

文章编号:1671-1556(2021)01-0036-08

# 认知与方法论双视角下建筑工人不安全行为的研究现状及发展趋势分析

王玉合,叶 贵,杨晶晶,向卿婷

(重庆大学管理科学与房地产学院,重庆 400045)

**摘 要:** 鉴于不安全行为发生时工人处在一个**特定主体、空间及时间**的三维空间,并存在与之相对应的总体效度、生态效度和时间效度,采用**定性方法**对认知与方法论双视角下建筑工人不安全行为的研究现状及发展趋势进行了多维度、多效度分析。结果表明:当前认知视角下建筑工人不安全行为研究主要采用**具有较高总体效度的自我报告法、行为观察法等传统研究方法**,而具有较高生态效度的环境仿真模拟实验研究方法和具有较高时间效度的基于相关穿戴设备的生理实验研究方法也有所涉及。在现状分析基础上,论证了**维度集成、效度集成**是方法论视角下未来研究的发展趋势,而基于穿戴设备认知实验的方法集成是适应这一发展潮流的关键突破方向。最后,结合事件相关电位(ERP)等认知测量新工具的优缺点证实了上述研究方法的集成是可行的。

**关键词:** 建筑工人;不安全行为;认知;研究方法;多维度分析;多效度分析

中图分类号:X928;X948

文献标识码:A

DOI:10.13578/j.cnki.issn.1671-1556.2021.01.006

## Status and Development Trend of Construction Workers' Unsafe Behaviors from the Dual Perspectives of Cognition and Methodology

WANG Yuhe, YE Gui, YANG Jingjing, XIANG Qingting

(School of Management Science and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** Given that the workers are in a special subject, space and time 3D with the corresponding population validity, ecological validity and temporal validity when construction workers' unsafe behavior occurs, this paper applies the qualitative method to conducting a multi-dimension and validity analysis on the study of the status and development trend from the dual perspectives of cognition and methodology. The results show that the traditional research methods, such as self-report and behavior observation with high population validity, are principally applied, while the environmental simulation experimental method with high ecological validity and the wearable device experimental method with high temporal validity are also involved. On the basis of status analysis, it is further confirmed that dimension integration and validity integration are the trend of future research from the view of methodology, and method integration based on wearable device cognitive experimental method is the key breakthrough direction to follow this trend. Finally, according to the advantages and disadvantages of the new cognitive measurement tools such as ERP, the integration of the above research methods is proved to be feasible.

**Key words:** construction worker; unsafe behavior; cognition; research method; multi-dimension analysis; multi-validity analysis

作为世界性的传统支柱产业之一,建筑业的安全生产事故在各国时常发生,这使其成为世界公认

的职业安全事故率最高的行业之一<sup>[1-2]</sup>。对建筑业安全生产事故进行系统分析,发现建筑工人的不安

收稿日期:2020-07-13 修回日期:2020-09-03

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71972020、71471023);重庆市研究生科研创新项目(CYB19053);重庆教委科学技术项目(KJ1600541)

作者简介:王玉合(1985—),男,博士研究生,主要研究方向为建筑安全与建筑业可持续发展。E-mail:506733970@qq.com

全行为是最主要的致因因素,近 80% 的建筑业安全生产事故是由工人的不安全行为诱发的<sup>[3]</sup>。

在中国,情况更为严峻。据国家应急管理部统计,我国建筑业安全生产事故总量已连续 9 年排在工矿商贸事故第一位,事故起数和死亡人数自 2016 年起均呈持续上升态势<sup>[4-5]</sup>。考虑到我国一线建筑工人主要由农民工构成<sup>[6]</sup>,由于其具有受教育程度低、流动性强等特点,这些实际情况促使中国建筑工人在诱发安全事故、承受事故伤害等方面面临着更为严峻的形势。如杨涛<sup>[7]</sup>通过对近年我国发生的 175 起高空作业事故进行分析,结果发现近 90% 的事故是由建筑工人不安全行为引起的,而工人成为事故受害者更是高达 97.5%。所以,掌握建筑工人不安全行为形成规律将能有效地降低建筑业安全生产事故的发生,最终提高安全绩效。在这种情景下,加强建筑工人不安全行为研究,以揭示其产生的机理,已然成为建筑行业发展中一个亟待解决的现实问题。

