

# 安全设计在装配式建筑中的应用研究

刘平<sup>1,2</sup>, 李皓燃<sup>2</sup>

(1.兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2.东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096)

**【摘要】**以安全设计为切入点,基于装配式建筑物建造流程和制造业中产品的设计-制造流程生产方式的相似性,提出在装配式建筑安全管理中借鉴安全人机工程学的思路;在安全设计理念和“人-机-环”系统性分析相结合的基础上,提出了装配式建筑安全设计控制总体模型,并以预制构件生产和装配设计为例,识别与安全设计相关的主要内容。

**【关键词】**装配式建筑;安全设计;设计流程;安全人机工程学

**【中图分类号】** TU55

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-3702(2018)08-0044-04

## Research on Application of Design for Safety in Prefabricated Building

LIU Ping<sup>1,2</sup>, LI Haoran<sup>2</sup>

(1.School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China;

2.School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

**Abstract:** Taking the design for safety as the breakthrough point, this paper proposed the method of using safety ergonomics in the safety management of prefabricated buildings, based on the similarities between the process of prefabricated buildings and the process of manufacturing products. Then the concept of design for safety and “human-machine-environment” systematic analysis were employed to propose an overall model for safety control of prefabricated buildings. In addition, the application of prefabricated parts production design and prefabricated assembly design was used as an example in this study, and the main measures related to design for safety were identified.

**Keywords:** prefabricated building; design for safety; design flow; safety ergonomics

## 0 引言

建筑业是我国国民经济发展的基础产业和支柱产业,同时又是高危行业。根据住房和城乡建设部历年对房屋市政工程安全生产事故的统计显示,2010—2017年,我国共发生安全生产事故4 521起,死亡总人数5 552人;相当于平均每天发生2起建筑安全事故,平均每天有2人死于建筑安全事故。因此,建筑业安全生产形势严峻。

建筑业传统发展模式存在工业化水平低、劳动生产率、科技进步贡献率低、建筑质量和性能低,以及资源能源消耗高、环境污染程度高等突出问题,大力推

进建筑产业转型升级、从高速增长向高质量转变迫在眉睫、任重道远。在此趋势下,装配式建筑得到业界广泛的关注及重视。与传统现浇建筑生产方式相比,装配式建筑既要考虑构件、部品部件及预埋件的生产,同时还要兼顾运输、仓储、吊装等现场生产情况,对施工安全管理提出了新的挑战。

## 1 安全设计理念

安全设计(Design For Safety, DFS)是在设计阶段就积极进行安全预防的思想,最早出现在1955年美国国家安全委员会出版的《工业生产事故预防手册》中。Storey将安全设计(DFS)定义为在工程项目全生命周期的设计阶段为减少施工过程中的安全事故而做出的努力<sup>[1]</sup>;美国职业安全与健康研究所提出设计预防就是

国家自然科学基金:基于DFS的地铁工程全生命期安全风险智能化预控方法研究(51578144)

作者简介:刘平,男,博士研究生,研究方向为建筑工业化。

设计人员要考虑职业安全与健康的需要, 在施工、制造、使用、维护等过程中通过预防降低安全风险<sup>[2]</sup>; Toole 等将安全设计定义为工程师和建筑师在设计过程中对施工人员安全进行全面、细致的考虑以降低、消除施工阶段潜在风险<sup>[3]</sup>。Szymberski 提出了时间-安全性影响曲线, 显示在项目设计阶段对安全影响程度较高, 通过优化设计方案能有效地降低项目的安全风险, 提升施工阶段应对安全风险的能力<sup>[4]</sup>, 如图 1 所示。

