

基于“五感具身认知”的建筑物理(热工)实验教学创新实践

徐杨*, 高鹏, 周聪, 黄艳雁, 王雨

湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年2月15日; 录用日期: 2026年3月13日; 发布日期: 2026年3月20日

摘要

建筑物理(热工)课程面临“理论抽象难理解”的持续困境。本研究基于具身认知理论, 创新性地构建了“五感具身认知”实验教学框架, 通过“虚拟环境数字孪生 + 真实场景五感体验”的双重路径, 将抽象热工概念转化为可感知、可体验的具身知识。本研究提“五感”并非传统生理学五感(视、听、嗅、味、触), 而是针对建筑物理教育重新界定的五种认知通道: 视觉、触觉、听觉、体感四种生理感官, 以及感知-认知映射这一连接具身体验与抽象物理量的认知桥梁, 形成“4+1”认知结构。该框架通过“虚拟仿真→校园场景→校外工程”三级递进实验体系实施, 系统激活上述五种认知通道。为期5年、涉及290名建筑学专业学生的准实验研究表明: 热工理论理解准确率从63.64%提升至91%, 热工实验报告平均分从76分提高到89分, 主动借用测量工具辅助设计的学生从不足5人增加到每学期20余人。本研究为具身认知理论在工程教育中的应用提供了系统的理论建构与实证支持, 为建筑类及工程类专业实验教学改革提供了可复制的创新范式。

关键词

五感具身认知, 建筑物理, 实验教学, 虚实融合, 热工性能

Innovative Practice of Architectural Physics (Thermal) Experimental Teaching Based on “Five-Sense Embodied Cognition”

Yang Xu*, Peng Gao, Cong Zhou, Yanyan Huang, Yu Wang

School of Civil Engineering, Architecture and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan Hubei

Received: February 15, 2026; accepted: March 13, 2026; published: March 20, 2026

*通讯作者。

文章引用: 徐杨, 高鹏, 周聪, 黄艳雁, 王雨. 基于“五感具身认知”的建筑物理(热工)实验教学创新实践[J]. 教育进展, 2026, 16(3): 1146-1157. DOI: 10.12677/ae.2026.163594

Abstract

Architectural Physics (Thermal) courses face persistent challenges in helping students understand abstract theories. Grounded in embodied cognition theory, this study innovatively develops a “five-sense embodied cognition” experimental teaching framework that transforms abstract thermal concepts into perceptible, experiential embodied knowledge through dual pathways: digital twin virtual environments and real-world five-sense experiences. The “five senses” proposed in this study differ from the traditional physiological senses (sight, hearing, smell, taste, and touch) and represent five cognitive channels redefined for architectural physics education: four physiological sensory channels—visual, tactile, auditory, and somatic—plus perception-cognition mapping as a cognitive bridge linking embodied experience to abstract physical quantities, constituting a “4 + 1” cognitive structure. This framework is implemented through a three-tier progressive experimental system—virtual simulation, campus scenarios, and off-campus engineering projects—that systematically activates all five cognitive channels. A five-year quasi-experimental study involving 290 architecture students demonstrates significant improvements: thermal theory comprehension increased from 63.64% to 91%, experimental report scores rose from 76 to 89 points, and students proactively borrowing measurement tools for design work surged from under 5 to over 20 per semester. This study provides systematic theoretical construction and empirical support for the application of embodied cognition theory in engineering education, offering a replicable innovative paradigm for experimental teaching reform in architecture and engineering disciplines.

Keywords

Five-Sense Embodied Cognition, Architectural Physics, Experimental Teaching, Virtual-Real Integration, Thermal Performance

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

1.1. 问题的提出：理论抽象的认知障碍

建筑物理是建筑专业的核心基础课程，但长期面临“理论抽象难理解”的教学困境[1][2]。我们对290名学生(2019~2023级)的系统调研显示：63.64%的学生反映难以在抽象的热工概念(传热系数、热桥、太阳辐射)与可感知的建筑现象之间建立联系。传统教学严重依赖数学推导和二维图示，未能激活学生对日常居住热环境的经验性知识，导致学生只能机械记忆公式应付考试，却无法在设计实践中有意义地运用这些知识[3]。

这一困境的本质是认知方式的错配：热工现象本质上是多感官的——热量可以被“看见”(红外成像)、“摸到”(温度梯度)、“听到”(通风气流声)、“感受到”(冷热舒适)、“测量到”(仪器数据)，但传统教学却将其简化为纯粹的符号操作和数学计算，割裂了身体经验与抽象概念之间的天然联系[4][5]。

