
8	步骤列表	实验步骤列表，实验步骤定义参考“步骤记录”定义
9	分组标识符	分组标识符
10	分组名称	分组名称
11	分组角色	分组角色
12	分组成员	分组成员
13	实验数据	实验数据（参考下述赋分模型）

2) 步骤记录参数应至少包含表 20 的参数。

表 20 步骤记录参数表

序号	参数	说明
1	步骤标识符	该步骤的唯一标识符（编号）
2	步骤名称	该步骤的名称
3	开始时间	该步骤的开始时刻
4	结束时间	该步骤的结束时刻
5	耗时	该步骤自始至终的总耗时
6	合理用时	该步骤所需的合理用时
7	步骤满分	该步骤的得分上限
8	步骤得分	该步骤的实际得分
9	操作次数	该步骤的操作次数
10	评价	该步骤的总体评价
11	赋分模型	该步骤所应用的赋分模型
12	步骤描述	步骤描述
13	实验数据	自定义实验数据

b) 提交实验结果输出参数应至少包含表 11 的公共参数。

8.5.8 获取实验结果

平台获取标识符对应的步骤分、数据分、得分细项等操作结果数据后，应反馈状态信息。获取实验结果输入、输出参数应符合以下要求：

a) 获取实验结果输入参数应至少包含表 21 的参数。

表 21 获取实验结果输入参数表

序号	参数	说明
1	实验标识符	实验标识符
2	用户编号	当前登录用户编
3	操作标识符	操作实验记录标识符

b) 获取实验结果输出参数应至少包含表 22 的参数。

表 22 获取实验结果输出参数表

序号	参数	说明
1	用户名	登录用户名
2	状态	实验的完成状态：完成、未完成
3	内容信息	数据内容信息（见表23）

1) 数据内容信息应至少满足表 23 的参数要求。

表 23 数据内容参数表

序号	参数	说明
1	操作标识符	每次操作实验记录标识符
2	状态	实验的完成状态：完成、未完成
3	步骤分	实验步骤分数
4	数据分	实验数据分数
5	开始时间	实验开始时间
6	结束时间	实验结束时间
7	耗时	实验耗时
8	步骤列表	实验步骤列表（见表24）
9	分组标识符	分组标识符
10	分组名称	分组名称
11	分组角色	分组角色
12	分组成员	分组成员
13	实验数据	实验数据

2) 步骤记录参数应至少包含表 20 的参数。

实验结束后，实验报告内容应上传到平台。上传实验报告输入、输出参数应符合以下要求：

a) 上传实验报告输入参数应至少包含表 24 的参数。

表 24 上传实验报告输入参数表

序号	参数	说明
1	实验标识符	实验标识符
2	用户编号	当前登录用户编号
3	操作标识符	操作记录标识符
4	文件名	实验报告上传的文件名
5	标题	实验报告标题，一般为实验名称
6	描述	描述
7	附件	图片、视频、音频和pdf等各类附件

注：文件正文加密处理后应放置于请求体中，其他附件文件应一起上传、实验报告中的图片、视频、音频和文档等各类附件都使用该接口上传。

b) 上传实验报告输出参数应至少包含表 11 的公共参数。

8.5.10 获取实验报告

获取实验报告，应反馈状态信息。获取实验报告输入、输出参数应符合以下要求：

a) 获取实验报告输入参数应至少包含表 25 的参数。

表 25 获取实验报告输入参数表

序号	参数	说明
1	压缩模式	是否需要压缩
2	实验标识符	实验标识符
3	用户编号	当前登录用户编号
4	操作标识符	操作记录标识符

b) 获取实验报告输出参数应至少包含表 26 的参数。

表 26 获取实验报告输出参数表

序号	参数	说明
1	报告文件	地址信息
2	附件	附件列表地址

8.5.11 上传实验文件

用于实验报告以外的实验文件上传，实验过程中产生的图片、视频、音频等各种二进制文档应存储到平台保存，上传文件应返回一个超文本传输协议指向的唯一标识符，通过该标识符地址能够直接访问或下载。上传实验文件输入、输出参数应符合以下要求：

a) 上传实验文件输入参数应至少包含表 27 的参数。

表 27 上传实验文件输入参数表

序号	参数	说明
1	实验标识符	实验标识符
2	用户编号	当前登录用户编号
3	文件名称	实验报告上传的文件名
4	素材名称	素材名称
5	描述	描述信息

b) 上传实验文件输出参数应至少包含表 28 的参数。

表 28 上传实验文件输出参数表

参数	说明
文件标识符	文件对应的唯一标识符
注：状态码：返回码，0代表成功，1代表文件超出大小，其他代码失败； 示例：文件标识符“https://xx/63C028001EA83979F184D0D3B6743F21”。	

9 虚拟仿真实验室建设

9.1 基础环境

9.1.1 虚拟仿真实验教学场所

9.1.1.1 规划和布局要求

应根据实验室场地类型、人员容量、人员活动余量、装修效果、设备摆放位置等因素合理规划虚拟仿真实验教学场所的场地面积和实验室布局，虚拟仿真实验场所可以分布在一个物理空间内或多个物理空间中。宜将多个实验场所划分为专业虚拟仿真实验室、公共虚拟仿真实验室、虚拟仿真展示体验实验

室、虚拟仿真研发实验室、思政虚拟仿真实验室和安全虚拟仿真实验室等不同类型。其中专业虚拟仿真实验室为必须建设内容，虚拟仿真研发实验室为推荐建设内容，其他为选择建设内容。各建设单位应立足自身教学发展需要和专业设置特色，选择不同的实验室进行组合，充分利用现有实验教学场地，通过功能升级或环境改造等实现综合利用，并在某些实验要求每个学生都要全程独立操作的情况下，尽量按教学组织要求保证一人一位，以及在其他情形下采用接近其实际教学效果的小组式多人一位，满足学生独立或协同操作的多元化实验教学需要。

9.1.1.2 专业虚拟仿真实验室

专业虚拟仿真实验室是面向专业学生需求建设的一个或多个专业特色突出的高水平虚拟仿真实验室。该类型实验室应以学生自主实验为主，独立或协同操作，通过视觉、听觉、触觉等全方位环境的营造，面向专业为学习者构建身临其境的沉浸式教学体验。场地布局形式应自由灵活，设备种类尽量丰富，宜采用桌面型系统、沉浸型系统、增强型系统、专用型系统、移动型系统、组合型系统等。宜优先建设以研究探索型实验和综合设计型实验为主的虚拟仿真实验内容。研究探索型实验针对学科或行业发展前沿问题，以学生自主设计为基本要求，面向前沿领域规划实验内容。综合设计型实验要包含多门课程原理、方法和技术，培养学生融通专业课程、应用相关知识、通过自主设计解决实际问题的能力。专业虚拟仿真实验室通常列为必建内容，要求优先建设虚拟仿真必要性和专业教学必要性最强的专业课程虚拟仿真实验室，要保证资金投入，配置专业教学与维护团队以确保取得实效。

