

# Progress Risk Identification of Suspended High-Rise Buildings Renewal Based on Dynamic Bayesian Network

Chen Zhaorong<sup>1</sup>, Deng Xiaoji<sup>2</sup>, Cai Zhili<sup>1</sup>, Zeng Changluo<sup>1</sup>, Zhang Guoshen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd., Changsha, China

<sup>2</sup>Public Works Bureau of Shenzhen Nanshan, Shenzhen, China

## Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

## To cite this article:

Chen Zhaorong, Deng Xiaoji, Cai Zhili, Zeng Changluo, Zhang Guoshen. Progress Risk Identification of Suspended High-Rise Buildings Renewal Based on Dynamic Bayesian Network. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 6, 2022, pp. 522-527. doi: 10.11648/j.sd.20221006.32

Received: November 21, 2022; Accepted: December 22, 2022; Published: December 28, 2022

**Abstract:** The unfinished building project has seriously affected the overall planning image of the city and occupied the city's very valuable land and social resources, its reasonable renewal of waste into treasure is particularly important. In order to quantitatively study the main risk sources that affect the construction schedule of the unfinished building, this paper adopts the dynamic Bayesian network method, a Quantitative analysis of progress risk identification was conducted for high-level projects that had been under construction for up to eight years. The influencing factors of the schedule risk of the project are discussed. This paper introduces the principle of dynamic Bayesian networks, discusses the main analysis basis of Bayesian networks, and summarizes the main analysis steps of Bayesian networks. Through backward reasoning, the paper determined the biggest possible factors and the most likely cause chain for the delay of the reconstruction schedule of multi-high-rise old buildings. Incomplete project handover data, the degree of interest consultation with residents before the reconstruction, unreasonable construction organization, and the change of regulations and policies would be the main risks affecting the progress of the renewal project.

**Keywords:** Uncompleted Building Project, Renovation Project, Risk Identification, Bayesian Network

## 基于动态贝叶斯网络的停建高层建筑续建的全过程进度风险识别

陈兆荣<sup>1</sup>, 邓小基<sup>2</sup>, 蔡志立<sup>1</sup>, 曾常洛<sup>1</sup>, 张国申<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

<sup>2</sup>深圳市南山区建筑工务署, 深圳, 中国

## 邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

**摘要:** 烂尾楼项目严重影响了城市整体规划形象和占用了城市极为宝贵的土地和社会资源, 其合理续建变废为宝显得尤为重要。为了定量研究烂尾楼续建改造工程的进度影响因素的主要风险源, 本文通过动态贝叶斯网络方法, 对停建时长达8年续建高层项目进行了进度风险识别的模拟定量分析。对停建续建项目的进度风险影响因素进行了讨论; 介绍了动态贝叶斯网络原理, 探讨了贝叶斯网络的主要分析依据, 总结了贝叶斯网络的主要分析步骤; 通过逆向推理确定了多高层旧有建筑改造进度延误的最大可能因素和最可能致因链, 项目交接的资料不完善、改造前同居民的利益协商程度、施工组织不合理、规范政策变更将是主要影响续建项目的进度风险。

**关键词:** 烂尾楼项目, 改造工程, 风险识别, 贝叶斯网络

## 1. 引言

城市烂尾楼是由于开发商不知去向、或是资金短缺、或是债务纠纷及法律诉讼等不明原因，导致无法继续进行的工业建筑或是民用建筑工程[1, 2]。烂尾楼项目是房地产经济发展过快与可持续发展不平衡而产生的后遗症，不仅严重影响了城市整体规划的形象，也占用了城市极为宝贵的土地和社会资源。我国在改革开放后经历了数十年超高速的城镇化建设[3, 4]，如今各大城市普遍存在大批旧有民用建筑，其大多经历过几个版本的规范更替、若干个新材料的升级、施工工艺的发展成熟，使得其与当前社会绿色建筑要求和可持续发展内在要求的方向不尽相同，盲目拆除烂尾楼工程不仅会造成环境污染和资源浪费，也会严重影响人们的正常生活和社会发展。

