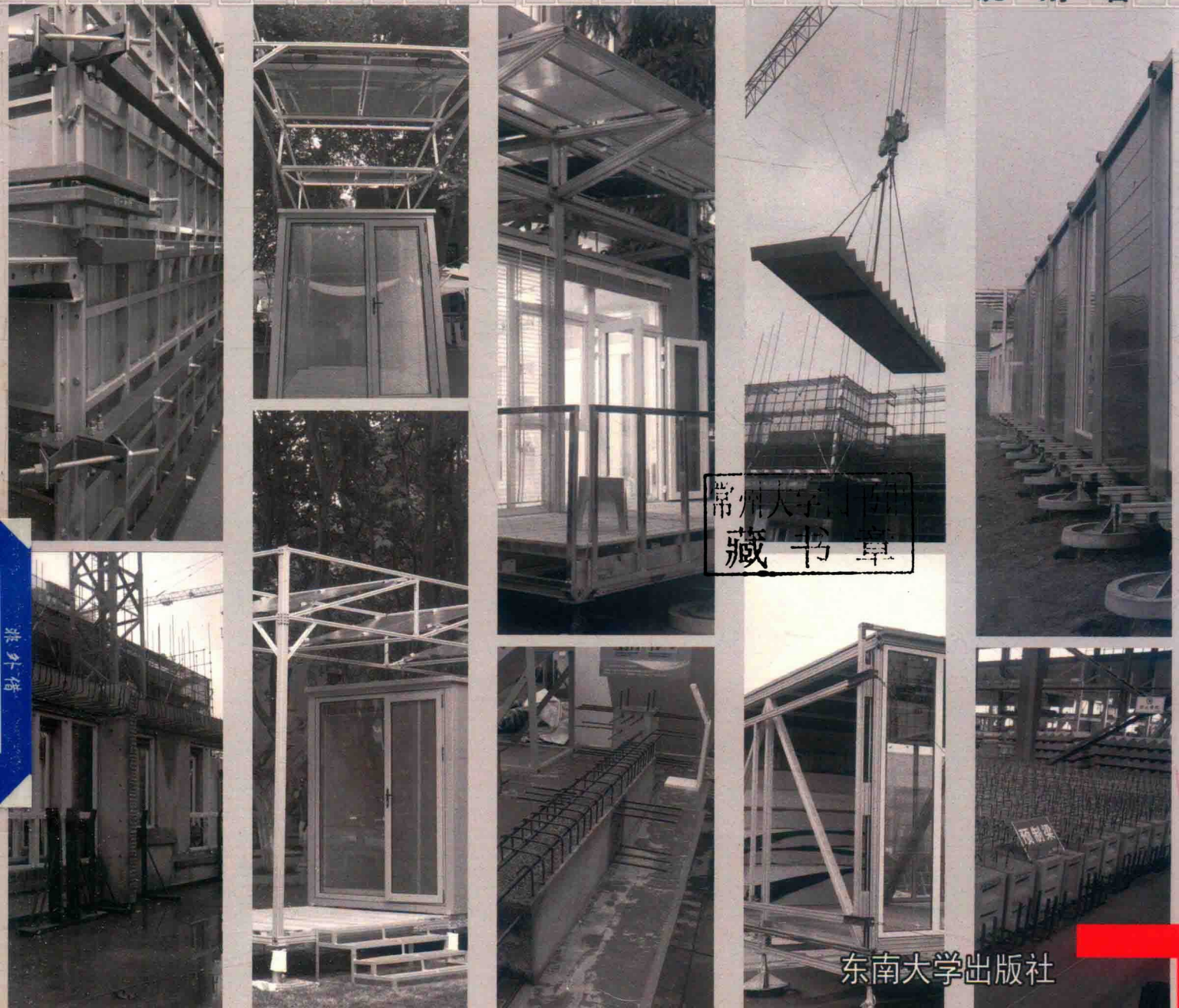


建造·性能·人文与设计系列丛书

张宏 主编

# 基于BIM的工业化住宅协同设计

姚刚 著



常州大学图书馆  
藏书章

张宏 主编

东南大学出版社

# 序一

2013年秋天,我在参加江苏省科技论坛“建筑工业化与城乡可持续发展论坛”上提出:建筑工业化是建筑学进一步发展的重要抓手,也是建筑行业转型升级的重要推动力量。会上我深感建筑工业化对中国城乡建设的可持续发展将起到重要促进作用。2016年3月5日,第十二届全国人民代表大会第四次会议政府工作报告中指出,我国应积极推广绿色建筑,大力发展装配式建筑,提高建筑技术水平和工程质量。可见,中国的建筑行业正面临着由粗放型向可持续型发展的重大转变。新型建筑工业化是促进这一转变的重要保证,建筑院校要引领建筑工业化领域的发展方向,及时地为建设行业培养新型建筑学人才。

张宏教授是我的学生,曾在东南大学建筑研究所工作近20年。在到东南大学建筑学院后,张宏教授带领团队潜心钻研建筑工业化技术研发与应用十多年,参加了多项建筑工业化方向的国家级和省级科研项目,并取得了丰硕的成果,建造·性能·人文与设计系列丛书就是阶段性成果,后续还会有系列图书出版发行。