目前,国内外学者采用不同方法、从不同视角对建筑工人不安全行为展开了一系列研究<sup>[2-3,8]</sup>。整体上看,这些研究主要是试图通过研究(单个)影响因素与建筑工人不安全行为的关系<sup>[9-10]</sup>、影响因素集与建筑工人不安全行为之间的结构关系来揭示其产生的机理<sup>[2,11-12]</sup>,但关于建筑工人不安全行为研究现状的系统梳理与总结较少。在此背景下,近年来国外的 Jin 等<sup>[13]</sup>使用文献计量学方法对建筑安全研究现状进行了定量分析,强调未来应加强建筑工人不安全行为产生的认知研究,以有效解决源自工人自身的安全问题;国内的叶贵等<sup>[4]</sup>、王玉合等<sup>[14]</sup>分别使用定量、定性文献计量学方法对人因视角下建筑安全的研究现状进行了综述,呼吁未来应进一步加强基于认知的建筑工人不安全行为研究。在此基础上,近期倪国栋等<sup>[15]</sup>对国内建筑工人不安全行为研究现状进行了分析;叶贵等<sup>[16]</sup>则基于影响因素对建筑工人不安全行为产生路径进行了综述,均强调了认知是未来重要的研究方向。然而,目前尚未有专门就认知视角下建筑工人不安全行为研究现状展开分析的研究成果。

更重要的是,尽管建筑工人不安全行为的产生是一个复杂的过程,但学者们基本达成了一个概略性的共识,即从本质上看,建筑工人不安全行为的产生就是施工生产过程中工人在外部环境的影响下,经过其内部心理认知活动过程的加工处理,最终产生不安全行为的过程<sup>[8,14]</sup>。因此,详细地揭示建筑工人不安全行为产生的微观认知机理是科学阐明建

筑工人不安全行为产生机理的核心,这对有效遏制建筑业安全生产事故的发生具有重要的实践意义。在这种情况下,基于认知这一关键视角也将有利于建筑工人不安全行为研究现状分析的展开。同时,认知过程具有内隐性、短历时性、动态性等特征<sup>[14,17-18]</sup>,这使得心理认知难以测量,进而导致相关研究受到研究方法的限制。因此,从方法论视角下展开分析将能极大地提高研究效率。

进一步,现状及趋势分析主要有定性、定量两种研究方法,其中前者是一种主要依赖研究人员文献占有情况与总结能力的传统方法,虽具有一定程度上的主观性,但往往也具有视角新颖等优点<sup>[14]</sup>;相反,后者虽具有客观性,但普遍存在着机械分析具有的操作主义不足的缺点<sup>[19]</sup>。而建筑工人不安全行为研究属于人因视角下的建筑安全研究,往往会涉及工效学、工程学、管理学等多个学科,尽可能全面占有这些交叉学科文献需要持续的文献追踪与更新,这不是机械分析可以胜任的<sup>[14]</sup>。因此,在课题组前期研究积累的文献基础上,本文拟选择定性方法进行分析。本文将创新性地基于认知与方法论双视角分析建筑工人不安全行为的研究现状及发展趋势,识别出潜在的研究机会并指出未来的研究方向。理论上,研究成果将在填补前述识别的知识缺口的同时也可提高后续研究的有效性与针对性。实践上,研究成果将为建筑企业安全管理提供启示与指导,有利于行业的可持续发展。

## 1 研究设计

建筑工人不安全行为是一个老话题,这在为本文提供丰富的分析素材的同时也带来了综述文献如何有效组织的问题。但从实质上看,建筑工人不安全行为就是特定的行为主体(建筑工人)在特定的空间(施工现场)与时间(作业时间)发生的行为<sup>[8,14]</sup>。因此,本文将从这三个维度(主体维度、空间维度和时间维度)进行文献的组织。建筑工人不安全行为研究更是一个应用性导向极强的研究主题,旨在降低工人不安全行为的发生。为了更好地实现这一目标,研究必须在主体维度上尽可能地提高总体效度(即研究结果可以推广到目标群体的程度更高)、在空间维度上具有更高的生态效度(即研究结果可以在不同情景/环境条件下推广的程度更高)、在时间维度上拥有更好的时间效度(即研究结果能跨时间推广的程度更高),而不同的研究方法在上述维度上的研究效度各不相同<sup>[14,19]</sup>。鉴于此,本文拟在一个

统一的多维度、多效度分析框架下,先从研究方法视角入手,对认知视角下建筑工人不安全行为的研究现状及发展趋势进行系统的科学分析。就分析方法而言,与建筑安全领域的综述研究相比<sup>[4,13-14]</sup>,尤其是与建筑工人不安全行为现状分析的研究相比<sup>[15-16]</sup>,这种多维度、多效度分析是本文的另一个创新点。循此思路,设计了如图 1 所示的两阶段研究方案。

