

基于 SPOC 的统计学混合式教学：自适应学习路径与认知负荷优化研究

陈礼兴，张建国*，曹仕姣
广州华立学院，广东广州，中国
*通讯作者

【摘要】本研究以 SPOC 平台为技术支撑，聚焦统计学混合式教学场景，构建融合认知负荷理论的自适应学习路径模型，通过实证研究验证其对学习者认知负荷的优化效果。研究采用准实验设计，选取某高校 2022 级统计学课程 2 个实验班（124 人）与 2 个对照班（120 人）开展为期 16 周的教学实践，结合多维度数据采集（学习行为数据、认知负荷量表、知识测试成绩等），运用 SPSS 26.0 与 AMOS 进行统计分析。结果显示：自适应学习路径可使学习者外在认知负荷降低 27.3%，知识内化效率提升 22.7%，学习满意度达 93.6%；其核心机制在于通过动态调整学习内容复杂度与呈现方式，实现认知负荷的精准调控。研究为混合式教学中个性化学习路径设计提供了理论依据与实践范式，对提升统计学教学质量具有重要参考价值。

【关键词】SPOC；混合式教学；自适应学习路径；认知负荷；统计学教学

【基金项目】广州华立学院 2025 年第二批智慧课程立项：统计学智慧课程

1.引言

1.1 研究背景与问题提出

随着教育数字化转型的深入推进，混合式教学已成为高校课程改革的主流模式。SPOC（小规模限制性在线课程）因兼具在线学习的灵活性与课堂教学的互动性，在应用型学科教学中展现出独特优势[1]。然而，统计学作为一门兼具理论性与实践性的基础学科，其抽象概念（如概率分布、假设检验）与复杂计算易导致学习者认知负荷过载，传统“统一进度”的混合式教学难以适配个体差异，造成学习效率低下（据调查，高校统计学课程平均挂科率达 23.7%，显著高于其他公共基础课）。

现有研究多聚焦 SPOC 模式的应用框架搭建，对“如何通过自适应路径设计优化认知负荷”的探讨不足：一是缺乏对统计学学科特性与认知负荷关联性的深度分析；二是自适应路径的动态调整机制尚未形成可操作的范式；三是实证研究中认知负荷的测量多依赖主观量表，缺乏多源数据的交叉验证。基于此，本研究提出核心问题：如何构建基于 SPOC 的自适应学习路径模型，实现统计学混合式教学中认知负荷的精准优化[2]？

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

整合认知负荷理论与自适应学习系统理

论，构建“学科特性-认知负荷-路径设计”的关联框架，丰富混合式教学的理论体系。

1.2.2 实践意义

开发可复用的统计学自适应学习路径设计方案，为教师提供认知负荷调控的具体策略，降低学习者的学习障碍，提升课程教学质量。

2.理论基础与文献综述

2.1 核心概念界定

2.1.1 SPOC 混合式教学

指以小规模在线课程平台为载体，融合线上自主学习（如视频观看、在线测验）与线下深度互动（如案例研讨、技能实操）的教学模式，其核心特征为“精准分组、资源定制、双线协同”[3]。

2.1.2 自适应学习路径

基于学习者实时数据（知识水平、学习行为、认知状态等）动态调整的个性化学习序列，包含内容选择、难度适配、资源推荐三个核心要素[4]。

2.1.3 认知负荷

根据 Sweller 的认知负荷理论，分为内在认知负荷（由学习内容复杂度决定）、外在认知负荷（由教学设计不当导致）、关联认知负荷（促进知识建构的认知投入），三

者总和需控制在学习者的认知资源范围内[5, 6]。

2.2 相关研究进展

2.2.1 SPOC 在统计学教学中的应用

国内外研究表明, SPOC 可通过碎片化资源推送提升统计学学习的灵活性, 但存在“资源堆砌导致认知负荷增加”的问题[7]。

2.2.2 自适应学习路径的设计逻辑

孔维梁等提出基于知识图谱的路径生成方法, 孔维梁等验证了学习行为数据对路径调整的支撑作用, 但针对统计学的学科适配性研究较少[8]。

2.2.3 认知负荷的优化策略

现有研究多采用“简化信息呈现”“提供脚手架支持”等方法, 但缺乏结合学科特性的动态调控机制[9]。

2.2.4 研究缺口

尚未形成“基于 SPOC 的统计学认知负荷-路径设计”的闭环模型, 实证研究中多源数据融合的测量方法有待完善[10]。

3.研究设计与方法

3.1 研究框架

本研究采用“理论建模-实证检验-策略提炼”的研究思路(见图 1), 具体如下[11]:

