

发展中国家建筑返工动因解构与智能管控 ——基于四维因子 SEM模型与 BIM协同优化

袁伟

绵阳新兴投资控股有限公司，四川 绵阳 621000

DOI:10.61369/ME.2025030038

摘 要： 本研究聚焦发展中国家建筑行业返工问题，通过系统文献综述（SLR）筛选四类关键因素，结合271份问卷数据，采用探索性因子分析（EFA）和结构方程建模（SEM）进行量化验证。结果表明：项目动态与沟通挑战（PDCC）对返工影响最强（路径系数0.71），管理与规划缺陷（MPD）、设计时间约束（DTC）、劳动力质量（LQCI）次之；返工导致工程绩效（成本/工期/质量/安全）显著下降（ $\beta = -0.68$ ）。据此提出三大优化策略：① BIM+Cloud平台强化实时协同；② AI施工排程提升计划精准度；③ 劳动力培训与资质审核制度。研究填补了发展中国家返工多维度量化分析空白，为行业提供动态决策框架。

关 键 词： 施工返工；结构方程建模；工程绩效；沟通协同；发展中国家

Deconstructing the Drivers of Building Renovation in Developing Countries and Intelligent Management — Based on a Four-Dimensional Factor SEM Model and BIM Collaborative Optimization

Yuan Wei

Mianyang Xinxing Investment Holding Co., LTD. Mianyang, Sichuan 621000

Abstract： This study focuses on rework issues in the construction industry of developing countries. Through a systematic literature review (SLR), four key factors were identified. Combining 271 questionnaire data, exploratory factor analysis (EFA) and structural equation modeling (SEM) were used for quantitative validation. The results indicate that Project Dynamics and Communication Challenges (PDCC) have the strongest influence on rework (path coefficient 0.71), followed by Management and Planning Deficiencies (MPD), Design Time Constraints (DTC), and Labor Quality (LQCI). Rework leads to a significant decline in project performance (cost/schedule/quality/safety) ($\beta = -0.68$). Based on these findings, three optimization strategies are proposed: ① Strengthening real-time collaboration through BIM+Cloud platforms; ② Enhancing schedule accuracy through AI-driven construction scheduling; ③ Implementing workforce training and qualification review systems. This study fills a gap in multidimensional quantitative analysis of rework in developing countries and provides the industry with a dynamic decision-making framework.

Keywords： construction rework; structural equation modeling; engineering performance; communication and collaboration; developing countries

引言

（一）研究背景

建筑行业是全球经济的支柱产业之一，涵盖了基础设施建设、住宅开发、商业项目等多个领域。然而，由于项目的复杂性、工艺流程的多样性以及多方协作的特性，建筑工程中普遍存在成本超支、工期延误和质量问题等挑战。其中，施工返工（Rework）是影响工程绩效的关键因素之一，它不仅增加了项目成本，还导致进度滞后、资源浪费，甚至影响施工安全和工程质量。

建筑工程中的返工问题（Rework）一直是导致工程质量下降、成本增加和工期延误的核心因素之一。大量研究表明，返工在建筑项目总成本中所占比例通常在5%至15%之间^[1]，部分复杂项目甚至超过20%，对企业利润率、资源配置效率和行业整体竞争力造成了严重影响（Love et al., 2004；贺小杰等，2017）。此外，返工还会延长施工周期，导致合同履行受阻、客户满意度下降，甚至引发法律

