

## 摘要

随着工业化的进展和国家政策的支持，住宅装配式建筑目前发展十分迅速。和中国传统的建筑比较，住宅装配式建筑在施工流程及结构工艺等方面有很大差异，在施工阶段，具有构件大、拼接多等施工特点，风险上也可能会存在许多不同于传统建筑的地方，而风险管理是项目施工管理的关键部分，包括风险识别、风险评价和风险防范等。为了尽可能降低住宅装配式建筑施工阶段风险的发生，本研究通过风险因素识别、数据整理与分析、风险评价、风险应对等步骤，建立科学的风险因素评价体系，来应对住宅装配式建筑施工阶段的风险。

本文首先根据装配式建筑的相关概念，阐述了住宅装配式建筑的优势与施工特点，结合相关项目风险管理理论，分析其施工阶段风险的来源，并根据风险因素识别原则，选择适用于本研究的因素识别和分析的方法。其次，运用文献分析法和案例分析法初步识别了住宅装配式建筑施工阶段的风险因素，并结合问卷分析法对识别的风险因素进行筛选和分类整理，最终确定风险指标 26 项，并划分为五个维度，即人的风险、管理风险、材料及设备风险、技术风险、环境及经济风险，建立了风险指标体系。接着，基于识别的住宅装配式建筑施工阶段的风险因素清单，结合物元分析法与三角模糊数构建风险评价模型，采用层次分析法计算分析得到 26 项风险因素的权重值，得出在住宅装配式建筑施工阶段各类风险因素的重要程度。最后，以 GXBL 一期住宅装配式项目为例，采用物元分析法计算出该案例项目施工阶段的 26 项风险指标的风险关联度，并结合上文得到的风险因素权重值计算分析得到项目整体风险等级，根据评价结果，得出该项目在施工阶段的整体风险等级较低，符合项目的实际情况，并针对不同的风险因素提出相应的风险管控措施，验证了风险评价模型的科学性。

本研究不仅对 GXBL 一期住宅装配式建筑的施工阶段风险管控有较大的实践意义，并且丰富了住宅装配式建筑施工风险管理的相关理论，为住宅装配式建筑项目的施工阶段风险管理提供了新的思路。

**关键词：**装配式建筑；施工阶段；风险评价；物元分析法

## **ABSTRACT**

With the development of industrialization and the support of national policy, residential prefabricated buildings are developing rapidly. Different from traditional Chinese buildings, residential prefabricated buildings have characteristics of large components and spliced construction in construction process and structural technology, especially in the construction stage. Furthermore, residential prefabricated buildings are quite different from traditional buildings in terms of risk. Risk management, including risk identification, assessment and prevention, is a key part of project construction management. In order to avoid risks in the construction stage of residential prefabricated buildings as far as possible, this study establishes a scientific risk evaluation system through risk factor identification, data collation and analysis, risk assessment, risk response and other steps.

Based on relevant concepts of prefabricated buildings, this paper first introduces advantages and construction characteristics of residential prefabricated buildings. Combined with risk management theories, this paper analyzes the sources of risks and selects appropriate methods of factor identification and analysis accordingly. Secondly, this paper applies literature analysis and case analysis to initially identify the risk factors in the construction stage of residential prefabricated buildings while applying questionnaire analysis to screen and classify 26 identified risk indicators. These indicators are divided into five dimensions, including human risk, management risk, material and equipment risk, technical risk, environmental and economic risk. Accordingly, a risk index system is established. Then, based on the identified list of risk factors in the construction stage of residential prefabricated buildings, a risk assessment model is constructed by using matter-element analysis method and triangular fuzzy number. Additionally, the weight values of 26 risk factors are calculated and analyzed by analytic hierarchy process, and the importance degree of various risk factors in the construction stage of residential prefabricated buildings is obtained. Finally, taking GXBL first-phase residential prefabricated project as an example, this paper calculates the risk correlation degree of 26 risk indicators in the construction stage of this case based on matter-element analysis method, and the

overall risk level of the project is calculated and analyzed by combining the weight value of risk factors obtained above. According to the evaluation results, the overall risk level of the project in the construction stage is low, which conforms to the actual situation of the project. Additionally, this paper puts forward corresponding risk control measures to solve different risk factors. In conclusion, the risk assessment model is verified to be scientific.

This study not only has great practical significance for the risk management and control of the construction phase of GXBL prefabricated residential buildings, but also enriching relevant theories of the risk management in the construction phase of residential prefabricated buildings, and provides a new idea for the risk management of the construction phase of residential prefabricated construction projects.

**Key Words:** prefabricated building; construction phase; risk assessment; matter element analysis

## 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2.1 装配式建筑研究现状 .....	2
1.2.2 装配式建筑施工阶段研究现状 .....	4
1.2.3 装配式建筑风险管理研究现状 .....	5
1.2.4 国内外研究述评 .....	8
1.3 研究目的及意义 .....	8
1.3.1 研究目的 .....	8
1.3.2 理论意义 .....	9
1.3.3 实践意义 .....	9
1.4 研究的内容及方法 .....	10
1.4.1 研究内容 .....	10
1.4.2 研究方法 .....	10
1.4.3 技术路线 .....	12
第 2 章 相关概念及理论 .....	13
2.1 住宅装配式建筑 .....	13
2.1.1 住宅装配式建筑的概念 .....	13
2.1.2 住宅装配式建筑的优势与不足 .....	13
2.2 住宅装配式建筑的施工阶段 .....	14
2.2.1 住宅装配式建筑施工阶段的概念 .....	14
2.2.2 住宅装配式建筑的施工特点 .....	14
2.2.3 住宅装配式建筑施工风险的来源 .....	15
2.3 风险理论概述 .....	16
2.3.1 风险定义 .....	16

2.3.2 风险识别 .....	17
2.3.3 风险评价 .....	18
2.3.4 风险应对 .....	18
2.4 物元可拓理论 .....	18
2.5 本章小结 .....	19
第 3 章 住宅装配式建筑项目施工阶段的风险识别 .....	20
3.1 风险因素指标体系构建的原则及步骤 .....	20
3.1.1 风险因素指标的选取原则 .....	20
3.1.2 风险指标体系建立步骤 .....	21
3.2 住宅装配式建筑风险因素识别 .....	22
3.2.1 基于文献分析法的风险因素识别 .....	22
3.2.2 基于案例分析法的风险因素补充 .....	24
3.3 住宅装配式建筑施工阶段风险影响因素的确定 .....	27
3.3.1 基于问卷调查法的风险影响因素筛选 .....	27
3.3.2 住宅装配式建筑施工阶段风险指标清单 .....	31
3.4 住宅装配式建筑施工阶段各类风险因素分析 .....	32
3.4.1 人的风险因素 .....	32
3.4.2 管理风险因素 .....	33
3.4.3 材料及设备风险因素 .....	34
3.4.4 技术风险因素 .....	35
3.4.5 环境及经济风险因素 .....	36
3.5 本章小结 .....	37
第 4 章 住宅装配式建筑施工阶段风险评价模型 .....	38
4.1 住宅装配式建筑施工阶段风险评价方法的确定 .....	38
4.2 基于物元分析法的评价模型的建立 .....	40
4.2.1 风险评价指标量化处理 .....	40
4.2.2 物元模型评价步骤 .....	41
4.3 基于层次分析法的指标权重的确定 .....	43
4.3.1 层次分析法的基本流程 .....	43

4.3.2 建立层次结构模型 .....	45
4.3.3 构建判断矩阵及一致性检验 .....	46
4.3.4 层次总排序权重计算 .....	48
4.4 本章小结 .....	49
第 5 章 案例研究 .....	50
5.1 GXBL 一期工程概况 .....	50
5.2 物元风险评价模型 .....	52
5.2.1 风险因素影响度的确定 .....	52
5.2.2 风险评价指标定量化处理 .....	53
5.2.3 建立经典域、节域和待评物元的矩阵 .....	55
5.2.4 计算风险指标关联函数及项目风险等级 .....	57
5.3 风险应对措施 .....	58
5.3.1 人的风险应对措施 .....	58
5.3.2 管理风险应对措施 .....	59
5.3.3 材料及设备风险应对措施 .....	60
5.3.4 技术风险应对措施 .....	61
5.3.5 环境及经济风险应对措施 .....	61
第 6 章 结论展望 .....	63
6.1 研究结论 .....	63
6.2 研究展望 .....	63
致  谢 .....	65
参考文献 .....	66
附录 A .....	71
附录 B .....	74
附录 C .....	77

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景

住宅装配式建筑通常被定义为把梁、板、柱、阳台、楼梯等建筑构件在预制工厂进行加工制作好之后，再运输至项目工地进行装配而成的建筑。与传统的建筑施工方式不同，这种技术更注重实时性、可持续性，并且能够提供更多的选择。它的优势在于能够实现更低的能耗、更少的人力，并且能够满足当前对环保、可持续性的需求，同时符合建筑业产业现代化、管理智能化的发展方向，使得它更容易在实际项目中得以应用。特别适用于可以模块化设计、大规模制造结构部件的居住建筑，在发达国家得到了普遍的采纳和使用。

随着建筑产业的高速发展，近年来中国在装配式建筑建设领域获得了显著的成果。从近几年装配式建筑在建筑行业的发展情况看来，每年新开工的装配式建筑面积都稳步提升，且新开工装配式建筑面积占新建建筑面积的比重也逐年上升，2022年新开工的装配式建筑面积达8.1亿平方米，较2021年增长9.46%，占新建建筑面积的比例为26.2%（图1.1）。装配式建筑在重点推进地区可谓发展十分迅速，新开工装配式建筑占全国的比例高达52.9%，积极推进地区和鼓励推进地区也达到了48.4%。从这些数据可以看出，装配式建筑发展在我国方兴未艾。同时，我国近几年也继续颁布了一系列政策来以引导住宅装配式建筑的发展，2022年出台的《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》《关于加强保障性住房质量常见问题防治的通知》等多项政策及规定，推动发展绿色建筑规模化，加快建筑节能改造，大力发展预制装配式建筑，住宅装配式建筑在我国处于快速发展期。

