

# 基于因子分析法的虚拟实验教学评价指标体系研究

曹琦, 石晶, 毕方鸿

(陆军勤务学院 勤务指挥系, 重庆 401331)

**摘要:** 为建立可靠实用的虚拟实验教学评价指标体系, 量化虚拟实验教学效果, 分别从学生、教师两个主体入手, 设计了调查问卷。基于因子分析法对原始评价指标体系进行了验证、筛选和修正, 并最终确定虚拟实验教学评价指标体系及其权重。结果表明, 虚拟实验不同于传统实验, 教师课前应更加关注实验合理性、准确度和创新度的设计; 课上应以学生为主体, 更多地发挥学生的主观能动性。该指标体系是虚拟实验教学评价的理论基础, 可为虚拟实验教学方法的改进提供参考借鉴。

**关键词:** 虚拟实验; 教学评价; 指标体系; 因子分析法

**中图分类号:** G647 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8874(2023)02-0091-06

## Research on the Evaluation Index System of Virtual Experiment Teaching Based on Factor Analysis

CAO Qi, SHI Jing, BI Fang-hong

(Department of Logistics Command, Army Logistics University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** In order to establish a reliable and practical evaluation index system of virtual experiment teaching and to quantify the effect of virtual experiment teaching, a questionnaire was designed with students and teachers being the two subjects. The original evaluation index system was verified, screened and modified based on factor analysis. Then the evaluation indexes and their weights were finally determined. The results show that the virtual experiment was different from the traditional experiment. Teachers should pay more attention to experimental rationality, accuracy and innovation before class. Students should be the center in class and their subjective initiative should be given more play. The index system is the theoretical basis of the evaluation of virtual experiment teaching, and can provide reference for the improvement of virtual experiment teaching methods.

**Key words:** virtual experiment; teaching evaluation; index system; factor analysis

### 一、引言

传统实验教学受客观实验条件的影响较大, 教师在有限的时空内将知识和实验方法、技巧等

传授给学生, 学生按部就班地执行和操作, 较为程序化, 不利于学生创新与独立思考能力的培养。随着信息技术在高等教育领域的迅猛发展<sup>[1]</sup>, 虚拟实验教学逐步走进高校课堂, 通过对所学知识的逼真表现, 将理论教学和实践教学很好地

收稿日期: 2022-08-30

基金项目: 全国教育科学国防军事教育学科规划项目(JYKYD2021020); 重庆市高等教育教学改革研究重点项目(192053); 重庆市高等教育教学改革研究重点项目(202129)

作者简介: 曹琦(1976-), 男, 重庆人。陆军勤务学院勤务指挥系教授, 博士后, 博士研究生导师, 主要从事计算机模拟训练及虚拟实验教学研究。

融合,从而提高教学效果<sup>[2-3]</sup>。例如,美国北卡罗来那大学随时随地学习物理(Learn Any time Any where Physics,简称LAA Physics)实验室构建的物理学习网络平台,可以有效支持老师对学生实验的网上指导与评分<sup>[4]</sup>;罗马尼亚瓦拉几亚大学基于LabView构建的电子课程实验教学平台,丰富了教学手段与学习场景<sup>[5]</sup>;北京大学构建的基于Web的网上虚拟实验室(WWW Network Virtual Laboratory,简称3WNVLAB),具备流水线设计和Cache设计的功能<sup>[6]</sup>;华中科技大学构建的在线测试虚拟实验系统,可以直接基于计算机终端开展虚拟仿真实验<sup>[7]</sup>。