纠纷和索赔问题（赵加星等，2021）。根据 Love 等（2004）的研究，施工返工的成因主要包括设计缺陷、施工管理不善、技术沟通不畅和劳动力质量不达标^[2]。这一观点在国内学者的研究中也得到印证。例如，王一楠与陈良全（2018）指出，在我国城市基础设施项目中，设计变更频繁与设计阶段审图不严是引发返工的首要诱因。王志敏与段毅（2020）进一步补充道，劳动力技能水平不足、施工工艺不规范以及现场监管不到位也在返工发生中起到重要作用。国外学者 Hwang 和 Yang（2009）在新加坡建筑项目研究中强调，返工的主要诱因来自于设计信息的不完整与施工方对设计意图的误解，而 Simpeh 等（2011）在南非的研究则指出客户频繁修改需求、沟通链条层级过多，是发展中国家中返工问题高发的重要背景因素。在国内，李先述与王锐（2022）针对大型房建工程开展调研发现，返工不仅造成直接经济损失，还会引发“连锁型效率衰减”问题^[3]，即返工延迟导致工序错位、后续施工节奏被迫调整，最终诱发工期整体失控。刘乾坤等（2020）通过定量分析发现，建筑信息建模（BIM）技术在返工控制中具有显著成效，可通过提前识别碰撞点与图纸错误，有效减少设计与施工衔接失误。陈玉梅与张兆国（2019）指出，施工阶段的信息传递与反馈机制不畅，尤其是在多分包单位并行作业背景下，极易引发重复施工与界面返工。此外，返工的负面影响不仅限于成本与工期，还会对项目安全、团队士气和客户信任产生不可忽视的长期影响。Love 等（2016）提出“返工的隐性成本”（hidden cost of rework）概念，强调返工带来的机会成本、团队信任消耗与企业品牌影响等“不可见损失”不容忽视^[4]。

综合来看，无论是在国内还是国际研究中，返工问题都被视为建筑项目管理中的顽疾，其根源具有系统性、链条性与多因素耦合性。尽管国内外已有诸多研究探讨建筑行业的返工问题，但当前的研究仍存在以下不足：

缺乏系统性建模——大多数研究仅采用单一分析方法（如案例研究或问卷调查），而缺乏多维度的量化分析。

研究区域局限——多数研究集中于发达国家（如美国、英国、澳大利亚），对发展中国家建筑行业的返工因素关注较少。

关键影响因素未充分量化——现有文献多关注返工的表面原因，尚未通过系统建模方法（如结构方程建模，SEM）深入分析各因素的相互作用及其影响程度。

鉴于此，本研究通过系统文献综述（SLR）、问卷调查、探索性因子分析（EFA）和结构方程建模（SEM），系统识别和量化建筑行业返工的关键影响因素。研究结果不仅可以为建筑企业提供精准的返工管控策略，也能为政策制定者优化行业管理提供科学依据^[5]。

（二）研究目标

建筑行业的复杂性和多方协作特性导致工程项目面临诸多挑战，如返工（Rework）、工程管理缺陷、质量控制问题、施工进度延误等。这些问题不仅影响项目成本和工期，还对工程质量和施工安全构成威胁。因此，系统识别影响建筑工程绩效的关键问题，并对其影响程度进行量化分析，对于提升行业整体管理水平和减少资源浪费具有重要意义。本研究的核心目标如下：

1. 识别建筑行业中的关键问题

通过系统文献综述（SLR），梳理全球建筑行业中普遍存在的工程管理与施工质量问题，并结合发展中国家的行业特点，筛选出最具影响力的关键问题。

重点关注返工因素，包括其主要成因、行业普遍性及对工程绩效的直接和间接影响。

2. 量化关键问题对工程绩效的影响

采用问卷调查收集建筑行业从业人员的意见，涵盖项目管理者、工程师、施工单位等不同群体，确保研究数据的广泛性和代表性。结合探索性因子分析（EFA）和归一化均值分析（NMV），对影响工程绩效的关键因素进行筛选和排序。采用结构方程建模（SEM），分析各关键因素的相互关系，定量评估其对成本、工期、质量、安全等关键绩效指标（KPI）的影响程度^[6]。

3. 提出相应的管理和技术优化策略

结合研究结果，提出降低返工率、提高工程管理水平的具体措施，如优化施工计划、提升劳动力质量、加强设计管理、改善沟通机制等。针对发展中国家的建筑行业特性，探讨适用的政策建议，如完善行业监管、推动智能建造技术（BIM、AI 分析等）、强化项目管理培训。为建筑企业提供一套基于数据驱动的决策支持框架，帮助企业在项目策划、执行、监控等环节减少返工，提高整体施工效率。