尽管装配式建筑在我国起步较晚，但随着技术的进步和产业化推进，它正在迅速发展，并且受到市场需求的推动，使得国内企业积极参与到装配式建筑的投资和开发中。与传统建筑相比，装配式建筑在建造过程和方法方面有所不同，装配式建筑对其建设过程提出了更高的要求，尤其是在施工阶段，其风险不局限于施工安全、工程质量和施工成本，更上升至与环境可持续共同发展的高度上，目前对装配式建筑风险研究体系不够完整，风险研究的角度也不够全面，因此装配式建筑的风险更为突出。

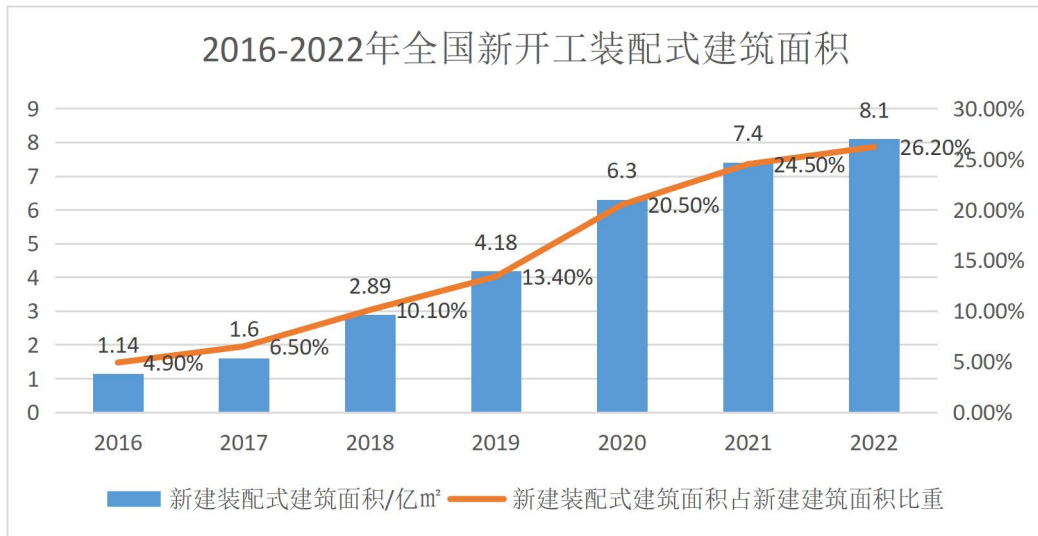


图 1.1 2016—2022 年全国新开工装配式建筑面积

数据来源：公开数据整理

施工阶段作为工程项目建设过程中最重要的一个环节，其风险受到各个参与方的高度重视，与以现场浇筑构件为传统的建筑相比，装配式建筑施工方式方法有着显著不同，装配式建筑在施工过程中通过将梁、板、墙、柱等预制构件大规模进行标准化生产，运送至施工现场进行吊装施工，再进行混凝土浇筑等方法连接，使其搭接成整体，在实际的施工过程中，却存在技术不成熟，管理经验欠缺，组织设计不合理等风险问题，阻碍了住宅装配式建筑的快速发展，风险问题受到各参建方如建设单位、设计单位、施工单位、政府部门等高度重视，因此，以住宅装配式建筑施工阶段的特征为基础，对装配式项目进行科学的风险评价十分有必要。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 装配式建筑研究现状

美国、日本及欧洲部分发达国家的装配式建筑已被认可为一项重要的可持续性发展模式，许多其他国家也纷纷投资于此，努力探索和实践，积累了丰富的经验，许多国家的政府机构和企业纷纷采取行之有效的措施，如出台专项的政策和法律法规，构建多样的标准，加强产品的开发和技术的研发，大力推进



装配式建筑的应用,进而改善居民的生活水平,实现居民的安全和舒适度<sup>[1]</sup>。通过深入研究和探索,积极倡导可持续发展的思想,将其融入到中国的装配式建设的理论框架中,以期获得更多的实践成果<sup>[2]</sup>。

Bonamente<sup>[3]</sup>等通过建立参数化模型,研究了装配式建筑在不同阶段的碳排放的不同情形。Tavares V.<sup>[4]</sup>等通过研究装配式建筑在成本经济和降低碳排放目标方面的影响,证明装配式建筑的发展不仅有助于降低建筑成本,并且对欧盟建筑脱碳目标的实现至关重要。Ariffin<sup>[5]</sup>等认为通过提高装配式建筑的供应商在市场的竞争力,可以促进装配式建筑产业的可持续发展。Sherif<sup>[6]</sup>提出采用 BIM 技术的集成来促进装配式建筑建设过程的信息交流。Couto, JP<sup>[7]</sup>等针对环境和经济方面对装配式建筑进行研究,认为装配式建筑的发展离不开从业者的认可。

对于国内建筑行业,装配式建筑的发展决定了建筑业是否能够实现产业化转型升级,近年来国家在政策上对装配式建筑具有较大支持,国内业界学者对于装配式建筑的理论研究也来到了新阶段。

许多国内学者认为装配式建筑相对传统建筑有明显的优势,郭章林<sup>[8]</sup>等认为装配式建筑有着节约劳动力、节约资源和防污染、提升项目的质量、缩短施工工期等方面的优势,宋诺<sup>[9]</sup>等通过实证对比装配式建筑与传统建筑,装配式建筑不仅具有节能、绿色等特点,还在施工效率、建设质量、施工方法等方面也具有相当大的优势。金国辉<sup>[10]</sup>等通过分析得出装配式建筑具有施工方式方法先进、施工管理科学、节能环保、劳动力需求量小等多项优势,符合建筑工业化、规模化、绿色化的发展方向。

同时国内学者认为装配式建筑发展受到许多方面的制约,孙利辉<sup>[11]</sup>等认为专业技术水平、市场环境和装配式建筑高昂的造价等因素限制了装配式建筑的发展;张淇<sup>[12]</sup>等根据装配式建筑的重要制约因素构建相关性模型,将制约装配式建筑发展的因素分为深层因素、中层因素与表层因素,其中相关法律法规的完善程度、相关监管机制、技术科研投入力度是深层因素,宣传力度、BIM 信息化管理平台构建是中层因素,工程技术水平提升、建造成本降低、装配式建筑市场培育是表层因素。

综上所述,装配式建筑在发达国家开发得比较成熟,系统相对完善,学者对装配式建筑的研究普遍地集中在质量提高、安全控制以及可持续发展方面。在国内,装配式建筑也已经成为相关领域的研究热点,研究成果数量逐年增加,研究内容相对传统建筑还有许多不足之处,部分学者已经尝试开始将理论结合

到实际中继续进行探索和研究，未来装配式建筑将会吸引更多业界学者的关注及探讨。

### 1.2.2 装配式建筑施工阶段研究现状

国外许多学者对于装配式建筑的不同工程特性，在装配式建筑建设的施工阶段各个方面都有相应的研究。

装配式建筑施工预制构件材料方面，Oktavianus<sup>[13]</sup>等研究了装配式建筑的预制木墙结构的力学性能，Luo<sup>[14]</sup>等指出采用超高性能混凝土预制构件能够产生可观的经济效益，Zhong R Y<sup>[15]</sup>等提出通过 BIM 技术可以实现装配式建筑施工过程中预制构件的可追溯性和实时可见性。在技术应用方面，He<sup>[16]</sup>等提出装配式建筑的设计施工可以利用 BIM 技术进行信息化管理，以求全面有效地降低风险；Zhao<sup>[17]</sup>等通过 REVIT 软件绘制三维仿真模型，对装配式建筑结构进行三维模拟，来解决装配式建筑施工阶段结构精度低、分析性差的问题；Naranje<sup>[18]</sup>等提出利用 RFID(Radio Frequency Identification) 技术对装配式建筑预制构件进行跟踪、识别、现场构件连接等技术研发，不仅有利于节省结构设计时间从而降低成本，还能有效利用管理信息系统降低工程施工阶段的风险概率。Sun<sup>[19]</sup>等提出了“模块化单元”的概念，从设计阶段管理，减小装配式建筑在后期施工管理方面的风险损失。

对于装配式建筑施工阶段风险的研究，Yabuki<sup>[20]</sup>等指出现场作业人员技术经验不足是装配式建筑达不到预期要求的重要原因之一；Lizi<sup>[17]</sup>等运用实际案例对工业建筑系统施工阶段的潜在风险进行分析；Wahid<sup>[21]</sup>等指出尽管装配式建筑具有许多显著优势，但许多施工单位仍然对传统的现浇施工方法依赖严重。需要深化设计理念，培养更多的技术工人，解决构件运输困难问题以及推进发展模块之间新型互锁连接。

国内学者对于装配式建筑的施工技术有丰富的研究。杨彬<sup>[22]</sup>等通过量化装配式建筑施工场地布置的影响因素，构建多目标函数，采用模糊筛选法从多个方案中确定装配式建筑施工场地布置的最佳方案。苏永波<sup>[23]</sup>等通过分析实际装配式住宅项目案例施工过程中的关键技术，为类似住宅装配式建筑施工提供借鉴。刘洋<sup>[24]</sup>等通过分析指出商业装配式建筑的框架式结构与预制技术的融合是施工技术的重点。王腊银<sup>[25]</sup>等指出装配式建筑的结构稳固技术将会是未来的研

究关键，其中建筑围护结构中绿色节能技术是未来的重点方向。

对于装配式建筑施工阶段的安全问题一直都是国内学者研究的重点。杨杰<sup>[26]</sup>等指出应当更加科学地规划机动车的行驶路线、作业区域等参数，从而改善施工场地运输堆放，交叉作业不良导致的安全问题；鲍宜周<sup>[27]</sup>等建立了装配式建筑施工安全控制的评价体系，通过计算绩效的综合效度，证明该体系对降低事故损失有一定作用，能够有效减少事故发生；马辉<sup>[28]</sup>等运用支持向量机（SVM）分类算法构建装配式建筑施工安全预警模型，并通过研究证明该预警模型可识别实际装配式项目空间单元的安全风险；丁晓欣<sup>[29]</sup>等研究装配式建筑的吊装过程，分析计算并精确定构件吊装的重心位置，优化选择构件的吊点，从而降低装配式建筑施工阶段吊装过程中的风险。