9.1.1.3 公共虚拟仿真实验室

公共虚拟仿真实验室是面向公共基础或专业基础课程建设的虚拟仿真实验室。该类型实验室应以教师演示讲授或学生自主实验为主，服务一对多的实验教学活动的。一般宜采用大屏型系统或其他通用型设备，配套相应交互设备，以及多个学生实验工位，提供大视野、立体可视化教学环境。宜使用仿真资源通过数字建模技术还原真实实验场景，开展适合通用设备的通用类型虚拟仿真实验。公共虚拟仿真实验室作为选择建设内容，要求共享实训场地和软硬件系统，确保设备利用率和资源共享率。

9.1.1.4 虚拟仿真展示体验实验室

虚拟仿真展示体验实验室是用于科技前沿或基础实验教学成果展示、科普、体验等的实验室。该类型实验室的建设宜采用交互性强、体验感好的虚拟现实硬件设备，通常需要以大屏型系统为主，配套选用多种新型交互设备，体现视觉沉浸感、交互自然性和内容前沿性。宜考虑设置若干成果展示体验功能区、虚拟训练区、数据评估区等，发挥院校在科技创新、教学成果上的引领示范作用。虚拟仿真展示体验实验室为选择建设内容，要求根据特色和优势等选择展示体验项目，并相应设置若干展示体验功能区。

9.1.1.5 虚拟仿真研发实验室

虚拟仿真研发实验室是用于虚拟仿真实验资源的开发、调试、维护的实验室。应主要承载教学资源研发以及已有资源升级维护功能，能够让学生掌握应用创新开发基础，提升创新创业实践能力，由实验室使用者进阶为实验研发者。一般宜包括理论教学资源、实践项目案例、教材、开发工具、素材库，以及硬件设备等，便于师生高效地完成新资源的创新开发。通常以开发工位组成的师生开发交流学习区为主，配套多种虚拟仿真测试设备，采用方便移动开发的移动型系统等多种设备，以保证开发和测试效率。虚拟仿真研发实验室作为有条件院校的推荐建设内容，宜根据实际需要划分为需求讨论、脚本开发、软件测试、资源存储和共享等功能区。

9.1.1.6 思政虚拟仿真实验室

思政虚拟仿真实验室是为思政学习而建设的专业型实验室。宜建设思政虚拟仿真实验室党建文化墙，采用图、文、宣传栏搭配有鲜明党建特色的装修风格，以直观的形式带给学生较强的思政教育氛围。通常要配套新时代、周年庆典、党史、新中国史、改革开放史等主题虚拟仿真实训资源，更好地服务于思政教育。思政虚拟仿真实验室为选择建设内容，要求将看不见摸不着的思政要点具象化，结合新形势和时代背景要求，充分运用新技术，以数字化手段赋能思政教育。

9.1.1.7 安全虚拟仿真实验室

安全虚拟仿真实验室是为安全教学活动而建设的专业实验室，宜包括火灾逃生、安全疏散、实验室爆炸逃生、专业实验涉及的安全操作/注意事项等实验资源，向师生普及实验室安全知识，增强师生实验室安全意识。安全虚拟仿真实验室为选择建设内容，要求结合院校实验室安全管理重点工作和存在的安全隐患，综合运用虚拟仿真技术，营造多人参与的沉浸式安全演练环境和系统，切实提高实验室安全和应急水平。

9.1.2 网络环境

9.1.2.1 网络带宽

服务器端网络带宽通常应达到 300 Mb/s 以上，同时放宽防火墙对流量的限制，以满足用户快速访问资源的目的。服务器的带宽和计算资源，应能够支撑一定规模人数在线仿真学习的并发访问、数据通信与计算等请求，一般优先采用校园网为基础建设无线网络，同时建议采用国产 5G/6G 无线标准，在明确教学需求的前提下，积极引入 5G/6G 大规模天线、密集网络、全频谱接入等技术，提高无线传输能效，打通虚拟信息化应用从用户移动终端到无线 AP 的“最后一公里”。应用中如出现网络拥塞等情况，要为新增用户提供等待提示，纳入预约队列。

9.1.2.2 网络安全

网络安全防范体系应与虚拟仿真实验教学管理及资源共享平台同步规划、同步建设、同步实施、同步验收。宜部署云监测系统或本地监测系统，包含视频监控与网络数据监控等模块，对全部系统实施全方位监测，提供 24 小时无人/有人值守巡检，并能为维护人员提供清晰的故障分析报告和预警信息。应部署容灾备份系统，实现平台数据在容灾备份系统的同步复制和异地备份。除基本的校园网设备，如需建设更快更稳定的无线网络，还应基于国家 5G/6G 通信标准，引入网络设备虚拟化技术，构建安全性强且部署配置灵活的虚拟仿真服务机制。

9.1.3 服务器和存储

9.1.3.1 服务器类型

遵循各院校数字化校园建设总体思路，虚拟仿真实验服务器端宜采用分布式架构，部署在学校数据中心或中央机房中，与学校信息化系统无缝集成。服务器系统应承载包括云 VR 在内的多种形式的虚拟仿真实验软件运行，实现虚拟仿真实验软件的集中管理与网络共享。具体分为应用与存储服务器、云 VR 服务器、云计算服务器等。基于校园数据网络与虚拟仿真实验网络情况，宜按需增配与网络通信设备相关的控制服务器与边缘计算设备，在提升实际网络运行稳定性的同时，提升用户资源传输速度与本地计算效率。

9.1.3.2 应用与存储服务器

应用与存储服务器包括：

- a) 虚拟仿真实验教学管理及资源共享平台服务器根据各院校具体应用规模和性能要求，选择采用单服务器或服务器集群方式部署。
- b) 单服务器方式部署，适用于面向单个项目小规模应用的情况。配置 1 台应用服务器（至少 32 GB 内存+200 GB 系统硬盘+4 TB 及以上数据硬盘），采用 16 核及以上 CPU，数据硬盘支持扩容。
- c) 服务器集群方式部署，适用于面向全校多个院系和校际共享大规模应用的情况。至少配置 1 台数据库缓存服务器（至少 32 核 CPU+64 GB 内存+200 GB 系统硬盘+4 TB 及以上数据硬盘）、1 台应用服务器（至少 16 核 CPU+32 GB 内存+100 GB 系统硬盘+2 TB 及以上数据硬盘）、1 台文件服务器（至少 16 核 CPU+32 GB 内存+100 GB 系统硬盘+4 TB 及以上数据硬盘），数据硬盘支持扩容。
- d) 以上方式均可选用各种主流专用服务器，并考虑采用双机备份方式运行，操作系统建议采用 Linux（如 CentOS、Ubuntu、openEuler、UOS 等）。对外服务建议统一通过应用服务器 443 端口提供，443 端口上同时使用 HTTPS 协议和 WebSocket 协议。