我和张宏经常讨论建筑工业化的相关问题,从技术、科研到教学、新型建筑学人才培养等,见证了他和他的团队一路走来的艰辛与努力。作为老师,为他能取得今天的成果而高兴。

此丛书只是记录了一个开始,希望张宏教授带领团队在未来做得更好,培养更多的新型建筑工业化人才,推进新型建筑学的发展,为城乡建设可持续发展做出贡献。



2016年3月

## 序二

建筑构件的制作、生产、装配,建造成各种类型建筑的方法、模式和过程,不仅涉及过程中获取和消耗自然资源和能源的量以及产生的温室气体排放量(碳排放控制),而且通过产业链与经济发展模式高度关联,更与在建筑建造、营销、运营、维护等建筑全生命周期各环节中的社会个体和社会群体的权利、利益和责任相关联。所以,以基于建筑产业现代化的绿色建材工业化生产—建筑构件、设备和装备的工业化制造—建筑构件机械化装配建成建筑—建筑的智能化运营、维护—最后安全拆除建筑构件、材料再利用的新知识体系,不仅是建筑工业化发展战略目标的重要组成部分,而且构成了新型建筑学(Next Generation Architecture)的内容。换言之,经典建筑学(Classic Architecture)知识体系长期以来主要局限在为“建筑施工”而设计的形式、空间与功能层面,需要进一步扩展,才能培养出支撑城乡建设在社会、环境、经济三个方面可持续发展的新型建筑学人才,实现我国建筑产业现代化转型升级,从而推动新型城镇化的进程,进而通过“一带一路”倡议影响世界的可持续发展。

建筑工业化发展战略目标是将经典建筑学的知识体系扩展为新型建筑学的知识体系,在如下五个方面拓展研究:

- (1) 开展基于构件分类组合的标准化建筑设计理论与应用研究。
- (2) 开展建造、性能、人文与设计的新建筑学知识体系拓展理论与人才培养方法研究。
- (3) 开展装配式建造技术及其建造设计理论与应用研究。
- (4) 开展开放的 BIM(Building Information Modeling, 建筑信息模型)技术应用和理论研究。
- (5) 开展从 BIM 到 CIM(City Information Modeling, 城市信息模型)技术扩展应用和理论研究。

本系列丛书作为国家“十二五”科技支撑计划项目“保障性住房工业化设计建造关键技术研究”与示范”(2012BAJ16B00),以及课题“水网密集地区村镇宜居社区与工业化小康住宅建设关键技术与集成示范”(2013BAJ10B13)的研究成果,凝聚了以中国建设科技集团有限公司为首的科研项目大团队的智慧和力量,得到了科技部、住房和城乡建设部有关部门的关心、支持和帮助。江苏省住房和城乡建设厅、南京市住房和城乡建设委员会以及常州武进区江苏省绿色建筑博览园,在示范工程的建设和科研成果的转化、推广方面给予了大力支持。“保障性住房新型工业化建造施工关键技术研究”课题(2012BAJ16B03)参与单位南京建工集团有限公司、常州市

建筑科学研究院有限公司及课题合作单位南京长江都市建筑设计股份有限公司、深圳市建筑设计研究总院有限公司、南京市兴华建筑设计研究院股份有限公司、江苏省邮电规划设计院有限责任公司、北京中外建建筑设计有限公司江苏分公司、江苏圣乐建设工程有限公司、江苏建设集团有限公司、中国建材(江苏)产业研究院有限公司、江苏生态屋住工股份有限公司、南京大地建设集团有限公司有限责任公司、南京思丹鼎建筑科技有限公司、江苏大才建设集团有限公司、南京筑道智能科技有限公司、苏州科逸住宅设备股份有限公司、浙江正合建筑网模有限公司、南京嘉翼建筑科技有限公司、南京翼合华建筑数字化科技有限公司、江苏金砼预制装配建筑发展有限公司、无锡泛亚环保科技有限公司,给予了课题研究在设计、研发和建造方面的全力配合。东南大学各相关管理部门以及由建筑学院、土木工程学院、材料学院、能源与环境学院、交通学院、机械学院、计算机学院组成的课题高校研究团队紧密协同配合,高水平地完成了国家支撑计划课题研究。最终,整个团队的协同创新科研成果:“基于构件法的刚性钢筋笼免拆模混凝土保障性住房新型工业化设计建造技术系统”,参加了“十二五”国家科技创新成就展,得到了社会各界的高度关注和好评。

最后感谢我的导师齐康院士为本丛书写序,并高屋建瓴地提出了新型建筑学的概念和目标。感谢东南大学出版社及戴丽老师在本书出版上的大力支持,并共同策划了这套建造·性能·人文与设计系列丛书,同时感谢贺玮玮老师在出版工作中所付出的努力,相信通过系统的出版工作,必将推动新型建筑学的发展,培养支撑城乡建设可持续发展的新型建筑学人才。

东南大学建筑学院建筑技术与科学研究所

东南大学工业化住宅与建筑工业研究所

东南大学 BIM-CIM 技术研究所

东南大学建筑设计研究院有限公司建筑工业化工程设计研究院



2016年10月1日于容园·南京

# 前言

在信息技术巨大变革时期,工业化住宅发展存在瓶颈:信息化技术水平不高、工业化程度不够、产业化规模不足。如何利用基于建筑信息模型(BIM)工具的协同设计模式,提高工业化住宅开发过程中的综合运行效率,实现工业化住宅信息化、工业化、产业化发展的要求,是本书研究的主要内容与目标。除了绪论和结论,本书分为三个部分,分别为基础理论研究、关键要素研究、系统整合模式。