由于大多项目在上世纪80~90年代建设，早期设计施工的缺陷和建筑物自身的耐久性损伤，这批建筑已经难以满足现行规范的使用要求。对旧有建筑盲目拆除重建不符合绿色发展的理念，对其进行改造再利用是未来的发展趋势。一般情况下，在对烂尾工程重新续建之前，需要对结构进行构件的抗震承载力鉴定[5]。如果鉴定结果表明结构存在抗震承载力不足或者不能满足现有规范的情况时，需要采用一些加固措施使原结构能够满足继续使用的条件[6, 7]，常常包含：增加抗侧刚度，如抗侧力构件；增加抗震设防防线，如增设减振隔震耗能装置；增加水平构件的竖向承载力，如加强梁板的强度和刚度等来提高构件抗震承载力进行加固等。

目前，针对烂尾楼建筑进行续建改造风险管理的研究主要集中在旧工业建筑，且大多是结构鉴定和施工安全评估方面的研究[8, 9]。与旧工业建筑的要求不同，大部分旧民用建筑仍然承担着使用功能，改造进度延误会极大影响居民的正常生活和社会生产要求，故与安全同样重要地位的进度风险是旧民用建筑改造工作中不可忽视的因素。就目前主要研究方法而言，针对住宅改造进度风险影响因素的研究均为比较粗糙的定性研究分析，在一定程度上是缺乏针对影响因素间相对大小和相互作用关系的定量研究。

烂尾楼改造作为城市更新的组成部分，在城市设计理念下的烂尾楼改造有本质内涵，即在城市规划设计中以城市空间环境的塑造为基础目标，将建筑本身回归到城市规划，在烂尾楼改造设计中进行指导，通过烂尾楼改造实现区域产业结构的丰富和饱满程度，城市基础设施的完善，城市资源的优化配置，进而调动城市资源来激励烂尾楼改造。随着我国城市建设技术经验和管理经验的积累，加上城镇化建设水平的提高，政府逐步加强对烂尾楼的整治力度；同时还由于城市土地供应市场规范化，土地审批手续日趋完善，部分烂尾楼工程品质比较高，只需投入少量改造资金，花费较短的建设周期就可完成项目建设。然而城市中仍有部分严重烂尾的项目至今得不到完美解决，烂尾楼续建牵涉的问题错综复杂。通过研究调查，限制烂尾楼改造的整体进度因素主要有以下几方面[10, 11]：进场交接程度、业主单位、勘察设

计、施工单位。烂尾楼建筑中包含了一定数量的高层和大跨度等复杂建筑，相对于中低层建筑，其改造工作周期更长，施工过程费用更高，难度也更大，不确定性因素众多且因素作用关系复杂。

本文结合动态贝叶斯网络方法对停建时长达8年的续建高层项目进行了进度风险识别的模拟定量分析，通过逆向推理确定了多高层旧有建筑改造进度延误的最大可能因素和最大可能致因链，旨在进度延误的最大可能因素中，找出主要影响续建项目的进度风险。针对高层住宅改造进度风险的影响因素进行定量研究，具有现实的社会意义。

## 2. 进度风险影响因素分析

### 2.1. 进场交接

项目停建时一般情况下还没经过实体验收[12]，对于未验收项目而言其工程实体质量显得尤为重要，特别是地下工程。其可能经历时间长，在期间桩基施工单位和桩检单位可能调整，或者当时经历项目的主要人员有岗位调整，加上资料没有及时锁定时将直接影响了后期接收项目的单位。另外，在长时间的停工期间，还可能经历相应的标准规范和法律法规的调整，前后建设单位或者施工单位的调整会引起相关政府单位和审图机构的再次验收。大多现状表明，在前期项目投标时，基本是锁定在业主提供的资料进行招投标，对于项目实际的现状则会放在其他地位。

### 2.2. 住户业主因素

民用建筑改造进度风险的主要影响因素之一是民众纠纷，民众主要含内部在使用建筑的居民和外部环境可能引起被扰的居民。民众对改造进度的影响具体体现在两个方面：一是长期的改造续建作业不可避免地对居住环境产生生活方面的影响，易引发居民抵触心理；二是在人流量大的社区内进行改造作业易引发安全事故和噪声污染，事故导致的纠纷和索赔将极大影响工程进度。

