

基于 OBE 理念和主成分分析的建筑施工安全教育体系构建研究

李凌昂^{1,2}, 赵娜^{1,2,*}, 范炜³

1. 内蒙古科技大学, 土木工程学院, 内蒙古 包头, 014010
2. 内蒙古自治区高校智能建造与运维工程研究中心, 内蒙古 包头, 014010
3. 内蒙古科技大学, 马克思主义学院, 内蒙古 包头, 014010

摘要: 建筑施工安全教育是预防施工安全施工发生的重要抓手, 科学合理的安全教育内容体系及教育学时分配方案决定着建筑施工安全教育的有效性和教育资源的优化配置。基于成果导向教育理论和认知理论, 构建安全教育需求模型并明确施工安全教育需求, 结合相关文献分析结果提炼出了 12 项安全教育必备内容, 并运用主成分分析法对 12 项内容进行降维处理, 最终确定安全教育体系和教育学时分配方案。研究表明: 建筑施工安全教育内容可归纳为法安全作业能、前瞻风险预、应急处置与法律法三大维度, 据此研究结果发现维度一安排 16 学时、维度二与维度三个安排 8 学时的结构化教育方案教育效果最佳。本研究为施工企业系统开展安全教育提供了理论依据与实践参考。

关键词: 施工安全管理; 入场安全教育; 培训内容与学时

Research on the Construction of a Construction Safety Education System Based on OBE Concept and Principal Component Analysis

Lingang Li^{1,2}, Na Zhao^{1,2,*}, Wei Fan³

1. School of Civil Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, China,
014010
2. Intelligent Construction and Operation Engineering Research Center at Universities of Inner Mongolia Autonomous Region, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, China, 014010
3. School of Marxism Studies, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, China,
014010

Abstract: Construction safety education serves as a crucial measure to prevent construction accidents. A scientific and reasonable system of educational content and an appropriate allocation of credit hours are key to ensuring the effectiveness of safety education and the optimal allocation of educational resources. Based on Outcome-Based Education (OBE) theory and cognitive theory, this study constructs a safety education demand model to identify specific educational needs. By combining findings from relevant literature, 12 essential safety education components were identified. Principal Component Analysis (PCA) was applied to reduce the dimensionality of these components, ultimately forming a structured safety education system and a corresponding credit hour allocation plan. The research shows that construction safety education content can be summarized into three dimensions: Safe Operation Capability, Proactive Risk Prevention, and Emergency Response and Legal

Regulations. Based on empirical findings, the most effective structured education program allocates 16 credit hours to Dimension 1 and 8 credit hours each to Dimensions 2 and 3. The conclusions of this study provide a theoretical basis and practical reference for construction enterprises to systematically implement safety education.

Keywords: Construction safety management; Pre-entry safety education; Training content and duration

建筑行业是我国国民经济的重要支柱产业。2023年全国建筑业企业完成总产值315911.85亿元，同比增长5.77%，占全年GDP总量的6.8%^[1]，该行不仅直接关系到人民群众的住房保障与就业稳定，还具有显著的辐射带动效应，牵动大量上下游产业链的协同发展，其健康与可持续发展对我国社会经济整体运行具有深远影响。然而，当前建筑行业的安全形势严峻，安全事故频发。据国家应急管理部发布的数据，2024年第一季度，建筑施工领域事故发生率位居各行业第二，成为事故集中发生的重要领域^[2]。在我国人口老龄化不断加剧的背景下，建筑业作为典型的劳动密集型行业，在“十四五”期间推动其高质量发展、系统性降低事故发生率，已成为一项重要而紧迫的课题。

现阶段，我国建筑安全管理政策体系与标准规范日益完善，相关管理制度也逐步健全。尽管在人员与经费方面持续加大投入，安全事故仍时有发生。晋良海^[3]在相关研究中调取并分析建筑安全事故案例，指出安全教育培训不到位是诱发事故的关键因素之一。近年来，学术界围绕安全教育展开了较为广泛的研究。高开欣^[4]基于信息传播理论，构建了涵盖安全教育设计、实施与评估的DLA模型；James^[5]则强调，受教者对安全教育的态度将影响教育设计与实施，建议将成人学习理论融入安全教育体系；付汉良等^[6]提出，专家危险识别的眼动模型可对建筑工人安全教育产生动态、直观的辅助效果，有助于提升培训成效。此外，多项研究表明^[7-9]，采用手机APP、虚拟现实（VR）与增强现实（AR）等技术手段，对提升安全教育效果具有积极作用。当前，亟需形成更多基于实证研究、能够直接指导企业实践的典型范式。

