·医学模拟教育·

医学国家虚拟仿真实验教学课程使用现状及影响因素研究

程文闻[1,2]　朱靓[1,2]
[1]空军军医大学军事预防医学系卫生事业管理与医学教育教研室，西安 710032；[2]特殊作业环境危害评估与防治教育部重点实验室/陕西省环境健康危害评估与防护重点实验室，西安 710032
通信作者：朱靓，Email：liangjulia0317@163.com

【摘要】 **目的**　分析医学类国家虚拟仿真实验教学课程的使用现状及影响因素，为优化资源配置、提升教育质量提供依据。**方法**　以截至2025年1月25日国家虚拟仿真实验教学平台“实验空间”中的全量医学课程为研究对象，通过Python采集课程上线年份、学科、实验类型、访问性能等数据，并进行描述性分析。使用STATA 17软件进行逐步普通最小二乘法（ordinary least square，OLS）回归分析，以探究实验人数与通过率的影响因素。**结果**　659门课程的实验人数均值为1 020.91，通过率均值为51.71%。逐步OLS回归分析结果显示，访问响应时间、课程上线年份、所属专业及实验类型是实验人数的影响因素；而访问响应时间、课程上线年份、所属专业是实验通过率的影响因素，差异具有统计学意义（$P<0.05$）。**结论**　国家虚拟仿真实验教学平台应持续强化管理，建立常态化机制，通过创新机制推动技术性能优化、完善学科布局促进资源均衡配置、建立动态评估机制推动质量共享优化等方式，推动医学教育数字化转型从“规模扩张”转向“质量共享”。

【关键词】 虚拟仿真；　医学教育；　使用现状；　影响因素
【中图分类号】 R-33
基金项目：国家自然科学基金面上项目（72474221）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250131-02086

Current status of national virtual simulation experimental teaching courses in medical education and influencing factors

Cheng Wenwen[1,2], Zhu Liang[1,2]
[1]Department of Health Care Management and Medical Education, Military Preventive Medicine School, Air Force Medical University, Xi'an 710032, China; [2]The Ministry of Education Key Lab of Hazard Assessment and Control in Special Operational Environment/The Shaanxi Provincial Key Laboratory of Environmental Health Hazard Assessment and Protection, Xi'an 710032, China
Corresponding author: Zhu Liang, Email: liangjulia0317@163.com

【**Abstract**】 **Objective**　To analyze the current status and influencing factors of national virtual simulation experimental teaching courses in medical education, and to provide a basis for optimizing resource allocation and improving the quality of education. **Methods**　All the medical courses on the national virtual simulation experimental teaching platform "Experimental Space" as of January 15, 2025 were included in the study. Python was used to collect data such as the year of course launch, discipline, experimental type, and access performance. Moreover, a descriptive analysis was carried out. STATA 17 was used for stepwise ordinary least square (OLS) regression to explore the influencing factors of the number of experimental participants and the pass rate. **Results**　The mean number of experimental participants for 659 courses was 1 020.91, and the mean pass rate was 51.71%. The results of stepwise OLS regression analysis showed that access response time, year of course launch, major, and experimental type were influencing factors of the number of experimental participants, while the first three were influencing factors for the experiment pass rate, with significant differences ($P<0.05$). **Conclusions**　The national virtual simulation experimental teaching platform should streamline management, adopt normalized and innovative mechanisms to optimize technical performance, enhance discipline structure for balanced resource allocation, and implement dynamic

evaluation to prioritize quality sharing, thus shifting the digital transformation of medical education from scale expansion to quality sharing.

【Key words】 Virtual simulation;　Medical education;　Current status;　Influencing factor
Fund program: General Project of National Natural Science Foundation of China (72474221)
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250131-02086

