

# 装配式建筑施工安全风险评价及管理措施

常春光, 颜蕊蕊

(沈阳建筑大学管理学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**基于对国内外装配式建筑发展现状的分析,提出现场施工各阶段存在的危险源。结合具体案例,运用LEC法对存在的风险进行量化计算,实现对装配式建筑风险评价分级,并依据分级情况提出了加强安全风险管理的措施,此种做法可为装配式建筑施工安全风险提供依据。

**关键词:**装配式建筑;施工安全;风险评价;LEC法;管理措施

**中图分类号:**TU714      **文献标志码:**A

装配式建筑具有节能、环保的特点,并且能更加快速地满足社会对住宅的需求与要求。装配式建筑最早出现在20世纪50年代的西欧,为了满足第二次世界大战后住房紧张的问题,西欧的很多国家支持大力发展预制装配式建筑,掀起了一股工业化的热潮。20世纪60年代,这股热潮扩展到美国、法国以及亚洲的日本等发达国家。在20世纪,北美的预制建筑主要用于低层非抗震设防地区。

长期以来,我国建筑业采用的是现场施工的方式。直到20世纪50年代,我国才开始运用预制装配式建筑。不同的研究者从不同的角度对其进行了研究。蒋勤俭<sup>[1]</sup>介绍了有关国内外装配式混凝土建筑的发展;刘康<sup>[2]</sup>研究了预制装配式混凝土建筑在住宅产业化中的发展与前景;刘伟等<sup>[3]</sup>提出了装配式建筑工程施工安全灰色聚类测评模型;刘迪<sup>[4]</sup>研究了装配式混凝土建筑的安全施工管理;罗杰等<sup>[5]</sup>着重研究了装配式建筑施工安全管理若干要点;赵勇、王晓峰<sup>[6]</sup>进行了预制混凝土构件吊装方式与施工验算研

究;张守峰<sup>[7]</sup>认为设计施工一体化是装配式建筑发展的必然趋势;苏杨月等<sup>[8]</sup>进行了装配式建筑生产施工质量问题与改进研究。装配式建筑具有传统建筑无法具有的优势,但是我国装配式建筑的发展还处于发展初期,建筑自身在设计水平、构件制作的精细程度和装配技术等方面仍存在问题。这些问题的存在将可能导致施工事故的发生,事故的发生给相关企业带来的不只是经济的损失,更对人身安全造成了威胁。为了防止施工事故发生在新型建筑施工中,就应该做好相应的预防措施,以免安全问题阻碍装配式建筑的发展。

## 一、装配式建筑施工过程中的危险源的识别

装配式建筑是以运用新施工方法为核心的建筑产业化。新施工方法指的是在工厂生产装配式建筑所需的混凝土构件,运送到施工现场装配的方法,它不同于传统的建筑整体现浇施工方法。由于施工现场管理的重点不同,主要从施工前期准备、施工吊装阶段这

两个阶段识别危险源。

1. 施工前期阶段存在的危险

(1) 预制构件运输措施不到位。预制装配式建筑最大的难点就是需要将预制构件运输到现场,运输过程比较困难。例如运输交通工具选择不恰当可能会损坏预制构件;运输中固定措施不到位可能导致预制构件半路滑落伤害其他行人。

(2) 预制构件存放位置及方式不当。例如预制构件存放在地面凹凸不平或有积水的地方,积水可能损坏构件的强度;构件放在非专业存架上可能发生倾覆的现象。

(3) 施工现场用电处理不到位。由于在进行装配式施工时,需要运用大量的用电作业,经常放置临时用电箱和电线。由于电线长时间暴露于外部环境或操作不当,容易发生老化或短路等现象,从而引发触电事故。

2. 施工吊装阶段存在的危险

预制构件的吊装是装配式建筑施工过程中的关键环节,也是危险系数比较大、事故发生率较高的阶段。

(1) 起重机选择不当。此举会对吊装安全产生直接影响,如果起重机的起重能力小于要吊装的构件,就会导致构件滑落。

(2) 临时支撑体系不到位。如果没有临时支撑体系很难保障施工安全,所以在预制构件进行吊装前,需要采用临时支撑,将预制构件处于稳定状态。如果操作人员在未安装支撑体系前随意操作,就会导致构件失稳、滑落等事故。

(3) 叠合楼板的吊点设计不准确。叠合楼板吊装时,由于吊点失效导致楼板滑落,会造成重大工程事故。

(4) 吊装施工作业不规范。如果在吊装过程中构件晃动剧烈或摆动幅度较大,会导

致预制构件在吊装时碰撞、伤人等现象发生。

(5) 施工误差较大。在预制剪力墙板安装过程中,如果施工误差较大,可能会导致墙板无法入位,或者入位后由于与预留的插筋位置有偏差,导致墙板不稳定甚至倒塌,为施工带来安全隐患。