### 2.3. 设计因素

勘察设计是住宅改造的开端，包含改造前的现场调研工作和改造方案设计落地要求。对于建设年代较早的小区，其施工环境中的道路、房屋状况较为复杂，存在较为广泛的改扩建现象。主要考虑拆改重建在建筑垃圾处理、环境污染等角度对比之下方案较次。若勘察设计单位未能对住宅区域进行细致的调研和全方位的比较，未充分结合现场实际情况进行方案设计，容易导致在施工阶段才发现现场情况与设计方案相冲突或者相悖，造成进度的重大延误。另外，从改革开放至今，各类设计规范经历了不同层次不同深度的完善和修订。高层住宅的抗震设防、消防疏散要求相比一般建筑的要求更高，使得改造方案设计难度加大。过于复杂的改造方案施工实践性和落地性也较差，易导致施工进度的滞后。

## 2.4. 施工因素

施工阶段是改造设计方案具体实施的重要阶段，也是进度风险管理的关键影响阶段。施工阶段进度风险的影响因素包括施工组织和技术方案的合理性、施工人员技术不足和物料供给不及时等因素。高层住宅的改造工程相比其他工程的显著特点之一是运输环境受限。对于处于开发程度较高的市区住宅，周围存在大量的居民区和商铺建筑，其改造施工条件十分受限，主要是大型设备和运输车辆的交通进场和施工作业方面的限制。与新建建筑的施工不同，对于高层住宅的改造施工项目，其物料供给情况不仅取决于施工单位的资源调配能力外，还取决于周围的交通状况和建筑内部的作业空间在时间和空间方面的协同运作程度。

## 2.5. 建设单位

建设单位在整个改造项目充当主人翁的角色，统筹着整个项目的成本、进度、质量等要求。在前期的项目定位、面对的客户群体、时间和空间要求、建筑产品的去化程度和资金的回笼等问题均需要做全盘考虑。改造工程在作业全过程中将涉及大量交叉作业工序和不同专业的连续作业。由于现场管理不合理不衔接，将导致进度滞后的可能原因比较多。如前期准备不充分、工序交叉不合理（时间和空间未衔接充分）、审批流程繁琐（与新建项目流程不同，比较特殊）、施工监管不足等。建立解释结构模型，构建出停建高层建筑续建项目的进度延误风险关系图，如图1所示。



图1 进度延误风险关系图。

## 3. 研究方法

### 3.1. 动态贝叶斯网络原理

贝叶斯网络（Bayesian network, BN）方法可将专家已有经验知识、历史数据和其他不完整且不确定性的信息数据进行综合分析和表现出来，通常情况下也被称为不确定性知识表示预测或者推理演变的较为理想方法[13, 14]。贝叶斯网络是由有向非循环图模型和条件概率表两部分组成，如图2所示。其中图模型由节点和连接节点的带方向边共同组成。节点表示因变量，节点间的带方向

边表示可能影响的因素间作用。在分析过程中，箭头起初出发的节点表示原来因变量，称为父节点（源节点）。箭头指向的节点则表示分析后的结果变量，则称为子节点，与父节点形成一一对应关系。条件概率表可用于量化因素间的相互作用的关系。离散变量的一个可能取的值称为节点的一个状态，可理解为在特定或者动态环境下的外界条件。