当前,虚拟实验教学系统的开发与应用研究已经逐渐趋于成熟,但是由于虚拟实验过程中具有较多的不确定因素和复杂因素,对其教学评价的研究仅有少量文献<sup>[8-9]</sup>。沃尔夫(Wolf)对学生在虚拟实验前后分别采用相同测试题进行抽查,以检验实验教学的效果<sup>[10]</sup>;陈(Chen)等人基于概率统计法,对虚拟实验中教学资源的多媒体形式进行了评估分析<sup>[11]</sup>;孙福等人认为,虚拟实验教学评价应采用系统工程方法,对实验内容、实验设计、实验流程、教学应用等各个方面进行全方位分析与评估<sup>[12]</sup>;张海军等人认为,目前虚拟仿真实验项目的评价多为定性评价,在指标体系权重赋权方面有待改进<sup>[13]</sup>;刘旭光对高职院校虚拟实验教学评估系统进行了设计,并强调了评估虚拟实验平台的重要性<sup>[14]</sup>。因此,通过建立可靠实用的评价指标体系来量化虚拟实验教学效果显得尤为重要。张咪等人针对虚拟仿真实验学习效果建立了以知识发展、实验技能、交流互动、情感态度为一级指标的评价指标体系<sup>[15]</sup>;温泉等人设计了以实验建设、教学过程、教学效果、实验环境、实验特色为一级指标的虚拟实验教学评估指标体系<sup>[16]</sup>;韩月强从教学理念、教学体系、实验教学方式方法、实验教学队伍建设模式、仪器设备配置和安全环境、实验教学中心建设和管理模式、实验教学信息化水平、建设成果与示范作用等方面建立了虚拟仿真实验教学中心建设的指标体系<sup>[17]</sup>。

总的来说,现有指标体系比较宏观和全面,但在紧贴实验教学实际、突出教学效果方面还有所欠缺。为此,本文按照实验前、实验中、实验后的时间维度设计指标体系,重点从教学准备、教

学过程、教学效果三个方面展开评价,并在前期建立原始指标体系的基础上引入因子分析法,通过调查问卷,进一步验证、筛选和修正各级指标,最终确定了虚拟实验教学评价指标体系及其权重。

## 二、原始虚拟实验教学评价指标体系

笔者长期从事军事后勤领域的虚拟实验教学,为管理科学与工程、物流管理、物联网工程等专业本科生、研究生开设“后勤保障模拟仿真”“后勤指挥信息保障”“后勤管理决策仿真”等虚拟实验课程共计5门。在前期文献研究基础上,通过咨询多名虚拟实验教学领域专家,初步构建了虚拟实验教学评价的原始指标体系,如表1所示。该指标体系主要包括3个一级指标、13个二级指标,以及51个三级指标。

表1 原始虚拟实验教学评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
教学准备	虚拟实验设计	实验目的合理程度
		实验方法设计创新度
		实验原理准确度
		实验课程设计完善性
		实验教学方法合理性
	实验资源准备	预习报告完成率
		预习资源使用率
		测评题库完善率
		测评题库与理论教学联系的密切性
		知识库资源更新率
	课前讨论	学生课前讨论与教学内容关联度
		学生课前讨论深度
		学生课前讨论积极性
教学引导的有效性		
教学过程	学生情感态度	学习兴趣是否浓厚
		是否具有科学探索精神
		登录平台时长及次数
		听课认真度
		记录笔记次数

续表 1

一级指标	二级指标	三级指标
教学过程	教师情感态度	教学热情是否浓厚
		是否具有科学探索精神
		能否积极与学生交流互动
	学生实验资源利用	实验时间及实验次数
		实验完成度
		实验器材操作和选择的正确率
		实验资源库使用频次
	学生实验能力	是否按步骤完成实验
		实验准确率
		能否正确观察实验现象
		能否正确记录分析实验数据
		能否灵活排除实验故障
	教师实验教学能力	实验故障时能否迅速找到原因并排除
		对实验平台的熟练度
		教学过程中学生是否积极投入
	交流互动	交互平台使用频次
参与讨论频次		
实验资源共享频次		
学生与教师互动次数		
教学效果	实验成绩	实验完成率
		优秀率
		及格率
		平均分
	实验掌握情况	仪器掌握情况
		原理掌握情况
		技能掌握情况
	实验环境	系统兼容性 & 实验开发率
		系统故障率
		系统平均故障时长
	实验作业	课后实验作业完成情况
		布置实验作业设计的合理性
		批改作业并反馈学生的及时性