不少国内学者对装配式建筑施工阶段质量、进度、成本也有相应的研究。刘光忱<sup>[30]</sup>等通过 ISM 模型和 MICMAC 方法建立风险因素的层次结构图，分析装配式建筑施工质量的主要影响因素，并从多个参与方的角度提出改进施工质量的建议；李锦华<sup>[31]</sup>等通过 AHP 法对影响装配式建筑施工进度的各个因素的相对影响大小进行比较测算，得出管理风险因素是影响施工进度的最主要原因。李颢<sup>[32]</sup>等以装配式建筑建设成本特点为基础，结合实际分析装配式建筑成本控制的难点，针对性地提出装配式建筑施工工程中控制成本的对策建议，以期降低施工阶段的建设成本。

综上，过去的文献对于装配式建筑施工阶段的研究专注于材料性能、施工技术、成本控制等某一方面，与施工技术及施工安全相关的研究较多，而对整个施工阶段的综合风险研究得较少。

### 1.2.3 装配式建筑风险管理研究现状

通常在风险管理的过程中，风险识别是第一步。国内外学者对装配式建筑风险因素识别的角度和方法各不相同。

一些国内外学者从开发商的角度识别装配式建筑的风险因素，Li<sup>[33]</sup>等采用系统动力学方法从业主的角度出发，识别项目的投资风险并对风险因素进行定量分析，降低业主的投资风险。也有学者结合文献与问卷调查进行风险识别，Ayudhya<sup>[34]</sup>等通过对从业者进行访谈，加以问卷调查的方式，搜集了泰国小型住宅项目中的风险因素。Wei<sup>[35]</sup>等通过问卷调查和面对面访谈的方法，全面分析风

险因素的重要程度。Anonymous<sup>[36]</sup>等以投资回报率、材料利用效率、工艺效率等方面进行探讨，从设计到施工进行全方位的风险识别。李强年<sup>[37]</sup>等经过统计分析装配式建筑构件的运输情况，从人员、材料、机械、管理、环境等方面，结合问卷调查法与访谈法识别出装配式建筑构件运输的主要风险影响因素。吴伟东<sup>[38]</sup>等则是结合文献法和访谈法识别实际装配式建筑项目施工阶段的质量风险影响因素，并根据项目具体情况，建立了有效的风险评价指标体系。

许多学者从装配式建筑建设的各个阶段进行风险因素的识别。何明书<sup>[39]</sup>等基于装配式建筑的供应链，运用问卷调查法识别风险影响因素，分析评价得出关键风险因素并提出相应的风险防范措施。瞿富强<sup>[40]</sup>等对预制部品部件的质量进行探讨，从管理、技术、物料、环境、经济、市场 6 个方面进行分析，识别风险因素。常春光<sup>[41]</sup>等运用 WBS-RBS 法根据装配式建筑的施工流程，从多个角度全面识别施工阶段的风险因素。代霞<sup>[42]</sup>等从装配式建筑施工阶段安全的角度，运用 WBS-RBS-G1 分析法识别风险因素，同时结合层次分析法和熵权法定性定量的分析技术与管理的风险因素，计算得到各项因素的权重。张琳琳<sup>[43]</sup>等从全寿命周期的角度出发，对装配式建筑决策、设计、生产运输、施工装配和销售运营 5 个阶段运用文献分析法确立关键风险因素，提出了相应的风险防范措施。

装配式建筑项目风险评价是以风险识别和估计为基础，建立风险指标体系与风险评价模型，通过定性与定量分析相结合计算并确定装配式建筑项目的风险等级，从而有针对性地对项目可能存在的风险提供相应对策。

Huakang<sup>[44]</sup>等应用模糊层次分析法结合模糊解排序法对装配式住宅进行研究，将指标的层次结构组合成一个整体指标，对装配式住宅的整体性进行风险评价。Mehdi<sup>[45]</sup>等结合回归模型和模糊理论，对施工阶段的风险进行系统的分析评价，适用于不同的工程项目，为装配式建筑施工质量风险评价提供了借鉴。Alberto<sup>[46]</sup>等成功将一套风险动态管理系统应用于多个项目。这套系统动态地运用了众多标准对风险进行识别、评估，随时发现、评估和应对新的风险项，将最先进的知识合成为一个实践过程，可供项目全过程阶段的工程管理人员使用。

Koulinas<sup>[47]</sup>等开发了一个结合定性与定量风险的创新框架，在不确定性下对复杂的装配式建设项目有效地预测时间偏差，减轻风险，通过结合 TOPSIS 法与蒙特卡罗模拟法确定风险，然后运用风险矩阵来评估各项风险对各个活动产生影响的概率和大小，最后使用蒙特卡罗模拟方法对项目按时完成的概率进行

评估。

国内学者通常识别的风险因素后，通过建立风险评价模型计算其权重后进行重要性排序，李皓然<sup>[48]</sup>等通过结构方程模型计算各类风险指标的权重，依据权重大小对风险指标进行排序。柏露<sup>[49]</sup>等从装配式建筑可持续性的角度出发，从管理、节水、节电、节能等多个角度来构建风险评价模型。陈剑<sup>[50]</sup>等结合模糊理论和 TOPSIS 法，建立风险评价模型，对不同预制率的装配式项目进行施工风险影响分析，并根据计算结果对各项风险因素的权重进行排序。

也有学者通过风险评价确定装配式项目施工阶段的整体风险等级。李辉山<sup>[51]</sup>等首先结合层次分析法和熵权法计算风险影响因素的权重与风险度，然后分析确定项目整体的风险等级，最后对实际的装配式住宅项目进行风险评价。郑亚迪<sup>[52]</sup>等基于装配式建筑的全寿命周期，分析得到装配式建筑总体风险的主要影响因素，建立综合效益评价机制，用于评价装配式建筑建设过程的优劣。王志强<sup>[53]</sup>等分析了装配式混凝土建筑的施工阶段的三个过程，构建了基于云模型的施工质量评价模型，对各个过程可能发生的风险因素进行评价分析，确定装配式混凝土建筑施工过程的风险等级，具有一定的准确性和客观性。

在风险评价的基础上，学者通常是根据项目风险因素的评价结果来提出相应的应对策略，如刘喆<sup>[54]</sup>等根据风险评价结果提出应用 BIM 技术、推进审查机制、建立协同平台等方法来应对设计阶段风险的风险。王蕊<sup>[55]</sup>等提出主动应对的风险防范对策，通过风险应急方案针对风险发生后的情况有具体的应对措施，最大程度上降低风险发生带来的损失。何明书<sup>[39]</sup>等分别对装配式建筑设计方面，施工管理方面，装配施工方面提出相应风险应对措施。也有学者根据装配式建筑全过程风险评价的实际分析的结果提出针对性的策略，如佟妍<sup>[56]</sup>等认为装配式建筑具有设计、装配、施工一体化的特点，需要提高项目设计师、负责人等直接相关人员的文化素质水平，提高管理水平来确保每个阶段顺利进行。章蓓蓓<sup>[57]</sup>等认为应该通过加强决策设计协同，推动信息共享来减少各参建方存在信息障碍，避免信息孤岛产生，从而应对装配式建筑全过程的管理风险。

综上所述，装配式建筑的风险管理研究概括了策划、设计、生产、施工等各个阶段，从不同的角度出发对风险进行识别，计算确定风险因素的权重及正确地建立评价模型是风险评价的关键，多种方法的组合应用为装配式建筑风险评估提供了借鉴。

### 1.2.4 国内外研究述评

综合以上分析，国内外对于装配式建筑各个阶段的研究都较为深入，主要表现在：

(1) 从不同角度分析了装配式建筑的特征，并对其风险来源进行了深入的研究。从政府、开发商、设计单位和施工单位等各参建方的角度分析了装配式建筑可能存在的风险影响因素，提供了有效的风险应对措施。

(2) 对装配式建筑的风险研究形成较为完善的理论体系。通过运用不同的方法对装配式建筑各个阶段进行风险管理研究，为住宅装配式建筑施工过程的风险评价研究提供了参考和支撑。

目前，装配式建筑的风险管理研究还存在可以继续深入的地方：

(1) 对于装配式建筑施工阶段的风险研究理论不足。对于装配式建筑的风险研究大多集中在成本管理和质量控制等方面，涵盖的范围相对片面，很少从项目施工阶段的整体出发，对装配式建筑的施工过程进行风险管理。

(2) 装配式建筑风险管理体系不够完善。一方面，风险识别不够全面，风险因素主要集中在工程技术缺陷、建设环境不良、管理协调不到位等方面，很少涉及机械设备要素，大构件运输等风险。另一方面，针对住宅装配式建筑的风险评价较少，很少对住宅装配式建筑施工阶段的风险提出相应的防范措施。

因此，本研究采用物元分析法，构建了住宅装配式建筑施工阶段的风险评价模型，运用层次分析法计算施工阶段的各项风险因素的权重，结合物元分析法评价住宅装配式建筑施工阶段的整体风险，得出科学合理的评价结果。

## 1.3 研究目的及意义

### 1.3.1 研究目的

本研究基于住宅装配式建筑施工阶段的视角，通过阅读和分析国内外相关文献，结合实际项目案例识别施工阶段的风险因素，并根据风险来源进行分类汇总，再经过指标的筛选和修正得到风险因素清单，通过定性与定量结合的方法构建住宅装配式建筑施工阶段的风险评价模型，对实际项目案例的施工过程进行风险评估，目的在于可提高各参建单位对住宅装配式建筑项目施工阶段风