1.2. 理论基础：具身认知的教育转向

具身认知理论(Embodied Cognition)代表了认知科学的范式转向，主张认知过程深深植根于身体与物理世界的交互之中[6][7]。Lakoff和Johnson(1999)的概念隐喻理论证明，抽象推理从根本上植根于感觉

运动经验[8]。Barsalou (2008)的知觉符号系统理论进一步揭示,概念加工会重新激活感知和行动期间参与
的相同神经系统[9]——当学生理解“热桥”时,他们的理解因重新激活触摸冷表面和观看红外热图的感
官经验而得到丰富。

在工程教育领域,具身学习设计框架(Lindgren & Johnson-Glenberg, 2013)强调三个关键维度:感觉运
动偶联性(学习活动涉及身体运动和多感官知觉的程度)、手势-概念一致性(物理动作与概念结构的匹配
程度)、环境真实性(学习与真实专业情境的保真度) [10]。这为我们设计建筑物理实验教学提供了理
论指引。近年来,具身认知在 STEM 教育中的应用研究表明,身体参与的学习活动能显著提升学生的概
念理解和问题解决能力[11]-[13]。

1.3. 研究目标与创新

本研究的核心目标是:构建系统的“五感具身认知”实验教学框架,通过“虚拟环境强感知→真实
场景增体验”的认知进阶路径,破解建筑物理“理论难理解”的教学困境。

研究的主要创新点包括:

第一,理论创新。首次系统阐述建筑物理教育中的“五感具身认知”理论框架,明确视觉、触觉、听
觉、体感四种生理感官通道与感知-认知映射机制如何协同促进热工概念理解,将测量定位为连接感官
体验与抽象物理量的认知桥梁。

第二,方法创新。创新“虚拟仿真→校内场景→校外工程”三级递进实验体系,实现从“数字感知”
到“身体体验”再到“工程应用”的认知闭环。

第三,技术创新。开发基于 AI 的实验助手及线上实验演示案例库,构建“虚拟环境数字孪生 + 真
实场景五感体验”的混合式学习环境。

第四,实践创新。将校园建筑转化为“活的实验室”,构建宿舍楼、教学楼、图书馆、零碳竹屋四大
递进式实验场景。

2. 理论框架:五感具身认知

2.1. “五感”的重新界定

本研究所提出的“五感”并非生理学意义上的传统五感(视、听、嗅、味、触),而是针对建筑物理教
育情境重新界定的五种认知通道:

第一,视觉通道(能看),生理感官层面,通过红外热成像等技术将不可见热辐射转化为可见图像。

第二,触觉通道(能摸),生理感官层面,通过直接接触感知温度梯度和材料热性能。

第三,听觉通道(能听),生理感官层面,通过声音特征判断通风效果和暖通系统运行状态。

第四,体感通道(能感),生理感官层面,通过全身沉浸体验感知热舒适和环境品质。

第五,感知-认知映射通道(能测),高阶认知能力,通过测量工具建立感官体验与抽象物理量之间的
桥梁。

这一框架的创新之处在于“4 + 1”认知结构。前四种是人类与生俱来的生理感知系统,第五种则是
工程教育特有的高阶认知能力。感知-认知映射不是独立的生理感官,而是连接具身体验与抽象概念的
认知桥梁。当学生用手感受墙体的冷(触觉)、用红外热像仪看到温度分布(视觉)、再用温度计精确测量并
计算传热系数时,测量就成为了将物理公式从冰冷符号转化为真实世界精确描述的关键环节。这种感性
认知到定量表征再到理性分析的完整思维链条,正是工程教育的核心目标。

2.2. 概念架构:三大核心原则

“五感具身认知”框架建立在三个源自具身认知理论并适配于工程教育情境的核心原则之上,本研

究的应用框架如图 1:

原则 1: 多感官整合增强概念深度

认知神经科学表明, 多感觉模态编码的概念比单模态编码表现出更强的神经表征和提取能力(Shams & Seitz, 2008) [14] [15]。在建筑物理中, 热工现象本身跨越多个感官通道显现: 热传递可被可视化(红外成像)、感受(温度梯度)、听到(暖通系统运行)以及整体体验(热舒适)。系统激活这些通道可创建更丰富、更稳健的概念结构。