首先,本书的绪论部分通过对研究现状的分析,提出研究的内容,并初步阐述研究的方法、关键技术和思路。

接着,本书的第二章至第四章对工业化住宅协同设计的基础理论作阐述:第二章对工业化住宅发展历程进行概述,对阻碍工业化住宅发展的原因进行分析,并指出其需要向制造业学习,工业化住宅设计模式需要转型——必须从线性走向协同,应该选择工业化住宅协同设计作为工业化住宅研究的切入点;第三章介绍了协同设计的基本观点与发展脉络,明确了工业化住宅协同设计的定义与特征,并总结了工业化住宅协同设计的支撑技术;第四章是关键要素及其重要性排序部分,首先通过文献评论与专家访谈确定了影响工业化住宅协同设计的关键要素,然后运用调查问卷搜集关键要素的基础数据,最后对数据进行分析,得出影响工业化住宅协同设计的最重要的五个关键要素及其重要性排序,作为下一步研究的基础。该部分内容使得工业化住宅协同设计的研究有了坚实的理论基础。

本书的第五章至第七章对工业化住宅协同设计的关键要素进行系统阐述:第五章在整体上搭建了一个全面的基于BIM的工业化住宅协同设计技术平台,制定了一个可扩展的基于BIM的工业化住宅协同设计实施框架,并给出切实可行的实施路线;第六章在总结工业化住宅协同设计冲突检测的具体操作方法的基础上,提出了基于BIM技术的工业化住宅协同设计的消解冲突的方法;第七章明确了工业化住宅部品BIM模型库的构建原则与管理流程。该部分内容是研究的技术基础。

本书的第八章论述了工业化住宅协同设计的系统整合模式:研究提出了基于BIM和IPD(集成产品开发)的工业化住宅协同设计的系统整合模式,解决了工业化住宅全生命周期的协同设计问题,既是对研究第四章的结论中关于“全生命周期的协同设计”这个关键要素的解答,也是对所有关键要素的整合研究。这种系统整合模式将工业化住宅协同设计的关键要素整合在一起,形成了一个完整的系统方法论。

最后是本书的结论部分,对研究工作做出总结,并对未来的研究工作进行展望。

# 目 录

序一

序二

前言

第一章 绪论	1
第一节 研究意义	1
第二节 国内外研究现状及趋势	2
一、对工业化住宅的研究	3
二、对信息技术在建筑设计中协同作用的研究	3
三、对设计要素系统整合的研究	4
第三节 研究内容	4
第四节 研究目标	6
第五节 拟解决的关键科学问题	6
第六节 研究方案	7
第七节 研究的技术路线图	8
第八节 研究的关键技术	9
第九节 研究的特色与创新之处	10
一、研究的特色	10
二、研究的创新点	10
第二章 工业化住宅协同设计转型	13
第一节 工业化住宅发展历程	13
一、问题导入——工业化住宅推广不佳	13
二、国外工业化住宅发展概述	13
三、国内工业化住宅发展概述	16
第二节 阻碍工业化住宅发展的原因分析	18
第三节 向制造业学习——工业化住宅协同设计转型	20
一、制造业中产品的发展变革	20
二、基于制造业经验的工业化住宅“个性化量产”概念的提出	22
三、工业化住宅设计模式转型——从线性走向协同	22

<b>第三章 工业化住宅协同设计的理论基础</b>	28
<b>第一节 协同设计的基本观点与发展脉络</b>	28
一、协同的概念	28
二、协同学的基本理论与观点	28
三、计算机支持的协同工作	30
四、计算机支持的协同设计	32
<b>第二节 协同设计的定义</b>	34
<b>第三节 工业化住宅协同设计的定义与特征</b>	35
<b>第四节 工业化住宅协同设计的支撑技术</b>	36
一、BIM 技术在工业化住宅协同设计中的核心作用	36
二、系统工程技术对工业化住宅协同设计的影响	39
三、并行工程技术在工业化住宅协同设计中的应用	40
四、精益建造原则在工业化住宅协同设计中的应用	43
<b>第四章 工业化住宅协同设计的关键要素</b>	46
<b>第一节 工业化住宅协同设计的研究方法</b>	46
<b>第二节 本章的技术路线</b>	46
<b>第三节 工业化住宅协同设计的关键要素清单的确定</b>	47
一、文献来源	47
二、初始关键要素的确定	47
<b>第四节 问卷调查及分析</b>	49
一、问卷调查	49
二、数据分析	50
三、关键要素的确定	53
<b>本章小结</b>	54
<b>第五章 基于 BIM 的工业化住宅协同设计技术平台</b>	57
<b>第一节 本章研究目的</b>	57
<b>第二节 本章的技术路线</b>	58
<b>第三节 协同设计技术平台的层级架构及概念诠释</b>	59
一、协同设计技术平台的层级架构	59
二、概念诠释	59
三、初始假设与研究方法	60
<b>第四节 面向工业化住宅协同设计的 BIM 框架</b>	61
一、BIM 框架的评论	61
二、BIM 框架的挑选	64