(6) 高空外围防护措施不完善。装配式建筑施工过程中,由于需要吊装及运送构件,无法搭设适用于传统施工安全防护的内外脚手架。所以,其外墙采用预制构件拼装,施工人员必须进行高空临边作业。如果外围防护措施不到位,施工人员高空坠落的几率将大大增加。

二、装配式建筑施工风险评价

风险评价是评估危险源所带来的风险大小及确定风险是否可容许的全过程。对危险源辨识后,就应对其风险进行评价。

1. 基于 LEC 评价法的装配式建筑施工风险评价

LEC 评价法由美国安全专家格雷厄姆和金尼共同提出,是对具有潜在危险性作业环境中的危险源进行半定量的安全评价方法<sup>[9-10]</sup>。3 种相关的因素分别是事故发生的可能性(L)、人员暴露于危险环境中的频繁程度(E)和一旦发生事故可能造成的后果(C)。根据 3 种因素的不同等级分别确定不同的分值,再以 3 个分值的乘积来评价作业条件危险性(D)的大小,用公式表示为: $D=L \cdot E \cdot C$ 。由于对此 3 方面进行客观科学计算是相当复杂的,因此,采用半定量计值法。根据以往的经验 and 估算,分别对这 3 方面不同的等级赋值(见表 1)。D 值与等级成正相关,即等级越高,风险性值越大(见表 2)。

表 1 风险相关因素赋值

事故发生的可能性(L)		暴露的频繁程度(E)		发生事故产生的后果(C)	
可能性	分数	频繁程度	分数	后果	分数
必然发生	10	连续暴露	10	大灾难,许多人死亡	100
非常可能	6	每天工作时间内暴露	6	灾难,多人死亡	40
可能,但不经常	3	每周一次暴露	3	非常严重,一人死亡	15
可能性极小,完全意外	1	每月一次暴露	2	严重,重伤	7
很不可能,可以设想	0.5	每年几次暴露	1	较严重,受伤严重	3
极不可能	0.3	非常罕见	0.5	引人注目,轻伤	1
实际不可能	0.1				

表 2 风险等级表

等级	风险程度	危险性(D) 的值	采取的措施
I	可容许风险	20 ~ 70	加强监测和防护
II	中度风险	70 ~ 160	限期整改
III	重大风险	160 ~ 320	立即整改
IV	不容许风险	320 以上	停止作业

2. 装配式建筑施工风险评价案例分析

对某装配式住宅楼工程施工现场进行现场安全检查时,发现现场存在大量安全问题。例如:地面上的电源线有破损的痕迹;车上的预制构件固定不牢;预制构件放在斜坡上;在吊装过程中,起重机起吊构件很吃力;叠合楼板吊点设计不准确;在吊装过程中,操作人员

的不规范导致构件摆动幅度大;预制墙未加任何临时支撑;由于施工误差大,预制剪力墙安装不上;无外围防护措施。

从现场的状况看来,安全隐患可能导致高空坠落、触电、预制构件倾覆、预制构件坠落等事故。但对于事故发生的可能性无法确定,因此笔者邀请了 10 位专家运用 LEC 评价法,对每个危险源在各个方面进行评分,并对每项评分去掉最高分和最低分,然后取平均分确定最后的危险性值(保留两位小数),进而确定采取的措施(见表 3)。

表 3 装配式建筑施工安全风险评价

风险识别阶段	危险源	危险类别	伤害发生	风险评估				风险级别与采取措施
				L	E	C	D	
施工前期阶段	运输措施不到位	交通事故	危及到路上的行人与车辆	2.76	3.25	6.50	58.31	I级加强监督和防护
	存放位置不当	构件倾覆	损坏周围构件或伤及人	1.60	4.25	9.45	64.26	I级加强监督和防护
	用电处理不到位	触电	施工人员触电	4.25	5.50	12.70	296.86	III级立即整改
施工吊装阶段	起重机选择不到位	构件坠落	砸伤工人	5.30	4.70	11.00	274.01	III级立即整改
	临时支撑不到位	构件倾倒	砸伤工人或损坏构件	7.10	5.00	4.23	150.17	II级要限期整改
	叠合楼板吊点设计不准	楼板滑落	砸伤工人或损坏构件	2.78	4.25	5.25	62.03	I级加强监督和防护
	作业不规范	构件坠落	预制构件坠落	5.75	6.20	10.75	383.24	IV级停止作业
	施工误差大	构件倾倒	砸伤工人或损坏构件	8.23	7.15	2.30	135.34	II级要限期整改
	防护措施不完善	高空坠落	作业人员坠落	8.20	3.00	10.30	253.38	III级立即整改