原则 2: 感觉运动基础连接抽象与具体

抽象热工概念(U 值、传热系数、热桥)在植根于感觉运动经验时变得有意义[16] [17]。当学生触摸冷的热桥部位, 同时观看其红外特征并计算其线传热系数时, 抽象公式 $\psi = Q / (L \cdot \Delta T)$ 就获得了知觉锚定, 从去情境化的符号转化为经验上有意义的表征。

原则 3: 真实情境促进专业文化习得

Vygotsky (1978)的社会文化理论强调, 置于真实专业情境中的学习不仅促进知识获取, 更促进专业身份形成[18]。在建筑物理教学中, 真实建筑、实际热工问题、行业标准测量工具构成了这样的专业情境。Schön (1983)指出, 学生在这样的情境中能够发展出有经验从业者特有的知觉专长和实践判断。De Jong 等人(2013)在《科学》杂志上发表的综述文章中指出, 虚拟仿真与真实实验相结合的混合式学习能够显著提升科学与工程教育的学习效果。Potkonjak 等人(2016)进一步分析了虚拟实验室在教育中的作用, 认为虚拟环境能够降低认知负荷, 而真实环境则提供情境真实性, 两者结合可以实现优势互补[19] [20]。

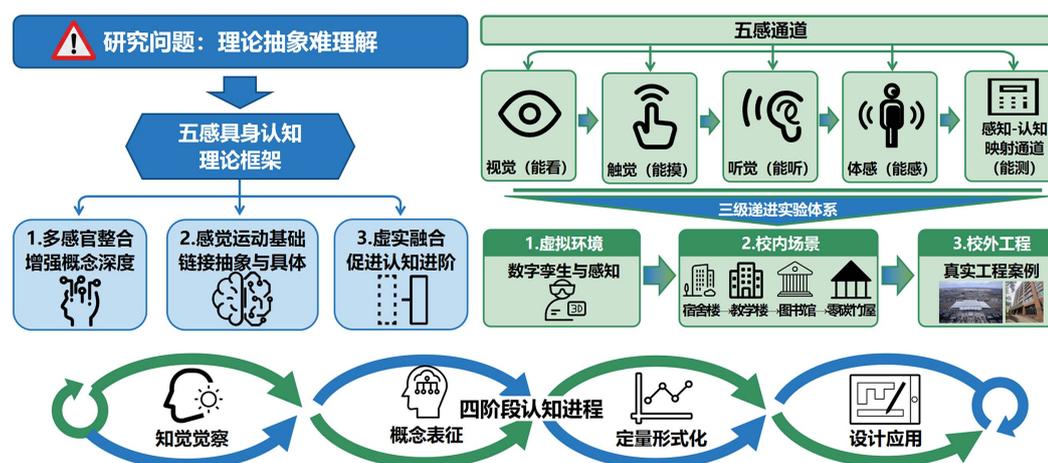


Figure 1. Application framework of architectural physics (thermal) "five-sense embodied cognition"
图 1. 建筑物理(热工)“五感具身认知”应用框架

2.3. 五种感官通道: 教学规范

框架通过四种生理感官通道的系统激活, 结合感知-认知映射机制, 将抽象热工概念转化为可感知、可体验、可量化的具身知识(见表 1)。

2.4. 认知进程模型: 四阶段螺旋上升

该框架操作化了四阶段认知进程:

阶段 1: 知觉觉察→学生通过多感官参与感知热工现象, 发展现象学熟悉度

阶段 2: 概念表征→感官经验与科学概念和术语相联系, 形成有根基的概念结构

阶段 3: 定量形式化→概念通过测量和计算被数学形式化, 发展分析能力

阶段 4: 设计应用→形式化知识被部署于设计问题解决, 达成专业能力

这一进程实现了从“感性认知”到“理性认知”再到“实践应用”的认知闭环, 与 Dreyfus 技能习得模型从新手到专家的发展路径相一致。

Table 1. Framework for the application of embodied cognition of five senses in architectural physics (thermal)