安全教育是建筑施工项目安全管理的核心环节，对保障项目安全运行、防范人员伤害具有关键作用。准确识别教育需求是有效开展安全教育的前提，唯有系统、科学地把握需求，才能确保教育内容具备针对性与实效性。因此，构建系统、准确的安全教育需求体系至关重要。本质上，安全教育属于教育学范畴，应依托教育学理论展开系统研究。尽管已有成果从理论与方法层面为安全教育提供了重要参考，但从从业者视角出发，统筹考虑施教者角色，系统结合教育政策与制度，并基于教育学理论系统开展建筑施工安全教育需求分析的研究仍较为欠缺。此类分析是科学构建安全教育体系、规划实施路径的重要基础与关键环节。为此，本文依托OBE（成果导向教育）理念与认知理论，构建建筑施工安全教育需求模型，通过问卷调查与文献分析，识别关键安全教育需求，提炼必要的安全教育内容，并通过实证研究提出具体的学时分配方案，以期为后续课程开发与实践教学提供理论参考。

1 研究方法

1.1 理论研究方法

1.1.1 成果导向教育理念

成果导向教育理念（Outcome-Based Education，简称OBE）理念，该教育理念强调以学生为中心，以可衡量的学习成果为目标，反向设计教学活动，并持续改进教学质量，突出能力本位与对新工业革命的适应性。基于OBE理念的课程涉及对于推动和实现中共工程教育改革、提高人才培养质量具有现实而长远的战略意义^[10]。建筑施工安全教育属于工程管理范畴，而面对高质量发展的新要

求其安全教育也必须适应新工业革命的特点；安全教育的学生就是建筑工人，其个人行为直接关系到安全绩效，因此安全教育应以建筑工人为核心；建筑施工安全教育的学习成果也较为明确，那就是避免工人的不安全行为、能够正确掌握应急逃生技能、防止事故的发生，最终实现“不伤害自己、不伤害他人、不被他人伤害”。综上所述，OBE 理念与建筑施工安全教育在目标、对象和教学逻辑方面高度契合，适用于该系统化教育过程的构建与优化，基于 OBE 理念明确开展安全教育需求分析应从建筑工人出发，同时要考虑法律法规对于建筑工人安全能力的基本要求，以此为基本步骤来构建建筑安全教育需求模型。

1.1.2 认知理论

认知理论源于心理学，对教育学领域影响深远。Seo^[11]认为一个人了解客观世界应该包括信息获得、编码、储存、提取和使用等一系列的过程，并且人们对于世界的理解是通过大脑处理信息的结果。在建筑施工安全教育中，工人的安全行为也取决于其对接收信息的内在处理机制。基于认知理论的安全教育应全面考虑受教者（建筑工人）与施教者（企业、项目与班组）所构成的信息传递系统，从教育效率和经济性角度统筹规划；同时，应从受教者实际需求和动机出发，增强其安全态度与行为意愿，从而提高教育效果的持续性与有效性^[12]。因此，认知理论为提升建筑安全教育的科学性与适用性提供了坚实依据，基于认知理论得出开展安全教育需求的分析需要同步考虑受教者和施教者的需求，丰富了安全教育需求模型的内涵。

1.1.3 主成分分析法

主成分分析法（PCA）是一种数据压缩方法，该方法通过降维将原有多个相关变量转化为少数独立主成分，用于压缩和提炼安全教育内容维度，为理清教学内容逻辑及后续学时安排提供依据。

1.2 建筑安全教育需求模型

在安全教育基本要素方面，高开欣^[4]将其归纳为五类基本要素，即：参与者、信息、环境、软件设施及硬件设施，并对各要素的内涵进行了阐述，该分类体系较为全面，此处仍沿用其对要素的内涵界定。此外根据人-机-环境系统工程理论，即人、机、环、管、法这五个关键要素对于安全生产起到了重要影响，在构建安全教育需求模型时，也需系统纳入该五要素作为分析维度。在模型构建方法上，采用主客观相结合的分析路径：既考虑施教者与受教者等主体的主观认知与意愿，也综合政策法规、标准规范等客观要求，以确保需求识别过程的全面性与科学性。