9.1.3.3 云 VR 服务器

宜依托云 VR 技术，将 3D 程序资源存储在服务器上，仅将渲染后的 3D 画面推送给“瘦客户端”，降低用户终端的信息处理开销和数据传输总量，用户无需配置高性能、高成本的实时渲染终端，也无需配置额外的适配终端，同时较好地解决应用终端环境兼容性问题。根据并发数需求配置渲染服务器（48 核 CPU+128 GB 内存+1 TB 系统硬盘+4 TB 及以上数据硬盘+至少配置 8 块高性能 GPU）、接入服务器（16 核 CPU+32 GB 内存+100 GB 系统硬盘+4 TB 及以上数据硬盘），数据硬盘支持扩容。其中渲染服务器应选用专用配置，并考虑采用双机备份方式运行。遵循各校的数字化校园建设模式，操作系统使用国产主流操作系统或 Windows Server（如 2019 Standard 64bit 等）等；调度服务器宜选用各种主流专用服务器，操作系统使用国产操作系统或 Windows Server（如 2019 Standard 64bit 等）等；接入服务器宜选用各种主流专用服务器，操作系统使用 Linux（如 CentOS、Ubuntu 等）。对外服务统一通过接入服务器 443 端口提供，443 端口上同时使用 HTTP 协议、WebSocket 协议、WebRTC 协议、RTSP 协议。有条件的院校宜增设 HTTPS 协议服务。

9.1.3.4 云计算服务器

传统的校园网络架构中，客户端直接与学校教学资源服务器通过校园网络远程连接，远距离的数据传输会占用大量的带宽资源和能耗，并且会产生较高的延迟，从而影响教学效率。因此，应在原有校园网的基础上，增加边缘计算“中间层”，从而达到接近用户并提升教学效果的目标。云服务器和边缘设备相互协作，共同处理终端用户的任务请求是虚拟仿真教学网络的主流架构。宜采用云计算和边缘计算等技术将仿真运行程序驻留在服务器上，仅将仿真推演结果推送给“瘦客户端”，降低用户终端的信息处理开销和数据传输总量，使客户端用户无需配置高性能、高成本的计算终端，也无需配置额外的专用仿真计算程序，解决应用软件环境兼容性问题。

9.1.4 其他环境要求

9.1.4.1 电力要求

电力系统规划应根据使用设备的总功率和用电安全性合理布线并安置电源接口。弱电系统包括弱电网管系统和综合布线系统，应进行统筹规划建设 and 统一管理，充分满足虚拟仿真实验室各类硬件系统的

需求，并考虑合理的冗余，满足可靠性及对后续新业务扩展的支撑要求。弱电系统的建设与管理应考虑以下因素：

- a) 实验室综合布线系统的信息点位应根据需求进行设计，支持终端千兆接入。教室、实验室、实训室等区域优先采用光纤入室模式。
- b) 部署弱电资源管理系统对弱电管网和综合布线实施有效管理。

9.1.4.2 安全设施

安全设施包括：

a) 物理安全：所有电气设备在交付使用前应进行安全检查，必须严格执行电气安全规程，定期维修，并注意导线绝缘是否符合电压和工况要求。为防止线路超负荷而引起火灾，必须保证导线的容量符合用电设备要求。如发生超载，须拆断线路上过多的用电设备，或者根据需要加装导线。应设置必要的门禁和监控设施保证实验室人员和设施安全。

b) 信息安全：应加强信息安全管理，包括用户权限、实验资源安全、用户信息安全等。用户权限指对实验资源使用、硬件使用和归还、场地区域、实验时间的限制和约束。实验资源安全指防止实验资源防拷贝和防盗链接等。用户信息安全指学生和教师信息安全，防止个人信息泄露。

c) 安全措施：应利用安全审计系统统一监控各类系统安全状况，进行关联分析与应急响应，确保相关系统业务持续运行。部署网页防篡改系统及权限管理模块，实现双因素身份认证保障应用安全。从传输、存储、防泄漏三方面保障数据安全，对敏感信息泄漏行为预警，数据在传输过程中必须确保数据的安全性，完整性和不可篡改性。

d) 应急预案：应制定配套的应急预案，适用于信息系统遭受各种人为攻击、破坏或自然毁损等灾情，造成系统中断、设备损坏、数据丢失等故障的网络与信息安全事件。当发生网络与信息安全事件时，依据应急预案进行响应和处置。

9.1.4.3 开放共享要求

应大力拓展实验室建设成果开放共享范围。开放性体现在对校内师生开放、校外师生开放、公众用户开放。通常情况下，宜将实验室门户网站作为对外统一入口，向师生和公众用户展示实验室软硬件环境和虚拟仿真实验资源。实现校内校外实验场地、硬件、软件资源共享。

9.1.4.4 实验室智能化

应通过传感器、监视器、虚拟仿真软件和其他实验数据记录方法实时跟踪采集虚拟仿真实验过程的数据（如每步操作的对错、得分等），利用智能分析方法对实验过程大数据进行挖掘分析并画像，为虚拟仿真实验教学质量的诊断改进提供依据。积极引入新的物联网技术，对实验室安全（如烟火、暴力行为、杂物堆放等）隐患进行智能识别，提升实验室智能化管理水平。

9.2 实验教学装备与系统

9.2.1 桌面型系统

桌面型系统是最常见的一类虚拟仿真实验教学装备，由实验软件和硬件组成，应满足以下要求：

- a) 桌面型系统硬件一般包括台式机、笔记本、常规显示器等设备，配以键盘、鼠标、话筒、耳机等常规交互和视听设备。软件为各学科常规虚拟仿真实验内容，可以通过浏览器进行访问，也可以通过可执行程序方式使用。

- b) 桌面型系统中的台式机和笔记本一般要求为独立显卡，显存容量为 8 GB及以上，内存容量为 16 GB及以上。
- c) 桌面型系统的建设宜参考多媒体机房，设置电脑桌和椅子，同时为保障设备和应用系统的安全，宜将电脑主机置于带锁的机箱中，并避免USB接口等暴露给用户随意使用，防止病毒传播的同时也避免实验资源不受控外流。

9.2.2 沉浸型系统

沉浸型系统依靠图形工作站主机提供强大的计算和图形渲染能力，应满足以下要求：

- a) 应配合VR头盔显示器、3D显示器进行高沉浸感画面显示，并通过手柄、交互笔等外设与虚拟实验环境进行实时人机交互。
- b) 配备VR头盔显示器的沉浸式系统宜用于用户在场景中走动、转身，与虚拟对象自然交互的大型实验场景；配备 3D显示器类的沉浸式系统宜用于单体或多个物体切换观察类的应用场景。