该原始指标体系是定性分析所得,容易陷入经验主义误区,且所含指标过于繁杂冗余,不利于实践应用,因此需要进一步量化和精简。在众多指标体系研究方法中,因子分析法强调找出制约诸多变量的公共因素,并把这些因素分解出来,

可以通过少数变量来综合反映指标体系的大部分信息。因此,本文基于因子分析法对上述原始指标体系进行改进。

### 三、基于因子分析法的评价指标体系改进

#### (一) 问卷设计

本文的数据支撑主要来自问卷调查收集的数据。由于在虚拟实验教学中教师与学生是两个相对独立且同等重要的主体,因此问卷区分为教师卷与学生卷。问卷按照实验前、实验中、实验后的顺序设计,采用“四点式李克特量表”,归类为“非常满意”“满意”“不满意”“非常不满意”1~4 不同程度分值。问卷对象为陆军勤务学院 2019 级本科生及其虚拟实验课程任课教师。问卷形式为实验课程结束后现场调查。共发放问卷 420 份,收回 420 份。其中,学生卷 415 份,教师卷 5 份,满足因子分析的数量要求。

#### (二) 可行性检验

因子分析法能有效提取原始指标信息,但并不适用于某些结果贡献度较分散的指标体系。通常,共同度、KMO 值和 Bartlett's 球形检验值可以量化因子分析法的可行性。为此,本文根据收集到的学生问卷调查数据,分别针对教学准备(A)、教学过程(B)和教学效果(C)三个一级指标进行适应性检验,计算各自三级指标的相关系数。主要选用主成分分析法,因子旋转参数为最大变异法,因子分析选项完全排除遗漏值,计算结果如表 2 所示。结果表明:KMO 值均大于 0.8, Bartlett's 球形检验最小值为 843.556,  $P=0.000$ , 相关系数矩阵非单位矩阵,因子分析法适用于本研究。

表 2 适应性检验结果

指标		A	B	C
KMO		0.854	0.806	0.871
Bartlett's 球形检验	Approx. Chi-Square	843.556	1709.278	965.483
	df	251	109	147
	P	0.000	0.000	0.000

#### (三) 因子分析

分别提取 3 个一级指标下的各级观测指标的公因子数量,首先输出一级指标的所有公因子,根

据学生问卷调查数据计算特征值和方差贡献率,放弃其中特征值小于1的因子,对其他因子按方差贡献率由大到小排序,并计算其累计方差贡献率。本文目的是建立一个能反映多数原始指标信息的相对精简的指标体系,为此设置方差贡献率阈值为6%、累计方差贡献率阈值为60%,即:放弃方差贡献率排序表中不足6%的因子。如果最终指标体系的累计贡献率大于60%,则认为可以提取大部分信息;否则,即为放弃因子太多,影响了分析效果。在教学准备(A)中提取3个公因子,累计方差贡献率为79.269%;在教学过程(B)中提取5个公因子,累计方差贡献率为78.552%;在教学效果(C)中提取6个公因子,累计方差贡献率为73.141%。为了确保每个变量没有对其他因子存在大于0.4的载荷,需要去除2个或2个以上

因子的载荷均大于0.4的变量<sup>[18]</sup>,所以A、B组分别删去1个公因子,C组删去3个公因子,结果如表3所示。其中,“初始特征值”下为计算所得的特征值和方差贡献率,以及按方差贡献率由大到小排序所累加得到的累计方差贡献率,提取出来的公因子数值都大于1;“各因子旋转载荷平方和”下为相关系数矩阵的最终特征值,公因子旋转后的累计方差贡献率并无改变,但却影响了各公因子的方差贡献率。最终的累计方差贡献率分别为70.307%、70.778%和61.638%,均超过60%的阈值。总体而言,在原有指标信息得到有效保留的同时,较好地精简了原始指标体系。重复以上过程,再对二级指标进行因子分析,可以得到三级指标。由于步骤重复,这里不再赘述。