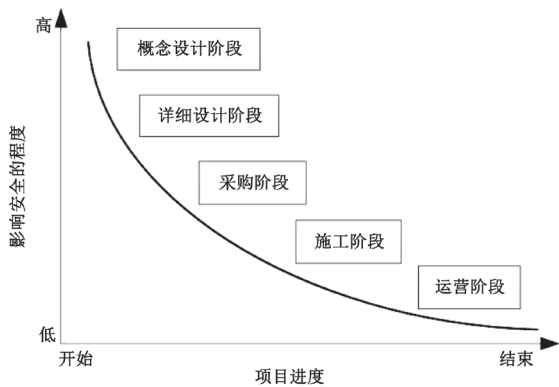


图 1 时间-安全性影响曲线

从实践层面来看, 各种类型的施工事故追根溯源后, 发现项目在前期设计中存在隐患, 并在施工阶段全面暴露。英国研究人员通过对 100 件施工事故产生原因的剖析, 发现有 47 件 (47%) 是可通过改进设计方案降低事故发生的机会<sup>[5]</sup>; 美国职业安全与健康研究所 (OSHA) 对 224 件致命工程事故案例分析发现, 有 94 件 (42%) 可经由设计阶段的决策改变而避免, 进而指出设计与施工事故存在着因果关系<sup>[6]</sup>。通过对我国建筑行业中 514 项工程事故的原因进行统计分析, 发现与设计原因相关的工程事故高达 40%<sup>[7]</sup>; 熊远勤等通过统计方法证明建筑设计与 44.8% 的施工安全事故相关<sup>[8]</sup>; 2008 年杭州地铁 1 号线湘湖站在施工过程中发生坍塌事故造成 21 人死亡, 究其根本, 中国工程院王梦恕院士指出, 项目在前期设计中存在隐患, 并在施工阶段全面暴露。

我国建筑安全管理的方针是安全第一、预防为主。《中华人民共和国建筑法》第 37 条规定: “建筑工程设计应当符合按照国家规定的建筑安全规程和技术规范, 保证工程的安全性能”; 《中华人民共和国安全生产法》中第 26 条规定: “建设项目安全设施的设计人、设计单位应当对安全设施设计负责”; 《建设工程安全生产管理

条例》也要求防止因设计不合理导致生产安全事故的发生, 设计单位需要考虑施工安全操作和防护的要求, 并且在设计方案中标注涉及施工安全的重点部位和环节, 并向施工管理方提出防范生产安全事故的指导意见<sup>[9]</sup>。这些法律法规的颁布证实了安全设计理念得到法律的明确承认。另一方面, 随着安全预防正从着重于经验的“局部预防”, 逐渐向基于系统科学的“全面预防”推进, 预防的阶段不断向前延伸, 从“事前预防”, 有扩展为“超前预防”的趋势, 对安全管理的研究范围也在不断扩大。目前设计安全理念越来越受到国内外学者的关注和认同。

## 2 装配式建筑建设流程与特点

传统建筑的建设过程一般包括: 工程立项→建筑工程设计→施工图审查→主体施工→内部装修施工→验收使用等主要环节。与传统建筑的建设过程相比, 装配式建筑的建设过程更加全面、更精细、更综合。以装配式剪力墙结构为例, 其设计流程如图 2 所示<sup>[10]</sup>。

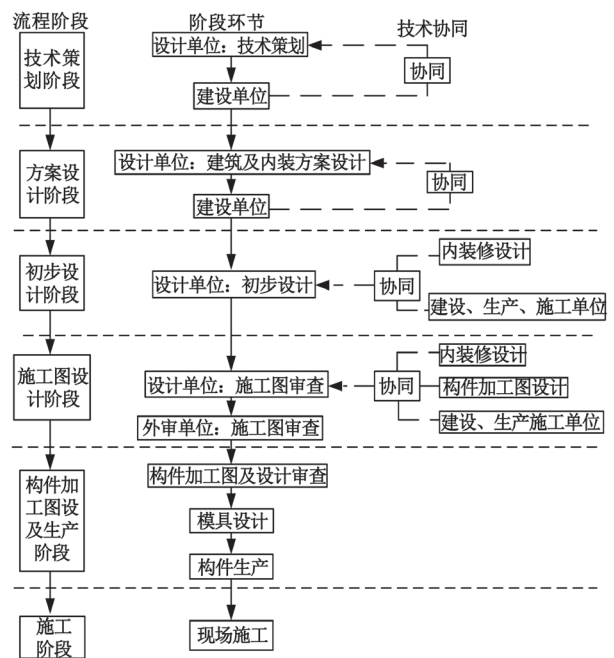


图 2 装配式剪力墙结构设计流程示意图

从图 2 中可以发现, 装配式建筑建设过程在传统建筑建设过程基础上增加了技术策划、构件加工图设计、构件生产等环节, 强调了建筑设计与构件生产协同、主体施工和内装修协同、内装修和部品部件生产的协同。传统建筑的设计是一个相对独立的过程, 施工阶

段遵照“按图施工”的原则开展作业。然而，装配式建筑各阶段施工内容与设计工作有着密切的联系，具有后端问题前置的特点，如吊装与临时支撑预埋件的考虑、构件拆分设计对吊装条件的考虑、灌浆工艺设计等。与传统建筑设计相比，装配式建筑具有项目参与方多、接口多、协同工作量大等特点。因此，在装配式建筑中引入安全设计理念减少施工阶段安全事故的发生，具有较强的应用价值。