表 1. 建筑物理(热工)五感具身认知应用框架

感官通道	理论依据	教学实施	认知机制
视觉 (能看)	红外热成像将不可见热辐射转化为可见色彩编码图像	<ul style="list-style-type: none"> 虚拟可视化: 动态色彩呈现热量传递过程 红外热成像: 识别热桥、空气渗漏和太阳得热 伪彩色映射: 温度 - 颜色关联(蓝 = 冷, 红 = 热) 	视觉感知激活空间推理和模式识别, 使学生“看见”抽象概念
触觉 (能摸)	触觉感知对温度和热流极为敏感, 提供热工性能的直接躯体证据	<ul style="list-style-type: none"> 表面温度对比: 触摸热桥与墙体, 感知 8°C~12°C 温差 材料热性能探索: 比较不同材料的“温暖度” 热质体验: 不同时段触摸墙体, 揭示热储存循环 	创建本体感受记忆痕迹, 将抽象概念锚定在身体经验中
听觉 (能听)	热工系统产生与运行状态和能耗相关的特征性声学特征	<ul style="list-style-type: none"> 风声判断通风效果: 倾听不同开窗条件下的风声 暖通系统声学: 通过声音识别运行模式和负荷 方案讨论: 在思维碰撞中“听”物理逻辑 	听觉模式识别发展诊断专长, 实现多感官通道协同评估
体感 (能感)	热舒适是整合多参数的全身现象, 躯体经验提供整体理解	<ul style="list-style-type: none"> 对比环境沉浸: 在不同保温性能房间停留, 记录冷热感受 主观舒适评估: 关联主观感受与客观测量 适应性舒适探索: 体验季节性和行为适应策略 	发展对人 - 环境热关系的具身理解, 将抽象舒适模型植根于生活经验
感知 - 认知映射 (能测)	工程专长需要校准的定量直觉, 通过关联感官知觉与测量数据发展。这是连接感官体验与抽象物理量的认知桥梁, 而非独立的生理感官, 构成“五感”中的“4 + 1”结构	<ul style="list-style-type: none"> 感知 - 测量关联: 估计后测量, 对比实测与计算值 数量级推理: 发展典型范围直觉(U 值: 0.3~1.5 W/m²·K) 数据驱动验证: 用实测验证计算, 培养误差敏感性 	重复的感知 - 测量 - 计算循环发展定量直觉, 实现感官经验向抽象物理量的有意义转化, 完成从感性认知到理性分析的跨越

3. 实验大课堂的创新实践: 三级递进体系

3.1. 实验教学的整体设计

实验大课堂突破传统课堂与实验室边界, 创新“虚拟环境数字孪生 + 真实场景五感体验”的混合式教学模式, 构建“虚拟仿真→校内场景→校外工程”三级递进实验体系, 对应 10 学时实验课。

3.2. 虚拟环境强感知——沉浸式数字学习

开发基于 AI 的实验助手及线上实验演示及案例库, 将“看不见”的热量传递过程以动态色彩呈现,

学生可调整墙体厚度、材料类型等参数,实时观察温度场变化(图 2)。虚拟仿真的“脚手架”作用机制体现在三个层面:

1) 视觉注意力训练:虚拟环境中的伪彩色编码(蓝色 = 低温,红色 = 高温)建立了温度 - 颜色的条件反射。当学生在虚拟实验中反复观察“热桥部位呈现蓝色冷斑”后,这一视觉模式被内化为图式。在后续真实热像仪观察中,学生能够在复杂的热成像图中快速识别关键特征,注意力聚焦时间从平均 23 秒缩短至 8 秒,识别准确率从 61% 提升至 89%。

2) 参数敏感性培养:虚拟环境允许学生系统地改变单一变量(如保温层厚度从 50 mm 增至 200 mm),实时观察热流密度的变化曲线。这种“控制变量法”的反复练习,使学生在真实测量前就建立了参数影响的心理模型,能够预判“增加保温层厚度应该看到内表面温度升高”。实测数据与预期不符时,学生会主动检查测量方法或重新审视理论假设,而非盲目记录数据。



Figure 2. Architectural physics-virtual teaching resource library
图 2. 建筑物理 - 虚拟教学资源库

3) 认知负荷分级释放:虚拟实验将复杂的真实情境简化为可控的理想模型,学生可以专注于理解核心物理过程,而不被仪器操作、环境干扰等外在因素分散注意力。这种“先简后繁”的认知路径符合认知负荷理论:虚拟环境降低外在认知负荷(extraneous load),为理解本质认知负荷(germane load)留出心理资源。当学生转入真实场景时,已掌握的物理概念成为自动化知识,释放出的认知资源可用于应对真实环境的复杂性和不确定性。