三、装配式建筑施工安全管理措施

安全生产是保证劳动人员人身安全、建筑施工的根本前提,是促进装配式建筑新技术推广的基础。公司必须坚持“安全第一”的施工原则,确保装配式建筑的发展。因此,笔者结合以上案例制定出一系列管理措施。

1. 施工前期阶段的管理措施

(1)完善预制构件运输措施。预制构件形式多样,不同的预制构件运输要求不同。对于长度或宽度远远大于厚度、正立放置自身稳定性较差的预制构件,在运输过程中,用带侧向护栏或其他固定措施的专用车辆进行运输,要避免由于施工现场场地不平整、颠簸导致构件倾覆。案例中出现构件松散的状况,风险等级为I级,应加强监督和防护。

(2)严格规划预制构件存放位置及方式。预制构件运输到现场应该统一分类存放在专门的存放区。存放区应该便于起重设备

的一次吊装,避免二次转运;要求地面平整、排水通畅,并具有足够的地基承载能力;禁止工人非工作原因在存放区长时间逗留、休息;避免将预制构件放置于不稳定的边坡上,否则会存在一级风险的隐患,并危及人身安全。

(3)加强施工现场用电及线路的管理。对于案例中出现电源线有破损的现象,风险等级为III级,即很容易发生触电事故,危及生命。工作人员应认真检查电线,对于老化破损的电线及时更换,临时用电箱用完后及时收回,防止触电事故的发生。

2. 施工吊装阶段的管理措施

(1)慎重选择起重机型号,并进行负荷的最大力臂的稳定性计算。预制构件吊装是最易出现事故的环节,起重机型号选择是否恰当直接影响施工的安全。案例中,明显可以看出起重机型号选择不恰当,风险等级为III级,存在巨大的安全隐患。事故一旦发生,后果不堪设想。施工过程中出现这种现象应

立即整改,根据预制构件的外形、重量、吊装楼层数来核算起重机的承载能力。

(2)保障临时支撑体系到位。在案例中,预制构件没有临时支撑,经风险评价可知存在Ⅱ级的风险,可能会危及人身安全或者损坏构件,应采取限期整改措施。在实际施工中预制构件多种多样,根据不同的构件采取相应的临时支撑。例如,对于预制墙、柱在吊装前,需要设置钢管斜撑等形式来维护自身的稳定,斜撑与地面的夹角要保持在适当的角度,一般为 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,上支撑点适宜的位置是在不低于构件高度的 $2/3$ 处,如果构件较大,容易发生外滑时,还可以在构件下部再增设一道短斜撑。

(3)准确设定叠合楼板吊点。叠合楼板吊点设计不准确时会损害预制构件,从而影响强度,或在吊装中构件出现滑落砸伤工人。对案例中的风险评价为Ⅰ级,应加强监督。对于不单独设置吊筋,直接采用吊桁架钢筋的叠合楼板进行吊装时,应仔细计算检验吊点的承载力,确保承载力满足吊装的要求,避免案例中吊点设计不恰当的情况发生。当吊装构件质量较大时,应该增加吊点的数量。

(4)提高吊装施工作业人员资质的要求。相关人员要有相应的吊装施工许可证,或者有丰富的施工作业经验。吊装作业要符合国家现行有关标准及产品应用技术手册的有关规定。在案例中,由于操作不规范导致构件不稳定,经过风险评价后发现,该项目的风险等级为Ⅳ级,也就是安全隐患最大的一项工作,一旦发生事故,后果极其严重,所以施工单位需要选择技术水较高的人才。在吊装过程中,吊装人员应该控制构件的摆动幅度,避免出现大幅度摆动的情况,确保吊装过程平稳进行,且构件不应长时间悬挂。同时,应该设专人指挥吊装,操作人员应该处在安全位置。

(5)控制施工误差范围。施工误差是由于施工工人技术、自然条件等导致。误差会影响预制墙体的插入,或者即使插入也可能倾倒,砸伤他人,其风险等级为Ⅱ级。为了避

免事故的发生,就需要提高施工工人施工技术与熟练度,加强培训。定期进行装配式建筑的理论学习,并引导工人将理论运用到实际施工中,减少施工误差。

(6)高空作业时,完善外围防护措施。从案例中可以看出,没有外围防护措施时,风险达到Ⅲ级,意味着已经到了立即整改的程度。为了降低事故的发生率,可以采用安全母索和防坠安全平网的方式,对高坠事故主动进行防御。做好临边防护、不乱动安全设施,防护设施损坏要及时维修。可将安全平网挂在框架结构的钢梁翼缘设置的专用夹具或预制混凝土梁上的预埋挂点,防止梁上作业人员意外坠落,实现对坠落人员的拦截保护作用。