### 3 DFS在装配式建筑设计-施工过程中的应用分析

#### 3.1 安全人机工程学

装配式建筑将现场施工转换为工程制造和现场安装，将现浇结构作业转变为预制构件拼装，将建筑物的建造过程转变为建筑产品的制造过程，呈现出设计-生产-制造 (Design-Production-Fabrication) 的特点。在制造业中，产品设计流程包括总体设计、方案设计、初步设计、详细初步设计、工艺设计、工装设计等阶段，产品的设计—制造流程呈现出设计-制造-装配 (Design-Manufacture-Fabrication) 的特点。所以在本质上装配式建筑的施工过程与制造业中产品生产过程相似度很高。基于两者生产方式本质的共同点，借鉴先进制造业中的安全管理理念，对研究装配式建筑安全管理问题带来新的研究视角和方法。

安全人机工程学是研究人、设备和工作环境间相互关系的科学，并通过优化人-机-环境系统将总性能达到安全、高效、舒适的目的<sup>[11]</sup>。安全人机工程学在制造业中得到了广泛的应用，该理论综合考虑了“人-机-环”系统中事故发生的因果关系，如图3所示。

从图3中可以发现，人的不安全行为和机械的不安

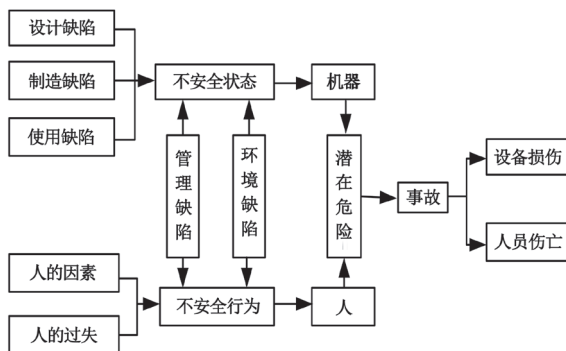


图3 人机工程学事故致因理论

全状态是导致安全事故的直接原因，大部分安全事故发生在人和机械的交互界面上。另一方面，管理缺陷和环境缺陷是导致安全事故的间接原因，会诱发人的不安全行为和机械的不安全状态的出现。装配式建筑具有预制构件工厂制造和现场拼装的特点，会造成在现场作业过程中出现比传统作业方式更多的人和机械的交互界面。另一方面，大量的吊装作业，将会出现现场作业环境复杂、管理难度大等问题。基于上述两点考虑，在装配式建筑安全管理中引入安全人机工程学的理念具有较强的现实意义。

#### 3.2 DFS在装配式建筑中的应用分析

从装配式建筑建设流程和特点的分析中，可以发现装配式建筑设计与施工之间联系紧密、设计文件的可施工性会直接影响施工过程是否能顺利开展；同时为了提高施工的准确性、高效性、安全性，则会对设计文件的质量、深度等方面提出更高要求。因此，将安全风险控制提前融入装配式建筑设计过程中，以便设计人员和项目管理人员在施工前期提前考虑设计方案的安全性，将传统的“问题出发型”的安全管理模式，发展为“问题发现型”的安全管理模式，提升装配式建筑施工阶段应对安全风险能力。另一方面，由于装配式建筑和制造业中产品生产过程相似度很高，通过借鉴先进制造业中的已发展成熟的安全人机工程学理论，可为装配式建筑安全管理提供新的研究视角和研究方法。鉴于上述两点，本文将安全设计理念和安全管理中“人-机-环”系统性分析相结合，提出了装配式建筑安全设计控制总体模型，如图4所示。

在图4中，设计对象及其内容是装配式建筑各个阶段开展设计任务的总称。在具体应用过程中，应根据不同阶段的设计特点开展相应的安全设计分析。在装配式建筑中，预制构件的可生产性和装配性是最为重要的两个环节。因此，本文以预制构件生产和装配的设计为例，在独立研究人、机、环境三大基本因素的基础上，综合考虑人-机关系、人-环境关系、机-环境关系、人-机-环境关系的相互影响，把使用“物”的人和所设计的“物”以及人与“物”所共处的环境作为一个系统进行整体性研究。通过运用安全人机工程学中“人-机-环”系统性分析方法来识别与安全设计相关的主要内容，如表1所示。针对识别出的与安全设计相关的内容，通过不断修