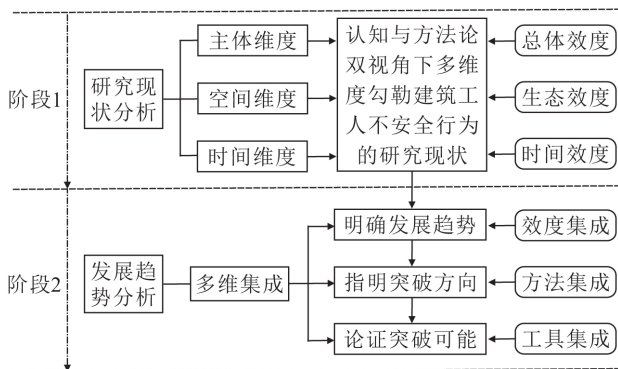


图 1 研究设计与方案

Fig. 1 Research design and scheme

其中,阶段 1 的主要任务是全面厘清认知视角下建筑工人不安全行为的研究现状。遵循前述不安全行为发生时所处的 3 个维度及与之对应的 3 个研究效度,结合国内外相关文献资料从方法论的视角对相关文献资料进行梳理与总结,从多维度勾勒研究现状。阶段 2 的主要任务是讨论研究的发展趋势和确定可能的应对之法。首先,在前一阶段分析基础上,基于维度集成与效度集成分析来确定认知视角下建筑工人不安全行为研究的发展趋势;然后,基于方法集成、工具集成分析来给出方法论视角下可操作性的应对建议,以论证能够突破预判发展趋势的可行性。

## 2 研究现状的多维度、多效度分析

根据前述的研究设计,从方法论的视角来审视建筑工人不安全行为研究,结果发现认知视角下国内外建筑工人不安全行为研究主要采用自我报告法(问卷调查法、访谈法)、行为观察法等传统方法来展开研究,但随着信息技术的快速发展,实验方法的应用也有所涉及,主要是指基于仿真模拟的实验研究和基于穿戴设备的生理实验研究。

### 2.1 基于自我报告法、行为观察法等传统方法的研究

由于心理认知活动的内隐性,受测量方法的限

制,长期以来国内外对建筑工人不安全行为产生的认知研究主要采用问卷调查和访谈的自我报告法、行为观察法及其组合方法。如叶贵等<sup>[20]</sup>采用问卷调查的方法研究了建筑工人安全认知与其不安全行为的关系,并得出了安全认知对建筑工人不安全行为影响显著的结论;张涇杰等<sup>[21]</sup>采用行为观察与访谈相结合的方法研究了建筑工人危险认知能力与其不安全行为的关系,据此设计出了一套训练工人危险感知的系统;Jiang 等<sup>[22]</sup>将建筑工人的认知过程分为“探测信息—确认信息—认知反应—选择应对—执行应对”5 个阶段,通过行为观察、问卷与访谈相结合的方法获取数据,验证了建筑工人认知与其不安全行为的关系;Kim 等<sup>[23]</sup>采用行为观察、现场调查等方法获取数据,探索了建筑工人认知过程与其不安全行为的因果路径关系,用以解释事故产生的原因;Liao 等<sup>[24]</sup>则采用问卷调查的方法研究了建筑工人认知因素与其不安全行为的关系,并比较了机械工人与钢筋工人的差异。

整体上看,由于认知活动的短历时性约束,这些研究普遍将动态连续的认知活动过程视为静态的认知结果或将动态认知过程人为地分离为静态的若干时间段(点)进行研究<sup>[8,14,25]</sup>,这催生了研究主观性强、时效性差等问题。因此,从主体维度、空间维度、时间维度的视角上看,基于自我报告(问卷调查法、访谈法)、行为观察法等传统方法的研究通常具有较高的总体效度、一般的生态效度、较低的时间效度,见表 1。

表 1 基于自我报告、行为观察等传统方法研究的多维度、多效度分析

Table 1 Multi-dimension and multi-validity analysis based on traditional methods such as self report and behavior observation

研究方法	维度与效度		
	主体维度/ 总体效度	空间维度/ 生态效度	时间维度/ 时间效度
问卷调查法	除工人外可能有其他主体参与/比较高	在现场但非作业环境下进行/一般	依靠回忆进行记录/非常低
访谈法	除工人外可能有其他主体参与/比较高	在现场但非作业环境下进行/一般	依靠回忆进行记录/非常低
行为观察法	直接观察工人作业活动/非常高	在真实作业环境下进行/比较高	记录单位秒级以上/比较低

具体而言,基于问卷调查法的研究因主要邀请工人参与,呈现出较高的总体效度,但也存在调查常在非作业环境下进行、易受工人态度和对问题回忆



应答等主观因素影响的缺点,研究成果常因数据的主观性、时效性而遭受质疑<sup>[26]</sup>,呈现出一般的生态效度、非常低的时间效度。类似地,基于访谈法的研究也面临着相同的研究效度问题。互动性是访谈法最主要的优点,即访谈者与被访工人之间的交流和沟通可以形成互动,以发掘原因动机等深层次的信息材料,但获得的信息少、难以被统计检验、时效性差、易受研究者主观印象的影响等是其主要不足<sup>[27]</sup>,研究结果也具有较高的总体效度、一般的生态效度、非常低的时间效度。至于行为观察法,最大的优点是可以得到特定作业情境下建筑工人自然的行为表现,因而相关研究具有较高的总体效度与生态效度,但也存在费时、数据解释性差以及易受观察者本人价值观、个性等主观因素的影响,一样存在着主观性强、时效性差等问题<sup>[27]</sup>,具有较低的时间效度。综上,基于这些方法及其组合的研究普遍存在主观性强、时效性差、静态处理等问题,急需寻找新的研究方法。