三、面向工业化住宅协同设计的 BIM 框架的构建	64
<b>第五节 针对工业化住宅协同设计的 BIM 协议</b>	65
一、BIM 协议的研究方法——扎根理论的引入	65
二、BIM 协议相关资料的搜集	66
三、BIM 协议的开放性译码	68
四、BIM 协议的主轴译码	68
五、BIM 协议的选择性译码	70
六、针对工业化住宅协同设计的 BIM 协议的结论	71
<b>第六节 适合工业化住宅协同设计的 BIM 软件</b>	72
一、BIM 软件的调研及初步筛选	72
二、BIM 软件的分析与评估	76
三、BIM 软件的最终评价	77
四、本节结论	79
<b>本章小结</b>	79
<b>第六章 工业化住宅协同设计中的冲突消解</b>	82
<b>第一节 本章研究目的</b>	82
<b>第二节 本章的技术路线</b>	83
<b>第三节 工业化住宅协同设计冲突的分析</b>	83
一、冲突产生的原因	83
二、冲突的特点	84
三、冲突的分类	85
四、冲突消解的意义	86
<b>第四节 工业化住宅协同设计冲突的检测</b>	87
一、冲突检测的定义	87
二、基于 BIM 的冲突检测分析	87
三、基于 BIM 的冲突检测软件比较	89
四、基于 BIM 的冲突检测流程与方法	90
<b>第五节 工业化住宅协同设计冲突的消解</b>	93
一、基于 BIM 的协同冲突消解方法	94
二、基于 BIM 的信息冲突消解方法	95
三、基于 BIM 的流程冲突消解方法	96
四、基于 BIM 的资源冲突消解方法	99
<b>本章小结</b>	100

<b>第七章 工业化住宅部品 BIM 模型库的构建研究</b>	102
<b>第一节 本章研究目的</b>	102
<b>第二节 本章的技术路线</b>	103
<b>第三节 构建工业化住宅部品 BIM 模型库的系统分析</b>	103
一、工业化住宅部品的概念	103
二、工业化住宅部品发展存在的问题	106
三、构建工业化住宅部品 BIM 模型库的必要性	107
四、构建工业化住宅部品 BIM 模型库在协同设计方面的优势	108
<b>第四节 工业化住宅部品 BIM 模型库的构建原则</b>	109
一、模块信息化原则	110
二、通用系列化原则	115
三、信息标准化原则	118
<b>第五节 工业化住宅部品 BIM 模型库的构建与管理流程</b>	123
一、总体方案规划	123
二、管理规范确立	123
三、系统平台搭建	124
四、模型数据导入	124
<b>本章小结</b>	124
<b>第八章 基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计的系统整合</b>	126
<b>第一节 本章研究目的</b>	126
<b>第二节 本章的技术路线</b>	126
<b>第三节 IPD 的概念</b>	127
<b>第四节 IPD 与传统项目交付模式的区别</b>	128
一、项目交付模式的发展历程	128
二、IPD 与传统项目交付模式的对比	130
<b>第五节 IPD 的特征</b>	130
<b>第六节 BIM 功能与 IPD 特征的关系矩阵</b>	132
一、关系矩阵的构建	132
二、交互关系的释义	133
<b>第七节 基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计系统整合模式</b>	135
<b>本章小结</b>	136
<b>结论</b>	139
<b>参考文献</b>	140

# 第一章 绪论

## 第一节 研究意义

本书研究“基于 BIM 的工业化住宅协同设计”起源于信息技术巨大变革时期,如何利用建筑信息模型(BIM)工具,提高住宅开发过程中的设计效率,实现住宅建设信息化、工业化、产业化发展的需求。

工业化住宅是目前国际住宅建筑行业发展的主流。工业化住宅在法国、美国、日本等主要发达国家已成为主要的住宅开发模式。我国工业化住宅起步晚但进步快,发展势头迅猛,目前一些超大型开发和施工企业均在开展工业化住宅发展实践,如开发企业中的万科集团和建造行业中的远大住工都在开展住宅工业化技术的探索与实践。由于传统建筑方式存在着工期长、效率低以及质量不稳定等缺点,使得工业化住宅成为住宅技术发展的结果和必然趋势。

相对于工业化住宅来说,传统的住宅开发模式是一个串行开发模式,即各阶段的工作是按顺序方式进行的,一个阶段的工作完成后,下一阶段的工作才开始,各个阶段依次排列。由于设计部门一直独立于建造过程,设计中出现的错误往往要到建造阶段才能被发现,这样就形成了“设计—建造—修改设计—重新建造”的大循环,导致住宅开发周期较长,开发成本增高,质量无法保证。而工业化住宅开发模式有别于传统的住宅开发模式,多出了工厂生产的环节,设计阶段和工厂制造阶段可以并行进行。因此,通过住宅工业化过程中的协同开发,有助于消解传统住宅开发所面临的问题——可以大幅缩短工期,有效控制建筑质量。在这种现状和发展趋势下,如何利用协同设计的方法,提高住宅开发过程中建筑设计环节的效率,实现开发各个环节的有效衔接显得极为迫切。

工业化住宅运用了现代工业技术、方法和运作模式,系统集成和整合了住宅全生命周期的所有要素,以先进的工厂化、集约化生产为基础,以建筑模块化、构件标准化、部品产品化、建造装配化、装修一体化为手段,旨在提升住宅品质、推进住宅行业开发效率的提升、降低住宅开发建设成本。工业化住宅协同设计既体现在建筑设计环节的效率和质量提升上,也体现了与其他各个环节的有效衔接。它要求在协同设计时有效组织不同设计工种,提高设计效率,并能充分考虑住宅开发建设全过程对设计层面的影响。在建筑设计的层面上,工业化住宅协同设计主要涉及以下几

个问题的解决:

