

「空间·源」

健康导向下建筑学主导的跨学科创新模型研究

周新杰, 何柯*

华侨大学 建筑学院 福建 厦门 361000

摘要:后疫情时代公众人居健康需求从“规避污染”升级为“主动增益”,因此建筑材料开始由“环保无害”向“健康增益”转型。目前学界对建筑材料的研究多由材料及相关工程学科主导,虽在微观性能层面已取得进展,但在建筑应用情境中仍面临主体错位、协同不足及转化受阻等问题。针对上述困境,本文引入实践共同体理论,从知识生成与协同机制视角出发,构建“建筑学统筹层—学科支撑层—项目运行层”的三层递进式跨学科创新模型,并以持续八年的产学研项目为实证基础,对模型在目标整合、多学科协同及成果转化诸方面的有效性做了扎实验证。研究表明,以建筑学为统筹主体的跨学科协同机制有利于提高健康建筑材料研发的系统性及落地能力,也因此为健康导向建筑材料研究提供了新的理论解释路径及实践框架。

关键词:健康建筑材料;建筑学主导;跨学科创新;实践共同体;三层递进模型

1 引言

在后疫情时代的大背景下,环境是人口健康的重要基础,个体在室内环境中的停留时间持续上升,叠加人口老龄化与慢性病高发等结构性变化,因此人居健康已经从附属性指标真正转变为建筑环境评价的重要维度。而目前以降低污染物浓度为核心的技术路径虽然有利于改善室内环境质量,但是毋庸置疑,其目前仅能解决风险规避的问题,尚不能充分满足当前对健康促进、环境干预的复合需求。

国内外学界对健康建筑材料已有十分扎实、有层次的跨学科研究:国外学者在纳米材料方面做了纳米涂层作用机制、工程应用风险及管理的基础研究^[1-3];

而国内学者则从纳米材料在涂料中的功能改性角度出发,系统、严谨地论证了纳米 SiO_2 、 TiO_2 等材料的功能优化效果^[4-7],课题组前期更直接、清楚地证明了纳米 TiO_2 复合涂层的甲醛降解性能及有机-无机互穿技术的应用价值^[8-9]。微胶囊缓释技术、健康建筑技术体系的相关研究也都为此领域建立了良好的理论根基。但是目前该领域仍存在核心缺口:即尚未形成以建筑学为核心、有充分学理支撑的跨学科创新理论框架,因此也未就“谁来统筹、如何协同、怎样落地”的核心科学问题给出真正系统的答案

上述研究表明,国际学界已经从“污染控制”转向“健康增益”,因而建筑表面材料由于直接参与人—环境交互过程,很自然地被当作实现健康干预的重要媒介。但现有研究大多从材料性能出

通讯作者:何柯 单位:华侨大学 建筑学院 福建 厦门

收稿日期:2025-02-10 录用日期:2025-04-30

DOI: <https://doi.org/10.58244/spatium.263828>

发,缺少与建筑空间情境、使用行为二者充分结合的系统视角。更重要的是,目前健康建筑材料研究存在十分明显的结构性分化:材料科学研究微观性能及实验数据,建筑学研究空间组织及环境体验,二者尚未建立稳定、有效的协同机制,因此既不利于技术落地,也阻碍了跨学科知识的整体整合。因此,有必要从理论层面重构跨学科协同路径,以回应健康导向下建筑材料研究的复杂性。

2 实践共同体理论与本研究的适配性

2.1 实践共同体理论的核心内涵

实践共同体理论由美国认知人类学者Jean Lave与教育研究者Etienne Wenger于1991年在合著《情境学习:合法的边缘性参与》(Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation)中首次提出,其核心观点为:知识创新并非孤立的个体行为,而是在社会性实践中生成的。成熟的实践共同体必须具备三大核心要素:一是共同的领域,即所有成员围绕统一的、具有共识性的目标开展协同实践,是共同体形成的前提,确保所有参与方目标一致、方向统一;二是共同的实践,成员通过持续的合作、交流、讨论和解决问题,在互动中发展出共同的做事方式、语言和工具,是共同体运行的核心,通过持续的沟通磨合实现异质性知识的深度融合;三是共享的知识库,即成员之间建立通用的话语体系、技术标准与协作工具,是共同体存续的基础,用于消除领域间的沟通壁垒,实现知识的有序流动与迭代。同时,该理论提出的“边界连接者”概念,明确了在不同实践共同体之间建立联系、传递信息、协调行动的个体或角色,是跨领域实践共同体有效运行的核心保障^[10]。