虚拟仿真实验教学是基于虚拟现实技术开展的教学实验活动，能够突破传统实验教学的局限，从资源供给、实验范围、操作形式、实验深度等方面提升高等教育实验教学的质量[1]，并显著提升医学生临床胜任力的培养效率，为医学教育带来前所未有的变革[2]。近年来，国家政策持续推动虚拟仿真技术在医学教育领域的探索与应用。《关于加快医学教育创新发展的指导意见》中明确提出“强化现代信息技术与医学教育教学的深度融合”；《关于加强医教协同实施卓越医生教育培养计划2.0的意见》强调“用新技术共建共享优质医学教育资源，建设400个左右医学国家虚拟仿真实验教学项目”。在此背景下，2018年国家虚拟仿真实验教学课程共享平台“实验空间”上线（以下简称“实验空间”）。截至2024年末，“实验空间”已累计上线医学类课程666门，覆盖基础医学、临床医学、口腔医学等11个一级学科，标志着医学教育迈入“数字化共享”新阶段。然而，规模的扩张并未完全转化为资源的高效利用。虚拟仿真课程普遍存在重开发轻共享、重建设轻改进等问题[3]。这可能会导致资源共享陷入“低质量陷阱”，从而制约教育公平与数字化转型目标的实现。现有研究多聚焦于项目设计与系统构建[4-5]，对持续使用效果及影响因素的实证分析仍显不足，尤其缺乏对课程访问性能（如响应时间、可访问性）、学科属性与实验类型等关键变量的系统性探讨。基于此，本研究以“实验空间”平台上的医学课程为研究对象，通过量化分析揭示虚拟仿真实验教学课程的使用现状及其影响因素，旨在为优化虚拟仿真课程的技术性能、调整学科布局及实验设计提供实证依据，助力实现从“规模扩张”向“质量共享”的转型，推动医学教育数字化转型的可持续发展。

1　对象和方法

1.1　研究对象

研究对象为“实验空间”平台上的全量医学课程。截至2025年1月25日，平台上共有666门课程，年份覆盖2017年至2024年。这些课程涉及168所高校，涵盖医学门类中的11个一级学科。

1.2　变量选择

选取实验人数和实验通过率作为被解释变量。实验人数是指“参与实验的用户总人数”。对于同一个用户多次参与实验的情况，实验人数只统计为1人，不累加。实验人数仅统计已回传成绩的用户人数总和。实验通过率是指“实验完成后，实验成绩达到60分及以上的人数占实验总人数的百分比”。选取课程上线年份、所属专业、实验类型、链接是否可访问、访问响应时间等作为解释变量。

除链接是否可访问、访问响应时间外，其他数据均直接抓取自实验空间。链接是否可访问和访问响应时间这两个变量使用学术界常用的Python的requests库发起HTTP请求[6-8]，捕获状态码（如200、404、503等）及响应时间（ms）。为了减少误差，研究者随机选择某工作日的10点、16点和20点这3个时间段进行数据获取，每次发送10条请求。反馈代码为200的视为可访问，其他代码则视为不可访问。若这3个时间段中有一次返回200，即视为该链接可访问。响应时间指的是首字节时间。根据主流测试要求[9]及虚拟仿真课程的特殊性，本研究按照200 ms和500 ms这两个关键节点，将其分为了3组。解释变量的赋值详见表1。

1.3　统计学方法

首先，对解释变量和被解释变量进行描述性分析；其次，使用卡方检验来考查变量之间是否存在

表1　解释变量的赋值

变量	赋值
是否可以访问	是=1，否=0
访问响应时间	无法访问=0，200 ms以内=1，200~500 ms=2，500 ms以上=3
课程上线年份	2017，2018，2019，2020，2021，2022，2023，2024（以哑变量形式纳入，是=1，否=0）
所属专业	基础医学类，临床医学类，口腔医学类，公共卫生与预防医学类，中医学类，中西医结合类，药学类，中药学，法医学类，医学技术类，护理学类（以哑变量形式纳入，是=1，否=0）
实验类型	基础练习型，综合设计型，研究探索型（以哑变量形式纳入，是=1，否=0）

差异性；最后，采用逐步普通最小二乘法（ordinary least square，OLS）回归分析来探究实验人数和实验通过率的影响因素。本研究使用STATA 17软件进行数据分析。

2　结果

2.1　课程基本信息

经过数据清洗，有7门课程缺失值较多，因此最终保留659门课程。课程的基本信息见表2。

表2　课程基本信息（n=659）

变量	频次（百分比）	变量	频次（百分比）
是否可以访问		所属专业	
否	263（39.91）	基础医学类	154（23.37）
是	396（60.09）	临床医学类	134（20.33）
访问响应时间		口腔医学类	20（3.03）
无法访问	263（39.91）	公共卫生与预防医学类	73（11.08）
200 ms以内	68（10.32）	中医学类	53（8.04）
200~500 ms	210（31.87）	中西医结合类	6（0.91）
500 ms以上	118（17.90）	药学类	44（6.68）
课程上线年份		中药学	27（4.10）
2017	35（5.31）	法医学类	14（2.12）
2018	74（11.23）	医学技术类	54（8.19）
2019	56（8.50）	护理学类	80（12.15）
2020	4（0.61）	实验类型	
2021	32（4.86）	基础练习型	240（36.42）
2022	298（45.22）	综合设计型	370（56.15）
2023	36（5.46）	研究探索型	49（7.43）
2024	124（18.82）		