第一,协同设计的技术支撑工具问题。在整个建筑行业,信息技术正在发挥前所未有的作用。在21世纪,应用于建筑业的信息技术数量大大增加,包括计算机、网络、通信技术等,以及这些主要领域的众多分支。信息技术被看作一套能够将建筑业不同环节(从建筑设计到施工运营)充分沟通与协作的协同工具。基于信息技术的数字化软件,不应该只是现在流行于建筑设计领域的用作抽象的、静态造型的工具,而应该是被用作一种整合设计、生产和使用全过程的工具。建筑信息模型(BIM)能否作为一个基于信息的数字化工具,是塑造工业化住宅的关键问题。

第二,设计冲突的避免。由于工业化住宅协同设计的复杂性和设计过程的多学科融合,造成了目标冲突。相互矛盾的设计意图所引发的目标冲突阻碍了项目目标的整体实现。如何运用BIM软件,使建筑师和其他工程师在实际生产前,完全可靠地检测设计成果的每一面的精确性或潜在的冲突,以及任何其他问题,降低目标冲突的出现概率,是协同设计的目标之一。

第三,设计工作模式的转变。以提高生产效率为目标的工业化住宅协同设计流程和传统的建筑设计流程存在着较大差异,传统的建筑设计模式(流程)是线性化的工作模式,而工业化住宅的实现需要各个专业的设计人员同时工作,密切配合,是协同工作模式。协同设计模式是一种全新的模式,习惯于使用传统设计模式的设计人员很难掌握和使用。国内外已经研究开发了多种适用于协同设计模式的BIM软件,这些软件已经能够满足工业化住宅协同设计需要的各个环节的模拟和制图需求,但设计团队何时利用这些软件,以及如何保证各个专业设计师有效利用这些软件并未明确。

第四,职责分配与沟通。设计模式的转变也将带来设计团队成员责任界限的模糊,如何清晰地分配与界定,以及设计过程中各阶段目标的衔接,都必须得到明确的定义。另外,设计团队成员之间的良好沟通与信息互换,也是协同设计的基本要求,也是多学科合作的实质性基础。技术手段(系统、软件、形式等)的搭建也是一个需要解决的复杂问题。

第五,协同设计关键要素的系统整合。上述关键要素的梳理是复杂的,这种复杂性有时候也是相互矛盾和制约的:能否缩短开发时间,降低成本,同时又能提高质量是工业化住宅协同设计的终极目标;然而,工业化住宅协同设计的整个过程是一个反复修改最后逐渐完善的过程,且在设计初期就综合考虑所有的影响因素,必将在设计阶段带来额外的工作量。因此,如何系统地为影响设计结果的一系列关键要素建立绩效目标,然后制定系统最优的基本策略来达成这些目标,是协同设计最终要解决的问题,也是本研究试图梳理的科学问题。

因而,工业化住宅协同设计需要对上述问题进行梳理,对影响协同设计的关键要素及系统整合进行研究,这是住宅建设信息化、工业化、产业化发展中迫切需要解决的关键科技问题之一。本研究试图探索基于BIM的工业化住宅设计模式和解决方案,对其中的关键要素进行深入研究,帮助建立适合我国住宅产业化发展的工业化住宅的协同设计模式。

## 第二节 国内外研究现状及趋势

上述研究问题与以下三个主要方面的研究关系密切:

## 一、对工业化住宅的研究

涉及工业化住宅的研究目前在国内外已有较多展开,也有着较为丰富的研究成果。宏观层面上,刘东卫等人从技术角度总结了我国工业化住宅的历史发展脉络,并梳理了工业化住宅发展的技术演进<sup>[1]</sup>,Mao Chao 等人则以开发商的视点找到了阻碍工业化住宅发展的主要原因<sup>[2]</sup>。中观层面上,注重用定量的方法调查工业化住宅系统的认知<sup>[3]</sup>,并指出工业化住宅通过精益建造,可以定制<sup>[4]</sup>,但是工业化住宅承建商、工业化住宅部品生产商、工业化住宅部品供应商三者之间的合作薄弱<sup>[5]</sup>;并进一步向微观层面研究深化,研究工业化住宅全生命周期的整合设计<sup>[6]</sup>。在宏观和中观层面上,国内目前研究主要以工业化住宅结构体系的研究为主<sup>[7-8]</sup>,强调工业化住宅围护体系的研发<sup>[9]</sup>和工业化住宅结构支撑体系的研究<sup>[10]</sup>,也有部分研究从工业化住宅的产业化入手,基于发展工业化住宅部品化,提出了工业化住宅部品集成化相关理论、技术与策略的研究<sup>[11]</sup>,探讨了工业化住宅产品的市场发展战略<sup>[12]</sup>,并以整体卫生间为例,总结了工业化住宅产品设计方法<sup>[13]</sup>。微观层面的国内相关研究侧重模数协调与工业化住宅的整体化设计<sup>[14]</sup>,进行了基于 SI(Skeleton Infill)体系的工业化住宅模数协调应用研究<sup>[15]</sup>。

综合上述研究虽各自有所侧重,但都未能解决工业化住宅建筑设计效率和建筑质量同时提升的现实,其原因是上述研究在协同设计方面开展得比较少,譬如缺少工业化住宅设计模式的针对性研究,特别是缺乏对协同设计关键要素在工业化住宅中的系统整合的深入研究。