OBE 教学理念在工程教育领域已进行深入的研究并进行了大量的实施，其具体操作步骤如图 1：

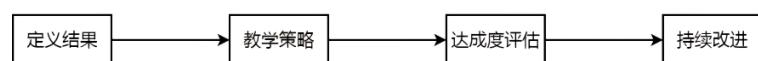


图 1 OBE 教学理念流程图

Fig. 1 Flowchart of the OBE Teaching Philosophy

基于 OBE 理念的建筑安全教育需求模型主要应用于第一阶段的分析，根据上诉分析并融合 OBE 理念构建出建筑安全教育需求模型如图 2：

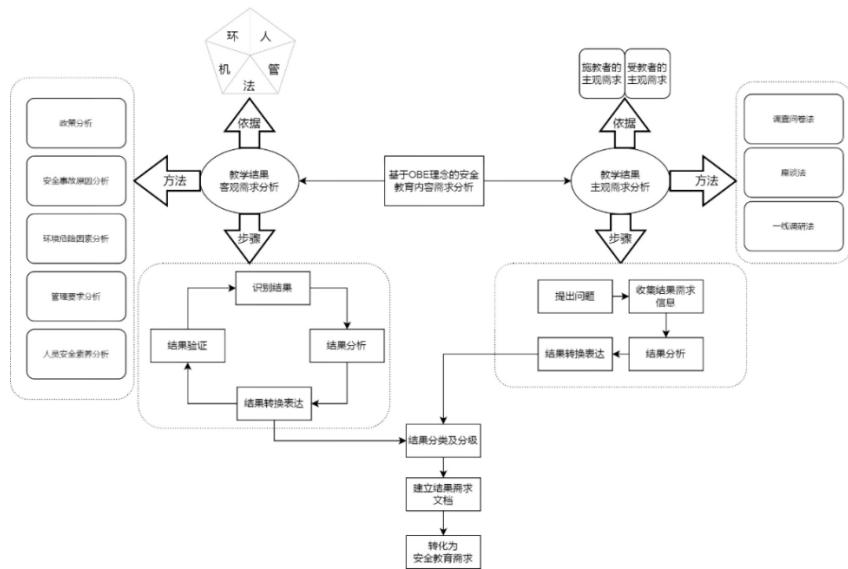


图 2 基于 OBE 理念构建建筑安全教育需求模型

Fig. 2 An OBE-Based Needs Model for Construction Safety Education

与一般安全教育需求分析方法直接探求需求不同，此处所构建的基于 OBE 理念的建筑施工安全教育需求模型，采用从结果反向推导内容的分析路径：首先明确期望的安全行为与能力成果，进而转化为对教育内容的具体需求。该方法以结果为导向，强调实用性与目的性，通过目标成果间接确定内容需求，能够更系统、清晰地识别所需的教育要素，克服了传统方法中常见的内容需求界定模糊、难以明确表述等局限。

2 建筑安全教育内容研究

2.1 建筑安全教育客观需求分析

为奠定研究的规范基础，本文首先对建筑安全教育进行客观需求分析。该方法来源于现行的法律法规与标准规范，通过文献研究系统提取并整合了关于安全教育内容、学时与实施形式的明确规定，从而精准识别出基础性、强制性的教育需求，最终构建了如表 1 所示的客观需求映射表。

表 1 建筑安全教育客观需求映射表

Table 1 Mapping of Objective Needs in Construction Safety Education

| 序号 | 名称（法律法规） | 条例文献对于安全教育内容的要求 |
|----|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 《中华人民共和国安全生产法》 | 1.国家和区域的安全生产的政策、法律和法规等； |
| 2 | 《中华人民共和国职业病防治法》 | 2.企业项目和工地的制度 |
| 3 | 《建设工程安全生产管理条例》 | 3.应急处置知识 |
| 4 | 《生产安全事故应急条例》 | 4.项目工地的现场环境、施工工程特点及可能存在的风险和存在的不安全因素等 |
| 5 | 《生产经营单位安全培训规定》 | 5.事故案例警示分析 |
| 6 | 《安全生产培训管理办法》 | 6.安全操作规程 |
| 7 | 《中华人民共和国建筑法》 | 7.劳动保护知识 |
| 8 | 《施工企业安全生产管理规范》 GB 50656-2011 | 8.安全职责 |