险的认知能力，帮助各单位预先准备应对各类风险因素的预警机制和防范措施。

### 1.3.2 理论意义

第一，丰富了住宅装配式建筑风险影响因素的研究。目前识别装配式建筑的风险因素的研究主要集中在成本管理、进度管理与质量控制等某一方面，而住宅装配式建筑的施工阶段还存在很多其他风险影响因素，本研究首先分析住宅装配式建筑的施工特点，根据来源于人员、管理、材料及设备、技术、环境及经济等方面的影响因素，识别可能对住宅装配式项目整体施工造成影响的风险因素，并形成风险清单。

第二，丰富了住宅装配式建筑风险评价的研究。对于装配式建筑风险管理的研究大多集中在如何从构配件质量，施工安全等方面降低风险，风险评价大多从工程进度、工程成本、施工安全等方面进行研究，涵盖的范围只是相关的个别方面，本研究基于实际施工过程中的各类风险来源，运用物元分析法构建风险评价模型，计算并确定住宅装配式建筑施工阶段的关键风险指标的风险等级以及项目整体的风险等级。

### 1.3.3 实践意义

对于企业，有助于提高对住宅装配式建筑项目施工阶段的风险管理水平。通过对住宅装配式建筑项目施工阶段风险进行研究，得出住宅装配式建筑各类风险指标对整个建设过程的影响大小，明确影响整个住宅装配式建筑施工阶段的关键风险指标，帮助各参建单位对住宅装配式建筑预先准备风险因素的预警机制和风险防范措施。

对于政府部门，有利于主管部门对住宅装配式建筑行业进行监管。主管部门可根据风险评价得到项目的关键风险指标和项目风险等级，从而针对高风险因素进行有效监控和防范，还可以通过完善相关法规及标准规范等措施进一步推动我国住宅装配式建筑平稳健康发展。

## 1.4 研究的内容及方法

### 1.4.1 研究内容

本文围绕住宅装配式建筑施工阶段的风险进行研究，基于上述国内外装配式建筑研究综述，分析装配式建筑研究成果的不足和可改进的方面，采用严谨的风险因素识别流程，结合文献和案例分析，识别住宅装配式建筑施工阶段各类风险因素，并建立住宅装配式建筑施工阶段的风险评价体系，采用物元评价模型评价各项因素指标的风险等级，找出主要影响因素，提出合理化建议和规避措施。本研究内容主要分为以下六个方面：

第一章，绪论。本章阐述本文的研究背景，梳理相关文献，概述国内外研究现状，界定了本文的研究内容及研究方法，制定技术路线图。

第二章，理论基础。分析总结装配式建筑的研究理论、施工过程以及装配式建筑风险评价相关理论，从而形成研究的理论支撑。

第三章，风险识别。深入分析和识别住宅装配式建筑施工阶段各类风险影响因素，形成风险清单，并阐述每一类风险的具体含义。

第四章，建立风险评价模型。根据风险清单，运用问卷调查法和层次分析法对风险指标进行定量化处理，计算确定不同风险指标的权重，运用物元分析法，建立住宅装配式建筑施工阶段的风险评价模型。

第五章，案例分析。将建立的风险评价模型应用到 GXBL 项目一期住宅装配式建筑，计算并确定该项目的各类风险因素的风险等级及项目整体风险等级，验证评价体系的实用性和科学性，并根据项目各类风险因素的风险等级，提出应对风险的具体措施，加强风险管控，为住宅装配式建筑风险管理提供指引。

第六章，研究结论和启示。总结研究结论，指出本研究的不足以及未来研究方向。

### 1.4.2 研究方法

#### (1) 文献分析法

使用数据库搜集大量国内外相关文献，广泛阅读，梳理分析装配式建筑施工阶段的风险管理研究现状以及不足之处，并从相关文献中初步识别出了住宅



装配式建筑施工阶段的风险影响因素，为住宅装配式建筑施工阶段的风险评价奠定基础。

#### (2) 问卷调查法

仅仅依靠课本和文献等资料，难以满足现在的科学研究需要，为了使论文的数据更加合理，且具有代表性和应用价值，在初步识别风险指标之后，向参与过装配式建筑项目建设的业主方、施工单位、设计单位、咨询单位及预制构件生产单位等相关行业从业者发放问卷，及时收回并进行统计分析，对装配式建筑施工阶段的风险因素进行筛选整理，形成风险清单。

#### (3) 定性与定量相结合的方法

首先定性分析施工阶段的风险特征，通过文献分析和问卷调查的方法识别风险因素。然后运用层次分析法计算各项风险因素的权重，并结合模糊数学与物元分析法建立风险评价模型。最后运用风险评价模型对实际项目案例进行定量评价，通过计算确定各项风险因素及项目的整体风险等级，验证风险评价模型的可行性和科学性。

#### (4) 案例分析法

首先通过类似的实际案例，补充识别住宅装配式建筑施工阶段的风险因素，源于实践的装配式建筑项目案例具有客观性，能够增加实证的有效性，有利于发现文献分析法难以发现的特殊现象。然后使用本文构建的物元风险评价模型对 GXBL 一期住宅装配式项目进行实证分析，结合理论与实际检验本文提出的研究的科学性，并对各类关键风险影响因素提出相应的对策。

1.4.3 技术路线

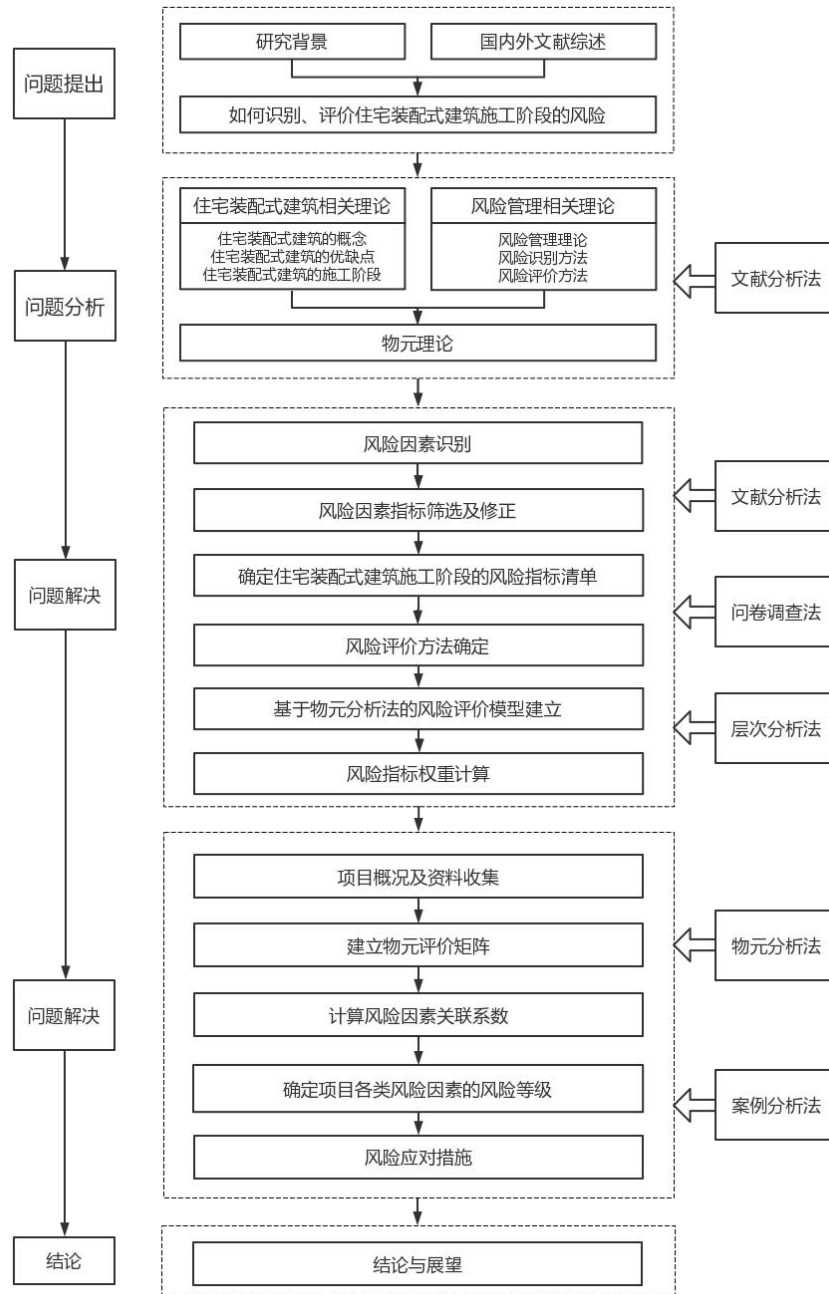


图 1.2 技术路线

## 第 2 章 相关概念及理论

### 2.1 住宅装配式建筑

#### 2.1.1 住宅装配式建筑的概念

住宅装配式建筑是指将结构系统、外维护系统、设备与管线系统、内装系统的主要部分在工厂生产完成，然后运输至工地通过吊装、连接装配到一起的住宅建筑。其预制部品部件由专门的预制工厂和人员进行加工生产，通过先进的检测技术确保其质量能够稳固地支撑整个房屋。

住宅装配式建筑可分为混凝土结构、钢结构、木结构等类型，也可以分为全预制装配式和预制装配整体式结构。住宅装配式建筑在施工过程中不仅能够提高施工的效率，而且还能够减少对人力的需求，同时还能够提升建筑的质量及整体性，满足抗震的需求。在我国，住宅装配式建筑通常采用预制构件和现浇技术相结合的方法，以确保建筑物的安全性和整体结构的完整性。

#### 2.1.2 住宅装配式建筑的优势与不足

住宅装配式建筑与传统现浇结构住宅相比，具有以下优点：

(1) 通过采用先进的技术，我们能够将住宅装配式建筑的预制构件按照标准化的流程，在工厂里实现快速、高品质的生产，而且这些构件的尺寸、形状和性能完全符合设计要求，并且能够抵御各种恶劣的气候和地形，从而确保整个项目的安全性和高品质。