数据显示，在659门有效课程中，39.91%（263/659）的课程存在无法访问的问题，可访问课程的响应时间主要集中在200~500 ms（31.87%，210/659）和500 ms以上（17.91%，118/659）。2022年上线的课程占比最高（45.22%，298/659），基础医学类（23.37%，154/659）和临床医学类（20.33%，134/659）课程占比最高。实验类型以综合设计型为主（56.15%，370/659）。

被解释变量采用均值方法进行分析，由于有一门课程的通过率数据缺失，因此通过率仅纳入了658个观察值，详情见表3。

表3　被解释变量描述性分析

变量	观察值	均值	标准差	最小值	最大值
实验人数（人）	659	1 020.91	1 852.88	0	13 632
通过率（%）	658	51.71	36.96	0.00	100.00

表3显示，在659门课程中，实验人数的均值为1 020.91人，但标准差高达1 852.88，最小值为0人，最大值为13 632人。这表明课程的使用量不均衡，少数课程吸引了大量用户，而部分课程的利用率偏低。通过率的均值为51.71%，标准差为36.96%，最低为0.00%，最高为100.00%。这表明课程的教学效果存在明显差异。整体而言，这些数据揭示了虚拟仿真课程在用户参与度和教学效果上呈现出两极分化的趋势。

2.2　差异性检验

被解释变量实验人数和实验通过率均不符合正态分布，因此使用卡方检验来观察这些变量之间是否存在差异性。表4显示，是否可以访问、访问响应时间、课程上线年份及实验类型的卡方检验P值均小于0.05，表明这四类实验人数之间的差异具有统计学意义。表5显示，是否可以访问、访问响应时间、课程上线年份、实验类型的卡方检验P值均小于0.05，表明这四类实验通过率之间的差异具有统计学意义。

表4　被解释变量为实验人数的卡方检验

变量	Pearson卡方值	P值
是否可以访问	530.25	<0.001
访问响应时间	1.6×10^3	<0.001
课程上线年份	3.6×10^3	<0.001
所属专业	4.2×10^3	0.095
实验类型	953.87	<0.001

表5　被解释变量为实验通过率的卡方检验

变量	Pearson卡方值	P值
是否可以访问	446.80	<0.001
访问响应时间	1.3×10^3	<0.001
课程上线年份	3.0×10^3	<0.001
所属专业	3.5×10^3	0.067
实验类型	847.43	<0.001

2.3　实验人数的影响因素分析

访问响应时间本身包含网站是否可以访问，由于这两个变量之间存在多重共线性，故本研究仅选择分析访问响应时间对实验人数和实验通过率的影响。另外，尽管所属专业的卡方检验结果并不显著，但卡方检验仅能揭示所属专业这一单一变量与实验通过率之间的独立性关系。而OLS回归模型通过多变量协同分析，在控制其他解释变量后，能够探测所属专业的独立效应。基于理论分析及参考其他研究，本研究决定将其纳入回归模型。最终，本研究选择了访问响应时间、课程上线年份、所属专业、实验类型作为解释变量，以实验人数作为被解释变量。为了防止多重共线性，本研究采用了逐步OLS回归分析来探讨实验人数的影响因素及其交互作用。逐步OLS回归模型（1）旨在进行访问响应时间与实验人数的因果分析，模型（2）、模型（3）、模

型(4)则是在此基础上加入了课程上线年份、所属专业和实验类型等因素,以进一步分析这些因素对实验人数的影响。回归结果如表6所示。

表6显示,与不可访问相比,网站可访问性与实验人数之间呈显著正相关关系。在不考虑其他因素的前提下,访问响应时间越短,实验人数越多。在考虑其他因素之后,当访问响应时间为200~500 ms时,实验人数最多。与2017年相比,2019年上线的课程对实验人数的影响最大。临床医学类、口腔医学类、中医学类、中药学、法医学类、医学技术类均与实验人数呈负相关关系,这说明与基础医学类相比,这几类课程的受众较少。在实验类型中,研究探索型实验与实验人数存在正向相关关系,与基础练习型实验相比,研究探索型实验的人数更多。尽管模型(4)在加入实验类型后调整R^2的增幅较小(0.204→0.207),表明其对实验人数变异的解释力有限,但研究探索型的显著效应仍证实了高阶实验设计的独立价值。