此外通过查阅论文、期刊等文献，对关于安全教育内容应包括的因素进行补充，以力求做到全面，主要补充以下 5 个方面的内容，如表 2 所示：

表2 安全教育内容补充因素表

Table 2 Supplementary Factors for Safety Education Content

| 序号 | 内容 | 来源 |
|----|-------------|------|
| 1 | 工器具的正确操作方法 | [13] |
| 2 | 安全异常判断标准及处置 | [14] |
| 3 | 职业病防治 | [15] |
| 4 | 新技术的安全管控 | [16] |

基于上述分析，得到安全教育客观需求内容的 12 项因素如表 3 所示：

表3 安全教育客观需求因素汇总表

Table 3 Summary of Objective Needs Factors for Safety Education

| 序号 | 因素 |
|----|----------------------|
| 1 | 安全职责 |
| 2 | 安全异常情况的判断标准及处置 |
| 3 | 安全保护知识 |
| 4 | 安全操作规程 |
| 5 | 各类事故应急处置知识 |
| 6 | 事故案例警示分析 |
| 7 | 国家和区域的安全生产的政策、法律和法规等 |
| 8 | 关于新技术、新材料、新工艺的安全管控措施 |
| 9 | 各级安全管理制度 |
| 10 | 工器具的正确操作方法 |
| 11 | 职业病防治 |
| 12 | 作业环境危险性因素及控制措施 |

表4 样本数据描述性分析

Table 4 Descriptive Analysis of the Sample Date

| 变量 | 选项 | 频率 | 百分比 | 变量 | 选项 | 频率 | 百分比 |
|------|---------|-----|-------|--------|------------|-----|-------|
| 性别 | 男 | 158 | 67.2 | 职业 | 项目层面管理人员 | 36 | 15.3 |
| | 女 | 77 | 32.8 | | 班组层面管理人员 | 58 | 24.7 |
| | 总计 | 235 | 100.0 | | 普通工种 | 81 | 34.5 |
| 年龄 | 30 岁以下 | 61 | 26.0 | 特殊工种 | 特殊工种 | 44 | 18.7 |
| | 30~39 | 61 | 26.0 | | 公司层面管理人员 | 16 | 6.8 |
| | 40~49 | 57 | 24.3 | | 总计 | 235 | 100.0 |
| | 50 岁以上 | 56 | 23.8 | | | | |
| 文化程度 | 总计 | 235 | 100.0 | 从事建筑行业 | 没有从事过除建筑行业 | 61 | 26.0 |
| | 小学及以下 | 37 | 15.7 | 业之前从事 | 在家务农 | 60 | 25.5 |
| | 初中 | 77 | 32.8 | | 待业 | 33 | 14.0 |
| | 高中、中专或高 | 64 | 27.2 | | 外出务工 | 45 | 19.1 |
| | 大专及以上 | 57 | 24.3 | | 从事其他工作 | 36 | 15.3 |
| | 总计 | 235 | 100.0 | | 总计 | 235 | 100.0 |

(2) 效度分析

利用 spss27.0 软件，计算出效度如表 5 所示。对有效问卷中的潜变量进行检验，一般来说，KMO 值大于 0.6，巴特利特球形度检验显著性小于 0.05，表示其具有较好的效度。

(3) 信度分析

通常信度系数值应该在 0.8 以上才认为其结果可靠。如表 6 所示，经过 spss27.0 软件对 12 项指

标进行信度检验得出信度为 0.978，反映出所采用的问卷具有较好的信度。

表 5 效度分析结果

Table 5 Validity Analysis Results

| KMO 和巴特利特检验 | | |
|-------------|-------------|----------|
| 巴特利特球形度检验 | KMO 取样适切性量数 | 0.981 |
| | 近似卡方 | 3469.017 |
| | 自由度 | 66 |
| | 显著性 | 0.005 |