(2) 通过采取装配式建筑的技术，将预制构件从工厂车间精细化生产，并将其安全地送达施工现场，这种技术可以有效地取代传统的流水线施工，不仅可以节省大量的人力物力，而且还可以有效地防止由于恶劣的环境条件而引发的停工，从而极大地加快了建设进度，极大地提升了生产效率。

(3) 随着技术的进步，装配式建筑预制构件生产不用过度依赖于人工，可以采用了更加先进的技术，能够实现自动化的生产，从而减少了人工的消耗，同时也减少了模板、脚手架的使用，从而使得施工更加便捷、经济。

(4) 以吊装为主要现场施工方式的住宅装配式建筑,可以减少部分脚手架搭设、支模板及现场抹灰等工作,相比传统施工方法更加卫生、安全、健康,还能有效减少噪音、粉尘和建筑垃圾,同时方便将废弃物进行再次处理,从而达到资源循环再利用和绿色环保的目的,满足当今社会对可持续发展的需求<sup>[58]</sup>。

同时,住宅装配式建筑还存在一些不足之处:

(1) 装配式建筑不仅可以实现从设计到安装、再到最终使用的全过程,同时也可以解决许多技术上的挑战,而我国目前装配式建筑的发展仍然存在许多不足,比如没有适当的政策支持、没有完善的标准化生产体系等<sup>[59]</sup>。

(2) 由于缺乏统一的标准和规范体系,装配式建筑无法得到普及,从而导致其建造成本显著增加,甚至超出了传统建筑的水平。

(3) 与传统住宅建筑不同,住宅装配式建筑采用了先进的标准化设计、工厂化制造和机械化施工,使得它们具有更强的组合性和可靠性,但由此带来的挑战也更加复杂,尤其在当前,我国专业的技术人员紧张,这种情况更加突出。

(4) 在装配式建筑施工之前,为了确保构配件能够顺利地运抵施工现场,必须采用专业的运输车辆,以确保大型构配件的安全运输。然而,在选择运输车辆时,除了要考虑运费外,还必须考虑运距的问题。

## 2.2 住宅装配式建筑的施工阶段

### 2.2.1 住宅装配式建筑施工阶段的概念

住宅装配式建筑的施工阶段是基本建设的重要阶段,在预制构件由第三方单位生产加工完成后运抵至施工现场后,具有相应资质的施工单位必须按照工程设计和施工组织设计以及图纸规范等进行现场施工,将其转化为可供使用的实体。施工阶段主要包括了预制构件的生产、运送、安装三个部分。

### 2.2.2 住宅装配式建筑的施工特点

随着技术的不断改善和创新,装配式建筑已经成为当今中国城市化的重要组成部分,它不仅满足了当今社会对高质量、高效率的需求,而且还具备着与传统现浇建筑不同的优势。

第一，预制构件工厂化。通过PC工厂预制加工，住宅装配式建筑的主要构件可以实现标准化和模数化，从而大大简化了复杂的现浇施工作业，同时也有效地保证了构件的质量、产量、大小及误差。

第二，施工现场构件堆放量较大。科学地规划施工场地十分重要，应该明确预制构件的存放位置，科学地堆放各种构件，并且制定一套完善的保存方案，以确保构件的安全性，同时也确保构件的堆放位置的便捷性，以免影响施工的顺利进行。

第三，施工工期缩短。通过使用先进的技术和设备，我们能够在室内进行装配式建筑的施工。这种方法不仅能够有效地提高建设效率，而且还能够节省人力和时间。在这种方法下，我们的施工现场就像是一家生产厂家的组装厂，能够把所有的零部件进行精确的拼接，实现高效地施工。

第四，减少施工人员投入数量。由于住宅装配式建筑的预制构件在工厂生产完成，可以很大程度上减少现场浇筑施工人员的数量，此外，为了更好地实现这一目标，引入了先进的机械设备，使得施工人员不再受到传统的体力劳动的限制，更加轻松自如，同时，智能化的施工模式还有助于提升现场管理水平，有效地控制施工风险。

第五，施工的工序复杂又具有挑战性。由于预制构件数量多，重量大，需要选择性能符合要求的垂直运输机械，而且机械设备的布置应该更合理，此外，技术人员和管理人员也必须具备足够的技术能力和丰富的工作经验。为了确保施工质量，必须严格控制构件的整体连接精度、临时支撑技术和安全防护技术，因此，施工总平面图必须经过科学的规划，包括划分安全区域、设置安全围挡等，以确保施工过程的安全性和可靠性。

### 2.2.3 住宅装配式建筑施工风险的来源

在住宅装配式建筑施工过程中，由于人为失误、物质缺陷和环境恶劣等多种因素的影响，可能会出现各种风险，这些因素构成了风险源，可能会对施工安全造成严重的影响。

为了更好地对住宅装配式建筑施工阶段的风险进行研究，减少安全事故及质量问题的发生，可以将施工阶段的风险来源分为人为因素、管理不当、物质缺陷、技术不到位、环境恶劣等方面的风险，人的风险主要是由于施工人员水

平低或者态度差造成，可能影响施工的质量及工程的进度。管理不当的风险主要在于管理人员组织协调不当，造成信息传递错误等影响，或者各部门各单位缺少协调沟通的平台，无法保障施工顺利进行。物质缺陷可以分为材料和机械设备两方面，预制构件或者原材料质量不足将严重影响工程的质量，机械设备性能不足则会存在很大的施工安全隐患。技术不到位主要指施工技术缺陷或者施工方案不合理等方面的风险，在装配式建筑的施工过程中，技术缺陷影响着工程的质量和安全性，技术的保障是整个工程能否建成实体的关键。环境方面的风险可以分为内部环境和外部环境，内部环境主要是工程场地因素造成，外部环境则是恶劣的天气导致，影响项目的顺利施工。

### 2.3 风险理论概述

#### 2.3.1 风险定义

当前，人们将风险的定义分为两种：第一种风险被认为是一种未知的因素，它会导致研究对象遭受的损害也存在未知的变化。第二种风险是指发生风险事故的可能性与其造成损害严重性的统一，即结合了风险发生概率和风险造成的损失。通过对住宅装配式建筑施工过程的分析，结合风险的定义，可以认为操作人员能力不足、吊装作业危险性大、管理方式不合理、各参建方沟通出现问题，相应政策法规变化等不利因素的共同作用下，出现各种意外，从而带来严重的后果包括质量、安全、时间和资金的浪费，甚至会对社会的稳定和公众的福祉带来极其严重的威胁。由此看来，风险因素、风险事故、风险损失三者关系密切，在一定程度上会造成施工过程实际与预期的偏差，因果关系如图 2.1 所示。为了有效地防范和减少这些危害，我们需要实现有效的风险管理。这一过程包括：首先，通过科学的手段，准确地识别各类施工阶段的风险；其次，利用有效的研究方法对各类风险进行评价分析，找到关键风险影响因素；最后，根据各类风险的特征，运用有效的策略和技术，针对性地做出有效地预防和应急处置，尽量避免风险的出现，或是努力减少它带来的影响。

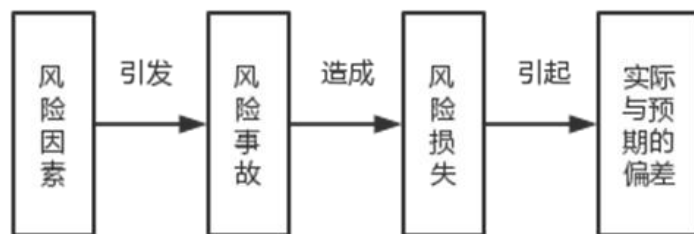


图 2.1 风险产生因果图

### 2.3.2 风险识别

在风险管理中，正确地进行风险识别十分重要。由于住宅装配式建筑在我国起步较晚，标准和规范也还不够完善，施工阶段参与单位众多，施工流程复杂，各环节涉及的风险因素都很多，因此，为了更好地评估风险因素对施工阶段的影响程度，我们需要采用一整套科学的识别方法，全面细致地识别施工阶段的各类风险因素，才能保证后面风险评价的合理性与有效性，并采取合理的应对措施。而住宅装配式建筑施工阶段风险与施工技术、周边环境、管理方法等各方面息息相关，由此可得住宅装配式建筑施工阶段的风险特征：

#### (1) 多样性

装配式建筑施工过程涉及到人员、机械、技术及环境等多个方面影响，施工阶段参建单位众多，有业主方、预制构件生产单位、施工单位、设计单位、监理单位、政府部门等，施工单位作为主要负责项目实体建造的主体，在工程实施阶段，需要密切与各个参建单位进行沟通协作，确保信息有效传递，因此住宅装配式建筑施工阶段的风险具有多样性。

#### (2) 复杂性

施工阶段的重要性不可忽视，尤其是针对当前的装配式建筑，其所涉及的技术要求极其苛刻，目前住宅装配式建筑需要结合预制构件与现浇施工。因此，各种构件的选择不当、预制构件精度不足、高空吊装作业危险性大、灌浆质量不够等现象在施工中常见。随着施工步骤的深入，各种可能的风险也在发展，由于我国目前的装配式建筑的实践技术还处于初级阶段，因此，在施工过程中的风险更加复杂。

#### (3) 动态性

目前住宅装配式建筑在我国的发展依赖于政府的推广、企业的投入、社会的认可、经济的稳定，一旦外部环境变得恶劣，将严重阻碍装配式建筑的发展。因此，必须制定长效的推广机制和严格标准和规范，以确保施工的安全和质量。住宅装配式建筑的施工是一个动态的复杂进程，施工过程整个期间都会受到内外部环境以及项目的发展趋势的影响，从而导致了该类型的建设活动的不确定性。因此，动态性也是住宅装配式建筑施工阶段的风险特征之一。

### 2.3.3 风险评价

风险评价是风险管理最重要的环节，通过比较风险评价的结果与预先设定的风险等级准则，从而确定评价对象的风险等级。基于风险识别与住宅装配式建筑施工阶段的实际情况，结合定性与定量的方法进行系统评估，我们能够更好地了解住宅装配式建筑的各种潜在风险，从而更好地制订相应的防范措施。风险评价过程既涉及单个风险指标的评价，又涉及项目的总体风险水平的评价，根据住宅装配式建筑施工阶段风险因素的特征，可以将风险因素指标分为不同层级，结合客观事实将施工阶段的关键风险的风险程度通过数学方式表达出来，旨在为项目的风险应对措施提供参考，保障未来类似项目施工的安全和稳健。