## 2.2 基于仿真模拟实验的研究

**时效性差和非真实作业环境下响应**是传统方法强主观性产生的主要原因,而基于人工智能体的仿真模拟和基于可视化技术的环境仿真模拟实验研究能有效地解决这两个问题。在信息技术和计算机技术高度发达的今天,即使非常复杂的认知仿真模拟也已成为可能。如蒋中铭等<sup>[28]</sup>将认知过程划分为 5 个阶段进行主体建模,对建筑工人的行为与认知过程进行仿真模拟,探索减少不安全行为的措施;Ye 等<sup>[29]</sup>基于人工智能体构建建筑工人不安全行为的认知模型,并分析管理者、工友等对工人认知的交互影响;Choi 等<sup>[30]</sup>基于人工智能体建模,模拟了工人的认知过程、社会影响、现场风险与安全行为的关系,以探索不安全行为产生的原因。

除了围绕工人进行主体建模仿真外,近年来兴起的 BIM、VE、VR 等可视化技术使对环境的仿真模拟成为现实,国内外学者均在这些方面进行了有益的尝试。如张泾杰等<sup>[21]</sup>使用 BIM 技术进行场景模拟,训练提高建筑工人的危险感知能力,以有效减少建筑工人的不安全行为;Jokkaw 等<sup>[31]</sup>通过 VE 技术对高层建筑护栏的虚拟,测量了建筑工人的感知能力,以防止高处坠落不安全行为的发生;Kurien 等<sup>[32]</sup>则将对人和环境的仿真相结合,首先设计出一个类似人工智能体的智能机器人模仿工人,然后实时通过机器人模拟出各种虚拟施工场景中工人的行为表现,提前识别出工人的不安全行为,以有效减少各种职业伤害。

仿真模型是建立在准确掌握真实系统的基础上,但人是一种非常复杂的生物,所以才出现“工具人”、“生物人”、“经济人”、“理性人”等众多的人性假设<sup>[33]</sup>。尽管人工智能体具有自主、合作、学习等特点<sup>[34]</sup>,基于可视化工具的环境虚拟也具有逼真度高、实感性强等诸多优点<sup>[35]</sup>,但相对于人的复杂性和环境的易变性,其始终不是“真人”、“真环境”,真实性弱。然而,正如前述所强调,当前建筑工人的认知研究主要是建立在将动态的认知过程视为一个静态过程或人为分解成几个相对静止阶段的基础上<sup>[14,25]</sup>。所以,建立在这样基础上的仿真结论也容易遭到质疑,研究成果始终受到模型的相似度、可信度的困扰。因此,如表 2 所示,与传统方法相比,基于人工智能体的主体建模仿真研究虽在克服主观性上取得了一些改进,一定程度上提高了时间效度,但这种改进是以损失总体效度为代价的(以人工智能体代替真实工人);而基于环境仿真模拟的研究虽然改善了生态效度,但未能提高时间效度。

表 2 基于仿真模拟实验研究的多维度、多效度分析

Table 2 Multi-dimension and multi-validity analysis of studies based on simulation experiment

研究 方法	维度与效度		
	主体维度/ 总体效度	空间维度/ 生态效度	时间维度/ 时间效度
主体建 模仿真	相似度不高的人 工智能体/一般	作业环境通常弱 化处理/一般	静态处理的认知 过程/一般
环境仿真 模拟实验	工人往往置身虚 拟环境中/非常 高	一般是真实作业 环境的虚拟/非 常高	记录单位秒级以 上/比较低

## 2.3 基于相关穿戴设备的生理实验研究

针对传统方法和环境仿真模拟实验研究方法均存在的时效性差、时间效度不理想等问题,近来出现的移动可穿戴设备为这些问题的解决提供了希望。传感器技术的进步极大地改进了对建筑工人生理机制的分析<sup>[36]</sup>,基于传感器的集成,许多用于测量建筑工人生理状况的穿戴设备应运而生。在基本解决了设备的可用性、工人可以接受穿戴设备等应用前置性问题后<sup>[37-38]</sup>,不少学者开始尝试基于这些可穿戴设备从疲劳<sup>[37,39]</sup>、心率<sup>[40]</sup>、眨眼<sup>[41]</sup>等生理角度研究建筑工人的生理特征与其不安全行为的关系,并通过生理特征反推工人的认知过程与其不安全行为的关系。

正是这些设备的利用,将对工人行为的研究拓展到毫秒级尺度上<sup>[3,27]</sup>,时效性的改善显著地提高了研究的时间效度,见表 3。但由于认知的内隐性,这些研究主要聚焦在不安全行为发生时工人的生理

特征上。事实上,人的行为源自人脑活动的决策。人脑活动过程本质上是一个信息处理的认知过程<sup>[8,14]</sup>,而人的生理反应只不过是其内在认知过程的外显。因此,基于穿戴设备的生理实验研究工人生理特征与其不安全行为的关系并没有从本源即认知过程的视角上研究工人的不安全行为,不能突出人的认知核心属性。与前述传统方法、环境仿真实验研究方法相比,虽然通常也是在作业现场直接观察工人作业活动而具有较高的生态效度,但又因未能突出认知属性降低了研究对象的总体效度。