9.2.3 增强型系统

增强型系统与沉浸型系统相对应，二者均需配备特殊的成像眼镜，从而观看到 3D影像，应满足以下要求：

- a) 增强型系统应配置AR或者MR眼镜，将虚拟的物体信息和真实的环境信息叠加到同一个画面或空间，同时呈现给用户，获得比物理世界更丰富的虚实混合的信息。
- b) 增强型系统宜采用手势识别、眼球追踪或计算机视觉等技术进行人机交互操作。
- c) 增强型系统宜用于虚实结合的虚拟仿真实验，即在真实的实验环境中，通过佩戴的AR或者MR眼镜，可以看到实景实验环境，同时还可以叠加观看到增强的实验信息，诸如实验方法操作提示、虚拟实验动画、预期的实验结果等内容。

9.2.4 大屏型系统

大屏型系统通常由LED大屏、CAVE系统或投影拼接系统等进行画面呈现，应满足以下要求：

- a) 大屏型系统应由一台或多台图形工作站作为计算单元进行画面输出和人机交互逻辑计算，多台图形工作站之间通过高速网络互联，并协调画面进行同步显示。
- b) 大屏型系统需要较大的安装空间，宜部署在教室的一整面或多面墙上，适用于实验示教、多人协同实验的集成展示。
- c) 大屏型系统较为重要的性能指标为物理分辨率、亮度、刷新率等。其中物理分辨率通常指两个像素之间的物理距离，比如LED屏幕通常为 1.25 mm、1.5 mm、1.8 mm、2.0 mm等，数值越小画面显示越清晰，但价格成本也越高，因此大屏分辨率需根据观看距离确定。亮度也同时影响了人眼观看画面显示的清晰程度，LED大屏通常用尼特为度量单位，投影系统通常用流明来计量，数值越大亮度越高。画面的刷新率分为系统硬件支持的最大刷新率和软件的显示刷新率，二者共同决定了画面显示的连贯性，通常最低为 30 Hz，数值越高性能越好，但如果需要通过 3D眼镜进行立体视觉观看时，输入端信号（LED屏幕接入信号）刷新率最低不小于 120 Hz，LED屏幕换帧率应不小于 120 Hz。

9.2.5 专用型系统

专用型系统一般是指定制化开发或小批量生产的实验模拟训练装备，根据学科应用的不同，设备的外观、结构和软件内容也不尽相同，如飞行模拟器、机车驾驶类模拟器、医学手术模拟器等。此类系统

通常针对某类实验课程定制化研制,宜用于强化训练学生某一方面的操作技能,一般包括计算控制单元、显示单元、操作单元以及机身平台等多个组成部分。

9.2.6 移动型系统

移动型系统的载体通常为手机、平板电脑、便携式计算机等移动设备,同时配以相关虚拟仿真实验应用软件App,利用移动型终端开展线上虚拟仿真实验,可以不受时间、地点的限制,随时随地进行学习。移动型系统受处理器性能及屏幕尺寸限制,宜用于虚拟实验场景不大,相关人机交互界面多由用户点击触发的实验场景。

9.2.7 多人型系统

多人型系统是指多个用户通过各自的仿真交互设备连接到同一虚拟仿真实验环境,协同完成仿真实验。此类系统宜用于需要远程异地多人配合或者受场地空间条件限制的实验项目。根据实验内容的不同,各个用户接入的仿真交互设备分为同构型和异构型,同构型要求各用户接入的设备为同一种类,比如全部为电脑或增强现实眼镜,而异构型允许多种装备和交互设备混合接入。

9.2.8 组合型系统

组合型系统通常应用在综合的一体化虚拟仿真实验室中,各类型系统相互配合共同完成相关虚拟仿真实验的教学目的。一体化实验室应划分为不同的训练区域,包括集中讲授区、在线训练区、虚拟训练区、虚实结合训练区、多人协同训练区和数据评估区等。集中讲授区宜使用大屏型系统,在线训练区宜使用桌面型系统和移动型系统,虚拟训练区宜使用沉浸型系统或专用型系统,虚实结合训练区宜使用增强型系统,多人协同训练区宜使用多人型系统,同时各区域不同类型的系统产生的训练数据,由数据评估区实时收集并进行统一的可视化展示和后续评估评价。

9.2.9 其他系统

虚拟仿真实验室中还需要根据实验需求建设其他系统,如云渲染系统等。云渲染系统将执行渲染任务的应用程序放在云端服务器运行,利用云服务器的高性能计算能力及图形渲染能力,缩短渲染周期,提升整体效率和系统对多种终端类型接入的兼容性。

9.3 资源和实验

应从教学设计、教学活动和应用场景等角度,配置虚拟仿真教学资源,形成资源池。虚拟仿真教学资源分类包括:

- a) 教学资源是为教学的有效开展提供的教学设计资源和教学活动资源,主要包括教学材料、教学支持系统及教学环境,还包括教学活动中的教师、学生、学科专家等教学活动参与者。
- b) 从教学应用场景看,虚拟仿真教学资源可以分为支持理论教学、实验教学、实习、科普教育等的资源。

10 运行组织和管理服务

10.1 运行保障

10.1.1 组织和管理

虚拟仿真实验室的组织和管理工作应包括：

- a) 主责部门应研究虚拟仿真实验教学环境、信息化、数字化资源相关的管理办法和技术手段，对实验室场所环境、教学管理平台、数字化资源等进行维护管理，保障教学环境稳定运转。
- b) 项目建设和应用应由专业团队负责。成员宜包括：院校领导，二级院系和相关职能部门负责人及工作人员，行业企业、院校及科研院所专家和实验指导教师，产教融合、校企合作企业的技术骨干，虚拟仿真相关专业和课程的教师，虚拟仿真实验资源开发企业的项目经理和技术人员。应加强项目团队建设和团队人员管理，确保团队结构的合理性、成员的稳定性和人员的充足性，并做到分工明确、责任到人。
- c) 项目组织管理的主要工作宜包括：建立并维护相关规章制度和标准体系，开展设备管理以保证达到最佳技术水平和质量水平，推动设备的通用化、系列化和组合化应用，以及按需优化配置实验室资源等。