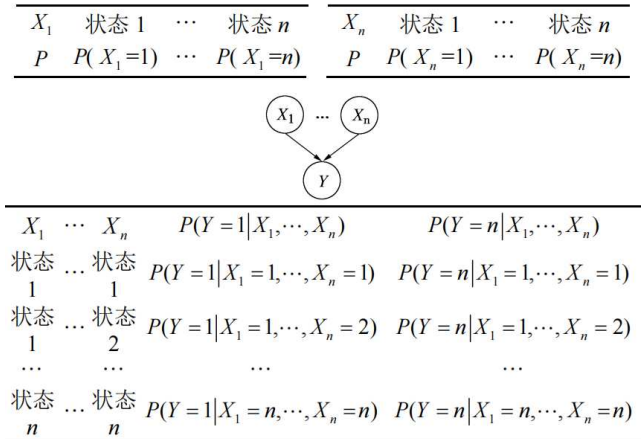


图2 贝叶斯网络过程求解示意图。

根据贝叶斯网络概念，独立假设和简化，联合概率条件，通过边缘化分离变量，从而确定某些特定的节点的边缘概率，可见式（1）所示。该公式可以用于预测项目风险源中的风险事件概率。根据贝叶斯定理，已知风险在  $Y = y$  的概率时，可以研究和诊断分析风险因素  $X$  的概率数值，可得出式（2）。贝叶斯网络分析结果可根据其他去欸的那个条件更新评估的结果，可得出式（3）。

$$P(Y) = \sum_1^n P(X_1, \dots, X_n, Y) = \sum_1^n \prod_1^n P(Y|X_i) \quad (1)$$

$$P(X_n = x_n | Y = y) = \frac{P(X_n)P(Y=y|X_n=x_n)}{P(Y=y)} \quad (2)$$

$$P(X_i|e) = \frac{P(X_i, e)}{P(e)} = \frac{\prod_i^n P(X_i|Pa(X_i), e)}{\sum_{X_i \setminus X_k} P(X_i, e)} \quad (3)$$

对于动态贝叶斯（dynamic bayesian network, DBN）是贝叶斯网络在时间轴上的进一步扩展，它由初始网络  $B_0$  和转移网络  $B$  组成。初始网络是贝叶斯网络，由带方向的无环图模型和条件概率表两部分组成，表示各节点的初始关系；转移网络是两个时间片段上的贝叶斯网络模型，由带方向的无环图模型和转移概率表两个部分组成。

### 3.2. 贝叶斯网络的主要分析依据

常见烂尾楼施工项目进度风险源识别的主要依据。

进行施工项目进度风险识别作为进度风险分析的第一步，对其识别方法的准确性和完整性要求较高。目前进度识别的方法随着项目的难易程度、熟悉程度和环境影响虽然有很多，但识别的方法始终都离不开与项目有关的信息。前期项目完整有效的资料是项目管理中的诸



多风险因素识别的基础保障和前提。对于烂尾楼项目续建工程进行施工进度风险辨识的主要依据主要包括：

- (1) 拟续建施工项目的规划概况、原规划条件、社会环境；
- (2) 拟续建施工项目所在地的水文、气象和工程地质条件；
- (3) 拟续建施工项目的勘察、设计方案；原勘察、设计方案；
- (4) 拟续建施工项目的施工计划、进度和工期要求；
- (5) 拟续建施工项目设备的使用需求和条件，是否有大型设备、特种设备；
- (6) 拟续建施工项目周边资源、原材料及公用设施条件；
- (7) 贷款人或者出资人对风险管理与保险的特殊要求；
- (8) 拟续建施工项目的人员组织管理和经验能力水平；
- (9) 其他同类相似工程项目的经验数据。

3.3. 贝叶斯网络的主要分析步骤

本文结合动态贝叶斯对高层烂尾楼进行了不同风险影响因素的定量研究分析，在贝叶斯公式的推理工具的基础上，主要过程由拓扑结构和概率参数两个部分组成。主要将一个事件中各个不同因素以不同节点形式表示，并用有向线段连接各个节点表示其因果逻辑关系形成了网络状结构模型，节点之间因果关系的强弱通过条件概率进行定量描述。本文使用贝叶斯网络方法定量分析进度风险的步骤如下：

- (1) 根据已有项目对项目投标前各项可能风险事件进行排查，形成风险清单；在项目中标时，对市场价格和政策方面的影响进行了汇总；同时对项目现场的周边条件、地下不明条件、当地政府政策等进行资料收集。

- (2) 邀请了具有民用建筑改造工程经验的教授和专家，基于已有文献提取部分影响因素，用专家调查法和头脑风暴法进行了影响因素收集，进一步确定了高层住宅改造工程进度风险的影响因素，通过因果逻辑关系确定了贝叶斯网络的拓扑结构。从而获取贝叶斯网络的概率参数，搭建了贝叶斯网络模型。
- (3) 通过贝叶斯网络的逆向推理功能，识别高层住宅改造工程进度的最大可能因素和最大可能致因链，分析各个影响因素之间的相对大小和作用关系。