表 3 基于相关穿戴设备生理实验研究的多维度、多效度分析

Table 3 Multi-dimension and multi-validity analysis based on physiological experiment of wearable device

研究方法	维度与效度		
	主体维度/ 总体效度	空间维度/ 生态效度	时间维度/ 时间效度
基于相关穿戴设备的生理实验	未能突出工人认知属性/一般	真实作业环境下进行/比较高	毫秒级尺度上进行/比较高

### 3 发展趋势的多维度、多效度分析

#### 3.1 多维集成、效度集成是未来研究的发展趋势

尽管前述方法在主体维度、空间维度、时间维度上都有所涉及,但各种方法的研究效度均只在某一个或两个维度上得到有力的保障或取得明显的改善,而无法覆盖所有维度。以主体维度为例,基于这些方法的研究对象——建筑工人,要么不是“真人”(仿真模拟),要么不是“及时真人”(传统方法),要么没有突出“认知等人类核心属性”(穿戴设备),均在某些维度上存在着研究效度不理想的问题。

事实上,认知视角下建筑工人不安全行为的研究由传统的自我报告法、行为观察法发展到仿真模拟实验法,再发展到最近的基于穿戴设备的生理实验法,这既是科学技术发展的结果,更是研究者主要沿着某一维度寻求研究效度提高的结果。而前述多维度、多效度的分析结果已经显示单一维度的优化始终无法全面提高研究的效度,所以维度集成、效度集成是未来研究的发展趋势。

#### 3.2 方法集成是适应维度集成、效度集成的关键突破方向

前述基于研究方法的现状分析已经证明这些研究方法既有优点又不可避免地存在着不足,单独运用任何一种方法,均难以在多维度上全面提高研究

效度。因此,未来要真正做到维度集成、效度集成,研究方法的集成将是关键的突破方向,尤其是基于方法集成的多维度改进、全面提高研究效度的尝试。在这方面,近来也有一些学者进行了一些有益的探索。如 Guo 等<sup>[26]</sup>使用穿戴设备获取现场工人的生理数据,同时采用传统方法获取工人认知等心理状态数据,分析他们的关系,以探寻工人不安全行为产生的原因。

循此分析思路,在基于穿戴设备生理实验研究的基础上,如能进一步探索应用基于穿戴设备的认知实验研究,同时配合使用自我报告法,再辅以行为观察法,形成如图 2 所示的三角互证式研究方法集成,以为适应维度集成、效度集成的研究发展趋势提供一个具体的突破方案。

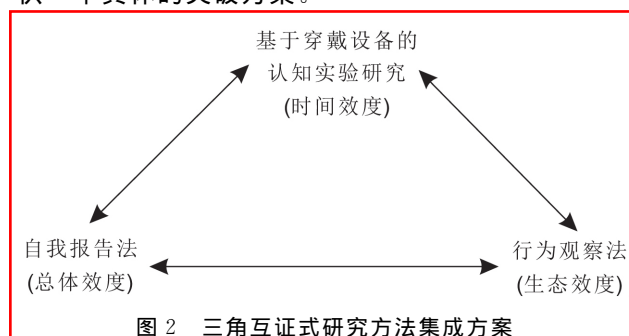


Fig. 2 Research method integration scheme based on triangular mutual verification

在这个集成方案中,时间维度上,将充分利用基于穿戴设备的生理实验研究法所具有的良好时间效度,并进一步尝试基于穿戴设备直接对认知活动进行在线同步监测的认知实验研究,以有效弥补以往基于穿戴设备的生理实验研究法的不足;主体维度上,将主要依靠拥有较好总体效度的自我报告法;空间维度上,则更多依赖具有理想生态效度的行为观察法。显然,将这些方法集成使用,取长补短,将有利于系统地提高研究效度,确保各维度上效度均得到明显的改善。更重要的是,这种设计还能提供研究结论在方法之间的对比分析,全面保障研究质量,有利于揭示不安全行为产生的微观认知机理。事实上,这种互证思路在传播与认知学等新兴交叉学科中已得到了有效的应用<sup>[42]</sup>。因此,基于三角互证式方法集成的研究是未来认知视角下建筑工人不安全行为研究中一个颇为值得投入精力的研究方向。