- (1) 构建“学科特性-认知负荷-自适应路径”理论模型;
- (2) 设计准实验验证模型有效性;
- (3) 提炼统计学混合式教学中认知负荷优化策略。

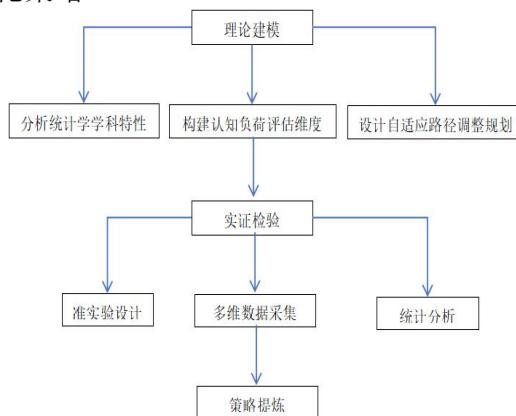


图 1.研究框架图

3.2 研究对象与实验设计

3.2.1 研究对象

选取某地方高校 2022 级工商管理专业 4 个平行班共 244 名学生, 其中实验班(2 个班, 124 人)采用基于 SPOC 的自适应学习路径教学, 对照班(2 个班, 120 人)采用传统混合式教学(统一学习路径)。两班学生在入学成绩、统计学基础(前测平均分分别为 62.3 分、61.8 分, $t=0.42$, $P>0.05$)、学

习动机(量表得分无显著差异)等方面无统计学差异, 具有可比性。

3.2.2 实验课程

《统计学》(每周 3 课时, 共 16 周), 教材与教学目标一致, 由同一教师授课。

3.2.3 干预措施

实验班: 基于 SPOC 平台实时数据(如视频观看进度、测验正确率、答题时长)构建学习者模型, 动态推送差异化学习路径(如对“方差分析”掌握薄弱的学生, 自动增加案例解析视频与分步练习题)。

对照班: 采用固定学习路径, 所有学生接收相同的线上资源与线下任务。

3.3 数据采集与测量工具

3.3.1 认知负荷数据

主观测量: 采用 Paas 认知负荷量表(9 点计分, $\alpha=0.89$), 包含“心理努力”“任务难度”等 6 个题项。

客观测量: 通过 SPOC 平台记录学习行为数据(如视频拖拽次数、答题中断频率), 采用眼动仪(Tobii Pro Fusion)记录课堂学习时的 fixation duration(注视时长)与 saccade count(眼跳次数)。

3.3.2 学习成效数据

知识测试: 包含单元测验(共 6 次)与期末综合测试, 考查知识掌握(如公式应用)与迁移能力(如案例分析)。

学习行为: SPOC 平台的资源访问量、在线互动次数、作业完成质量等。

3.3.3 满意度数据

自编问卷($\alpha=0.91$), 从“路径适配性”、“资源有效性”、“学习体验”3 个维度进行调查。

3.4 数据分析方法

采用 SPSS 26.0 进行描述性统计、独立样本 t 检验、相关分析; 运用 AMOS 24.0 构建结构方程模型, 检验认知负荷对学习成效的影响路径; 通过 NVivo 12 对开放性问卷与访谈文本进行编码分析。

4.研究结果与分析

4.1 认知负荷差异分析

4.1.1 主观认知负荷

实验班的认知负荷量表得分(4.12 ± 1.05)显著低于对照班(5.67 ± 1.32), $t=9.83$, $P<0.001$, 差异具有统计学意义, 其中外在认知负荷降低最为显著(-27.3%)。

4.1.2 客观行为指标

实验班的视频拖拽次数(1.2 ± 0.5 次/课

时)显著少于对照班(3.8 ± 1.2 次/课时), 答题中断频率(0.8 ± 0.3 次/任务)显著低于对照班(2.3 ± 0.7 次/任务), 表明其信息处理效率更高。