2.2 理论与本研究的适配性

健康建筑材料的研发与应用,本质是多学科异

质性知识的整合与落地过程,其面临的三大核心困境,恰好可通过实践共同体的三大核心要素实现系统性破解,二者具备高度内在适配性。

2.2.1 适配点1:以共同的事业来统合健康材料研发诸种目标,解决“主体错位”问题

当前主体错位的根源,是各学科缺乏统一的核心目标:材料学科以实验室性能最优为核心,建筑学以人居场景适配与全周期落地为核心,目标偏差直接导致成果与需求脱节。“共同的事业”可将多元分散的学科目标,统合到“实现人居健康主动增益”这一终极目标下,明确各学科的权责边界与价值定位,从根源上解决主体错位问题。

2.2.2 适配点2:以共同的实践去打破学科壁垒,解决“协同不足”问题

由于目前跨学科协同存在根本性的不足,即跨学科合作仍处在“各做各的、最终拼接”的浅层模式,故缺少真正全程深度参与的协同机制。因此,“相互的参与”有十分明确、可操作的内涵:各支撑学科从研发初期就介入全流程,在统一目标下主动、充分地协作,以各环节的彼此衔接打破学科壁垒,切实做到知识融合。

2.2.3 适配点3:以共享的知识库打通研发一落地链路,解决“成果转化受阻”问题。

目前各环节没有统一的话语体系、技术标准及评价规范,因此实验室成果难以满足工程现场的各种约束条件,故而转化受阻。因此,“共享的知识库”可以自然、合理地建立全链条通用标准及规范,让不同环节、不同主体彼此衔接,打通从实验室到市场的完整链路,切实解决成果转化断裂的问题。

2.3 建筑学的统筹主体定位

从实践共同体理论视角出发,建筑学是健康建筑材料跨学科创新中天然的统筹主体,是承担“边界连接者”职能的唯一适配学科。建筑学是唯一

覆盖空间需求、场景设计、工程落地、全周期评估的学科, 其以“整体性思维”为核心的方法论, 能够锚定“人居健康主动增益”的共同事业; 兼具工程技术与人文社科的双重属性, 能够完成跨学科的术语转译与目标协调, 保障相互参与的有效性; 具备建筑全生命周期的整合能力, 能够搭建覆盖全链条的共享知识库, 天然承担实践共同体的组织者、协调者、验证者角色。需要明确的是, 建筑学的核心角色是“统筹”而非“替代”, 各支撑学科的专业深度, 是跨学科创新的核心技术基础。

3 基于实践共同体的跨学科创新模型构建

3.1 模型建构逻辑

本模型以实践共同体理论三大要素为底层学理逻辑, 以健康人居需求为根本导向, 以建筑学为统筹核心, 按“目标统一—过程协同—落地闭环”的递进逻辑加以构建, 因此能自然、妥帖地形成与理论一一对应、与核心困境精准匹配的三层递进式结构: 各层级对应实践共同体的一个核心要素, 又直接解决相应的核心困境, 故而理论、模型、问题三者彼此绑定、互为依托, 避免理论与实践脱节。模型的整体运行逻辑为: 顶层建筑学统筹层确定统一目标, 中层学科支撑层促成多学科深度协同, 底层项目运行层完成全链条落地闭环, 三层之间形成“自上而下统领、自下而上反馈”的良性双向互动关系, 由此真正做到有战略高度, 有技术深度, 有实践根基。

3.2 三层递进式结构的逻辑与功能

3.2.1 顶层: 建筑学统筹层——锚定共同事业

建筑学统筹层是模型最核心、最根本的中枢, 对应实践共同体的“共同的事业”要素, 因此也是解决“主体错位”核心困境的最佳切入点, 其核心

功能可以归纳为四大维度: 第一是健康目标定义, 即从人居需求调研、场景特征分析出发, 确定统一、明确、场景化的健康增益目标, 由此打破各学科自循环研究的惯性, 让所有工作都服务于“人居健康”的共同事业。第二是全流程统筹, 即制定跨学科创新的整体路线图, 厘清各环节的时间节点、成果要求、责任主体, 对项目整体进度及方向予以切实控制。第三是学科资源协调, 即创建跨学科协作平台, 系统、主动地协调各支撑学科资源投入, 并建立冲突协调机制, 直接解决学科间的目标冲突及协作障碍。第四是落地效果验证, 即主导材料应用的场景设计、施工管控、全周期后评估诸种工作, 客观、严谨地验证健康目标的实现效果, 也据此形成反馈迭代的可靠依据。