### 2.3.4 风险应对

风险应对旨在通过采取有效的措施来降低建筑项目的风险，并减少由此带来的损失。通过对项目施工阶段进行全面的风险评估，并结合各风险因素的重要程度，针对评估结果制定出有效的应对方案，以确保采取的措施能够达到最佳的风险控制效果。在采取措施时，除了严格遵守风险管理的原则外，还必须综合考虑方案的经济性和技术性，合理配置资源，有效控制风险，以达到最佳的应对效果。

## 2.4 物元可拓理论

物元可拓理论是我国学者蔡文在 1983 年将可拓理论和物元理论进行组合，基于可拓数学和物元理论形成的原创性学科。其主要思想是通过有机结合事物的质和量解决实际中的模糊问题。使用“事物 N、特征 C、量值 V”三个要素组



成有序物元  $R(N,C,V)$ ，可将住宅装配式建筑施工阶段的风险作为事物，评价施工阶段风险的单一因素指标作为事物特征，风险评价值为其量值。物元分析通过建立物元将问题形式化，结合评价对象的具体情况确定物元的经典域、节域以及代评价物元，构建影响因素之间的关联函数，比较因素评价值到各个评价等级的“距离大小”，最后得到评价结果<sup>[60]</sup>。物元分析法不仅可以得出评价指标对应各个评价等级的关联度值，还能凸显其动态特征<sup>[61]</sup>，对于多准则和多指标的问题，可以分多个步骤和阶段计算，汇总为一个综合指标，最终根据指标和目标等级之间的关联性得出系统性的评价结果，因此常被应用于多因子评价、系统综合评价等领域。近年来，物元分析法被多位学者运用到风险评价研究当中，王寓霖<sup>[62]</sup>等结合熵权和物元分析法，定性与定量地评估地下空间火灾的安全性风险，并运用于实际项目案例验证模型的科学性。任炼<sup>[63]</sup>等通过建立物元可拓模型研究计算中小型建筑施工企业风险因素的综合关联度，并进行风险评价。秦云江<sup>[64]</sup>等构建 ANP—物元可拓理论进行 PC 结构装配式建筑施工阶段的评价，分别得出物元评价和蒙特卡洛模拟的结果，经过分析比较，可以看出物元风险评价模型具有一定的可行性。

### 2.5 本章小结

本章主要阐述了住宅装配式建筑的概念及相关风险管理理论。首先通过深入探讨住宅装配式建筑的相关概念，详细分析住宅装配式建筑的优势与不足，针对住宅装配式建筑施工阶段的施工特点，明确施工阶段风险的来源为后续风险识别提供参考。其次，以风险管理的流程为基础，介绍风险管理的相关理论；最后，阐述物元可拓理论的相关内容，分析物元风险评价的可行性，为后续的论文写作奠定坚实的理论基础。

## 第3章 住宅装配式建筑项目施工阶段的风险识别

### 3.1 风险因素指标体系构建的原则及步骤

装配式建筑的施工方式相较于传统建筑有着能源消耗低，施工速度快等优点，但其施工阶段同样存在众多复杂的风险因素，通常情况下，风险评价研究首先要进行风险识别，风险识别也是风险管理的关键步骤。本章通过分析住宅装配式建筑的施工阶段，依据装配式建筑施工特征，结合相关文献以及实际案例对施工阶段风险因素进行识别，并通过问卷调查法筛选所识别出的风险指标，并对识别的风险因素进行归类，为后面风险评价研究提供良好的基础。

#### 3.1.1 风险因素指标的选取原则

住宅装配式建筑风险的识别需要从多个视角出发，从宏观到微观，从总体到部分，其最重要的是风险指标的确定，确定的风险指标应能够涵盖施工阶段各类因素的主要风险类型，并通过这些指标来反映整个项目施工过程中的风险。因此，识别风险因素应遵循以下原则：

##### （1）科学性原则

选取的风险指标需要符合科学性原则，即该风险评价指标体系能够反映住宅装配式建筑施工阶段遇到的各类因素引起的风险问题。指标选取应该结合理论与实际，突出住宅装配式建筑施工的特殊性，科学合理的风险指标更有利于对住宅装配式施工阶段风险进行有效的评价<sup>[65]</sup>。

##### （2）全面性原则

装配式建筑施工阶段风险涉及多个参与主体以及不同类别的影响因素，风险指标应结合“4M1E”理论，从 Man（人）、Material（物）、Management（管理）、Method（方法），Environment（环境）不同的类别出发，全面概括住宅装配式建筑施工阶段中的风险点。

##### （3）代表性原则

为了更好地评价住宅装配式建筑施工过程中的风险，我们应该选择一些能够反映实际情况的风险指标，并建立一份风险清单，这些指标应该能够准确地

反映出施工过程中可能发生的风险，并具有发生概率高、风险损失大等特点。

#### (4) 定性和定量相结合原则

对较为模糊不明和繁杂的风险指标分析需要运用定性与定量相结合的方法，将风险指标进行量化赋值，通过数学运算来处理问题，从而推进后面的风险评价，使评价结果更加精确客观。

### 3.1.2 风险指标体系建立步骤

识别风险因素，建立风险指标体系分为以下四个部分：

#### (1) 文献收集

为了确定住宅装配式建筑施工阶段的风险因素，首先收集文献，通过在各种数据库中的各种相关的公开发表的文章，获得与住宅装配式建筑施工阶段的风险因素有关的文献，为后续步骤做足准备工作<sup>[66]</sup>。

#### (2) 初步识别

整理收集到的相关文献资料，筛选与装配式建筑施工相关且被引次数较多、相关度高的文献进行参考，对其在施工阶段可能遇到的风险因素进行初步判断，并通过分析一些实际住宅装配式建筑项目案例的具体问题，补充识别施工阶段的风险影响因素，将两种分析方法识别得到的风险因素进行整理，并根据风险来源进行分类。

#### (3) 风险因素指标筛选

本步骤为风险识别过程的重点内容，通过问卷调查法收集多位拥有装配式建筑相关工作经验的人士的意见，分析专业人士对各项风险因素的重要程度打分的意见，筛选出重要程度较高的风险因素，全面准确地选择住宅装配式建筑施工阶段的风险因素。

#### (4) 形成风险清单

通过以上步骤，识别得到准确的各类风险因素，然后将识别出的风险因素按照其相应的风险属性进行归类，最终得到风险清单。流程如图 3.1。

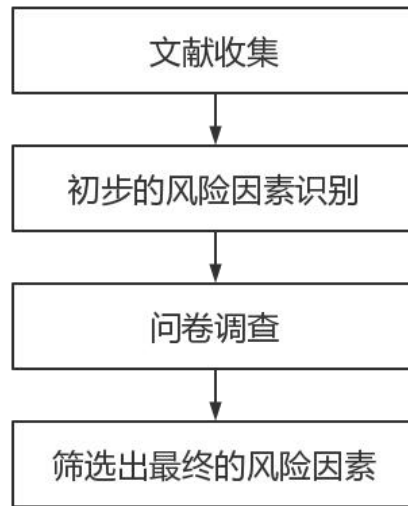


图 3.1 风险识别流程

## 3.2 住宅装配式建筑风险因素识别

### 3.2.1 基于文献分析法的风险因素识别

首先通过各类数据库搜索装配式建筑、风险、施工阶段风险、prefabricated building、risk 等关键词，搜集相关文章。然后从搜索出的文献中选取近 5 年 100 篇被引次数大于 2 次且与本文相关的文献，最后通过对比筛选出与本文研究内容相关度较高且识别出的风险因素具有一定代表性的文献 20 篇。深入阅读这 20 篇相关文献，找出符合装配式建筑施工特点的风险因素进行整理汇总。

由于文献中学者对相同风险因素的表达方式不尽相同，因此有必要对表达方式不同而内涵相似的风险因素进行整理，如将“构件连接不稳固”“构件连接处节点处理情况”统一描述为“构件连接技术风险”，将“各级沟通不协调”“施工过程中多方协调管理不到位”“企业间的沟通协调性”统一描述为“各参与方的协调性风险”，将“触电风险”“施工安全防护措施不到位”“安全定期检测等不到位”“安全防护用品质量不合格”合并归纳，统一描述为“安全防护措施风险”，确定施工阶段的 41 个风险因素，并将这些因素划分为人的风险因素、管理风险因素、材料及设备风险因素、技术风险因素、环境及经济

风险因素 5 种风险类别，如表 3.1 所示。

表 3.1 文献分析法初步识别风险影响因素

序号	风险种类	风险因素
1	人的风险因素	管理人员的经验
2		施工人员的教育水平
3		现场人员的安全意识
4		施工人员的工作态度
5		施工人员技术水平
6		违章作业风险
7		不熟悉装配式规范
8		监理人员的能力与素质
9		吊运安装人员的防护用具使用情况
10	管理风险因素	管理制度不健全
11		各参与方的协调性
12		安全防护措施
13		构件进场检验不到位
14		构件运输措施
15		项目组织结构不完善
16		新技术、新材料应用的合理性
17		构件设计不合理
18		机械设备维护保养措施
19		材料及设备风险因素
20	施工机械设备的操作性能	
21	构件原材料的质量	
22	设备选型布置的合理性	
23	构件堆放与保护不佳	
24	施工方案的合理性	
25	技术交底不充分	
26	技术风险因素	构件吊装技术
27		构件定位技术
28		构件接连技术
29		安全检测技术
30		临时支撑系统不牢固
31		超载起吊风险
32	环境及经济风险因素	垂直运输方案
33		构件运输环境
34		施工现场作业环境