表 6 信度分析结果

Table 6 Reliability Analysis Results

| 可靠性统计 | |
|------------|----|
| 克隆巴赫 Alpha | 项数 |

0.978
12

2.3 建筑安全教育内容需求汇总

在主观需求分析中，分析结果得出，基于客观需求所提炼的 12 项安全教育内容均被受访者确认为必要，且未提出超出该范围的其他内容需求。因此，建筑施工项目安全教育的主观需求可归纳为以下 12 项：安全职责、安全异常情况的判断与处置、安全保护知识、安全操作规程、各类事故应急处置知识、事故案例警示分析、安全生产相关政策法律法规、新技术/新材料/新工艺的安全管控措施、各级安全管理制度、工器具的正确操作方法、职业病防治，以及作业环境危险性因素及控制措施。

2.4 建筑安全教育内容需求主成分分析

采用主成分分析把安全教育的多个影响因素降维为影响建筑施工项目安全教育的关键因素，并保留原影响因素包含的主要信息。借助 SPSS.27.0 工具计算每个主成分的特征值、累计方差贡献率，选择解释累积方差比例较高的主成分。以方差贡献率累计达到 85%以上为选择标准。根据建筑施工项目影响因素的累计贡献率，提取 3 个成分时总方差累计贡献率已超 85%，故选择 3 个特征值，如表 7 所示：

表 7 总方差解释表

Table 7 Total Variance Explained

| 成 分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | | 旋转载荷平方和 | | |
|--------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 总计 | 方差百分比 | 累积百分比 | 总计 | 方差百分比 | 累积百分比 | 总计 | 方差百分比 | 累积百分比 |
| 1 | 9.658 | 80.480 | 80.480 | 9.658 | 80.480 | 80.480 | 4.332 | 36.100 | 36.100 |
| 2 | .348 | 2.901 | 83.381 | .348 | 2.901 | 83.381 | 3.001 | 25.011 | 61.111 |
| 3 | .288 | 2.398 | 85.778 | .288 | 2.398 | 85.778 | 2.960 | 24.667 | 85.778 |
| 4 | .243 | 2.027 | 87.805 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | .232 | 1.934 | 89.739 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | .213 | 1.779 | 91.518 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | .208 | 1.736 | 93.253 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | .178 | 1.480 | 94.733 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | .169 | 1.410 | 96.143 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | .162 | 1.353 | 97.496 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | .157 | 1.311 | 98.808 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | .143 | 1.192 | 100.000 | - | - | - | - | - | - |

为更好地解释3个主成分，采取最大方差旋转法对提取的3个公共因子进行选择，同时设置因子载荷系数为绝对值0.5以下禁止显示，并以保留较大的因子载荷系数为原则。经分析，在第7次迭代之后，因子旋转收敛，生成旋转后的成分矩阵，如表8所示：

表8 旋转后的成分矩阵

Table 8 Rotated Component Matrix

| 题项 | 成分因子1 | 成分因子2 | 成分因子3 |
|-------------|-------|-------|-------|
| 国家及区域的法律法规 | - | - | .839 |
| 劳保用品使用 | .652 | - | - |
| 事故案例警示教育 | .752 | - | - |
| 安全操作技能 | - | - | .572 |
| 应急处置 | - | - | .569 |
| 职业病防治 | - | .811 | - |
| 作业环境危险性因素 | .762 | - | - |
| 各级安全管理制度 | .671 | - | - |
| 工器具的正确使用 | .672 | - | - |
| 安全责任 | .582 | - | - |
| 异常情况的判断和处置 | .641 | - | - |
| 关于新技术安全防控措施 | - | .591 | - |

通过主成分分析，将12项建筑施工项目安全教育内容影响因素划分为3个维度，按照各维度所包含因素的重要程度排序，得出影响因素-维度二元映射表，具体如表9所示：

表9 建筑施工项目安全教育内容影响因素-对应维度二元映射表

Table 9 Dual Mapping of Influencing Factors to Respective Dimensions in Construction Safety Education Content

| 序号 | 因素 | 维度 |
|----|-------------|---------------------|
| 1 | 作业环境危险性因素 | |
| 2 | 事故案例警示教育 | |
| 3 | 工器具的正确使用 | |
| 4 | 各级安全管理制度 | 维度一（解释36.1%的总方差） |
| 5 | 劳保用品使用 | |
| 6 | 异常情况的判断和处置 | |
| 7 | 安全责任 | |
| 1 | 职业病防治 | 维度二（解释了25.011%的总方差） |
| 2 | 关于新技术安全防控措施 | |
| 1 | 国家及区域的法律法规 | |
| 2 | 安全操作技能 | 维度三（解释了24.667%的总方差） |
| 3 | 应急处置 | |