3.2.2 中层: 学科支撑层——实现相互参与

学科支撑层是模型的技术核心, 也自然、妥帖地对应着实践共同体的“相互的参与”要素, 因此它是解决“协同不足”核心困境最直接、最有力的工具。具体而言, 学科支撑层由材料学、生物学、化学工程、市场营销学诸学科构成, 各学科在建筑学统筹层所确立的统一目标下形成全程深度参与、彼此高度衔接的协同体系, 绝不是简单的学科孤立输出。具体分工如下: 材料学从事健康增益材料载体的研发及性能优化, 保证健康功能稳定释放, 生物学从事健康活性成分的萃取、活性保存及生物安全性评价, 因而既保证材料的健康功效, 又确证其使用安全, 化学工程从事材料规模化量产工艺的优化, 解决从实验室技术到工业化生产

转化中最关键的技术衔接问题, 市场营销学从事市场需求反馈分析及产业转化渠道建设, 让技术成果真正走向市场。更难得的是, 各学科从研发初期即主动、系统地介入全流程, 以常态化协同机制促成知识真正深度融合, 故而形成了“各有所长、协同发力”的完美创新体系。(见图1)

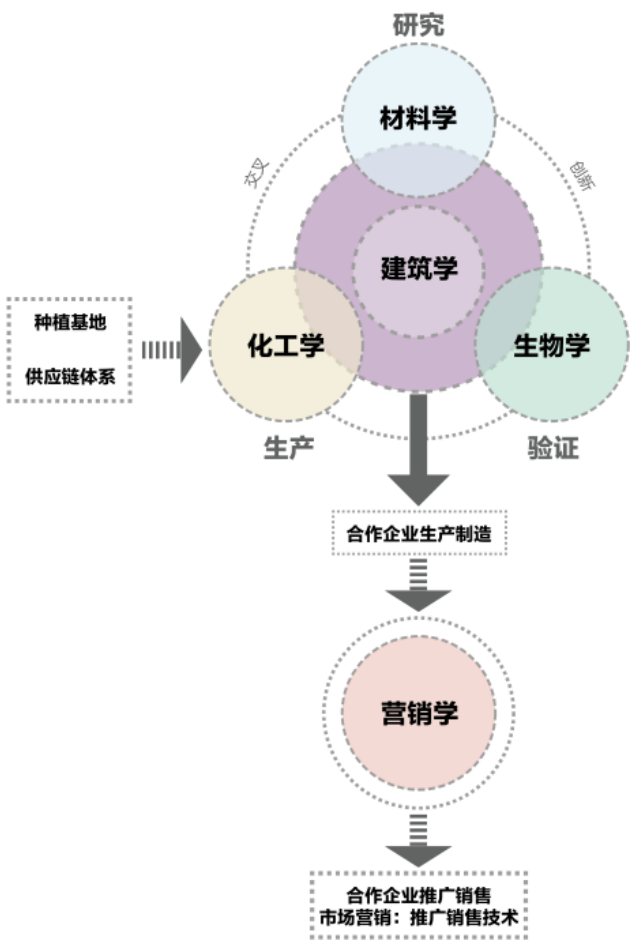


图 1. 学科交叉研究示意图（图片来自课题）

3.2.3 底层：项目运行层——落地共享知识库

项目运行层是模型的实践载体，因而自然地对应实践共同体的“共享的知识库”要素，也是解决“转换受阻”核心困境最直接、最有力的抓手。因此其根本功能是承接顶层的目标要求及中层的技术支撑，系统、有层次地建立统一话语体系、技术标准、施工规范及后评估体系，再据此搭建跨学科、全环节共享的知识库，形成“需求定义—技术研发—场景适配—工程应用—产业转化—反馈迭代”的完整闭环。更重要的是，由此消解实验室研发与工程落地之间长期存在的信息壁垒，让各环节真正无缝衔接。同时把项目运行中所收集的实践数据、用户反馈、优化方案都及时、主动地纳入共享知识库，由此自然、妥帖地驱动模型动态迭

代、技术持续优化，也让模型真正具备自我进化的能力。

3.3 模型协同运行机制

为保障三层模型的有效运行，故从基于实践共同体的实践要求出发，建立三大配套协同机制：第一是角色界定机制，厘清建筑学的统筹决策权，又明确各支撑学科在其专业领域内的技术自主权，由此形成“统筹而不包办、协同而不越界”的分工模式，也因而杜绝权责不清造成的协作低效。第二是沟通协商机制，创立常态化月度协同会议、节点联合评审会议制度，系统、主动地搭建跨学科沟通协商平台，做好不同学科术语的转译、各学科目标的对齐、各阶段进度的协调，把学科冲突的解决纳入标准化流程之中，切实保证相互参与的有效性。第三是反馈迭代机制，建立项目运行数据、用户健康反馈、工程落地问题诸种要素的标准化回流通道，让底层实践中的问题及时、可靠地传递给顶层、中层，据此调适健康目标，优化技术方案，使模型具备持续的自我进化能力。