#### 3.3 基于事件相关电位(ERP)等新工具的集成研究为上述方法集成提供了可能

上述三角互证式方法集成方案的实现主要取决于基于穿戴设备的认知实验能否顺利开展,而事件

相关电位(ERP)等认知神经测量新工具的出现为方法集成提供了可能。随着科学技术的发展,认知测量手段也从传统的“外在行为的观察”发展到“实验分离不同的认知加工过程和计算机模拟大脑的认知过程”再到“采用先进的脑成像技术,直接观察大脑的认知活动”<sup>[43]</sup>。其中,外在行为的观察主要是通过具体的记录表、问卷、量表等测量工具来实现的,这主要针对传统的自我报告法、行为观察法;而分离不同的认知加工过程和计算机模拟大脑的认知过程更多是通过人工智能体建模来实现的,这主要针对的是仿真模拟实验研究法;至于直接观察大脑的认知活动则主要是通过脑电图(EEG)、ERP、功能性近红外光谱(fNIRS)、功能性磁共振成像(fMRI)等认知神经测量工具来实现的,这主要是针对基于穿戴设备的认知实验方法而言的。

与记录表、量表、问卷等传统的测量工具相比,EEG、ERP、fNIRS、fMRI 等新工具在测量人的认知过程中具有及时性、无干扰性等优点,有效克服了短历时性带来的测量困难,解决了传统方法测量时效性差的问题;与人工智能体相比,这些工具在测量过程中具有客观性,解决了认知模拟中存在的简单化、静态化等不足<sup>[17,42-43]</sup>;而在数据采集上,这些新工具还具有连续性、反应敏感性等优势,能有效记录动态性的认知过程<sup>[14,27]</sup>,因而能够实现对内隐的认知过程直接观察。尤其是 ERP 因具有时间精度特别高、基本在线同步监测认知活动等优点,犹如认知研究中的“显微镜”与“望远镜”,在管理学、工效学、心理学等领域得到了广泛的应用<sup>[43]</sup>。但也因这种同步性,仅凭 ERP 等新工具无法有效开展行为相关研究,尚需配合传统测量工具以观察外在行为<sup>[42-43]</sup>。因此,ERP 等认知测量新工具不仅为前述方法集成方案的实施提供了可能,更从工具集成的视角再次论证了如图 2 所示的三角互证式方法集成方案的合理性。

然而,目前鲜有基于 ERP 等新工具对认知视角下建筑工人不安全行为的研究,但这并不代表没有学者探索使用新设备对建筑工人不安全行为的研究,目前已有一些学者开始使用 EEG 对工人的不安全行为进行研究<sup>[14,44-45]</sup>。考虑到 EEG 成分都是不断自发产生的,对人的认知信息反映不足,因此这些基于 EEG 的研究整体上仍可以归入基于穿戴设备的生理实验研究之中。而 ERP 是在 EEG 的基础上发展而来的,其成分必须依靠刺激才能产生,因而更能有效揭示认知过程中的信息<sup>[27,42-43]</sup>。所以,这些基于 EEG 的研究初步解决了 ERP 在建筑业的适用

性等应用前置性问题。

再考虑到与 fNIRS、fMRI 等工具相比,ERP 具有时间精度高、使用费用低、被试侵入度低等优点,有利于其推广应用<sup>[14]</sup>。更重要的是,ERP 还具有体积小、重量轻的优点<sup>[42]</sup>,尤其是易于穿戴的新型移动、便携式设备非常适合建筑工人不安全行为的相关研究。鉴于此,基于认知神经测量新工具,尤其是基于 ERP 的建筑工人不安全行为产生的认知研究值得期待。在这种情况下,下一步研究应首先着重解决 ERP 在建筑业的彻底融入问题,即先探索一套具体可实施的研究范式,尤其是紧密结合建筑工人特征(如我国以农民工为主)、作业环境等行业特征的具体应用范式。

## 4 结 论

鉴于目前尚未有认知与方法论双视角下建筑工人不安全行为研究的综述,本文创新性地对该主题研究现状及发展趋势进行了分析。为了更好地实现目标,考虑到不安全行为发生时工人处在一个特定的主体、空间及时间维度的三维空间,通过使用与维度相对应的总体效度、生态效度和时间效度对研究现状及发展趋势创新性地进行了系统的多维度、多效度分析,得出如下结论。

(1) 在研究方法应用上,分析结果显示当前认知视角下建筑工人不安全行为研究主要采用的自我报告法、行为观察法等传统方法,而基于环境仿真模拟的实验研究方法和基于穿戴设备的生理实验研究方法也有所涉及。

(2) 在多维度、多效度研究现状分析上,分析结果揭示基于传统方法的研究通常具有较高的总体效度,基于环境仿真模拟的实验研究则具有较高的生态效度,而基于穿戴设备的生理实验研究则呈现出较高的时间效度。

(3) 基于方法论视角论证了在维度集成、效度集成的框架内多维度改进、全面提高研究效度是未来研究的发展趋势,而基于穿戴设备认知实验的方法集成是适应这一发展潮流的关键突破方向。

(4) 结合 ERP 等认知测量新工具的优缺点,证实了上述研究方法的集成是可行的。

### 参考文献:

- [1] Newaz M T, Davis P, Jefferies M, et al. The psychological contract: A missing link between safety climate and safety behaviour on construction sites[J]. *Safety Science*, 2019, 112: 9-17.
- [2] Asilian-Mahabadi H, Khosravi Y, Hassanzadeh-Rangi N, et al.