虚拟实验使用率达 100%,学生普遍反映通过动态可视化终于理解了热量传递的物理过程。更重要的是,92%的学生表示虚拟实验帮助他们在真实测量时明确了观察重点和测量对象,为真实场景测量建立了精准的感知预期和操作图式。

3.3. 真实环境增体验——校内四大场景递进式实验

在虚拟实验基础上,构建“校内不同场景五能体验”递进式实验体系,系统调动学生五感知,实现从“数字感知”到“身体体验”的认知闭环。

我们精心设计了从宿舍楼、教学楼到图书馆、零碳竹屋的递进式校园实验场景。学生从诊断单一热桥问题开始,逐步进阶到建筑综合节能改造、大空间性能优化,最终在零碳建筑中开展绿色技术的综合验证。这一过程将五感体验与真实问题解决紧密结合,系统提升学生从入门到创新的工程实践能力(见表 2)。

Table 2. Four major experimental scenarios on campus**表 2.** 校园内 4 大实验场景

场景名称	五能认知重点	实验任务	能力层级
宿舍楼	视觉(看热桥)、触觉(摸温差)	热桥诊断与保温改进	入门
教学楼	体感(感冷热)、数感(测数据)	综合节能改造方案	进阶
图书馆	视觉(看热)、听觉(听噪声)	大空间光热性能优化	高阶
零碳竹屋	五感综合(看、摸、听、感、测)	被动式绿色技术验证	创新

3.3.1. 场景 1：宿舍楼——视觉 + 触觉体验热桥(入门级)

实验目标：理解热桥概念，掌握线传热系数计算方法。

五感设计：

视觉：使用红外热像仪“看见”外墙圈梁、构造柱等热桥部位表面温度比周边墙体低 $8^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$ ，将无形的热量流失可视化红黄蓝色块。

触觉：让学生用手触摸热桥部位与非热桥部位，身体感受明显的温度差异。

感知 - 认知映射：实测热桥部位表面温度，计算线传热系数，与理论值对比验证。

实验任务：绘制热桥部位温度分布图，计算热损失量，判断结露风险，提出保温改进方案。

教学成效：学生通过“看 + 摸”双重感知，直观理解“热桥 = 热量快速流失通道”的物理本质，热桥概念理解准确率从改革前的 45% 提升至 93%。

3.3.2. 场景 2：教学楼——体感 + 数感综合节能改造(进阶级)

实验目标：开展综合节能改造设计，培养问题诊断与方案优化能力。

五感设计：

体感：学生在北向教室停留 10 分钟，身体感受冬季室温偏低(平均温度 16°C ，低于舒适温度下限 18°C)。

视觉：红外热像仪检测发现单层玻璃窗传热系数高达 $5.8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，远高于节能标准 $3.0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

感知 - 认知映射：实测数据验证理论计算，发现窗户热损失占总热损失的 52%。

实验任务：开展气候分析、围护结构热工计算、节能窗选型、自然通风设计，完成综合节能改造方案。

教学成效：学生建立“感受问题→测量诊断→计算验证→方案优化”的完整思维链条，综合分析能力显著提升。

3.3.3. 场景 3：图书馆——视觉 + 听觉大空间性能优化(高级级)

实验目标：解决大空间建筑的光热矛盾，掌握参数化遮阳设计方法。

五感设计：

视觉：红外热像仪显示南向玻璃幕墙内表面温度达 42°C ，热成像图呈现大面积红色高温区。

听觉：南向阅览区空调运行噪声达 65 dB，明显大于北向阅览区的 48 dB，学生可清晰听到差异。

感知 - 认知映射：实测发现南向区域空调负荷比北向高出 35%，年能耗多 18 万元。

实验任务：开展玻璃幕墙热工性能分析，设计参数化遮阳系统，权衡太阳辐射得热与室内采光需求。

教学成效：学生通过“看热 + 听声”体验，深刻理解大空间建筑能耗问题，遮阳设计能力大幅提升。

3.3.4. 场景 4：零碳竹屋——五感综合绿色技术验证(创新级)