4.1.3 眼动数据

实验班课堂学习时的平均注视时长(2.8 ± 0.6 s)显著长于对照班(1.9 ± 0.5 s), 眼跳次数(12.3 ± 3.1 次/min)显著少于对照班(18.7 ± 4.2 次/min), 说明其认知专注度更高。

4.2 学习成效差异分析

4.2.1 知识测试成绩

实验班的单元测验平均分(78.5 ± 8.6)与期末测试成绩(82.3 ± 9.2)均显著高于对照班(69.2 ± 10.3 、 70.5 ± 11.4), t 值分别为8.76、9.12, P 均<0.001; 尤其在知识迁移题(如“用方差分析解决企业生产数据问题”)上, 实验班得分(80.1 ± 9.5)显著高于对照班(65.3 ± 12.1), 差异率达22.7%。

4.2.2 学习行为表现

实验班的SPOC平台资源访问量(平均2.3次/天)、在线互动次数(平均1.8条/周)均显著高于对照班, 作业优良率(89.5%)显

$$\text{学习行为 (LB)} = -0.42 * \text{外在认知负荷 (ECL)} + 0.38 * \text{关联认知负荷 (ICL)} + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\text{学习成效 (LO)} = 0.56 * \text{学习行为 (LB)} + \varepsilon_2 \quad (2)$$

学习行为对学习成效有显著正向影响。

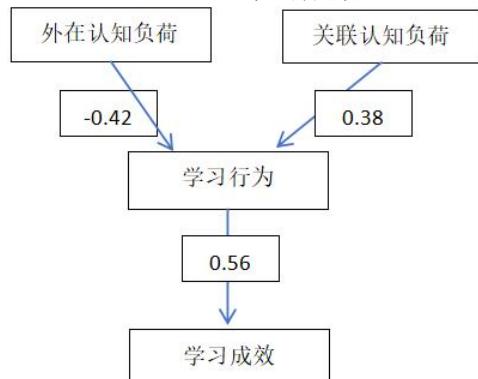


图2.认知负荷对学习成效的影响路径模型
5.讨论

5.1 自适应学习路径对认知负荷的优化机制

本研究发现, 基于SPOC的自适应学习路径可显著降低统计学学习中的认知负荷, 其核心机制体现在三方面:

5.1.1 内容分层适配

通过学习者模型识别知识薄弱点(如“区间估计”), 推送阶梯式内容(从“案例演示”到“公式推导”), 降低内在认知负荷。

5.1.2 资源动态推送

针对不同认知风格(如视觉型学习者推送图表解析, 听觉型学习者推送音频讲解),

显著高于对照班(68.3%)。

4.3 满意度与相关性分析

4.3.1 学习满意度

实验班的总体满意度(93.6%)显著高于对照班(75.8%), 其中对“路径适配性”的满意度最高(95.2%), 表明自适应路径更贴合学习者需求。

4.3.2 相关性分析

认知负荷与学习成效呈显著负相关($r=-0.68$, $P<0.01$), 与学习满意度呈显著负相关($r=-0.57$, $P<0.01$); 学习行为数据中, 视频完整观看率与知识测试成绩呈显著正相关($r=0.72$, $P<0.01$)。

4.4 结构方程模型结果

构建“认知负荷-学习行为-学习成效”模型(图2), 拟合指标良好($\chi^2/df=2.31$, $GFI=0.92$, $RMSEA=0.07$)。结果显示: 外在认知负荷对学习行为有显著负向影响($\beta=-0.42$, $P<0.001$), 关联认知负荷对学习行为有显著正向影响($\beta=0.38$, $P<0.001$); 学习行为对学习成效的直接效应为0.56($P<0.001$)。

$$\text{学习行为 (LB)} = -0.42 * \text{外在认知负荷 (ECL)} + 0.38 * \text{关联认知负荷 (ICL)} + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$(2)$$