3.4 模型适用边界

本模型有明确的适用范围与边界，以保障学术严谨性。模型适用于以人居健康为导向的建筑表面涂覆材料、装配式健康建筑部品、健康装饰板材的跨学科研发与工程应用，可拓展至与人居健康直接相关的其他建筑材料领域。与此形成明确对照的是，本模型不适用于纯基础材料科学的实验室原理性研究，因为后者以探索材料科学基本规律为根本目的，与建筑场景、人居需求的联系薄弱，故不符合本模型的应用前提。更具体地说，目前模型的实证验证主要基于亚热带、温带季风气候区的项目，其在严寒、高原等特殊气候区的适配性仍有待系统研究。

4 模型验证与结论

4.1 验证方法与过程

本文以课题组2016—2024年所完成的健康增益型纳米微胶囊建筑涂料研发及产业化项目为实证对象(见图2、图3), 因为该项目自需求调研开始就完整、系统地经历了技术研发、场景适配、工程应用、市场推广诸环节, 更难得的是全过程都体现了跨学科协同的实质(见图4), 因此是检验本模型有效性的理想样本。相应地, 文中所采用的检验方法是社会科学研究中成熟可靠的过程追踪

法, 以实践共同体三大核心要素的落地情况作为主要追踪线索, 由此直接考察模型在项目全周期的运行过程, 厘清模型与项目成果的因果关系, 最终客观、严谨地检验模型解决“主体错位、协同不足、转换受阻”三大核心困境的成效。(图2-4)

4.2 实证过程

4.2.1 建筑学牵头

项目全程由建筑学团队担任总牵头, 严格落实建筑学统筹层的核心职能, 从根源上解决主体错位问题。在需求定义环节, 建筑学团队完成了深



图2. 传统建筑材料 (图片来自课题)



图3. 课题研发的材料技术及材料体系 (图片来自课题)



图4. 需求到产业转化的全流程 (图片来自课题)

圳3所中小学、12个住宅社区、1200余名使用者的全覆盖调研,构建了校园、住宅两大核心场景的健康需求数据库,统一定义了“长效缓释、场景适配、安全无毒”三大核心研发目标,彻底打破了材料研发仅以实验室性能为核心的传统惯性,确保所有学科的工作围绕“人居健康增益”这一共同事业推进。在落地验证环节,建筑学团队主导了5个试点项目的空间适配设计、施工全过程管控、12个月性能后评估与3轮技术迭代,确保共同事业的全周期落地。

4.2.2 多学科协同

在建筑学统筹层统一协调下,四大支撑学科形成了真正全程深度参与、彼此密切协同的体系,因而很好地落实了学科支撑层所提出的“相互参与”要求,也自然、妥帖地打破了学科壁垒:材料学团队以微胶囊技术为基础,成功开发了纳米微胶囊载体,由此实现了天然健康因子24个月长效缓释的核心性能。生物学团队完成了天然健康活性成分的萃取及活性保存技术攻关,又用微胶囊包覆技术完美解决活性成分易挥发、易降解的难点,所得成品材料抑菌率已达99%以上,并配套完成了全周期生物安全性评价。化学工程团队以有机-无机互穿技术为基础,对水性涂料的规模化量产工艺做了系统优化,直接、扎实地解决了实验室技术向工业化生产转化的关键问题。市场营销团队同期开展了市场需求调研,完成了全国12个城市的渠道建设。更难得的是,项目全过程都建立了标准化、有层次的沟通协商机制,累计召开月度协同会议87次,节点联合评审会议23次,就学科间目标冲突、技术衔接问题共处理12起,平均解决周期仅5.3天,实现了跨学科的深度协同。

4.2.3 共享知识库

项目严格落实项目运行层的核心要求,搭建了覆盖全链条的共享知识库,建立了统一的技术标准、施工规范、性能检测标准与用户后评估体系,

打通了从研发到落地的完整链路,解决了成果转化断裂的问题。项目严格遵循“需求定义—技术研发—场景适配—工程应用—产业转化—反馈迭代”的闭环路径推进,累计收集有效用户反馈问卷862份,基于反馈完成了3轮技术迭代,材料各项性能指标均符合国家标准,最终实现产学研转化规模4000余万元,产品覆盖全国12个城市,完成了从实验室技术到市场化产品的完整转化