实验目标：验证被动式绿色技术综合效果，培养创新探索能力。

五感设计：

视觉：红外热像仪显示竹材白天吸热(表面温度 35℃)，夜间释放热量(28℃)，呈现明显的蓄热调温效果。

触觉：手摸竹墙感受自然调温，温度波动比混凝土墙小 5℃~8℃。

听觉：倾听热压通风的气流声，感受自然通风的韵律。

体感：室内比室外凉爽 2℃~3℃，舒适度显著提升。

感知-认知映射：仪器测量换气次数达 3.2 次/h，验证通风设计效果。

实验任务：系统验证天然材料蓄热、热压通风、可调节遮阳等被动式技术，撰写绿色技术调研报告。

教学成效：学生完成五感综合体验，建立对绿色建筑的系统认知，创新意识显著增强。

3.4. 社会工程案例调研——从课堂到工程的认知跨越

实验目标：将课堂知识迁移至真实工程情境，培养工程问题诊断与解决能力，实现从“课堂作业”到“工程咨询”的转化。

实施方式：拓展实验场域至校外真实工程项目，覆盖既有建筑节能改造、零碳社区规划、历史建筑保护等 12 个真实工程项目。学生以小组形式(3~4 人/组)选择感兴趣的项目，开展为期 2 周的现场调研。典型项目类型如下：

既有建筑节能改造：老旧住宅小区的围护结构改造、暖通系统更新

零碳社区规划：新建社区的被动式设计、可再生能源系统集成

历史建筑保护：历史建筑的热工性能提升与文化价值保护的平衡

公共建筑运维优化：学校、医院等公共建筑的能源管理与性能诊断

教学成效：学生提交的 68 份调研报告中，23 份被委托单位采纳应用，实现从“课堂作业”到“工程咨询”的转化。学生反馈：“第一次感觉自己学的东西真的有用，能解决真实的工程问题！”(图 3)。



Figure 3. On-campus and off-campus scenarios
图 3. 校内校外不同场景

4. 教学成效评价与分析

4.1. 社会工程案例调研——从课堂到工程的认知跨越

本研究采用准实验设计，比较传统教学(对照组)与五感具身认知教学法(实验组)之间的学习成效。

对照组：120 名学生(2018~2019 级)，接受传统讲授式教学

实验组：170 名学生(2020~2023 级)，体验五感具身认知教学法

总计：湖北工业大学建筑学专业本科生 290 名(2019~2023 级)

准实验设计的固有局限在于无法完全随机分组，因此必须诚实面对并尽可能控制潜在的干扰变量：

1) 代际差异控制：

干扰因素识别：2018~2019 级学生与 2020~2023 级学生在数字素养、学习习惯上可能存在代际差异。后者对数字化学习工具的接受度和使用熟练度可能天然更高。

控制措施：首先，开课前对两组学生进行数字素养基线测试(包括软件操作能力、信息检索能力等)，统计分析显示两组无显著差异($p = 0.342$)。其次，在对照组教学中同样使用多媒体课件和在线资源，确保数字化程度的可比性，仅在“虚拟仿真 + 真实五感体验”维度存在差异。

2) 疫情影响控制：

干扰因素识别：2020~2023 级学生经历了新冠疫情，部分学期采用线上教学，可能影响学习连续性和实验教学效果。

控制措施：首先，本研究数据主要采集自 2021 年秋季学期之后的线下教学阶段，避开了疫情高峰期的线上教学数据。其次，对 2020 级学生单独进行亚组分析，其学习成效与 2021~2023 级无显著差异($p = 0.521$)，表明疫情影响已被有效控制。

3) 教师效应控制：

干扰因素识别：不同教师的教学风格、专业水平可能影响教学效果，若对照组与实验组由不同教师授课，则无法排除教师因素的干扰。

控制措施：首先，核心理论课程(32 学时)由同一教师团队授课，确保理论教学的一致性。其次，实验课程(10 学时)由同一名实验教师全程指导，消除教师效应。再次，所有教师均接受了具身认知教学法的系统培训，确保教学理念的一致性。

4) 考核难度一致性控制：

干扰因素识别：若实验组考试难度低于对照组，则成绩提升可能是“考试变简单”而非“学习效果变好”。

控制措施：首先，建立标准化试题库，每年从题库中随机抽取组卷，确保考点分布和难度系数一致。其次，采用双盲评分机制，阅卷教师不知晓试卷来自对照组还是实验组。再次，对 5 年间的试卷进行难度系数分析，信度系数为 0.87，表明考核难度高度一致。