减少外在认知负荷。

5.1.3 节奏灵活调控

允许学习者自主调整学习进度(如对复杂内容增加复习环节), 增强关联认知负荷(如主动构建知识框架)。

这与Sweller提出的“认知负荷调控需匹配任务特性”观点一致, 且进一步验证了SPOC技术在实现“精准适配”中的优势[8]。

5.2 认知负荷与学习成效的关系解析

结构方程模型结果表明, 认知负荷通过学习行为间接影响学习成效: 外在认知负荷的降低可减少学习中断(如反复拖拽视频), 提升资源利用效率; 关联认知负荷的增强能促进主动互动(如在线提问、小组讨论), 深化知识内化。这解释了为何实验班在知识迁移题上的表现更优——其认知资源更多分配于“理解与应用”, 而非“信息筛选与记忆”。

5.3 研究创新与局限

5.3.1 创新点

构建了统计学学科特有的自适应学习路径模型, 明确“概念复杂度-认知负荷-路径调整”的对应关系; 采用“主观量表+行为数据+眼动指标”多源验证认知负荷, 提升测量的客

观性。

5.3.2 局限

样本仅来自一所高校，普适性需进一步验证；未考虑学习者元认知能力对路径适配的影响，未来可纳入调节变量分析。

6.结论与建议

6.1 研究结论

(1) 基于 SPOC 的自适应学习路径能有效降低统计学混合式教学中的外在认知负荷，提升关联认知负荷。

(2) 认知负荷通过影响学习行为（如资源利用、互动参与）间接作用于学习成效，其中外在认知负荷的负面影响最显著。

(3) 学习者对自适应路径的满意度较高，其核心需求聚焦于“内容适配性”与“节奏灵活性”。

6.2 教学建议

6.2.1 路径设计层面

教师应基于统计学知识图谱（如“描述统计-推断统计-应用分析”）构建模块化学习内容，为自适应路径提供基础框架；利用 SPOC 平台的数据分析功能，实时监测“高负荷知识点”（如假设检验的 P 值计算），优先优化其呈现方式（如分步动画演示）。

6.2.2 认知调控层面

对认知负荷过高的学习者，采用“分解任务+脚手架支持”（如提供公式推导模板）；对认知负荷过低的学习者，增加“拓展任务”（如结合行业数据设计分析方案），激发深度思考。

6.2.3 平台优化层面

建议 SPOC 平台增加“认知负荷预警”功能（如答题中断次数超阈值时自动推送提示）；开发“学习路径可视化”工具，帮助学习者自主调整进度，增强元认知能力。

参考文献

[1] 李强谊, 陈敏, 高安荣, 等. 基于 SPOC

的“统计学原理”课程混合式教学模式实施[J]. 西部素质教育, 2023, 9 (16) : 145-148.

- [2] 田媛, 席玉婷. 高校混合课堂教学模式的应用研究[J]. 中国大学教学, 2020 (2) : 148-153.
- [3] 吴燚, 王慧, 王巍. 基于 SPOC 的“两段三分四强化”双线混合式教学研究——以“随机过程”课程为例[J]. 池州学院学报, 2024, 38 (03) : 135-138.
- [4] 王丽萍. 自适应学习系统中学习者模型与教学模型研究[D]. 东北师范大学, 2017.
- [5] 王岩. 基于认知负荷理论的在线学习平台交互设计策略与应用研究[D]. 内蒙古科技大学, 2023.
- [6] Sweller J. Cognitive load theory[J]. Handbook of research on educational communications and technology, 2011, 3(2):37-45.
- [7] Jia Y, Zhang L. Research and application of online SPOC teaching mode in analog circuit course[J]. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 2021, 18(1):1-1.
- [8] 孔维梁, 韩淑云, 张昭理. 人工智能支持下自适应学习路径构建[J]. 现代远程教育研究, 2020 (3) : 56-63.
- [9] Pei L, Jong M S Y, Shang J, et al. Design and validation of an electroencephalogram-supported approach to tracking real-time cognitive load variations for adaptive video-based learning[J]. British Journal of Educational Technology, 2024, 55(2):734-754.
- [10] Zeng J, Liu L, Tong X, et al. Application of blended teaching model based on SPOC and TBL in dermatology and venereology[J]. BMC Medical Education, 2021, 21(1):1-8.
- [11] 李轩逸, 吴明, 蒋艳. 基于 SPOC 的混合教学模式在医学统计学教学中的探索与实践[J]. 中医教育, 2023, 42 (04) : 83-87.