2.4　实验通过率的影响因素分析

模型(5)是对访问响应时间对实验通过率的因果效应进行分析,模型(6)和模型(7)则分别纳入了课程上线年份和所属专业作为变量。在加入实验类型变量后,虽然该变量仍呈现显著性(P<0.01),但其调整后的R^2值较模型(7)有较大下降(从0.303降至0.248)。根据模型简约性原则,本研究决定排除实验类型变量。最终的回归结果如表7所示。

表7显示,与不可访问相比,网站可访问时长与实验通过率之间呈正相关关系,即访问响应时间越短,实验通过率越高。与2017年相比,2022年和2024年上线的课程对实验通过率呈现出负相关关系,其中2022年上线的课程实验通过率最低。临床医学类、药学类、中药学与实验通过率呈现负相关关系,说明与基础医学类相比,这几类课程的实验通过率低。

表6　实验人数的影响因素的逐步OLS回归结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
访问响应时间				
200 ms以内	989.82[a](<0.001)	677.52[a](0.005)	616.72[b](0.011)	507.20[b](0.040)
200~500 ms	746.70[a](<0.001)	745.33[a](<0.001)	696.24[a](<0.001)	600.04[a](0.001)
500 ms以上	605.88[a](0.003)	617.79[a](0.003)	511.19[b](0.013)	426.86[b](0.042)
课程上线年份				
2018		275.66(0.427)	−28.49(0.935)	−29.59(0.932)
2019		2 456.72[a](<0.001)	1 997.32[a](<0.001)	1 878.33[a](<0.001)
2020		953.69(0.287)	633.81(0.481)	538.71(0.550)
2021		1 040.83[b](0.012)	395.67(0.378)	291.47(0.520)
2022		88.14(0.773)	−392.06(0.231)	−469.68(0.154)
2023		−166.74(0.680)	−474.11(0.246)	−678.11(0.106)
2024		−117.59(0.720)	−408.17(0.225)	−566.34(0.102)
所属专业				
临床医学类			−837.27[a](<0.001)	−764.30[a](<0.001)
口腔医学类			−1 244.78[a](0.002)	−1 138.29[a](0.006)
公共卫生与预防医学类			−72.32(0.770)	−114.08(0.645)
中医学类			−916.49[a](0.001)	−905.98[a](0.001)
中西医结合类			−1 099.62(0.113)	−1 027.38(0.140)
药学类			−405.78(0.162)	−337.65(0.247)
中药学			−949.97[a](0.009)	−896.58[b](0.014)
法医学类			−1 243.10[a](0.009)	−1 272.62[a](0.007)
医学技术类			−762.53[a](0.004)	−751.01[a](0.005)
护理学类			−242.15(0.310)	−204.55(0.395)
实验类型				
综合设计型				279.93(0.104)
研究探索型				558.04[b](0.050)
常数	572.34[a](<0.001)	298.20(0.323)	1 218.34[a](0.001)	1 142.05[a](0.002)
观察值	659	659	659	659
R^2值	0.042	0.183	0.228	0.233
调整后的R^2值	0.037	0.171	0.204	0.207

注:a表示P<0.01,b表示P<0.05,c表示P<0.1。

表 7　实验通过率的影响因素的逐步 OLS 回归结果

变量	模型(5)	模型(6)	模型(7)
访问响应时间			
200 ms 以内	35.29[a](<0.001)	26.69[a](<0.001)	23.96[a](<0.001)
200~500 ms	36.35[a](<0.001)	29.32[a](<0.001)	26.84[a](<0.001)
500 ms 以上	34.43[a](<0.001)	27.82[a](<0.001)	24.59[a](<0.001)
课程上线年份			
2018		−2.56(0.691)	−7.74(0.236)
2019		7.63(0.260)	−8.88(0.232)
2020		2.02(0.903)	−15.21(0.365)
2021		3.07(0.691)	−10.52(0.209)
2022		−20.22[a](<0.001)	−31.89[a](<0.001)
2023		3.40(0.652)	−4.33(0.570)
2024		−11.22[c](0.066)	−18.79[a](0.003)
所属专业			
临床医学类			−14.47[a](<0.001)
口腔医学类			−12.51(0.102)
公共卫生与预防医学类			2.83(0.540)
中医学类			−1.40(0.777)
中西医结合类			−12.55(0.332)
药学类			−18.52[a](0.001)
中药学			−19.92[a](0.003)
法医学类			8.73(0.322)
医学技术类			−0.15(0.976)
护理学类			−5.45(0.221)
常数	30.33[a](<0.001)	45.19[a](<0.001)	62.49[a](<0.001)
观察值	658	658	658
R^2值	0.223	0.290	0.324
调整后的R^2值	0.220	0.279	0.303