表3 因子分析结果

成分	初始特征值			各因子旋转载荷平方和		
	全部特征值	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)	全部特征值	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
A1	9.957	60.171	60.171	7.719	55.350	55.350
A2	1.695	10.136	70.307	2.676	14.957	70.307
B1	5.687	41.233	41.233	5.687	32.494	32.494
B2	1.804	15.588	56.821	1.804	19.004	51.498
B3	1.141	7.309	64.13	1.142	17.938	69.437
B4	1.058	6.648	70.778	1.058	1.341	70.778
C1	5.843	43.899	43.899	5.843	23.869	23.869
C2	1.635	10.288	54.187	1.636	20.673	44.542
C3	1.393	7.4506	61.638	1.393	17.096	61.638

#### (四) 权重确定及修正

本文最终构建了一个由3个一级指标、9个二级指标,以及34个三级指标组成的虚拟实验教学评价指标体系。由表3可以得到旋转后各公因子的特征值及方差贡献率;可以根据各公因子的特征值,通过归一法来确定各个指标的权重,如下式所示:

$$r_i = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^{34} X_i} \quad (1)$$

其中: $r_i$ 为第*i*个指标权重; $X_i$ 为第*i*个公因子

的特征值; $\sum_{i=1}^{34} X_i$ 为公因子的特征值之和。

为增强指标权重的准确性,将权重计算结果与教师问卷调查数据的统计结果进行对比分析,两者大致吻合,但仍存在部分差异。例如,计算结果表明课前预习报告的完成情况对最终学习效果的影响有限,而教师问卷结果则认为影响较大。因此,鉴于教师教学经验的重要性,对两者分歧较大的指标权重进行了修正,并将教师问卷调查结果权重调大,最终得到虚拟实验教学评价指标体系及其权重,如表4所示。

表4 最终虚拟实验教学评价指标体系及其权重

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重
教学准备	0.36	虚拟实验设计	0.27	实验目的合理程度	0.14
				实验原理准确度	0.09
				实验方法设计创新度	0.04
		实验资源准备	0.09	预习报告完成率	0.03
				预习资源使用率	0.02
				知识库资源更新率	0.02
				测评题库完善率	0.02
教学过程	0.36	学生情感态度	0.14	学习兴趣是否浓厚	0.10
				是否具有科学探索精神	0.02
				登录平台时长及次数	0.01
				记录笔记次数	0.01
		学生实验资源利用	0.08	实验时间及实验次数	0.02
				实验完成度	0.02
				实验器材操作和选择的正确率	0.02
				实验资源库使用频次	0.02
		学生实验能力	0.07	是否按步骤完成实验	0.02
				实验准确率	0.02
				能否正确观察实验现象	0.01
				能否正确记录分析实验数据	0.01
		交流互动	0.07	能否灵活排除实验故障	0.01
				交互平台使用频次	0.03
				参与讨论频次	0.02
				实验资源共享频次	0.01
教学效果	0.28	实验成绩	0.13	学生与教师互动次数	0.01
				实验完成率	0.04
				优秀率	0.03
				及格率	0.03
		实验掌握情况	0.08	平均分	0.03
				仪器掌握情况	0.03
				原理掌握情况	0.03
		实验环境	0.07	技能掌握情况	0.02
				系统兼容性及实验开发率	0.03
				系统故障率	0.02
				系统平均故障时长	0.02