本研究不仅能为建筑行业提供精准的工程绩效管理策略，还能够填补现有研究中的空白，为政策制定者、建筑企业、施工管理者等提供可量化的数据支持，从而推动建筑行业向更高效、更可持续的方向发展^[7]。

（三）研究贡献

本研究围绕建筑行业中的返工问题展开，系统识别并量化影响工程绩效的关键因素。尽管已有许多学者探讨了建筑返工的成因和影响，但现有研究仍然存在一定的局限性。本研究的贡献主要体现在以下几个方面：

区域性差异分析：当前关于施工返工的研究多集中于欧美等发达国家，而针对发展中国家的建筑行业的研究较少。本研究以发展中国家的建筑行业为背景，探索返工问题的独特性及其影响机制，为后续相关研究提供借鉴^[8]。

关键返工因素的系统性建模：多数现有研究仅识别了返工的表面原因，而未对各因素之间的相互作用进行深入建模。本研究采用结构方程建模（SEM），系统分析返工成因及其对工程绩效的影响，为建筑行业提供更科学的管理依据。

缺乏多方法融合的研究框架：目前的研究大多采用单一的分析方法，如案例研究或问卷调查，缺乏多维度的量化分析。本研究综合运用了系统文献综述（SLR）、问卷调查、探索性因子分析（EFA）和归一化均值分析（NMV），确保研究结论的全面性和可靠性。

为建筑企业提供决策支持：研究结果可帮助施工单位、工程管理者优化项目管理流程，减少返工带来的成本损失、工期延误和质量问题。

为政策制定者提供监管建议：研究结果可为政府监管机构提供数据支持，优化建筑行业质量标准、合规政策和技术创新激励措施，提升行业整体效能。

推动建筑行业智能化发展：研究结论可为建筑信息建模（BIM）、人工智能（AI）、智能监测系统等新技术的应用提供理论支持^[9]，推动智能建造和精细化管理的发展。

一、研究方法

本文通过引入结构方程建模（SEM）进行定量分析：本研究首次采用 SEM 方法，将返工因素分解为管理与规划缺陷（MPD）、设计与时间约束（DTC）、劳动力质量与合规问题（LQCI）、项目动态与沟通挑战（PDCC）四大类，并测量其对施工返工的影响程度，为行业管理者提供量化决策依据。除此之外，本研究在大数据定量分析的基础上，结合专家访谈和行业案例研究，确保研究结论的科学性、可行性和适用性。得到多层次数据分析框架，如图 1 所示：

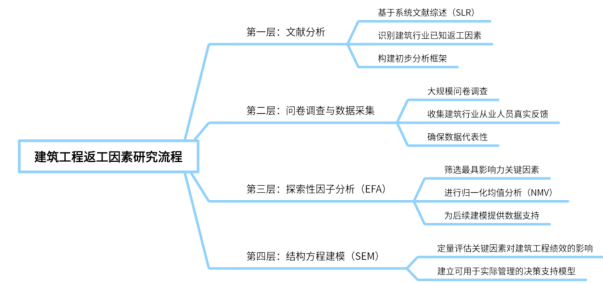


图 1 多层次数据分析框架

采用 PRISMA 方法进行系统文献综述，从 Web of Science、Scopus 和 CNKI 数据库中检索关键词：“construction rework”“engineering performance”“rework factors”“developing countries construction”，筛选条件包括时间（2005 - 2025）、语言（英文或中文）、研究类型（实证研究、综述、模型分析）。得到结果如下表 1 所示：