注：a 表示 $P<0.01$，b 表示 $P<0.05$，c 表示 $P<0.1$。

3　讨论

总体而言，尽管平台已上线 666 门医学课程，但实验参与人数的平均值仅为 1 020.91 人，通过率的平均值仅为 51.71%，且标准差较大。数据显示，课程数量的增长在一定程度上并未同步带来资源质量的提升，未能完全实现“利用新技术共建共享优质医学教育资源”的目的。具体表现如下。

3.1　课程访问性能是影响使用效果的核心因素

数据分析显示，平台中 39.91%(263/659)的课程存在无法访问的问题，这一比例与其他平台和课程的调查结果相差不大。成冬梅[10]分析了高职院校数字化教育资源的建设与共享现状，发现有 40.30% 的学校存在资源无法访问的情况。薛海国[11]对本科物理类专业国家精品课程的建设进行了分析，发现无法访问的课程所占比例为 22.20%。回归分析显示，在可访问的课程中，响应时间与实验人数和通过率之间呈现正向相关关系。这表明，访问稳定性不仅是用户使用的基础保障，更是提升学习效果的关键技术指标。

3.2　课程上线年份与使用效果呈动态变化

研究发现，课程上线年份对实验人数和通过率的影响呈现出非均衡特征。在实验人数方面，与 2017 年相比，2019 年上线的课程对实验人数的影响最大，这可能与教育部发布的“自 2019 年起，高等学校应将国家级虚拟仿真实验教学中心纳入年度考核范围”的政策刺激有关。在通过率方面，2022 年及 2024 年上线的课程通过率显著低于早期课程，其中 2022 年上线的课程通过率较基准年(2017 年)有所降低。这表明课程上线年份的变化对课程通过率有着复杂且不可忽视的影响，可能与当年度的课程内容难度、审核严格程度及宏观政策环境等因素有关。具体的影响原因和机制需进一步深入探讨。

3.3　学科分布不均制约资源共享效率

学科属性对实验人数和通过率的影响存在显著差异。在实验人数方面，与基础医学类课程相比，临床医学类、口腔医学类、中医学类、法医学类等课程的实验人数显著减少。这一结果与陈怡然等[12]的研究结果一致。这可能与临床医学、口腔医学等课程对操作设备要求较高，而部分院校虚拟仿

真设备不足，导致学生更加依赖线下实践有关。在通过率方面，药学类、中药学类课程的通过率显著低于基础医学类课程，这可能与学科特色有关。例如，药学相关实验具有相当程度的连续性，从而增加了在单位时间内连续完成实验的难度[13]。

3.4　实验类型差异影响学习参与兴趣

本研究发现，实验类型的设计显著提升了医学生的学习兴趣。数据显示，与基础练习型课程相比，研究探索型课程的实验人数显著增加。研究结果与郑前进和朱郴韦[14]及刘彦飞等[15]的结论一致。

该发现印证了国家虚拟仿真金课“两性一度”（高阶性、创新性、挑战度）的建设导向，揭示了医学生群体对复杂决策能力培养的迫切需求，为优化医学实验教学体系提供了实证依据。

3.5　研究建议

首先，优化技术性能，提升访问稳定性。针对约四成课程无法访问的问题，建议明确平台与课程提供方的责任边界，通过创新机制推动技术性能的优化。例如，可以建立动态监测与通报制度，按月生成《课程访问性能报告》，对无法访问或访问不稳定的课程进行预警标注，并将这些信息定向发送至课程负责人及其所属院校的管理部门，以督促其限期整改。对于服务器资源有限的院校，平台可开放边缘计算节点或提供云服务器租赁补贴，从而降低校方课程运维成本；同时，鼓励区域内高校共建共享服务器集群[16]，以避免重复投入。

其次，优化学科布局，促进资源均衡配置。优先建设高需求学科的课程，针对临床医学、护理学等受众广泛的学科，增加虚拟仿真课程的数量，并优化现有课程的内容深度和交互设计。扶持冷门学科资源的开发，对于法医学、中西医结合类等课程，可通过政策倾斜（如专项经费支持）鼓励高校联合开发，以避免学科资源出现“马太效应”。