10.1.2 运行和维护

运行和维护应包括：

- a) 在建设规划阶段，应邀请行业专家对院校领导、有关职能部门负责人和专业实验教师开展虚拟现实、大数据、AI等新一代信息技术有关应用基础知识的培训，为启动项目建设做好准备。
- b) 在建设实施阶段，宜采取“内培”或“外引”的方式遴选虚拟仿真技术应用专业带头人，助力虚拟仿真实验资源开发。从校内虚拟仿真相关专业或课程教师中选拔具有丰富实验教学经验的中青年教师，经过较为全面的虚拟仿真软件设计开发培训后，担任虚拟仿真技术应用专业带头人。也可从校外引进具有多年虚拟仿真企业工作经历或虚拟仿真软件开发经验的技术骨干担任虚拟仿真技术应用专业带头人。
- c) 在运行使用阶段，宜在虚拟仿真实验资源开发企业的配合下，组织院校专业教师熟悉虚拟仿真实验设施设备和虚拟仿真实验资源的使用和操作，及时开展虚拟仿真实验教学，探索新的实验教学设计和实验教学模式。明确项目运行和维护机制，保证责任明确、责任到人。运行过程中安排专人定期维护，提前发现运行中潜在的问题并及时进行解决；出现使用问题能及时联系到相应负责人，简单问题应具备自己解决的能力，较大问题应及时联系虚拟仿真实验资源制作方，做出快速响应。

10.1.3 评估与评价

评估与评价应包括：

- a) 虚拟仿真实验资源与教学评价体系设计应遵循全面性、客观性、可操作性、持续更新原则，评价和反馈贯穿虚拟仿真实验的各个阶段，对阶段性建设与应用效果进行有针对性的分析诊断，并提出改进的意见和建议，做到“以评促建，评建结合”。
- b) 虚拟仿真实验资源与教学评价内容宜包括规划、建设、运维服务、用户素养等方面所达到的水平和程度，保障体系的完备性与科学性。

- c) 虚拟仿真实验资源与教学评价应选择具有先进性、智能性、及时性的方式，宜借助人工智能、大数据分析等新的技术手段来辅助实施。
- d) 虚拟仿真教学实验室建设绩效评价工作，宜依照《虚拟仿真教学实验室建设绩效评价三级指标体系》（见附录表B.1）规范开展。

10.1.4 安全与发展

安全与发展应包括：

- a) 应选择经过安全论证的虚拟仿真实验合作方，保障信息安全与实验室运行安全。
- b) 应进行软件著作权登记，项目主责院校享有实验项目全部内容独有或共有著作权，并确保项目内容及使用项目内容的行为不侵犯任何第三方的合法权益。
- c) 按照国家虚拟仿真实验教学一流课程的申报要求，申报项目应参照《信息安全等级保护管理办法》中等保相关要求执行。
- d) 如果实验场景取材于国家重点工程或重点单位、特殊地理环境及山川形貌，应进行加密处理。
- e) 在数据库管理方面，应制定完整的安全策略。
- f) 院校应着力培养懂虚拟仿真、能开发虚拟仿真的专业教师，从根本上保证虚拟仿真实验教学的安全与发展。

10.2 管理和服务

10.2.1 管理与服务门户

10.2.1.1 信息展示

应构建虚拟仿真实验室管理与服务门户，提供项目建设相关内容展示功能，包括但不限于新闻动态、通知公告、实验室使用规章制度、实验室使用指南、实验室风采，并展示实验室使用情况以及包含设备情况的相关数据。

10.2.1.2 共享服务

应将优质虚拟仿真实验教学资源集中共享展示，面向校内、其他院校、社会人士开放共享，并按照所属学院、学科进行资源划分，便于快速检索和实验。

10.2.1.3 门户管理

系统管理员应能够通过后台对门户的风格、样式、图片、视频、新闻公告、文章内容等进行修改，实现门户网站的灵活管理。

10.2.2 基础资源管理

10.2.2.1 设备管理

应对支持桌面型系统、沉浸型系统、增强型系统、大屏型系统、专用型系统、移动型系统和多人型系统等虚拟仿真实验教学系统建设所需硬件设备的数量、型号、购入日期、价格进行管理，例如LED大屏、3D眼镜、专用服务器、专用显示器、投影机、摄像机、立体显示器、操控笔、键盘、鼠标、VR手柄、VR头盔等设备；同时需支持对设备的采购、入库、报修和报废全流程线上规范化管理；需支持数据统计功能，在保证数据有效性和真实性的前提下，作为学校资产上报以及设备定期检查、维护和更换的依据，保证实验室安全稳定运行。

10.2.2.2 智能化管理

虚拟仿真实验教学管理系统应支持对实验室进行线上智能化管理,通过与实验室智能设备进行数据联通,远程监控实验室的实时温度与湿度;可控制电子门禁的运行状态并实时监控实验室出入人员的基本信息,以及远程操控网络电源的开关状态等,不断提升项目管理智能化水平。同时应支持对学生的进入和实验过程进行监控与记录,管理者可实时了解实验室当前运行情况。

10.2.3 实验室教学资源和管理

10.2.3.1 资源管理

宜对全校各学院、全学科的虚拟仿真实验教学资源进行统筹,实现资源的集中管理与展示。在持续运营维护方面,统一管理、统一维护,以节省人力和成本。

10.2.3.2 数据联通

应通过提供统一开放的数据接口,将虚拟仿真实验资源与虚拟仿真实验教学系统进行数据联通,联通的数据包括但不限于:实验开始时间、实验结束时间、实验用时、学生在虚拟操作中的关键步骤记录、实验成绩、实验报告等数据,实现虚拟仿真实验资源与虚拟仿真实验教学流程深度融合,进行教学管理和维护,加强资源的有序整合和有效对接。

10.2.4 实验室预约与使用管理

实验室预约与使用管理应包括:

- a) 应注重使用效率的提升以及流程标准的规范。管理系统可展示每个实验室的具体情况,方便实验室管理员对实验室的管理,也方便教师或者学生随时了解实验室的空闲情况。
- b) 虚拟仿真实验室应面向校内、其他院校、社会人士开放,支持线上预约使用。
- c) 实验室预约管理系统一般宜包括预约开放设置管理、实验室仪器设备信息管理、实验室预约及审核管理、工位预约、仪器借出管理等。学生和教师根据自己的学习、上课、开会、讲座、其他需要,进行实验预约或工位预约,做到预约使用实验室无冲突、可调整。

10.2.5 实验数据统计与分析

10.2.5.1 数据统计

应提供多维度数据统计,直观展示教学效果。针对实验教学、开放共享、实验室预约使用等不同情景,抓取用户应用数据并分类统计,从不同的层次、维度对教学效果进行分析,全面直观地展示教学应用情况。打通课前、课中、课后全环节,跟踪采集虚拟仿真实验“教、学、考、练、评”过程的数据(如每步操作的对错、得分等),利用人工智能手段对实验过程数据进行挖掘分析并画像。对预约的数据进行统计,包括实验室使用率、工位使用率、仪器使用率。