4. 基于动态贝叶斯网络方法的进度风险识别

4.1. 工程概况

深圳市某烂尾楼续建工程项目对6栋停建7年以上的框架剪力墙结构进行加固改造和续建，其中第5栋楼（5#）为本文研究对象，见图3，图4为一单元续建层结构平面。该建筑物由两个结构单元组成，单元之间设有变形缝，一单元、二单元已建成结构均为地下1层、地上13层的框架剪力墙结构，塔楼区域外的地下室及裙楼为钢筋混凝土框架结构。该结构，已建面积为13891.18m<sup>2</sup>，拟续建后为30988.02m<sup>2</sup>。原结构于2012年12月开始施工，在2014年9月全面停工，当时，该建筑物一单元和二单元均已建成地下1层、地上13层；2020年11月，该楼继续开始进行加固改造施工，目前已完成塔楼续建。该结构续建后为29层（为了方便分析，上部楼梯间在下文分析中为30层），设计高度为92.95m，续建改造设计负一层和一层用作停车库、设备用房，二层用作架空绿化，三层及以上楼层用作住宅。

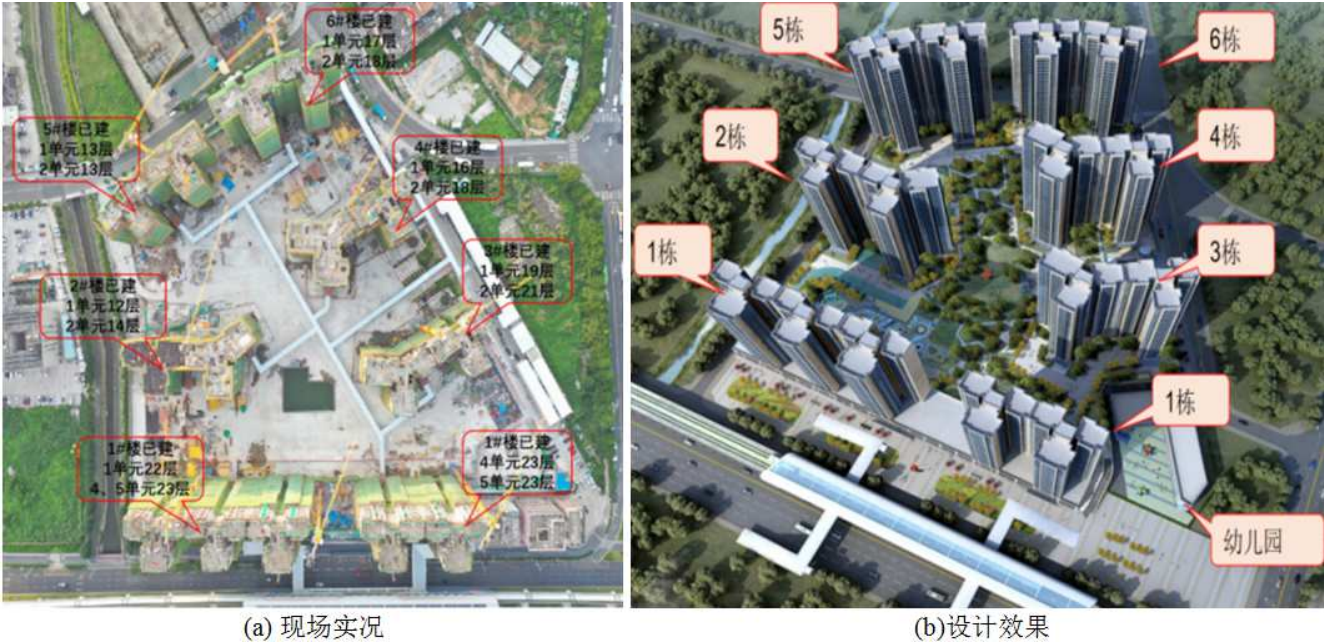


图3 设计效果及实景图。

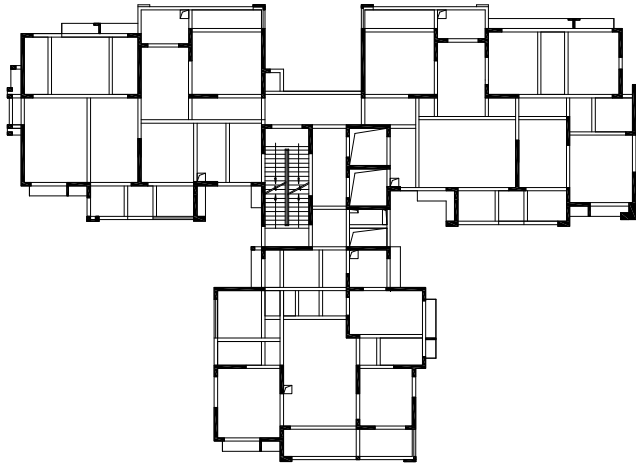


图4 一单元续建层结构平面。

#### 4.2. 贝叶斯网络拓扑结构和网络概率参数的确定

基于已有文献和上述因素，从进场交接、住户业主因素、设计因素、施工因素、建设单位五个改造参与主体出发，归纳出高层住宅改造工程进度风险的影响因素，结合实际工程与具有建筑改造经验的专家商讨确定风险因素间的逻辑关系。

由于网络中部分节点的父节点较多，这些节点的条件概率表（源节点）较为庞大，导致专家确定概率的工作量过大。本文将采用Noisy-or gate模型简化部分节点的条件概率表，主要通过模拟专家问卷的方式获取动态贝叶斯网络的必要参数。节点中的技术方案不合理、物料供给不及时、质量不合格返工等父节点，其条件概率表采用Noisy-or gate模型进行简化，其余按照普通节点进行模拟问卷调研处理。问卷中的概率描述参考文献中的五级分档概率描述方式，见表1所示。在实际概率参数计算时，取概率范围的中值作为该概率描述的典型代表值，即很大可能取95%。节点条件概率由各个专家所选概率范围中值进行加权求和得出。