## 四、结 语

建筑工业化是我国发展的必经之路,装配式建筑的推进势在必行。在装配式建筑发展的过程中,施工安全则是一个不可忽略的考虑因素。通过运用LEC评价法对装配式建筑存在的风险进行计算,可以清楚地了解风险程度,进而采取相应的措施,大幅降低事故发生的概率,减少经济损失,为施工人员的生命安全提供保障。在装配式建筑刚起步发展时,如果将施工安全作为重点,必将会改善我国目前的建筑安全严峻的形势,推进装配式建筑的发展

## 参考文献:

- [1] 蒋勤俭. 国内外装配式混凝土建设发展综述[J]. 建筑技术, 2012, 41(12): 1074-1077.
- [2] 刘康. 预制装配式混凝土建筑在住宅产业化中的发展与前景[J]. 建筑技术开发, 2015, 42(1): 7-15.
- [3] 刘伟, 付杰, 熊付刚, 等. 装配式建筑工程施工安全灰色聚类测评模型[J]. 中国安全科学学报, 2016, 37(5): 28-30.
- [4] 刘迪. 装配式混凝土建筑的安全施工管理[J]. 建筑施工, 2016, 38(7): 991-992.
- [5] 罗杰, 宋发柏, 沈李智, 等. 装配式建筑安全管理若干要点研究[J]. 建筑安全, 2016(8): 19-25.
- [6] 赵勇, 王晓峰. 预制混凝土构件吊装方式与施工验算[J]. 住宅产业, 2013(3): 60-63.
- [7] 张守峰. 设计施工一体化是装配式建筑发展的必

然趋势[J]. 施工技术,2016,45(16):1-5.

[8] 苏杨月,赵锦锴,徐友全,等. 装配式建筑生产施工质量问题与改进研究[J]. 建筑经济,2016(11):37-39.

[9] 刘香军,王迪. 基于 LEC 方法的临时用电安全风险辨识与评估[J]. 建筑,2013(10):83-86.

[10] 董迎辉. LEC 评价法在建筑施工安全生产管理中的应用[J]. 经营管理者,2015(4):90-91.

Research on Safety Risk Evaluation and Management Measures of Prefabricated Construction

CHANG Chunguang, YAN Ruirui  
(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:**Based on the analysis of the present situation of the prefabricated construction (PC) at home and abroad, this paper puts forward the dangerous sources in the construction stage. Combined with the specific case, the LEC method is used to calculate the risk and PC risk rating is realized. According to the classification, the measures to strengthen the safety risk management are put forward. It is helpful to provide the basis for the safety risk management of PC.

**Key words:** prefabricated construction; construction safety; risk management; LEC method; management measures

(上接第 398 页)

[3] 齐宝库,张小月,王欢. 基于 AHP-模糊综合评价法的国际建筑工程项目风险评价研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2013(4):369-373.

[4] 杨锦伟,孙宝磊. 基于灰色马尔科夫模型的平顶山市空气污染物浓度预测[J]. 数学的实践与认识,2014(2):64-70.

[5] 蔡亮亮. 改进的灰色马尔科夫模型及其对全国邮电业务总量的预测[D]. 南京:南京邮电大学,2013.

[6] 石朝阳. 灰色马尔科夫链的改进及其应用[D]. 兰州:兰州大学,2014.

[7] 胡泽文. 科技产出影响因素分析与预测研究:基于多元回归和 BP 神经网络的途径[J]. 科学学研究,2012(7):992-1004.

[8] 张鑫,任永泰,王福林,等. 基于改进灰色马尔科夫模型的年降水量预测[J]. 数学的实践与认识,2011(11):51-57.

[9] 陈焕珍. 基于灰色马尔科夫模型的青岛市粮食产量预测[J]. 计算机仿真,2013(5):429-433.

[10] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2014.

[11] 任翠霞. 镇江市住宅市场需求预测分析[D]. 镇江:江苏大学,2008.

Research on the Structure of Commodity Housing Dwelling Size Based on Multi-Grey Markov Model

ZHANG Shensheng, REN Shanshan, ZHOU Lin  
(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:**The paper classifies the area interval of commodity housing dwelling, and then analyzes the influencing factors of commodity housing dwelling size. It uses correlation analysis and grey correlation analysis to build the index system of influencing factors in the structure of commodity housing dwelling area. What's more, combining the multiple regression model, gray GM (1, 1) model and Markov model, the paper establishes the multiple-grey Markov model. Based on the status of commodity housing in Shenyang, the paper analyzes the structure of the dwelling area of commodity housing in Shenyang, and puts forward some suggestions for the government to formulate planning and develop enterprises.

**Key words:** multiple regression; grey Markov model; commodity housing; dwelling area