10.2.5.2 数据分析

对数据统计的结果应进行全景式数据分析和可视化呈现,作为有效提升实验教学管理水平的依据,从数据中分析出教学规律,并为实验改进提供支撑。

10.2.6 教学和教务管理

10.2.6.1 教学管理

教学管理应包括的项目：

- a) 实验课程管理与实验环节管理两个部分，其中实验课程管理是指实验理论学习、实验过程指导、实验结果评价、实验报告管理、实验成绩管理、互动交流管理等过程管理，实现实验教务全流程管理。实验环节管理是在原有理论或其他课程中的附属虚拟仿真实验环节的管理。
- b) 实验理论学习资源：应配套丰富的实验课程知识资源，包括但不限于视频、文档、课件、习题等；使用虚拟仿真实验前，应完成所对应课程或知识的学习，提前了解实验所需知识或和实验内容。
- c) 实验提示与指导：应对实验过程中的重要知识点进行提示与指导。提示形式应具有多样性，例如弹框加文字的形式、视频形式、动画人物解说形式等。学生在实验过程中有疑问应能获取在线指导。推荐采用人工智能技术为学生提供在线智能指导。
- d) 实验结果评价：对学生提交的虚拟仿真实验，平台应提供自动评价功能，并且记录学生每个步骤的得分详情。
- e) 实验报告管理：教师应能够设置多种实验报告形式，包括但不限于设置在线模板，学生自主上传报告附件；系统提供在线的实验报告批改工具；提供报告下载功能。
- f) 实验成绩管理：教师应能分课程、班级、实验查看学生实验成绩。支持实验成绩导出操作；
- g) 答疑交流：系统应提供教师和学生的便捷的交流环境，有效地帮助学习者解决实验过程中遇到的各类问题。
- h) 实验教学过程管理：应满足教师高清示教、对比教学、教学终端同步互控、实验教学回溯、师生多屏互动教学、远程多点同步教学、远程指导等要求。实时了解各学生的实操水平和差异，根据各个学生的学习情况，给出针对性的指导。
- i) 人工智能应用：宜利用人工智能对实验安全进行预警，尤其是突发状况的实时预警，同时通过人工智能的应用实现对实验过程的智能评判，知识点的智能推送，从而实现个性化教学。
- j) 实验课堂学情统计：针对实验教学的课堂情况，应能够进行全面统计，对课堂教学情况提供数据分析，对学生实验操作情况进行全面记录。让教学人员随时了解实验教学的情况和效果。

10.2.6.2 教务管理

教务管理宜包括所有教务信息、开课管理、教学计划管理等，能够覆盖原有实验课程教务管理，并兼容未来在理论课程中的实验环节与课外实践实验环节的管理工作：

- a) 教务信息：包括但不限于学期管理、课表管理、上课时间管理、校历管理。
- b) 开课管理：包括但不限于针对班级开课、开放性开课、灵活设置开课时间。
- c) 教学计划管理：应支持教学计划的编辑，随时查看，并按照教学计划制定教学大纲。
- d) 实验项目安排：对课程进行具体实验项目安排，应根据教学计划分配时间、上课班级、实验场地、指导老师等，智能计算冲突检测。

10.2.6.3 教学人员管理

虚拟仿真实验教学管理应从学校教务系统中获取教学环节中的人员信息，按照当下教学需求进行管理。同时虚拟仿真实验教学管理需要拓展原有的教学人员管理，将教师、课外教师（产业教师）、项目指导教师、学生、高年级学生、教学辅助人员等作为管理对象，必要时，与学校的教务系统对接，还应

与学校的人事系统进行对接，实现基础数据互联。

10.2.6.4 与校园信息系统的双向互联

虚拟仿真实验教学管理平台不仅仅要与学校教务系统进行对接，实现对实验课程信息、用户信息、组织机构信息等同步获取，保证各个系统之间的信息一致性，避免信息偏差或数据孤岛现象的产生，还应与学校数字中心或学校的中心信息系统整体对接，为学校其他工作提供一致、可靠、实时的实验教学数据信息。其中教学过程信息、实验安全信息等需以通用的数据形式，在PC浏览器或其他设备上呈现。统一规范的虚拟仿真数据面板是虚拟仿真教学实验室建设的基础工作，并随着建设工作的不断推进而不断发展。平台应能够实现与学校统一认证系统或者用户信息系统对接，保证数据的一致性、用户数据的安全性、用户操作的便捷性。避免信息的重复采集与录入。

11 实验教学评价

11.1 实验教学评价要求

11.1.1 实验教学评价的目的

应围绕虚拟仿真实验教学的全过程，结合虚拟仿真技术应用的特点，梳理开展虚拟仿真实验教学全过程的核心要素，构建能够客观评价虚拟仿真实验教学效果的流程与方法，由学生、教师、学校教学管理部门及其他相关单位对实验教学过程和效果进行评价。具体分解为教学资源评价、教学过程评价与教学效果评价。提升虚拟仿真技术与实验教学的融合深度。

11.1.2 实验教学评价的原则

11.1.2.1 全面性

应从应用范围、应用效果，以及和教学应用密切相关的保障条件三个维度进行综合评价。

11.1.2.2 客观性

具体评价指标选取应尽可能使用客观性指标，兼顾部分可融入专家评价意见的重要主观性指标。

11.1.2.3 可操作性

应充分利用虚拟仿真实验教学管理平台的数据统计功能，客观性指标宜通过直接采集平台数据获得，如注册学生数、实验完成率、实验时长等。主观性指标宜采取自评和专家评价相结合的方式。

11.1.2.4 持续更新

应根据指标体系的使用情况和反馈意见，结合虚拟仿真相关技术和系统迭代等因素，适时更新评价方法和评价体系。

11.2 教学资源评价

11.2.1 教学环境和硬件

11.2.1.1 实验教学场所

利用虚拟仿真实验室开展实验教学时，实验场所应做到功能布局合理、设施安全舒适，智能化设施

齐全。实验者人均面积通常应大于 1 平方米。

11.2.1.2 实验教学设备

应配备虚拟仿真服务器、客户端、网络等教学硬件，设备数量应满足校内学生实际教学频次下的充足使用，最大并发数不少于 100 人。

11.2.2 教学资源 and 软件

11.2.2.1 实验教学资源

应配备丰富的各类实验教学资源，包括教学指导书、教学视频、电子教材、课程教案、课件知识点课件库、习题库、测试卷等。

11.2.2.2 实验教学软件

应配备与虚拟仿真实验教学项目对应的实验教学软件以及虚拟仿真实验管理平台等软件资源，支持实验展开；同时，实现课程管理、教务管理、教学支持、资源和设备管理、人员和组织管理等功能。