## 二、对信息技术在建筑设计中协同作用的研究

传统的设计与生产模式是一种简单的线性过程:从客户的委托,到建筑师的设计概念,再到客户的批示,工程师的加入,绘制详细的施工图,直到最后的建造,各个阶段是独立的,整个过程在建筑师的指挥下完成。相反,基于信息技术和计算机网络合作的方式更像是“自组织系统”,客户、顾问及建造商——即使遍布各地——都能够从最初阶段开始共同参与关键的设计与生产决策<sup>[16]</sup>。

在这个复杂的不可预知的过程中,起到关键作用的是“建筑信息模型”(BIM),它的功能既是一个试验平台也是一个交流的媒介,迅速为每个项目参与者反映出他们建议之后的效果<sup>[17]</sup>。有学者指出建筑协同设计的最终成功,依赖于运用 BIM 工具捕捉所有相关数据以及在项目的不同参与者之间成功地交换数据的能力<sup>[18]</sup>。

继 D. M. Gann 提出可以运用信息技术进行建筑设计协同的研究<sup>[19]</sup>之后,国内外学者围绕这个主题进行了深入的研究,以信息技术的角度解析建筑协同设计的工作机制和原理<sup>[20]</sup>,提出工业化住宅建筑协同设计的原则和实现前提<sup>[21]</sup>,并构建了基于 BIM 的多学科协同设计平台的理论框架<sup>[22]</sup>,强调了数字技术的有力支撑下建筑设计走向网络协同工作的模式<sup>[23]</sup>,探讨了网络支持的协同设计的系统模型、工作模式及其分类<sup>[24]</sup>。

另外,还有部分学者对 BIM 如何在建筑设计中起到协同作用进行了研究,如运用 Autodesk 公司的 BIM 软件 Navisworks,在协同不同学科和系统安装商的过程中,可以进行 3D 冲突检测,避免设计冲突的产生<sup>[25-26]</sup>,还可以使用 BIM 对建筑设计项目计划进行自动更新<sup>[27]</sup>。同时,

也有学者系统研究了使用 BIM 工具实现建筑协同设计的关键要素,并对之进行重要性排序<sup>[28]</sup>。

信息技术尤其是 BIM 在建筑设计中发挥了一定的协同作用,但还未构建出一个系统的综合应用体系。目前这个方面的研究主要局限于:缺少综合性的分析模型,并不能对 BIM 参与建筑协同设计的最终协同效果进行综合评估和度量(这是研究的难点),这有待研究的进一步推进。

### 三、对设计要素系统整合的研究

国内外对设计要素系统整合的研究热点集中在 IPD(Integrated Project Delivery)上。AIA 认为 IPD 是一种系统整合方式和综合集成的项目交付方式,可以将项目参与者、建筑系统、建筑运作架构和其他建造活动集成为同一流程,在这种方式下,各个设计要素能够在全生命周期内得到充分整合,其通过协同可以获得最优的项目结果<sup>[29]</sup>。

IPD 的成功实践与精益建造密切相关,这部分的研究在 Seongkyun Cho、Ryan E. Smith、Yong -Woo Kim 等学者的研究中有较多开展,探讨了精益建造的关键技术(如并行工程、LPS 等)对 IPD 模式的影响<sup>[30-32]</sup>;另外也有研究<sup>[33-34]</sup>证实了 BIM 对 IPD 获得更佳整体表现的影响,其技术可以解决 IPD 现有问题,提高 IPD 的实施效果<sup>[35]</sup>,而且也是 IPD 模式实现高度协同的重要技术支撑<sup>[36-39]</sup>等。也有学者综合研究了 IPD 模式下精益建造关键技术与 BIM 的集成应用<sup>[40-41]</sup>,构建了基于 BIM 和精益建造的 IPD 实施模式<sup>[42-43]</sup>。

然而,上述对设计要素系统整合的研究大多只是关注建筑项目的全过程,虽然建立了一个项目整体交付系统,整合了所有设计要素,但是几乎没有研究能够探索设计要素之间的多因素关联效应。因为这种关联效应是复杂的、动态的、有时也是矛盾的和相互制约的。如何在 IPD 的系统整合下,基于 BIM 和精益建造的关键技术协调设计要素之间的矛盾,发挥设计要素之间的协同作用,也是建筑协同设计的一个核心问题。现在为止国内外对此也都没有多少研究进展,虽然 Barben 用一个具体的案例说明了 BIM 在 IPD 中发挥的协同作用<sup>[44]</sup>,但是对具体在什么环节采用什么解决策略、处理方法来保证建筑设计要素之间的协同以及其在建筑全过程的协同作用,尚未形成较为系统的理论。

综上所述,从以上三大方面的研究来看,虽然 BIM 和 IPD 在建筑协同设计领域的应用取得了一定的进展,但是在工业化住宅应用领域中对此探讨的较少,且仅有的应用只局限于住宅的建筑设计上,没有与工业化住宅全生命周期的协同设计进行结合,更没有系统的研究成果。这有待 BIM 和 IPD 两方面的研究与工业化住宅的研究进一步交叉融合。因此,本书研究力求以协同理论为指导,采用 BIM 技术和 IPD 模式为双核心,综合多学科,运用多方法进行相互论证研究,弥补单一研究方式和方法的不足。