## 四、结果讨论与分析

从上述结果可以看出,对虚拟实验教学效果的评价依然需要从传统教学步骤(教学准备、教学过程、教学效果)入手,基于因子分析法可以对评价指标体系进行高效简化,从而确定对虚拟实验教学效果影响更大的评价指标。与原始指标体系相比,在教学准备一级指标中,课前讨论受限于授课时间与环境条件,对教学效果的影响较小。而虚拟实验设计与实验资源准备对教学效果影响较大,尤其是实验设计的合理性、准确度和创新性,应引起教师的重点关注。在教学过程一级指标中,起主导作用的主体是学生,影响最终教学效果的主要因素是学生的态度、实验资源利用情况、实验能力等方面,这就要求教师在虚拟实验教学过程中应区别于传统实验的说教模式,更多地以学生为主,发挥学生的主观能动性。在教学效果一级指标中,实验成绩、实验掌握情况、实验环境等方面对教学效果的影响较大。与传统实验相比,除了重视实验完成率和各种能力掌握程度外,教学效果对实验环境的要求会更高。

## 五、结语

本文通过咨询法初步建立了虚拟实验教学评价原始指标体系,从教师和学生两个教学主体入手完成了问卷调查,探索性地运用因子分析法对原始指标体系进行了验证、筛选和修正,并最终确定了3个一级指标、9个二级指标,以及34个三级指标的虚拟实验教学评价指标体系及其权重。该指标体系为虚拟实验教学评价提供了可资参考的理论基础。更重要的是,为下一步更好地开展虚拟实验教学、改进教学方法指明了方向,对提高虚拟实验教学质量具有借鉴意义。

### 参考文献:

[1] 尚俊杰,曹培杰.“互联网+”与高等教育变革:我国高等教育信息化发展战略初探[J]. 北京大学教育评论,

2017(1):173-182.

- [2] 高志强,王晓敏,闫晋文,等.我国虚拟仿真实验教学项目建设的现状与挑战[J]. 实验技术与管理,2020(7):5-9,14.
- [3] 史靖,吕顺利,曾云,等.复杂工程系统虚拟实验的构建探索[J]. 实验室研究与探索,2021(8):168-172.
- [4] 黄春媚.虚拟实验方式在电子技术实验教学中的应用[J]. 广西教育,2016(11):181-183.
- [5] DUMITRESCU C, OLTEANU R L, GORGHU L M, et al. Using virtual experiments in the teaching process [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences,2009(1): 776-779.
- [6] 吴涛.机械液压虚拟实验仿真平台的设计与实现[D]. 重庆:重庆大学,2016:3.
- [7] 明繁华.基于虚拟仪器的在线实验系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006:11.
- [8] 潘逢群.基于LabVIEW的工业控制实验教学系统研究与开发[D]. 西安:陕西科技大学,2012:2-4.
- [9] 沈国舜,胡优敏,李稻,等.功能学虚拟实验管理和评估系统的实践[J]. 实验室研究与探索,2013(10):65-68.
- [10] WOLF T. Assessing student learning in a virtual laboratory environment [J]. IEEE Transaction on Education,2010(5):216-222.
- [11] CHEN W, WU W, SU T. Assessing virtual laboratories in a digital-filter design course:an experimental study[J]. IEEE Transaction on Education,2008(2):10-16.
- [12] 孙福,孙佳怡,刘国庆,等.虚拟仿真实验教学项目评价研究[J]. 实验技术与管理,2020(7):187-190.
- [13] 张海军,闫琼,张睿,等.虚拟仿真实验项目建设质量评价研究[J]. 实验技术与管理,2020(9):174-178.
- [14] 刘旭光.高职院校虚拟实验教学评估系统设计[J]. 林区教学,2015(8):11-12.
- [15] 张咪,孙力.虚拟仿真实验学习评价体系研究[J]. 中国成人教育,2020(8):51-54.
- [16] 温泉,孙晓颖,刘玉娟,等.虚拟实验室教学评估指标体系的设计[J]. 实验室研究与探索,2010(10):296-299.
- [17] 韩月强.虚拟仿真实验教学的数据分析与教学评价研究[D]. 北京:北京邮电大学,2016:9-26.
- [18] 张晓琳,焦明丽,吴群红,等.基于因子分析法的临床医学学生创新能力评价指标体系研究[J]. 中国高等医学教育,2015(10):107-109.

(责任编辑:毛鸽枝)