- Factors affecting unsafe behavior in construction projects: Development and validation of a new questionnaire[J]. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2020, 26(2): 219-226.
- [3] Yu Y T, Guo H L, Ding Q H, et al. An experimental study of real-time identification of construction workers' unsafe behaviors[J]. *Automation in Construction*, 2017(82): 193-206.
- [4] 叶贵, 付媛, 王玉合, 等. 行为视角下基于 CiteSpace 的建筑安全研究综述[J]. *安全与环境工程*, 2019, 26(4): 127-134.
- [5] 中国政府网. 国务院安委办通报上半年全国建筑业安全生产形势[EB/OL]. (2019-1-10)[2019-12-25]. [http://www.gov.cn/xinwen/2018-07/26/content\\_5309423.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2018-07/26/content_5309423.htm).
- [6] 张仕廉, 王玉合, 唐笑宇, 等. 中国建筑业工匠精神的兴衰原因研究[J]. *建筑经济*, 2018, 39(5): 10-15.
- [7] 杨涛. 建筑工程高空作业安全预警与管理研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.
- [8] Fang D P, Zhao C, Zhang M C. A cognitive model of construction workers' unsafe behaviors[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2016, 142(9): 04016039. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001118.
- [9] Chen Y, Li S. Relationship between workplace ostracism and unsafe behaviors: The mediating effect of psychological detachment and emotional exhaustion[J]. *Psychological Reports*, 2020, 23(2): 488-516.
- [10] 史玉芳, 卢吉发. 基于 SEM 的建筑工人疲劳对不安全行为影响机理[J]. *西安科技大学学报*, 2020, 40(4): 712-719.
- [11] Zhou C, Chen R, Jiang S N, et al. Human dynamics in near-miss accidents resulting from unsafe behavior of construction workers[J]. *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, 2019, 530: 121495. DOI: 10.1016/j.physa.2019.121495.
- [12] 叶贵, 杨丽娟, 汪红霞, 等. 建筑工人不安全行为影响因素的多层递阶结构模型研究[J]. *安全与环境工程*, 2019, 26(2): 129-134.
- [13] Jin R Y, Zou X W, Piroozfar P, et al. A science mapping approach based review of construction safety research[J]. *Safety Science*, 2019, 113: 285-297.
- [14] 王玉合, 叶贵, 汪红霞, 等. 人因视角下建筑安全研究现状及发展趋势分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2019, 15(8): 58-63.
- [15] 倪国栋, 高富宁, 徐恒, 等. 国内建筑工人不安全行为研究综述[J]. *工程管理学报*, 2020, 34(1): 54-59.
- [16] 叶贵, 杨丽娟, 王玉合, 等. 建筑工人不安全行为影响路径研究综述[J]. *重庆大学学报*, 2020, 43(3): 111-120.
- [17] Liu Q. Influence mechanism of construction workers' safety psychology on their safety behavior based on event-related potentials[J]. *Neuro Quantology*, 2018, 16(6): 171-175.
- [18] Newaz M T, Davis P, Jefferies M, et al. Using a psychological contract of safety to predict safety climate on construction sites[J]. *Journal of Safety Research*, 2019, 68: 9-19.
- [19] Christensen L B, Johnson R B, Turner L A. *Research Methods, Design and Analysis*[M]. 12th edition. New York: Pearson education Inc., 2015: 150-170.
- [20] 叶贵, 李静, 段帅亮. 建筑工人不安全行为发生机理研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2016, 12(3): 181-186.
- [21] 张泾杰, 韩豫, 马国鑫, 等. 基于 BIM 的建筑工人危险感知能力训练系统[J]. *土木工程与管理学报*, 2017, 34(1): 88-93.
- [22] Jiang Z M, Fang D P, Zhang M C. Understanding the causation of construction workers' unsafe behaviors based on system dynamics modeling[J]. *Journal of Management in Engineering*, 2015, 31(6): 04014099. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000350.
- [23] Kim J, Lee H, Park M, et al. A system dynamics approach for modeling cognitive process of construction workers' unsafe behaviors[J]. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 2017, 18(2): 38-48.
- [24] Liao P C, Liu B S, Wang Y Q, et al. Work paradigm as a moderator between cognitive factors and behaviors — A comparison of mechanical and rebar workers[J]. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017, 21(7): 2514-2525.
- [25] Li J, Wang H, Xie Y, et al. Human error identification and analysis for shield machine operation using an adapted TRACER method[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2020, 146(8): 04020095. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001880.
- [26] Guo H L, Yu Y T, Skitmore M T. Visualization technology-based construction safety management: A review[J]. *Automation in Construction*, 2017, 73: 135-144.
- [27] 葛列众. 工程心理学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2017: 62-87.
- [28] 蒋中铭, 方东平, 张铭宗. 基于实验设计的建筑工人安全相关行为仿真[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2014, 54(10): 1327-1332.
- [29] Ye G, Yue H Z, Yang J J, et al. Understanding the sociocognitive process of construction workers' unsafe behaviors: An agent-based modeling approach[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(5): 1588. DOI: 10.3390/ijerph17051588.
- [30] Choi B, Lee S. An empirically based agent-based model of the sociocognitive process of construction workers' safety behavior[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2018, 144(2): 04017102. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001421.
- [31] Jokkaw N, Sutecharuwat P, Weerawetwat P. Measurement of construction workers' feeling by virtual environment (VE) technology for guardrail design in high-rise building construction projects[J]. *Engineering Journal*, 2017, 21(5): 161-177.
- [32] Kurien M, Kim M, Kopsid M A, et al. Real-time simulation of construction workers using combined human body and hand tracking for robotic construction worker system[J]. *Automation in Construction*, 2018, 86: 125-137.
- [33] 王银峰, 吴超, 黄锐, 等. 安全人性学视域下的个体安全行为模型研究[J]. *中国安全科学学报*, 2018, 28(9): 1-6.
- [34] Liang X, Shen G Q, Bu S. Multiagent systems in construction: A ten-year review[J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2016, 30(6): 04016016. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000574.
- [35] Leite F, Cho Y, Behzadan A H, et al. Visualization, information modeling, and simulation: Grand challenges in the construction