## 第三节 研究内容

### (1) 厘清工业化住宅发展的瓶颈——协同设计的必要性

首先,通过对工业化住宅从起源到现在的发展脉络的梳理,分清现有

主流工业化住宅设计模式与传统设计模式的区别;其次,对比建筑业和先进制造业的差别,找到与其之间的差距,并借鉴制造业(尤其是汽车、飞机、轮船等)的相关核心技术,解决工业化住宅发展的瓶颈——运用协同设计的思想和方法解决现有的工业化住宅设计模式碰到的问题;最后,通过文献研究,整理工业化住宅协同设计的理论基础——“协同学”和在此基础上发展形成的协同设计思想,并明确工业化住宅协同设计的关键支撑技术。

#### (2) 找出工业化住宅协同设计的关键要素

主要通过检验专家学者的观点来明确工业化住宅协同设计的关键要素:通过对建筑学主流期刊杂志上文献的考察分析,邀请部分国内专注于研究工业化住宅的专家学者和国内排名靠前的工业化住宅发展商(如万科)、工业化住宅部品生产商(如远大住工)和部分专攻工业化住宅的设计院(如长江都市设计院),在其中发放调查问卷;收集齐调查问卷后,运用 SPSS(Statistical Product and Service Solutions,统计产品与服务解决方案)软件等分析工具对数据进行分析,运用 ANOVA(Analysis of Variance,方差分析)明晰变量之间的关系,明确工业化住宅协同设计的关键要素,并对之进行重要性排序,作为下一步研究的重点方向。

#### (3) 明确工业化住宅协同设计的技术支撑工具及平台

最初,通过大量的文献研究,确定 BIM 是解决工业化住宅协同设计的一种行之有效的工具,建立了工业化住宅协同设计的技术支撑平台;其次,综合文献研究的结论,针对协同设计的特点,对 BIM 的若干个关键点进行协同影响的关联排序,在此基础上,整合出 BIM 在工业化住宅协同设计中的 workflow,建立适合工业化住宅协同设计的 BIM 框架和流程;然后,通过对市面上主流的几款 BIM 软件(如 REVIT 和 ARCHICAD 等)进行研究分析和对比,针对面向协同设计的目的,对其协同设计的有效性和便捷性进行排序,力图找到既适合中国工业化住宅,又适合协同设计的 BIM 软件作为研究的技术支撑工具。

#### (4) 探讨工业化住宅协同设计目标冲突的消解方法

首先分析工业化住宅协同设计冲突产生的原因,总结归纳工业化住宅协同设计冲突产生的特点,并对之进行分类,为下一步提出有针对性的解决策略提供理论基础。其次提出基于 BIM 软件的冲突检测方法。通过对几种国内外碰撞软件的分析研究,总结出工业化住宅协同设计冲突检测的具体操作方法。最后总结基于 BIM 技术的冲突消解方法,针对不同类型的冲突,分别探讨有针对性的基于 BIM 的冲突消解方法,以期解决工业化住宅协同设计过程中的冲突等具体问题。

#### (5) 构建工业化住宅部品 BIM 模型库

首先对工业化住宅部品的概念及其特征进行辨析,分析工业化住宅的发展中在部品构件方面遇到的问题,尤其是与协同设计层面产生冲突的原因,然后通过文献整理与分析,提出工业化住宅部品构建 BIM 模型库在协同设计方面将产生的优势与帮助,明确构建部品 BIM 模型库的意义和必要性,为 BIM 模型库的构建奠定理论依据。其次借鉴 BIM 软件 Autodesk REVIT 中“族”的概念与制造业 PDM 中“零件”的概念,将构建原则明确为“模块信息化原则”“通用系列化原则”“信息标准化原则”三个方面,然后通过每一个层面的展开和深入,总结出工业化住宅部品 BIM 模型库的详细构建原则,最后总结出标准化的工业化住宅部品 BIM 模型库的构建流程。

#### (6) 基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计的系统整合

首先,在上述五部分的研究基础上,对 IPD 模式进行引介,指出其可以改变传统项目交付模式的弊端,为工业化住宅全生命周期的协同奠定基础;其次,构建 BIM 功能与 IPD 特征的关系矩阵,发掘 BIM 与 IPD 之间的相互关系;最后,构建基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计系统整合模式,解决工业化住宅全生命周期的协同设计问题,并作为整合工业化住宅协同设计的系统工具。

### 第四节 研究目标

本研究试图解决在信息技术巨大变革时期工业化住宅开发迫切需要解决的问题——如何利用建筑信息模型工具和基于信息技术的协同设计模式,提高工业化住宅开发过程中的综合运行效率,实现住宅建设信息化、工业化、产业化发展的需求?本研究将探索工业化住宅发展的瓶颈,论述协同设计的必要性,厘清工业化住宅协同设计的关键要素,并通过对工业化住宅协同设计实现的技术基础的综合探索与归纳,力图帮助建立适合我国国情的工业化住宅的发展和设计策略——构建基于 BIM 技术和 IPD 模式为双核心的工业化住宅协同设计的系统整合模式,并最终明确基于 BIM 的工业化住宅协同设计的应用方法。

### 第五节 拟解决的关键科学问题

#### (1) 用定量的方法调查工业化住宅协同设计关键要素的认知

从以往的文献里提取影响工业化住宅协同设计的关键要素,通过与专家访谈,对关键要素进行精炼,最终选择若干个关键要素;用调查问卷的方式搜集关键要素的基础数据,利用滚雪球法扩大基础数据的来源;运用 SPSS 软件等分析工具对数据进行分析,运用 ANOVA 明晰变量之间的关系,明确工业化住宅协同设计的关键要素及其重要性排序。