续表

序号	风险种类	风险因素
35		工程地质风险
36		政策环境影响
37		自然环境影响
38		施工人员作业区域狭窄
39		工程变更
40		项目资金链出现问题
41		市场经济不稳定

### 3.2.2 基于案例分析法的风险因素补充

仅仅依靠文献分析法识别风险因素还不够，为了更加全面、客观、准确地识别风险因素，本文将结合实际案例项目，进一步补充识别住宅装配式建筑施工阶段的风险因素。通过搜集到的9个住宅装配式建筑的实际项目案例，了解项目的施工情况，并与相关人员进行沟通，得到该项目在施工阶段中存在的问题和风险因素，具体如表3.2所示。

表3.2 案例分析法识别风险影响因素

序号	名称	风险因素
1	沈阳 LXSC 项目	构件堆放不合理导致磨损；监理单位管理不佳；新技术操作失误；预制板螺栓距离不符合要求；构件尺寸生产偏差。
2	北京 ZXZG 项目	机械设备操作不当引起故障；材料偏差较大重新生产；构件连接不稳固返工；施工过程没做好防水处理；预制凸窗预留筋与现浇墙柱钢筋碰撞。
3	河北 FHC项 目	机械连接强度不符合要求；构件精度不足接合效率低；参与方信息传递不及时；现场管理混乱。
4	南宁 XY项 目	周转机械设备维护不当；吊装方案不合理、操作人员技术不到位导致效率低；设计变更导致进度延后；吊装叠合板变形；构件以及管线的预埋脱落以及堵塞；构件尺寸生产偏差。
5	潍坊 TH项 目	各参与方缺少沟通平台；进度计划安排不合理；缺乏装配式建筑管理经验；缺乏关于装配式建造的技术规则和供应体系；起重设备未达到工作半径要求。

### 第3章 住宅装配式建筑项目施工阶段的风险识别

续表

序号	名称	风险因素
6	柳州 DDXY 项目	场地内临时道路设置不合理；在设计，生产和安装过程中缺乏协调和沟通机制；构件供应不足拖延进度；技术资料不完善；构件尺寸生产偏差。
7	长乐 SW 安置楼项目	完成品保护不当造成损失；验收工作不到位；构件强度性能不满足要求；构件尺寸生产偏差；交底不到位导致构件施工精度不足；缺乏高技能的工人。
8	北京某安置房项目	吊装方案不合理导致效率低；新型砼全预制装配技术运用不成熟；专业化的培训不到位。
9	深圳 GYL 项目	构件连接异常；墙板拼接接头处理不均；套筒灌浆漏注；模具周转使用变形过多；不合理的构件拆卸。

对上述案例识别的风险因素进行整理分类，可以确定新增的住宅装配式建筑施工阶段的风险因素如表 3.3 所示。

表 3.3 案例分析法识别的新增风险因素

序号	风险种类	风险因素
1	人的风险因素	缺乏装配式建筑管理人员
2		机械操作水平
3		施工人员的能力
4		操作失误
5		现场管理混乱
6		施工监督管理不到位
7	管理风险因素	验收工作
8		施工监督管理质量
9		进度计划安排的合理性
10		事故预防及应急管理
11		机具使用维护的措施
12	材料及设备风险因素	设备性能
13		预制构件的精度
14		构件吊装方案的合理性
15		技术资料不完善
16	技术风险因素	安装工艺的合理性
17		对新技术掌握不熟练

通过文献分析法识别得到 42 个风险因素，案例分析法识别得到 17 个风险

### 第3章 住宅装配式建筑项目施工阶段的风险识别

因素，由于两种方法确定的部分风险因素表达的意思相近，对其进行归纳后可以得到以下 47 个初步风险影响因素，如表 3.4。

表 3.4 住宅装配式建筑施工阶段初步识别的风险因素

序号	风险种类	风险因素
1		管理人员的经验
2		施工人员的教育水平
3		现场人员的安全意识
4		施工人员的工作态度
5	人的风险因素	施工人员的技术水平
6		违章作业风险
7		不熟悉装配式规范
8		监理人员的能力与素质
9		吊运安装人员防护用具使用情况
10		管理制度不健全
11		各参与方协调性
12		验收工作不到位
13		安全防护措施
14	管理风险因素	构件进场检验不到位
15		构件运输措施
16		项目组织结构不完善
17		施工监督管理质量风险
18		进度计划安排不合理
19		事故预防及应急管理
20		新技术、新材料应用的合理性
21		构件设计不合理
22		机械设备维护保养措施
23		材料供应的及时性
24	材料及设备风险因素	施工机械设备的操作性能
25		构件原材料质量
26		设备选型布置的合理性
27		预制构件的精度
28		构件堆放与保护不佳
29		施工方案合理性
30		技术交底不充分
31	技术风险因素	构件吊装技术
32		构件定位技术
33		构件接连技术



续表

序号	风险种类	风险因素
34		安全检测技术
35		临时支撑系统不牢固
36		超载起吊风险
37		垂直运输方案
38		对新技术掌握不熟练
39		构件运输环境
40		施工现场作业环境
41		工程地质风险
42		政策环境影响
43	环境及经济风险因素	自然环境影响
44		施工人员作业区域狭窄
45		工程变更
46		项目资金链出现问题
47		市场经济不稳定

### 3.3 住宅装配式建筑施工阶段风险影响因素的确定

#### 3.3.1 基于问卷调查法的风险影响因素筛选

初步识别住宅装配式建筑施工阶段的风险因素后，由于装配式建筑本身的特点，加上项目工程系统复杂，施工周期长，影响因素多，在进行风险影响因素的分析中，仅仅依靠文献和几个案例难免不够准确，还必须结合其他的科学方法来进行修正和筛选，才能得到更加客观的风险指标清单。因此，本文采用问卷调查法来修正和筛选风险因素。

##### (1) 问卷调查与收集

本研究主要通过线上发放问卷的形式来收集问卷（见附录 A），通过调查各因素的重要程度来筛选出可以评价住宅装配式建筑施工阶段风险的指标。向 92 位专业人士发放问卷，回收有效问卷 86 份，无效问卷 6 份。对本次参加问卷调查的对象做信息统计（见表 3.5），包含问卷调查对象的工作单位、最高学历、目前的职称、研究年限及参与项目的数量。

### 第3章 住宅装配式建筑项目施工阶段的风险识别

表 3.5 回收问卷调查统计

	类别	频数	频率
工作单位	建设单位	10	11.63%
	施工单位	36	41.86%
	设计单位	12	13.95%
	监理单位	6	6.98%
	咨询单位	20	23.26%
	其他	2	2.33%
最高学历	博士	3	3.49%
	硕士	14	16.28%
	本科	50	58.14%
	专科	17	19.77%
	其他	2	2.33%
目前的职称	正高	3	3.49%
	副高	5	5.81%
	中级	26	30.23%
	初级	49	56.98%
	其他	3	3.49%
	研究装配式建筑的年限	3年以下	8
4—7年		46	53.49%
8—10年		22	25.58%
10年以上		10	11.63%
参与装配式项目的数量	2个以下	70	81.4%
	3—5个	13	15.12%
	5个以上	3	3.49%

将 86 份有效问卷进行统计分析，对各影响因素评价分数均值在 3 分以上的因素数据进行信度效度分析，当它的信度效度达到相应的标准时，才能最终确定影响住宅装配式建筑施工阶段的风险因素，最终统计结果如表 3.6。

表 3.6 风险因素影响程度调查结果表

序号	风险因素	评价均值
1	管理人员的经验	4.01
2	施工人员的教育水平	3.78
3	现场人员的安全意识	3.95
4	施工人员的工作态度	3.77
5	施工人员的技术水平	3.83
6	管理制度不健全	3.93
7	各参与方协调性	3.91

续表

序号	风险因素	评价均值
8	验收工作不到位	3.87
9	安全防护措施	3.9
10	构件进场检验不到位	3.9
11	构件运输措施	3.9
12	机械设备维护保养措施	3.85
13	材料供应及时性	3.87
14	机械设备选型及布置的合理性	3.76
15	预制构件的精度	3.91
16	构件堆放与保护不佳	3.93
17	施工方案的合理性	3.85
18	构件吊装技术	3.91
19	构件定位技术	3.86
20	构件接连技术	3.93
21	安全检测技术	4
22	临时支撑系统不牢固	3.9
23	构件运输环境	3.99
24	施工现场作业环境	3.81
25	政策环境影响	3.8
26	工程变更	3.84

(2) 信度分析

信度是对可靠性的度量，可用于鉴定结果的稳定性和一致性。具体来说，信度就是设置的问题指标指向同一事物，得到结果的一致性程度。本文通过使用克隆巴赫（Cronbach's Alpha）信度系数来检验调查结果表的信度。若信度系数低于 0.6，说明问卷结果表需要修改；若信度系数在介于 0.6 和 0.8 之间，说明表中的因素的信度良好；若信度系数大于等于 0.8 时，则说明表中的因素信度十分可靠。由表 3.7 和 3.8 可以看到，该的 Cronbach's Alpha 信度系数为 0.973，说明结果表中的因素信度非常好，各因素具有非常高的内在一致性。

表 3.7 信度分析

住宅装配式建筑施工阶段的风险因素	删除项后的克隆巴赫 Alpha	克隆巴赫 Alpha
人的风险	管理人员的经验	0.848
	施工人员的教育水平	0.875
	现场人员的安全意识	0.865
	施工人员的工作态度	0.890
		0.898

第3章 住宅装配式建筑项目施工阶段的风险识别

续表

住宅装配式建筑施工阶段的风险因素	删除项后的克隆巴赫 Alpha	克隆巴赫 Alpha
管理风险	施工人员的技术水平	0.897
	管理制度不健全	0.876
	各参与方协调性	0.878
	验收工作不到位	0.872
	安全防护措施	0.873
	构件进场检验不到位	0.860
	构件运输措施	0.886
	机械设备维护保养措施	0.884
材料及设备风险	材料供应及时性	0.856
	机械设备选型及布置的合理性	0.899
	预制构件的精度	0.868
	构件堆放与保护不佳	0.866
	施工方案的合理性	0.863
	构件吊装技术	0.859
	构件定位技术	0.872
	构件接连技术	0.887
技术风险	安全检测技术	0.850
	临时支撑系统不牢固	0.886
	构件运输环境	0.781
	施工现场作业环境	0.731
	政策环境影响	0.748
	工程变更	0.653
	环境及经济风险	