- industry[J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2016, 30(6): 04016035. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000604.
- [36] Ahn C R, Lee S H, Sun C, et al. Wearable sensing technology applications in construction safety and health[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2019, 145(11): 03119007. DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001708.
- [37] Goh Y M, Guo H W. FPSWizard: A web-based CBR-RBR system for supporting the design of active fall protection systems[J]. *Automation in Construction*, 2018, 85: 40-50.
- [38] Zhang Y M, Zhang M Y, Fang Q. Scoping review of EEG studies in construction safety[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(21): 4146. DOI: 10.3390/ijerph16214146.
- [39] Maman Z S, Yazdi M A A, Cavuoto L A, et al. A data-driven approach to modeling physical fatigue in the workplace using wearable sensors[J]. *Applied Ergonomics*, 2017, 65: 515-529.
- [40] Lee W, Lin K Y, Seto E, et al. Wearable sensors for monitoring on-duty and off-duty worker physiological status and activities in construction[J]. *Automation in Construction*, 2017, 83: 341-353.
- [41] Hasanzadeh S, Esmaili B, Dodd M. Measuring the impacts of safety knowledge on construction workers' attentional allocation and hazard detection using remote eye-tracking technology[J]. *Journal of Management in Engineering*, 2017, 33(5): 04017024. DOI:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000526.
- [42] Potter R F, Bolls P D. *Psychophysiological Measurement and Meaning: Cognitive and Emotional Processing of Media* [M]. New York: Routledge, 2012: 50-80.
- [43] 朱滢. 实验心理学[M]. 4 版. 北京: 北京大学出版社, 2016: 409-411.
- [44] Aryal A, Ghahramani A, Gerber B. Monitoring fatigue in construction workers using physiological measurements[J]. *Automation in Construction*, 2017, 82: 154-165.
- [45] Jebelli H, Hwangb S, Lee S. EEG-based workers' stress recognition at construction sites [J]. *Automation in Construction*, 2018, 93: 315-324.

(上接第 7 页)

- [8] Klockner K, Toft Y. Railway accidents and incidents: Complex socio-technical system accident modelling comes of age [J]. *Safety Science*, 2018, 110(Part B): 59-66.
- [9] Kleiner B M, Smith Jackson T L, Mills T H, et al. Design, development, and deployment of a rapid universal safety and health system for construction[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2008, 134(4): 273-279.
- [10] 姜盛玉, 陈国明, 李新宏, 等. 基于系统动力学的海洋平台安全脆弱性分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2019, 15(5): 49-54.
- [11] 孙剑, 耿萌, 李恺. 城市基础设施系统脆弱性影响因素的 ISM 分析[J]. *安全与环境学报*, 2018, 18(5): 1663-1669.
- [12] 田水承, 张城镇. 安全科学与工程视域下脆弱性研究评述[J]. *西安科技大学学报*, 2018, 38(1): 8-16.
- [13] 梁伟, 李威君, 张来斌, 等. 基于 IVM-AHP 的人-机-环耦合系统应急救援脆弱性分析[J]. *安全与环境工程*, 2015, 22(2): 84-87, 91.
- [14] 贾增科, 邱苑华, 赵丽坤. 基于脆弱性理论的建筑安全管理研究[J]. *建筑经济*, 2015, 36(2): 97-100.
- [15] Chamodrakas I, Alexopoulou N, Martakos D. Customer evaluation for order acceptance using a novel class of fuzzy methods based on TOPSIS[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(4): 7409-7415.
- [16] Haslam R A, Hide S A, Gibb A G F, et al. Contributing factors in construction accidents[J]. *Applied Ergonomics*, 2005, 36(4): 401-415.