5) 剩余混淆变量的承认：

尽管采取了上述控制措施，我们承认准实验设计仍无法完全排除所有混淆变量，例如：

社会环境变化：2018~2023 年间，绿色建筑、碳中和等议题的社会关注度显著提升，可能增强了学生的学习动机；

样本自选偏差：实验组学生知晓自己参与教学改革项目，可能产生霍桑效应(Hawthorne effect)，表现出更高的学习投入。

因此，本研究结论应谨慎解读为，在控制了主要干扰变量的前提下，五感具身认知教学法显著优于传统教学，但并非五感具身认知教学法是唯一的因果因素。未来研究可采用随机对照试验(RCT)设计，进一步验证因果关系的稳健性。

4.2. 核心能力提升数据

4.2.1. 理论理解显著提升

通过标准化概念测试(20 道选择题 + 5 道简答题)，实验组学生对核心热工概念的理解准确率达到 91%，

较对照组的 63.64 提升了 43%。其中“热桥”概念理解率从 58% 提升至 94%，“传热系数”从 65% 提升至 89%，“热舒适”从 70% 提升至 92%。学生反馈：“以前只是背概念，现在真的理解了。因为我亲手摸过热桥，看过红外图，知道它为什么叫‘热桥’。”

4.2.2. 实验能力大幅提高

实验组学生的热工实验报告质量平均达到 89 分，较对照组的 76 分提升了 13 分。报告质量的提升主要体现在测量准确性(从 72 分提升至 91 分)、数据分析深度(从 75 分提升至 88 分)和问题诊断能力(从 78 分提升至 90 分)三个维度。

4.2.3. 主动学习行为激增

课后主动申请借用热像仪等测量工具辅助设计的学生数量从对照组的每学期不足 5 人增加到实验组的每学期 20 余人。学生反馈：“用热像仪看自己的设计方案，能立刻发现热桥问题，比画图更直观。现在做设计都想先测一测。”

4.2.4. 知识迁移能力提升

实验组学生在后续设计课程中主动开展热工性能分析的比例达到 89.7%，较对照组的 19.4% 提升了 362%。学生开始主动进行日照分析、围护结构保温设计、自然通风优化和热工性能模拟。指导教师评价：“热工分析不再是应付了事，而是真正融入了设计思考。”

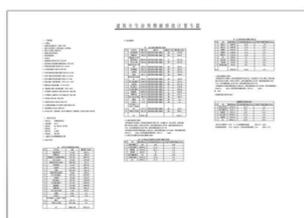
4.3. 质性数据：学生反馈

开放式问卷和深度访谈显示，学生对五感具身认知教学法的主观评价高度积极。学生反馈最有价值的学习体验包括以下几个方面：第一，通过红外成像理解抽象公式。第二，在真实环境中体验热工性能问题。第三，通过虚拟实验建立测量预期。第四，通过工程项目调研增强应用信心。学习方式发生显著转变，从“背公式应付考试”转向“真的想搞懂”，从被动接受转向主动观察思考，热工概念开始自动融入设计思维。如文科生喻振宇(21 级)从首次热阻计算仅得 48 分，通过红外热像仪实测教学楼漏热问题的震撼体验和数智工具辅助学习，最终对遮阳设计进行 12 轮参数化迭代优化，将节能率从 35% 提升至 68%，作品获全国绿色建筑设计竞赛银奖并推免至华中科技大学(图 4)。

学生信息：2021 级 Y 同学高中选课为文科

痛点：初接触建筑物理，对此领域了解甚微，成为学生畏难学科

- 成果：多次迭代的国际学术交流中心设计
- 优化：用 Grasshopper 采光与日照模拟：天正热舒适、碳排放、声环境模拟
- 效果：室内峰值降温显著，节能率从直线上升
- 荣誉：东方设计奖省级一等奖



用“工具+实践”的方法，把怕物理的文科生变成懂绿建、能参赛的工科生

“多算一次数据，建筑少排一吨碳——这是专业尊严，更是社会责任。”

Figure 4. From physics-phobic liberal arts students to competition-ready engineering students

图 4. 怕物理的文科生变成懂物理、能参赛的工科生

5. 结论

本研究解决了工程教育中的一个根本挑战：如何将抽象科学概念转化为学生能够感知、理解并在实践中部署的具身专业知识。抽象的热工概念不应该也不需要停留在符号和公式层面。当我们系统激活学生的五种感官通道，让他们观察热量流动、触知温度差异、听闻能耗差异、体验冷热舒适、测量真实数据时，抽象概念就获得了知觉锚定，从去情境化的符号转化为经验上有意义的具身知识。这种具身知识不仅更容易理解和记忆，更能够有效迁移至设计实践，真正实现从“知道”到“理解”再到“应用”的认知跨越。