根据所划分的三个维度的总方差解释率，维度1包含7个因素，总方差解释率最高，维度2包含2个因素，总方差解释率次之，维度3包含3个因素，总方差解释率与维度二接近。此分析结果可为安全教育学时的分配提供参考依据。

3 研究结论及改进建议

3.1 建筑安全教育内容及学时现状

当前，建筑施工安全教育的主要实施依据为《施工企业安全生产管理规范》(GB 50656-2011)^[17]第7.06条规定：施工企业新上岗操作工人必须进行岗前教育培训，教育培训应包括内容有：安全生产法律法规和规章制度；安全操作规程；针对性的安全防范措施；违章指挥、违章作业、违反劳动

纪律产生的后果；预防、减少安全风险以及紧急情况下应急救援的基本知识、方法和措施^[18]。学时分配一般为：公司级16学时，项目经理部级8学时，班组级8学时。然而，现行安全教育在内容设置与学时分配方面仍存在一定局限。一方面，既有内容未能全面覆盖实际施工过程中的关键风险点与教育需求^[19, 20]；另一方面，学时分配多依赖经验惯例，缺乏科学的理论依据与实证支持^[21-23]。

3.2 建筑安全教育的改进建议

在安全教育内容方面，应突破现有法规的基本要求，系统纳入通过主客观需求分析所识别出的12项必备内容，包括：国家及区域的法律法规，劳保用品使用，事故案例警示教育，安全操作技能，应急处置，职业病防治，作业环境危险性因素，各级安全管理制度，工器具的正确使用，安全责任，异常情况的判断和处置，关于新技术安全防控措施。

在学时分配方面，应改变以往单纯依据企业层级进行划分的方式，转而基于教育内容的结构性与重要性进行科学配置。根据需求分析及维度归类结果，建议在公司级培训的16学时中，重点安排维度一所涵盖的7项因素相关教学内容；项目经理部与班组级的各8学时，可分别用于维度二中的2项因素和维度三中的3项因素的教学实施。该分配方式兼顾教育内容的系统性与学时配置的经济性，有助于提升安全教育的整体效能。

4 总结

本文构建了基于OBE理念的建筑施工安全教育需求模型，遵循以受教者为中心、结果为导向的基本原则，系统和科学地识别了安全教育需求，为后续教学内容体系的制定提供了理论依据，本文的模型有助于强化安全教育的针对性和有效性，可为企业、项目及班组三级安全教育体系的实施提供参考框架。通过问卷调查，本研究明确了建筑施工安全教育的核心内容需求，并采用主成分分析法对需求维度进行了降维处理，为教学学时的合理配置提供了数据支撑，进一步优化了教学资源配置，提高了安全教育的整体实效。

本研究基于OBE理念与认知理论，采用主客观相结合的分析方法，系统识别了建筑施工安全教育的十二项关键内容，包括国家及区域法律法规、劳保用品正确使用、事故案例警示、安全操作技能、应急处置、职业病防治、作业环境危险因素识别、各级安全管理制度、工器具使用规范、安全责任履行、异常情况判断与处置、新技术安全防控措施。进一步通过主成分分析将上述内容归纳为三个主要维度，并据此提出结构化学时分配方案：维度一涵盖7项因素，建议分配16学时；维度二和维度三分别涵盖2项和3项因素，各建议分配8学时。该体系不仅强化了安全教育内容的系统性与针对性，也为企、项目部及班组层面科学开展安全教育提供了理论依据与实践参考。

此外，本研究提出的基于OBE理念的建筑工人安全教育需求分析模型，丰富了工程管理与安全教育交叉领域的理论研究，为推进安全教育的科学化与精准化提供了新的视角。未来研究可进一步结合不同地区、不同工程类型的实际情境，对学时分配与教学内容进行动态调整，并探索与现代教育技术深度融合的创新模式，以持续提升建筑施工安全教育的适应性、精准性与实效性。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2023年国民经济和社会发展统计公报.
- [2] 段萌. 应急管理部就2024年一季度自然灾害和安全生产形势举行发布会.
- [3] 晋良海, 王抒情, 邵波, 等. 建筑工程施工安全生产事故致因的共现特征分析[J]. 安全与环境工程, 31(6): 26-34.
- [4] 高开欣, 吴超, 王秉. 基于信息传播的安全教育通用模型构建研究[J]. 情报杂志, 2017, 36(12): 132-137.