11.2.3 师资队伍和教学保障

11.2.3.1 师资队伍

应配备足够数量的高水平的虚拟仿真实验教学师资。应具有合理结构，包括专兼职比例、管理人员和教师系列比例、年龄结构、学历结构、职称结构等，团队带头人应具有良好的专业背景和丰富的教学科研经验，热爱实验教学。

11.2.3.2 教学保障

应从教学经费的持续投入、教师工作量的认定、绩效激励措施、学分互认的机制、教学持续发展等方面给予政策性保障。

11.3 教学过程评价

11.3.1 开课与使用

应评价教师利用虚拟仿真实验资源开设课程及实质性用于教学的情况。课程开设应计入教学管理体系，教师教学过程及学生学习过程应分别体现在教师工作量和学生学习成绩的认定中。

11.3.2 过程与结果

应利用虚拟仿真实验课程或教学管理平台记录教学过程，包括教师指导过程和学生完成各阶段学习任务的过程，利用系统设定的赋分模型对学生完成实验的情况给予定量的赋分，作为综合评价的组成部分。

11.3.3 报告与评分

应按照设定的格式，根据学生学习过程生成规范格式的实验报告，并结合教师主观判断，对学生实验完成情况给出综合评分。

11.3.4 支持与服务

应在学习过程中提供各种支持与服务，包括热线电话、即时通信交流群、网上答疑室、答疑机器人、电子邮箱、课程论坛等。

11.3.5 学生评价

应通过问卷或访谈等方式了解、收集学生对虚拟仿真实验教学的主客观感受。

11.3.6 教师评价

应通过问卷或访谈等方式了解、收集授课教师对虚拟仿真实验教学的主客观感受。

11.3.7 教学管理部门评价

教学管理部门利用本单位教学管理平台及教学效果评价相关机制，对虚拟仿真实验教学的过程、质量进行评价。

11.4 教学效果评价

11.4.1 学生学习效果

11.4.1.1 实验完成率

学生实验完成率（完成该实验所有实验操作步骤）应不低于 75%。

11.4.1.2 实验报告提交率

实验报告提交率应不低于 85%。

11.4.1.3 实验通过率

实验通过率（按照百分制评分要求，达到 60 分以上的成绩）应不低于 75%。

11.4.1.4 平均实验时长

学生完成该实验的总时长与学生数之比。平均实验时长应控制在教师设定范围内，与实验难度正相关。

11.4.1.5 平均实验次数

所有进入该实验的学生重复完成该实验次数的平均值。平均实验次数应与实验难度正相关。

11.4.1.6 实验好评率

实验好评率（中评及以上）应不低于 70%。

11.4.1.7 综合能力提升度

课程综合能力指学生理论课程学习、实验操作技能、运用知识分析和解决实际问题的能力。学生综合能力提升的比例应不低于 60%。

11.4.1.8 多维度评估与对比

多维度进行评估与对比是指从实验教学质量、学生学习兴趣、学生创新能力等多个方面了解学生的学习情况和实验效果。

11.4.2 实验课程建设和应用效果

11.4.2.1 课程在实验教学环节的重要性

应将虚拟仿真实验教学课程列入培养方案，独立设置学分或作为核心内容与其他课程共享学分，成为实验实践教学环节重要组成部分。

11.4.2.2 获得认定和认可情况

应评价虚拟仿真实验教学项目被认定为国家级或省级一流课程的情况，或被其他有影响力的学术行业组织认定，或获得行业内有影响力的奖励情况。

11.4.2.3 国际化或出海情况

应评价虚拟仿真实验教学项目多语种开发，以及在其他国家和地区应用情况。

11.4.3 对专业建设的支撑作用

11.4.3.1 与专业人才培养的契合度

应评价虚拟仿真实验教学课程内容与专业人才培养方案、能力培养目标的契合关系。

11.4.3.2 对专业建设的贡献度

应评价虚拟仿真实验教学课程通过突破教学难点、融入思政元素等对专业建设的贡献度。

附录 A

(规范性)

虚拟仿真实验过程设计及评价观察点体系

A.1 虚拟仿真实验过程设计及评价观察点体系见表A.1。

表A.1 虚拟仿真实验过程设计及评价观察点体系

序号	内容	观察点	分值	评分
1	必要性和价值*			
-	虚拟仿真实验过程应有充分的必要性和重要的教学价值	虚拟仿真实验过程涉及的实验教学内容是否在学生培养体系中有必要的位置, 是否体现虚拟仿真实验教学优势或者解决真实实验开展困难问题, 是否有重要的教学价值	100%	
2	虚拟仿真模型构建过程			
2.1	虚拟仿真模型形式应以机理模型、数据拟合模型、逻辑模型或者环境模型等合适的模型形式为基础	虚拟仿真模型是否抓住了符合专业要求的实验对象/系统的核心要素, 是否选择了合适的模型形式, 建立了适当的模型结构	8	
2.2	虚拟仿真模型本质应能够反映客观世界的结构和运动规律, 具有满足实验要求的仿真度	虚拟仿真模型机理/逻辑要素或者数据结构及数据量或者对实验主体作用是否符合客观真实, 其仿真度是否满足本项目类型实验教学需要	8	
2.3	虚拟仿真模型操作应有足够的操控交互性、过程推进性、应用可信度和运行可靠度	虚拟仿真模型是否支持教师和实验者做必要的配置、设置、操作交互, 是否支持实验过程具有推进推演性, 是否能够对不同实验行为作出相应的逼真有效反应, 是否支持实验过程关键要素记录和复盘, 是否稳定可靠运行	8	
3	虚拟仿真实验过程与步骤			
3.1	实验过程应有针对虚拟仿真实验类型(技能训练、原理展示、理论验证、综合设计、创新探究等)的完整的逻辑和数据	虚拟仿真实验过程是否具有针对实验目标的完整统一的逻辑结构, 是否呈现必要的实验现象、记录必要的实验数据	10	
3.2	实验过程应有足够的反映仿真实质内容的交互操作、参数设置和过程推进步骤	关键实验步骤支持实验者自由开放操作、配置参数、过程推进空间是否充足, 是否支持必要的实验步骤顺序灵活性, 是否支持开放的实验方案, 是否允许错误实验方案和操作并发生相应后果	10	
3.3	实验过程应包含足够数量的有内涵和价值的交互步骤, 或者足够数量的综合实验资源(综合演示实验用)	关键交互步骤所涉及的操作是否有实验教学价值, 实验系统/对象的反应是否有必要学术或者知识价值, 有内涵和价值的交互步骤数是否至少达到10项, 或者综合演示实验资源核心内容是否达到2小时以上(综合演示实验用)	10	
3.4	实验对象和素材应配置完备, 实验过程应进展流畅	实验所需对象和“配件”“材料”配置是否完备, 可以支持完整的实验开展, 实验过程是否顺畅自然	6	
3.5	实验过程应有机融入思政元素	实验过程是否融入马克思主义认识论内容, 帮助学生更科学地认识世界, 或者是否帮助学生更好的认识国情, 认识相关专业领域中“卡脖子”等关键内容, 或者是否融入政治认同、家国情怀、文化素养、法治意识、道德修养等元素	10	