4.3 实证结果与结论

实证项目从四大方面验证了所提出的模型的有效性:技术性能方面有SCI论文14篇、国家发明专利6项,纳米微胶囊长效缓释诸种技术指标都达到设计要求,用户体验方面试点用户对室内空气质量的满意度从67%提高到89%,83%的使用者愿意主动推荐该产品,协作效率方面所采用的标准化协同机制使学科间冲突平均5.3天内即予解决,全周期未发生重大目标偏离,产业转化方面项目已实现产学研转化规模4000余万元,产品已在全国12个城市推广应用。因此可以十分清楚、有力地论证:基于实践共同体理论所构建的三层模型能切实落地三大核心要素,系统性地解决健康建材研发的三大核心困境,也由此自然、合理地论证了建筑学作为统筹主体的必要性,故而该模型具备良好的可操作性、可复制性与推广价值。

5 结论与展望

本文对实践共同体理论与健康建筑材料跨学科创新研究的关系做了论证:第一,实践共同体理论及其三大要素能解决该领域主体错位、协同不足、转换受阻诸种根本问题,因此是极好的学理支点,第二,由此衍生出的“建筑学统筹层—学科支撑层—项目运行层”三层递进模型,填补了健康建筑材料领域以建筑学为主导的跨学科创新理论空

白,第三,所提出的产学研实证项目对模型的可操作性及实践价值做了扎实验证,也因而给出了明确可复制的技术研发路径。目前该模型在特殊气候区及其他材料类型的应用尚有待拓展,故后续拟深化模型量化评估,系统扩展其适用场景及适用范围。

参考文献:

- [1] Felhősi I. What can nano-chemistry offer to the paint industry [J]. *Macromolecular Symposia*, 2002(1).
- [2] Hincapié I, Caballero-Guzman A, Hiltbrunner D, et al. Use of engineered nanomaterials in the construction industry with specific emphasis on paints and their flows in construction and demolition waste in Switzerland [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 43: 398-406.
- [3] López Alonso M, Díaz Soler B, Martínez Rojas M, et al. Management of Occupational Risk Prevention of Nanomaterials Manufactured in Construction Sites in the EU [J]. 2020, 17(24).
- [4] 柯博, 黄志杰, 左美祥, 等. 纳米SiO₂在喷涂技术中的应用 [J]. *喷涂技术工业*, 1998(12): 29-30.
- [5] 蒋贞贞, 朱俊任, 路媛媛. 纳米二氧化钛光催化喷涂技术降解甲醛的研究进展 [J]. *中国喷涂技术*, 2009, 24(12): 20-23.
- [6] 梁伟欣. 功能纳米喷涂技术的研究进展 [J]. *江西建材*, 2016(10): 63-64.
- [7] 杨宇, 梁精龙, 李慧, 等. 纳米技术在喷涂技术领域的应用 [J]. *热加工工艺*, 2017, 46(18): 35-38.
- [8] He K, Liu Y, He Y. Photocatalytic Properties of Nano-TiO₂ Composite Coatings in Degrading Formaldehyde [J]. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 2019, 11.
- [9] He K, Liu Y, He Y. Organic-Inorganic Interpenetrating Technology-Based Nano Water-Borne Paint for Steel Structures [J]. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 2019, 11(3).
- [10] NEUFELD D, FANG Y, WAN Z. Community of Practice Behaviors and Individual Learning Outcomes [Z] // *Group Decision and Negotiation*. 2012.

Research on an Interdisciplinary Innovation Model Dominated by Architecture under Health-Oriented Approaches

Zhou Xinjie, He Ke

Abstract: In the post pandemic era, the demand for public living health has shifted from "avoiding pollution" to "actively enhancing", so building materials have begun to transform from "environmentally friendly and harmless" to "health enhancing". At present, the research on building materials in academia is mainly led by materials and related engineering disciplines. Although progress has been made in the micro performance level, there are still problems such as subject misalignment, insufficient collaboration, and hindered transformation in the context of building applications. In response to the above difficulties, this article introduces the theory of practical community and constructs a three-layer progressive interdisciplinary innovation model from the perspective of knowledge generation and collaboration mechanism, which includes the "architecture coordination layer, discipline support layer, and project operation layer". Based on eight years of industry university research projects, the effectiveness of the model in target integration, interdisciplinary collaboration, and achievement transformation has been solidly verified. Research has shown that interdisciplinary collaboration mechanisms with architecture as the main body of

coordination are beneficial for improving the systematic and practical capabilities of research and development of healthy building materials, and therefore provide new theoretical explanations and practical frameworks for health oriented building material research.

Keywords: Healthy building materials; Architecture-led; Interdisciplinary innovation; Practice community; Three-tier progressive model