#### (2) 建立工业化住宅协同设计的技术支撑基础

通过对 BIM 文献的综合性分析,探索其对工业化住宅协同设计的作用和方法,使之更符合协同设计的实际情况。首先,研究工作的展开将探索 BIM 关键点影响协同的关联排序,整合 BIM 在工业化住宅协同设计中的 workflow,从而建立适合工业化住宅协同设计的 BIM 框架和流程;其次,筛选出对于协同设计方面比较有优势的代表性软件;同时,建立基于 BIM 软件的工业化住宅协同设计目标冲突的消解方法;最后,构建面向协同设计的工业化住宅部品 BIM 模型库。上述几点最终将整合为工业化住宅协同设计的技术支撑基础平台。

#### (3) 建立基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计的系统整合模式

探索 BIM 和 IPD 模式在工业化住宅中运用的可能性、特点和规律,研究三者之间通过何种组合方式可以产生对协同设计的影响最大化,提出 BIM 在工业化住宅 IPD 各阶段的协同设计应用模型,并探索在此基础上的基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计的系统整合模式,作为宏观系统策略回应本研究的初始疑问。

## 第六节 研究方案

本研究以文献研究、案例分析、理论移植、学科交叉、问卷调查、定量分析、定性分析、软件分析以及演绎推理等相结合的方式进行研究路线设计,实现对研究问题的理论演绎和策略研究。根据研究内容可分为以下几个步骤:

### 1. 厘清工业化住宅发展的瓶颈——协同设计的必要性

(1) 文献研究:对国内外工业化住宅相关文献进行充分阅读和吸收,主要聚焦于工业化住宅历史脉络、设计模式、发展局限等方面,找到工业化住宅设计模式与传统住宅设计模式的区别。

(2) 学科交叉:对先进制造业和建筑业进行比较研究,找到它们之间的差距,运用高端制造业的理论方法解决建筑业的问题。

(3) 理论移植:通过大量文献分析,将“协同学”的理论移植到建筑业,将协同设计与协同科学的有关理论与工业化住宅相结合,进行交叉研究,开阔建筑学的视野,为工业化住宅的发展提供一些新的启示。

### 2. 找出工业化住宅协同设计的关键要素

(1) 问卷调查:在文献搜索的基础上,有针对性地在工业化住宅各类参与者中,发放大量关于工业化住宅协同设计关键要素的调查问卷,同时利用滚雪球法扩大基础数据的来源。

(2) 定量与定性分析:首先运用 SPSS 软件等分析工具对数据进行分析,运用 ANOVA 明晰关键要素之间的关系;其次用模糊集合(fuzzy set)等一系列公式,得出关键要素之间的隶属程度;采用 $\lambda$ 割集法( $\lambda$ -cut set approach),得出几个关键要素,判断其是否属于合理范畴;最后根据关键要素的重要程度进行排序。

### 3. 构建工业化住宅协同设计的技术支撑工具及平台

(1) 文献与案例分析:对典型案例的 BIM 利用体系和特征进行分析,分析 BIM 与协同设计的对应关系。注重对 BIM 利用体系的科学性描述,关注其协作、并行、更新等特征,从而建立其对协同设计的有效性基础。

(2) 演绎推理:在上述分析的基础上,总结归纳 BIM 的若干个关键点进行协同影响的关联排序,整合推理出 BIM 在工业化住宅协同设计中的 workflow,建立适合工业化住宅协同设计的 BIM 框架和流程。

(3) 软件分析:整理筛选出最适合工业化住宅协同设计模式的 BIM 软件,对其进行总结归纳。

### 4. 明确工业化住宅协同设计目标冲突的消解方法

(1) 文献研究:对工业化住宅协同设计目标冲突的相关文献进行充分阅读和吸收,辅助以调查访谈,找到目标冲突的分类与出现节点。

(2) 软件分析:用 BIM 软件模拟检测冲突,并对冲突消解的软件处理方法进行总结归纳。

### 5. 构建工业化住宅部品 BIM 模型库

(1) 文献研究:分析工业化住宅的发展中在部品构件方面遇到的问题,尤其是与协同设计层面产生冲突的原因,然后通过文献整理与分析,提出工业化住宅部品构建 BIM 模型库在协同设计方面将产生的优势与帮助,明确构建部品 BIM 模型库的意义和必要性,为 BIM 模型库的构建奠定理论依据。

(2) 理论移植:明确该阶段的研究方法为技术移植,即借鉴 BIM 软件 Autodesk REVIT 中“族”的概念与制造业 PDM 中“零件”的概念,将

构建原则明确为模块信息化原则、通用系列化原则、信息标准化原则三个方面,然后通过每一个层面的展开和深入,总结出工业化住宅部品 BIM 模型库的详细构建原则。

#### 6. 基于 BIM 和 IPD 的工业化住宅协同设计的系统整合

(1) 文献研究:对 IPD 相关文献进行充分阅读和吸收,找到 IPD 模式与传统项目交付模式的区别,明确 IPD 的特征,为构建 BIM 功能与 IPD 特征的关系矩阵奠定理论基础。

(2) 演绎推理:在前面所有研究的基础上,梳理关系矩阵里的关系点,总结归纳 BIM 在工业化住宅各环节的协同应用,梳理 BIM、IPD 与工业化住宅的协同设计模式,发展 BIM 在工业化住宅 IPD 各阶段的协同设计策略和协同应用方法,最终建立基于 BIM 技术和 IPD 模式为双核心的工业化住宅协同设计的系统整合模式。

### 第七节 研究的技术路线图