最后，建立动态评估机制，以促进质量共享。优化用户评价体系，在现有课程评分的基础上，增加留言、互动等反馈模块，定期收集师生意见，并将这些意见作为课程迭代更新的依据。实施整改与激励并行的政策，以平台年度访问量的中位数为基准，对访问量低于该中位数50.00%的课程启动整改流程，同时对优质课程提供推广资源和经费奖励。

综上而言，本研究基于“实验空间”平台的数据，系统分析了医学虚拟仿真课程的使用现状及影响因素，为优化资源利用提供了实证依据。然而，该研究同时也存在一定的局限性。首先，研究数据仅来源于单一平台，未整合其他区域性平台或院校自有平台的数据，这可能影响结论的普适性。其次，实验通过率的评价维度较为单一，未纳入学习行为数据（如实验平均用时、优秀率等）。未来研究可结合多模态数据深化效果评估，例如结合眼动追踪或脑电数据，以分析虚拟仿真课程对医学生认知负荷的影响，并进一步优化人机交互设计。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　程文闻：方案优化、项目实施、统计分析、撰写论文；朱靓：项目指导、项目设计

参考文献

[1] 逯行，朱陶，徐晶晶，等. 高校虚拟仿真实验教学的基本问题与趋势[J]. 现代教育技术，2021，31(12)：61-68. DOI: 10.3969/j.issn.1009-8097.2021.12.008.

[2] 施菊花，顾鸣敏，蒋益，等. 医学虚拟仿真实验教学课程的建设与思考[J]. 实验室研究与探索，2025，44(1)：96-99. DOI: 10.19927/j.cnki.syyt.2025.01.019.

[3] 吴文哲，季林丹，陈坤. 虚拟仿真实验教学项目建设的挑战与对策[J]. 中国大学教学，2023(10)：69-74. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0450.2023.10.013.

[4] 何姗，陈倩竹，张云美，等. 下肢骨牵引护理虚拟仿真实验项目的设计与应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2024，23(10)：1413-1419. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20231009-01688.

[5] 许可，徐蓉，许华燕. 探索基础医学创新教育：以心脏胚胎发育虚拟仿真教学系统构建为例[J]. 中华医学教育探索杂志，2024，23(10)：1347-1351. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240219-01876.

[6] 周丽，方琪，何金龙，等. 检验医学期刊新媒体推文主题分析及优化策略[J]. 中国科技期刊研究，2024，35(7)：932-940. DOI: 10.11946/cjstp.202312301057.

[7] 田兆雪，任奕，王媛，等. 用户需求导向的交叉学科专题信息资源导航建设实践：以清华大学双碳信息导航为例[J]. 图书情报工作，2024，68(2)：41-49. DOI: 10.13266/j.issn.0252-3116.2024.02.004.

[8] 葛岩，崔璐，郭超. 在线学习需求分析及优化策略研究[J]. 高等工程教育研究，2023(6)：125-131.

[9] 佘锦鑫（当轩）. 前端性能揭秘[M]. 北京：电子工业出版社，2022.

[10] 成冬梅. 高职院校数字化教育资源的建设、共享现状与构建模式研究[J]. 中国职业技术教育，2016(2)：88-92.

[11] 薛海国. 本科物理类专业国家精品课程建设的网络调研[J]. 西南师范大学学报（自然科学版），2015，40(11)：161-165. DOI: 10.13718/j.cnki.xsxb.2015.11.026.

[12] 陈怡然，冯秀芝，刘立萍，等. 高等医学教育虚拟仿真实训平台的建设现状与思考：基于VOSviewer软件的可视化分析[J]. 中国医学教育技术，2024，38(2)：183-189. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202402008.

[13] 马志国，徐俊，王峰，等. 药学虚拟仿真实验教学平台的建设与实践[J]. 实验技术与管理，2020，37(4)：224-226，248. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2020.04.050.

[14] 郑前进，朱郴韦. 国家级虚拟仿真实验教学一流课程：演进、特征与趋势[J]. 黑龙江教育（理论与实践），2025(2)：1-5.

[15] 刘彦飞，代永红，周立青，等. 面向基础教学的数字电路实验平台研制[J]. 实验室研究与探索，2019，38(1)：170-174. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7167.2019.01.041.

[16] 徐建华，亢琦，李盛楠. 数字信息服务的环境可持续发展：思考与期待[J]. 高校图书馆工作，2019，39(6)：5-12.

（收稿日期：2025-01-31）
（本文编辑：邬小梅）