改和完善设计方案，努力消除各种不安全因素，减低生产过程中的安全事故。

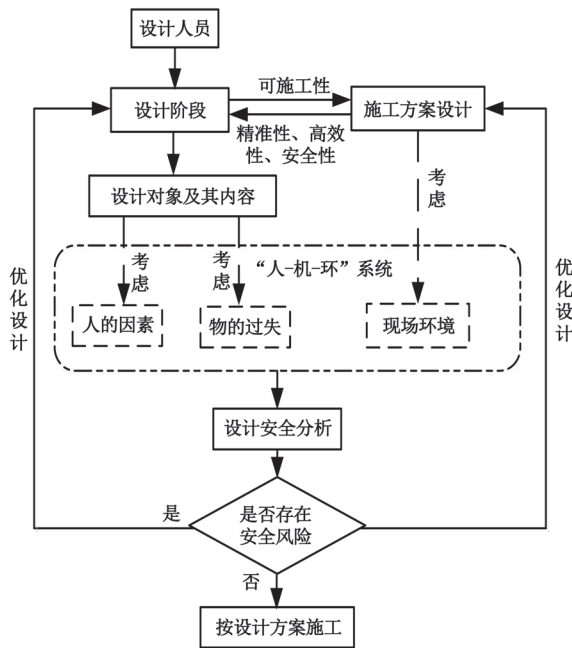


图 4 装配式建筑安全设计应用模型

表 1 装配式建筑安全设计划分及主要内容

面向生产和装配的安全设计	主要内容
人的安全设计	工人的安全操作培训、安全管理制度设计等
机的安全设计	预制构件、临时支撑、吊环吊具等设备、机具、材料的安全等
环境的安全设计	现场堆场设计、工地运输线路设计、大件调运安全警戒设置等
人-机的安全设计	预制构件锐角及插筋部位伤害工人、存放区构件倾覆砸伤工人等情况
人-环境的安全设计	现场工作面布置设计、高处临边洞口作业防护等
机-环境的安全设计	塔吊、龙门吊等工作环境条件、可施工性问题等
人-机-环境的安全设计	临时支撑设计不科学造成工人作业面狭小、群塔作业线路交叉造成施工空间碰撞等

## 4 结 论

本文首先从安全设计的理念出发，通过对比传统建筑与装配式建筑的建设过程，提出装配式建筑具有项目参与方多、接口多、协同工作量大等特点；其次，通过对装配式建筑物的建造过程和制造业中产品的设计-制造流程的相似性对比，提出在装配式建筑安全管理中借鉴制

造业中安全人机工程学的思路；最后，将安全设计理念和安全管理中“人-机-环”系统性分析相结合，提出了装配式建筑安全设计控制总体模型，并以预制构件生产设计和预制构件装配设计为例，应用“人-机-环”系统性分析方法，识别与安全设计相关的主要内容。

随着经济和社会的发展，转变传统的建造方式是建筑业转型升级的必经之路。上述研究，对提高装配式建筑安全管理水平提供了新的方法和思路。

## 参考文献

- [1] STORE N.Design for Safety [M].London, 1999.
- [2] MANUELE F A.Prevention through Design (PtD) : history and future [J].Journal of Safety Research, 2008, 39 (2) : 127-130.
- [3] TOOLE T. M., GAMBATESE J. The trajectories of Prevention through Design in construction. Journal of Safety Research. 2008, 39 (2) : 225-230.
- [4] SZYMBERSKI R. Construction project safety planning [J]. TAPPI, 2007, (80) : 69-74.
- [5] GAMBATESE JOHN A., BEHM MICHAEL, Rajendran Sathyanarayanan.Design's role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel [J].Safety Science, 2008, 46 (4) : 675-691.
- [6] BEHM MICHAEL.Linking construction fatalities to the design for construction safety concept [J].Safety Science, 2005, 43 (8) : 589-611.
- [7] 苏咏, 田杰芳.设计单位的质量管理 [J].铁道技术监督, 2000, 28 (5) : 33-35.
- [8] 熊远勤, 冯力.建筑工程施工安全与建筑设计的关系研究——对灾后重建工程施工安全管理的思考 [J].软科学, 2010, 24 (11) : 142-144.
- [9] 国家安全生产监督管理总局.建设工程安全生产管理条例 (国务院令393号) [A].2004.
- [10] 文林峰.大力推广装配式建筑必读: 制度·政策·国内外发展 [M].北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [11] Määttä T J.Virtual environments in machinery safety analysis and participatory ergonomics [J].Human Factors & Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 2007, 17 (5) : 435-443.