表 1 文献筛选流程与结果

阶段	检索数量	剔除重复	筛选摘要	全文评估	最终纳入
初始检索	742	130	412	185	72

通过分析纳入文献，提取并分类影响返工的因素，初步归纳为四大类（MPD、DTC、LQCI、PDCC）。结合以上内容，进行问卷调查，设计结构化问卷，共计 28 个问题，基于 Likert 五级量表（1=完全不同意，5=完全同意），涵盖四大类返工因素及四个绩效维度（成本、工期、质量、安全）。目标群体：项目经理、施工工程师、设计人员等；回收数据：共发放问卷 320 份^[10]，回收有效问卷 271 份，有效率为 84.7%。

二、数据分析与建模

使用 SPSS 26.0 进行因子分析，KMO 值为 0.873，Bartlett 球形检验显著（ $p < 0.001$ ），适合进行因子分析。共提取 4 个主因子，累计解释方差为 72.3%。结果如表 2 所示：

表 2 EFA 主要结果（因子载荷）

变量	MPD	DTC	LQCI	PDCC
施工计划缺陷	0.821			
图纸变更频繁		0.792		
工人经验不足			0.844	
沟通延迟				0.857

为衡量每个因素的平均影响力，对 EFA 因子项进行归一化处理，结果如下图 2 所示：

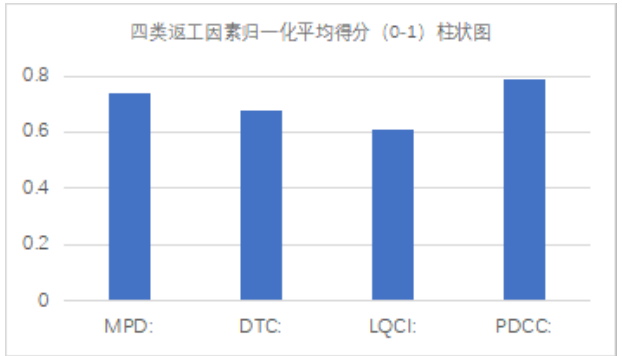


图 2 四类返工因素归一化平均得分（0-1）柱状图

结果显示，“项目动态与沟通挑战（PDCC）”是最显著的返工诱因。

采用 AMOS 26.0 构建结构方程模型，为了简便计算，本文记， R ：返工程度（latent variable）； M_1 ：管理与规划缺陷（MPD）； M_2 ：设计与时间约束（DTC）； M_3 ：劳动力质量与合规问题（LQCI）； M_4 ：项目动态与沟通挑战（PDCC）； KPI ：项目绩效（成本、进度、质量、安全），模型公式如下：

$$R = \lambda_1 M_1 + \lambda_2 M_2 + \lambda_3 M_3 + \lambda_4 M_4 + \zeta_1$$

$$KPI = \beta R + \zeta_2$$

其中 $\lambda_1=0.63$ ， $\lambda_2=0.57$ ， $\lambda_3=0.49$ ， $\lambda_4=0.71$ ， $\beta=-0.68$ ， ζ_1 和 ζ_2 表示误差项。将数据带入模型，得到模型拟合指标如下表 3 所示：

表 3 SEM 模型拟合优度指标

指标	数值	推荐值
CFI	0.942	>0.90
TLI	0.931	>0.90
RMSEA	0.057	<0.08
χ^2/df	2.68	<3

SEM 路径结果显示，各因素对返工的影响路径系数如表 4 所示：

表 4 路径系数与显著性水平

路径	标准化系数	显著性
MPD → Rework	0.63	0.006
DTC → Rework	0.57	0.00008
LQCI → Rework	0.49	0.001
PDCC → Rework	0.71	10E-12
Rework → KPI	-0.68	00E-6