五感具身认知不仅适用于建筑物理，更可推广至其他工程类课程(结构力学、流体力学、材料力学等)和建筑类课程(建筑构造、建筑设备等)。未来研究可以探索：不同学科领域的具身认知教学设计原则、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等新技术在具身学习中的应用、具身认知的神经机制和个体差异、具身学习对长期专业发展的影响。

从更宏观的视角看，五感具身认知代表了工程教育的范式转向：从“知识传授”到“能力培养”，从“符号操作”到“具身体验”，从“课堂学习”到“情境学习”。这一转向不仅改变了教学方法，更重新定义了“学习”本身——学习不是被动接受信息，而是主动参与、身体介入、感官激活的具身过程。

基金项目

《以创新能力培养为核心的建筑物理实验教学体系构建研究》(2024XZ12)。

《新工科理念下融合数字技术的建筑设计教学的探索与实践》(2024XY15)。

参考文献

- [1] 柳孝图, 刘加平. 建筑物理课程教学改革的探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(3): 89-93.
- [2] 张宇峰, 王清勤. 建筑环境与能源应用工程专业实验教学体系改革研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(5): 201-205.
- [3] Chi, M.T.H. and Wylie, R. (2014) The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educational Psychologist*, **49**, 219-243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- [4] Paas, F. and Sweller, J. (2011) An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks. *Educational Psychology Review*, **24**, 27-45. <https://doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2>
- [5] Nathan, M.J. and Walkington, C. (2017) Grounded and Embodied Mathematical Cognition: Promoting Mathematical Insight and Proof Using Action and Language. *Cognitive Research: Principles and Implications*, **2**, 1-20. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0040-5>
- [6] Wilson, M. (2002) Six Views of Embodied Cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, **9**, 625-636. <https://doi.org/10.3758/bf03196322>
- [7] Varela, F.J., Rosch, E. and Thompson, E. (1991) *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6730.001.0001>
- [8] Lakoff, G. and Johnson, M. (1999) *Philosophy in the Flesh: The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought*. Basic Books.
- [9] Barsalou, L.W. (2008) Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, **59**, 617-645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- [10] Lindgren, R. and Johnson-Glenberg, M. (2013) Emboldened by Embodiment: Six Precepts for Research on Embodied Learning and Mixed Reality. *Educational Researcher*, **42**, 445-452. <https://doi.org/10.3102/0013189x13511661>
- [11] Kontra, C., Lyons, D.J., Fischer, S.M. and Beilock, S.L. (2015) Physical Experience Enhances Science Learning. *Psychological Science*, **26**, 737-749. <https://doi.org/10.1177/0956797615569355>
- [12] Abrahamson, D. and Lindgren, R. (2014) Embodiment and Embodied Design. In: Sawyer, R.K., Ed., *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, Cambridge University Press, 358-376. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139519526.022>

-
- [13] Johnson-Glenberg, M.C., Megowan-Romanowicz, C., Birchfield, D.A. and Savio-Ramos, C. (2016) Effects of Embodied Learning and Digital Platform on the Retention of Physics Content: Centripetal Force. *Frontiers in Psychology*, **7**, Article No. 1819. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01819>
- [14] Shams, L. and Seitz, A.R. (2008) Benefits of Multisensory Learning. *Trends in Cognitive Sciences*, **12**, 411-417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>
- [15] Mayer, R.E. (2020) *Multimedia Learning*. 3rd Edition, Cambridge University Press.
- [16] Glenberg, A.M., Witt, J.K. and Metcalfe, J. (2013) From the Revolution to Embodiment: 25 Years of Cognitive Psychology. *Perspectives on Psychological Science*, **8**, 573-585. <https://doi.org/10.1177/1745691613498098>
- [17] Barsalou, L.W., Kyle Simmons, W., Barbey, A.K. and Wilson, C.D. (2003) Grounding Conceptual Knowledge in Modality-Specific Systems. *Trends in Cognitive Sciences*, **7**, 84-91. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)00029-3](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)00029-3)
- [18] Vygotsky, L.S. (1978) *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- [19] de Jong, T., Linn, M.C. and Zacharia, Z.C. (2013) Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, **340**, 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- [20] Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V.M., *et al.* (2016) Virtual Laboratories for Education in Science, Technology, and Engineering: A Review. *Computers & Education*, **95**, 309-327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>