表A.1 虚拟仿真实验过程设计及评价观察点体系（续）

序号	内容	观察点	分值	评分
4	虚拟仿真实验教学作用和指导			
4.1	实验过程方案应针对自身类型（技能训练、原理展示、理论验证、综合设计、创新探究等）有明确的教学作用	针对自身实验类型的技能训练、原理展示、理论验证、实验方案设计、研究探索、数据分析等内容是否适应实验教学需要，是否能够发挥教学作用，达到实验教学目的	10	
4.2	关键交互步骤应有明确的教学作用	关键交互步骤的实验操作是否有教学作用，相应的实验现象和实验数据分析是否有教学作用，达到实验教学目的	10	
4.3	实验过程应能够支持过程指导和科学有效的考核	实验过程是否能够向指导教师反映实验进度和关键步骤的实现质量和问题，系统是否具备关键指导性学习资料，实验考核是否反映实验过程价值和教学作用	10	

注：*作为评估系数，根据其必要性和价值，在0~100%之间取值，与其他项目评分之和取乘法关系。

附录 B

(规范性)

虚拟仿真教学实验室建设绩效评价指标体系

B.1 虚拟仿真教学实验室建设绩效评价指标体系见表B.1。

表B.1 虚拟仿真教学实验室建设绩效评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	三级指标	指标说明
1	基础设施	用房条件	生均面积	指地面面积
			生均操作面积	指工位面积
			安全要求	包括安全通道、消防安全、用电安全、采光照度、通风换气、环保等
			布局方式	设备及空间布局合理，满足一定人数人机互动的舒适度及自由通行等条件
		网络条件	网络带宽	带宽在 300 Mbps 以上
			无线网络	无线网络支持人数
			最大并发数	能够支撑的最大同时应用人数
			网络安全	国家信息安全等级保护在二级及以上
			服务器性能	服务器满足本专业师生及开放共享使用
		智能化条件	智能门禁	门禁管理智能化
			智能监控	监控管理智能化
			智能网络电源	设备电源远程智能控制
2	虚拟仿真装备	桌面型系统（若有）	生均台套数	平均每个学生占有的设备台套数
			设备完好率	每月设备出勤率
			设备智能化程度	设备智能化管理的程度
			基本性能达标情况	设备的基本性能满足虚拟仿真实验教学的顺畅情况
		沉浸式系统（若有）	生均台套数	平均每个学生占有的设备台套数
			设备完好率	每月设备出勤率
			设备智能化程度	设备智能化管理的程度
			基本性能达标情况	设备的基本性能满足虚拟仿真实验教学的顺畅情况
		增强型系统（若有）	生均台套数	平均每个学生占有的设备台套数
			设备完好率	每月设备出勤率
			设备智能化程度	设备智能化管理的程度
			基本性能达标情况	设备的基本性能满足虚拟仿真实验教学的顺畅情况
		大屏型系统（若有）	生均大屏面积	平均每个学生占有的设备面积
			设备智能化程度	设备智能化管理的程度
			基本性能达标情况	如屏幕分辨率、亮度等
		专用型系统（若有）	生均台套数	平均每个学生占有的设备台套数
			设备完好率	每月设备出勤率
			设备智能化程度	设备智能化管理的程度
			设备专业化程度	设备的功能满足某项专业特色虚拟仿真实验教学的情况

表B.1 虚拟仿真教学实验室建设绩效评价指标体系（续）

序号	一级指标	二级指标	三级指标	指标说明		
3	虚拟仿真实验教学	课程数量	提供虚仿课程总数量	达到虚拟仿真实验教学层次的课程总数量		
			国家级虚仿一流课程数量	已成为国家虚拟仿真实验教学一流课程的数量		
			省级虚仿一流课程数量	已成为省级虚拟仿真实验教学一流课程的数量		
			校级虚仿一流课程数量	已成为本校虚拟仿真实验教学一流课程的数量		
			虚仿课程覆盖率	虚拟仿真实验教学课程在所服务的专业中实验课程的开课占比		
			虚仿课程更新率	虚拟仿真实验教学课程在建设周期内完成更新的课程占比		
		专业建设支撑度	服务专业数	实验室所服务的专业总数		
			服务专业占比	实验室所服务的专业在本校内所有专业的占比		
			支撑实验课程门数	开展了虚拟仿真实验教学的实验课程数		
			支撑实验课程占比	开展了虚拟仿真实验教学的实验课程在所服务的专业中全部课程的占比		
			有效完善课程体系情况	虚拟仿真实验在课程体系中的完善程度		
			有效突破教学重难点情况	实际解决教学难题的程度		
		人才培养支撑度	有效融合课程思政元素情况	实际解决课程思政内容的程度		
			累计服务本校学生数量	从上线以来所服务的本校学生人数		
			累计服务本校学生占比	从上线以来所服务的本校学生人数在本校所有学生人数的占比		
			累计学时数	从上线以来所有用户开展实验的学时数		
			累计开放学期数	从上线以来开放的学期数		
			学生满意度	学生的平均满意程度		
		校际共享	实验完成率	学生做虚拟仿真实验通过考核的比例		
			累计服务其他学校数量	从上线以来所服务的其它学校数量		
			累计服务外校学生数	从上线以来所服务的校外学生人数		
			累计服务社会机构、企业数	从上线以来所服务的除学校外的单位数量		
		4	实验室运行与管理	管理平台	累计服务社会人员数	从上线以来所服务的除在校学生外的用户数量
					教学支持与服务	对师生在实验教学中的支持程度
教务管理与服务	对教务管理人员在实验教学管理中的支持程度					
资源和设备管理	对资源和设备管理进行资产及耗材管理的程度					
人员和组织管理	对人员和组织管理的程度					
数据统计与分析	对开展的实验教学各种数据的统计与分析程度					
团队建设	数据接口			对实验资源以及平台互通数据的开放程度		
	团队结构			如管理人员和教师系列比例，专职和兼职，技术人员有无等		
	团队水平			如专业带头人和骨干教师数，学历水平等		
	教师发展			教师利用该实验室取得的获奖情况、学术论文发表、支持的教改项目等		
管理机制	实验室管理制度			包含开放性管理，满足学生自主预约、自主学习的要求		
	持续投入建设政策			持续进行升级在经费、人员、技术规划等的政策与计划实施情况		
	激励教师政策			需要有明确的教师工作量等激励政策		
	开放共享机制			具有可持续的开放共享机制		