由以上结果可知

沟通管理与反馈机制是返工控制关键点：PDCC 因子表现最强，建议项目引入协同平台（如 BIM+Cloud），提高设计、施工、业主之间的实时沟通效率。

管理与规划需数字化转型：MPD 因素虽次之，但仍显著，建议采用基于 AI 的工期预测工具或基于历史数据的施工计划优化系统。

劳动力培训与制度建设需强化：LQCI 项得分较低但仍显著，表明人力因素仍是不可忽视的风险点，建议加强岗位资质审核与职业培训。

三、结论与未来工作

（一）主要结论

本研究基于发展中国家建筑行业的实证数据，系统识别并量

化分析了返工的关键影响因素及其对项目绩效的影响，得出以下主要结论：1.返工是影响建筑工程绩效的核心因素，在成本超支、工期拖延和质量问题中均起关键作用；2.项目动态与沟通挑战（PDCC）为最显著影响因素，标准化路径系数为 0.71，显示出施工环节中信息传递、设计变更响应与组织协调的重要性；3.管理与规划缺陷（MPD）与设计时间约束（DTC）亦具有显著影响，分别表现出对返工概率的间接推动作用，凸显施工准备阶段的专业性与规划合理性的重要性^[11]；4.结构方程建模（SEM）结果显示返工对项目绩效（KPI）的总体负向影响达到 -0.68，需引起工程管理者的高度关注。

（二）管理与政策建议

为优化项目执行效果，针对不同影响因素可采取以下改进措施：

针对施工前计划质量 (MPD)，建议通过提高施工前计划质量进行优化。具体的可行措施包括引入 AI 施工排程工具以提升计划的精准度和效率，以及实施严格的施工图审查制度来确保图纸的准确性和可施工性。

针对设计变更频率 (DTC)，核心优化建议是减少设计变更频率。为实现这一目标，可实施设计冻结机制，在关键节点后严格控制变更；同时，通过优化设计团队内部及与其他团队的沟通流程，从源头上减少变更需求。

针对劳动力质量与制度合规性 (LQCI)，优化方向在于提升劳动力质量与制度合规。有效措施包括建立工人再培训机制，持续提升其技能水平和安全意识；并建立明确的激励与问责制度，鼓励合规操作并明确责任。

针对项目沟通与信息流 (PDCC)，关键优化建议是优化沟通与信息流。这可以通过采用 BIM+ 协同平台来实现信息的实时共享与协同工作；同时，推行数字化的设计变更管理流程，确保变更信息准确、高效地传达给所有相关方。

参考文献

[1] 贺小杰, 赵加星, 王阳阳. 建筑工程中返工成因分析与控制措施研究 [J]. 建筑经济, 2017, 38(2): 112 - 115.

[2] 赵加星, 王伟, 李茜. 基于项目生命周期的建筑返工影响因素分析 [J]. 建筑科学, 2021, 37(6): 94 - 99.

[3] 王一楠, 陈良全. 基于问卷调查的城市基础设施返工成因分析 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(1): 92 - 97.

[4] 王志敏, 段毅. 劳动力素质对建筑返工率的影响实证分析 [J]. 施工技术, 2020, 49(10): 125 - 129.

[5] 李先逵, 王锐. 基于系统动力学的建筑返工传播机制模拟研究 [J]. 工程管理学报, 2022, 36(4): 81 - 88.

[6] 刘乾坤, 张琳, 王珂. 基于 BIM 的设计阶段返工控制方法研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2020, 12(3): 101 - 107.

[7] 陈玉梅, 张兆国. 基于多方协作的施工阶段返工控制机制研究 [J]. 建筑技术开发, 2019, 46(12): 43 - 47.

[8] Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Irani, Z. A rework reduction model for construction projects[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2004, 51(4): 426 - 440.

[9] Hwang, B. G., & Yang, K. H. Causes and costs of rework in building projects in Singapore[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2009, 135(7): 528 - 537.

[10] Simpeh, E. K., Ndiokubwayo, R., & Amoah, P. An analysis of the causes and impact of rework in construction projects in South Africa[C]//Proc. of the CIDB Postgraduate Conference, 2011.

[11] Love, P. E. D., Simpson, I., Hill, H., & Standing, C. Understanding the costs of rework in construction: A case study approach[J]. Construction Management and Economics, 2016, 34(3): 191 - 210.