- [5] James R. W. Construction workers' perceptions of health and safety training programmes[J]. Construction Management and Economics, 2011, 29(10): 1017-1026.
- [6] 付汉良, 谭玉冰, 夏中境, 等. 专家危险识别轨迹对建筑工人安全教育的影响——来自眼动实验的证据[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2024, 64(2): 205-213.
- [7] 孙峥峰, 李坤. 基于可视化技术的体验式安全培训方式[J]. 居舍, 2019, 24: 94-95.
Sun Z Z, Li K. Experiential Safety Training Method Based on Visualization Technology [J]. Jushe, 2019, 24: 94-95.
- [8] 向永娅. 建筑工程施工中虚拟仿真技术的应用[J]. 模具制造, 2024, 24(3): 239-241.
- [9] 张向轲. 基于 VR 技术的建筑施工安全教育效果研究[D]. 内蒙古科技大学, 2024.
- [10] 顾权, 徐丽璠, 王嘉炜. 地铁项目农民工安全教育培训现状分析[J]. 建设科技, 2019, (21): 51-55.
- [11] Seo J O, Han S U, Lee S H, et al. Computer vision techniques for construction safety and health monitoring[J]. Advanced Engineering Informatics, 2015, 29(2): 239-251.
- [12] 刘创. 建筑工程施工现场安全管理实例分析[J]. 城市开发, 2025, 4: 123-125.
- [13] 赵子琪, 张玉珂, 张保勇, 等. 基于 24Model 的建筑较大坍塌事故人因因素相关性研究[J]. 工业安全与环保, 2025, 51(3): 30-36.
- [14] 何伟. 对新时代建筑施工企业一线工人安全教育培训的思考[J]. 建筑安全, 2024, 39(7): 91-94.
- [15] 石福彬, 崔雪松. 英国建筑业职工健康安全体系研究与启示[J]. 工程经济, 2024, 34(4): 37-44.
- [16] 建筑业企业职工安全培训教育暂行规定[J]. 中国建设信息, 1997, 20: 3-4.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 施工企业安全生产管理规范: GB 50656-2011[S]. 2011.
- [18] 孙维才. 改进建筑业劳务派遣人员“三级安全教育”模式探讨[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2022, 32(3): 88-91.
- [19] 黄冰倩, 邹小伟. 建筑工人安全培训效果影响机理及实证研究[J]. 天津城建大学学报, 2020, 26(5): 364-369.
- [20] 于文浩, 伍艳. 绩效技术的因果观: 吉尔伯特的工程学模型[J]. 现代教育技术, 2021, 31(3): 34-41.
- [21] 雷柏伟, 吴兵. 基于现代认知理论的消防工程学课堂教学改革浅析[J]. 大学教育, 2019, 6: 44-47.
- [22] 祖来克孜·米吉提, 牛飞亮. 基于 OBE 理念的多元统计分析课程教学设计探讨[J]. 创新教育研究, 2025, 13(6): 519-529.
- [23] 黄刚. 建筑工程安全管理体系的构建与实践[J]. 建筑工程进展, 2025, 5(3): 36-38.

基金项目: 内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目 (2023QNJS128)。

第1作者简介: 李凌昂 (1997-), 男, 硕士研究生在读, 内蒙古科技大学, 研究方向: 工程安全管理方法创新与应用。E-mail:tyutilingang@163.com。

***通讯作者简介:** 赵娜 (1983-), 女, 硕士, 副教授, 内蒙古科技大学, 研究方向: 绿色建造与管理, 工程安全管理方法创新与应用。E-mail: zhaonapopo2010@imust.edu.cn。