表 3.8 可靠性统计量表

项数	克隆巴赫 Alpha
26	0.973

(3) 效度分析

效度检测是用于检验调查问卷研究项是否合理。效度越高，表明量表得到的结果越接近所需测量的特征，结果越有效。一般把效度分析分为内容效度分析和结构效度分析，结合风险因素分类的特点，本文将采用结构效度分析法来检测表中因素的效度。

实际测量结果中，特定结构与测量值之间的对应程度称之为结构效度。本文通过 SPSS 软件使用 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) 和巴特利特 (Bartlett Test of Sphericity) 的检验方法，分析量表的结构效度。通常，当巴特利特的球形度检验的显著性 (Sig) 小于 0.05，同时 KMO 值大于 0.7 时，则量表结构效度良好。由表 3.9 可知，此表的两个值都在限制范围内，具有良好的效度。

表 3.9 效度分析

KMO 取样適切性量数。		0.951
巴特利特球形度检验	近似卡方	2004.745
	自由度	325
	显著性	0.000

### (3) 风险指标修正

通过问卷调查问卷的分析结果，对住宅装配式建筑施工阶段的初步风险因素进行修正，剔除部分重要性程度不高的风险因素，根据专家意见，并参考《装配式建筑评价标准》(GB/T51129—2017)等技术规范，将“管理人员的经验”与“监理人员的能力与素质”合并为“管理人员的经验水平与素质”，将“施工机械设备的操作性能”与“设备选型及布置的合理性”合并为“机械设备选型及布置的合理性”，将“施工人员作业区域狭窄”合并到“施工现场作业环境”。

### 3.3.2 住宅装配式建筑施工阶段风险指标清单

结合初步识别的风险因素及问卷调查结果，整理风险因素清单，并根据专业人士的意见修正部分表述不合理的指标，确定了最终风险因素清单，比较符合现阶段住宅装配式建筑施工阶段的风险情况。为了方便后续风险评价研究，按照各指标风险来源的不同，进行分层归类并编号。最终的风险因素清单如表 3.10。

表 3.10 住宅装配式建筑施工阶段最终的风险因素清单

序号	风险种类	风险因素
1	B1 人的风险因素	C1 管理人员的经验水平与素质
2		C2 施工人员的教育水平
3		C3 现场人员的安全意识
4		C4 施工人员的工作态度
5		C5 施工人员的技术水平

续表

序号	风险种类	风险因素
6		C6 管理制度不健全
7		C7 各参与方协调性
8	B2 管理风险因素	C8 验收工作不到位
9		C9 安全防护措施
10		C10 构件进场检验不到位
11		C11 构件运输措施
12		C12 机械设备维护保养措施
13		C13 材料供应及时性
14	B3 材料及设备风险因素	C14 机械设备选型及布置的合理性
15		C15 预制构件的精度
16		C16 构件堆放与保护不佳
17		C17 施工方案的合理性
18		C18 构件吊装技术
19	B4 技术风险因素	C19 构件定位技术
20		C20 构件接连技术
21		C21 安全检测技术
22		C22 临时支撑系统不牢固
23		C23 构件运输环境
24	B5 环境及经济风险因素	C24 施工现场作业环境
25		C25 政策环境影响
26		C26 工程变更

### 3.4 住宅装配式建筑施工阶段各类风险因素分析

#### 3.4.1 人的风险因素

随着装配式建筑产业的深入发展，对从业人员的素质也相应提出了新的要求，人的风险因素是由于管理人员、施工作业人员、机械操作人员等造成的失误<sup>[67]</sup>，主要来源于5个方面，分别是管理人员的经验水平与素质、施工人员的教育水平、施工人员的安全意识、施工人员的工作态度、施工人员的技术水平等引发的风险。

##### (1) 管理人员的经验水平与素质

由于装配式建筑并未普及，熟悉装配式建筑施工技术的人员较少，管理人

员对装配式建筑施工的管理经验也不够丰富，在风险发生时难以选择适当的处理方案来应对风险，情况严重时甚至会导致安全事故的发生<sup>[68]</sup>。项目管理人员的综合素质越高，则指标风险等级越低

#### (2) 施工人员的教育水平

国内的装配式建筑起步较晚，相应的人才培养不足。教育培训的欠缺会导致施工人员解决施工中面临的安全、质量等问题时，无从下手。施工班组整体教育水平越低，指标风险等级就越高。

#### (3) 施工人员的安全意识

目前我国建筑行业许多施工人员缺乏一定的安全意识<sup>[69]</sup>，面对装配式建筑这一新建筑施工技术，缺少经验的施工人员甚至不清楚其风险点，安全意识薄弱，稍有不慎就可能发生安全事故。作业人员安全意识越差则指标风险等级越高。

#### (4) 施工人员的工作态度

虽然我国整体教育水平正在不断提高，但是建筑行业许多施工人员的文化素质水平较低，他们的工作态度将直接影响施工效率及施工质量。三级教育不到位，则指标风险等级越高

#### (5) 施工人员的技术水平

装配式建筑施工技术与传统施工方法有很大的不同，在装配式建筑在施工期间，大量的预制构件需要进行吊装，无论是吊装作业还是构件现浇连接都需要操作人员有一定的技术水平，从而避免出现意外。施工队伍的技术水平越高，则指标风险等级越低。

### 3.4.2 管理风险因素

由于建筑工程的施工工期长，在施工阶段难免会出现一些意外的问题，管理风险因素主要由于管理人员认知不足，制度不健全或各部门协调不到位等导致的风险因素，主要来源于6个方面，分别是管理制度不健全、各参与方协调性、验收工作不到位、安全防护措施、构件进场检验不到位、构件运输措施等引发的风险。

#### (1) 管理制度不健全

管理制度不健全，如人员操作行为的规范要求不详细，导致无章可循，将

使造成项目部成员责任不清，施工现场混乱不堪，降低建筑施工的工作效率，对施工的进度和质量造成影响。管理制度不够健全，权责不明确，则指标风险等级越高。

#### (2) 各参与方协调性

装配式建筑施工阶段的管理需要从多角度、多方案出发，各个参与方如果协调不顺畅，沟通造成信息不对称，会对工程的进度<sup>[70]</sup>、成本造成影响。缺少沟通平台，管理模式不清晰，则指标风险等级越高。

#### (3) 验收工作不到位

验收工作不到位是指在验收过程中出现遗漏部分需检验的部位，导致将未检出的不合格问题判定为合格，造成隐患<sup>[71]</sup>。隐蔽工程验收及项目验收工作没做好，该指标风险等级越高。

#### (4) 安全防护措施

安全防护措施不健全包括吊装作业临边防护工作遗漏，未合理设置施工防护网等问题，存在安全风险。安全防护设施不满足要求，设备不齐全，检查工作不到位，则指标风险等级越高。

#### (5) 构件进场检验

构件生产能够运至工地，需要对构配件的规格、数量及质量<sup>[72][73]</sup>等进行进场检验，进场检验不到位是指检验时没有发现构配件存在的问题，导致施工时构件尺寸偏差过大，构件数量不足或者存在质量问题。构件进场检验不到位，检查过程出现疏漏，指标风险等级越高。

#### (6) 构件运输措施

构件运输措施的风险主要来自选择了不适用的运输工具和运输中构配件的保护措施不到位以及场地内运输道路不平整造成构件损伤等问题。运输过程中构件保护不当，则指标风险等级越高。

### 3.4.3 材料及设备风险因素

装配式建筑可以实现大量的结构构件在预制工厂进行生产，运输至施工现场后组装浇筑，材料及设备风险因素是由于机械设备、预制构件的不安全性及质量问题等因素带来的影响，主要来源于5个方面，分别是机械设备维护保养措施、材料供应及时性，设备选型布置的合理性、预制构件的精度、构件堆放



与保护不佳等引发的风险。

(1) 机械设备维护保养措施

机械设备需要长期使用，操作不当等人为因素以及保养不当都可能造成机械设备的损伤，影响机械设备的使用性能。机械设备维护不及时，疏于保养，则指标风险等级越大。

(2) 材料供应及时性

装配式建筑预制构件材料供应的及时性很大程度上影响着施工阶段的进度<sup>[67]</sup>。材料供应商对预制构件供应经常延期，则指标风险等级越高。

(3) 机械设备选型及布置的合理性

机械设备应当能够在起吊构件时提供足够的动力，以保证构件能够准确吊装。在吊装过程中，吊机选型不合理将存在构件坠落的安全隐患，布置不合理也会导致机械设备作业半径不够等问题出现，选型不当或布置不合理，则指标风险等级越大。

(4) 预制构件的精度

预制构件的精度不足会影响成品的外观及构件的安装，增加不必要的费用，影响工程的质量<sup>[74]</sup>。预制构件精度越差，指标风险等级越高。

(5) 构件堆放与保护不佳

装配式建筑构件在运输施工现场后，有必要进行分类合理堆放并做好保护措施，确保构件在使用前的质量<sup>[75]</sup>。没有合理规划构件堆放区域，构件堆放和保护不到位，则指标风险等级越大。

### 3.4.4 技术风险因素

技术风险因素主要是指在施工技术的缺陷或者施工方案不合理所造成的风险。主要来源于6个方面，分别是施工方案的合理性、构件吊装技术、构件定位技术、构件接连技术、安全检测技术、临时支撑系统不牢固等引发的风险。

(1) 施工方案的合理性

装配式建筑的施工方案应充分考虑项目自身的特点及周边环境影响<sup>[76]</sup>，并综合考虑技术人员、机械设备、构件及材料等各方面的问题，任何一个问题考虑得不够仔细周全都可能导致施工风险发生。项目施工方案不合理，指标风险等级则更高。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/517155030015006040>