表1 IPCC五级分档概率描述[15]。

概率描述	概率范围 (%)
很大可能	90~99
较大可能	66~90
中等可能	33~66
较小可能	10~33
很小可能	0~10

#### 4.3. 主要分析结果

采用GeNie3.0软件进行贝叶斯网络搭建进行数据模拟，将问卷所得概率数值输入贝叶斯网络中，可得参数学习结果。结果表明，高层住宅旧改进度延误发生的概率为58%，处于较高的风险水平；其他节点中概率超过50%的有前置利益协商不充分（55%）、施工效率不足（50%）、规范变更（53%）和进场交接（62%），这些因素为发生概率较高的因素。其中进场交接主要体现在前置资料没有锁定、项目现场没有进行有效的实体验收、停工时长过长前后单位人员调整过多等原因。

通过网络的逆向诊断分析推理进度延误发生时的最大可能因素。将进度延误的概率设置为100%，在进度延误的影响因素中，项目交接的资料不完善低于计划的概率为68%，民众纠纷和施工效率低于计划的概率分别高达61%和63%，是促使改造进度延误的主要原因。质量不合格返工和物料供给不及时是工程中常见的进度延误因素，其概率数值较高，分别为45%和40%。由于设计变更造成进度延误的概率较低，与实际较为相符。

将进度延误的两个主要因素民众纠纷和施工效率低于计划向下推理，得到进度延误的最大可能致因链。得出最大可能致因链主要有四种情况：一是如果考虑全过程项目管理时，项目交接的资料不完善（或者不真实）的影响不容忽视；二是在改造前同居民的利益协商不充分而导致发生利益纠纷，进而影响工程进度。这部分主要是前期由而业主、政府对接，有的项目时长甚至达数年，在项目正常运转之后此部分原因影响较小；三是项目管理人员的施工组织不合理（方案设计能力、现场技术管理能力、现场协调能力），导致施工效率低下和扰民纠纷；四是规范变更、设计人员经验不足和项目管理人员水平不足导致设计方案可施工性差，影响施工效率。

## 5. 结论

本文结合动态贝叶斯网络方法对停建时长达8年的续建高层项目进行了进度风险识别的模拟定量分析，通过逆向推理确定了多高层旧有建筑改造进度延误的最大可能因素和最大可能致因链，主要结果如下：

对停建续建项目的进度风险影响因素进行了讨论，如进场交接、住户业主因素、设计因素、施工因素、建设单位的影响因素。

介绍了动态贝叶斯网络原理，探讨了贝叶斯网络的主要分析依据，总结了贝叶斯网络的主要分析步骤。

结合某停建时长达8年续建高层项目，进度风险识别的模拟定量分析。在进度延误的最大可能因素中，民众纠纷和施工效率不足是导致旧改进度延误的最大可能因素，从这两个事件向下推理出最大可能致因链。项目交接的资料不完善、改造前同居民的利益协商程度、施工组织不合理、规范政策变更将是主要影响续建项目的进度风险。

鉴于当前研究进展，课题组接下来将对可能因素和最大可能致因链进行不同业态和定位要求进行细化研究。

## 参考文献

- [1] 俞键, 陈彦昇, 吕龙, 卜炜玮, 林海威, 马程伟, 林煌超. 城市烂尾楼建筑废弃物的二次有效利用研究 [J]. 环境科学与管理, 2017, 42 (10): 20-23+28.
- [2] 林达宇. “烂尾楼”加固改造综合研究 [D]. 华南理工大学, 2012.

- [3] 李军辉. 城镇化建设、居民收入与消费结构统计检验 [J]. 统计与决策, 2020, 36 (12): 121-124.
- [4] 姜安印, 杨志良. 新型城镇化建设与城市经济高质量增长——基于双重差分法的实证分析 [J]. 经济问题探索, 2020, (03): 84-99.
- [5] 程绍革. 中国抗震鉴定加固五十年回顾与展望 [J]. 建筑科学, 2018, 34 (09): 26-32.
- [6] 蔡志立, 陈兆荣, 白忠奎, 康九斯, 曾常洛. 基于绿色施工的停建续建工程桩基检测及加固技术 [A]. 《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司. 2021年全国工程建设行业施工技术交流会论文集 (上册) [C]. 《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司: 施工技术编辑部, 2021: 565-569.
- [7] 陈兆荣, 罗盛宗, 潘东辉. 底层大空间-单跨框架学校建筑的抗震加固分析与设计 [J]. 建筑结构, 2016, 46 (09): 90-94.
- [8] 李文平. 施工进度延误纠偏的管理路径研究 [D]. 天津理工大学, 2022.
- [9] 陈远, 金蕊, 查亚闯. 基于贝叶斯网络的大型公共项目进度延误风险研究 [J]. 郑州大学学报 (工学版), 2022, 43 (02): 91-97.
- [10] Park Jung Eun. Schedule delays of major projects: what should we do about it? [J]. Transport Reviews, 2021, 41 (6).
- [11] Cho Kyeongwoon, Ahn Seungjun, Park Kyungmo, Kim Tae Wan. Schedule Delay Leading Indicators in Precast Concrete Construction Projects: Qualitative Comparative Analysis of Korean Cases [J]. Journal of Management in Engineering, 2021, 37 (4).
- [12] 李旭, 孙海波. 关于建设项目竣工环保自主验收存在的问题及对策探讨 [A]. 中国环境科学学会 (Chinese Society for Environmental Sciences). 中国环境科学学会2022年科学技术年会论文集 (三) [C]. 中国环境科学学会 (Chinese Society for Environmental Sciences): 中国环境科学学会, 2022: 604-607.
- [13] 张继信, 黄东阳, 尤秋菊, 康健, 刘梦婷, 郭遐晖. 基于动态贝叶斯网络的城市综合管廊燃气泄漏动态风险评价 [J]. 安全与环境学报: 1-11.
- [14] 朱爱红, 董国庆. 考虑认知不确定性的列控中心可靠性评估 [J]. 安全与环境学报: 1-10.
- [15] 高欣, 陈琳彦, 皮宗婕, 等. 装配式混凝土结构施工风险管控机制 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2019, 47 (11): 1676-1682.

## 作者简介

**陈兆荣**, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事高层建筑复杂结构分析及工程实践工作。